

ISSN: 2598-7291



PROSIDING
SEMINAR NASIONAL dan RAPAT TAHUNAN
MIPAnet 2017
“SAINS UNTUK KEHIDUPAN”



FMIPA Universitas Sam Ratulangi
Manado, 24 - 26 Agustus 2017



PENGANGGUNG JAWAB

Dr. Ir. Sri Nurdianti, M.Sc

(Sekretaris Jenderal MIPAnet)

Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc

(Dekan FMIPA UNSRAT)

EDITOR:

1. Feky R. Mantiri, M.Sc, P.h.D
2. Djoni Hatidja, M.Si
3. Dr. Nelson Nainggolan, M.Si
4. Dr. Henry Aritonang, M.Si
5. Chriestie Montolalu, M.Sc

DESAIN COVER: Parluhutan Siahaan, M.Si.

TIM PENILAI MAKALAH (REVIEWER)

1. Prof. Dr. Win Darmanto, M.Si., Ph.D
Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga
Surabaya
2. Prof. Dr. Ir. Herny Simbala, M.Si
Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
3. Prof. Warsito, S.Si, DEA, Ph.D
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung
4. Dr. Hanny Sangian, M.Si
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
5. Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc
Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
6. Prof. Dr. John S. Kekenusa, MS
Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
7. Prof. Dr. Julius Lolombulan, MS
Jurusan Matematika, Universitas Negeri Manado
8. Prof. Dr. Zulkarnain Chaidir, MS
Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Andalas Padang
9. Prof. Dr. Ir. Julius Pontoh, M.Sc
Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
10. Dr Teti Sutriyati Tuloli, M.Si., Apt
Jurusan Farmasi Universitas Negeri Gorontalo
11. Prof. Dr. Fatimawali, M.Si, Apt
Program Studi Farmasi, FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur panitia panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa atas segala rahmat dan berkat-Nya sehingga kegiatan Seminar dan Rapat Tahunan *MIPAnet* 2017 ini dapat terlaksana.

Seminar dan Rapat Tahunan atau Semirata *MIPAnet* 2017 ini bertujuan untuk mewadahi penemuan-penemuan terkini dalam bidang Sains dan yang terkait sehingga terjadi pertukaran informasi di antara para peneliti dan juga sebagai wadah konsolidasi bagi para pimpinan atau dekan-dekan bidang MIPA di berbagai perguruan tinggi se-Indonesia untuk kemajuan pendidikan dan penelitian Sains dan bidang terkait lainnya. Semirata tahun ini diberi thema: “Sains untuk Kehidupan” dengan harapan sains yang ada saat ini akan dapat meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup manusia.

Terselenggaranya Semirata ini adalah berkat kerjasama dan dukungan berbagai pihak, dan oleh karena itu kami panitia berterimakasih setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Ellen Joan Kumaat, M.Sc.,DEA selaku Rektor Universitas Sam Ratulangi Manado,
 2. Ibu Dr. Ir. Sri Nurdianti, M.Sc. selaku Sekretasi Jenderal *MIPAnet*, dan
 3. Bapak Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc. selaku Dekan Fakultas MIPA Unsrat,
- yang telah memberi dukungan yang maksimal baik secara moril maupun materil agar kegiatan ini terlaksana dengan baik.

Kami sampaikan juga terimakasih banyak atas kesediaan para *keynote speaker* dan *invited speaker* untuk memberikan pencerahan dan membagi ilmu dan pengalamannya di bidangnya masing-masing, dan diantaranya:

1. Bapak Olly Dondokambey, S.E. (Gubernur Sulawesi Utara)
2. Dr. Muhammad Dimyatin (Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristekdikti)
3. Prof. dr. Amin Subandrio W. Kusumo, Ph.D.,Sp.MK(K) (Direktur Lembaga Molekuler Eijkman)
4. Dr. Ariel Liebman, (Deputy Director Energy Materials and System Institute, Monash University, Australia)
5. Prof. Dr. Ken Seng Tan, (READI Project, University of Waterloo, Canada)
6. Dr. Laksana Tri Handoko (Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, LIPI)
7. Prof. Dr. Wolfgang Nellen, (Universität Kassel, Germany)
8. Prof. Dr. Andreas Ernst (Deputy Director of MAXIMA, Monash University, Australia)

Kepada semua Dekan-dekan anggota *MIPAnet* dan juga kepada kontributor atau pemakalah yang mempresentasikan makalahnya, para peserta yang mengikuti, sponsor maupun donator serta kepada PBI (Persatuan Biologi Indonesia) yang telah bekerjasama dan membantu terlaksananya kegiatan ini, kami atas nama seluruh panitia mengucapkan terimakasih.

Akhir kata, semoga seminar ilmiah di Manado ini membawa manfaat sebesar-besarnya bagi kehidupan bangsa dan negara Indonesia.

Manado, 24 Agustus 2017
Ketua Panitia

Ir. Feky Mantiri, M.Sc., Ph.D

Kata Sambutan Sekjen MIPAnet

MIPAnet (www.mipanet.or.id) yang dibentuk pada awal tahun 1999 di ITB Bandung adalah sebuah Jaringan Kerjasama Nasional Lembaga Pendidikan Tinggi Bidang MIPA yang beranggotakan Dekan FMIPA, Dekan FPMIPA, Dekan FST, dan Dekan FBIO. Pendirian MIPAnet bertujuan untuk meningkatkan kualitas sumberdaya keilmuan dan pendidikan bidang MIPA, memperjuangkan kepentingan seluruh anggota serta meningkatkan peran bidang MIPA dan Pendidikan MIPA bagi pembangunan Indonesia.

Setiap tahun MIPAnet menyelenggarakan seminar ilmiah yang dimaksudkan sebagai wadah untuk diseminasi hasil penelitian terbaru dari para pakar maupun peneliti bidang sains di Indonesia. Seminar yang diselenggarakan di Manado ini mengusung tema Sains untuk Kehidupan, yang menyajikan hasil penelitian di bidang Statistika, Matematika, Aktuaria, Biologi, Kimia, Farmasi, Pendidikan MIPA dan bidang terkait lainnya. Narasumber dari kegiatan ini adalah para pakar di berbagai bidang ilmu yang datang dari beberapa Negara, antara lain Kanada, Australia, Jerman dan Indonesia.

Kami berharap agar para pakar dan pembicara dalam seminar ini bisa sharing hasil penelitiannya, sehingga seluruh peserta seminar mendapatkan manfaat yang sebesar-besarnya dari kegiatan ilmiah ini. Kami juga berharap agar hasil diskusi dari pertemuan ilmiah ini dapat menjadi inspirasi, khususnya bagi para peneliti muda agar mereka dapat berkarya lebih produktif lagi di waktu-waktu mendatang.

Atas nama Pimpinan MIPAnet, kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Gubernur Sulawesi Utara, Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan - Kemenristekdikti, Rektor Universitas Sam Ratulangi, para narasumber, Pimpinan FMIPA Universitas Sam Ratulangi, para sponsor, panitia serta semua pihak yang telah mendukung suksesnya acara ini serta semua pihak yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk hadir dan berpartisipasi dalam kegiatan ini. Semoga semua jerih payahnya dicatat Allah dan dibalasNya dengan pahala tanpa batas. Amin.

Akhir kata, semoga seminar ilmiah di Manado ini berjalan lancar dan membawa manfaat sebesar-besarnya bagi kehidupan bangsa dan negara Indonesia.

Manado, 24 Agustus 2017
Sekretaris Jenderal MIPAnet

Dr. Ir. Sri Nurdianti, M.Sc

Keynote Speaker

INFORMATION TECHNOLOGY AND MATHEMATICS IS USED TO ADDRESS INDONESIA'S AND AUSTRALIA'S ENERGY CHALLENGES

Dr. Ariel Liebman

Deputy Director Energy Materials and System Institute
Monash University, Australia

Abstract

For the 150 years or more since the end of the industrial revolution in Europe, the fate of society, industry and national and global economies has been intimately tied with the energy sector. This is true whether we are talking about electricity, coal, oil or natural gas whose use has underpinned the massive technological changes that began in Europe and have swept over the world leading to economic growth and unprecedented material prosperity. While this has been largely regarded as desirable it has led to both rising CO₂ levels in the atmosphere and their associated climate crisis as well as depletion of fossil fuels reserves leading to cost increases and economic challenges for many developing countries.

In order to continue serving the needs of human social and community development, especially in developing countries such as Indonesia, a different approach to energy supply is required. Fortunately great progress has been made in the development of cheap renewable energy resource such as wind farms, solar photovoltaic (PV) panels as well as information technology enabled smart grid infrastructure. These technologies are being combined to provide cheap sustainable energy in countries around the world including Australia which has reached 10% solar PV penetration in the last 10 years.

These technologies can provide affordable energy solutions for both centralised energy production in areas well served by large scale electricity transmission grids in areas around the island of Java in Indonesia as well as in remote areas such as Indonesia's many islands and remote communities on large islands such as Kalimantan. This is equally relevant to remote communities in Australia that are separated from the larger population centres by vast deserts and other large developing regions such as India and Africa.

However, in order to efficiently and rapidly integrate these new technologies on a large scale several technical challenges need to be addressed. Most of these lie at the interface of the disciplines of Mathematics, Engineering, Information Technology and Economics. This talk will cover how these challenges are being tackled through the cross disciplinary approach taken within Monash University and the Australia Indonesia Centre energy cluster in a collaboration between Australian and Indonesian Universities. In particular this talk will focus on the application of the fields of optimisation, data science and machine learning to the solution of these problems.

Keynote Speaker

**AGRICULTURAL INSURANCE RATEMAKING: DEVELOPMENT OF
A NEW PREMIUM PRINCIPLE**

Ken Seng Tan

Sun Life Fellow in International Actuarial Science

University of Waterloo, Canada

Abstract

Determining the appropriate premium to charge for the underlying risk is central to delivering a sustainable agricultural insurance program. While this is fundamental to all types of insurance, in agriculture this is a particularly challenging task given systemic risk, information asymmetry, and a number of multifaceted factors pertaining to the loss experience data, including scarcity and credibility. The objective of this paper is to formally introduce premium principles to the agricultural insurance literature, with a focus on a new premium principle approach based on the multivariate weighted distribution. The multivariate weighted premium principle (MWPP) formalizes the reweighting of historical loss experience using external factors in order to refine the agricultural insurance pricing. These external factors may reflect systemic risk and include material information, such as economic and market conditions, weather, soil, etc. In the empirical study, a unique reinsurance data set from the province of Manitoba, Canada, is used to evaluate a number of potential premium principles. With the flexibility of the MWPP, the empirical results indicate that the MWPP approach can be a viable premium principle for pricing agricultural insurance. Furthermore, the MWPP redistributes premium rates and assigns increased loadings to higher risk layers, helping reinsurers manage their reserves and achieve improved sustainability in the long term.

Joint work with Wenjun Zhu and Lysa Porth.

Keynote Speaker

CRISPR/Cas9: BASICS AND APPLICATIONS IN "GENE SURGERY"

Prof. Dr. Wolfgang Nellen

Genetika Biologi - Universität Kassel, Germany

Abstract

The new gene editing tool CRISPR/Cas9 is derived from a defence system found in many archaea and eubacteria. In function it is similar to the adaptive immune system in higher animals but has an entirely different biochemical basis. Basic research and profound understanding of CRISPR/Cas has led to the development of an easy and efficient molecular tool to target specific regions in genomes of microbes, plants and animals including humans and to precisely introduce mutations in defined genes. In addition, complete genes or gene domains can be removed or foreign genes can be inserted. Further modifications of the system even allow for targeted epigenetic modifications. After a brief presentation of the origins and biochemistry of bacterial CRISPR/Cas systems, I will give examples for applications in biotechnology, animal and plant breeding and in medicine. With the recent advancements in modifying human embryos, ethical questions become highly relevant and will be discussed. Especially in Europe, legal issues have a substantial impact on applications and may prevent applications. A careful case by case evaluation of risks and benefits has to be done to avoid misuse and to still profit from the immense potential of the technology. As documented by China, there are great chances for Asian countries to go their own way beyond the dominance of the western world.

Keynote Speaker

PERAN BIOLOGI MOLEKULER DALAM PEMETAAN KEANEKARAGAMAN HAYATI

Amin Soebandrio^{1*)}

¹ Lembaga Biologi Molekuler Eijkman, Jl. Diponegoro 69 Jakarta 10430.

*Email: www.eijkman.go.id

Abstrak

Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman hayati terbesar kedua di dunia, bahkan mungkin nomor satu jika keanekaragaman hayati laut diperhitungkan. Perlu dipahami bahwa Keanekaragaman hayati tidak hanya terbatas pada flora, fauna, tetapi juga termasuk keragaman mikroba dan manusia. Saat ini sebagian besar pemetaan keanekaragaman hayati di Indonesia dilakukan dengan mempelajari keragaman fenotip atau bentuk (morfologi), dan proses metabolisme/biokimia dan metabolit yang dihasilkannya. Teknologi biologi molekuler memungkinkan analisis lebih dalam dan rinci dalam membedakan suatu makhluk dari makhluk lainnya. Pendekatan ini telah memungkinkan dilakukannya pemetaan sebaran tipe-tipe virus Dengue dan virus Hepatitis B diseluruh Indonesia, yang dapat memberikan informasi dasar bagi strategi pengembangan diagnostik dan vaksin. Kombinasi teknologi *polymerase chain reaction* (PCR), *sequencing*, dan bioinformatika telah membantu memastikan ada/tidaknya ketrekaitan patogen yang diisolasi di Indonesia dengan patogen serupa yang telah menyebabkan endemi dan/atau merupakan ancaman pandemi. Melalui pendekatan ini pula dapat dipelajari latar belakang genetik populasi Indonesia, yang sangat bermanfaat dalam mengetahui asal-usul manusia Indonesia, kerentanannya terhadap berbagai penyakit, serta dikemudian hari dapat mendukung penerapan *precision medicine* atau *personalized medicine* yang menjadi *trend* pengobatan dimasa depan. Melalui teknologi *DNA-finger printing*, pemetaan keragaman hayati berbasis biologi molekuler sangat berperan dalam mendukung kegiatan forensik, seperti paternitas serta berbagai tindakan kriminal seperti pemerkosaan, pembunuhan, perdagangan wanita dan anak, penyelundupan satwa liar langka/yang dilindungi maupun penyelundupan kayu, serta identifikasi korban bencana/perang. Teknologi *DNA-barcoding* memungkinkan untuk memastikan asal suatu tanaman atau hewan yang diselundupkan.

Kata Kunci: Biologi molekuler, PCR , diagnostik, sekuensing, bioinformatika

SEMINAR NASIONAL DAN RAPAT TAHUNAN MIPAnet TAHUN 2017

DAFTAR ISI PROSIDING

KEYNOTE SPEAKERS:

1	Information Technology and Mathematics is Used to Address Indonesia's and Australia's Energy Challenges	<u>Ariel Liebman</u>	iv
2	Agricultural Insurance Ratemaking: Development of a New Premium Principle	<u>Ken Seng Tan</u>	v
3	Crispr/Ca9: Basics and Applications ini "Gene Surgery"	<u>Wolfgang Nellen</u>	vi
4	Peran Biologi Molekuler dalam Pemetaan Keanekaragaman Hayati	<u>Amin Soebandrio</u>	vii

BIDANG MATEMATIKA:

1	Sistem Antrian Pasien Pada Dokter Berbasis Web Menggunakan Sms Gateway	<u>Angel Corputty,</u> <u>Thomas Ch. Suwanto, dan</u> <u>Rinaldi Munir</u>	1 – 10
2	Aplikasi Analisis Sentimen Cuitan di Twitter Menggunakan Algoritma Boyer Moore	<u>Angreanus Lukas,</u> <u>Rinaldi Munir, dan</u> <u>Debby Paseru</u>	11 – 20
3	Magnetohidrodinamika Fluida Mikroktub Yang Mengalir Melalui Bola Pejal di Bawah Pengaruh Medan Magnet	<u>Basuki Widodo,</u> <u>Dieky Adzkiya, dan</u> <u>Rizky Verdyanto Pratomo</u>	21 – 26
4	Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Pinjaman Menggunakan Fuzzy Simple Additive Weighting	<u>Dony M. Sihotang,</u> <u>Lorenzo B. Kanuru</u>	27 – 34

5	Aplikasi Fuzzy C-Means Sebagai Tool Pengambil Kebijakan dalam Upaya Menurunkan Tingkat Pengangguran di Provinsi Maluku	<u>Dorteus L. Rahakbauw, dan</u> <u>Mozart W. Talakua</u>	35 – 44
6	Model Trinomial pada Penentuan Harga Opsi Saham Karyawan	<u>Emli Rahmi</u>	45 - 52
7	Pemodelan Pengeluaran Per Kapita di Provinsi Bengkulu Menggunakan Small Area Estimation dengan Pendekatan Regresi Penalized Spline	<u>Idhia Sriliana,</u> <u>Etis Sunandi, dan</u> <u>Ulfasari Rafflesia</u>	53 – 60
8	Perbandingan Penggunaan Jeffrey's Prior dan Cauchy Prior untuk Mengatasi Pemisahan dalam Model Regresi Logistik Biner pada Kasus Pemberian Bantuan Kredit Petani Rumput Laut di Kabupaten Kupang	<u>Evellin Dewi Lusiana</u>	61 – 66
9	Hubungan Pengalaman Mengajar dan Partisipasi Guru dalam MGMP dengan Kompetensi Profesional Guru Matematika SMP Provinsi Maluku Utara	<u>Evi Hulukati,</u> <u>Bakri La Hasan, dan</u> <u>Siti Zakiyah</u>	67 – 76
10	Analisis Kemampuan Representasi Matematis dan Self Efficacy Siswa SMP Dalam Penerapan Open-Ended	Hanifah Nurus Sopiany, dan Shelvy Vidia Puspa Dewi	77 – 86
11	Modifikasi Sistem Predator-Prey: Dinamika Model Leslie-Gower Dengan Daya Dukung Yang Tumbuh Logistik	<u>Hasan S. Panigoro, dan</u> <u>Emli Rahmi</u>	87 – 96
12	Pengaruh Pemanenan Terhadap Model Verhulst Dengan Efek Allee	<u>Emli Rahmi, dan</u> <u>Hasan S. Panigoro</u>	97 – 104
13	Rekonstruksi Struktur Penalaran Matematis Mahasiswa Melalui Pemecahan Masalah Matematika	<u>Hery Suharna,</u> <u>In Hi. Abdullah, dan</u> <u>Ardiana</u>	105 – 116
14	Pemahaman Literasi Matematis Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Yang Berkaitan Dengan Materi Bangun Ruang	<u>Indrie Noor Aini</u>	117 – 122

15	Penentuan Status Pemanfaatan dan Skenario Pengelolaan Ikan Tongkol (<i>Auxis Rochei</i>) di Perairan Manado - Sulawesi Utara	<u>John S. Kekenusa,</u> <u>Sendy B. Rondonuwu,</u> dan <u>Marline S. Paendong</u>	123 – 136
16	Analisis Deskripsi Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Kasus Gizi Buruk pada Balita di Sumba Timur NTT	<u>Keristina Br. Ginting,</u> <u>Rapmaida M. Pangaribuan,</u> dan <u>Meksianis Z. Ndii</u>	137 – 150
17	Pemahaman Matematis Siswa dalam Penyelesaian Masalah yang Berkaitan dengan Konsep Kecepatan	<u>Kiki Nia Sania Effendi</u>	151 – 158
18	Teori Himpunan Lunak dan Beberapa Operasinya	<u>Muhammad Abdy</u>	159 – 164
19	Aplikasi Bursa Rental Lapangan Futsal Berbasis Android	<u>Michael George</u> <u>Sumampouw</u>	165 – 172
20	Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Pada Hewan Ternak Menggunakan Certainty Factor Berbasis Web	<u>Ni Made Herlinawati,</u> <u>Immanuela P. Saputro,</u> <u>Rinaldo Turang</u>	173 – 180
21	Aplikasi Analisis Gerombol dan Visualisasi Multidimensional Gempa Bumi Provinsi Bengkulu dan Sekitarnya	<u>Fachri Faisal,</u> <u>Pepi Novianti,</u> <u>Jose Rizal</u>	181 – 190
22	Pendekatan Creative Problem Solving (CPS) Problem Solving (PS) dan Direct Instruction (DI) Terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Mahasiswa Calon Guru	<u>Rika Mulyati Mustika</u> <u>Sari</u>	191 – 200
23	Pengaruh Strategi Vaksinasi Kontinu pada Model Epidemik SVRIS	<u>Tonaas Kabul Wangkok</u> <u>Yohanis Marentek</u>	201 – 210
24	Model Means-Ends-Analysis yang Dimodifikasi dengan Disertai Didactical Enginnering untuk Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa SMP	<u>Wahid Umar</u>	211 – 224
25	Identification of Manado's Pilwako as The Candidate Mayor Territory Political Power In 2015 Using EM Algorithm With Model Based Selection	<u>Winsy Weku,</u> <u>Altien Rindengan</u>	225 – 234

- 26 Kajian Penerapan Model Pembelajaran Student Facilitator And Explaining Dan Group Investigation Dalam Pembelajaran Matematika Sistim Persamaan Linear Dua Peubah(Suatu Penelitian di SMP Negeri 4 Tondano)
Vivian Eleonora Regar 235 – 240

BIDANG FISIKA:

- 27 Dinamika Glukosa Dan Insulin Pada Tubuh Manusia Dengan Menggunakan Oral Minimal Model Termodifikasi
Agus Kartono,
Rakhmat Febriana,
Ardian Arif Setiawan,
Heriyanto Syafutra,
Setyanto Tri Wahyudi 241 – 248
- 28 Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Suseptibilitas Magnetik Dan Perubahan Fasa Barium Ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat
Arif Budiman,
Dwi Puryanti,
Muhammad Rizki,
Helfi Syukriani 249 – 254
- 29 Rancang Buat Lampu Hemat Energi Berbasis Led Dan Sel Surya Sebagai Alat Penerangan
Arifin,
Juritno,
Dahlang Tahir,
Syamsir Dewang 255 – 258
- 30 Dinamika Medan Skalar Dalam Kosmologi
Bansawang Bj,
Tasrief Surungan,
Azwar Sutiono 259 - 264
- 31 Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Rumah Tambak
Bidayatul Armynah,
Syahir Mahmud 265 – 272
- 32 Kemampuan Mahasiswa Mendeskripsikan Dan Mengasosiasi Hubungan Antar Komponen Fisis Tanah Longsor
Djeli Tulandi 273 – 280
- 33 Pengaruh Penambahan Polyethylene Glycol (PEG) Terhadap Sifat Magnetik Dan Sifat Listrik Maghemit ($\Gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Yang Disintesis Dari Magnetit Batuan Besi
Dwi Puryanti,
Muhammad Ikhsan,
Arif Budiman 281 – 286

34	Penerapan Sistem Sensor Serat Optik Untuk Pengukuran Frekuensi Getaran Mesin Sepeda Motor	<u>Harmadi,</u> <u>Nadia Yudia Putri,</u> <u>Wildian</u>	287 – 292
35	Desain Dan Fabrikasi Sistem Akuisisi Data Untuk Mengukur Kadar Karbon Dioksida, Kelembaban Dan Temperatur Di Lahan Gambut	<u>Iwan sugriwan,</u> <u>Fajar sukarno,</u> <u>Arfan eko fahrudin</u>	293 – 302
36	Aplikasi Metode Geolistrik, Geomagnet Dan Citra Satelit Untuk Mengetahui Potensi Air Tanah Di Pulau Pura, Alor	<u>Jehunias L. Tanesib,</u> <u>Johnson Tarigan,</u> <u>Fidelis Sun Dawi,</u> <u>Felix K. A. Durto</u>	303 – 318
37	Penyelidikan Geokimia Panas Bumi Lau Sidebuk-Debuk Kabupaten Karo Sumatera Utara	<u>Juliper Nainggolan,</u> <u>Cristin Sitepu</u>	319 – 324
38	Deposisi Lapisan Tipis Opal Menggunakan Capillary Deposition Method	<u>Muldarisnur,</u> <u>Frank Marlow</u>	325 – 330
39	Analisis Kapasitas Bencana Gempabumi Di Kota Palu	<u>Rusydi H. Rustan</u> <u>Effendi,</u> <u>Muhammad Basir Cyio,</u> <u>Rahmawati</u>	331 – 340
40	Pengaruh Aspek Meteorologi Terhadap Produksi Garam Air Payau Di Desa Losarang, Kabupaten Indramayu	<u>Sandy H.S. Herho,</u> <u>Gisma A. Firdaus,</u> <u>Plato M. Siregar</u>	341 – 352
41	Rancang Bangun Sistem Telemetry Pendeteksian Dini Tsunami Berdasarkan Laju Surut Air Laut	<u>Wildian,</u> <u>Nini Firmawati,</u> <u>Tania Mayang Sari</u>	353 – 362
42	Ekstrak Kulit Buah Kakao Sebagai Aditif Pada Sintesis Lapisan Kuprum (Cu)	<u>Dahyunir Dahlan,</u> <u>Nurry Putri Tissos,</u> <u>Yuli Yetri</u>	363 – 368

- 43 Comparison Of Two Models Peak Ground Acceleration (PGA) On Maluku North Area
Tati Zera,
M. Nafian,
Ilman Luthfi H,
Lusty Nur A 369 – 376
- 44 Struktur Mikro Endapan Sinter Sekitar Mata Air Panas di Solok dan Solok Selatan, Sumatera Barat(PGA) On Maluku North Area
Ardian Putra,
Darma Yulia Inanda,
Afdal Fajri Salim,
Fani Buspa 377 – 382
- 45 Pengaruh Komposisi Campuran Terhadap Sifat Mekanik Bata Ringan Berbahan Pasir Limbah Tambang Intan dan Abu Terbang Batubara
Ninis Hadi Haryanti dan
Henry Wardhana 383 – 390
- BIDANG KIMIA:**
- 46 Asam Protokatekuat Dari Ekstrak Etil Asetat Biji Honje (*Etlingeria elatior*) Dan Aktivitas Antioksidannya
Dede Sukandar,
Siti Nurbayti,
Tarso Rudiana,
Ibnu Umarudin Umedi 391 – 396
- 47 Bioethanol Production From Hydrolyzed Corncob By Cellulase Enzyme Of *Bacillus cereus*
Elida Mardiah,
Rico Saputra,
Armaini 397 – 402
- 48 Optimasi Ekstraksi Antioksidan Dalam Tumbuhan Meniran (*Phyllanthus niruri*) Menggunakan Ultrasonik Dan Penentuan Kadar Dengan Metode DPPH
Indrawati,
Refilda,
Muhammad Arif 403 – 410
- 49 Analisa Kandungan Klorofil A Pada Beberapa Posisi Anak Daun Pada Daun Tanaman Aren
Julius Pontoh,
Lydia Priskila Kamagi 411 – 416

- 50 Uji Toksisitas Dan Aktifitas Antioksidan Pada Berbagai Ekstrak Rumput Laut *Eucheuma spinosum* Dari Perairan Sulawesi Utara
Lena Damongilala,
Fitje Losung,
Defni Wewengkang 417 – 426
- 51 Spons (Porifera) Sebagai Bioakumulator Logam Berat Timbal (Pb)
Lydia Melawaty,
Akbar Tahir 427 – 432
- 52 Senyawa Metabolit Sekunder Dan Aktivitas Antioksidan Fraksi Etil Asetat Umbi Suweg (*Amorphophallus Paeoniifolius*)
Nanik S. Aminah,
Elma Fitriana,
Alfinda N. Kristanti 433 – 440
- 53 Performance Elektroda Kapasitor Elektrokimia Berbahan Dasar Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit Dengan Asam Pospat (H_3PO_4) Sebagai Elektrolit
Olly Norita Tetra,
Hermansyah Aziz,
Admin Alif,
Ridy Elpika 441 – 448
- 54 Kajian Pengaruh Rasio Atom Ce/Ni Prekursor Terhadap Karakter Katalis Ni-Ce/ZAAEF
Theo Da Cunha,
Kasimir Sarifudin,
Yantus A.B. Neolaka 449 – 460
- 55 Optimalisasi Alkali Dalam Proses Swelling Selulosa Dari Limbah Tongkol Jagung
Wiwin Rewini Kunusa,
Hendrik Iyabu,
Lukman Laliyo,
Deasy Natalia Botutihe 461 – 468
- 56 Uji Senyawa Antimikroba Dari Asam Lemak Dan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Mikroalga *Nannochloropsis oculata*
Zulkarnain Chaidir,
Sari Rahmi,
Marniati Salim 469 – 478

BIDANG BIOLOGI:

- 57 Pengembangan Media Pembelajaran Biologi Berupa Magic Disc Mata Kuliah Taksonomi Hewan Pada Materi Vertebrata Untuk Mahasiswa Biologi
Afreni Hamidah,
Andreo Satria,
Upik Yelianti 479 – 486

58	Penggunaan Pestisida Nabati Terhadap Hama Penting Tanaman Cabai Di Kabupaten Minahasa Utara	<u>Christina Salaki,</u> <u>Jantje Pelealu</u>	487 – 492
59	Elemen Biomineral Biang Mutiara Kerang <i>Sinanodonta Woodiana</i> (Lea, 1834) Yang Dikultur Dalam Kolam Berbeda	<u>Cyska Lumenta,</u> <u>Ockstan Kalesaran</u>	493 – 498
60	Otolit Ikan Layang, <i>Decapterus Muroadsi</i> Dari Teluk Kema, Sulawesi Utara	<u>Fransine B. Manginsela,</u> <u>Gybert E. Mamuaya,</u> <u>Cornelis F.T. Mandey</u>	499 – 504
61	Struktur Mikro Batu Telinga Ikan Cakalang <i>Katsuwonus pelamis</i>	<u>Gybert E. Mamuaya,</u> <u>Cornelis F.T. Mandey,</u> <u>Fransine B. Manginsela</u>	505 – 510
62	Analisis Karakteristik Tanah Dengan Perlakuan Pupuk Organik Dari Perairan Danau Tondano	<u>Karamoy Lientje TH,</u> <u>Wiesje Kumolontang</u>	511 – 516
63	Sumber-Sumber Belajar Sains Masyarakat Pesisir Dan Terisolir Di Desa Luluo Biluhu Gorontalo	<u>Masri Kudrat Umar,</u> <u>Yuniarti Koniyo,</u> <u>Sukarman Kamuli,</u> <u>Nelson Pomalingo</u>	517 – 524
64	Struktur Anatomi Daun Dan Batang Tumbuhan Kangkung Air (<i>Ipomea aquatica</i>) Yang Terpapar Logam Berat Merkuri (Hg)	<u>Novri Youla Kandowangko</u> <u>Jusna Ahmad</u> <u>Soyan Estela Makalalag</u>	525 – 536
65	Karakteristik Vegetasi Riparian Daerah Aliran Sungai Ranoyapo, Provinsi Sulawesi Utara	<u>Ratna Siahaan,</u> <u>Parluhutan Siahaan</u>	537 – 540
66	Aktivitas Harian Tikus Ekor Putih (<i>Maxomys Hellwaldii</i> Jentink, 1878) Di Kandang	<u>Saroyo,</u> <u>Trina E. Tallei,</u> <u>Fernandes T. Upa</u>	541 – 546

- 67 Profil Keragaman Dan Kelimpahan Echinodermata Di Zona Intertidal Pantai Banyo Sabu Raijua Nusa Tenggara Timur
Frederikus D. H. Manlea,
Vinsensius M. ATI,
Fransiskus Kia Duan,
Ike Septa F. Muktiawati 547 – 554
- 68 Potensi Polisakarida Krestin Dalam Menurunkan Kadar Glukosa Darah Dan Nitrit Pada Mencit Akibat Induksi 2-Methoxyethanol
Win Darmanto,
Sri Puji Astuti Wahyuningsih,
Elma Sakinatus Sajidah,
Maliya Izzatin,
Firas Khaleyla 555 – 562
- 69 Kandungan Tanin Sebagai Resistensi Antibiosis Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea L.*) Yang Diinduksi Elisitor Ekstrak *Sida rhombifolia L.* Dan *Plantago mayor L*
Henny L. Rampe,
Stella D. Umboh,
Marhaenus J. Rumondor 563 – 570
- 70 Toksisitas Jamur Tanah Famili Trichocomaceae Terhadap Fungisida Antracol Di Pertanaman Sayuran Kubis
Stella D. Umboh,
Henny L. Rampe 571 – 578

BIDANG FARMASI:

- 71 Pengaruh Ekstrak Etanol Daun Sukun (*Artocarpus Altilis (Parkinson Ex F.A.Zorn)Fosberg*) Terhadap Kadar Ureum Dan Kreatinin Dan Gambaran Histopatologi Ginjal Tikus Putih Jantan (*Rattus norvegicus*)
Joni Tandi 579 – 588
- 72 Skrining Fitokimia Ekstrak N-Heksan Batang Kayu Kuning (*Arcangelesia flava (L.) Merr*)
Madania,
Hamsidar Hasan 589 – 596
- 73 Pengaruh Pva (Polivinil Alkohol) Dalam Pembentukan Film Primer Dari Ekstrak Gel Rumput Laut
Nur Ain Thomas,
Sudirman Ota 597 – 600
- 74 Terapi Antibiotik Pada Demam Tifoid Anak Di RSUD DR M.M. Dunda Tahun 2016
Teti Sutriyati Tuloli 601 – 606

- 75 Hepatoprotektor Teripang Laut (*Holothuria Scabra*) Secara In Vivo Dengan
Parameter SGPT

Widy Susanti Abdulkadir 607 – 612

SISTEM ANTRIAN PASIEN PADA DOKTER BERBASIS WEB MENGGUNAKAN SMS GATEWAY

ANGEL CORPUTTY¹, THOMAS CH. SUWANTO², RINALDI MUNIR³

¹Universitas Katolik De La Salle Manado, angel.crptt@gmail.com

²Universitas Katolik De La Salle Manado, tsuwanto@unikadelasalle.ac.id

³Institut Teknologi Bandung, rinaldi@informatika.org

Abstrak

Dalam kehidupan sehari-hari, antrian sering dijumpai kapanpun dan dimanapun, seperti di supermarket, pelayanan kantor, bank, kantor pos, pelayanan dokter, dan masih banyak lagi. Antrian yang sangat panjang dan lama terkadang membosankan dan merugikan, terlebih lagi antrian pelayanan dokter anak. Orang tua yang membawa anaknya untuk dilayani oleh dokter anak pasti pernah merasakan keadaan dimana anak mereka mengeluh karena telah lama menunggu atau lama mengantri agar dapat dilayani oleh dokter. Hal lainnya yang dapat terjadi adalah bahwa anak-anak mereka memiliki resiko terkontaminasi virus penyakit dari anak lain. Salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut adalah memanfaatkan perkembangan teknologi saat ini, yaitu SMS Gateway dan Google Maps. Dengan memanfaatkan teknologi ini, diharapkan menjadi solusi untuk mengatasi masalah antrian yang sering terjadi pada tempat praktik dokter. Pasien tidak perlu menunggu terlalu lama di ruang tunggu, melainkan pasien dapat mendatangi ruang tunggu apabila gilirannya hampir tiba. Sistem ini memakai layanan peta dari Google Maps agar dapat mengetahui jarak dan estimasi waktu tempuh dari posisi pasien ke tempat dokter praktik. Pembangunan sistem ini menggunakan bahasa pemrograman web PHP, basis data MySQL versi 5.6.24, dan menggunakan kaskas pemodelan UML. Sistem berhasil dibangun dan dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem ini berfungsi sesuai dengan analisis dan dapat digunakan untuk mengatasi masalah antrian pada tempat praktik dokter.

Kata Kunci: Antrian, SMS Gateway

1. PENDAHULUAN

Antrian dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai apabila ada pihak yang harus menunggu untuk mendapatkan sebuah pelayanan. Antrian sangat mungkin terjadi karena banyak orang membutuhkan pelayanan yang sama dalam waktu yang bersamaan. Semakin banyak pihak yang memasuki antrian, maka jumlah antrian dan panjangnya antrian akan semakin bertambah. Jika terjadi demikian, maka perusahaan atau instansi dituntut agar dapat mengatasi jumlah dan panjangnya antrian yang semakin bertambah sehingga tidak memerlukan waktu yang lama untuk menunggu agar dapat mendapatkan pelayanan.

Kesehatan merupakan salah satu faktor utama dalam kehidupan manusia. Apabila kesehatan terganggu, maka kelangsungan aktifitas manusia akan terganggu. Tingkat kesehatan manusia mulai dari bayi sampai orang dewasa berbeda. Tingkat kesehatan

tersebut sangat bergantung pada sistem daya tahan tubuh manusia. Jika kesehatan seseorang terganggu, biasanya orang tersebut akan pergi ke dokter atau fasilitas pelayanan kesehatan lainnya untuk memeriksakan kesehatannya.

Dalam sebuah klinik atau rumah sakit terdapat beberapa dokter praktik yang memiliki keahlian di bidang-bidang tertentu, salah satunya adalah dokter anak. Kalangan anak sangat rentan terserang gangguan kesehatan. Gangguan kesehatan yang dialami pun berbagai macam, mulai dari gangguan kesehatan ringan sampai gangguan kesehatan berat. Selain itu, dokter praktik anak juga didatangi oleh anak-anak yang ingin diimunisasi. Tentunya dokter praktik anak akan dipenuhi oleh anak-anak yang mengalami gangguan kesehatan dan anak-anak yang ingin diimunisasi. Sebelum diperiksa oleh dokter, anak-anak yang mengalami gangguan kesehatan akan didata terlebih dahulu sebagai pasien. Setelah didata, pasien akan menerima nomor antrian dan akan dipersilahkan menunggu hingga tiba gilirannya. Jika pasien yang merupakan kalangan anak-anak berkumpul dalam sebuah ruangan sambil menunggu giliran untuk diperiksa dokter, maka kemungkinan yang terjadi adalah virus yang menjadi penyebab gangguan kesehatan anak yang satu dapat berpindah ke anak yang lainnya. Terlebih lagi jika ada seorang bayi yang belum diimunisasi, yang pada saat itu berada di dalam ruangan yang sama dengan pasien lainnya. Setiap orang tua yang mengantarkan anaknya pun tidak ingin menunggu terlalu lama dikarenakan mereka menghindari hal-hal tersebut.

Posisi keberangkatan orang tua dan pasien tentunya berbeda-beda, ada yang dekat dan ada yang jauh dengan tempat praktik dokter. Orang tua dan pasien yang posisi keberangkatannya dekat tentu dapat memperkirakan waktu tempuh ke tempat praktik dokter. Namun, orang tua dan pasien yang posisi keberangkatannya jauh terkadang sulit untuk memperkirakan waktu tempuh ke tempat praktik dokter. Dengan kata lain, orang tua dan pasien harus memperkirakan total waktu dari waktu tempuh dan waktu kira-kira pelayanan dokter agar mereka tidak perlu menunggu terlalu lama di ruang tunggu.

Terdapat beberapa aplikasi yang telah dibangun sebelumnya yang mirip dengan aplikasi yang akan dibangun, salah satunya adalah *Quiueing System* dengan *Voice* untuk Rumah Sakit atau Klinik Menggunakan PHP MySQL dengan Konsep *First In First Out*. *Quiueing System* dengan *Voice* untuk Rumah Sakit atau Klinik Menggunakan PHP MySQL dengan Konsep *First In First Out* [1] adalah aplikasi yang dibangun untuk mengatasi sistem antrian manual yang masih menggunakan kartu antrian manual dan mengatasi calon pasien yang seringkali mengambil kartu antrian sebelum loket pelayanan dibuka. Namun fitur yang dimiliki aplikasi ini sangatlah terbatas.

Maka dalam makalah ini, penulis akan membangun sebuah Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis *Web* Menggunakan *SMS Gateway*, dimana aplikasi ini nantinya dapat membantu dalam proses pendaftaran pasien sehingga tidak terjadi penumpukan antrian pada saat menunggu di tempat praktik. Aplikasi ini akan menggunakan fitur *SMS Gateway* untuk membantu mengirimkan pesan kepada pasien secara otomatis mengenai giliran pasien, sehingga pasien dapat datang saat mendekati gilirannya. Aplikasi akan mengirimkan pesan apabila giliran pasien untuk dilayani oleh dokter hampir tiba. Selain pesan informasi mengenai nomor antrian dan giliran, pasien pun terkadang ingin mengetahui sisa jumlah antrian sebelum gilirannya. Pesan yang akan diterima oleh pasien adalah empat pesan, dimana dalam pesan-pesan tersebut akan ada informasi mengenai sisa jumlah antrian sebelum giliran pasien tersebut. Aplikasi ini juga menggunakan fitur *Google Maps*, dimana akan ditulis posisi pasien maka secara otomatis akan tertera jarak dan perkiraan waktu dari posisi pasien ke tempat dokter praktik. Dengan kata lain, pasien tidak perlu menunggu terlalu lama agar dapat dilayani oleh dokter. Aplikasi ini nantinya dapat diakses darimana saja secara *online*, sehingga pasien pun dapat melakukan pendaftaran *online*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antrian

Menurut Kakiay [2], antrian merupakan sebuah aktivitas dimana seseorang menunggu untuk memperoleh sebuah layanan. Antrian dapat terjadi karena keterbatasan sumber daya pelayanan, namun yang sering terjadi adalah faktor ekonomi yang menjadi pembatas terkait dengan jumlah *server* yang harus disediakan oleh sistem. Antrian yang sangat panjang dan terlalu lama akan menyebabkan *costumer* menjadi tidak nyaman. Lamanya waktu menunggu biasanya sangat bergantung pada tingkat kecepatan pelayanan.

Adanya sebuah antrian sangat bergantung dari waktu kedatangan dan proses pelayanan. Penentu lainnya adalah sebuah aturan yang menjelaskan cara melayani *costumer*. Pada umumnya model antrian mengasumsikan bahwa *costumer* memiliki perilaku yang sabar meskipun antriannya sangat panjang. Namun pada kenyataannya, banyak *costumer* yang tidak jadi masuk ke dalam antrian atau bahkan meninggalkan antrian karena antrian yang sangat panjang. Faktor penting dalam sebuah sistem antrian adalah pelanggan dan pelayan, dimana ada periode waktu yang dibutuhkan oleh seorang pelanggan untuk mendapatkan pelayanan [2]. Waktu pelayanan terhadap setiap pelanggan harus dapat dihitung. Dalam model antrian, waktu pelanggan datang dan waktu pelayanan dapat dinyatakan dalam distribusi probabilitas yang terkait dengan distribusi waktu kedatangan dan pelayanan.

Walaupun waktu kedatangan merupakan faktor utama dari analisis antrian, terdapat juga faktor lain yang juga penting, yaitu [2]:

1. Sistem pemilihan untuk menentukan mana yang akan dilayani terlebih dahulu, yang mana hal ini menunjuk pada disiplin pelayanan yang dilakukan. Sistem pemilihan tersebut adalah:
 - a. FIFO (*First In First Out*) atau sering juga disebut FCFS (*First Come First Served*) yaitu suatu peraturan dimana yang akan dilayani terlebih dahulu adalah pelanggan yang datang terlebih dahulu. Contohnya adalah antrian di loket penjualan kereta api.
 - b. LCFS (*Last Come First Served*) atau sering juga disebut LIFO (*Last In First Out*) yaitu suatu peraturan dimana yang datang paling akhir yang akan dilayani paling awal. Contohnya adalah pada sistem bongkar muat barang di dalam truk, dimana barang yang masuk terakhir akan dikeluarkan terlebih dahulu.
 - c. SIRO (*Service In Random Order*) atau sering juga disebut RSS (*Random Selection for Service*) yaitu pelayanan yang dilakukan secara acak. Contohnya adalah pada arisan, dimana pelayanan dilakukan berdasarkan undian (*random*).
 - d. Prioritas pelayanan yaitu pelayanan yang dilakukan khusus pada pelanggan utama (*VIP customer*). Contohnya adalah dalam suatu pesta, dimana para tamu yang dikategorikan VIP akan dilayani terlebih dahulu.
2. Fasilitas pelayanan yang dirancang untuk menampung pelanggan yang banyak dan akan dilayani secara serentak, yang sering disebut *Parallel Servers* (pelayanan secara paralel). Terdapat juga urutan pelayanan yang secara normal dikenal dengan sebutan *Tandem Queues* atau Antrian Seri. Dengan adanya dua keadaan tersebut, maka dapat dibuat sebuah Antrian *Network* (*Networking Queues*).
3. Ukuran jumlah antrian, seperti yang sering terjadi pada tempat parkir terbatas di *drive in* sebuah bank yang hanya tersedia untuk beberapa kendaraan. Jika antrian

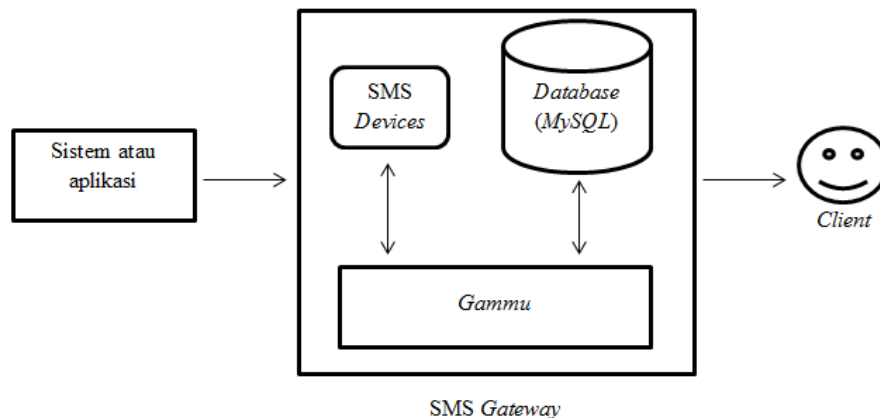
kendaraan memenuhi kapasitas tempat parkir, maka pelanggan yang baru masuk tidak akan dapat dilayani dan harus meninggalkan antrian.

4. Faktor yang berasal dari sumber tertentu yang harus dilayani secara berurutan, dikenal dengan istilah *Calling Sources*, dimana pelanggan datang secara terbatas atau dapat juga secara tak terhingga.

Pelanggan dan pelayan yang ada dalam sebuah antrian adalah manusia yang berperilaku (*human behaviour*). Sebagai pelayan (*human server*), pelayan dapat melayani dengan kecepatan tinggi sehingga dapat mengurangi waktu menunggu, atau juga melayani dengan lambat sehingga dapat memperlama waktu menunggu. Sebagai pelanggan (*human customer*) juga dapat berpindah dari satu baris antrian ke baris antrian yang lain untuk memperpendek antrian.

2.2 SMS Gateway

Menurut Afrina dan Ibrahim [3], SMS atau *Short Message Service* adalah kemampuan untuk mengirim dan menerima pesan dalam bentuk teks dari satu ponsel ke ponsel lainnya. Menurut Ramadhika [4], *SMS Gateway* merupakan sebuah gerbang yang menghubungkan komputer dengan *client* melalui SMS (*Short Message Service*). Secara tidak langsung, *client* berinteraksi dengan sistem atau aplikasi melalui *SMS Gateway*. Saat akan melakukan proses pengiriman SMS, informasi terpenting yang diperlukan adalah nomor tujuan dan isi pesan. Contoh penerapan *SMS Gateway* yang saat ini mulai diterapkan di dunia akademik adalah pengumuman beasiswa, pengumuman ruang tes, dan lain sebagainya. Pengumuman-pengumuman tersebut dilakukan satu arah oleh sistem secara otomatis. Saat informasi telah terkumpul, sistem akan melakukan penulisan ke dalam *database* yang selanjutnya akan diolah oleh *gammu* agar dapat dikirimkan ke nomor tujuan. Secara garis besar, *SMS Gateway* dapat digambarkan seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alur SMS Gateway [4]

Aplikasi *SMS Gateway* adalah sebuah perangkat lunak yang menggunakan bantuan komputer dan memanfaatkan teknologi seluler yang diintegrasikan, yang berguna untuk mendistribusikan pesan yang dipadukan melalui media SMS dan ditangani oleh jaringan seluler [3].

2.3 Gammu

Menurut Ramadhika [4], *Gammu* merupakan sebuah aplikasi *cross-platform* yang digunakan untuk menjembatani *database SMS Gateway* dengan *SMS Devices*. Aplikasi *Gammu* setiap saat akan memonitor *SMS Devices* dan *database SMS Gateway*. Saat ada SMS masuk ke *SMS Devices*, maka *Gammu* langsung memindahkannya ke dalam *inbox*

yang berada di dalam *database SMS Gateway*. Sebaliknya saat aplikasi pengirim SMS memasukkan SMS ke dalam *outbox* yang berada di dalam *database SMS Gateway*, maka *Gammu* akan mengirimkannya melalui *SMS Devices* dan memindahkannya SMS ke *sentimen* dalam *database*.

Pada prinsipnya, cara kerja *Gammu* adalah menghubungkan modem atau ponsel dengan *Personal Computer (PC)*, dimana pesan yang diterima di modem atau ponsel akan diambil oleh *Gammu* untuk dipindahkan ke dalam *database* yang telah diatur sebelumnya [3].

2.4 Google Maps Service

Google Maps Service merupakan sebuah jasa global *virtual* gratis dan *online* yang disediakan oleh perusahaan *Google*. *Google Maps* menawarkan peta yang dapat diseret dan gambar satelit untuk seluruh dunia, serta menawarkan pencarian suatu tempat dan rute perjalanan.

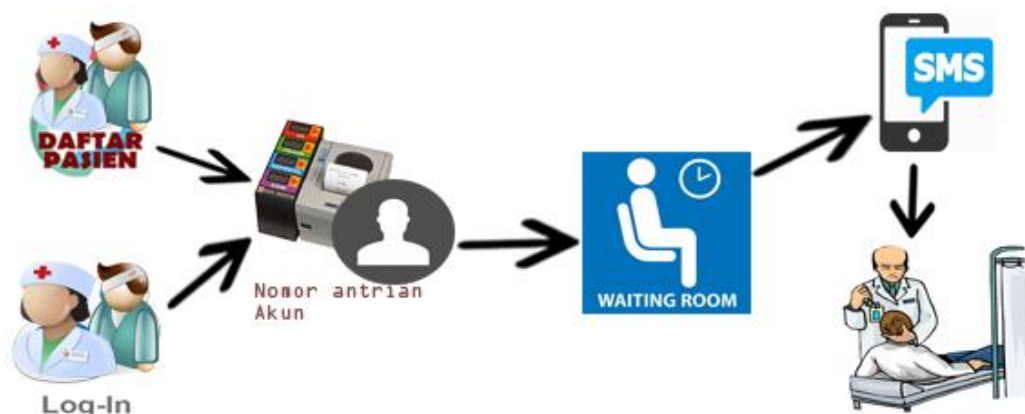
Layanan ini diberikan oleh *Google* kepada para pengguna untuk memanfaatkan *Google Maps* dalam mengembangkan aplikasi. *Google Maps API* menyediakan beberapa fitur untuk memanipulasi peta, menambah konten melalui berbagai jenis *services* yang dimiliki, dan memungkinkan para pengguna untuk membangun aplikasi *enterprise* di dalam websitenya [5].

3. HASIL

Pengujian aplikasi dilakukan oleh lima orang tua pasien (salah satu orang tua). Satu orang tua pasien berpendapat bahwa aplikasi yang dibangun telah berfungsi dengan baik, namun tidak terlalu efektif karena kebanyakan orang tua yang telah lanjut usia pasti akan merasa kesusahan dalam menggunakan aplikasi tersebut. Empat orang tua pasien pun berpendapat bahwa aplikasi yang telah dibangun telah berfungsi dengan baik, dan mereka merasa bahwa aplikasi ini akan sangat membantu proses antrian pada pelayanan dokter anak.

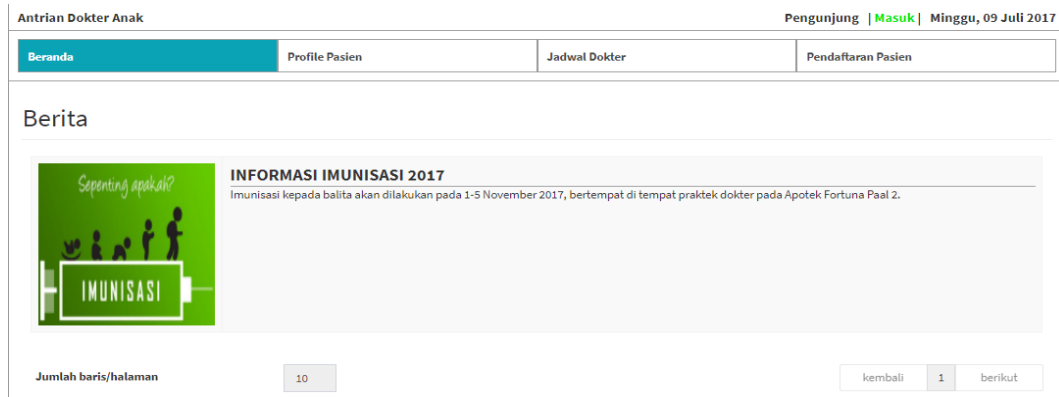
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa semua fungsi telah berjalan dengan baik dan Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis Web Menggunakan *SMS Gateway* berhasil dibangun.

4. GAMBAR DAN TABEL



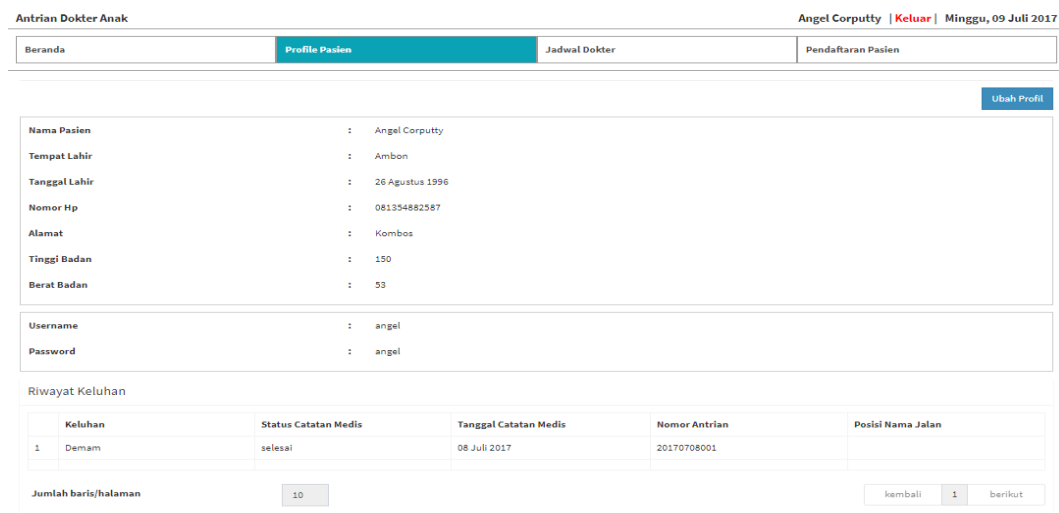
Gambar 4.1 Alur SMS Gateway

Suster dan pasien dapat melakukan registrasi akun (pendaftaran), pasien boleh mendatangi suster untuk melakukan registrasi akun dan pasien juga boleh melakukan registrasi akun tanpa mendatangi suster. Setelah registrasi akun, pasien dan suster dapat *log-in* ke aplikasi. Jika pasien telah mengisi semua data diri dan keluhan, maka pasien akan mendapatkan nomor antrian. Setelah mendapatkan nomor antrian, maka pasien akan menunggu di ruang tunggu. Selama menunggu gilirannya, pasien akan menerima empat pesan yang berisi informasi antrian. Setelah gilirannya telah tiba, maka pasien tersebut akan dilayani oleh dokter.



Gambar 4.2 Antarmuka Halaman Utama

Gambar 4.2 merupakan tampilan awal dari Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis Web Menggunakan SMS Gateway. Pada tampilan ini terdapat beberapa menu yang dapat diakses oleh pengguna.



Gambar 4.3 Antarmuka Profil Pasien

Gambar 4.3 merupakan tampilan yang berisi informasi tentang pasien. Informasi tersebut adalah data diri pasien dan riwayat keluhan pasien.

Antrian Dokter Anak Angel Corpussy | Keluar | Minggu, 09 Juli 2017

Beranda	Profile Pasien	Jadwal Dokter	Pendaftaran Pasien

Nama Dokter : dr. Audrey
Pendidikan : Spesialis Anak
Jam Buka : 17:00
Jam Tutup : 21:00

Peta ☒ Satelit



Gambar 4.4 Antarmuka Jadwal Dokter

Gambar 4.4 merupakan tampilan yang berisi informasi tentang jadwal praktik dokter dan posisi tempat praktik dokter.

Antrian Dokter Anak Almyra Suwanto | Keluar | Rabu, 19 Juli 2017

Beranda	Profile Pasien	Jadwal Dokter	Pendaftaran Pasien

1. Keluhan *

Lokasi (posisi keberangkatan pasien)

Masukan lokasi

Peta ☒ Satelit



Gambar 4.5 Antarmuka Jadwal Dokter

Pendaftaran pasien telah berhasil dilakukan. Pastikan Nomor HP yang diisi sedang diaktifkan, karena sistem akan mengirimkan pesan mengenai giliran anda!

Nomor antrian anda adalah : 001

Ok

Gambar 4.6 Antarmuka Informasi Nomor Antrian

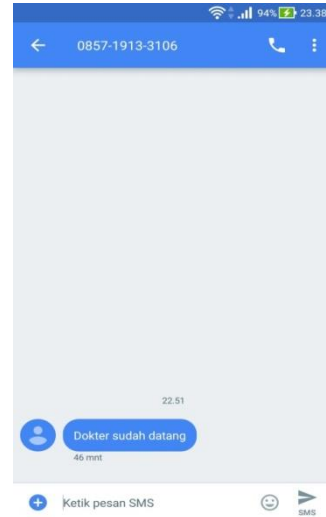
Gambar 4.5 merupakan tampilan yang mengizinkan pasien untuk melakukan pendaftaran. Pasien harus memiliki akun terlebih dahulu agar dapat melakukan pendaftaran.

Jika pendaftaran telah berhasil dilakukan, akan muncul tampilan yang berisi informasi tentang nomor antrian pasien dan himbauan agar nomor *handphone* yang dimasukkan

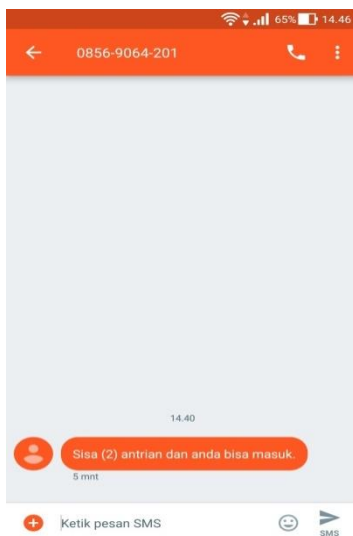
sedang diaktifkan, agar memudahkan pengiriman pesan dari aplikasi kepada pasien. Tampilan informasi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



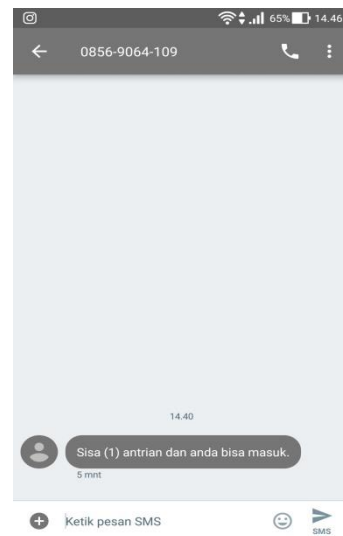
Gambar 4.7 Antarmuka Pesan Pertama



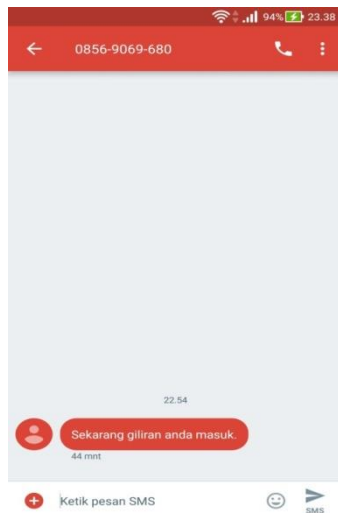
Gambar 4.8 Antarmuka Pesan Kedua



Gambar 4.9 Antarmuka Pesan Ketiga



Gambar 4.10 Antarmuka Pesan Keempat



Gambar 4.11 Antarmuka Pesan Kelima

Empat tampilan diatas merupakan tampilan pesan yang diterima oleh pasien. Pesan yang akan diterima pasien berjumlah empat pesan. Jumlah pesan yang akan diterima oleh pasien adalah empat pesan. Pesan pertama yang akan diterima adalah pesan tentang nomor antrian pasien, pesan kedua dan ketiga yaitu informasi tentang jumlah sisa antrian sebelum giliran pasien tersebut, dan pesan keempat adalah pemberitahuan bahwa giliran pasien telah tiba. Pasien yang telah mendaftar sebelum waktu praktik dokter pun akan menerima pesan apabila dokter telah tiba. Pada gambar implementasi berikut ini, pasien mendapatkan nomor antrian 010 dan mendaftar sebelum waktu praktik dokter. Pesan yang pertama berisi pemberitahuan tentang konfirmasi pendaftaran dan nomor antrian pasien, yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Pesan yang kedua merupakan pemberitahuan bahwa dokter telah tiba, yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pesan yang ketiga dan keempat merupakan informasi tentang jumlah sisa antrian sebelum giliran pasien, yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10. Pesan informasi tentang jumlah sisa antrian akan diterima pasien apabila tersisa dua antrian sebelum gilirannya. Sedangkan pesan kelima merupakan pemberitahuan bahwa giliran pasien telah tiba, yang dapat dilihat pada Gambar 4.11. Gambar-gambar tersebut dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

5. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari pembangunan Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis Web Menggunakan SMS Gateway adalah sebagai berikut:

1. Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis Web Menggunakan SMS Gateway telah berhasil dibangun.
2. Sistem Antrian Pasien pada Dokter Berbasis Web Menggunakan SMS Gateway dapat berjalan dengan baik sesuai dengan analisis yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Dapat membantu pasien dalam melakukan pendaftaran dan menginformasikan tentang antrian pada pelayanan dokter.
4. Kelebihan aplikasi ini dibandingkan dengan aplikasi yang pernah dibangun sebelumnya yaitu menggunakan fitur *Google Maps*, dimana pasien dapat melihat estimasi jarak dan waktu dari posisi mereka ke tempat praktik dokter. Sedangkan kekurangan aplikasi ini yaitu tidak menampilkan nomor antrian yang sedang berjalan pada layar *display*.

Daftar Pustaka

- [1] E. Haryanto, "Queuing System Dengan Voice Untuk Rumah Sakit Atau Klinik Menggunakan PHP MySQL Dengan Konsep First In First Out," *Jurnal Teknik*, vol. V, no. 2, p. 146, 2015.
- [2] T. Kakiay, *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*, Yogyakarta: Andi, 2004.
- [3] M. Afrina dan A. Ibrahim, "Pengembangan Sistem Informasi SMS Gateway Dalam Meningkatkan Layanan Komunikasi Sekitar Akademika Fakultas Ilmu Komputer Unsri," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. VII, no. 2, 2015.
- [4] A. Ramadhika, "SMS Gateway Menggunakan Gammu Dan MySQL," Universitas Surabaya, 2014. [Online]. Available: http://www.ubaya.ac.id/2014/content/articles_detail/33/SMS-Gateway-menggunakan-Gammu-dan-MySQL.html. [Accessed 9 March 2017].
- [5] F. Mahdia dan F. Noviyanto, "Pemanfaatan Google Maps API Untuk Pembangunan Sistem Informasi Manajemen Bantuan Logistik Pasca Bencana Alam Berbasis Mobile Web (Studi Kasus: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Yogyakarta)," *Sarjana Teknik Informatika*, vol. I, no. 1, pp. 164-165, 2013.
- [6] Anharku, "Flowchart," June 2009. [Online]. Available: <http://ilmukomputer.org/wp-content/uploads/2009/06/anharku-flowchart.pdf>. [Diakses 12 May 2017].
- [7] R. Sovia and J. Febio, "Membangun Aplikasi E-Library Menggunakan HTML, PHP Script, Dan MySql Database," *Teknologi Informasi dan Pendidikan*, vol. III, no. 1, pp. 86-101, 2011.
- [8] P. Hidayatullah and J. K. Kawistara, *Pemrograman Web*, Bandung: Informatika, 2014.
- [9] F. Azmi, *Berkenalan dengan HTML*, Jakarta: Fauzan Azmi, 2015.
- [10] A. Prasetyo, *Buku Sakti Webmaster (PHP & MySQL, HTML & CSS, HTML5 & CSS3, JavaScript)*, Jakarta: Mediakita, 2014.
- [11] R. Yanto, *Manajemen Basis Data Menggunakan MySQL*, Yogyakarta: Deepublish, 2016.
- [12] A. Lubis, *Basis Data Dasar*, Yogyakarta: Deepublish, 2016.
- [13] P. A. R. Suryadhi dan N. J. Manurung, "Model Antrian Pada Pelayanan Kesehatan Di Rumah Sakit," *Teknologi Elektro*, vol. VIII, no. 2, pp. 86-93, 2009.
- [14] D. Aryani, A. Setiadi, M. A. Adnandi, I. Nurjaman dan R. T. Widiarso, "Perancangan Sistem Informasi Pelayanan Klinik Menggunakan Model Antrian First In First Out," dalam *Seminar Nasional Informatika Medis V*, Tangerang, 2014.

APLIKASI ANALISIS SENTIMEM CUITAN DI TWITTER MENGGUNAKAN ALGORITMA BOYER MOORE

ANGREANUS LUKAS¹, RINALDI MUNIR², DEBBY PASERU³

¹Teknik Informatika Univ. De La Salle Manado, lukas.angreanus@gmail.com¹,

²Informatika - STEI ITB, rinaldi@informatika.org²,

³Teknik Informatika Univ. De La Salle Manado, dpaseru@unikadelasalle.ac.id³

Abstrak

Media sosial sudah lama menjadi sarana untuk saling berbagi informasi dan sampai saat ini pun media sosial lebih berkembang mengikuti zaman. Salah satu contoh media sosial yang sering digunakan atau diakses oleh masyarakat adalah *Twitter*. Media Sosial *Twitter* ini diakses oleh berbagai kalangan, mulai dari remaja sampai dengan orang yang lebih dewasa. *Tweet* yang dituliskan bervariasi, ada sentimen positif, negatif dan netral. Namun persepsi positif, negatif dan netral dari pengguna kadang tidak sama antara satu dengan yang lain karena berbagai faktor. Oleh karenanya akan dibangun Aplikasi Analisis Sentimen Pada Cuitan di *Twitter* Menggunakan Algoritma *Boyer Moore*. Algoritma *Boyer Moore* merupakan salah satu algoritma pencarian string yang mudah dimengerti dan cocok digunakan untuk membedakan sentimen pada cuitan di *Twitter*. Pembangunan aplikasi ini menggunakan metodologi pengembangan berorientasi objek, bahasa pemrograman Java dan menggunakan kakas pemodelan data *Unified Modeling Language* (UML). Hasil pengujian terhadap aplikasi ini menyatakan bahwa aplikasi analisis sentimen cuitan di *Twitter* menggunakan algoritma *Boyer Moore* dapat membedakan sentimen pada cuitan atau *Tweet* yang ada.

Kata kunci: *Twitter*, Analisis Sentimen, *Boyer Moore*.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan *Twitter* mudah untuk mendapatkan berbagai informasi dari seluruh dunia, misalnya informasi politik, ekonomi dan olahraga yang sedang berlangsung atau yang terkini juga menjadi tempat curhatan dan mengemukakan pendapat serta bertukar pendapat satu sama lain. Informasi dan pendapat yang dikemukakan oleh pengguna *Twitter* dikenal dengan nama *tweet* atau cuitan. Cuitan-cuitan tersebut dapat dibagi menjadi 3 jenis komentar yaitu, pertama yang mengandung komentar positif, kedua yang mengandung komentar negatif dan ketiga mengandung komentar netral. Komentar yang mengandung kata positif berisi kata-kata seperti kreatif, baik, jujur sedangkan komentar yang mengandung kata negatif berisi kata-kata seperti sombong, mahal, arogan, malas dan komentar yang mengandung kata netral berisi kata-kata selain kata yang ada pada 2 jenis komentar sebelumnya. Bertambahnya pengguna *Twitter* sekarang ini, menimbulkan kesulitan untuk membedakan komentar yang masuk dalam komentar jenis positif, negatif dan netral. Olehnya perlu dibangun aplikasi yang dapat membedakan komentar-komentar yang ada pada *Twitter* dengan menganalisis sentimen tersebut. Analisis sentimen adalah proses dalam pembuatan informasi dengan cara membuat sebuah sistem yang dapat mengidentifikasi data yang berbentuk teks ke dalam dua kategori, yaitu nilai positif dan negatif yang sama seperti sentimen pada data tersebut [1]. Analisis sentimen juga bisa

dikatakan dengan kata *opinion mining* yang bertujuan menganalisis, memahami, dan juga mengolah data beropini tentang topik atau data tersebut. Analisis sentimen dalam aplikasi yang akan dibangun menggunakan algoritma *Boyer Moore*. Algoritma *Boyer Moore* adalah algoritma pencarian string dengan cara mencocokkan karakter dari sebelah kanan *pattern* sehingga bisa melakukan pencarian lebih cepat [2]. Algoritma ini sangat efisien dalam berbagai aplikasi teks editor seperti *Microsoft Word*. Algoritma ini sangat tepat untuk menganalisis sentimen cuitan di *Twitter*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penulis melakukan studi pustaka yang dapat memperkuat dasar dari pembuatan aplikasi analisis sentimen cuitan di *Twitter* dengan menggunakan algoritma pencocokkan string yang sudah ada pada penelitian sebelumnya, buku, atau kutipan-kutipan yang sudah ada dalam jurnal yang sudah tersedia di Internet.

2.1. Twitter

Twitter merupakan salah satu situs jejaring sosial yang dapat mendaftarkan diri pengguna untuk menggunakan situs tersebut. *Twitter* yang telah didirikan oleh 3 orang, yaitu: Jack Dorsey, Biz Stone, dan Evan Williams pada bulan maret tahun 2006, dan dirilis pada bulan Juli tahun 2006. *Twitter* adalah jejaring sosial yang dapat mempermudah pengguna untuk memperbaharui informasi tentang diri pengguna, memperbanyak pertemanan, memperbaharui informasi-informasi terbaru untuk mengembangkan bisnis dan lain sebagainya. Contoh cuitan sebagai informasi dari detikcom [3].



Gambar 1. Contoh cuitan di *Twitter.com* [4]

2.2. Analisis Sentimen

Analisis sentimen digunakan untuk mendapatkan kumpulan data atau suatu informasi yang ada, analisis sentimen bertujuan untuk mengolah data opini dan juga memiliki nilai positif dan negatif [5]. Analisis sentimen yang sering disebut juga dengan penambahan opini adalah studi komputasi untuk mengenali dan mengekspresikan opini, sentimen, evaluasi, sikap, emosi, penilaian atau pandangan yang terdapat dalam suatu teks. Tugas dasar dari analisis sentimen mempunyai polaritas yang mengelompokkan teks yang ada dalam dokumen, kalimat, atau pendapat. Sifat yang ada dalam kalimat atau pendapat tersebut memiliki aspek yang mengandung positif atau negatif, Analisis sentimen memiliki data yang mempunyai level dalam penelitian analisis sentimen mempunyai level dokumen dan kalimat [6]. Pada dasarnya ada 2 bagian level yaitu : *Coarse-grained Sentiment Analysis* dan *fined-grained Sentiment Analysis*. *Sentiment Analysis Coarse-graid* adalah level dokumen. Analisis sentimen yang bertanggung semua isi dalam dokumen mengandung sentimen positif, negatif, dan netral. *Sentiment Analysis fined-grained* adalah level kalimat. Analisis sentimen yang menentukan sentimen pada kalimat.

2.3. Skenario Sentimen Kata

Jenis makna kata dalam Bahasa Indonesia sering kali digunakan dalam percakapan

sehari-hari yang mengandung banyak makna kata. Dalam percakapan biasanya ada kata yang tidak sengaja timbul dalam pikiran yang dikeluarkan oleh mulut dikarenakan perkembangan dan situasi pembicaraan. Secara umum ada 4 jenis makna kata dalam bahasa Indonesia yaitu: Makna Leksikal, Gramatikal, Denotasi dan Konotasi. Dalam 4 jenis makna tersebut yang akan dibahas atau digunakan dalam membangun sebuah aplikasi analisis sentimen cuitan di *Twitter* yang berbasis algoritma *Boyer Moore* adalah makna konotasi. Makna Konotasi adalah makna kiasan yang membutuhkan beberapa tafsiran. Makna Konotasi terdiri dari 2 jenis yaitu: makna konotasi positif dan makna konotasi negatif. Konotasi positif adalah mempunyai rasa atau nilai dalam mengandung makna yang positif. Konotasi negatif adalah mempunyai rasa atau nilai dalam mengandung makna yang negatif [7]. Contoh 3 kata positif dan negatif.

Tabel 1. Contoh 3 kata positif dan negatif

Positif	Negatif
Jujur	Malas
Bijaksana	Korupsi
Rendah hati	Tidak terpuji

Pada tabel 1 di atas ada kata positif dan negatif yang menjadi 3 contoh kata yang mewakili dari kata-kata positif dan negatif. Kata positif yang menjadi contoh pertama adalah kata **jujur** yang mengandung sentimen positif karena kata jujur artinya kata sifat yang mengikuti aturan misalnya dalam permainan yang memiliki aturan dan bermain dengan tidak curang seperti yang dimaksudkan kata jujur. Demikian juga dengan kedua kata yang lain yang mengandung arti positif. Sedangkan contoh kata negatif seperti tabel 1 di atas memiliki arti atau sentimen negatif. Misalnya kata **malas** diartikan sebagai kata yang bermakna tidak mau bekerja atau melakukan sesuatu, demikian juga untuk kedua kata yang lain.

2.4. Algoritma *Boyer Moore*

Algoritma *Boyer Moore* adalah algoritma pencarian string yang dirilis oleh Robert S. Boyer and J. Stroher Moore pada tahun 1977. Algoritma ini tidak sama seperti algoritma yang lainnya, algoritma *Boyer Moore* ini mulai mencocokkan karakter dari sebelah kanan *pattern* sehingga dapat melakukan pencarian dengan cepat. Algoritma *Boyer Moore* ini sangat efisien dalam berbagai aplikasi. Algoritma ini biasa digunakan dalam berbagai teks editor seperti Microsoft Word untuk fungsi Find and Replace [2].

Sistematika Algoritma *Boyer Moore*:

- Algoritma *Boyer Moore* memulai mencocokkan *pattern* dari awal teks.
- Dari kanan ke kiri, algoritma ini akan mencocokkan karakter per karakter *pattern* dengan karakter di teks yang bersesuaian sampai salah satu kondisi berikut : i. Karakter di *pattern* dan di teks yang dibandingkan tidak cocok (mismatch) ii. Semua karakter di *pattern* cocok, kemudian algoritma ini akan memberitahukan penemuan di posisi ini.
- Algoritma menggeser *pattern* dengan memaksimalkan nilai pergeseran Occurrence Heuristic dan pergeseran Math Heuristic untuk melakukan pergeseran sehingga menemukan teks yang sama dengan *pattern*.

3. HASIL

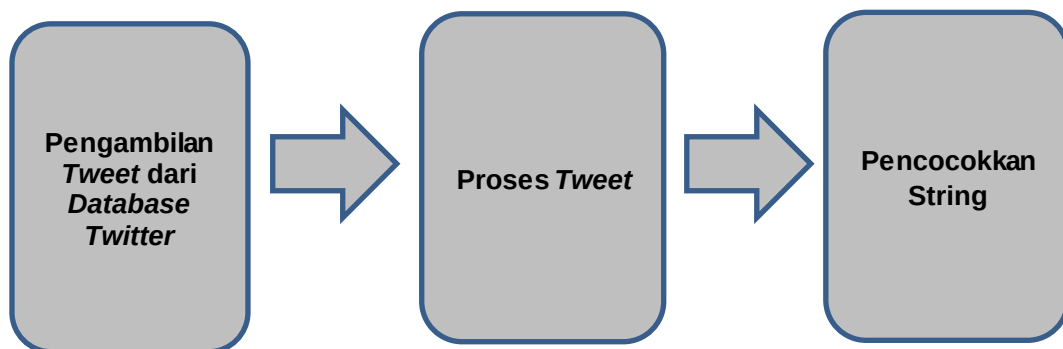
3.1. Analisis

Sebelum dibangunnya aplikasi sentimen, maka penulis melakukan analisis terhadap penelitian sebelumnya. Hal ini perlu dilakukan supaya dapat diperoleh kebutuhan dari aplikasi yang dibangun. Penelitian pertama yang dijadikan perbandingan yaitu penelitian oleh Nuke Y. A. Faradhillah, Renny P. Kusumawardani, Irmasari Hafidz (2016). Dengan judul “Eksperimen Sistem Klasifikasi Analisa Sentimen *Twitter* pada Akun Resmi Pemerintah Kota Surabaya Berbasis Pembelajaran Mesin”. Dalam penelitian ini dilakukan pengklasifikasian opini masyarakat pada media *Twitter* menggunakan pembelajaran mesin. Pengklasifikasian dilakukan dengan menggunakan algoritma Naïve Bayes dan Support Vector Machine (SVM). Selanjutnya penelitian oleh Rudi Setiawan (2015), dengan judul “Penerapan Algoritma *Boyer Moore* pada posting *Twitter* TMC Polda Metro Jaya untuk melaporkan kondisi lalu lintas dan rute jalan kota Jakarta.”. Penelitian dari Setiawan ini dapat mengidentifikasi kondisi lalu lintas pada data *Tweet* namun tidak menggunakan analisis sentimen.

Dari penelitian sebelumnya tersebut akan dibangun aplikasi analisis sentimen cuitan di *Twitter* menggunakan algoritma *Boyer Moore*. Aplikasi ini akan menganalisis komentar dari *Tweet*, apakah komentar tersebut memiliki sentimen positif, negatif atau netral. Adapun yang menjadi kebutuhan dari aplikasi yang akan dibangun yaitu:

- a. Pengambilan *Tweet* Dari *Database Twitter*
Langkah pertama adalah mengambil *Tweet* yang terbaru atau *Tweet* yang ada pada akun pengguna yang berada dalam *database Twitter*. Langkah selanjutnya Proses *Tweet*.
- b. Proses *Tweet*
Langkah kedua adalah Proses *Tweet* yang sudah diambil dari *database Twitter*. Langkah Selanjutnya Pencocokkan String.
- c. Pencocokkan String
Langkah ketiga adalah algoritma *Boyer Moore* yang digunakan untuk mencocokkan string yang dibaca mulai dari sebelah kanan untuk mencari kata yang mengandung sentimen Positif, Negatif, dan Netral. Langkah selanjutnya adalah hasil dari sentimen.

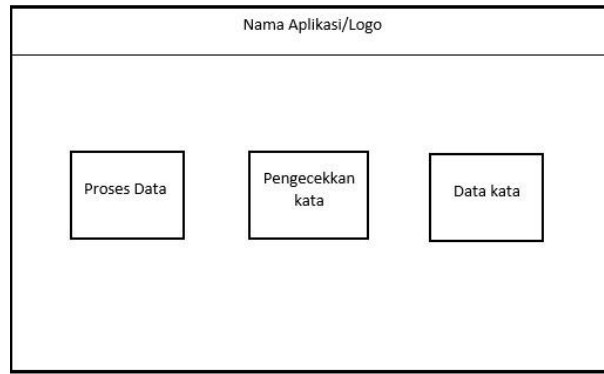
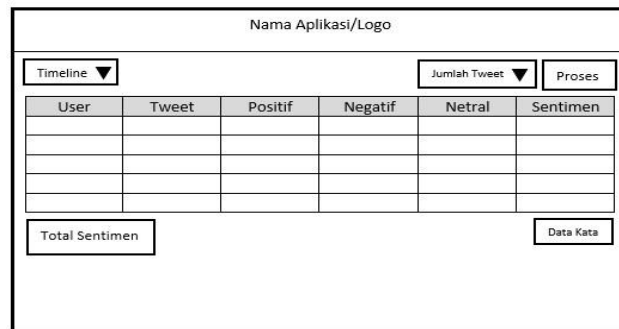
Berikut adalah gambar proses alur penyelesaian dari aplikasi yang akan dibuat.



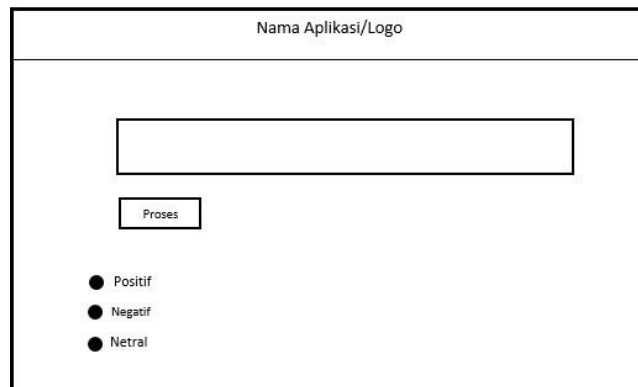
Gambar 2. Proses Alur Penyelesaian

3.2. Perancangan

Pada bagian ini akan dirancang antarmuka dari aplikasi yang akan dibangun dalam bentuk *storyboard*, juga digambarkan *use case diagram* untuk memperjelas proses yang terjadi pada aplikasi. Berikut merupakan beberapa rancangan *storyboard* atau tampilan antarmuka dari aplikasi yang akan dibangun:

Gambar 3. *Storyboard* Tampilan Utama

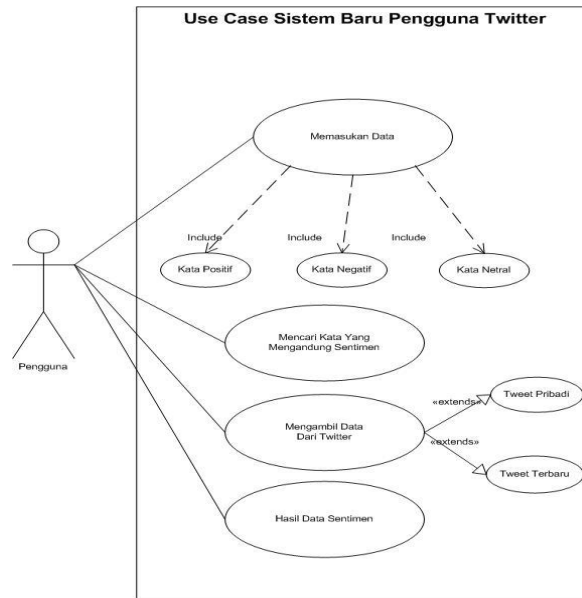
Gambar 4. Tampilan Menu Proses Data



Gambar 5. Proses Pengecekan

Gambar ini menampilkan proses pengecekan untuk sentimen yang sudah dicocokkan dengan kata yang *diinput*, dengan cara memasukkan kata ke *textbox* yang tersedia kemudian akan ditampilkan hasil dari kata yang diproses dengan jumlah sentimen yang dicocokkan dan kemudian yang terakhir akan ditampilkan kata yang dimasukkan sudah mempunyai sentimen dan kecocokkan kata dengan sentimen.

Secara detail, proses pembuatan aplikasi yang akan dibangun digambarkan dalam *use case diagram* (Gambar 6). Pada diagram ini, *Use Case* terdiri dari 1 aktor yang memiliki 4 proses yaitu proses memasukkan data kata, proses mencari kata yang mengandung sentimen, proses pengambilan *Tweet* dari *database Twitter*, dan proses melihat hasil data sentimen dan 2 proses yang memiliki pilihan seperti *extends* dan *include* yaitu proses memasukkan data kata yang memiliki 3 *include* yaitu *include* kata positif, *include* negatif, *include* kata netral dan proses pengambilan data dari *Twitter* yang memiliki 2 *extends* yaitu *extends Tweet pribadi* dan *Tweet terupdate*



Gambar 6. Use Case Aplikasi yang Dibangun

3.3. Implementasi

Berdasarkan rancangan yang telah dilakukan, maka pada bagian ini akan mengonversi rancangan yang telah dibuat ke kode program menggunakan bahasa pemrograman Java dan sistem manajemen basis data HeidiSQL. Contoh kode program yang dilakukan adalah:

```
package apptwitter;
```

```
import java.util.ArrayList;
```

```
public class boyerMoore {
    private final int R;    // the radix
    private int[] right;    // the bad-character skip array
    private String pat;    // or as a string

    // pattern provided as a string
    public boyerMoore(String pat) {
        pat = pat.toLowerCase();
        this.R = 256;
        this.pat = pat;

        // position of rightmost occurrence of c in the pattern
        right = new int[R];
        for (int c = 0; c < R; c++){
            //System.out.println(c);
```

```
        right[c] = -1;
    }
    for (int j = 0; j < pat.length(); j++){
        //System.out.println(pat.charAt(j));
        right[pat.charAt(j)] = j;
    }
}

// return offset of first match; N if no match
public ArrayList<Integer> search(String txt) {
    txt = txt.toLowerCase();
    int M = pat.length();
    int N = txt.length();
    ArrayList<Integer> newArrayInt = new ArrayList<Integer>();
    int skip;
    for (int i = 0; i <= N - M; i += skip) {
        skip = 0;
        //System.out.println(txt.charAt(i));
        for (int j = M-1; j >= 0; j--) {
            //System.out.println(pat.charAt(j) + " = " + txt.charAt(i+j));
            if (pat.charAt(j) != txt.charAt(i+j)) {
                //System.out.println("1 - " + (j - right[txt.charAt(i+j)]));
                if (txt.length() >= (i+j)){
                    skip = 1;
                }
            }
            else{
                System.out.print(txt + " -- " + (i+j) + " -- ");
                System.out.println(txt.charAt(i+j));
                skip = j - right[txt.charAt(i+j)];
            }
        }
        //System.out.println(skip);
        break;
    }
}

if (skip == 0)
{
    newArrayInt.add(i); // found
    skip++;
}
```

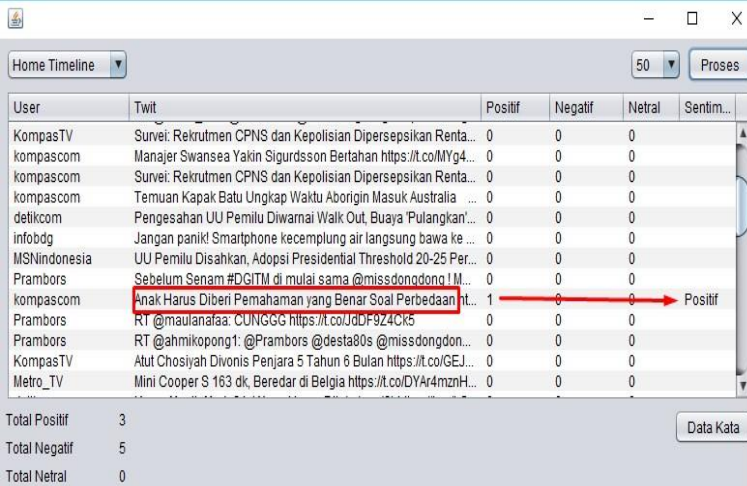
```

        //System.out.println(skip);
    }
    return newArrayInt;          // not found
}
}

```

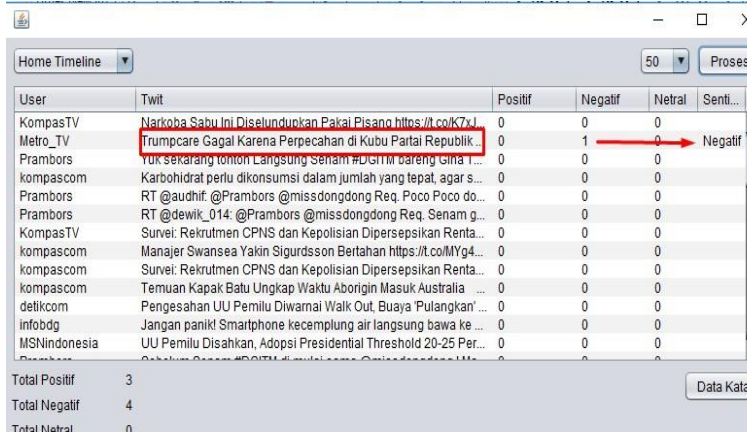
3.4. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk melihat hasil implementasi dari perancangan sebelumnya, apakah sudah sesuai atau belum. Pengujian dilakukan terhadap minimum 20 cuitan dan maksimal 150 cuitan *Tweet*, yang diambil menggunakan *Twitter API (Application Programming Interface)*. Berikut merupakan hasil yang diperoleh terhadap 50 cuitan *Tweet* positif dan negatif sedangkan yang netral diperoleh terhadap 100 *Tweet*:



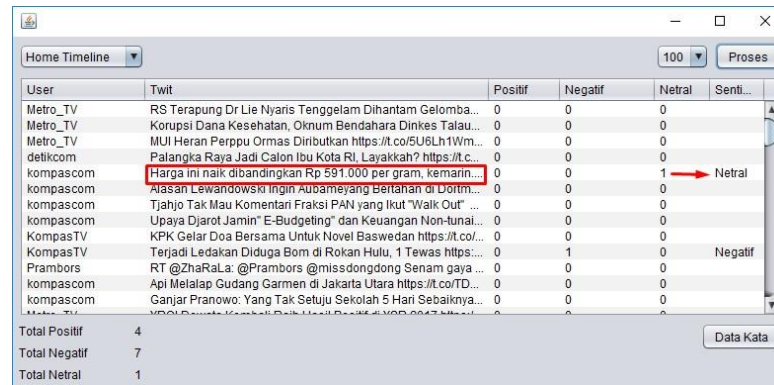
User	Twit	Positif	Negatif	Netral	Senti...
KompasTV	Survei: Rekrutmen CPNS dan Kepolisian Dipersepsikan Renta...	0	0	0	
kompascom	Manajer Swansea Yakin Sigurdsson Bertahan https://t.co/MYg4...	0	0	0	
kompascom	Survei: Rekrutmen CPNS dan Kepolisian Dipersepsikan Renta...	0	0	0	
kompascom	Temuan Kapak Batu Ungkap Waktu Aborigin Masuk Australia ...	0	0	0	
detikcom	Pengesahan UU Pemilu Diwarnai Walk Out, Buaya 'Pulangan'...	0	0	0	
infobdg	Jangan panik! Smartphone kecemplung air langsung bawa ke ...	0	0	0	
MSNIndonesia	UU Pemilu Disahkan, Adopsi Presidential Threshold 20-25 Per...	0	0	0	
Prambors	Sebelum Senam #DGITM di mulai sama @missdongdong ! M...	0	0	0	
kompascom	Anak Harus Diberi Pemahaman yang Benar Soal Perbedaan nt...	1	0	0	Positif
Prambors	RT @maulanafaa: CUNGGG https://t.co/UdDF924CK5	0	0	0	
Prambors	RT @ahmikopong1: @Prambors @desta80s @missdongdong...	0	0	0	
KompasTV	Altut Chosiyah Divonis Penjara 5 Tahun 6 Bulan https://t.co/GEJ...	0	0	0	
Metro_TV	Mini Cooper S 163 dk. Beredar di Belgia https://t.co/DYAr4mznH...	0	0	0	
Total Positif		3			
Total Negatif		5			
Total Netral		0			

Gambar 7. Hasil Proses Data Positif



User	Twit	Positif	Negatif	Netral	Senti...
KompasTV	Narkoba Sabu Ini Diselundupkan Pakai Pisano https://t.co/K7xJ...	0	0	0	
Metro_TV	Trumpcare Gagal Karena Perpecahan di Kubu Partai Republik...	0	1	0	Negatif
Prambors	Yuk sekarang tonton Langsung Senam #DGITM bareng Gita t...	0	0	0	
kompascom	Karbohidrat perlu dikonsumsi dalam jumlah yang tepat, agar s...	0	0	0	
Prambors	RT @audhif: @Prambors @missdongdong Req. Poco Poco do...	0	0	0	
Prambors	RT @dewik_014: @Prambors @missdongdong Req. Senam g...	0	0	0	
KompasTV	Survei: Rekrutmen CPNS dan Kepolisian Dipersepsikan Renta...	0	0	0	
kompascom	Manajer Swansea Yakin Sigurdsson Bertahan https://t.co/MYg4...	0	0	0	
kompascom	Survei: Rekrutmen CPNS dan Kepolisian Dipersepsikan Renta...	0	0	0	
kompascom	Temuan Kapak Batu Ungkap Waktu Aborigin Masuk Australia ...	0	0	0	
detikcom	Pengesahan UU Pemilu Diwarnai Walk Out, Buaya 'Pulangan'...	0	0	0	
infobdg	Jangan panik! Smartphone kecemplung air langsung bawa ke ...	0	0	0	
MSNIndonesia	UU Pemilu Disahkan, Adopsi Presidential Threshold 20-25 Per...	0	0	0	
Prambors	Sebelum Senam #DGITM di mulai sama @missdongdong ! M...	0	0	0	
Total Positif		3			
Total Negatif		4			
Total Netral		0			

Gambar 8. Hasil Proses Data Negatif



The screenshot shows a web application window titled 'Home Timeline'. It features a table with columns for 'User', 'Twit', 'Positif', 'Negatif', 'Netral', and 'Senti...'. The table contains several rows of tweet data. A red box highlights a tweet from 'kompascom' with the text 'Harga ini naik dibandingkan Rp 591.000 per gram, kemarin...'. An arrow points from the 'Netral' column (value 1) to the 'Senti...' column for this row. At the bottom, there is a summary section with 'Total Positif: 4', 'Total Negatif: 7', and 'Total Netral: 1'. A 'Data Kata' button is also visible.

User	Twit	Positif	Negatif	Netral	Senti...
Metro_TV	RS Terapung Dr Lie Nyaris Tenggelam Dihantam Gelomba...	0	0	0	
Metro_TV	Korupsi Dana Kesehatan, Olum Bendahara Dinkes Talau...	0	0	0	
Metro_TV	MUI Heran Perppu Ormas Diributkan https://t.co/5U6Lh1Wm...	0	0	0	
detikcom	Palangka Raya Jadi Calon Ibu Kota RI, Layakkah? https://t.c...	0	0	0	
kompascom	Harga ini naik dibandingkan Rp 591.000 per gram, kemarin...	0	0	1	Netral
kompascom	Alasan Lewandowski Ingin Aubameyang Bertahan di Dortmund...	0	0	0	
kompascom	Tjahjo Tak Mau Komentari Fraksi PAN yang Ikut "Walk Out" ...	0	0	0	
kompascom	Upaya Djarot Jamin "E-Budgeting" dan Keuangan Non-tunai...	0	0	0	
KompasTV	KPK Gelar Doa Bersama Untuk Novel Baswedan https://t.co/...	0	0	0	
KompasTV	Terjadi Ledakan Diduga Bom di Rokan Hulu, 1 Tewas https://...	0	1	0	Negatif
Prambors	RT @ZhaRaLa: @Prambors @missdongdong Senam gaya ...	0	0	0	
kompascom	Api Melalap Gudang Garmen di Jakarta Utara https://t.co/TD...	0	0	0	
kompascom	Ganjar Pranowo: Yang Tak Setuju Sekolah 5 Hari Sebaiknya...	0	0	0	

Total Positif: 4
Total Negatif: 7
Total Netral: 1

Gambar 9. Hasil Proses Data Netral

Pada hasil pengujian yang sudah dilakukan, penulis berhasil membangun aplikasi yang dapat membedakan sentimen positif, negatif dan netral sesuai dengan perancangan yang sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis, perancangan, implementasi dan pengujian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Telah dibangun aplikasi analisis sentimen cuitan di *Twitter* menggunakan algoritma *Boyer-Moore*.
2. Aplikasi yang dibangun sudah dapat membedakan sentimen positif, negatif dan netral dengan menggunakan algoritma *Boyer Moore*.
3. Aplikasi menyediakan beberapa jumlah pengambilan *Tweet* menggunakan *Twitter API* pada database *Twitter*, jumlah yang disediakan yaitu 20,50,100, dan 150 *Tweet*.

Daftar Pustaka

- [1] A. N. Hidayat, “Analisis Sentimen Menurut Wacana Politik Pada Media Masa Online Menggunakan Algoritma Suport Vector Machine dan Naive Bayes,” *Jurnal Elektronik Sistim Informasi dan Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2015.
- [2] A. Novantirani , M. K. Sabariah dan V. Effendy, “Analisis Sentimen pada Twitter untuk Mengenai Penggunaan Transportasi Umum Darat Dalam Kota dengan Metode Support Vector Machine,” *Eproc*, pp. 1-7, 2010.
- [3] Smartini, *TWITTER Best Social Networking*, Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET, 2010
- [4] “Twitter,” 2017. [Online]. Available: <https://twitter.com/detikcom>. [Diakses 20 Juli 2017].
- [5] M. Noorfaik dan S. Novianto, “Efisiensi Penggunaan Algoritma Boyer Moore Untuk Prediksi Perilaku Orang Melalui Interaksi Di Twitter,” *Eprints*, vol. 1, pp. 1- 7, 2013.
- [6] B. Liu, *Sentiment Analysis and Subjectivity*. To appear in *Handbook of Natural Language Processing*, 2010
- [7] Jenis-Jenis Makna Kata Dalam Bahasa Indonesia," Eduftasi, 09 2015. [Online]. Available: <http://www.edutafsi.com/2015/09/jenis-jenis-makna-kata.html>. [Accessed Senin 07 2017].

MAGNETOHIDRODINAMIKA FLUIDA MIKROKUTUB YANG MENGALIR MELALUI BOLA PEJAL DI BAWAH PENGARUH MEDAN MAGNET

BASUKI WIDODO¹, DIEKY ADZKIYA², RIZKY VERDYANTO PRATOMO³

¹ Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, b_widodo@matematika.its.ac.id

² Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

³ Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Abstrak

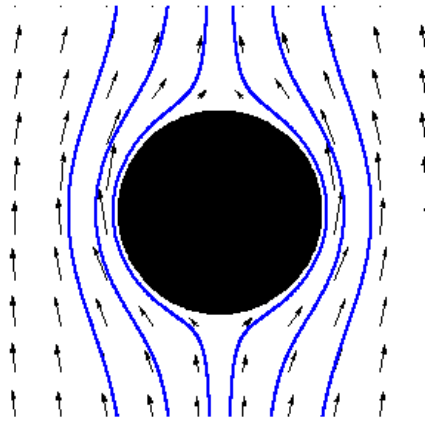
Kajian-kajian tentang aliran fluida tentunya sangat menarik untuk dipelajari, mengingat begitu banyaknya manfaat yang dapat diperoleh dan diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan. Kajian tentang aliran fluida yang saat ini banyak diteliti adalah Magnetohidrodinamik (MHD). Magnetohidrodinamik adalah suatu kajian tentang aliran fluida penghantar listrik yang dipengaruhi oleh medan magnet. Pada penelitian ini dikaji pengaruh medan magnet pada aliran fluida magnetohidrodinamik yang tak tunak pada lapisan batas yang mengalir melalui bola pejal di dalam fluida mikrokutub di bawah pengaruh medan magnet secara teori dengan mengkonstruksi model matematikanya dan kemudian model matematika yang diperoleh akan diselesaikan secara numerik dengan skema Keller-Box. Selanjutnya disimulasikan secara numerik untuk mengkaji pengaruhnya terhadap profil kecepatan aliran fluida dan profil mikrorotasi partikelnya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar parameter magnetik, maka semakin meningkat pula profil kecepatan aliran fluida mikrokutub. Selain itu semakin besar parameter bahan, maka semakin menurun profil kecepatan aliran fluida mikrokutub serta Semakin besar parameter magnetik, maka profil mikrorotasi akan semakin kecil untuk $n = 0$. Sedangkan untuk $n = 0,5$ semakin besar parameter magnetik, maka profil mikrorotasi akan semakin besar.

Kata Kunci: Magnetohidrodinamik, fluida mikrokutub, skema Keller-box

1. PENDAHULUAN

Mekanika fluida banyak dijumpai dalam setiap aspek kehidupan manusia. Contohnya ialah pada proses pemindahan fluida (fluid transport) yang meliputi pasokan air minum, pasokan gas alam, dan pemipaan zat-zat kimia pada pabrik. Selain itu pada pembangkit tenaga listrik yang menggunakan fluida cair dan gas serta masih banyak lagi yang lainnya. Kajian-kajian tentang aliran fluida tentunya sangat menarik untuk dipelajari, mengingat begitu banyaknya manfaat yang dapat diperoleh dan diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan. Kajian tentang aliran fluida yang saat ini banyak diteliti adalah Magnetohidrodinamik (MHD). Istilah magnetohydrodynamic terdiri dari kata “magneto” yang berarti “medan magnetik”, “hydro” yang berarti “cairan/fluida”, dan “dynamic” yang berarti “pergerakan”. Magnetohydrodynamic (MHD) dapat diartikan sebagai suatu

kajian tentang aliran fluida penghantar listrik yang dipengaruhi oleh medan magnet. Fluida yang dimaksud dapat berupa plasma, logam cair, atau air garam.). Jika suatu fluida mengalir melewati suatu benda akan terbentuk sebuah lapisan yang dinamakan lapisan batas (Boundary Layer). Hal ini terjadi karena adanya gesekan permukaan benda dengan fluida disertai faktor kekentalan fluida. Berikut ini adalah fenomena atau gambaran tentang lapisan batas :



Gambar 1 : Lapisan batas yang terbentuk dari bola bermagnet yang dilalui aliran fluida

Pada permasalahan yang nyata, berbagai macam fluida yang terjadi pada berbagai macam keadaan tidak selalu dapat dinyatakan sebagai fluida Newtonian [2]. Beberapa diantaranya kontradiksi dengan karakteristik fluida Newtonian dan jenis fluida ini biasa dikenal dengan Fluida Non-Newtonian. Terdapat beberapa jenis fluida yang termasuk dalam kategori ini, misalnya fluida nano dan fluida mikroktub. Fluida mikroktub sekarang ini mendapat perhatian lebih berkenaan dengan aplikasinya dalam proses di bidang teknik [1]. Fluida mikroktub ini mendukung body couples dan berakibat pada perilaku mikrorotasi. Teori fluida mikroktubini menunjukkan prediksi sifat fluida dalam skala mikro. Contohnya adalah fluida magnetik, debu yang pekat, dan beberapa fluida biologis [3]. Melihat potensi aplikasinya dalam skala mekanika fluida mikro dan mekanika fluida Non-Newtonian, hal ini cukup menarik untuk dieksplor penyelesaian dasar yang baru.

Pada penelitian Anggriani 2015 tentang pengaruh magnetohidrodinamik pada fluida mikroktub yang melewati bola berpori di konstruksi beberapa model matematika dari fenomena tersebut yang tersusun atas Persamaan Kontinuitas, Persamaan Momentum Linier, dan Persamaan Momentum Angular.

Dalam penelitian ini dikaji dan diteliti pengaruh medan magnet pada aliran fluida magnetohidrodinamik yang tak tunak pada lapisan batas yang mengalir melalui bola di dalam fluida mikroktub secara teori dengan mengkonstruksi model matematikanya dan selanjutnya disimulasikan secara numerik untuk mengkaji pengaruhnya terhadap profil kecepatan aliran fluida dan profil mikrorotasi partikelnya. Hal ini adalah sesuatu yang belum pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti lain dan menghasilkan penyelesaian baru.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan fenomena yang terjadi pada sistem di atas, terdapat 3 Persamaan pembangun yaitu Persamaan Kontinuitas, Persamaan Momentum Linier, dan Persamaan Momentum Angular. Persamaan-persamaan tersebut dalam bentuk dimensional. Kemudian Persamaan-persamaan yang terbentuk di transformasikan ke persamaan-persamaan tak

berdimensi. Setelah itu, diperkenalkan fungsi alir yang bertujuan untuk menyederhanakan variabel-variabel yang digunakan sehingga memudahkan dalam proses komputasi. Selanjutnya ditransformasikan ke persamaan similaritas untuk kemudian diselesaikan dengan penyelesaian numerik dengan skema Keller-box.

Fokus penelitian ini terletak pada titik stagnasi terendah dekat dengan lapisan batas yang terbentuk dari gesekan antara aliran fluida dengan permukaan dari bola bermagnet. Dengan mengasumsikan bahwa aliran fluida dari bawah ke atas dan tak mamou mampat serta mengabaikan *body force* dan *body couple*, maka ketiga Persamaan pembangun dari sistem ini adalah sebagai berikut :

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial}{\partial \bar{x}}(\bar{r}\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial \bar{y}}(\bar{r}\bar{v}) = 0 \quad (1)$$

Persamaan Momentum Linier sumbu-x dan sumbu-y

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} + \\ (\mu + k) \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2} \right) + k \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{y}} - \\ \sigma(b + B_0)^2 \bar{u} \\ \rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{y}} + \\ (\mu + k) \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{y}^2} \right) - k \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{x}} - \\ \sigma(b + B_0)^2 \bar{v} \end{cases} \quad (2)$$

Karena fluida mikrokutub mengalir melalui bola bermagnet, sehingga membuat fluida mikrokutub terinduksi magnet dari bola bermagnet, sehingga diasumsikan bahwa $b = \frac{1}{4}B_0$ dan dengan mengabaikan medan listrik [4], maka diperoleh persamaan momentum linier sumbu-x dan sumbu-y sebagai berikut :

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} + \\ (\mu + k) \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2} \right) + k \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{y}} - \\ \frac{25}{16} \sigma B_0^2 \bar{u} \\ \rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{y}} + \\ (\mu + k) \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{y}^2} \right) - k \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{x}} - \\ \frac{25}{16} \sigma B_0^2 \bar{v} \end{cases} \quad (3)$$

Momentum angular

$$\rho I \left(\frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{N}}{\partial \bar{y}} \right) = \gamma \left(\frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial \bar{y}^2} \right) - k \left(2\bar{N} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} - \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} \right) \quad (4)$$

Pada penelitian ini, variabel tak berdimensi yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} x = \frac{\bar{x}}{a}, y = Re^{\frac{1}{2}} \frac{\bar{y}}{a}, t = \frac{U_{\infty} \bar{t}}{a}, u = \frac{\bar{u}}{U_{\infty}}, \\ v = Re^{\frac{1}{2}} \frac{\bar{v}}{U_{\infty}}, p = \frac{\bar{p}}{\rho U_{\infty}^2}, r(x) = \frac{\bar{r}(\bar{x})}{a}, \\ N = Re^{-1/2} \frac{a \bar{N}}{U_{\infty}} \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan Reynolds Number $Re = \frac{U_\infty \bar{a}}{v}$, kemudian substitusikan (5) ke (1), (3), (4) diperoleh

$$\frac{\partial(ru)}{\partial x} + \frac{\partial(rv)}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \\ \frac{(1+K)}{Re} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (1+K) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + K \frac{\partial N}{\partial y} - \\ \frac{25}{16} Mu \\ \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \\ \frac{1+K}{Re^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1+K}{Re} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{K}{Re^2} \frac{\partial N}{\partial x} - \\ \frac{25}{16} \frac{M}{Re} v \end{cases} \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial t} + u \frac{\partial N}{\partial x} + v \frac{\partial N}{\partial y} \right) = \left(1 + \frac{K}{2} \right) \left(\frac{1}{Re} \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - K \left(2N + \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{Re} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (8)$$

Dengan parameter bahan (mikrokutub) K , parameter magnetik M , dan mikrorotasi N .

Penyelesaian (6) - (8) menggunakan pendekatan lapisan batas dan fungsi alir. Dengan variabel sebagai berikut :

$$\Psi = x f(x, y), \quad \theta = \theta(x, y) \quad (9)$$

Dengan fungsi alir, didefinisikan sebagai

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (10)$$

Dengan menggunakan asumsi (9) - (10), Persamaan (7) - (8) dapat ditulis sebagai berikut :

$$(1+K) \frac{\partial^3 t}{\partial \eta^3} + \frac{\eta \partial^2 f}{2 \partial \eta^2} + K \frac{\partial h}{\partial \eta} t \frac{3}{2} \left[1 - \left(\frac{\partial f}{\partial \eta} \right)^2 + f \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} \right] + \frac{25}{16} M t \left(1 - \frac{\partial f}{\partial \eta} \right) = t \frac{\partial^2 f}{\partial \eta \partial t} \quad (11)$$

$$\left(1 + \frac{K}{2} \right) \frac{\partial^2 h}{\partial \eta^2} + \frac{\eta \partial h}{2 \partial \eta} + \frac{1}{2} h + t \frac{3}{2} \left(f \frac{\partial h}{\partial \eta} - h \frac{\partial f}{\partial \eta} \right) = t \frac{\partial h}{\partial t} + t K \left(2h + \frac{\partial^2 t}{\partial \eta^2} \right) \quad (12)$$

Dengan kondisi batas sebagai berikut

$$\begin{cases} t < 0 : f = \frac{\partial f}{\partial \eta} = h = 0 \text{ at } x, \eta \\ t \geq 0 : f = \frac{\partial f}{\partial \eta} = 0, h = -n \frac{\partial^2 h}{\partial \eta^2} \\ \text{at } \eta = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} = 1, h = 0 \text{ at } \eta \rightarrow \infty \end{cases} \quad (13)$$

Di titik stagnasi terendah pada bola pejal bermagnet $x \sim 0$. Persamaan (11) - (12) di ubah ke persamaan diferensial orde pertama :

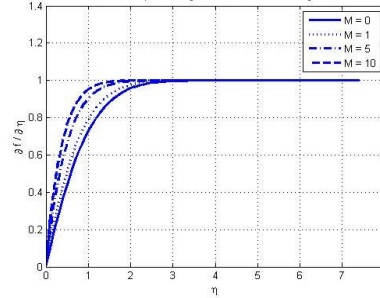
$$(1+K) f''' + \frac{\eta}{2} f'' + K h' + \frac{3}{2} t [1 - (f')^2 + f f''] + \frac{25}{16} M t (1 - f') = t \frac{\partial f'}{\partial t} \quad (14)$$

$$\left(1 + \frac{K}{2} \right) h'' + \frac{\eta}{2} h' + \frac{1}{2} h + \frac{3}{2} t (f h' - h f') = t \frac{\partial h}{\partial t} + t K (2h + f'') \quad (15)$$

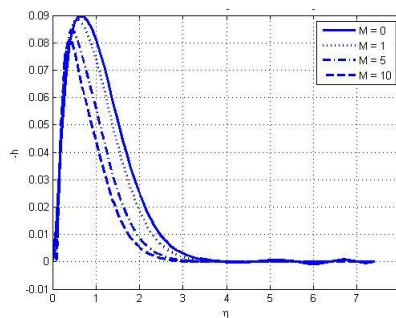
3. HASIL

Sistem Persamaan (14) - (15) diselesaikan secara numerik dengan beberapa nilai parameter magnetik M dan parameter bahan (mikrokutub) K menggunakan skema Keller-box [1].

Profil kecepatan dan mikrorotasi pada titik stagnasi dengan variasi parameter magnetik ditunjukkan pada gambar (2a) dan gambar (2b). Dengan nilai tetap parameter bahan $K = 1$, hasil simulasi menunjukkan bahwa profil kecepatan pada gambar (2a) meningkat ketika parameter magnetik meningkat. Profil mikrorotasi meningkat secara signifikan ketika $\eta \leq 0.5$ dan profil mikrorotasi menurun secara signifikan ketika $\eta > 0.5$, seperti ditunjukkan pada gambar (2b)

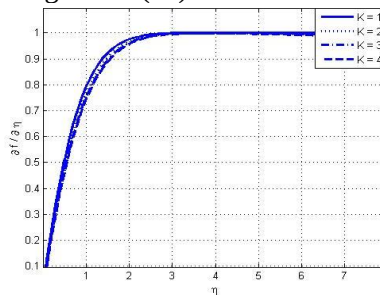


Gambar (2a) Profil kecepatan dengan variasi M pada titik stagnasi, $K = 1$ dan $n = 0$

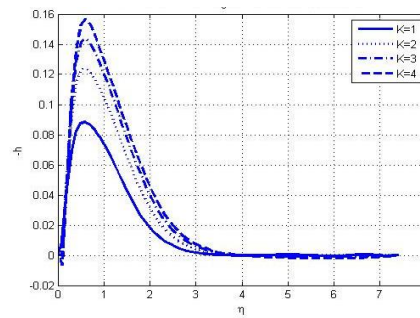


Gambar (2b) Profil Mikrorotasi dengan variasi M pada titik stagnasi, $K = 1$ dan $n = 0$

Profil kecepatan dan profil mikrorotasi pada titik stagnasi dengan variasi nilai parameter magnetik ditunjukkan pada gambar (3a) dan gambar (3b). Dengan nilai tetap parameter magnetik $M = 1$, hasil simulasi menunjukkan bahwa profil kecepatan pada gambar (3a) meningkat ketika nilai parameter bahan meningkat. Profil mikrorotasi meningkat secara signifikan ketika $\eta \leq 0.5$ dan profil mikrorotasi menurun signifikan ketika $\eta > 0.5$ sebagaimana ditunjukkan pada gambar (3b)



Gambar (3a) Profil kecepatan dengan variasi K pada titik stagnasi, $M = 1$ dan $n = 0$



Gambar (3b) Profil mikrorotasi dengan variasi K pada titik stgnasi, $M = 1$ dan $n = 0$

4. KESIMPULAN

Dari hasil penyelesaian numerik dengan skema Keller-box dan dari hasil simulasi disimpulkan bahwa :

1. Jika parameter magnetik meningkat, maka profil kecepatan meingkat.
2. Jika parameter magnetik meningkat, maka profil mikrorotasi dari aliran fluida mikrokutub meningkat secara signifikan pada $\eta \leq 0.5$ dan profil mikrorotasi menurun secara signifikan pada $\eta > 0.5$.
3. Jika parameter bahan meningkat, maka profil kecepatan menurun.
4. Jika parameter bahan meningkat, maka profil mikrorotasi dari fluida mikrokutub meningkat secara signifikan pada $\eta \leq 0.5$ dan profil mikrorotasi menurun secara signifikan pada $\eta > 0.5$.

Daftar Pustaka

- [1] Eringen, A. C., "Theory of micropolar fluids", 1965, Technical Report. DTIC Document.
- [2] Widodo, B. Anggriani, I. Imron, C., "The Characterization of Boundary Layer in The Magnetohydrodynamic Micropolar Fluid Past a Solid Sphere", 2015, Proceedings of ISERD International Conference. 105-108.
- [3] Widodo, B., Ningtyas, R.A., and Imron, C. (2016) Unsteady Magnetohydrodynamic Micropolar Fluid in Boundary Layer Flow Past a Sliced Sphere.
- [4] Wiyanto. 2008. Elektromagnetika. Jogjakarta : Graha Ilmu.

SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMBERIAN PINJAMAN MENGGUNAKAN *FUZZY SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING*

DONY M. SIHOTANG¹, LORENZO B. KANURU²

¹Jln. Adisucipto-Penfui, Kota Kupang NTT, dmsihotang99@gmail.com

²Jln. Adisucipto-Penfui, Kota Kupang NTT, lorensokanuru@gmail.com

Abstrak

Proses pemberian pinjaman merupakan salah satu rutinitas koperasi yang terjadi guna meningkatkan kesejahteraan anggota koperasi maupun masyarakat. Pada proses ini dibutuhkan ketelitian dalam menyeleksi pinjaman yang layak. Kredit macet dalam perkoperasian yang sering terjadi disebabkan kurangnya ketelitian pihak koperasi dalam menyeleksi pinjaman-pinjaman yang layak sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Perancangan sistem pendukung keputusan ini menggunakan metode *Fuzzy Simple Additive Weighting* (F-SAW). Metode ini mampu mengakomodir kekurangan metode SAW dalam penilaian yang bersifat linguistik. Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan hasil dari sistem dan hasil keputusan panitia kredit. Hasil pengujian terhadap 7 data uji dengan besaran pinjaman di bawah Rp.10.000.000 dan 5 data uji dengan besaran pinjaman diantara Rp.15.000.000 – Rp.20.000.000, diperoleh 3 hasil data uji yang berbeda (25%) dan 9 hasil data uji yang sama (75%) antara sistem dengan hasil keputusan koperasi.

Kata Kunci : Kelayakan pinjaman, Sistem Pendukung Keputusan, F-SAW.

1. PENDAHULUAN

Koperasi Kredit (Kopdit) merupakan salah satu jenis koperasi di Indonesia. Koperasi jenis ini kegiatan utamanya adalah menyediakan jasa penyimpanan dan peminjaman dana kepada anggota koperasi. Tujuannya telah ditetapkan dalam UU nomor 25 tahun 1992.

Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan salah satu provinsi yang memiliki jumlah koperasi yang banyak. Menurut data Badan Koordinasi Penanaman Modal Provinsi NTT [1], jumlah koperasi per Mei 2016 sebanyak 4.037 unit dengan jumlah koperasi yang aktif sebanyak 3.593 unit dan yang tidak aktif sebanyak 444 unit. Koperasi Kredit Monafen atau biasa yang disingkat Kopdit Monafen merupakan salah satu koperasi yang masih aktif. Berdasarkan data Rapat Anggota Tahunan (RAT) per Agustus 2016 anggota Kopdit Monafen berjumlah 2.485 orang [2].

Koperasi di Indonesia melandaskan kegiatan usahanya berdasarkan prinsip gerakan ekonomi rakyat yang sesuai dengan asas kekeluargaan. Kopdit monafen sendiri menjadikan asas kekeluargaan sebagai prinsip dasar dalam menjalankan usahanya, sehingga proses seleksi terhadap kriteria-kriteria masih bersifat subjektif. Kopdit Monafen dalam proses penyeleksian pemberian pinjaman dilakukan oleh sebuah tim penilai. Penyeleksian kriteria yang dilakukan tidak menggunakan standar penyeleksian dan menyebabkan adanya unsur ketiidakpastian. Dampak ini dapat dilihat dari data macet yang berada pada angka 6.69% dari 1773 anggota yang melakukan pinjaman, dimana angka tersebut sudah berada diatas ambang batas *Net Present Loan* (NPL) yang ditetapkan Bank Indonesia sebesar 5% dalam Peraturan Bank Indonesia nomor 15 tahun 2013, karenanya perlu dibuat suatu sistem yang dapat menyeleksi kriteria-kriteria dalam menentukan kelayakan anggota untuk menerima pinjaman.

Untuk membuat sistem pendukung keputusan tersebut, metode *FuzzySimple Additive Weighting* (F-SAW) akan diimplemetasikan pada sebuah aplikasi. Metode SAW digunakan untuk penjumlahan terbobot dari *rating* kinerja pada setiap alternatif pada semua atribut [3]. Konsep *fuzzy* yang ada digunakan untuk mengatasi masalah ketidakpastian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Telah banyak penelitian mengenai metode F-SAW dalam sistem pengambilan keputusan seperti yang dilakukan oleh Sagar dkk. [4], dalam jurnalnya yang berjudul “*Exploring Fuzzy SAW Method for Maintenance Strategy Selection Problem of Material Handling Equipment*”. Penilaian yang dilakukan terhadap kriteria dilakukan oleh beberapa tim ahli menggunakan penilaian linguistik, yang menghasilkan keputusan berdasarkan subjektifitas masing-masing ahli terhadap setiap kriteria pada beberapa alternatif yang di proses dengan metode *fuzzy* SAW. Dari hasil yang diperoleh, metode *fuzzy* SAW dapat meranking strategi pengembangan yang harus dilakukan dan alternatif terbaik memperoleh skor akhir sebesar 1,00.

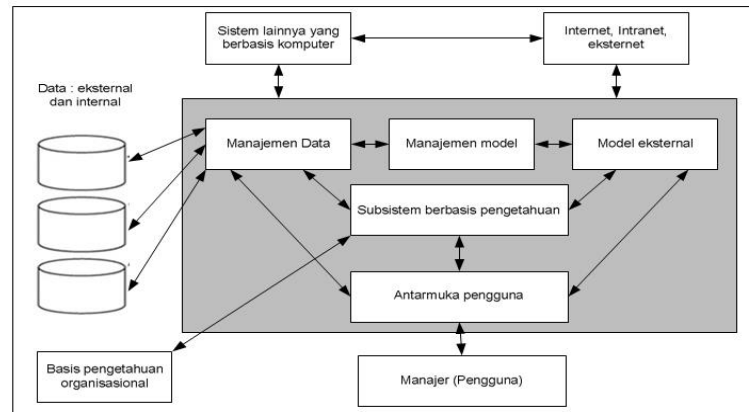
Penelitian dengan penilaian linguistik juga dilakukan Halilintar dkk.[5], yang berjudul “Penerapan Metode SAW dan *Fuzzy* dalam Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Beasiswa”. Sistem yang dibuat mampu untuk meranking calon penerima beasiswa yang kemudian akan dibuat rekomendasi untuk penerima beasiswa.

Penelitian dengan metode *fuzzy* SAW juga dilakukan Sedyono dkk. [6], yang berjudul “*Fuzzy Simple Additive Weighting Algorithm to Determine Land Suitability for Crop in Minahasa Tenggara*”. Pada penelitian ini kriteria yang digunakan adalah *rainfall per year*, *soil texture*, *the number of irrigation*, *climate*, dan *topography*.. Sistem ini dapat menentukan tanah yang baik untuk digunakan sebagai lahan pertanian, serta hasil yang diperoleh memiliki validitas dengan data yang sebenarnya.

Metode yang sama juga dilakukan dalam penelitian Atmojo dkk. [7] yang berjudul “*Fuzzy Simple Additive Weighting Based, Decision Support System Application For Alternative Confusion Reduction Strategy In Smartphone Purchases*”. Pada sistem ini ada 4 kriteria yaitu, *product price*, *camera quality*, *internal memory* dan *capacity processor speed*. Alternatif-alternatifnya adalah *BlackBerry gemini*, *Samsung galaxy Xcover*, *Nokia Lumia* dan *Apple iPhone 5*. Hasil yang diperoleh *Apple iPhone 5* mendapatkan ranking pertama dari ketiga *smartphone* yang dijadikan alternatif dengan skor sempurna yaitu, 1,00.

2.1 Sistem Pendukung Keputusan

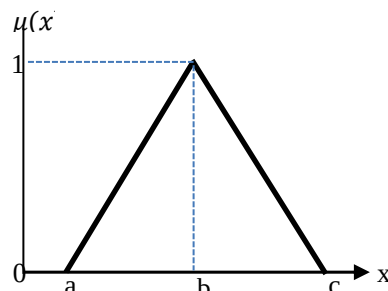
Sistem pendukung keputusan (SPK) adalah sistem berbasis komputer yang digunakan oleh *manager* atau sekelompok *manager* pada setiap *level* organisasi dalam membuat keputusan dalam menyelesaikan masalah semi terstruktur [8]. Pengambilan keputusan merupakan realitas dari setiap bagian kehidupan manusia dan hanya dapat didefinisikan sebagai memilih salah satu cara alternatif tindakan untuk pengambilan keputusan [9]. Dengan adanya alternatif dan informasi maka akan diperoleh sebuah keputusan yang berkualitas [10].



Gambar 1. Skematik SPK [11]

2.2 Fuzzy Simple Additive Wegthing (F-SAW)

Teori himpunan *fuzzy* dapat digunakan untuk merepresentasikan masalah ketidakpastian [12]. Teori ini juga dapat merepresentasikan masalah ketidakjelasan, ketidaktepatan, kekurangan informasi, dan kebenaran parsial [13]. Sebuah bilangan *fuzzy* biasa memiliki himpunan *fuzzy* yang ditandai dengan pemberian interval dari 0 sampai 1 [14]. F-SAW merupakan penggabungan dari metode SAW dengan logika matematika *Fuzzy*. Perbedaannya dengan SAW adalah implementasi nilai pada matriks perbandingan, yakni diwakili oleh tiga variabel (a, b, c) yang disebut *Triangular Fuzzy Numbers* (TFN). Hal ini berarti nilai yang ditemukan bukan satu melainkan tiga, sesuai dengan fungsi keanggotaan segitiga yang meliputi tiga bobot berurutan [15].



Gambar 2. Kurva Segitiga

Secara umum, prosedur F-SAW mengikuti langkah-langkah sebagai berikut [16]:

- Pilih kriteria yang akan digunakan sebagai referensi dan penilai dalam penunjang keputusan.
- Tentukan *rating* kecocokan setiap kriteria dari penilai dalam bentuk variabel linguistik.
- Buat matriks keputusan untuk semua kriteria yang nilainya berupa bilangan *fuzzy*.
- Hitung nilai rata-rata dari bilangan *fuzzy*, nilai defuzzifikasi, dan bobot ternormalisasi dari setiap kriteria.

$$A_{jk} = \frac{(f_{j1}^k + f_{j2}^k + \dots + f_{jn}^k)}{n}; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$$

dimana:

A_{jk} = nilai rata-rata dari bilangan *fuzzy*

f_{jn}^k = bilangan *fuzzy* untuk setiap kriteria pada setiap alternatif

n = jumlah bilangan pada TFN (*Triangular Fuzzy Numbers*)

$$e = \frac{(a + b + c)}{3}$$

dimana:

e = nilai defuzzifikasi

a = bilangan fuzzy terkecil

b = bilangan fuzzy tengah

c = bilangan fuzzy terbesar

3 = jumlah bilangan fuzzy

$$W_i = \frac{e_i}{\sum_{i=1}^n e}$$

dimana:

W_i = bobot untuk kriteria ke i

e_i = nilai defuzzifikasi kriteria ke i

$\sum_{i=1}^n e_i$ = total nilai defuzzifikasi setiap kriteria

- e. Tentukan *rating* kecocokan dari setiap nilai terhadap setiap kriteria dalam setiap alternatif.
- f. Hitung nilai rata-rata dari angka fuzzy (A_{jk}), nilai defuzzifikasi (e) dari setiap kriteria dalam setiap alternatif.
- g. Buat matriks keputusan untuk semua alternatif dan kriteria.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} & \text{Jika } j \text{ adalah atribut keuntungan} \\ \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} & \text{Jika } j \text{ adalah atribut biaya} \end{cases}$$

dimana:

r_{ij} = *rating* kinerja matriks ternormalisasi.

x_{ij} = nilai alternatif terhadap kriteria, i = alternatif, j = kriteria

$\max(x_{ij})$ = nilai terbesar dari alternatif i terhadap kriteria j

$\min(x_{ij})$ = nilai terkecil dari alternatif i terhadap kriteria j

- h. Buat matriks ternormalisasi dari setiap kriteria terhadap setiap alternatif.

$$N = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

dimana:

N = matriks ternormalisasi

- i. Tentukan total nilai dari setiap alternatif.

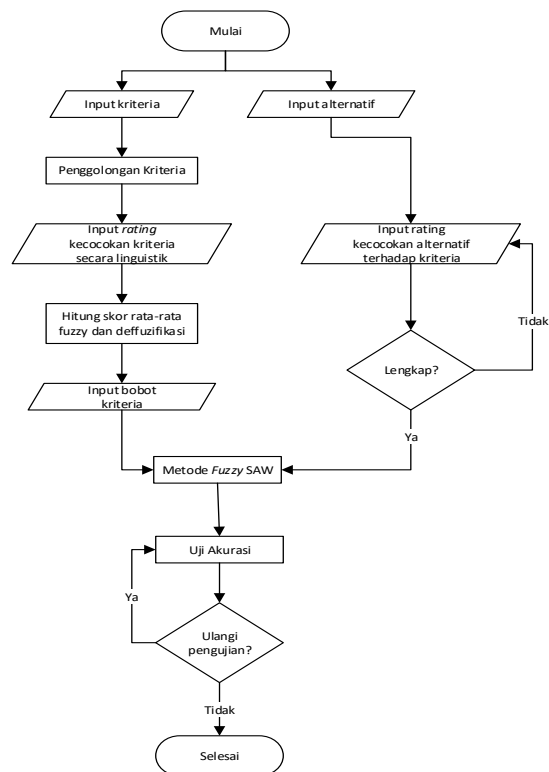
$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij}$$

2.3 Koperasi

Koperasi adalah badan usaha yang beranggotakan orang-seorang atau badan hukum [17]. Tujuan koperasi adalah memenuhi kebutuhan-kebutuhan para anggotanya [18]. koperasi dalam kegiatannya berprinsip sebagai gerakan ekonomi rakyat yang berdasarkan asas kekeluargaan [19]. Pemberian kredit merupakan salah satu produk utama sebuah koperasi simpan pinjam yang juga dikonsumsi anggota koperasi sendiri. Oleh karena itu dibutuhkan suatu penyeleksian yang baik dalam pemberian kredit.

2.4 Tahapan perancangan Sistem Pendukung Keputusan

Pada tahapan perancangan sistem terdapat dua data penelitian yang akan dianalisis terlebih dahulu yaitu, data kriteria dan data alternatif.



Gambar 3. Flowchart gambaran umum sistem

3 HASIL

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini maka dibangun sebuah sistem pendukung keputusan pemberian pinjaman menggunakan metode F-SAW. Pengujian yang dilakukan sebanyak 2 (dua) kali dengan data uji sebanyak 20 data calon peminjam yang terdiri dari data pinjaman lebih kecil sama dengan dari ($\leq$) Rp. 10.000.000 dan data pinjaman $>$ Rp. 15.000.000 dan $\leq$ Rp. 20.000.000.

Dalam proses pembuatan sistem pendukung keputusan ini dilakukan perhitungan nilai preferensi, dimana berdasarkan kesepakatan dari pihak kopdit bahwa nilai preferensi ≥ 0.7 yang dihasilkan oleh sistem dapat dikategorikan bahwa pinjaman yang diajukan layak.

Setelah melakukan dua pengujian tersebut ditemukan beberapa perbedaan hasil keputusan dari sistem dan hasil yang diperoleh dari kabag kredit dalam pemberian pinjaman.

Perbedaan hasil perbandingan antara sistem dan hasil keputusan koperasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

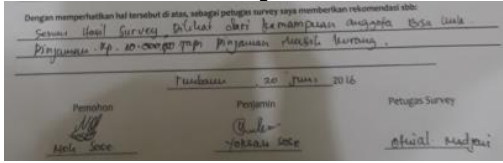
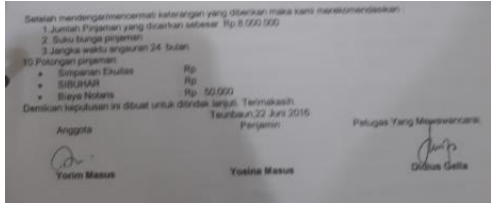
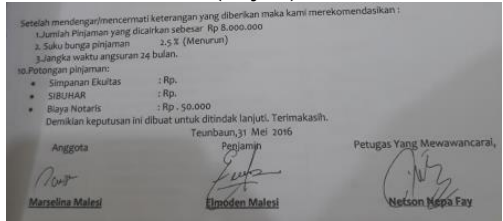
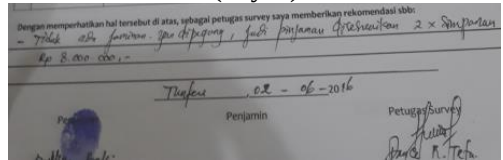
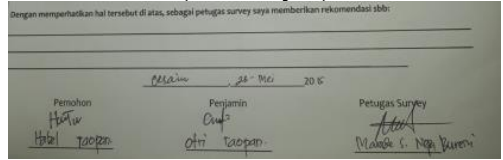
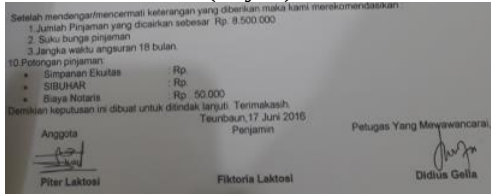
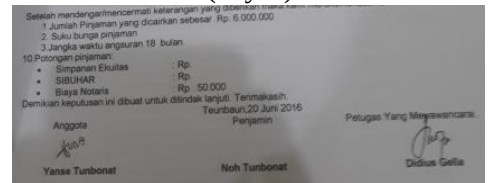
1. Bobot kepentingan pada kriteria
Perbedaan penentuan bobot kepentingan pada setiap kriteria menghasilkan kombinasi bobot yang tidak statis oleh satu orang saja, sehingga bobot preferensi yang diperoleh sudah mewakili semua penilaian kepentingan kriteria oleh masing-masing kriteria.
2. Penilaian *fuzzy* pada alternatif
Penilaian *fuzzy* yang diberikan sangat mempengaruhi hasil perhitungan, karena

penilaian yang diberikan mampu untuk menangani kasus ketidakpastian yang dimiliki oleh alternatif.

4 GAMBAR DAN TABEL

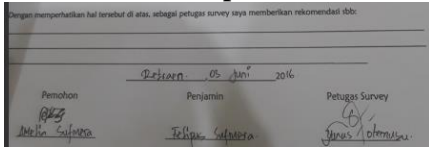
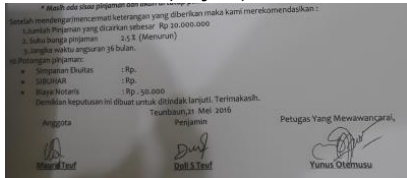
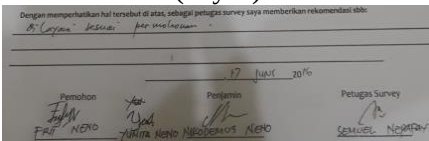
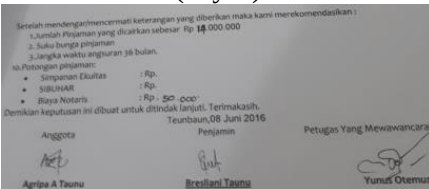
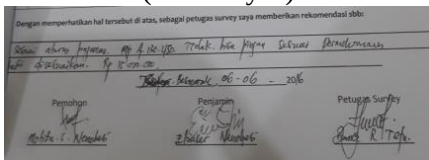
Hasil perhitungan untuk data uji penerima pinjaman lebih kecil sama dengan ($\leq$) Rp. 10.000.0000 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil data uji penerima pinjaman lebih kecil sama dengan ($\leq$) Rp. 10.000.0000

Nama	Hasil Keputusan	Hasil Sistem
Noh Sose	 (Layak)	Layak
Yorim Masus	 (Layak)	Layak
Marselina Malesi	 (Layak)	Layak
Paulina Boku	 (Tidak layak)	Layak
Habel Taopan	 (Layak)	Layak
Piter Laktosi	 (Layak)	Layak
Yanse Tunbonat	 (Layak)	Layak

Hasil perhitungan untuk data uji penerima pinjaman >Rp. 15.000.0000 dan <= Rp. 20.000.000 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil data uji penerima pinjaman > Rp. 15.000.0000 dan <= Rp. 20.000.000

Nama	Hasil Keputusan	Hasil Sistem
Amelia Sufmera	 (Layak)	Layak
Mauria Teuf	 (Layak)	Layak
Fred Neno	 (Layak)	Layak
Agripa Taunu	 (Tidak layak)	Layak
Molita Menobesi	 (Tidak layak)	Layak

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan program yang dibangun maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengujian terhadap 7 data uji dengan besaran pinjaman dibawah Rp.10.000.000 dan 5 data uji dengan besaran pinjaman diantara Rp.15.000.000 – Rp.20.000.000, diperoleh 3 hasil data uji yang berbeda (25%) dan 9 hasil data uji yang sama (75%) antara sistem dengan hasil keputusan kopdit.
- Dari hasil analisis dan pembahasan terhadap 3 data yang berbeda antara sistem dan keputusan kopdit, diperoleh kesimpulan bahwa sistem yang dibangun lebih baik dibanding keputusan kopdit.
- Sistem keputusan yang telah dibangun dapat membantu kabag kredit untuk mengambil keputusan dalam memberikan pinjaman yang layak kepada para calon peminjam pada koperasi kredit Monafen dengan kriteria-kriteria yang sudah ditentukan.

DaftarPustaka

- [1] Sega, 2016, 400-an Koperasi di NTT Tidak Aktif, <http://kbr.id/berita/08-2016/400an-koperasi-di-ntt-tidak-aktif/84229.html>, diakses 18 september 2016.
- [2] Monafen, 2016, *Laporan Rapat Anggota Tahunan Kopdit Monafen per Agustus 2016*, Teunbaun – Amarasi Barat.
- [3] Fishburn, P.C., 1967, *Additive Utilities with Incomplete Product Set: Application to Priorities and Assignments*. Operations Research Society of America (ORSA), Baltimore, MD, U.S.A.
- [4] Sagar, M.K., Jayaswal, P., & Kushwah, K., 2013, *Exploring Fuzzy SAW Method for Maintenance Strategy Selection Problem of Material Handling Equipment*, International Journal of Current Engeneering and Technology, Vol. 3, Hal. 600-605.
- [5] Halilintar, R., Winarno, W.W., & Fatta, H.A., 2016, *Penerapan Metode SAW dan Fuzzy Dalam Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Beasiswa*, Citec Journal, Vol. 3, Hal. 89-101.
- [6] Sediyo, E., Setiawan, A., & Kaparang, D.R., 2013, *Fuzzy Simple Additive Weighting Algorithm to Determine Land Suitability for Crop in Minahasa Tenggara*, International Journal of Computer Applications, Vol. 84, Hal. 26-29.
- [7] Atmojo, R.N.P., Anindito, Pardamean, B., Abbas, B.S., Cahyani, A.D., & Manulang, I.D., 2014, *Fuzzy Simple Additive Weighting Based, Decision Support System Application for Alternative Confusion Reduction Strategy in smartphone Purchases*, American Journal of Applied Sciences, Vol. 3, Hal. 666-680.
- [8] Yakub, 2012, *Pengantar Sistem Informasi*, Pertama Penyunting, ANDI, Yogyakarta.
- [9] Knight, L.V. & Steindach, T.A., 2008, *Selecting an Appropriate Publication Outlet: A Comprehensive Model of Journal Selection Criteria for Researchers in A Broad Range of Academic Disciplines*, International Journal of Doctoral Studies, Vol. 3, Hal. 59-79.
- [10] Yanar, L., Tozan, H., & Hloch, S., 2012, *Selection of Equipment for Soft Tissue Cutting Using Fuzzy AHP and Fuzzy ANP With A Proposed Decision Support System*, Manufacturing Engineering & Management The Proceedings, Turkish.
- [11] Turban, E., Aronson, J.E., & Liang, T.P., 2005, *Karakteristik dan Kapabilitas Kunci dari Sistem pendukung Keputusan*, Dalam: D. Prabantini, Penyunting, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, ANDI, Yogyakarta.
- [12] Zadeh, L.A., 1965, *Fuzzy Sets Information and Control*, Vol. 8, Hal. 338-353.
- [13] Tettamanzi, A., & Tomassini, M., 2001, *Soft Computing Integrating Evaluatory Neural and Fuzzy System*, Springer-verlag, Berlin.
- [14] Wang, W., 2006, *Smallest confidence intervals for one binomial proportion*, Journal of Statistical Planning and Inference, Department of Mathematics and Statistics, Wright State University, Dayton, Vol. 136, Hal. 4293-4295.
- [15] Irfan E. & Nilsen K., 2008, *Comparison of fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods for facility location selection*. International Journal advanced Manufacturing Technology ; 39:783-795.
- [16] Sagar, M.K., Jayaswal, P., & Kushwah, K., 2013, *Exploring Fuzzy SAW Method for Maintenance Strategy Selection Problem of Material Handling Equipment*, International Journal of Current Engeneering and Technology, Vol. 3, Hal. 600-602.
- [17] Muljono, D., 2012, *Buku Pintar Strategi Bisnis Koperasi Simpan Pinjam*, Penyunting Pertama, ANDI, Yogyakarta.
- [18] Aritonang, H.M., 2009, *Analisis Keberadaan Credit Union (CU) Sebagai Lembaga Pembiayaan di Kelurahan Saribudolok Kecamatan Silimakuta, Kab. Simalungun*, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [19] Undang-Undang, 1992. *Undang-Undang No. 25 Tahun 1992 tentang Perkoperasian*, Lembaran Negara RI Tahun 1992 Pasal 1, Sekretariat Negara, Jakarta.

APLIKASI FUZZY C-MEANS SEBAGAI TOOL PENGAMBIL KEBIJAKAN DALAM UPAYA MENURUNKAN TINGKAT PENGANGGURAN DI PROVINSI MALUKU

DORTEUS L. RAHAKBAUW¹, MOZART W. TALAKUA²

¹ Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka-Ambon, lodewyik@gmail.com

² Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka-Ambon, ocat1615@yahoo.com

Abstrak

Pengangguran sebagai salah satu faktor terjadinya kemiskinan di Maluku dikarenakan pengambilan kebijakan untuk pengentasan masalah ini menjadi lambat. Salah satunya karena wilayah Maluku yang merupakan wilayah kepulauan sehingga menjadikan kebijakan-kebijakan yang diambil tidak maksimal dalam pengentasan masalah kemiskinan salah satunya adalah pengangguran. Tercatat pada Dinas Tenaga Kerja Provinsi Maluku, untuk pengangguran aktif periode Desember 2015-Maret 2016 dengan status sarjana mencapai 12.000 jiwa. Pada penelitian ini Algoritma Fuzzy C-Means digunakan untuk mengelompokkan tingkat pengangguran pada 11 kabupaten di Provinsi Maluku. Sedangkan 5 Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Jumlah Penduduk, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), Jumlah Angkatan Kerja, Penduduk Usia 15 Tahun ke Atas, Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) dengan 11 kabupaten/kota pada Provinsi Maluku. Hasil penelitian yang diperoleh cluster I merupakan kabupaten/kota yang termasuk dalam pengangguran tingkat rendah ada 5 kabupaten/kota, cluster II merupakan kabupaten-kabupaten yang termasuk dalam pengangguran tingkat sedang ada 4 kabupaten/kota, dan cluster III merupakan kabupaten-kabupaten yang termasuk dalam pengangguran tingkat tinggi ada 2 kabupaten/kota. Hasil ini sesuai dengan fakta bahwa 2 kabupaten/kota di Provinsi Maluku yaitu Ambon dan Maluku Tengah merupakan daerah dengan tingkat pengangguran tinggi. Dengan hasil ini diharapkan dapat menjadi dasar kebijakan-kebijakan yang diambil oleh pemerintah provinsi Maluku dalam upaya menekan angka pengangguran di provinsi Maluku.

Kata kunci: Fuzzy C-Means, Pengangguran

1. PENDAHULUAN

Maluku adalah salah satu provinsi di Indonesia bagian Timur dengan total populasi 1.715.548 Jiwa pada tahun 2016 dan luas wilayah 705.645 km² dengan sektor pembangunan ekonomi di berbagai bidang menjadikan Maluku merupakan salah satu potensi pendapatan nasional bagi negara, namun hal ini tidak sejalan dengan perlambatan kemajuan yang dialami Maluku saat ini, hal ini sejalan dengan tingkat kemiskinan yang meningkat dan salah satu indikatornya adalah pengangguran. Tercatat pada Dinas Tenaga Kerja Provinsi Maluku, untuk pengangguran aktif periode Desember 2015-Maret 2016 dengan status sarjana mencapai 12.000 jiwa. Dengan demikian perlu adanya kebijakan-kebijakan dari pemerintah provinsi Maluku untuk pengentasan masalah pengangguran

yang ada. Pada penelitian ini diharapkan luarannya sebagai tool untuk pengambil kebijakan diharapkan sangat efisien dikarenakan wilayah yang terpisah yang terdiri dari 11 kabupaten/ kota sehingga memungkinkan pengambilan kebijakan yang tidak maksimal. Dengan pengclusteran FCM diharapkan kebijakan-kebijakan yang diambil lebih terpusat. Karena pengelompokan wilayah yang semakin kecil ruang lingkup kewilayahannya dengan berdasarkan pada variabel-variabel yang mempengaruhi pengangguran.

Fuzzy C-Means sebagai suatu metode untuk pengclusteran, digunakan untuk mengelompokkan tingkat pengangguran rendah, sedang dan tinggi yang dikelompokkan berdasarkan wilayah yang indikator-indikatornya adalah Jumlah Penduduk, Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK), Jumlah Angkatan Kerja, Penduduk Usia 15 Tahun ke Atas, Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuzzy C-Means

Fuzzy berarti sesuatu yang bersifat kabur dan tidak jelas, dimana logika fuzzy itu sendiri berarti mengalokasikan nilai kebenaran dari sebuah variabel ke dalam rentang nilai 0 dan 1 agar berbeda dengan logika tradisional yang mengalokasikan nilai kebenaran tepat pada nilai 0 atau 1. C disini berarti banyaknya konstanta cluster yang diinginkan, oleh sebab itu pada algoritma ini banyaknya jumlah cluster yang ingin digunakan harus ditentukan di awal. Means diartikan sebagai nilai rerata dalam suatu kelompok data, dalam hal ini didefinisikan sebagai cluster. Secara harafiah jika ketiganya digabungkan maka dapat diartikan bahwa algoritma ini menghitung nilai rerata.

Fuzzy Clustering adalah salah satu teknik untuk menentukan *cluster* optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal *Euclidean* untuk jarak antar vektor, hal ini menjadi sangat berguna dalam pemodelan fuzzy terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan fuzzy [1]. Ada beberapa algoritma *clustering* data, salah satu diantaranya adalah *Fuzzy C-Means* (FCM). *Fuzzy C-Means* (FCM) adalah suatu teknik pengclusteran data yang mana keberadaan tiap-tiap titik data dalam suatu *cluster* ditentukan oleh derajat keanggotaan. Teknik ini pertama kali dikembangkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981.

Konsep dasar Fuzzy C-Means (FCM), pertama kali adalah menentukan pusat cluster, yang akan menandai lokasi rata-rata untuk tiap-tiap cluster. Pada lokasi awal, pusat cluster ini masih belum akurat. Tiap-tiap titik data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap cluster. Dengan cara memperbaiki pusat cluster dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat cluster akan bergerak menuju lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimisasi fungsi obyektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan ke pusat cluster yang terbobot oleh derajat keanggotaan titik data tersebut.

2.2 Algoritma Fuzzy C-Means

Algoritma Fuzzy C-Means (FCM) adalah sebagai berikut.

1. Input data yang akan dicluster X , berupa matriks berukuran $n \times m$ (n = jumlah sample data, m = atribut setiap data). X_{ij} = data sampel ke- i , atribut ke- j .

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

2. Tentukan :
 - a. Jumlah cluster $= c$;
 - b. Pangkat $= w$;
 - c. Maksimum iterasi $= \text{MaxIter}$;
 - d. Error terkecil yang diharapkan $= \xi$;
 - e. Fungsi objektif awal $= P_0 = 0$;
 - f. Iterasi awal $= t = 1$;
3. Bangkitkan bilangan random μ_{ik} , $i = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, c$; sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U. Dengan nilai μ_{ik} diantara 0 dan 1 dan jumlah setiap barisnya sama dengan 1.

Hitung jumlah setiap kolom :

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (1)$$

Dengan $j = 1, 2, \dots, n$.

Hitung :

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \quad (2)$$

4. Hitung pusat cluster ke-k: V_{kj} , dengan $k = 1, 2, \dots, c$; dan $j = 1, 2, \dots, m$. [4]

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (3)$$

5. Hitung fungsi objektif pada iterasi ke-t, P_t (Yan, 1994):

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \right) \quad (4)$$

6. Hitung perubahan matriks partisi : [4]

$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (5)$$

Dengan : $i = 1, 2, \dots, n$; dan $k = 1, 2, \dots, c$.

7. Cek kondisi berhenti:
 - a. Jika : $(|P_t - (P_t - 1)| < \xi)$ atau $(t > \text{MaxIter})$ maka berhenti ;
 - b. Jika tidak : $t = t + 1$, ulangi langkah ke-4

3.3 Rumus Menghitung Tingkat Pengangguran Terbuka

Perbandingan diantara jumlah angkatan kerja yang menganggur dengan angkatan kerja keseluruhannya disebut Tingkat Pengangguran. Untuk mengukur tingkat pengangguran pada suatu wilayah bias didapat dari persentase membagi jumlah pengangguran dengan jumlah angkaran kerja.

$$\text{Tingkat Pengangguran Terbuka} = \frac{\text{Jumlah pengangguran}}{\text{Jumlah angkatan kerja}} \times 100 \%$$

3. HASIL

3.1 Data/ Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang di ambil dari kantor Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku dari tahun 2008-2015. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan untuk Menentukan tingkat pengangguran pada 11 kabupaten/ kota di provinsi Maluku adalah:

1. **Jumlah Penduduk**, adalah banyaknya orang yang mendiami suatu wilayah negara. Penduduk suatu negara dapat dibagi dalam dua kelompok, yakni kelompok penduduk usia kerja (tenaga kerja) dan kelompok penduduk bukan usia kerja.
2. **Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK)**, adalah penduduk yang berusia > 15 tahun yang berpartisipasi dalam kegiatan ekonomi
3. **Angkatan Kerja**, adalah penduduk yang bekerja dan yang tidak bekerja (pengangguran)
4. **Penduduk Usia > 15 tahun**, adalah tenaga kerja yang merupakan angkatan kerja dan juga bukan angkatan kerja
5. **Pengangguran Terbuka**, adalah :
 - Penduduk yang tidak punya pekerjaan dan mencari pekerjaan
 - Penduduk yang tidak punya pekerjaan dan menyiapkan usaha
 - Penduduk yang tidak punya pekerjaan dan tidak mencari pekerjaan
 - Penduduk yang punya pekerjaan tetapi belum mulai bekerja

3.2 Perancangan Hasil Output

Langkah awal dari proses pengklasteran ini adalah menentukan parameter awal yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan algoritma Fuzzy C-Means. Parameter-parameter tersebut adalah

Jumlah cluster (c)	= 3
Pangkat (w)	= 2
Maksimum iterasi (MaxIter)	= 100
Error terkecil yang diharapkan (ξ)	= 10^{-3}
Fungsi objektif awal (P_0)	= 0

3.3 Implementasi FCM

Langkah pertama adalah memulai perhitungan dengan terlebih dahulu dengan membangkitkan bilangan random sebagai matriks partisi awal. Matriks partisi awal U yang terbentuk (secara random) adalah sebagai berikut:

$$U = \begin{bmatrix} 0.0239 & 0.9445 & 0.0316 \\ 0.2307 & 0.1330 & 0.6362 \\ 0.1578 & 0.1088 & 0.7334 \\ 0.1684 & 0.2020 & 0.6296 \\ 0.3704 & 0.1568 & 0.4728 \\ 0.9467 & 0.0226 & 0.0306 \\ 0.8924 & 0.0397 & 0.0678 \\ 0.0684 & 0.0532 & 0.8784 \\ 0.0449 & 0.9171 & 0.0381 \\ 0.2556 & 0.2290 & 0.5154 \\ 0.2328 & 0.0625 & 0.7046 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan data pada tabel. 1 ditentukan pusat-pusat cluster V_{kj} berdasarkan (3) dengan $k = 1,2,3$; dan $j = 1,2,3,4,5$ pada setiap iterasi, pada iterasi ke-1, dihitung pusat cluster dengan perhitungan pada tabel 2, dan diperoleh pusat cluster sebagai berikut :

$$V_{kj} = \begin{bmatrix} 109,819.03 & 53.60 & 45,835.80 & 68,686.97 & 6.88 \\ 72,751.21 & 48.95 & 32,891.73 & 47,614.52 & 4.76 \\ 123,771.69 & 48.72 & 49,698.45 & 78,415.76 & 6.10 \end{bmatrix}$$

Setelah diperoleh pusat-pusat cluster selanjutnya fungsi objektif dihitung dengan menggunakan rumus (4). Perhitungan fungsi Objektifnya menghasilkan $P_1 = 62,725,531,584.6956$ pada iterasi pertama, nilai fungsi objektif lengkap 42 iterasi

disajikan pada tabel 3 dimana iterasi ke 41 dan ke 42 sudah menunjukkan nilai yang sama dalam hal ini konvergen ke nilai tersebut. Langkah selanjutnya yaitu, menghitung perubahan matriks partisi dengan menggunakan rumus (5) sehingga perbaikan matriks partisi U yang baru atau derajat keanggotaan yang baru adalah sebagai berikut:

$$U = \begin{bmatrix} 0.3526 & 0.5121 & 0.1353 \\ 0.0401 & 0.9412 & 0.0187 \\ 0.3481 & 0.2446 & 0.4072 \\ 0.4922 & 0.3572 & 0.1506 \\ 0.0208 & 0.9676 & 0.0116 \\ 0.1421 & 0.0197 & 0.8382 \\ 0.0592 & 0.9134 & 0.0274 \\ 0.1192 & 0.8038 & 0.0769 \\ 0.1766 & 0.7002 & 0.1232 \\ 0.3483 & 0.2416 & 0.4101 \\ 0.1502 & 0.7484 & 0.1014 \end{bmatrix}$$

Langkah terakhir dengan mengecek cek kondisi berhenti, dan karena $|P_1 - P_0| = |62,725,531,584.6956 - 0| = 62,725,531,584.6956 > \xi = 10^{-3}$ maka perhitungan dilanjutkan ke iterasi ke 2. Untuk kasus ini, proses baru akan berhenti setelah iterasi ke 42 dan Pada iterasi ke 42, dihitung kembali 3 pusat cluster V_{kj} dengan $k = 1,2,3$; dan $j = 1,2,3,4,5$ sebagai berikut:

$$V_{kj} = \begin{bmatrix} 90,557.34 & 54.69 & 41,918.48 & 60,366.56 & 5.72 \\ 53,639.21 & 44.76 & 19,145.52 & 28,458.06 & 4.68 \\ 286,526.92 & 48.07 & 114,132.36 & 191,123.48 & 10.45 \end{bmatrix}$$

Informasi yang dapat diperoleh dari ketiga pusat cluster diatas adalah:

Pada Provinsi Maluku, Tingkat pengangguran dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok:

1. Kelompok pertama (Pengangguran tingkat rendah), berisi kabupaten-kabupaten yang memiliki jumlah penduduk sekitar 90,557.34 jiwa; memiliki tingkat partisipasi angkatan kerja sekitar 54.69%; memiliki Jumlah angkatan kerja sekitar 41,918.48 orang; memiliki jumlah penduduk yang berusia > 15 tahun sekitar 60,366.56 orang; dan memiliki tingkat pengangguran terbuka sekitar 5.72%.
2. Kelompok kedua (Pengangguran tingkat sedang), berisi kabupaten-kabupaten yang memiliki jumlah penduduk sekitar 53,639.21 jiwa; memiliki tingkat partisipasi angkatan kerja sekitar 44.76%; memiliki Jumlah angkatan kerja sekitar 19,145.52 orang; memiliki jumlah penduduk yang berusia > 15 tahun sekitar 28,458.06 orang; dan memiliki tingkat pengangguran terbuka sekitar 4.68%.
3. Kelompok ketiga (Pengangguran tingkat tinggi), berisi kabupaten-kabupaten yang memiliki jumlah penduduk sekitar 286,526.92 jiwa; memiliki tingkat partisipasi angkatan kerja sekitar 48.07%; memiliki Jumlah angkatan kerja sekitar 114,132.36 orang; memiliki jumlah penduduk yang berusia > 15 tahun sekitar 191,123.48 orang; dan memiliki tingkat pengangguran terbuka sekitar 10.45%.

Beberapa hal penting yang diperoleh dalam proses pengklasteran ini adalah nilai fungsi obyektif selama iterasi, pusat cluster serta derajat keanggotaan setiap cluster pada iterasi terakhir.

Pada iterasi ke- 42, diperoleh Matriks Partisi U atau derajat keanggotaan yang baru yang disajikan pada tabel 4, dan dari derajat keanggotaan pada iterasi terakhir tersebut dapat diperoleh informasi mengenai kecenderungan untuk setiap observasi masuk ke cluster mana. Derajat keanggotaan terbesar menunjukkan bahwa kecenderungan tertinggi observasi untuk masuk mejadi anggota cluster tertentu. Kecenderungan cluster secara keseluruhan dapat dilihat dalam tabel 5.

4. GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Data BPS Provinsi Maluku (Rata-rata dari Tahun 2008 sd. 2015)

No	Nama Kabupaten	Rata-rata JP	Rata-rata TPAK (Dalam %)	Rata-rata JAK	Rata-rata JP usia > 15 tahun	Rata-rata TPT (Dalam %)
1	Maluku Tenggara Barat	83,660.60	55.77	44,808.80	62,909.40	5.55
2	Maluku Tenggara	79,487.00	55.22	36,770.20	48,124.80	4.73
3	Maluku Tengah	293,720.20	48.54	113,800.40	190,019.60	9.20
4	Buru	89,990.60	54.22	42,515.60	62,461.70	5.10
5	Kepulauan Aru	68,944.20	53.58	29,128.80	42,304.60	3.62
6	Seram Bagian Barat	132,342.30	54.85	56,245.20	77,423.50	6.87
7	Seram Bagian Timur	79,226.10	53.51	32,185.00	54,236.00	7.13
8	Maluku Barat Daya	56,933.00	45.33	20,634.20	29,172.00	2.45
9	Buru Selatan	44,421.10	41.31	13,686.00	19,908.00	3.43
10	Ambon	279,639.00	47.59	114,579.10	192,452.00	11.71
11	Tual	48,598.80	42.85	16,506.80	27,140.40	8.42

Ket: JP = Jumlah Penduduk, TPAK = Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja, JAK = Jumlah Angkatan Kerja, TPT = Tingkat pengangguran Terbuka

Tabel 2. Perhitungan Pusat Cluster pada Iterasi ke- 1

Cluster ke-1

Derajat
Keanggotaan

Data yang di Cluster

μ_{i1}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	$(\mu_{i1})^2$	$(\mu_{i1})^2 * x_{i1}$	$(\mu_{i1})^2 * x_{i2}$	$(\mu_{i1})^2 * x_{i3}$	$(\mu_{i1})^2 * x_{i4}$	$(\mu_{i1})^2 * x_{i5}$
0.0239	83,660.60	55.77	44,808.80	62,909.40	5.55	0.001	47.788	0.032	25.595	35.934	0.003
0.2307	79,487.00	55.22	36,770.20	48,124.80	4.73	0.053	4,230.496	2.939	1,957.002	2,561.322	0.252
0.1578	293,720.20	48.54	113,800.40	190,019.60	9.20	0.025	7,313.880	1.209	2,833.726	4,731.648	0.229
0.1684	89,990.60	54.22	42,515.60	62,461.70	5.10	0.028	2,552.004	1.538	1,205.681	1,771.324	0.145
0.3704	68,944.20	53.59	29,128.80	42,304.60	3.62	0.137	9,458.879	7.352	3,996.360	5,804.029	0.497
0.9467	132,342.30	54.85	56,245.20	77,423.50	6.87	0.896	118,610.581	49.159	50,409.248	69,390.107	6.157
0.8924	79,226.10	53.52	32,185.00	54,236.00	7.13	0.796	63,093.904	42.618	25,631.418	43,192.344	5.678
0.0684	56,933.00	45.33	20,634.20	29,172.00	2.45	0.005	266.364	0.212	96.538	136.483	0.011
0.0449	44,421.10	41.31	13,686.00	19,908.00	3.43	0.002	89.553	0.083	27.591	40.135	0.007
0.2556	279,639.00	47.59	114,579.10	192,452.00	11.71	0.065	18,269.196	3.109	7,485.608	12,573.151	0.765
0.2328	48,598.80	42.85	16,506.80	27,140.40	8.42	0.054	2,633.853	2.322	894.600	1,470.897	0.456
Σ						2.063	226,566.498	110.573	94,563.367	141,707.372	14.200
$\Sigma[\mu_{i1}^2]/\Sigma(\mu_{i1}^2)$							109,819.03	53.60	45,835.80	68,686.97	6.88

Cluster ke-2

Derajat
Keanggotaan

Data yang di Cluster

μ_{i2}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	$(\mu_{i2})^2$	$(\mu_{i2})^2 * x_{i1}$	$(\mu_{i2})^2 * x_{i2}$	$(\mu_{i2})^2 * x_{i3}$	$(\mu_{i2})^2 * x_{i4}$	$(\mu_{i2})^2 * x_{i5}$
0.9445	83,660.60	55.770	44,808.80	62,909.40	5.55	0.892	74631.969	49.751	39973.046	56120.233	4.951
0.1330	79,487.00	55.220	36,770.20	48,124.80	4.73	0.018	1406.046	0.977	650.428	851.280	0.084
0.1088	293,720.20	48.542	113,800.40	190,019.60	9.20	0.012	3476.895	0.575	1347.105	2249.346	0.109
0.2020	89,990.60	54.223	42,515.60	62,461.70	5.10	0.041	3671.976	2.213	1734.807	2548.687	0.208
0.1568	68,944.20	53.588	29,128.80	42,304.60	3.62	0.025	1695.079	1.318	716.168	1040.111	0.089
0.0226	132,342.30	54.850	56,245.20	77,423.50	6.87	0.001	67.595	0.028	28.728	39.545	0.004

0.0397	79,226.10	53.515	32,185.00	54,236.00	7.13	0.002	124.867	0.084	50.726	85.481	0.011
0.0532	56,933.00	45.330	20,634.20	29,172.00	2.45	0.003	161.134	0.128	58.400	82.564	0.007
0.9171	44,421.10	41.310	13,686.00	19,908.00	3.43	0.841	37361.362	34.745	11510.917	16744.070	2.885
0.2290	279,639.00	47.590	114,579.10	192,452.00	11.71	0.052	14664.549	2.496	6008.643	10092.375	0.614
0.0625	48,598.80	42.850	16,506.80	27,140.40	8.42	0.004	189.839	0.167	64.480	106.017	0.033
Σ						1.89	137451.31	92.48	62143.45	89959.71	1.889
$\Sigma[\mu_{i2}^2]/\Sigma(\mu_{i2}^2)$							83,660.60	55.77	44,808.80	62,909.40	5.55

Cluster ke-3

Derajat

Keanggotaan

Data yang di Cluster

μ_{i3}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	$(\mu_{i3})^2$	$(\mu_{i3})^2 * x_{i1}$	$(\mu_{i3})^2 * x_{i2}$	$(\mu_{i3})^2 * x_{i3}$	$(\mu_{i3})^2 * x_{i4}$	$(\mu_{i3})^2 * x_{i5}$
0.0316	83,660.60	55.770	44,808.80	62,909.40	5.55	0.001	83.540	0.056	44.744	62.819	0.006
0.6362	79,487.00	55.220	36,770.20	48,124.80	4.73	0.405	32,172.398	22.350	14,882.755	19,478.534	1.914
0.7334	293,720.20	48.542	113,800.40	190,019.60	9.20	0.538	157,984.917	26.110	61,210.454	102,206.899	4.948
0.6296	89,990.60	54.223	42,515.60	62,461.70	5.10	0.396	35,671.928	21.494	16,853.021	24,759.578	2.022
0.4728	68,944.20	53.588	29,128.80	42,304.60	3.62	0.224	15,411.775	11.979	6,511.447	9,456.764	0.809
0.0306	132,342.30	54.850	56,245.20	77,423.50	6.87	0.001	123.920	0.051	52.666	72.496	0.006
0.0678	79,226.10	53.515	32,185.00	54,236.00	7.13	0.005	364.190	0.246	147.949	249.314	0.033
0.8784	56,933.00	45.330	20,634.20	29,172.00	2.45	0.772	43,928.738	34.976	15,921.071	22,508.723	1.890
0.0381	44,421.10	41.310	13,686.00	19,908.00	3.43	0.001	64.482	0.060	19.867	28.899	0.005
0.5154	279,639.00	47.590	114,579.10	192,452.00	11.71	0.266	74,282.510	12.642	30,436.467	51,122.403	3.111
0.7046	48,598.80	42.850	16,506.80	27,140.40	8.42	0.496	24,127.417	21.273	8,194.985	13,474.154	4.180
Σ						3.104	384,215.815	151.237	154,275.426	243,420.583	18.925
$\Sigma[\mu_{i1}^2]/\Sigma(\mu_{i1}^2)$							123,771.69	48.72	49,698.45	78,415.76	6.10

Tabel 3. Nilai Fungsi Objektif dari 42 Iterasi

Iterasi ke-	Nilai Fungsi Objektif	Iterasi ke-	Nilai Fungsi Objektif
1	62,725,531,584.6956	22	2,950,471,721.1859
2	32,127,750,076.9494	23	2,949,775,408.5762
3	10,686,839,517.7767	24	2,949,566,845.9641
4	6,518,573,826.3522	25	2,949,505,359.2095
5	4,180,644,477.1363	26	2,949,487,389.6836
6	4,000,149,126.8185	27	2,949,482,162.9783
7	3,885,562,448.4606	28	2,949,480,646.6194
8	3,772,024,525.4177	29	2,949,480,207.3075
9	3,634,874,744.0891	30	2,949,480,080.1276
10	3,466,377,907.6328	31	2,949,480,043.3241
11	3,285,785,644.9118	32	2,949,480,032.6761
12	3,132,445,262.0870	33	2,949,480,029.5958
13	3,032,364,098.4551	34	2,949,480,028.7048
14	82,031,813,141.8890	35	2,949,480,119.6618
15	23,792,125,751.9776	36	2,949,480,028.3727
16	3,738,292,410.0807	37	2,949,480,028.3510
17	3,202,655,707.8770	38	2,949,480,028.3447
18	3,035,179,802.7364	39	2,949,480,028.3429
19	2,979,908,292.2956	40	2,949,480,028.3424
20	2,959,725,716.4001	41	2,949,480,028.3422
21	2,952,731,803.4295	42	2,949,480,028.3422

Tabel 4. Derajat Keanggotaan pada Iterasi ke- 42

μ_{i1}	μ_{i2}	μ_{i3}
0.9768	0.0222	0.0010
0.8175	0.1790	0.0035
0.0008	0.0006	0.9986
0.9982	0.0017	0.0001
0.3530	0.6426	0.0044
0.7807	0.1756	0.0437
0.8483	0.1485	0.0032
0.0053	0.9946	0.0002
0.0395	0.9587	0.0018
0.0008	0.0006	0.9986
0.0096	0.9900	0.0004

Tabel 5. Kecenderungan Cluster

Nama Kabupaten	Derajat keanggotaan pada cluster ke-			Data cenderung masuk cluster ke-		
	1	2	3	1	2	3
Maluku Tenggara Barat	0.9768	0.0222	0.0010	*		
Maluku Tenggara	0.8175	0.1790	0.0035	*		
Maluku Tengah	0.0008	0.0006	0.9986			*
Buru	0.9982	0.0017	0.0001	*		
Kepulauan Aru	0.3530	0.6426	0.0044		*	
Seram Bagian Barat	0.7807	0.1756	0.0437	*		
Seram Bagian Timur	0.8483	0.1485	0.0032	*		
Maluku Barat Daya	0.0053	0.9946	0.0002		*	
Buru Selatan	0.0395	0.9587	0.0018		*	
Ambon	0.0008	0.0006	0.9986			*
Tual	0.0096	0.9900	0.0004		*	

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini metode pengclusteran Fuzzy Cluster Means (Fuzzy C-Means) mampu mengelompokkan wilayah Maluku kedalam 3 cluster dengan pengangguran tingkat rendah (zona 1), tingkat sedang (zona 2), dan tingkat tinggi (zona 3). Dan hasilnya sesuai dengan fakta aktual bahwa kota Ambon dan kabupaten Maluku Tengah penyumbang angka pengangguran tinggi. Hal ini dapat menjadi referensi pengambil kebijakan untuk 11 kabupaten/ kota yang ada di Provinsi Maluku pada khususnya.

Daftar Pustaka

- [1] Kusumadewi, S., Purnomo, H., *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [2] Kusumadewi, S., “*Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link*”. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [3] Mirza, Muhammad, Faisal. “*Metode Clustering dengan Algoritma Fuzzy C-Means untuk Rekomendasi Pemilihan Bidang Keahlian Pada Program Studi Teknik Informatika*”. Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2013.
- [4] Yan, J., Power, M., Power, J., “*Using Fuzzy Logic (Tower Intelligent Systems)*. New York: Prentice-Hall, 1994.

MODEL TRINOMIAL PADA PENENTUAN HARGA OPSI SAHAM KARYAWAN

EMLI RAHMI¹

¹Universitas Negeri Gorontalo, emlirahmi@ung.ac.id

Abstrak

Makalah ini membahas penentuan harga opsi saham karyawan (OSK) dengan menggunakan model trinomial Boyle dan Kamrad and Ritchken sebagai alternatif berbeda dari model binomial yang digunakan oleh Hull and White. Secara lebih khusus, melihat pengaruh pemilihan parameter λ yang merupakan penentu peluang naik, tetap, atau turunnya harga saham pada kedua model trinomial tersebut dalam penentuan harga OSK, membandingkan model trinomial dengan model binomial dengan parameter λ terpilih serta melihat sensitivitas harga opsi terhadap fitur utama OSK seperti: lama masa tunggu (*vesting period*), laju keluar karyawan (*employee exit rate*) dan angka kelipatan dari harga pelaksanaan (M) sebagai trigger untuk mengexercise opsi. Solusi analitik harga OSK diberikan oleh Cvitanic et al sebagai pembanding terhadap hasil-hasil numerik.

Kata Kunci: *model trinomial, opsi saham karyawan, model Hull-White, solusi Cvitanic et al*

1. PENDAHULUAN

Opsi saham karyawan (OSK) merupakan opsi *call* (hak untuk membeli) yang diberikan oleh perusahaan kepada sekelompok karyawan tertentu atas saham perusahaan itu sendiri, yang akan dilakukan pada harga pelaksanaan (*exercise price*) setelah melewati periode tertentu di masa akan datang (*vesting period*) dan memiliki jangka waktu tertentu (*maturity time*) pula biasanya 10 tahun. Opsi ini dapat dipandang sebagai bagian dari paket remunerasi bagi karyawan yang mendorong agar karyawan tidak meninggalkan perusahaan serta bekerja lebih giat untuk meningkatkan kinerja perusahaan yang berdampak pada peningkatan harga saham perusahaan di masa akan datang dan peningkatan pendapatan karyawan yang memiliki OSK itu sendiri.

OSK memiliki beberapa fitur khusus yang mengakomodasi kepentingan perusahaan dan karyawan. Adapun fitur-fitur khusus OSK yang membuatnya berbeda dengan opsi yang diperdagangkan di pasar regular (misalnya lihat Rubinstein [8]) adalah sebagai berikut:

- Terdapat masa tunggu (*vesting period*) dimana selama masa tunggu tersebut opsi tidak dapat diexercise.
- Ketika karyawan meninggalkan perusahaan (baik secara sukarela atau pun tidak) dalam periode masa tunggu maka opsi menjadi batal.
- Ketika karyawan meninggalkan perusahaan (baik secara sukarela atau pun tidak) setelah periode masa tunggu maka opsi menjadi batal (bila harga pasar saham

dalam keadaan *out of the money*) atau opsi dapat segera diexercise (bila harga pasar saham dalam keadaan *in the money*).

- d. Karyawan tidak diperbolehkan menjual opsi yang dimilikinya sehingga kemungkinan yang dapat dilakukan adalah melakukan *early exercise* setelah periode masa tunggu berakhir sampai saat maturity time.

Metode lattice (binomial dan trinomial) merupakan metode sederhana dan intuitif dalam menentukan harga opsi, bermanfaat bagi opsi yang tidak memiliki rumusan eksak untuk menghitungnya. Dari sisi keakuratan, dapat dilihat bahwa harga opsi standar yang diperoleh dengan menggunakan model binomial akan konvergen menuju solusi eksak Black-Scholes bila banyak langkah yang diambil cukup besar. Namun sayangnya model binomial ini hanya mempunyai dua kemungkinan pergerakan harga saham yaitu harga saham naik atau harga saham turun di setiap interval waktunya. Model trinomial merupakan perluasan dari model binomial, dimana setiap interval waktu harga saham diasumsikan dapat bergerak naik, tetap atau turun dengan peluang tertentu, sehingga lebih realistis dalam memperkirakan pergerakan harga saham.

Sejauh ini telah terdapat beberapa model penentuan harga OSK yang diperkenalkan baik secara numeric maupun analitik seperti model utility-maximizing yang diajukan oleh Kulatilaka and Markus [7], Huddart [4] dan Rubinstein [8] mengembangkan model binomial dengan strategi exercise yang dapat memaksimalkan utilitas yang diharapkan oleh pemegang opsi ketika mereka tidak dapat menjual ataupun melindungi opsinya, model Hull and White [5] yang memodifikasi model binomial CRR [2] sehingga mampu mengakomodasi fitur-fitur OSK; serta yang terbaru yang diajukan oleh Cvitanić, Wiener and Zapatero [3] berupa solusi analitik bagi harga OSK.

Pada makalah ini akan ditentukan harga OSK menggunakan model trinomial yang diajukan oleh Boyle dan Kamrad and Ritchken dengan menggunakan penentuan harga OSK model Hull-White. Karena pada kedua model trinomial tersebut terdapat parameter stretch λ yang sangat berpengaruh dalam membangun harga-harga saham model trinomial maka terlebih dahulu akan dilihat pengaruh pemilihan nilai λ pada penentuan harga OSK. Selanjutnya harga opsi yang diperoleh dengan model trinomial ini akan dibandingkan dengan model binomial untuk melihat model mana yang memberikan taksiran harga opsi yang terbaik dengan model Cvitanić, Wiener and Zapatero sebagai benchmarknya. Untuk melihat efektivitas parameter λ pada tiap model trinomial maka dilakukan perhitungan RMS (*root mean square*) error yang diformulasikan sebagai berikut:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\hat{P} - P)^2}{N}}$$

dimana $\hat{P}$ merupakan harga taksiran opsi dan P merupakan harga sebenarnya yang diberikan oleh CWZ. Terakhir melihat sensitivitas harga opsi yang diperoleh dengan model trinomial terhadap fitur-fitur OSK.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Pada Model Trinomial

Perluasan dari model binomial yang populer adalah model trinomial. Pada model ini, diantara dua titik simpul i dan $i + 1$, rasio harga saham $\frac{S_{i+1}}{S_i}$ mengambil nilai $\{d, m, u\}$ dimana $d < m < u$, dengan peluang p_u, p_m dan p_d . seperti pada model binomial, untuk mendapatkan parameter pada model trinomial dilakukan dengan menyamakan momen pertama dan kedua model kontinu dan diskrit pergerakan harga saham yaitu:

$$\begin{aligned} p_u u + p_m m + p_d d &= \exp(r\delta t) \\ p_u u^2 + p_m m^2 + p_d d^2 &= \exp(2r + \sigma^2) \delta t \end{aligned}$$

bersama dengan hubungan $p_u + p_m + p_d = 1$ dan $p_u, p_m, p_d > 0$, akan diperoleh 3 persamaan dengan 6 variabel yang tidak diketahui.

Dua model populer yang sering menjadi rujukan mengajukan tambahan asumsi untuk menjamin konsistensi model ini terhadap model Black-Scholes yaitu model Boyle dan model Kamrad-Ritchken.

Model Boyle

Model ini dikembangkan oleh Phelim Boyle pada tahun 1986 [1]. Pada model ini, diberikan 3 asumsi tambahan yaitu $m = 1, ud = 1$, dan $u = \exp(\lambda\sigma\sqrt{\delta t})$ dimana $\lambda > 1$ yang disebut parameter *stretch*, sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} p_u &= \frac{(\exp((2r + \sigma^2)\delta t) - \exp(r\delta t)) - (\exp(r\delta t) - 1)}{(\exp(\lambda\sigma\sqrt{\delta t}) - 1)(\exp(2\lambda\sigma\sqrt{\delta t}) - 1)} \\ p_d &= \frac{(\exp((2r + \sigma^2)\delta t) - \exp(r\delta t))\exp(2\lambda\sigma\sqrt{\delta t}) - (\exp(r\delta t) - 1)\exp(3\lambda\sigma\sqrt{\delta t})}{(\exp(\lambda\sigma\sqrt{\delta t}) - 1)(\exp(2\lambda\sigma\sqrt{\delta t}) - 1)} \\ p_m &= 1 - p_u - p_d \end{aligned}$$

Model Kamrad-Ritchken

Model ini dikembangkan oleh Bardia Kamrad dan Peter Ritchken pada tahun 1991 [6]. Pandang variabel acak $\ln\left(\frac{S(t+\delta t)}{S(t)}\right) \sim N\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\delta t, \sigma^2\delta t\right)$ maka $\ln(S(t+\delta t)) = \ln(S(t)) + \xi(t)$ dengan $\xi \sim N\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\delta t, \sigma^2\delta t\right)$. Pada model ini $\xi(t)$ dihamperi oleh peubah acak diskrit yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\xi^a(t) = \begin{cases} v, & \text{dengan peluang } p_u \\ 0, & \text{dengan peluang } p_m \\ -v, & \text{dengan peluang } p_d \end{cases}$$

dimana $v = \lambda\sigma\sqrt{\delta t}$ dan $\lambda \geq 1$. Perhatikan bahwa $u = \exp(v)$, $m = 1$ dan $d = \exp(-v)$. Dengan menyamakan ekspektasi dan varians model lognormal harga saham dengan hampiran peubah acak diskrit diperoleh:

$$\begin{aligned} v(p_u - p_d) &= \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\delta t \\ v^2(p_u + p_d) - v^2(p_u - p_d)^2 &= \sigma^2\delta t \end{aligned}$$

Bersama-sama dengan hubungan $p_u + p_m + p_d = 1$ diperoleh

$$\begin{aligned} p_u &= \frac{1}{2\lambda^2} + \frac{(r - \frac{\sigma^2}{2})\sqrt{\delta t}}{2\lambda\sigma} \\ p_d &= \frac{1}{2\lambda^2} - \frac{(r - \frac{\sigma^2}{2})\sqrt{\delta t}}{2\lambda\sigma} \\ p_m &= 1 - \frac{1}{\lambda^2} \end{aligned}$$

2.2 Model Trinomial Penentuan Harga Osk

Model trinomial penentuan harga OSK ini diadaptasi dari model penentuan harga OSK yang diajukan oleh John Hull and Alan White pada tahun 2004. Model ini memanfaatkan model binomial CRR [2] yang dimodifikasi dengan memasukkan secara eksplisit adanya kemungkinan karyawan untuk meninggalkan perusahaan (secara sukarela atau tidak) sebelum maupun sesudah masa tunggu berakhir serta memasukkan pula strategi karyawan dalam melakukan early exercise yang diasumsikan terjadi ketika harga pasar saham mencapai kelipatan tertentu, M , dari harga pelaksanaan. Berdasarkan hal-hal tersebut dibangun aturan penentuan harga OSK [5] sebagai berikut:

- Opsi hanya bisa diexercise setelah masa tunggu berakhir.
- Setelah melewati masa tunggu, opsi akan diexercise hingga waktu jatuh tempo jika harga saham paling sedikit M kali dari harga pelaksanaan.
- Terdapat peluang sebesar $\omega\delta t$ bahwa opsi akan batal disetiap selang waktu pendek dalam periode masa tunggu, dimana ω merupakan *employee exit rate*.
- Terdapat peluang sebesar $\omega\delta t$ bahwa opsi akan segera diakhiri disetiap selang waktu pendek δt setelah masa tunggu. Ketika ini terjadi maka opsi akan batal bila dalam keadaan *out of the money* dan akan diexercise bila dalam keadaan *in the money*.

Misalkan panjang masa hidup OSK dibagi kedalam N sub selang waktu secara seragam, masing-masing dengan panjang δt . Misalkan pula $S_{i,j}$ menyatakan harga saham pada saat $j\delta t$ pada titik simpul i , dengan $j = 0, 1, 2, \dots, N$ dan $i = 0, 1, 2, \dots, j$. Selanjutnya $f_{i,j}$ menyatakan harga OSK pada saat harga sahamnya adalah $S_{i,j}$. Misalkan v menyatakan saat masa tunggu (*vesting period*) berakhir, r suku bunga bebas resiko dan K harga pelaksanaan (*strike price*). Pada saat jatuh tempo ($j = N$) untuk masing-masing titik simpul dibagian akhir pohon trinomial harga saham, harga opsi diberikan oleh nilai *intrinsic* opsi yaitu sebesar

$$f_{i,N} = \max\{S_{i,N} - K, 0\}.$$

Untuk titik-titik simpul yang lain pada pohon trinomial dengan $0 \leq j \leq N - 1$ diberikan aturan berikut (dengan melakukan proses mundur pada pohon binomial):

- Selama periode masa tunggu yaitu saat $j\delta t < v$, harga opsi dapat dihitung sebagai:

$$f_{i,j} = e^{-\omega\delta t} e^{-r\delta t} [p_u \cdot f_{i-1,j+1} + p_m f_{i,j+1} + p_d f_{i+1,j+1}]$$

- Setelah periode masa tunggu yaitu saat $j\delta t \geq v$:

Jika $S_{i,j} \geq MK$, maka opsi akan diexercise yaitu:

$$f_{i,j} = S_{i,j} - K$$

Jika $S_{i,j} < MK$, maka harga opsi akan diberikan oleh:

$$f_{i,j} = (1 - e^{-\omega\delta t}) \cdot \max\{S_{i,j} - K, 0\} + e^{-\omega\delta t} e^{-r\delta t} [p_u \cdot f_{i-1,j+1} + p_m f_{i,j+1} + p_d f_{i+1,j+1}]$$

Diakhir proses kita peroleh harga OSK yang dicari diberikan oleh nilai $f_{0,0}$.

3. HASIL

Untuk melihat pengaruh pemilihan nilai parameter λ terhadap harga OSK, berikut disajikan hasil perhitungan numeric harga OSK dengan menggunakan model trinomial dengan banyaknya *time step* (N) yang berbeda-beda untuk nilai-nilai $S = 100, K = 100, r = 0.06, T = 10, \sigma = 0.2, M = 1.5, \omega = 0.04$ dan $v = 2$. Sebagai benchmark digunakan solusi analitik CWZ terhadap harga OSK dengan input yang sama seperti model trinomial. Solusi analitik ini kemudian dinamakan harga 'CWZ'. Kedua model ini,

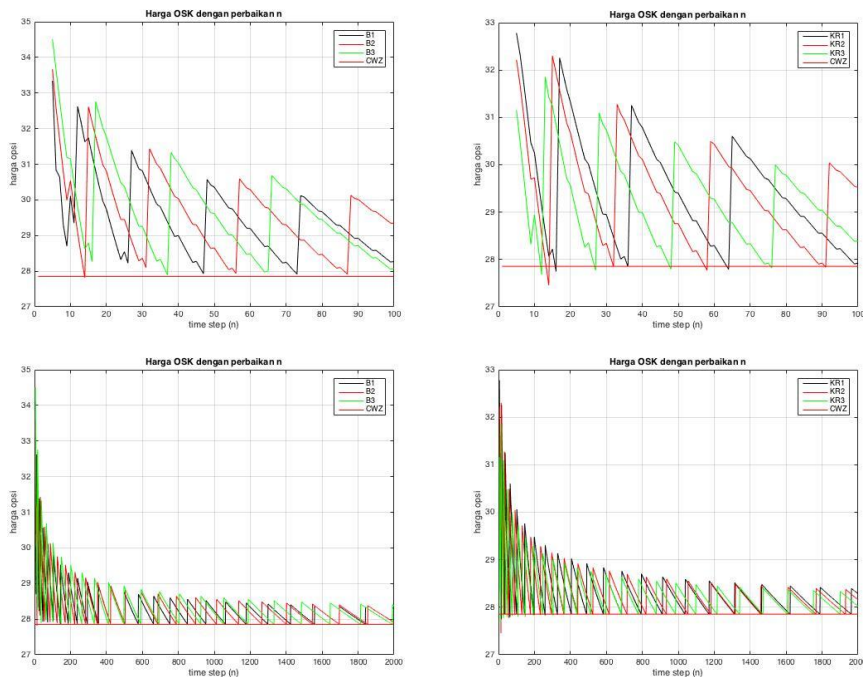
Hull-White dan CWZ bersama-sama tidak memasukkan fitur reload, resetting dan efek dilusi dalam penentuan harga opsinya. Hal ini dikarenakan fitur-fitur tersebut bukan merupakan fitur yang umumnya terdapat dalam OSK dan keberadaan fitur-fitur tersebut dalam model akan mempersulit proses komputasi.

Adapun parameter λ di setiap model trinomial dipilih sehingga pada model Boyle $\lambda = \{1.1, 1.2, 1.3\}$ yang dinotasikan sebagai {B1, B2, B3} sedangkan pada model Kamrad-Ritchken dipilih $\lambda = \{1.291, 1.22474, 1.11803\}$ yang dinotasikan sebagai {KR1, KR2, KR3}.

Tabel 1 Harga OSK dengan model trinomial
Harga 'CWZ': 27.8551

N	Boyle dengan λ			KR dengan λ		
	1.1 (B1)	1.2 (B2)	1.3 (B3)	1.29100 (KR1)	1.22474 (KR2)	1.11803 (KR3)
50	30.3556	28.6532	29.6146	29.3989	28.7543	30.4123
100	28.2708	29.3382	28.0703	27.9248	29.5287	28.3919
250	28.8889	28.6553	28.1856	28.0763	28.8845	29.0655
500	28.7529	27.9211	28.9129	28.8127	28.1563	28.0209
750	27.8934	28.1665	28.3016	28.2077	28.4099	28.0816
1000	28.2339	27.9365	28.1731	28.0817	28.1794	28.4283
1250	28.0914	27.9311	28.2489	28.1583	28.1755	28.2859
1500	28.0883	28.0392	28.4247	28.3342	28.2860	28.2838
1750	28.1652	28.2095	28.0746	27.9861	27.9111	27.8609
2000	28.2908	27.9126	28.3733	28.2840	28.1589	28.0226
2250	28.0132	28.1712	28.1708	28.0827	27.9377	28.2097
2500	28.2134	27.9877	28.0250	27.9378	28.2358	27.9937
3000	27.8869	28.1616	28.2979	28.2099	27.9937	28.0830

Tabel 1 memperlihatkan bahwa harga opsi konvergen tak seragam terhadap harga 'CWZ' untuk semua pemilihan parameter λ , baik untuk model Boyle maupun Kamrad-Ritchken. Selain itu kedua model trinomial tersebut selalu menaksir terlalu tinggi (*overestimates*) harga OSK. Hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 1, baik untuk N yang kecil maupun N yang besar.



Gambar 1. Kekonvergenan harga OSK dengan model Boyle dan Kamrad-Ritchken terhadap harga 'CWZ' dengan perbaikan N untuk $N = 100$ (atas) dan $N = 2000$ (bawah)
Adapun nilai-nilai yang digunakan untuk perhitungan RMS error untuk melihat efektivitas parameter stretch λ masih sama seperti sebelumnya.

Tabel 2. RMS error model trinomial untuk masing-masing parameter stretch λ

Pemotongan Interval	N	Boyle			Kamrad-Ritchken		
		B1	B2	B3	KR1	KR2	KR3
1	5-100	1.9362	2.0900	2.2518	1.9659	1.9096	1.6585
2	5-200	1.5397	1.6432	1.7779	1.5970	1.5344	1.3422
3	5-300	1.3218	1.4179	1.5541	1.4083	1.3226	1.1693
4	5-400	1.1905	1.2725	1.3858	1.2608	1.2049	1.0699
5	5-500	1.0892	1.1646	1.2715	1.1675	1.1079	0.9837

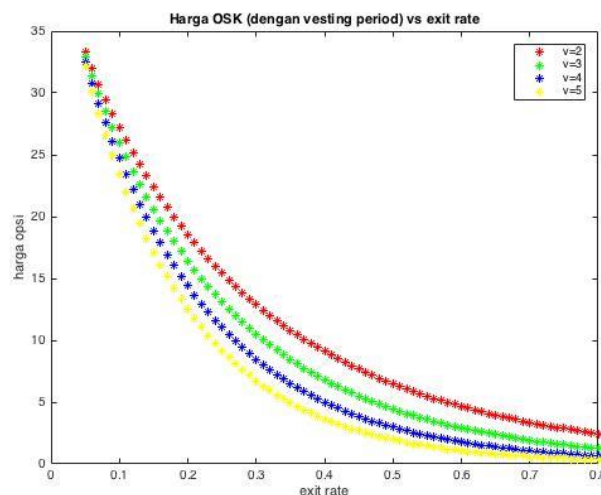
Tabel 2 memperlihatkan bahwa RMS error terkecil diberikan oleh nilai λ terkecil di masing-masing model trinomial yaitu B1 ($\lambda = 1.1$) dan KR3 ($\lambda = 1.11803$). Tentu saja pemilihan nilai λ ini dibatasi pada $\lambda > 1$ pada model Boyle dan $\lambda \geq 1$ pada model Kamrad-Ritchken.

Tabel 3. RMS error model binomial vs trinomial

Pemotongan Interval	N	Model Trinomial		Model Binomial
		B1	KR3	
1	500-750	0.4827	0.4873	0.4301
2	500-1000	0.4603	0.4471	0.3979
3	500-2000	0.3672	0.3668	0.3263

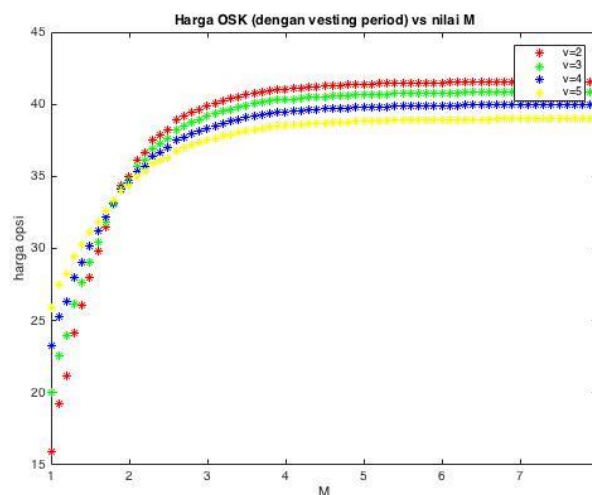
Berdasarkan Tabel 3 diperoleh bahwa model binomial memberikan RMS error terkecil dibandingkan dengan model trinomial. Namun untuk masing-masing pemotongan interval baik pada Tabel 2 dan Tabel 3 terlihat bahwa model trinomial Kamrad-Ritchken dengan $\lambda = 1.11803$ memberikan RMS error lebih kecil bila dibandingkan dengan model Boyle. Hasil yang diperoleh terhadap pemilihan parameter stretch λ ini berbeda dengan yang dipaparkan dalam paper Kamrad-Ritchken [6], dimana $\lambda = 1.22474$ merupakan nilai terbaik yang memberikan error terkecil pada penentuan harga opsi standar.

Selanjutnya akan dilihat sensitivitas harga OSK terhadap fitur-fitur OSK menggunakan model trinomial Kamrad-Ritchken dengan $\lambda = 1.11803$.



Gambar 2. Pengaruh parameter ω (exit rate) terhadap harga OSK yang disertai vesting period

Gambar 2 memperlihatkan pengaruh nilai ω terhadap harga OSK dengan masa tunggu yang berbeda-beda untuk nilai-nilai $S = 100, K = 100, r = 0.06, T = 10, \sigma = 0.2, M = 2$ dan $N = 500$. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa harga OSK semakin mengecil ketika exit rate membesar. Hal ini menunjukkan bahwa OSK benar-benar dimaksudkan sebagai cara untuk mempertahankan karyawan di perusahaan, dengan iming-iming setelah masa tunggu berakhir keuntungan menjadi semakin mudah diperoleh. Selain itu diperoleh pula bahwa perbedaan masa tunggu (*vesting period*) turut berpengaruh terhadap harga OSK yaitu semakin lama masa tunggu, mengakibatkan semakin rendahnya harga OSK. Hal ini sangat rasional mengingat opsi ini hanya bisa diexercise setelah melewati masa tunggu, sehingga masa tunggu yang singkat sepadan dengan harga opsi yang tinggi bila dibandingkan dengan opsi yang memiliki periode masa tunggu yang panjang.



Gambar 3. Pengaruh nilai M terhadap harga OSK yang disertai vesting period

Gambar 3 memperlihatkan hubungan nilai M yang mempengaruhi strategi *early exercise* terhadap harga OSK dengan masa tunggu yang berbeda-beda untuk nilai-nilai $S = 100, K = 100, r = 0.06, T = 10, \sigma = 0.2, \omega = 0.04$ dan $N = 500$. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat suatu nilai M katakan M_{max} dimana opsi bernilai maksimum. Hal ini berarti terdapat suatu kepercayaan pada karyawan bahwa opsi tidak akan menunggu sampai lebih besar dari M_{max} untuk segera diexercise. Terdapat pula fenomena menarik dimana untuk suatu M tertentu, katakan m , dimana $m < M$, ketika $m < M$ berlaku korelasi negative antara masa tunggu dengan harga OSK tetapi ketika $m > M$ berlaku korelasi positif antara masa tunggu dengan harga OSK.

4. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pemilihan parameter λ pada model trinomial Boyle dan Kamrad-Ritchken akan mempengaruhi penentuan harga OSK. Dapat dilihat bahwa untuk masing-masing model, λ terkecil akan memberikan hasil terbaik dalam menaksir harga OSK. Dalam penelitian ini terpilih model trinomial Kamrad-Ritchken dengan $\lambda = 1.11803$.
2. Model binomial memberikan RMS error yang lebih kecil bila dibandingkan dengan model trinomial. Hal ini berarti model binomial lebih efektif dalam menaksir harga OSK.
3. Harga OSK semakin mengecil ketika *exit rate* membesar.
4. Terdapat suatu nilai M dimana opsi bernilai maksimum.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UNG yang telah memberi dukungan moril dan materil terhadap penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Boyle, P., *A Lattice Framework for Option Pricing with Two States Variables*, *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 23:1-12, 1986
- [2] Cox, J., S. Ross, and Rubinstein, M., *Option Pricing: A Simplified Approach*, *Journal of Financial Economics* 7:229-64, 1979.
- [3] Cvitanic, J., Wiener, Z., and Zapatero, F., *Analytic Pricing of Employee Stock Options*, *Review of Financial Studies*, 2006.
- [4] Huddart, S., *Employee Stock Options*, *Journal of Accounting and Economics* 18: 207-31, 1994.
- [5] Hull, J., and A. White, *How to Value Employee Stock Option*, *Financial Analysts Journal* 60:114-9, 2004.
- [6] Kamrad, B., and Ritchken, P., *Multinomial Approximating Models for Option with k States Variables*, *Management Sciences* 37: 1640-52, 1991.
- [7] Kulatilaka, N., and A. J. Marcus., *Valuing Employee Stock Options*, *Financial Analysts Journal* 50(6): 46-56, 1994.
- [8] Rubinstein, M., *On the Accounting Valuation of Employee Stock Options*, *Journal of Derivatives* 3:8-24, 1995.

PEMODELAN PENGELUARAN PER KAPITA DI PROVINSI BENGKULU MENGGUNAKAN *SMALL AREA ESTIMATION* DENGAN PENDEKATAN REGRESI *PENALIZED SPLINE*

IDHIA SRILIANA¹, ETIS SUNANDI², ULFASARI RAFFLESIA³

¹Jurusan Matematika FMIPA Universitas Bengkulu, idhiasriliana@unib.ac.id

²Jurusan Matematika Universitas Bengkulu, esunandi@unib.ac.id

³Jurusan Matematika Universitas Bengkulu, ulfasari@unib.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan pengeluaran per kapita di Provinsi Bengkulu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *small area estimation* (SAE) dengan pendekatan regresi *penalized spline* (*P-Spline*). SAE merupakan salah satu metode statistika untuk menduga subpopulasi (area kecil). Pendugaan parameter model dasar SAE umumnya membangun suatu model linier campuran yang mengasumsikan bahwa variabel respon dan variabel prediktor mempunyai hubungan linier. Ketika asumsi tersebut tidak terpenuhi, maka dilakukan pendekatan nonparametrik sebagai alternatif pilihan. Salah satunya adalah pendekatan nonparametrik *P-Spline*. Pada penelitian ini, dilakukan pendugaan parameter model SAE menggunakan *P-Spline* sehingga diperoleh suatu persamaan regresi efek campuran sebagai model pengeluaran per kapita. Berdasarkan hasil pendugaan diperoleh model pengeluaran per kapita di Provinsi Bengkulu yaitu model *P-Spline* linier dengan 1 knot. Model ini mempunyai nilai GCV sebesar 148353534092.87, nilai AIC sebesar 13882.38, dan BIC sebesar 13903.3.

Kata Kunci: Pengeluaran Per kapita, *P-Spline*, *Small Area Estimation*, GCV, Bengkulu

1. PENDAHULUAN

Kemiskinan di Indonesia bukanlah hal yang baru, bahkan sudah dikenal dan diselidiki oleh Pemerintah kolonial Belanda sejak awal abad 20. Kemiskinan merupakan masalah sosial yang hingga sekarang belum bisa teratasi baik oleh pemerintah pusat maupun oleh pemerintah daerah. Provinsi Bengkulu merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan angka kemiskinan yang tinggi. Angka kemiskinan Provinsi Bengkulu hampir dua kali lipat angka kemiskinan nasional. Data Sosial Ekonomi BPS (Maret 2017) menunjukkan bahwa Bengkulu menduduki peringkat pertama provinsi termiskin di Sumatera yaitu sebesar 16,45 %. Sedangkan di Indonesia, Bengkulu menempati urutan ke enam provinsi termiskin se-Indonesia. Jumlah penduduk miskin di Provinsi Bengkulu pada Maret 2017 mencapai 316.980 orang, berkurang sebesar 11.630 orang dibandingkan dengan penduduk miskin pada Maret 2016 yang sebesar 328.610 orang (17,23 %) [1].

Secara umum kemiskinan didefinisikan sebagai kondisi dimana seseorang atau sekelompok orang tidak mampu memenuhi hak-hak dasarnya untuk mempertahankan dan mengembangkan kehidupan yang bermartabat. Kemiskinan merupakan masalah multi dimensional, sehingga tidak mudah untuk mengukur kemiskinan dan perlu kesepakatan

pendekatan pengukuran yang dipakai. Untuk mengukur kemiskinan, BPS menggunakan konsep kemampuan memenuhi kebutuhan dasar (*basic needs approach*). Dengan pendekatan ini, kemiskinan dipandang sebagai ketidakmampuan dari sisi ekonomi untuk memenuhi kebutuhan dasar makanan dan bukan makanan yang diukur dari sisi pengeluaran. Jadi penduduk miskin adalah penduduk yang memiliki rata-rata pengeluaran per kapita perbulan dibawah garis kemiskinan [2].

Salah satu kriteria yang bisa digunakan untuk mengukur kemiskinan suatu desa melalui pendugaan rata-rata pengeluaran per kapita adalah jumlah Surat Keterangan Tidak Mampu (SKTM) yang dikeluarkan oleh Desa Tersebut. SKTM atau Surat Keterangan Tidak Mampu adalah surat keterangan yang diberikan oleh kepala desa/lurah kepada masyarakat miskin untuk mendapatkan kemudahan dalam kehidupannya baik di bidang sosial, kesehatan, perekonomian dan pendidikan [3]. SKTM juga digunakan sebagai salah satu syarat untuk menjadi peserta BPJS PBI. Sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah SKTM yang dikeluarkan pemerintah melalui Kelurahan/Desa menunjukkan banyaknya jumlah keluarga miskin yang ada di Kelurahan/Desa tersebut.

Metode yang bisa digunakan menduga rata-rata pengeluaran per kapita sebagai indikator pengukuran kemiskinan adalah *Small Area Estimation (SAE)*. SAE merupakan suatu metode statistika untuk menduga parameter pada suatu subpopulasi dimana jumlah contohnya berukuran kecil atau bahkan tidak ada. Teknik pendugaan ini memanfaatkan data dari domain besar untuk menduga parameter pada domain yang lebih kecil yang dapat berupa desa/kelurahan, kecamatan, kabupaten, kelompok suku, maupun kelompok umur. Metode SAE mempunyai konsep dalam pendugaan parameter secara tidak langsung di suatu area yang relatif kecil dalam percontohan survei (*survey sampling*) dimana pendugaan langsung tidak mampu memberikan ketelitian yang cukup bila ukuran sampel dalam *small area* berukuran kecil/sedikit, sehingga statistik yang dihasilkan akan memiliki variansi yang besar atau bahkan pendugaan tidak dapat dilakukan karena tidak terwakili dalam survei [4].

Pada umumnya, SAE menggunakan pemodelan parametrik untuk menghubungkan statistik area kecil dengan variabel-variabel pendukungnya. Pendugaan parameter model dasar SAE umumnya menggunakan metode EBLUP (*Empirical Best Linear Unbiased Prediction*) yang membangun suatu model linier campuran. Pemodelan ini kurang fleksibel dalam menyesuaikan dengan pola data hasil survei yang mungkin saja tidak mirip sama sekali dengan distribusi formal yang ada. Sehingga pendekatan nonparametrik menjadi alternatif pilihan. Salah satu pendekatan nonparametrik yang digunakan adalah Regresi *Penalized Spline (P-Spline)*.

Berbagai penelitian yang telah dilakukan menggunakan *small area estimation* dengan pendekatan nonparametrik antara lain: [5] SAE dengan pendekatan Semiparametrik *Penalized Spline* untuk memodelkan pengeluaran per kapita di Kabupaten Sleman, [6] SAE dengan pendekatan *P-Spline* untuk menduga pengeluaran per kapita di Kabupaten Sumenep, [7] SAE Kernel-Bootstrap untuk menduga tingkat kemiskinan di Indonesia, [8] SAE Kernel-Bootstrap untuk menduga pengeluaran per kapita di Kabupaten Sumenep, [9] menggunakan model nonparametrik *based direct estimator*, dan [10] Pengembangan SAE dengan pendekatan *penalized spline regression*.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis SAE dengan pendekatan nonparametrik *P-Spline*. Pendugaan parameter model dengan menggunakan pendekatan *P-Spline* ini kemudian digunakan untuk memodelkan pengeluaran per kapita level desa di Provinsi Bengkulu berdasarkan jumlah SKTM yang dikeluarkan masing-masing desa. Evaluasi hasil pendugaan dilakukan melihat nilai GCV pada model.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Small Area Estimation

Small Area Estimation (SAE) merupakan suatu teknik statistika untuk menduga parameter-parameter subpopulasi yang ukuran sampelnya kecil atau bahkan area tidak tersampling. Di Indonesia, subpopulasi tersebut dapat berupa provinsi, kabupaten/ kota, kecamatan atau kelurahan/desa. SAE merupakan pendugaan tidak langsung yang mengkombinasikan antara data survei dengan data pendukung lain misalnya dari data Sensus sebelumnya yang memuat variabel dengan karakteristik yang sama dengan data survei sehingga dapat digunakan untuk menduga area yang lebih kecil dan memberikan tingkat akurasi lebih baik [4].

Dalam SAE terdapat dua jenis model dasar yang digunakan, yaitu model berbasis area dan model berbasis unit [11]. Pada model SAE berbasis area, data pendukung yang tersedia hanya sampai level area. Model level area menghubungkan penduga langsung area kecil dengan data pendukung dari domain lain untuk setiap area.

Parameter area kecil yang ingin diamati adalah θ_i . Model linier yang menjelaskan hubungan tersebut adalah :

$$\theta_i = x_i^T \beta + z_i v_i \quad (1)$$

dengan $\beta = (\beta_l, \dots, \beta_p)^T$ adalah koefisien regresi berukuran $p \times l$, z_i = konstanta positif yang diketahui, v_i = pengaruh acak area kecil, diasumsikan $v_i \sim iid N(0, \sigma^2)$ dimana $i = 1, 2, \dots, m$, dan x_i^T adalah data pendukung area ke- i .

Dalam membuat kesimpulan tentang populasi diasumsikan bahwa nilai estimasi langsung $\hat{\theta}_i$ diketahui maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\hat{\theta}_i = \theta_i + e_i \quad (2)$$

dimana e_i adalah sampling error, diasumsikan $e_i \sim iid N(0, \psi_i)$ dan $i = 1, 2, \dots, m$.

Model SAE untuk level area terdiri dari dua tingkat komponen model yaitu komponen model estimasi tidak langsung sesuai dengan persamaan (1) dan komponen model estimasi langsung sesuai persamaan (2). Model pada persamaan (1) dan (2) jika digabungkan membentuk persamaan sebagai berikut :

$$\hat{\theta}_i = x_i^T \beta + z_i v_i + e_i \quad (3)$$

dimana $i = 1, 2, \dots, m$.

2.1 Regresi Penalized Spline

Regresi *Penalized Spline* atau *P-Spline* adalah suatu metode *smoothing* yang sangat menarik karena mempunyai sifat sederhana, [12]. Diberikan model:

$$y_i = m(x_i) + \varepsilon_i \quad (4)$$

dimana ε_i adalah peubah acak yang saling bebas dengan rata-rata npl dan varian σ_ε^2 ,

Fungsi $m(x_i)$ adalah fungsi yang tidak diketahui dan diasumsikan dapat didekati dengan *P-Spline*:

$$m(x_i) = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_p x^p + \sum_{j=1}^K \gamma_j (x_i - k_j)_+^p \quad (5)$$

dimana p adalah derajat spline (*fixed*), $(x_i - k_j)_+ = \max\{0, (x_i - k_j)\}$, $k_j, j=1, \dots, K$ adalah himpunan titik knot. $\beta = (\beta_0, \dots, \beta_p)^T$ merupakan vektor koefisien parametrik dari parameter yang tidak diketahui, $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_K)^T$ adalah vektor koefisien *spline*.

Misal diberikan $X = [1 \ x_i \ \dots \ x_i^p]_{1 \leq i \leq n}$, $Z = [(x_i - k_1)_+^p \ \dots \ (x_i - k_K)_+^p]_{1 \leq i \leq n}$,

$$\text{dengan } (x_i - k_j)_+^p = \begin{cases} (x_i - k_j)_+^p & \text{untuk } x_i \geq k_j \\ 0 & \text{untuk } x_i < k_j \end{cases}$$

sehingga model pada persamaan (4) dapat ditulis dalam bentuk:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_p x^p + \sum_{j=1}^K \gamma_j (x_i - k_j)_+^p + e_i \quad (6)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\beta + \mathbf{Z}\gamma + \mathbf{e} \quad \text{dimana } \mathbf{Y} = (y_1 \dots y_n)^T$$

Persamaan (6) disebut sebagai model regresi *spline smoothing*. Fungsi spline pada model menunjukkan bahwa *spline* merupakan model polinomial terputus, tapi masih bersifat kontinu pada knot-knotnya [12].

2.2 Small Area Estimation dengan Pendekatan Regresi Penalized Spline

Misalkan terdapat T area kecil, $U_1, U_2, \dots, U_T$ adalah parameter yang akan diestimasi.

Definisikan $d_{it} = I_{\{i \in U_t\}}$ dan untuk setiap pengamatan $\mathbf{d}_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iT})$.

$$\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T,$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & \dots & x_1^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & \dots & x_n^p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} (x_1 - k_1)_+^p & \dots & (x_1 - k_K)_+^p \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_n - k_1)_+^p & \dots & (x_n - k_K)_+^p \end{bmatrix},$$

$$\text{dimana } (x_i - k_j)_+^p = \begin{cases} (x_i - k_j)_+^p & \text{untuk } x_i \geq k_j \\ 0 & \text{untuk } x_i < k_j \end{cases}$$

Opsomer (2008) menggunakan *P-Spline* untuk mengestimasi area kecil dengan menambahkan pengaruh acak area kecil pada persamaan (7), sehingga diperoleh [10]:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\beta + \mathbf{Z}\gamma + \mathbf{Du} + \mathbf{e} \quad (7)$$

dimana $\mathbf{X}\beta + \mathbf{Z}\gamma$ adalah fungsi nonparametrik *spline*, $\mathbf{Du}$ adalah pengaruh acak area

kecil, $\mathbf{D} = (d_1, \dots, d_n)^T$ adalah matriks covarian, dan $\mathbf{u}$ adalah vektor pengaruh area kecil, setiap komponen acak diasumsikan independen satu sama lain, dan

$$\begin{aligned}\gamma &\sim (\mathbf{0}, \Sigma_\gamma), \Sigma_\gamma \equiv \sigma_\gamma^2 I_K \\ \gamma &\sim (\mathbf{0}, \Sigma_u), \Sigma_u \equiv \sigma_u^2 I_T \\ \gamma &\sim (\mathbf{0}, \Sigma_\varepsilon), \Sigma_\varepsilon \equiv \sigma_\varepsilon^2 I_n\end{aligned}\quad (8)$$

Jika komponen ragam diketahui, pendugaan pengaruh tetap β dapat dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan menganggap γ dan u sebagai pengaruh acak. Persamaan (7) dapat ditulis sebagai [6]:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\beta + \varepsilon^* \quad (9)$$

dimana $\varepsilon^* = \mathbf{Z}\gamma + \mathbf{D}\mathbf{u} + e$

Penduga parameter β dapat diperoleh dengan memaksimumkan *fungsi likelihoodnya* sehingga diperoleh:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{Y} \quad (10)$$

dimana $\mathbf{V} = \mathbf{Z}\Sigma_\gamma \mathbf{Z}^T + \mathbf{D}\Sigma_u \mathbf{D}^T + \Sigma_\varepsilon$ adalah matriks varian covarian dari $\mathbf{Y}$.

Penduga terbaik untuk variabel prediktor γ dan u diperoleh dengan meminimumkan MSE dari γ dan u . Sehingga diperoleh prediktor linier tak bias terbaik (BLUP) untuk γ dan u sebagai berikut:

$$\hat{\gamma} = \sum_\gamma \mathbf{Z}^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta}) \quad (11)$$

$$\hat{u} = \sum_u \mathbf{Z}^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta}) \quad (12)$$

Untuk area kecil U_T yang diberikan, maka akan dilakukan pendugaan terhadap:

$$\bar{y}_t = \bar{x}_t \beta + \bar{z}_t \gamma + u_t \quad (13)$$

dimana $\bar{x}_t$ adalah nilai rata-rata dari x_t , $\bar{z}_t$ adalah basis fungsi spline, dan u_t adalah pengaruh acak area kecil dengan $u_t = \mathbf{d}_t \mathbf{u} = \mathbf{e}_t \mathbf{u}$, dan $\mathbf{e}_t$ adalah vektor dengan nilai 1 saat ke- t , dan bernilai 0 untuk t lainnya. Sehingga penduga untuk $\bar{y}_t$ yaitu:

$$\hat{y}_t = \bar{x}_t \hat{\beta} + \bar{z}_t \hat{\gamma} + \mathbf{e}_t \hat{u}_t \quad (14)$$

yang merupakan kombinasi linier penduga GLS pada (10) dan BLUP pada (11) dan (12), sehingga $\hat{y}_t$ merupakan BLUP untuk $\bar{y}_t$.

3. HASIL

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistika Provinsi Bengkulu (Data Susenas dan Podes 2014) yaitu rata-rata pengeluaran per kapita sebagai variabel respon dan jumlah surat keterangan tidak mampu (SKTM) sebagai variabel prediktor. Objek penelitian adalah desa yang menjadi sampel pada Susenas 2014 di Provinsi Bengkulu.

Berdasarkan survei SUSENAS 2014, terdapat 502 desa yang tersebar di 113 kecamatan menjadi sampel dalam pendugaan rata-rata pengeluaran per kapita level desa di Provinsi Bengkulu. Dari sebanyak 502 sampel terdapat 15 data sampel yang tidak valid, sehingga pada penelitian ini dilakukan pendugaan area kecil untuk 487 desa dengan menggunakan pendekatan regresi *penalized spline*. Eksplorasi data pengeluaran per kapita pada level desa di Provinsi Bengkulu dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1. dapat dilihat nilai rata-rata dari rata-rata pengeluaran per kapita di Provinsi Bengkulu tahun 2014 sebesar Rp. 773041.14. Sekitar 75% desa sampel yang ada di Provinsi Bengkulu memiliki rata-rata pengeluaran per kapita sebesar Rp 902426.06 dan 25% sebesar Rp 536709.08. Rata-rata pengeluaran per kapita terbesar berada di Kelurahan Kebun Dahri Kecamatan Ratu Samban Kota Bengkulu sebesar Rp. 3115622.06 dan terendah berasal dari Desa Sekunyit Kecamatan Kaur Selatan Kabupaten Kaur sebesar Rp 248376.69.

Salah satu kriteria yang dapat digunakan dalam mengukur pengeluaran per kapita untuk mengidentifikasi status kemiskinan adalah Surat Keterangan Tidak Mampu (SKTM) yang dimiliki suatu rumah tangga. Jumlah SKTM pada suatu Kelurahan/Desa mencerminkan jumlah rumah tangga miskin yang ada di Kelurahan/Desa tersebut dan diduga mempengaruhi rata-rata pengeluaran per kapita sebagai indikator kemiskinan. Sehingga, pada penelitian ini dilakukan pemodelan pengeluaran per kapita pada desa sampel di Provinsi Bengkulu dengan menggunakan variabel prediktor jumlah SKTM.

Berdasarkan *Scatterplot* pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa plot hubungan antara pengeluaran per kapita dengan jumlah SKTM tidak membentuk pola hubungan linier, dimana persebaran datanya bergerombol sehingga asumsi model SAE tidak terpenuhi. Dengan demikian akan dilakukan pendugaan model SAE dengan pendekatan nonparametrik *P-Spline*. Model pendekatan nonparametrik yang digunakan adalah pendekatan *spline* linier, kuadrat, dan kubik dengan maksimum 5 titik knot.

Dari proses analisis data, nilai GCV optimum (minimum) diperoleh dari model *P-Spline* linier dengan 1 titik knot yaitu pada titik 756.21 dengan nilai GCV sebesar 148353534092.87. Nilai penduga β untuk model *P-Spline* terbaik (*Spline* linier dengan 1 knot) dapat dilihat pada Tabel 2. Sehingga diperoleh model pengeluaran per kapita di Provinsi Bengkulu sebagai berikut:

$$Y = 730119.7 + 667.7X + \gamma_1 (X - 756.21)_+^1 + u \quad (15)$$

dengan nilai penduga pengaruh acak $\hat{\gamma}_1$ bergantung pada masing-masing area.

Model pada persamaan (15) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil untuk setiap desa, kemudian lokasi titik knot dengan nilai 756.21 yang artinya jika nilai $x_i \leq 756.21$, setiap kenaikan satu satuan akan berpengaruh sebesar $(730119.7 + 667.7X + \gamma_1)$ satuan

terhadap respon (y).

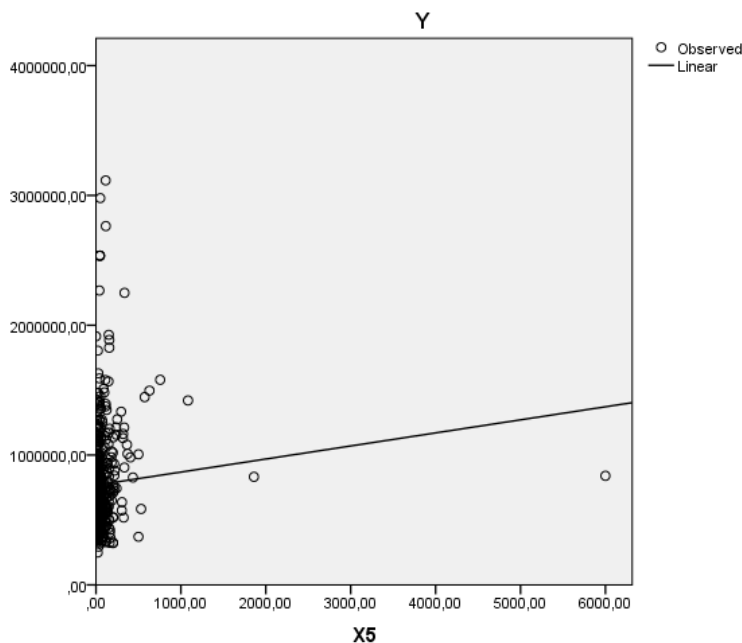
4. GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Rata-rata Pengeluaran Per kapita di Provinsi Bengkulu Tahun 2014

Statistik	Pengeluaran Per kapita (Rp)
Rata-rata	773041.14
Kuartil ke-1	536709.08
Kuartil ke-3	902426.89
Minimum	3115622.06
Maksimum	248376.69

Tabel 2. Penduga Pengaruh Tetap

Parameter	Penduga
β_0	730119.7
β_1	667.7



Gambar 1. Scatter Plot Rata-Rata Pengeluaran Per kapita dengan Jumlah SKTM

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *small area estimation* dengan pendekatan regresi *penalized spline* dapat digunakan untuk memodelkan pengeluaran per kapita pada level desa di Provinsi Bengkulu. Hasil analisis data menunjukkan model *P-Spline* terbaik untuk pendugaan area kecil adalah model *P-Spline* linier dengan 1 knot. Model ini mempunyai nilai GCV sebesar 148353534092.87.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada **Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti** yang telah mendanai penelitian ini dan **LPPM Universitas Bengkulu** selaku institusi penyelenggara penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistika Provinsi Bengkulu, *Berita Resmi Statisti -Tingkat Kemiskinan di Provinsi Bengkulu Maret 2017*. No. 42/07/17/XI, 17 Juli 2017, 2017.
- [2] Badan Pusat Statistika, *Data Strategis BPS*, Katalog BPS 1103003, No. 03220.1202. ISSN, 2087-2011, 2012.
- [3] Badan Pusat Statistik, *Pedoman Pencacah Podes 2014*, microdata.bps.go.id/mikrodata/index.php/catalog/647/download/2205., Diakses pada 04 Agustus 2017, 2017.
- [4] Prasad, N.G.N. and Rao, J.N.K., The Estimation of The Mean Squared Error of The Small Area Estimators, *Journal of American Statistical Association*, **1990**, 163-171, 85.
- [5] Apriani, F., Pemodelan Pengeluaran Per Kapita Menggunakan Small Area Estimation dengan Pendekatan Semiparametrik Penlized Spline. [Tesis], Program Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [6] Baskara, Z.W., Pendugaan Area Kecil Menggunakan Pendekatan Penalized Spline [tesis]. Program Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [7] Darsyah M.Y. dan Iriyanto S., Analysis of Poverty in Indonesia with Small Area Estimation: Case ini Demak District, *South East Asia Journal of Contemporary Business, Economics and Law*, **2014**, Vol. 5, Issue 3, 18–23.
- [8] Darsyah M.Y., Small Area Estimation terhadap Pengeluaran Per Kapita di Kabupaten Sumenep dengan pendekatan Kernel-Bootstrap, *Jurnal Statistik UNIMUS*, **2013**, Vol.1 No.2, November, 28–36.
- [9] Salvati N., Chandra H., Ranalli M.G., Chambers R., Small Area Estimation Using a Nonparametric Model Based Direct Estimator, *Centre for Statistical & Survey Methodology*, University of Wollongong, Wollongong NSW, **2008**.
- [10] Opsomer D.J., Claeskens G., Ranalli M.G., Kauermann G., Breidt F.J., Non-parametric Small Area Estimation Using Penalized Spline Regression. *Royal Statistical Society Journal*, **2008**, Vol.70, Part 1, 265–286.
- [11] Rao J.N.K., *Small area estimation*, Wiley, London. 2003.
- [12] Eubank, R. L., *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*, New York, Marcel Decker, 1988.

PERBANDINGAN PENGGUNAAN JEFFREY'S PRIOR DAN CAUCHY PRIOR UNTUK MENGATASI PEMISAHAN DALAM MODEL REGRESI LOGISTIK BINER PADA KASUS PEMBERIAN BANTUAN KREDIT PETANI RUMPUT LAUT DI KABUPATEN KUPANG

EVELLIN DEWI LUSIANA¹

¹ Universitas Brawijaya Malang, evellinlusiana@gmail.com

Abstrak

Estimasi parameter model regresi logistik biner umumnya dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Namun, estimator MLE akan menjadi divergen apabila dalam data mengandung pemisahan (*separation*). Untuk mengatasi hal ini dapat digunakan alternatif metode selain MLE yaitu pendekatan Firth. Prinsip pendekatan Firth adalah memodifikasi fungsi likelihood model regresi logistik biner dengan menambahkan *Jeffrey's prior* atau akar kuadrat determinan matriks informasi Fisher (Zorn, 2005). Selain *Jeffrey's prior*, alternatif lain yang diusulkan untuk mengatasi pemisahan adalah dengan menggunakan *Cauchy prior* dalam estimasi parameter model regresi logistik biner. Kedua metode tersebut kemudian diaplikasi untuk memodelkan data pemberian kredit kepada petani rumput laut di Kabupaten Kupang. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pendekatan dengan *Cauchy prior* memberikan hasil estimasi yang lebih baik dibandingkan *Jeffreys's prior* berdasarkan kriteria AIC.

Kata kunci: *regresi logistik biner, pemisahan, pendekatan Firth, Jeffrey's prior, Cauchy prior*

1. PENDAHULUAN

Analisis regresi logistik biner dimanfaatkan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel independen terhadap variabel respon yang bersifat biner. Parameter model regresi logistik diduga dengan metode MLE dan metode iteratif Newton-Raphson. Namun, metode MLE tidak lagi dapat digunakan jika terdapat satu atau kombinasi beberapa variabel independen yang menyebabkan kategori variabel respon terpisah secara sempurna atau kurang sempurna. Akibatnya estimator menjadi divergen. Keadaan semacam ini disebut sebagai pemisahan (*separation*) oleh Albert dan Anderson (1).

Pemisahan dibedakan menjadi pemisahan sempurna (*complete separation*) dan pemisahan kurang sempurna (*quasi-complete separation*). Pemisahan sempurna terjadi jika vektor koefisien dari fungsi linier variabel independen sama dengan nol yang mengakibatkan pengamatan terbagi ke dalam setiap variabel respon secara sempurna. Adapun pemisahan kurang sempurna terjadi jika vektor koefisien dari fungsi linier variabel independen melewati paling sedikit satu pengamatan pada setiap kategori respon [2].

Salah satu solusi untuk mengatasi pemisahan adalah dengan menggunakan pendekatan Firth [3], di mana dalam pendekatan ini dilakukan modifikasi terhadap fungsi likelihood model regresi logistik biner, dengan cara menambahkan komponen akar kuadrat determinan matriks informasi Fisher. Komponen ini setara atau disebut juga sebagai *Jeffrey's prior* [4].

Di sisi lain, Gelman *et al* (5) mengusulkan penggunaan *Cauchy prior* untuk mengatasi pemisahan dalam *General Linier Model*, tidak terkecuali model regresi logistik biner, sebagai alternatif dari *Jeffrey's prior*. Hal ini disebabkan karena penggunaan Jeffrey's prior dianggap kurang *interpretable*.

Salah satu kasus atau data yang mengandung pemisahan adalah data pemberian kredit bantuan kepada petani rumput laut di Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur [6]. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan penggunaan *Jeffrey's prior* dan *Cauchy prior* untuk memodelkan data tersebut. Prior yang mampu memodelkan data kredit bantuan rumput laut yang terbaik diindikasikan berdasarkan nilai AIC (Akaike Info Criterion) terkecil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Regresi Logistik Biner

Model umum regresi logistik biner dinyatakan dalam bentuk peluang atau $\pi(\mathbf{x}_i)$ ditampilkan pada persamaan (1) berikut

$$\pi(\mathbf{x}_i) = \frac{\exp(\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})}{1 + \exp(\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, p \end{matrix} \quad (1)$$

di mana:

$\pi(\mathbf{x}_i)$ = peluang variabel respon tergolong kategori 1 bila diketahui nilai-nilai variabel independen $\mathbf{x}_i$

n = banyaknya pengamatan

p = banyaknya variabel independen

β_j = koefisien regresi logistik dari variabel independen ke- j

Estimator parameter model ini diperoleh melalui metode MLE dan metode iteratif Newton-Raphson dengan meminimumkan fungsi log-likelihood dari persamaan (1) yaitu

$$l(\boldsymbol{\beta}) = \sum_i y_i \left(\beta_0 + \sum_j \beta_j x_{ij} \right) - \sum_i \ln \left[1 + \exp \left(\beta_0 + \sum_j \beta_j x_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

Fungsi ini yang dimaksimumkan menggunakan metode MLE dan bantuan metode numerik Newton-Raphson, di mana setiap iterasi Newton-Raphson berlaku ketentuan

$$\boldsymbol{\beta}_{(t+1)} = \boldsymbol{\beta}_{(t)} + \mathbf{H}_{(t)}^{-1} \mathbf{g}_{(t)} \quad (3)$$

di mana:

t = 1, 2, ..., T

T = banyaknya iterasi yang dibutuhkan mencapai kriteria konvergen

$\boldsymbol{\beta}_{(t)}$ = estimasi parameter pada iterasi ke- t

$$\mathbf{H} = -\frac{\partial^2 l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\beta}_a \partial \hat{\beta}_b}; \quad \mathbf{g} = \frac{\partial l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\beta}_j} = \sum_i (y_i - \pi(\mathbf{x}_i)) x_{ij}$$

Kriteria kekonvergenan tercapai jika memenuhi syarat

$$|\beta_j^{(t+1)} - \hat{\beta}_j| \leq c |\beta_j^{(t)} - \hat{\beta}_j|^2$$

2.2 Pendekatan Firth dengan Jeffrey's Prior

Prinsip dasar pendekatan Firth adalah memodifikasi fungsi skor likelihood menjadi fungsi skor *penalized likelihood*, g_j^* [7]:

$$\frac{\partial(l^*(\boldsymbol{\beta}))}{\partial \beta_j} = g_j^* = \sum_i \left\{ (y_i + \frac{t_i}{2}) - \pi(\mathbf{x}_i)(1 + t_i) \right\} x_{ij} \quad (4)$$

di mana $l^*(\boldsymbol{\beta}) = l(\boldsymbol{\beta}) + 1/2 \ln |I(\boldsymbol{\beta})|$ adalah log-likelihood modifikasi dan $|I(\boldsymbol{\beta})|^{1/2}$ disebut *Jeffrey's invariant prior*. Matriks $I(\boldsymbol{\beta})$ merupakan matriks informasi Fisher yang diperoleh dari nilai harapan turunan kedua fungsi log-likelihood model regresi logistik

biner ($l(\hat{\boldsymbol{\beta}})$) atau dinyatakan dengan $-E \left(\frac{\partial^2 l(\hat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial \hat{\beta}_a \partial \hat{\beta}_b} \right)$. Unsur t_i pada persamaan (4)

adalah unsur diagonal ke- i dari matriks topi $\mathbf{T}$ ($\mathbf{T} = \mathbf{W}^{1/2} \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}^{1/2}$, $\mathbf{W}$ = matriks $\text{diag}[\pi(\mathbf{x}_i)(1 - \pi(\mathbf{x}_i))]$).

2.3 Pendekatan Gelman dengan Cauchy Prior

Gelman *et al* (5) mengusulkan penggunaan Cauchy prior dalam pemodelan regresi logistik biner dengan pendekatan Bayesian. Bentuk umum pendekatan ini yaitu [8]

$$\pi(\boldsymbol{\beta}|\mathbf{y}) \propto L(\mathbf{y}|\boldsymbol{\beta})\pi(\boldsymbol{\beta}) \quad (5)$$

di mana:

$\pi(\boldsymbol{\beta}|\mathbf{y})$ = distribusi posterior bagi $\boldsymbol{\beta}$; $\pi(\boldsymbol{\beta})$ = distribusi prior bagi $\boldsymbol{\beta}$;

$L(\mathbf{y}|\boldsymbol{\beta})$ = fungsi likelihood dari data

Untuk model regresi logistik, distribusi $\pi(\boldsymbol{\beta})$ yang digunakan adalah distribusi Cauchy yang memiliki parameter nilai tengah ($\boldsymbol{\mu}$) dan varians (σ^2) atau dinyatakan $\beta_j \sim \text{Cauchy}(\mu_j, \sigma_j^2)$

$$\pi(\boldsymbol{\beta}) = \frac{\Gamma(\frac{1+p}{2})}{\Gamma(\frac{1}{2})\pi^{p/2} |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2} \left[1 + (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\mu})^t \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\mu}) \right]^{\frac{1+p}{2}}} \quad (6)$$

di mana

$\pi(\boldsymbol{\beta})$ = distribusi Cauchy prior

$\boldsymbol{\mu}$ = matriks nilai tengah koefisien $\boldsymbol{\beta}$

$\boldsymbol{\Sigma}$ = matriks varians kovarians koefisien $\boldsymbol{\beta}$

p = banyaknya variabel independen

Khusus bagi model regresi logistik biner digunakan Cauchy prior dengan parameter (0, 2.5) untuk setiap koefisien β [5].

2.1 Identifikasi Pemisahan

Teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi pemisahan mengadopsi Lessafre dan Albert (9), di mana pemisahan terjadi jika perbandingan antara standar error estimator di setiap estimator dengan nilai standar error pada iterasi pertama. Apabila rasio yang diperoleh bersifat divergen, maka menunjukkan terjadi pemisahan. Standar error estimator dihitung menggunakan rumus

$$SE(\beta^{(t)}) = \sqrt{[\mathbf{H}(\beta^{(t)})]^{-1}} \quad (7)$$

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder pemberian kredit oleh pemerintah kepada petani rumput laut di Kabupaten Kupang bersumber pada hasil penelitian Sunadji (6) tentang model pengembangan budidaya rumput laut di Kabupaten Kupang di mana salah satu respon yang diamati adalah pemberian bantuan kredit (Y), sedangkan variabel independen yang digunakan, yaitu: X1= Pengalaman (tahun); X2=Lama pendidikan formal (tahun); X3= Curahan tenaga kerja (setara HOK=7 jam kerja); X4= Usia (tahun); X5=Tingkat kebersihan rumput laut (%); X6=Kadar air rumput laut (%); X7= Produktivitas (kg/m²);

Tahapan proses analisis yang dilakukan yaitu (1) identifikasi pemisahan dalam data; (2) estimasi parameter model regresi logistik biner dengan pendekatan Firth atau Jeffrey's prior; (3) estimasi parameter model regresi logistik biner dengan pendekatan Gelman atau Cauchy prior; (4) perbandingan kedua metode estimasi dengan kriteria AIC.

4. HASIL

4.1 Identifikasi Pemisahan (*Separation*)

Identifikasi keberadaan pemisahan dalam model regresi probit biner MLE menerapkan teknik Lessafre dan Albert (9), yakni dengan membandingkan standar error estimasi parameter setiap iterasi terhadap nilai standar error di iterasi pertama. Hasil perbandingan standar error tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai perbandingan standar error bagi β_0 dan β_6 sampai dengan iterasi ke 15 semakin lama semakin besar, atau dengan kata lain standar error yang dihasilkan bersifat divergen. Hal ini jelas menunjukkan adanya pemisahan dalam data yang dimodelkan dengan model regresi logistik biner. Dengan demikian, diperlukan penggunaan metode estimasi dengan pendekatan Jeffrey's prior atau Cauchy Prior.

4.2 Estimasi Parameter Model Regresi Logistik Biner dengan Jeffrey's Prior

Hasil estimasi parameter model regresi logistik biner dengan pendekatan Jeffrey's prior dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Standar Error Estimasi Parameter Logistik Biner untuk Identifikasi Pemisahan

Iterasi	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.240	1.272	1.211	1.313	1.195	1.230	1.487	1.253
3	1.724	1.876	1.723	1.918	1.714	1.774	2.232	1.822
4	2.308	2.671	2.322	2.653	2.334	2.535	3.403	2.601
5	2.891	3.405	2.848	3.451	2.891	3.426	5.384	3.590

6	3.528	3.919	3.335	4.343	3.415	4.312	8.490	5.006
7	4.558	4.252	3.737	5.021	3.885	5.032	13.211	7.031
8	6.563	4.408	3.940	5.260	4.118	5.386	20.957	9.506
9	9.958	4.476	4.018	5.305	4.182	5.511	32.855	12.106
10	14.324	4.512	4.048	5.318	4.193	5.559	47.803	14.135
11	20.190	4.527	4.058	5.326	4.194	5.574	67.478	14.982
12	30.174	4.529	4.061	5.327	4.197	5.583	100.692	15.190
13	47.606	4.530	4.062	5.328	4.198	5.588	158.725	15.248
14	77.133	4.530	4.062	5.328	4.199	5.589	257.079	15.269
15	126.335	4.530	4.062	5.328	4.199	5.590	421.007	15.276

Tabel 2. Estimasi Parameter Model Logistikt Biner dengan Jeffrey's Prior

Parameter	Estimate	Standar Error	Z-value	Pr(> z)
β_0	15.403	13.223	1.165	0.244
β_1	0.164	0.315	0.520	0.603
β_2	0.016	0.224	0.070	0.944
β_3	0.023	0.017	1.368	0.171
β_4	-0.038	0.037	-1.041	0.298
β_5	0.224	0.139	1.609	0.108
β_6	-1.456	0.300	-4.861	0.000
β_7	0.511	0.316	1.617	0.106

Tabel 2 memperlihatkan bahwa dari tujuh variabel independen yang digunakan terdapat satu variabel yang berpengaruh signifikan terhadap pemberian bantuan kredit, yaitu variabel X6 atau kadar air rumput laut karena estimasi parameter bagi variabel tersebut memiliki $\text{Pr}(>|z|) < \alpha=0.05$.

4.3 Estimasi Parameter Model Regresi Logistik Biner dengan Cauchy Prior

Hasil estimasi parameter model regresi logistik biner dengan pendekatan Cauchy prior dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Parameter Model Logistikt Biner dengan Cauchy Prior

Parameter	Estimate	Standar Error	Z-value	Pr(> z)
β_0	29.076	17.848	1.629	0.103
β_1	0.124	0.291	0.425	0.671
β_2	0.057	0.242	0.236	0.813
β_3	0.014	0.018	0.758	0.449
β_4	-0.020	0.039	-0.513	0.608
β_5	0.199	0.141	1.415	0.157
β_6	-1.927	0.554	-3.482	0.000
β_7	0.583	0.524	1.113	0.266

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa sama seperti hasil estimasi dengan Jeffrey's prior, terdapat satu variabel independen yang mempengaruhi pemberian bantuan kredit rumput laut kepada petani secara signifikan yaitu variabel X6 atau kadar air rumput laut. Nilai koefisien regresi bagi variabel ini bersifat negatif, artinya semakin rendah kadar air rumput laut maka akan semakin meningkatkan peluang petani untuk menerima bantuan kredit.

4.1 Perbandingan AIC

Menurut Tabel 1 dan 2, diketahui bahwa pola hasil estimasi parameter model regresi logistik biner bagi data pemberian bantuan kredit bagi petani rumput laut di Kabupaten Kupang bersifat hampir serupa, di mana hanya ditemukan satu variabel yang berpengaruh signifikan terhadap respon yakni kadar air rumput laut (X6). Untuk menentukan pendekatan mana yang lebih baik digunakan dalam pemodelan ini, maka berikut ini ditampilkan nilai AIC dari kedua metode yang digunakan sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kriteria AIC Model Regresi Logistik Biner Pemberian Bantuan Kredit Petani Rumput Laut di Kabupaten Kupang

No	Metode	AIC
1	Jeffrey's prior	34.250
2	Cauchy prior	31.307

Menurut Tabel 3 dapat diketahui bahwa AIC model dengan Jeffrey's prior bernilai lebih besar dibandingkan dengan AIC menggunakan Cauchy prior. Hal ini membuktikan bahwa pemodelan data pemberian kredit rumput laut petani di Kabupaten Kupang lebih baik menggunakan Cauchy prior dibandingkan Jeffrey's prior.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijabarkan maka dapat diambil kesimpulan bahwa data pemberian kredit rumput laut kepada petani di Kabupaten Kupang mengandung pemisahan, sehingga estimasi parameter harus dilakukan dengan pendekatan Jeffrey's prior dan/atau Cauchy prior. Dari kedua metode tersebut, ternyata Cauchy prior lebih baik digunakan untuk memodelkan data karena memberikan nilai AIC model terkecil.

Daftar Pustaka

- [1] Albert A, Anderson JA. On the Existence of Maximum Likelihood Estimates in Logistic Regression Model. *Biometrika*. 1984;71:1-10.
- [2] McCarthy WF, Guo N. The Existence of Maximum Likelihood Estimates for the Logistic Regression Models 2009 [cited 2017 6 July]. Available from: <http://www.lexjansen.com/pharmasug/2009/sp/SP02.pdf>.
- [3] Heinze G, Schemper M. A Solution to The Problem of Separation in Logistic Regression. *Statistics in Medicine* 2002;21:2409-19.
- [4] Zorn C. A Solution to Separation in Binary Response Models. *Political Analysis*. 2005;13:157-70.
- [5] Gelman A, Jakulin A, Pittau MG, Su Y-S. A Weakly Informative Default Prior Distribution For Logistic and Other Regression Models. *The Annals of Applied Statistics*. 2008;2(4):1360-83.
- [6] Sunadji. Model Pengembangan Budidaya Rumput Laut di Kabupaten Kupang Provinsi NTT (Simulasi Kebijakan dengan Pendekatan Ekonomi Rumah Tangga). . Malang: Universitas Brawijaya; 2013.
- [7] Abrahantes JC, Aerts M. A Solution to Separation for Clustered Binary Data. *Statistical Modelling*. 2012;12:3-27.
- [8] Gelman A, Carlin JB, Stern HS, Rubin DB. *Bayesian Data Analysis Second Edition*. Florida: Chapman and Hall; 2004.
- [9] Lessafre E, Albert A. Partial Separation in Logistic Discrimination. *Journal of the Royal Statistical Society B* 1989;51(1):109-16.

HUBUNGAN PENGALAMAN MENGAJAR DAN PARTISIPASI GURU DALAM MGMP DENGAN KOMPETENSI PROFESIONAL GURU MATEMATIKA SMP PROVINSI MALUKU UTARA

EVI HULUKATI¹, BAKRI LA HASAN², SITI ZAKIYAH³

¹Jurusan Matematika, Fakultas MIPA UNG, eviemega@yahoo.com

²LPMP Maluku Utara, Tidore bakrilahasan@yahoo.com

³Jurusan Matematika, Fakultas MIPA UNG, sitizakiah87@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini diinisiasi untuk menganalisis rendahnya hasil Uji Kompetensi Guru (UKG) SMP di Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara yang disertai oleh rendahnya hasil Ujian Nasional (UN) SMP. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji korelasi antara pengalaman mengajar dan partisipasi MGMP terhadap kompetensi guru dengan memanfaatkan metode angket yang melibatkan 33 guru peserta MGMP Matematika SMP di Halmahera Selatan. Analisis korelasional dengan model uji regresi ganda dua prediktor menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara kompetensi guru dengan pengalaman mengajar, partisipasi MGMP, dan keduanya. Faktor utama yang memengaruhi rendahnya partisipasi MGMP adalah profil geografis Halmahera Tengah yang merupakan daerah kepulauan. Perlu dirumuskan kembali model kegiatan MGMP yang lebih memerhatikan keterlibatan aktif para peserta tanpa dipengaruhi lokasi, misalnya dengan mengoptimalkan teknologi informasi.

Kata kunci: kompetensi guru matematika, pengalaman mengajar, partisipasi MGMP

1. PENDAHULUAN

Kemajuan suatu bangsa dan negara sangat ditentukan oleh kualitas sumber daya manusianya.

Kualitas sumber daya manusia tidak terlepas dari kualitas pendidikan, dimana salah satu komponen utamanya adalah guru. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, tugas dan peran guru dari hari ke hari semakin berat. Guru sebagai komponen utama dalam dunia pendidikan dituntut untuk mampu mengimbangi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Survei HDI 2010 UNDP melaporkan bahwa nilai HDI Indonesia adalah 0,600 dan hanya menempati ranking 108 dari 169 negara yang diteliti [1]. Hal ini menggambarkan bahwa secara umum kualitas sumber daya manusia (SDM) Indonesia saat ini masih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara yang lain. SDM yang masih rendah ini salah satunya diakibatkan oleh kualitas pendidikan di Indonesia masih rendah. Kualitas pendidikan di Indonesia yang masih rendah meliputi kualitas pembelajaran yang salah satunya dipicu oleh kualitas guru yang masih rendah.

Sementara itu, hasil Uji Kompetensi Guru (UKG) jenjang SMP di Provinsi Maluku Utara tahun 2012. dari 15 orang guru yang menjawab pertanyaan UKG sebanyak 76 soal dan diperoleh nilai rata-rata 26,7 atau 35, 1% dan yang mencapai 50% hanya 3 orang saja. Ini menunjukkan bahwa paling tidak nilai perolehan pada kompetensi profesional guru matematika SMP di Kabupaten Halmahera Selatan masih sangat rendah. Tentu saja hal ini akan mempengaruhi keberhasilan siswa dalam belajar matematika.

Sejalan dengan masih rendahnya kompetensi profesional guru matematika SMP di Kabupaten Halmahera Selatan, hasil Ujian Nasional (UN) siswa tahun pelajaran 2012/2013 juga memperlihatkan hal yang tidak jauh berbeda. Dengan nilai rata-rata 5,22 (klasifikasi D) dan jumlah siswa yang memperoleh nilai kurang dari 5,5 sebanyak 2259 orang, menunjukkan bahwa untuk mata pelajaran matematika di Kabupaten Halmahera Selatan masih rendah.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kompetensi profesional guru adalah pengalaman guru mengajar. Pengalaman mengajar yang dimiliki oleh seorang guru menjadi penentu pencapaian hasil belajar yang akan diraih oleh siswa. Pengalaman mengajar yang cukup, dalam arti waktu yang telah dilalui oleh seorang guru dalam melaksanakan tugasnya akan mendukung pencapaian hasil belajar sehingga tujuan yang akan diraih oleh sekolah dapat tercapai.

Di Kabupaten Halmahera Selatan, terdapat 76 guru mata pelajaran matematika yang memiliki kualifikasi minimal S1/D4. Dari sejumlah guru mata pelajaran matematika ini, tidak semuanya aktif dalam pelaksanaan kegiatan Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) Matematika. Hal ini disebabkan oleh faktor geografis Kabupaten Halmahera Selatan yang merupakan wilayah kepulauan yang tidak terlalu mudah dijangkau.

Seorang guru tidak hanya memperoleh pengalaman ketika ia berada di dalam kelas saja, akan tetapi pengalaman itu dapat diperolehnya melalui kegiatan-kegiatan di luar kelas yang dapat mendukung kemampuannya. Pengalaman-pengalaman tersebut dapat diperoleh melalui seminar-seminar, pelatihan-pelatihan, kegiatan Musyawarah Guru Mata Pelajaran, dan kegiatan karya ilmiah lainnya. Sehingga pengalaman mengajar dapat dilihat dari lamanya masa kerja atau banyaknya jam mengajar seorang guru, pengetahuan dan ketrampilan yang dikembangkannya, serta keikutsertaannya dalam berbagai kegiatan ilmiah seperti seminar, dan pelatihan di MGMP.

Partisipasi seorang guru pada suatu wadah profesi seperti MGMP tentu saja tidak sekedar hadir pada setiap pelaksanaan kegiatan, akan tetapi keaktifan serta sikap yang baik dalam mengembangkan semua kegiatan yang telah diprogramkan didalamnya sangat diperlukan. Sehingga kehadiran, keaktifan dan sikap yang baik seorang guru dalam mengikuti kegiatan MGMP merupakan wujud nyata dari partisipasinya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengalaman Mengajar Guru

Kamus Besar Bahasa Indonesia mendefinisikan pengalaman sebagai suatu keadaan, situasi dan kondisi yang pernah dialami (dirasakan), dijalankan dan dipertanggungjawabkan dalam praktek nyata [2]. Pengalaman adalah guru yang paling berharga, suatu ungkapan yang sering kita dengar dalam kehidupan sehari-hari. Pengalaman dalam pekerjaan pada umumnya sangat dibutuhkan untuk kelancaran yang dapat meningkatkan kemampuan kerja.

Salah satu penilaian portofolio menurut Pasal 2 Permendiknas No. 18 Tahun 2007 ayat 3 sebagaimana dimaksud pada ayat (2) merupakan pengakuan atas pengalaman profesional guru adalah pengalaman mengajar. Yang dimaknai sebagai masa kerja guru dalam melaksanakan tugas sebagai pendidik pada satuan pendidikan tertentu sesuai dengan surat tugas dari lembaga yang berwenang (dapat dari pemerintah, dan atau kelompok masyarakat penyelenggara pendidikan) [3].

Widoyoko mendefinisikan pengalaman mengajar sebagai rangkuman dari pemahaman seseorang terhadap hal-hal yang dialami dalam mengajar, sehingga hal-hal yang dialami tersebut telah dikuasinya, baik tentang pengetahuan, ketrampilan maupun nilai-nilai yang menyatu padanya [4]. Misalnya pengalaman guru yang didapatkan dari pembimbingan teman sejawat baik sebagai instruktur, guru inti, tutor, atau pemandu yang nantinya bertugas dan bertanggung jawab memberikan bantuan belajar kepada teman peserta didik dalam proses pembelajaran di kelas.

Kesimpulannya, pengalaman mengajar dapat diartikan sebagai masa kerja guru dalam melaksanakan tugas sebagai pendidik sambil mengalami hal-hal yang berkaitan dengan nilai-nilai kompetensi guru, dapat diamati melalui masa kerja atau jam kerja, keterampilan dan pengetahuan yang dikembangkan, dan mengikuti latihan atau pendidikan.

2.2. Partisipasi Guru dalam MGMP

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen pasal 20 ayat (b) mengamanatkan bahwa dalam rangka melaksanakan tugas keprofesionalannya, guru berkewajiban meningkatkan dan mengembangkan kualifikasi akademik dan kompetensi secara berkelanjutan sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Hadirnya Undang-undang ini memberikan suatu kesempatan yang tepat bagi guru untuk meningkatkan profesionalismenya secara berkelanjutan melalui pelatihan, penelitian, penulisan karya ilmiah, dan kegiatan profesional lainnya. Kegiatan tersebut sangat dimungkinkan dilaksanakan di Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) mengingat wadah ini dijadikan sebagai tempat melakukan pertemuan bagi guru kelas atau guru mata pelajaran sejenis.

MGMP merupakan wadah kegiatan profesional bagi para guru mata pelajaran yang sama pada jenjang SMP/MTs/SMPLB, SMA/MA/SMALB, dan SMK/MAK di tingkat kabupaten/kota yang terdiri dari sejumlah guru dari sejumlah sekolah [5]. Jadi, MGMP merupakan suatu wadah pembinaan bagi guru mata pelajaran yang sama di dalam upaya peningkatan mutu pendidikan dengan berdiskusi atau musyawarah demi peningkatan kualitas proses belajar mengajar di kelas. Tujuan penyelenggaraan MGMP sebagaimana tertera dalam Prosedur Operasional Standar Penyelenggaraan KKG MGMP [6] yaitu : 1) Memperluas wawasan dan pengetahuan guru dalam hal penguasaan substansi materi pembelajaran, penyusunan silabus, penyusunan bahan-bahan pembelajaran, strategi pembelajaran, metode pembelajaran, memaksimalkan pemakaian sarana/prasarana belajar, memanfaatkan sumber belajar, mengembangkan kemampuan/profesi guru, dan sebagainya; 2) Memberi kesempatan kepada anggota untuk berbagi pengalaman serta saling memberikan bantuan dan umpan balik; 3) Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan, serta mengadopsi pendekatan pembaharuan dalam pembelajaran yang lebih profesional bagi anggota; 4) Memberdayakan dan membantu anggota dalam melaksanakan tugas-tugas pembelajaran di sekolah; 5) Mengubah budaya kerja anggota (meningkatkan pengetahuan, kompetensi dan kinerja) dan mengembangkan profesionalisme guru melalui kegiatan-kegiatan pengembangan profesionalisme di tingkat

MGMP; 6) Meningkatkan mutu proses pendidikan dan pembelajaran yang tercermin dari peningkatan hasil belajar peserta didik; dan 7) Meningkatkan kompetensi guru melalui kegiatan-kegiatan di tingkat MGMP.

Kaitannya dengan musyawarah guru mata pelajaran (MGMP), partisipasi guru dapat ditunjukkan dalam bentuk: kehadiran, interaksi aktif, dan sikap dalam mengikuti kegiatan di suatu MGMP. 1. Kehadiran, aspek kehadiran ini terkait dengan intensitas kehadiran guru dalam setiap pertemuan MGMP 2. Interaksi aktif, aspek interaksi aktif terkait dengan keaktifan guru dalam mengidentifikasi masalah-masalah yang muncul dalam MGMP, keaktifan guru dalam menganalisis masalah-masalah yang muncul dalam MGMP, keaktifan guru berperan sebagai fasilitator, keaktifan guru dalam evaluasi pelaksanaan MGMP setiap akhir semester dan keaktifan guru dalam menyusun program pelaksanaan MGMP diawal semester 3. Sikap, aspek sikap ini terkait dengan keaktifan guru dalam hal membantu sesama guru dalam mengikuti MGMP, kerjasama dengan sesama guru pada saat memecahkan masalah-masalah yang timbul dalam MGMP, menghargai pendapat sesama guru pada saat diskusi dan membuka diri terhadap permasalahan pembelajaran yang timbul Dari sini dapat dilihat bahwa : (1) melalui forum MGMP, para guru dapat membicarakan dan memecahkan masalah-masalah yang dihadapi sehari-hari dalam pekerjaan pokok mereka. Proses tersebut terjadi melalui aktifitas saling membelajarkan, yaitu saling tukar pengalaman dan pikiran; (2) melalui kegiatan MGMP, sikap imajinatif, inisiatif dan kreatifitas dikembangkan. Demikian pula hubungan kesejawatan yang didasari oleh nilai-nilai kekeluargaan, kebersamaan dan keterbukaan dikembangkan melalui tata kerja yang terencana. Makna yang dapat diungkapkan dari kegiatan MGMP adalah terjadinya perubahan penting dalam praktik pembelajaran dan para guru lebih memahami tugas pokok mereka yaitu memperbaiki kualitas belajar siswa-siswanya; (3) kegiatan yang dilakukan melalui pertemuan MGMP menciptakan kondisi bagi keterlibatan, keterikatan dan tanggung jawab bersama diantara sesama guru. Suasana seperti ini memberikan pengalaman kehidupan paedagogis yang bermakna yang dapat menjadi pupuk bagi tumbuhkembangnya komitmen diantara para guru untuk memperbaiki dan meningkatkan proses dan hasil pembelajaran.

2.3. Kompetensi Profesional Guru

Kompetensi dapat didefinisikan sebagai keterampilan, pengetahuan, sikap dan motivasi yang menyebabkan seseorang dapat menguasai situasi-situasi spesifik. Keempat variabel tersebut bukan kemampuan bawaan, melainkan hal-hal yang dapat dipelajari sehingga dapat pula diajarkan. Kompetensi profesional adalah kemampuan mengaplikasikan keempat variabel tersebut dalam pekerjaan sosial yang kompleks dan membutuhkan komitmen, dimana penguasaan situasinya tergantung pada keterampilan, pengetahuan, sikap dan motivasi seseorang.[7]

Profesional berasal dari kata profesi yang merupakan istilah untuk suatu pekerjaan dengan kode etik tertentu dan membutuhkan pendidikan formal untuk dapat menggelutinya. Pendidikan formal ditujukan terutama untuk membangun dasar-dasar pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan oleh seorang guru, seperti merencanakan kegiatan kelas, memilih alat peraga, mengendalikan aktivitas belajar-mengajar, menjadi nara sumber, merencanakan dan melakukan penilaian serta menyelenggarakan pelaporan. Tugas seperti ini menjadikan kompetensi profesional berbeda dari kompetensi ilmiah maupun kompetensi kepakaran karena dominannya kebutuhan akan aspek-aspek di balik pengetahuan dan keterampilan, yakni sikap dan perilaku. Keduanya dapat mempengaruhi kinerja dan luaran yang dihasilkan dalam kegiatan belajar-mengajar.

Kompetensi profesional guru merupakan modalitas kognitif dan mental yang diperlukan untuk menguasai situasi spesifik. Seorang guru yang berkompeten pada tugas tertentu

belum tentu berkompeten pada situasi spesifik lainnya. Oleh karena itu perlu diklarifikasi elemen-elemen kompetensi guru mana saja yang khusus diperlukan untuk meningkatkan keterampilan proses matematika siswa SD.

2.2.1. Kompetensi Prosedural

Keterampilan proses matematika sejatinya merupakan suatu pola perilaku ilmiah dalam diri seorang siswa. Harus disadari bahwa usaha meningkatkan keterampilan proses merupakan usaha untuk mengubah perilaku. Perubahan dan peningkatan kualitas perilaku hanya dapat diwujudkan apabila guru memiliki kompetensi yang memadai dalam disain dan prosedur instruksional.

Epistemologi dari disain instruksional adalah penerapan teori konstruktivisme dalam dunia psikologi pendidikan dan pembelajaran. Salah satu tokoh yang berpengaruh di bidang ini adalah David Merrill. Beliau berpendapat bahwa lingkungan belajar yang paling efektif adalah kegiatan yang berpusat pada masalah, di mana pembelajar terlibat secara aktif dalam empat fase akuisisi ilmu pengetahuan dan keterampilan, yakni aktivasi, demonstrasi, aplikasi dan intergrasi. Bertolak dari konsep ini, dirumuskan lima kondisi yang harus diwujudkan agar terjadi peningkatan kualitas pembelajaran dan pelatihan:[8]

- Siswa diberi tugas untuk memecahkan masalah dalam situasi yang nyata.
- Untuk memecahkan masalah, diperlukan pengetahuan baru yang untuk menguasainya diperlukan aktivasi (atau mengingat dan menggunakan kembali) pengetahuan-pengetahuan lama yang telah dikuasai.
- Ada tutor atau guru yang mendemonstrasikan pengetahuan baru sehingga siswa dapat menyimak (melihat, mendengar dan menggunakan modalitas indra lainnya).
- Siswa langsung mengaplikasikan pengetahuan baru dengan cara meniru seperti bagaimana didemonstrasikan.
- Ada aktivitas untuk mengintegrasikan pengetahuan baru tersebut ke dalam kehidupan sehari-hari siswa.

2.2.2. Kompetensi Konseptual

Berubahnya metode kegiatan belajar-mengajar di kelas mengubah fungsi guru dari seorang pengajar menjadi seorang pengarah. Salah satu situasi yang membedakan kedua fungsi ini adalah diperlukannya kesiapan yang ekstra dalam mengantisipasi dinamika kegiatan ilmiah di kelas. Pemecahan masalah dapat berkembang menjadi situasi yang membingungkan bagi siswa, atau sebaliknya, dapat memancing rasa ingin tahu yang berlebihan sehingga siswa melontarkan berbagai pertanyaan yang belum tentu semuanya relevan. Kurangnya kompetensi konseptual akan membuat guru kehilangan dan memilih untuk memberikan petunjuk prosedural sehingga siswa tinggal melakukan apa yang diinstruksikan atau membungkam rasa keingintahuan siswa sehingga terjadi dekontekstualisasi dan guru kesulitan mengembalikan pikiran siswa ke dalam ruang kelas.

2.2.3. Kompetensi Mental

Kompetensi mental guru terutama dipengaruhi oleh tiga hal, yakni cara pandang serta kemampuan membangkitkan motivasi dan mengendalikan diri. Cara pandang guru terhadap sekolah, siswa dan dirinya sendiri merupakan landasan utama dalam pembentukan sikap dan motivasi, bahkan pengetahuan dan keterampilannya. Cara pandang ini meliputi kepercayaan, konsep diri, nilai-nilai profesionalisme, filosofi epistemologi serta cara pandang mengenai konten pembelajaran dan praktik instruksional. Misalnya, cara pandang guru akan mengasah kecenderungannya pada salah satu dari dua tipe, yakni tipe transmittor atau tipe konstruktivis. Guru dengan tipe transmittor cenderung mempertahankan gaya mengajar tradisional yang melihat siswa sebagai penerima informasi yang pasif, sedangkan guru yang konstruktivis lebih menghargai prinsip-prinsip pembelajaran yang aktif.[7]

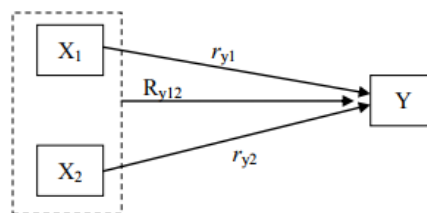
Guru, di era pendidikan tradisional, umumnya merupakan pegawai negeri yang jarang menerima insentif berbasis prestasi seperti yang dinikmati oleh pegawai swasta untuk meningkatkan komitmen mereka terhadap pekerjaan. Di saat yang sama, profesi ini memerlukan ekstra perhatian, energi dan toleransi terhadap frustrasi. Penelitian motivasi telah mengidentifikasi adanya perbedaan interindividual dalam kemampuan mengarahkan motivasi, dimana perbedaan ini berdampak pada kualitas perilaku dan menetapnya perilaku guru. Kemampuan adaptatif dengan cara mengendalikan motivasi merupakan kemampuan vital bagi guru untuk mencapai keberhasilan jangka panjang.[9] Guru yang menganggap profesinya sebagai pekerjaan yang menyenangkan dan menemukan manfaat tertentu dalam pekerjaannya terbukti mampu memberi dukungan bagi siswa sehingga pada gilirannya berdampak pada motivasi belajar siswa.[10]

Efikasi guru (atau efisiensi guru) merupakan istilah untuk menggambarkan keyakinan akan keberhasilan mereka dalam meningkatkan kemampuan dan luaran belajar siswa terlepas dari pandangan tentang kekurangan atau kelebihan mereka. Keyakinan akan keberhasilan ini bisa lebih tinggi dibanding keyakinan akan kemampuan mereka. Seorang guru bisa saja merasa tidak percaya diri akan latar belakang keilmuannya yang lebih rendah dibanding teman-teman sejawat, namun pada saat bersamaan, ia bisa merasa yakin dapat mendidik siswa mencapai prestasi yang lebih tinggi. Efikasi guru lebih mencerminkan motivasi, semangat, atau keuletan yang diperlukan untuk mendorong siswa belajar lebih giat karena merasa diayomi dan didukung sepenuhnya. Efikasi guru menggambarkan kapasitas mental seorang guru yang dapat mengatasi berbagai keterbatasan dirinya untuk mencapai tujuan profesionalnya.[11]

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian korelasional dengan model uji regresi ganda dua prediktor. Model ini digunakan untuk menguji hubungan pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP dengan kompetensi profesional guru matematika.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang dijadikan sebagai objek penelitian. Dua variabel bebas (*independent variable*) yaitu pengalaman mengajar (X_1) dan partisipasi guru dalam MGMP (X_2), serta satu variabel tak bebas (*dependent variable*) yaitu kompetensi profesional guru (Y). Adapun hubungan antara ketiga variabel tersebut digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Desain penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh guru di wilayah Kabupaten Halmahera Selatan baik SMP negeri maupun swasta yang sudah berstatus PNS maupun yang bukan PNS. Sedangkan populasi terjangkau dalam penelitian ini adalah seluruh guru mata pelajaran matematika SMP di wilayah Kabupaten Halmahera Selatan yang berjumlah 76 orang. Sampel dalam penelitian ini diperoleh menggunakan teknik random sampling, Sampel penelitian yang diambil oleh peneliti adalah guru matematika SMP di Kabupaten Halmahera Selatan yang mengikuti kegiatan MGMP berjumlah 33 orang. Data yang akan dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari pengalaman mengajar guru,

partisipasi guru dalam MGMP, dan kompetensi profesional guru matematika SMP. Ketiga jenis data tersebut akan dikumpulkan dengan menggunakan angket. Angket dirancang sedemikian rupa untuk merekam data mengenai keadaan yang dialami responden dengan menggunakan skala 1 – 5.

Instrumen yang akan digunakan pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan uji validitasnya. Untuk menguji validitas secara empirik dilakukan ujicoba instrumen terhadap guru-guru mata pelajaran matematika SMP di Kota Ternate sebanyak 20 orang dengan tujuan untuk mengetahui kualitas validitas atau kesahihan dan reliabilitas atau keterhandalan instrumen.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dan inferensial. Teknik analisis deskriptif digunakan untuk memperoleh gambaran karakteristik penyebaran nilai setiap skor variabel yang diteliti. Deskripsi data skor hasil penelitian didasarkan pada nilai rata-rata (*mean*), median dan modus data berkelompok. Selain itu juga dihitung varians data. [12,13,14]

4. HASIL PENELITIAN

Rekapitulasi hasil pengujian hipotesis penelitian berdasarkan peringkat dan kadar hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sebagaimana Tabel 4.1 berikut:

Tabel 1. Rangkuman Peringkat Kadar Hubungan antara Pengalaman Mengajar (X1) dan Partisipasi Guru dalam MGMP (X2) dengan Kompetensi Profesional Guru Matematika (Y)

Korelasi Antar Variabel	Koefisien Korelasi	Koefisien Determinasi	Kadar Pengaruh (%)	Peringkat
X1 dan X2 dengan Y	0,9334	0,8712	87,12%	Pertama
X1 dengan Y	0,9172	0,8412	84,12%	Kedua
X2 dengan Y	0,8367	0,7002	70,02%	Ketiga
X1 dengan Y jika X2 dikontrol	0,7552	0,5704	57,04%	Keempat
X2 dengan Y jika X1 dikontrol	0,4344	0,1887	18,87%	Kelima

Berikut beberapa hasil penelitian yang diperoleh:

Pertama: “Terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara pengalaman mengajar dengan kompetensi profesional guru matematika SMP di Kabupaten Halmahera Selatan”. Temuan ini memberikan informasi bahwa kompetensi profesional guru matematika SMP memiliki hubungan yang positif dan signifikan dengan pengalaman mengajar yang dimiliki guru. Dengan kata lain bahwa makin tinggi pengalaman mengajar guru maka makin tinggi pula capaian kompetensi profesionalnya.

Makna tingginya pengalaman mengajar ini ditandai dengan adanya makin bertambah masa kerja atau jam kerja, makin banyak keterampilan dan pengetahuan yang dikembangkan, dan makin sering mengikuti pendidikan dan pelatihan sesuai dengan tuntutan kompetensi yang dimilikinya. Semakin berpengalaman guru mengajar maka kompetensi guru dalam mengajar juga semakin baik. Guru yang memiliki masa kerja yang lama atau selalu mengikuti pelatihan, akan memiliki banyak pengalaman yang dapat diterapkannya dalam pembelajaran di kelas.

Pengalaman mengajar pada hakekatnya merupakan rangkuman dari pemahaman seseorang terhadap hal-hal yang dialami dalam mengajar, sehingga hal-hal yang dialami tersebut telah dikuasainya, baik tentang pengetahuan, ketrampilan maupun nilai-nilai yang menyatu padanya [4]. Jadi, dengan pengalaman tersebut akan berimplikasi pada kemampuannya dalam merencanakan pembelajaran, melaksanakan pembelajaran, dan

mengevaluasi pembelajaran sebagai materi yang diuji dalam penelitian ini.

Kedua: “Terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara partisipasi dalam MGMP dengan kompetensi profesional guru matematika SMP”. Temuan ini memberikan informasi bahwa kompetensi profesional guru matematika SMP memiliki hubungan yang positif dan signifikan dengan partisipasi guru dalam MGMP. Dengan kata lain bahwa makin tinggi partisipasi guru dalam MGMP maka makin tinggi kompetensi profesional guru yang akan diperoleh.

Partisipasi guru dalam MGMP ditunjukkan dalam bentuk: kehadiran, interaksi aktif, dan sikap dalam MGMP. Aspek kehadiran ini terkait dengan intensitas kehadiran guru dalam setiap pertemuan MGMP; interaksi aktif terkait dengan keaktifan guru dalam mengidentifikasi masalah-masalah yang muncul dalam MGMP, keaktifan guru dalam menganalisis masalah-masalah yang muncul dalam MGMP, keaktifan guru berperan sebagai fasilitator, keaktifan guru dalam evaluasi pelaksanaan MGMP setiap akhir semester dan keaktifan guru dalam menyusun program pelaksanaan MGMP diawal semester; dan aspek sikap ini terkait dengan keaktifan guru dalam hal membantu sesama guru dalam mengikuti MGMP, kerjasama dengan sesama guru pada saat memecahkan masalah-masalah yang timbul dalam MGMP, menghargai pendapat sesama guru pada saat diskusi dan membuka diri terhadap permasalahan pembelajaran yang timbul.

Seorang guru yang selalu berpartisipasi secara aktif dan memiliki sikap yang baik dalam kegiatan MGMP akan memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan guru yang kurang/tidak aktif. Hal ini dapat dilihat dari tujuan penyelenggaraan MGMP antara lain : memotivasi para guru meningkatkan kemampuan dan ketrampilan dalam merencanakan; melaksanakan dan membuat evaluasi program kegiatan pembelajaran dalam rangka meningkatkan motivasi diri sebagai guru profesional; membantu guru memperoleh informasi teknis edukatif yang berkaitan dengan kegiatan ilmu pengetahuan dan teknologi, kegiatan kurikulum, metodologi, sistem pengujian yang sesuai dengan mata pelajaran yang bersangkutan. Dengan demikian MGMP sebagai wadah pembinaan profesional guru memungkinkan bagi guru untuk mengadakan kolaborasi atau berbagi pengalaman dalam memecahkan masalah-masalah yang dihadapi dalam melaksanakan tugas mengajar sehari-hari. Sehingga kompetensi profesional guru akan meningkat jika partisipasi guru juga meningkat.

Ketiga: “Terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP dengan kompetensi profesional guru matematika SMP”. Temuan ini memberikan informasi bahwa kompetensi profesional guru memiliki hubungan secara bersama-sama yang positif dan signifikan dengan pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP. Dengan kata lain bahwa makin tinggi pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP maka makin tinggi kompetensi profesional guru yang akan diperoleh. Kompetensi profesional guru dapat ditingkatkan dengan cara mengikuti pendidikan, pelatihan, diskusi dalam forum ilmiah yang berkaitan dengan bidang tugasnya, serta berpartisipasi dalam kegiatan MGMP. Pengalaman yang diperoleh guru, hasilnya dapat diberikan kepada teman sejawat melalui kegiatan MGMP, sehingga kompetensi profesional guru-guru yang tergabung dalam MGMP dapat meningkat. Partisipasi yang aktif dalam MGMP dapat pula menjadikan seorang guru ditunjuk untuk mengikuti pelatihan sebagai perwakilan dari organisasi, dengan demikian kompetensi profesional guru tersebut akan meningkat.

5. KESIMPULAN

Dari temuan dan pembahasan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa: 1) Terdapat hubungan yang positif dan signifikan 84,12% antara pengalaman mengajar dengan kompetensi profesional guru matematika SMP yang berarti semakin berpengalaman seorang guru maka kompetensi profesionalnya juga semakin baik. 2) Terdapat hubungan yang positif dan signifikan 70,02% partisipasi guru dalam MGMP dengan kompetensi profesional guru matematika SMP yang berarti semakin tinggi partisipasi seorang guru dalam MGMP maka kompetensi profesionalnya juga semakin baik. 3) Terdapat hubungan yang positif dan signifikan 87,12% antara pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP secara bersama-sama dengan kompetensi profesional guru matematika SMP. Hubungan positif ini berarti apabila secara bersama-sama antara pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP semakin baik, maka kompetensi profesional guru akan semakin baik pula. Dengan demikian secara umum dapat disimpulkan bahwa pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP memiliki hubungan yang positif dan signifikan dengan kompetensi profesional guru matematika di Kabupaten Halmahera Selatan. Hubungan positif dan signifikan ini bermakna bahwa dengan meningkatnya pengalaman mengajar dan partisipasi guru dalam MGMP maka kompetensi profesionalnya juga akan meningkat.

Daftar Pustaka

- [1]. Wardono. 2011. Pengembangan Profesionalisme Guru Matematika Pascasertifikasi Melalui CPD PTK Pada SMP Di Kota Semarang. Makalah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika dengan tema "Matematika dan Pendidikan Karakter dalam Pembelajaran" pada tanggal 3 Desember 2011 di Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY.
- [2]. Poerwadarminta. 2001. Kamus Besar Bahasa Indonesia. Jakarta: Balai Pustaka.
- [3]. Depdiknas. 2007. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI Nomor 18 Tahun 2007 Tentang Sertifikasi bagi Guru dalam Jabatan. Jakarta : Bagian Penyusunan Rancangan Peraturan Perundang-undangan dan Bantuan Hukum.
- [4]. Widoyoko, Eko Putro. 2005. Kompetensi Mengajar Guru IPS SMA Kabupaten. Purworejo. <http://www.gamma.co.id/artikel/31-3/pendidikan-GM.10109-98.shtml>;19.
- [5]. Depdiknas. 2009a. Rambu-rambu Pengembangan Kegiatan KKG dan MGMP. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional, Dirjen PMPTK
- [6]. Depdiknas. 2009b. Prosedur Operasional Standar Penyelenggaraan KKG MGMP. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional, Dirjen PMPTK.
- [7]. Mareike Kunter, Uta Klusmann, Jorgen Baumert, Dirk Richter, Thamar Voss, Axinja Hachfeld, Professional Competence of Teachers: Effects on Instructional Quality and Student Development, *Journal of Educational Psychology*, vol 105 issue 3, pp 805-820, (2013).
- [8]. M. David Merrill, First Principles of Instruction, *ETR&D*, vol 50 issue 3, pp 43-59, (2002).
- [9]. Patricia Alexander, Charting the Course for the Teaching Profession: The Energizing and Sustaining Role of Motivational Forces, *Learning and Instruction*, vol 18 issue 5, pp 483-491, (2008).
- [10]. Guy Roth, Avi Assor, Yaniv Kanat-Maymon, Haya Kaplan, Autonomous Motivation for Teaching: How Self-Determined Teaching May Lead to Self-Determined Learning, *Journal of Educational Psychology*, vol 99 issue 4, pp 761-774, (2007).

- [11]. Nancy Protheroe, Teacher Efficacy: What Is It and Does It Matter?, Principal, (2008).
- [12]. Sugiono. 2012a. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Kombinasi (Mixed Methods). Bandung : Alfabeta.
- [13]. Sugiono. 2012b. Statistik untuk Penelitian. Bandung : Alfabeta.
- [14]. Arikunto, Suharsimi. 2010. Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta : Rineka Cipta.

ANALISIS KEMAMPUAN REPRESENTASI MATEMATIS DAN SELF EFFICACY SISWA SMP DALAM PENERAPAN *OPEN-ENDED*

HANIFAH NURUS SOPIANY¹, SHELVEY VIDIA PUSPA DEWI²

¹Universitas Singaperbangsa Karawang, hanifahnurussopiany@yahoo.co.id

²Universitas Singaperbangsa Karawang, shelvidiapus@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya penelitian tentang kurangnya kemampuan representasi siswa SMP yang kemudian dengan berbagai treatment hasil kemampuannya meningkat. Hal ini menjadi perhatian penulis untuk mengetahui lebih dalam lagi, apakah kemampuan representasi yang dikatakan meningkat, menunjukkan capaian pada semua indikator representasi. Selain itu penulis merasa perlu meneliti keyakinan siswa dalam mengerjakan soal representasi sebagai ciri adanya kemauan siswa dalam menuliskan jawaban sesuai apa yang dipikirkannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan representasi matematis siswa pada setiap indikatornya dalam pembelajaran *open-ended* dan untuk mengetahui bagaimana *self-efficacy* siswa yang memperoleh pembelajaran *open-ended*. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode yang digunakan yaitu deskriptif eksploratif. Lokasi penelitian dilaksanakan di SMP Negeri 3 Karawang Barat dengan subjek dalam penelitian ini yaitu 39 siswa yang merupakan siswa kelas VII H SMPN 3 Karawang Barat tahun ajaran 2016/2017. Jenis tes pada penelitian ini adalah tes uraian dan non tes, dimana non tes berupa wawancara. Penelitian ini dilakukan dengan dua tahapan yaitu : perlakuan atau *treatment* dan *posttest*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) capaian siswa pada setiap indikator representasi matematis dengan kategori tinggi berada pada indikator kemampuan membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya dan capaian siswa pada setiap indikator representasi matematis dengan kategori rendah berada pada indikator kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan. 2) Miskonsepsi siswa terjadi pada indikator kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan, siswa sulit membuat pertanyaan sesuai dengan keterangan atau data-data yang diberikan. 3) *Self-efficacy* siswa dalam pembelajaran *open-ended* pada penelitian ini dapat dikatakan sudah memiliki keyakinan diri yang baik atau *self-efficacy* yang baik

Kata kunci : Kemampuan Representasi Matematis, Pendekatan Open-Ended, Self-Efficacy

1. PENDAHULUAN

Kemampuan representasi matematis merupakan salah satu kemampuan matematis yang menjadi tujuan capaian kemampuan dalam pembelajaran matematika tingkat SMP. Hal ini tertulis dalam tujuan pembelajaran matematika yang dirumuskan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (Depdiknas: 2006) pada butir ke empat: “Mengkomunikasikan gagasan dengan simbol, tabel, diagram, atau media lain untuk memperjelas keadaan atau

masalah”.

Dalam studi-studi pendahuluan yang dilakukan oleh beberapa peneliti, menemukan adanya kekurangan kemampuan representasi pada siswa SMP. Kemudian para penelitian melakukan upaya meningkatkan kemampuan representasi matematis dengan menggunakan treatment dalam pembelajaran matematika. Hasil dari penelitian yang dilakukan beberapa peneliti menunjukkan bahwa kemampuan representasi matematis siswa dapat meningkat. Penelitian yang dilakukan oleh Widiati (2015) menyatakan bahwa pembelajaran kontekstual meningkatkan kemampuan representasi matematis siswa, lalu penelitian oleh Astin dan Bharata (2016) juga menyatakan bahwa pembelajaran matematika dengan menggunakan pendekatan *open-ended* dapat meningkatkan kemampuan representasi matematis siswa, dan Arnidha (2016) menyatakan bahwa penerapan model pembelajaran *Kooperatif Tipe Think Pair Share* dapat meningkatkan kemampuan representasi matematis siswa.

Dari hasil penelitian-penelitian tersebut menyatakan adanya peningkatan representasi namun dalam penelitian tersebut tidak diungkapkan ada atau tidaknya kecenderungan siswa mengalami kesalahan atau miskonsepsi menyelesaikan soal pada suatu indikator representasi. Artinya, apakah kemampuan representasi yang dikatakan meningkat, menunjukan capaian pada semua indikator representasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengetahui kemampuan representasi siswa pada tiap capaian indikator.

Kendala dalam pelajaran matematika bukan hanya pada ranah kognitifnya tetapi juga di ranah afektif, salah satunya yaitu keyakinan diri atau *self-efficacy* yang diperkirakan dapat meningkatkan kemampuan matematika siswa. Hasil observasi juga menunjukan bahwa rendahnya prestasi belajar matematika siswa erat kaitannya dengan *self-efficacy*. Hal ini memang sering ditemukan pada siswa SMP, mereka tidak memiliki *self-efficacy* yang tinggi sehingga mereka tidak percaya pada kemampuan dirinya, tidak memiliki keyakinan terhadap kemampuan dalam menghadapi tantangan, dan keyakinan terhadap kemampuan menyelesaikan beberapa tugas yang berbeda. Pada saat siswa diminta guru untuk kedepan kelas dan menjelaskan, mereka takut karena tidak yakin pada jawaban yang mereka peroleh dan tidak yakin dapat menjelaskan dengan baik. Hal ini mengakibatkan siswa kesulitan dalam menyelesaikan segala permasalahan dalam pelajaran matematika. (Hoiriyah, 2015) menyatakan *self-efficacy* akan membantu seberapa ia berusaha untuk bertindak dalam setiap kegiatan, dan seberapa lama mampu bertahan di situasi yang tidak disukainya. Sehingga prestasi belajar siswa erat kaitannya dengan *self-efficacy*. Lebih lanjut Sukoco dan Mahmudi (2016) menyatakan bahwa siswa yang memiliki *self-efficacy* tinggi akan siap dalam menghadapi berbagai situasi dan mampu menghasilkan hal-hal positif dalam hidupnya.

Self-efficacy yang rendah disebabkan karena seseorang sering menghindari sesuatu yang bersifat menantang. Jika mereka tidak mencoba sesuatu yang menantang mereka akan ragu kepada potensi dirinya jika dihadapkan dengan sesuatu yang menantang. Sehingga *self-efficacy* ini bukan hanya berpengaruh pada prestasi belajar juga berpengaruh kepada kemampuan representasi pada dirinya. Jika siswa memiliki *self-efficacy* yang rendah maka tidak ada kepercayaan diri, serta keyakinan diri pada diri siswa untuk menjawab setiap permasalahan dengan berbagai solusi. Mengingat pentingnya *self-efficacy*, maka hendaknya *self-efficacy* ini ditumbuh kembangkan pada diri siswa.

Permasalahan dalam kemampuan representasi matematis dan *self-efficacy* erat kaitannya dengan interaksi antara siswa dan guru serta kurangnya siswa belajar dengan sesuatu yang berbeda dan mengerjakan permasalahan yang menantang, sehingga diperlukan suatu pembelajaran yang tepat yang dapat mendorong siswa agar terbiasa mengeksplorasi kemampuannya yaitu melalui pembelajaran matematika dengan pendekatan *open-ended*. Nohda (Munroe, 2015) menyatakan bahwa: “Pendekatan *open-ended* adalah

sebuah kemudahan, metode *student center* yang baru saja memperoleh popularitas dikalangan/ area pendidikan matematika. Disini siswa bekerja secara individu atau didalam sebuah grup yang dihadapkan untuk menerapkan metodologi unik mereka sendiri untuk menyelesaikan sebuah masalah, sangat terancang yang mana masalah itu boleh jadi memiliki lebih dari satu jawaban benar atau mungkin memiliki lebih dari satu cara untuk sampai pada jawaban.”

Dalam pembelajaran dengan pendekatan *open-ended* siswa menyelesaikan permasalahan dengan cara mereka sendiri karena masalah *open-ended* merupakan masalah terbuka yang dapat diselesaikan dengan lebih dari satu cara atau jawaban benar. Seperti yang diungkapkan oleh Inprasitha (2006) bahwa pendekatan ini dimulai dengan ketertarikan siswa pada masalah *open-ended* yang dirumuskan memiliki beberapa jawaban benar dengan masalah “tidak lengkap” atau “masalah terbuka” sehingga dengan masalah tidak lengkap atau masalah terbuka siswa lebih leluasa untuk menyelesaikan permasalahan dengan cara mereka sendiri.

Merujuk pada latar belakang diatas maka penulis mencoba melakukan analisis kemampuan representasi matematis siswa SMP berdasarkan capaian kemampuan pada setiap indikatornya dan menganalisis tingkat kategori *self-efficacy* siswa SMP dalam pembelajaran *open-ended*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kemampuan Representasi

Kemampuan representasi matematis adalah ungkapan ide matematika kedalam bentuk lain yang dapat membantu dalam menyelesaikan masalah. Surya dan Istiawati (2016) mengungkapkan bahwa kemampuan representasi adalah kemampuan cara berpikir yang harus dimiliki seseorang sebagai cara untuk mengatasi masalah matematis dan mengemukakan solusinya. Menurut Muhamad (2016) Representasi adalah ungkapan dari ide-ide matematis yang yang ditampilkan siswa sebagai model atau bentuk pengganti dari suatu masalah untuk menemukan solusi dari masalah yang sedang dihadapi dan dapat direpresentasikan melalui gambar, kata-kata (verbal), tabel, benda kongkrit, atau simbol matematika. Menurut Goldin (Junita, 2016) Representasi adalah suatu konfigurasi yang dapat menggambarkan sesuatu yang lain dalam beberapa cara. Arnidha (2016) representasi digunakan dalam mentranslasikan atau menganalisis suatu masalah verbal menjadi lebih jelas. Hal ini mengandung makna bahwa (1) representasi melibatkan penerjemahan masalah atau ide-ide dalam bentuk baru; (2) representasi juga termasuk pengubahan diagram atau model fisik ke dalam simbol-simbol atau kata-kata; dan (3) proses representasi dapat digunakan juga dalam menerjemahkan atau menganalisis suatu masalah sehingga lebih jelas maknanya. Semakin banyak terlibat belajar matematika, siswa dapat memperluas pemahaman ide matematika atau hubungan dengan berpindah dari satu jenis representasi ke representasi yang berbeda dari hubungan yang sama.

2.2 Self-Efficacy

Self-Efficacy adalah keyakinan yang dimiliki siswa agar berhasil dalam proses pembelajaran. Seperti yang dinyatakan oleh Marlina, et.al (2014) bahwa *self-efficacy* merupakan suatu keyakinan yang harus dimiliki siswa agar berhasil dalam proses pembelajaran. Sejalan dengan itu Subaidi (2016) menyatakan bahwa *self-efficacy* adalah keyakinan seseorang terhadap keterampilan dan kemampuan dirinya dalam mengorganisasikan dan menyelesaikan permasalahan untuk hasil yang terbaik dalam suatu tugas tertentu. Sedangkan Bandura (dalam Suharsono & Istiqomah, 2014)

mendefinisikan *self-efficacy* sebagai keyakinan individu bahwa ia dapat menguasai situasi dan memperoleh hasil yang positif. Sehingga keyakinan diri dan prestasi siswa saling berhubungan menuju kearah yang positif yaitu keberhasilan siswa dalam proses belajar mengajar.

Bandura (Roheni, 2014) mengungkapkan bahwa *self-efficacy* dapat dibangkitkan dari diri siswa melalui empat sumber, yaitu (1) pengalaman otentik (*authentic mastery experience*), (2) pengalaman orang lain (*vicarious experience*), (3) pendekatan sosial atau verbal (*verbal persuasion*), dan (4) indeks psikologi (*physiological affective states*). Menurut (Mukhid, 2009) *self-efficacy* adalah keyakinan penilaian diri berkenaan dengan kompetensi seseorang untuk sukses dan tugas-tugasnya. Sehingga kemampuan *self-efficacy* ini merupakan suatu keyakinan yang mengacu pada kesiapan siswa menghadapi tantangan, kepercayaan terhadap kemampuan dirinya dan lain-lain.

Berdasarkan uraian diatas maka *self-efficacy* merupakan suatu keyakinan dalam diri siswa yang membantu proses pembelajaran agar memperoleh hasil positif.

2.3 Open-Ended

Dalam pendekatan *open-ended* formulasi masalah yang digunakan adalah masalah terbuka. Seperti yang dinyatakan (Shoimin, 2014) pendekatan *open-ended* adalah pembelajaran yang menggunakan masalah *open-ended* dan dimulai dengan memberikan masalah terbuka kepada siswa. Seperti yang dinyatakan oleh Afandi (2014) bahwa pada pendekatan *open-ended* formulasi masalah yang digunakan adalah masalah terbuka. Masalah terbuka adalah masalah yang diformulasikan memiliki multi-jawaban (banyak penyelesaian) yang benar. Sedangkan menurut Melianingsih dan Sugiman (2015) Guru kemudian menggunakan perbedaan-perbedaan cara yang digunakan siswa untuk memberikan pengalaman kepada siswa dalam menentukan sesuatu yang baru dengan menggabungkan dengan pengalaman, keterampilan dan metode matematika yang telah dipelajarinya. *Open-ended* adalah pembelajaran pendekatan terbuka yang memberikan kebebasan individu untuk mengembangkan berbagai cara dan strategi pemecahan masalah sesuai dengan kemampuan masing-masing peserta didik.

Seperti yang dinyatakan Sari, et.al (2013 : 11) pendekatan *open-ended* adalah masalah yang bersifat terbuka atau masalah tidak lengkap atau disebut juga masalah yang tidak rutin. Sehingga pembelajaran dengan pendekatan *open-ended* bukan untuk mendapatkan jawaban tetapi lebih menekankan pada cara bagaimana sampai pada suatu jawaban. Pendekatan *open-ended* dilandasi oleh teori konstruktivisme yang lebih mengutamakan proses dari pada hasil. Menurut Murni (2013) pendekatan *open-ended* dapat membangun aktifitas interaksi antara siswa dan pelajaran matematika dengan hasil ketertarikan siswa untuk menjawab masalah dengan berbagai strategi. Pada pembelajaran ini siswa diberikan kebebasan atau kesempatan untuk mengeksplor pengetahuannya dalam menyelesaikan setiap permasalahan bias melalui gambar, model matematika, atau ekspresi lainnya serta dapat membangun aktivitas interaktif antara siswa dan pembelajaran matematika sehingga dapat menarik siswa untuk menjawab permasalahan dengan berbagai strategi.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pendekatan *open-ended* merupakan pendekatan yang memberikan suatu masalah dengan banyak cara penyelesaian atau banyak alternative jawaban. Pertanyaan *open-ended* ini merupakan jawaban terbuka sehingga member kebebasan kepada siswa dalam menyampaikan pendapatnya juga dalam menyelesaikan setiap permasalahan sehingga pengetahuan yang dimiliki siswa pun dapat terekplor dengan baik.

2.4 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kualitatif. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif eksploratif. Penelitian deskriptif melakukan analisis hanya sampai taraf deskriptif yaitu menganalisis dan menyajikan data secara sistemik, sehingga dapat lebih mudah dipahami dan disimpulkan sedangkan penelitian eksploratif adalah jenis penelitian yang bertujuan untuk menemukan sesuatu yang baru berupa pengelompokan suatu gejala, fakta, dan penyakit tertentu. Penelitian deskriptif eksploratif bertujuan untuk menggambarkan keadaan suatu fenomena, dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menguji hipotesis tertentu tetapi hanya menggambarkan apa adanya suatu variabel, gejala atau keadaan Arikunto (dalam Mabruhy, 2013).

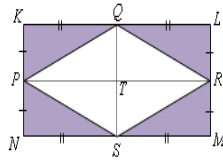
Fenomena yang digambarkan dalam penelitian ini adalah pendekatan *open-ended* dalam mengungkap kemampuan representasi matematis siswa, mulai dari analisis kemampuan representasi matematis berdasarkan tiap capaian indikator, serta miskonsepsi siswa pada indikator representasi matematis dan tingkat kategori *self-efficacy* siswa.

Subjek pada penelitian ini adalah siswa pada salah satu sekolah di Kota Karawang, yaitu SMP Negeri 3 Karawang Barat kelas VII H tahun ajaran 2016/2017. Penentuan subjek penelitian dan siswa yang diwawancarai dilakukan secara *purposive*, yaitu “dipilih dengan pertimbangan dan tujuan tertentu” (Sugiyono, 2014: 218). Peneliti memilih satu kelas yaitu kelas VII H sejumlah 39 siswa sebagai subjek penelitian. Dan untuk subjek yang akan dipilih untuk diwawancarai yaitu 9 subjek, subjek tersebut dipilih berdasarkan pada ranking siswa yang melakukan kesalahan dari hasil tes dengan tiga kelompok yang berbeda, yaitu kelompok atas, sedang, dan bawah. Kemudian diambil 3 siswa sebagai subjek untuk diwawancarai dari kelompok atas (S1, S2 dan S3), 3 siswa dari kelompok sedang (S4, S5 dan S6), dan 3 siswa dari kelompok bawah (S7, S8 dan S9). Pemilihan subjek untuk wawancara dipilih dari kelompok yang berbeda dimaksudkan untuk menjangkar informasi yang lengkap. Setelah diperoleh instrumen penelitian yang valid.

2.5 Instrumen Tes dan Angket

Instrumen Tes Representasi

No	Indikator Representasi	Soal
1	Membuat gambar pola-pola geometri	Buatlah segitiga lancip dan tumpul! Setelah itu berikan alasannya!
2	Membuat persamaan atau model matematis dari representasi lain yang diberikan.	2 Diketahui suatu persegi dengan sisi $(x+3)$ cm dan persegi panjang dengan panjang $(2x-3)$ cm serta lebar $9x+1$ cm. Jika keliling persegi panjang = keliling persegi, berapakah panjang sisi persegi tersebut?
3	Membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan.	Pada gambar di bawah ini, persegi panjang KLMN mempunyai panjang $3x$ cm, lebar $(2x+1)$ cm, dan keliling 42 cm. Titik T merupakan titik perpotongan diagonal-diagonal pada belah ketupat PQRS.



Dari data-data di atas susunlah beberapa pertanyaan-matematika menurut pendapat-mu sendiri, dan kemudian jawablah pertanyaan itu.

4 Membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya 5 Menggunakan representasi visual untuk menyelesaikan masalah.	selembar seng berbentuk persegi panjang berukuran 50 cm x 40 cm, jika sebagian seng tersebut diambil untuk membuat tutup kaleng berbentuk belah ketupat, berapakah luas sisa seng yang tidak terpakai? Buatlah ilustrasi atau sketsa gambarnya! Berikut adalah denah sawah seorang petani. Setiap 1 m² sawahnya akan diberi 0,05 kg pupuk. Berapa kg pupuk yang harus dipersiapkan petani tersebut? Gunakan lebih dari satu cara untuk menjawabnya!

Angket Self-Efficacy

Indikator Keyakinan terhadap kemampuan diri sendiri	Pertanyaan Saya yakin dapat menyelesaikan setiap soal dengan kemampuan yang saya miliki. (+) 1 Meskipun saya merasa banyak kekurangan, saya percaya akan dapat menyelesaikan tugas-tugas matematika. (+) 3 Saya tidak sanggup menyelesaikan soal matematika sendiri. (-) 5 Saya tidak dapat menyelesaikan setiap soal dengan kemampuan yang saya miliki. (-) 7
Keyakinan terhadap kemampuan menyelesaikan beberapa tugas yang berbeda	Saya tidak bisa jika menjawab soal berbeda dengan cara yang diberikan guru. (-) 17 Saya tidak yakin menjawab soal matematika dengan jawaban saya sendiri. (-) 16 Saya selalu menyelesaikan soal dengan berbagai macam cara penyelesaian. (+) 13 Dengan kemampuan matematika yang saya miliki, saya dapat menyelesaikan berbagai soal yang berbeda. (+) 15
Keyakinan terhadap kemampuan dalam menghadapi tantangan	Saya kurang percaya diri jika guru menyuruh saya mempresentasikan hasil jawaban saya. (-) 2 Saya tertantang untuk bekerjasama dengan orang lain dalam mengerjakan matematika. (+) 4 Saya tertantang Untuk mengeluarkan ide saat diskusi matematika. (+) 6 Saya kurang percaya diri jika guru menyuruh saya menyelesaikan soal di depan kelas. (-) 8
Keyakinan terhadap kemampuan menyesuaikan dan menghadapi tugas-tugas yang sulit	Saya tidak mencoba menyelesaikan tugas yang terlihat sangat sulit. (-) 11 Saya berhasil menyelesaikan soal matematika yang sulit jika berusaha. (+) 14 Saya tidak sanggup menyelesaikan soal matematika yang sulit. (-) 10 Sesulit apapun tugas matematika yang diberikan guru, saya percaya dapat menyelesaikannya. (+) 12
Keyakinan Terhadap kemampuan menyelesaikan	Jika saya tidak membaca soal matematika yang diberikan dengan teliti, saya tidak dapat menyelesaikannya. (-) 18

tugas yang spesifik

Keberhasilan dalam matematika hanya dapat dicapai melalui belajar dan latihan secara teratur. (+) 9

3. HASIL

Pada indikator pertama yaitu membuat gambar pola-pola geometri terdapat 20 siswa yang mencapai indikator tersebut, pada indikator tersebut mengungkapkan tentang penguasaan siswa dalam membuat suatu permasalahan kedalam bentuk gambar. Hal ini berarti 20 siswa sudah mampu membuat suatu permasalahan kedalam bentuk gambar dari materi segitiga yaitu mampu membuat gambar segitiga lancip dan segitiga tumpul dengan benar.

Indikator yang kedua yaitu membuat persamaan atau model matematis dari representasi lain yang diberikan terdapat 18 siswa yang telah mencapai indikator tersebut, pada indikator tersebut mengungkapkan tentang penguasaan siswa dalam membuat persamaan atau model matematis dari representasi lain yang diberikan. Hal ini berarti siswa sudah mampu membuat persamaan dengan benar serta mampu mensubstitusi suatu nilai kedalam persamaan tersebut.

Indikator yang ketiga yaitu membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan hanya 6 siswa yang dapat mencapai indikator kemampuan ini, siswa dapat membuat pertanyaan dari situasi yang diberikan. Indikator yang keempat yaitu membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya, terdapat 36 siswa mencapai indikator kemampuan ini, siswa sudah mampu membuat ilustrasi gambar dengan benar serta dapat menyelesaikannya. Dan indikator yang terakhir atau yang kelima yaitu menggunakan representasi visual untuk menyelesaikan masalah, pada indikator tersebut mengungkapkan tentang penguasaan siswa dalam menyelesaikan soal mengenai luas dengan bantuan gambar, tetapi hanya terdapat 7 siswa yang telah mencapai indikator tersebut, hal ini berarti hanya sedikit siswa sudah menguasai indikator tersebut. Dari kelima indikator siswa yang paling tinggi mencapai indikator yang keempat yaitu membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya terdapat 36 siswa mencapai indikator kemampuan ini, siswa sudah mampu membuat ilustrasi gambar dengan benar serta dapat menyelesaikannya.

Peneliti juga mengidentifikasi miskonsepsi siswa pada tiap indikator kemampuan representasi matematis. Dari kelima indikator kemampuan representasi matematis dilihat dari soal uraian yang diberikan kepada siswa tentang pokok bahasan segitiga dan segiempat. Indikator yang pertama yaitu membuat gambar pola-pola geometri terdapat 19 siswa yang tidak mencapai indikator, siswa mengetahui pengertian dari segitiga tumpul dan segitiga lancip tetapi mereka kesulitan dalam mengubah deskripsi pengertian segitiga tersebut kedalam bentuk gambar yang benar.

Indikator yang kedua yaitu membuat persamaan atau model matematis dari representasi lain yang diberikan terdapat 21 siswa yang belum mencapai indikator tersebut, pada indikator kedua ini rata-rata siswa salah mensubstitusi karena kebingungan dengan adanya variabel x , sehingga salah mensubstitusi kedalam persamaan dan beberapa siswa keliru dalam menyelesaikan persamaan. Indikator yang ketiga yaitu membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan, terdapat 33 siswa belum mencapai indikator kemampuan ini, siswa kebingungan karena keterangan pada soal menggunakan variabel x , banyak siswa kebingungan dan akhirnya tidak menggunakan keterangan tersebut untuk membuat pertanyaan.

Indikator yang keempat yaitu membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya yang diterapkan pada soal nomor empat 3 siswa belum mencapai indikator ini, kesalahan tersebut terjadi karena kekeliruan yaitu siswa sudah

dapat menggambar serta menggunakan penyelesaian yang tepat tetapi keliru dalam menghitung hasil akhir. Dan indikator yang kelima yaitu menggunakan representasi visual untuk menyelesaikan masalah terdapat 32 siswa belum mencapai indikator ini, rata-rata siswa kebingungan menentukan bagaimana cara mencari luas pada gambar yang ada pada soal dan ada beberapa siswa lainnya keliru dalam menghitung hasil akhir.

Miskonsepsi siswa pada tiap indikator representasi, yang paling banyak belum tercapai pada indikator yaitu kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan, terdapat 33 siswa belum mencapai indikator kemampuan ini, siswa kebingungan karena keterangan pada soal menggunakan variabel x , banyak siswa kebingungan dan akhirnya tidak menggunakan keterangan tersebut untuk membuat pertanyaan. Sehingga kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan siswa masih rendah.

Dari data hasil wawancara kepada sembilan siswa yang diambil dari kelompok atas, tengah dan bawah masing-masing tiga siswa. Dapat disimpulkan siswa yang berada pada kelompok atas rata-rata siswa yang menyukai pelajaran matematika, siswa yang berada pada kelompok tengah rata-rata siswa yang tidak begitu menyukai pelajaran matematika sedangkan siswa yang berada pada kelompok bawah rata-rata siswa yang tidak menyukai pelajaran matematika. Siswa menganggap pelajaran matematika pelajaran yang sulit dipahami karena terlalu banyak rumus yang membuat mereka kebingungan. Menurut siswa kelompok atas pokok bahasan segitiga dan segiempat mudah dipahami, siswa yang berada pada kelompok tengah pokok bahasan segitiga dan segiempat cukup mudah dipahami tetapi ada sebagian yang belum mereka pahami sedangkan siswa yang berada pada kelompok bawah menganggap pokok bahasan segitiga dan segiempat sulit dipahami. Kesulitan yang dialami siswa yaitu pada saat menghitung luas dan keliling segitiga serta sulit memahami soal bila pada soal terdapat model atau persamaan matematis.

Dari hasil wawancara juga terlihat bahwa siswa yang berada pada kelompok atas memahami pembelajaran dengan pendekatan *open-ended* dengan adanya macam-macam soal dengan jawaban yang bervariasi mereka lebih banyak memiliki pengalaman dan lebih paham. Sedangkan pada siswa kelompok sedang mereka memahami pembelajaran dengan pendekatan *open-ended* tetapi ada beberapa soal yang tidak mereka pahami, dan pada siswa kelompok bawah mereka kebingungan dengan soal yang bermacam-macam mereka juga sulit menentukan cara mana yang tepat untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Terlihat bahwa pada kelompok kelas atas siswa lebih memahami pembelajaran dengan pendekatan *open-ended*, dan hasil menyelesaikan lima soal kemampuan representasi pun sempurna. Ini membuktikan bahwa bila siswa mengikuti pembelajaran dengan benar dan mengerjakan setiap soal yang bermacam-macam dengan baik, maka siswa dapat terbiasa menyelesaikan masalah yang bermacam-macam.

Lalu hasil analisis angket *self-efficacy* menunjukkan bahwa 50,31% siswa atau sebagian besar siswa sudah memiliki keyakinan diri atau *self-efficacy*. *Self-efficacy* ini dapat dibangkitkan dari diri siswa yaitu melalui pendekatan. Dalam pembelajaran matematika dengan pendekatan *open-ended* ini siswa menyelesaikan suatu permasalahan dalam matematika, siswa memiliki pengalaman sendiri dengan menyelesaikan soal-soal yang bervariasi, ataupun pengalaman orang lain dari siswa yang mempresentasikan hasil temuannya, serta adanya proses diskusi dalam kelompok. Aktivitas ini menunjukkan adanya pengembangan *self-efficacy* siswa dalam pembelajaran matematika dengan pendekatan *open-ended*.

4. KESIMPULAN

Dengan pembelajaran *open-ended* kemampuan representasi siswa yang paling tinggi yaitu pada indikator kemampuan membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya dan pada tingkat kategori *self-efficacy* siswa yaitu sebagian besar siswa sudah memiliki *self-efficacy*. Selanjutnya kesimpulan secara rinci sebagai berikut:

1. Kemampuan representasi matematis berdasarkan tiap capaian indikator pada pokok bahasan segitiga dan segiempat paling tinggi tercapai pada soal nomor empat dengan indikator kemampuan membuat gambar untuk memperjelas masalah dan memfasilitasi penyelesaiannya yaitu hampir semua siswa sebanyak 36 siswa sudah mampu membuat ilustrasi gambar berupa gambar persegi panjang dan belah ketupat dengan benar serta dapat menyelesaikannya. Sedangkan yang paling rendah yaitu pada soal nomor tiga dengan indikator kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan hanya terdapat 6 siswa yang mencapai indikator ini.
2. Miskonsepsi siswa pada tiap indikator representasi yaitu pada indikator kemampuan membuat situasi masalah berdasarkan data atau representasi yang diberikan pada soal nomor tiga dimana terdapat 33 siswa belum mencapai indikator ini, siswa sulit membuat pertanyaan sesuai dengan keterangan atau data-data yang diberikan, dan hanya terfokus pada gambar tanpa melihat keterangan lainnya sehingga soal yang mereka buat salah. Sebagian besar siswa juga kebingungan karena keterangan pada soal menggunakan variabel x dan akhirnya tidak menggunakan keterangan tersebut untuk membuat pertanyaan.
3. Tingkat kategori *self-efficacy* siswa dalam pembelajaran *open-ended* mencapai 50,31%, dapat dikatakan bahwa sebagian besar siswa sudah memiliki keyakinan diri atau *self-efficacy*. Dengan pembelajaran *open-ended* ini siswa menyelesaikan suatu permasalahan dalam matematika, siswa memiliki pengalaman sendiri dengan menyelesaikan soal-soal yang bervariasi, ataupun pengalaman orang lain dari siswa yang mempresentasikan hasil temuannya, serta adanya proses diskusi dalam kelompok. Sehingga *self-efficacy* dapat dibangkitkan dengan pembelajaran *open-ended*.

Daftar Pustaka

- [1] Afandi, A (2014). "Perbandingan Pendekatan Open-Ended Dan Inkuiri Terbimbing Ditinjau Dari Kemampuan Pemecahan Masalah Dan Representasi Multipel Matematis". *Jurnal matematika dan pendidikan matematika*. Volume 3 nomor 1, ISSN : 2089-855X
- [2] Arnidha, Y (2016). "Peningkatan Kemampuan Representasi Matematis Melalui Model Pembelajaran Kooperatif Think Pair Share". *Jurnal e-Dumath*. Volume 2 nomor 1
- [3] Astin, A. E dan Bharata, H (Khabibah, 2016). "Penerapan Pendekatan *Open-Ended* Dalam Pembelajaran Matematika Terhadap Kemampuan Representasi Matematis Siswa". *Prosiding, 12 Maret 2016*. ISSN : 2502-6526
- [4] Depdiknas (2006). *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional No. 22, Tahun 2006 Tentang Tujuan Pendidikan Matematika*. Jakarta, Depdiknas.
- [5] Hoiriyah, D (2015). "Peningkatan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika Dan *Self-Efficacy* Siswa Melalui Pembelajaran Berbasis Masalah Di MAN 1 Padangsidimpuan". *Logaritma, Maret 2015*. Volume 3 nomor 1
- [6] Inprasitha, M (2006). "Open-Ended Approach And Teacher Education". *Tsukuba Journal of Educational Study in Mathematics*. Volume 15, number 5 ISSN: 1303-0485

- [7] Junita, R (2016). "Kemampuan Representasi dan Komunikasi Matematis Peserta Didik SMA Ditinjau dari Presrasi Belajar dan Gaya Kognitif". *Jurnal Pendidikan Matematika*. Volume 11, nomor 2 p-ISSN: 1978-4538 e-ISSN: 2527-421X
- [8] Mabrudy, M (2013). "Penggunaan Self-Assesment Untuk Mengungkap Pemahaman Siswa Yang Berorientasi Pada Teori Marzano Dalam Usaha dan Energi". Skripsi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia: Tidak diterbitkan.
- [9] Marlina, et.al (2014). "Peningkatan Kemampuan Komunikasi Dan Self-Efficacy Siswa SMP Dengan Menggunakan Pendekatan Diskursif". *Jurnal Didatik*. Volume 1 nomor 1
- [10] Melianingsih, N dan Sugiman (2015). "Keefektifan Pendekatan Open-Ended Dan Problem Solving Pada Pembelajaran Bangun Ruang Sisi Datar Di SMP". *Jurnal riset pendidikan matematika*. Volume 2 nomor 2, ISSN : 2477-1503
- [11] Muhamad, N (2016). "Pengaruh Metode Discovery Learning untuk Meningkatkan Representasi Matematis dan Percaya Diri Siswa". *Jurnal Pendidikan Universitas Garut*. Volume 09 nomor 01 ISSN: 1907-932X
- [12] Mukhid, A (2009). "Self-Efficacy (Perspektif Teori Kognitif Sosial dan Implikasinya terhadap Pendidikan)". *Tadris*. Volume 4 nomor 1
- [13] Munroe, L (2015). "The Open-Ended Approach Framework". *European Journal of Educational Research*. Volume 4, issue 3 ISSN: 2165-8714
- [14] Murni (2013). "Open-Ended Approach In Learning To Improve Students Thinking Skills In Banda Aceh". *International Journal of Independent Research and Studies*. Volume 2, Number 2 ISSN: 2226-4817
- [15] Roheni (2014). "Kemampuan siswa SMP dalam Pemecahan Masalah dan Self-Efficacy Melalui Pendekatan Matematika Realistik". Skripsi UPI Bandung: tidak diterbitkan
- [16] Sari, Y, et.al. (2013). "Penerapan Pendekatan Open-Ended Dalam Pembelajaran Matematika Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Matematis Siswa Ditinjau Dari Respon Siswa Terhadap Pembelajaran". *Jurnal Pendidikan Matematika Solusi*. Volume 1 nomor 1.
- [17] Shoimin, A (2014). *Model Pembelajaran INOVATIF dalam Kurikulum 2013*. Yogyakarta: Ar-Ruzz Media.
- [18] Subaidi, A (2016). "Self-Efficacy Siswa Dalam Pemecahan Masalah Matematika". *IGMA*. Volume 1 nomor 2
- [19] Sugiyono (2014). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- [20] Suharsono, Y dan Istiqomah (2014). "Validitas dan Realibilitas Skala Self-Efficacy". *Jurnal Ilmiah Psikologi Terapan*. Volume 2 nomor 1 ISSN: 2301-8267
- [21] Sukoco, H dan Mahmudi, A (2016). "Pengaruh Pendekatan Brain-Based Learning Terhadap Kemampuan Komunikasi Matematis Dan Self-Efficacy Siswa SMA". *Pythagoras*. Volume 11 nomor 1, ISSN : 1978-4538
- [22] Surya, E dan Istiawati, S. N (2016). "Mathematical Representation Ability In Private Class XI SMA YPI Dharma Budi Sidamanik". *Jurnal Saung Guru*. Volume 3 nomor 2
- [23] Widiati, I (2015). "Mengembangkan Kemampuan Representasi Matematis Siswa Sekolah Menengan Pertama Melalui Pembelajaran Kontekstual". *Jurnal pengajaran MIPA*. Volume 20 nomor 2

MODIFIKASI SISTEM *PREDATOR-PREY*: DINAMIKA MODEL *LESLIE-GOWER* DENGAN DAYA DUKUNG YANG TUMBUH LOGISTIK

HASAN S. PANIGORO¹, EMLI RAHMI²

¹Universitas Negeri Gorontalo, hspanigoro@ung.ac.id

²Emli Rahmi, emlirahmi@ung.ac.id

Abstrak

Pada makalah ini dipelajari dinamik dari Sistem *Predator-Prey* Model *Leslie-Gower* dengan mengasumsikan bahwa daya dukung dari *prey* berubah terhadap waktu. Perubahan daya dukung dari *prey* yang dimaksud yaitu daya dukung dari populasi tidak konstan, namun bergantung terhadap waktu dengan daya dukung tumbuh secara logistik. Analisis Awal dimulai dengan melakukan simplifikasi sistem dengan cara penskalaan variabel dan parameter untuk mendapatkan bentuk normalnya. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap dinamik dari sistem disekitar titik ekuilibrium tersebut. Hasil akhir menunjukkan bahwa pada sistem ini, kondisi kedua populasi selalu mencapai titik kesetimbangan yang berarti tidak ada spesies yang akan punah sepanjang berjalannya waktu.

Kata kunci: *Dinamik, Ekuilibrium, Leslie-Gower, Predator-Prey*

1. PENDAHULUAN

Model *predator-prey* adalah objek kajian yang sangat menarik untuk dipelajari dalam bidang matematika ekologi karena menyangkut eksistensi dari satu atau lebih spesies, yang dalam habitatnya mengalami kondisi seperti ini. Model ini sangat populer yang dibuktikan dengan banyaknya penelitian yang mempelajari model ini. Batasan dari model ini sangatlah luas sehingga banyak peneliti melakukan modifikasi dan mengembangkan model *predator-prey* dengan harapan model tersebut bersesuaian dengan kondisi mangsa-pemangsa yang ada di alam.

Di makalah ini, model *predator-prey* yang dipelajari adalah model yang melibatkan satu *predator* dan satu *prey*. Asumsi ini adalah asumsi yang paling sederhana, namun tetap menjadi kajian yang menarik dalam matematika, karena model dengan asumsi ini masih relevan dengan kondisi yang ada dalam habitat dua spesies yang berinteraksi dengan hubungan mangsa-pemangsa.

Secara matematis, model *predator-prey* yang dipelajari pada makalah ini dikenal dengan *semi-ratio-dependent* dengan fungsi respon. Model ini merupakan sistem persamaan diferensial di $\mathbb{R}^2$ yang menunjukkan bahwa spesies yang menjadi *prey* dan *predator* tumbuh secara logistik dengan daya dukung *prey* adalah konstan, dan daya dukung *predator* bergantung terhadap jumlah populasi *prey*. Model ini didefinisikan oleh:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) - p(x)y \\ \dot{y} &= sy \left(1 - \frac{ny}{x}\right)\end{aligned}, \quad (1)$$

dimana $x(t) > 0, y(t) \geq 0$ sepanjang $t \geq 0$, dan r, s, K, n bilangan real positif. Variabel x menyatakan populasi dari *prey* dan variabel y menyatakan populasi dari *predator*. Pada sistem (1) diasumsikan besaran *prey* tumbuh secara logistik dengan daya tampung K dan pertumbuhan intrinsik r dengan adanya y sebagai *predator*. *Predator* memangsa *prey* dengan fungsi respon $p(x)$ yang juga tumbuh secara logistik dengan pertumbuhan intrinsik s dan daya tampung bergantung secara proporsional terhadap jumlah *prey*. Parameter n adalah angka yang menyatakan besaran *prey* yang dibutuhkan untuk mendukung eksistensi bagi satu *predator* (Hsu [2] dan Huang [3]).

Dalam makalah ini, fungsi respon yang digunakan adalah fungsi respon *Holling Tipe-1* yang dituliskan:

$$p(x) = mx. \quad (2)$$

Sistem (1) dengan fungsi respon (2) dikenal dengan sistem *predator-prey* model *Leslie-Gower* (Leslie & Gower [5]) yang dituliskan:

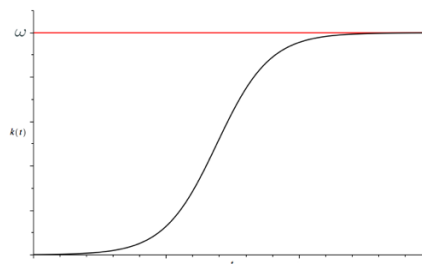
$$\begin{aligned}\dot{x} &= r_1 x \left(1 - \frac{x}{K}\right) - mxy \\ \dot{y} &= r_2 y \left(1 - \frac{ny}{x}\right)\end{aligned}, \quad (3)$$

dengan m adalah nilai maksimum dimana tingkat penurunan per kapita dari mangsa dapat tercapai. Dalam Hsu & Huang [2] ditunjukkan bahwa sistem (3) memiliki titik ekuilibrium tunggal dengan dinamikanya bersifat stabil asimtotik secara global.

Beberapa modifikasi yang dilakukan misalkan dengan mengasumsikan bahwa terjadi pemanenan terhadap populasi seperti pada Huang [3], Zhu [15] dan Panigoro [7]. Selain itu beberapa penelitian mengasumsikan adanya waktu tunda seperti pada Zhang [14], dan ada juga yang mengasumsikan bahwa populasi pada model memiliki pertumbuhan intrinsik yang dipengaruhi oleh efek *allee* seperti pada Yang [13].

Dari asumsi-asumsi yang ada, peneliti tertarik dengan asumsi pada Purnomo [9] dimana suatu populasi tunggal tumbuh secara logistik dengan daya dukung bukan lagi sebuah parameter yang memiliki nilai konstan, namun menjadi sebuah variabel yang besarnya juga dipengaruhi oleh waktu. Purnomo [9] mengasumsikan bahwa daya dukung dari populasi juga tumbuh secara logistik.

Dari asumsi tersebut, peneliti tertarik untuk mengasumsikan hal yang sama terhadap *prey* pada model (3), dimana daya dukung *prey* tumbuh secara logistik, sedangkan daya dukung *predator* bergantung pada populasi *prey*. Daya dukung dari *prey* yang tumbuh secara logistik dapat dilihat pada gambar (1) berikut:



Gambar 1. Daya dukung *prey* yang tumbuh logistik dengan ω merupakan daya dukung maksimum *prey*

Daya dukung ini dapat dituliskan dalam persamaan diferensial biasa sebagai berikut:

$$\dot{k} = r_3 \left(1 - \frac{k}{\omega}\right), \quad (4)$$

dengan ω adalah maksimum daya dukung yang dapat dicapai oleh *prey*.

Berdasarkan asumsi tersebut maka sistem (3) menjadi:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= r_1 x \left(1 - \frac{x}{K}\right) - mxy \\ \dot{y} &= r_2 y \left(1 - \frac{ny}{x}\right) \\ \dot{k} &= r_3 \left(1 - \frac{k}{\omega}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Sistem (5) merupakan kajian utama dalam makalah ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Dinamik

Pandang suatu persamaan diferensial biasa:

$$\dot{x} = F(x), \quad x \in \mathbb{R}^n \quad (6)$$

dengan $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ adalah fungsi C^r . Solusi dari sistem (6) adalah suatu kurva $\gamma: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$ yang memenuhi $\frac{d\gamma}{dt} = F(\gamma(t))$ untuk setiap $t \in \mathbb{R}$. Ruang variabel bebas pada sistem dinamik biasanya dinyatakan sebagai waktu, sedangkan ruang variabel terikat di $\mathbb{R}^n$ pada sistem (6) sering disebut dengan ruang fase. Kurva γ diatas disebut dengan orbit, sedangkan kumpulan dari orbit-orbit pada ruang fase disebut dengan potret fase.

Sistem yang berbentuk seperti pada persamaan (6) disebut sistem *autonomous* atau sistem yang tidak bergantung secara eksplisit terhadap waktu. Apabila sistem bergantung secara eksplisit terhadap waktu, maka sistem itu disebut dengan sistem *nonautonomous*. Salah satu solusi dari sistem (6) adalah titik ekuilibrium. $\bar{x}$ dikatakan titik ekuilibrium dari sistem (6) jika:

$$f(\bar{x}) = 0, \quad \bar{x} \in \mathbb{R}^n \text{ untuk setiap } t \in \mathbb{R}.$$

Jika suatu sistem memiliki tak berhingga banyak solusi ekuilibrium dan solusi-solusi ekuilibrium tersebut membentuk kurva di ruang fasena, maka kurva ini disebut dengan manifold ekuilibrium.

Definisi 1. (Wiggins [12]). Titik ekuilibrium $\bar{x}(t)$ dikatakan *stabil liapunov* jika untuk $\varepsilon > 0$ terdapat $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$ sehingga untuk setiap solusi $y(t)$ dari (6) yang memenuhi $|\bar{x}(t_0) - y(t_0)| < \delta$ berakibat $|\bar{x}(t) - y(t)| < \varepsilon$ untuk $t > t_0, t_0 \in \mathbb{R}$.

Definisi 2. (Wiggins [12]). Titik ekuilibrium $\bar{x}(t)$ dikatakan *stabil asimtotik* jika memenuhi definisi (1) dan jika terdapat $b \in \mathbb{R}^+$ sehingga $|\bar{x}(t_0) - y(t_0)| < b$ berakibat $\lim_{t \rightarrow \infty} |\bar{x}(t) - y(t)| = 0$.

2.2 Pelinearan

Untuk menganalisa sistem (6), langkah yang paling mudah adalah mempelajari kestabilan titik ekuilibrium dengan melakukan pelinearan disekitar titik ekuilibrium sistem tersebut. Misalkan:

$$x = \bar{x} + y \quad (7)$$

Substitusi (7) ke (6) kemudian lakukan ekspansi *Taylor* pada $f(x)$ disekitar $\bar{x}(t)$ sehingga didapatkan:

$$\dot{x} = \dot{\bar{x}}(t) + \dot{y} = f(\bar{x}(t)) + Df(\bar{x}(t))y + \mathcal{O}(|y|)^2, \quad (8)$$

dimana Df adalah turunan dari f terhadap x dan $|\cdot|$ adalah *norm* di $\mathbb{R}^n$. Karena $\dot{\bar{x}}(t) = f(\bar{x}(t))$, maka:

$$\dot{y} = Df(\bar{x}(t))y + \mathcal{O}(|y|)^2.$$

Jika $J = Df(\bar{x}(t))$ maka sistem (9) dapat dituliskan menjadi

$$\dot{y} = Jy + \mathcal{O}(|y|)^2. \quad (9)$$

Perhatikan teorema berikut:

Teorema 1. Misalkan matriks J pada (9) semua nilai eigennya bernilai negatif, maka titik ekuilibrium $x = \bar{x}$ stabil asimtotik.

Bukti 1. Lihat Wiggins [19] halaman 8.

3. HASIL

3.1 Penskalaan Sistem

Pandang sistem persamaan diferensial berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= r_1 x \left(1 - \frac{x}{k}\right) - mxy \\ \dot{y} &= r_2 y \left(1 - \frac{ny}{x}\right) \\ \dot{k} &= r_3 \left(1 - \frac{k}{\omega}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

Dalam analisis sistem dinamik, solusi umum dari sistem (10) bukan menjadi kajian utama dalam pembahasannya, namun lebih kepada mempelajari perilaku dari solusi tersebut. Oleh karena itu, dilakukan simplifikasi sistem dengan melakukan penskalaan, baik penskalaan variabel maupun penskalaan parameter dengan tujuan untuk membuang sebanyak mungkin parameter dengan harapan agar sistem menjadi lebih sederhana, namun tidak mengubah dinamik dari sistem tersebut.

Penskalaan awal yang dilakukan adalah penskalaan variabel terhadap sistem (1) yaitu dengan transformasi $(x, y, k, t) \rightarrow \left(\frac{x}{\omega}, \frac{ny}{\omega}, \frac{k}{\omega}, \omega r_1 t\right)$ sehingga sistem (10) menjadi:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x \left(1 - \frac{\omega my}{nr_1} - \frac{x}{k} \right) \\ \dot{y} &= \frac{r_2}{nr_1} y \left(1 - \frac{y}{x} \right) \\ \dot{k} &= \frac{r_3}{r_1} \left(1 - \frac{k}{\omega} \right)\end{aligned}$$

Berdasarkan kondisi biologis bahwa $r_1, r_2, r_3, n, \omega > 0$ maka dapat dilakukan penskalaan parameter dengan memisalkan:

$$\alpha = \frac{\omega m}{nr_1}, \beta = \frac{r_2}{nr_1}, \delta = \frac{r_3}{r_1},$$

sehingga sistem menjadi:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x \left(1 - \alpha y - \frac{x}{k} \right) \\ \dot{y} &= \beta y \left(1 - \frac{y}{x} \right) \\ \dot{k} &= \delta (1 - k)\end{aligned} \quad (11)$$

dengan $x > 0, y \geq 0, k > 0$ dan $\alpha, \beta, \delta > 0$.

3.2 Titik Ekuilibrium dan Eksistensinya

Titik ekuilibrium didapatkan dengan mencari solusi dari:

$$\begin{aligned}x \left(1 - \alpha y - \frac{x}{k} \right) &= 0 \\ \beta y \left(1 - \frac{y}{x} \right) &= 0 \\ \delta (1 - k) &= 0\end{aligned} \quad (12)$$

sehingga didapatkan titik ekuilibrium:

$$E_1(\bar{x}, \bar{y}, \bar{k}) = (1, 0, 1) \text{ dan } E_2(\bar{x}, \bar{y}, \bar{k}) = \left(\frac{1}{\alpha+1}, \frac{1}{\alpha+1}, 1 \right)$$

Berdasarkan kondisi biologis, titik ekuilibrium yang dimaksud merupakan titik ekuilibrium tak nol (tak ada jumlah populasi dan daya dukung yang kecil dari nol). Karena $\frac{1}{\alpha+1} > 0$, maka E_1 dan E_2 merupakan titik ekuilibrium dari sistem dan selalu ada pada sistem.

3.3 Pelinearan Sistem

Berdasarkan Teorema (1), untuk mempelajari kestabilan dari titik ekuilibrium dilakukan pelinearan terhadap sistem (11) disekitar titik ekuilibrium. Dengan cara pada persamaan (9) maka didapatkan:

$$J(\bar{x}, \bar{y}, \bar{k}) = \begin{bmatrix} 1 - \alpha \bar{y} - \frac{2\bar{x}}{\bar{k}} & -\alpha \bar{x} & \left(\frac{\bar{x}}{\bar{k}} \right)^2 \\ \beta \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right)^2 & \beta \left(1 - \frac{2\bar{y}}{\bar{x}} \right) & 0 \\ 0 & 0 & \delta(1 - 2\bar{k}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

3.4 Kestabilan Titik Ekuilibrium

3.4.1 Kestabilan Titik Ekuilibrium $E_1(\bar{x}, \bar{y}, \bar{k}) = (1, 0, 1)$.

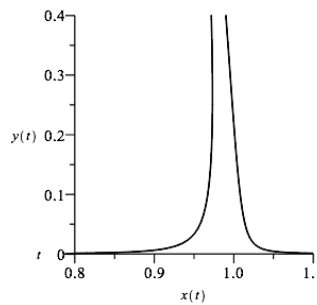
Untuk mempelajari kestabilan titik ekuilibrium, substitusi nilai E_1 ke (13) sehingga:

$$J(E_1) = \begin{bmatrix} -1 & -\alpha & 1 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & -\delta \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Matriks (13) memiliki nilai eigen:

$$\lambda_1 = -1 < 0, \lambda_2 = \beta > 0, \text{ dan } \lambda_3 = -\delta < 0,$$

sehingga titik ekuilibrium E_1 adalah titik ekuilibrium tidak stabil tipe *saddle*. Perhatikan gambar (2) berikut:



Gambar 2. Potret Fase Disekitar Titik Ekuilibrium E_1

Solusi disekitar titik ekuilibrium bergerak menjauhi titik ekuilibrium E_1 dengan kurva solusi membentuk *saddle* sehingga titik ekuilibrium ini disebut titik *saddle*.

3.4.2 Kestabilan Titik Ekuilibrium $E_2(\bar{x}, \bar{y}, \bar{k}) = (\frac{1}{\alpha+1}, \frac{1}{\alpha+1}, 1)$.

Untuk mempelajari kestabilan titik ekuilibrium, substitusi nilai E_2 ke (13) sehingga:

$$J(E_1) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\alpha+1} & -\frac{\alpha}{\alpha+1} & \frac{1}{(\alpha+1)^2} \\ \beta & -\beta & 0 \\ 0 & 0 & -\delta \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Matriks (13) memiliki nilai eigen:

$$\lambda_1 = -\delta < 0.$$

λ_2 dan λ_3 didapatkan dengan menyelesaikan persamaan:

$$\lambda^2 + \left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta\right)\lambda + \beta = 0 \quad (16)$$

Persamaan (16) memiliki solusi:

$$\lambda_{2,3} = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta \pm \sqrt{D(\lambda)}\right) \quad (17)$$

dengan:

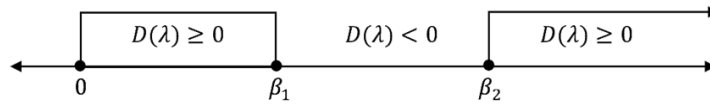
$$D(\lambda) = (\beta - \beta_1)(\beta - \beta_2), \quad (18)$$

dan:

$$\beta_1 = \frac{1}{\alpha+1} (1 + 2\alpha - 2\sqrt{\alpha(\alpha+1)}), \quad (19)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{\alpha+1} (1 + 2\alpha + 2\sqrt{\alpha(\alpha+1)}). \quad (20)$$

Perhatikan bahwa $\beta_2 > 0$ (karena semua suku-sukunya positif) sehingga $\beta_2 \in \beta$. Dengan pembuktian aljabar sederhana pula dapat dibuktikan bahwa $\beta_1 > 0$ sehingga $\beta_1 \in \beta$. Perhatikan bahwa nilai dari $\beta_1 < \beta_2$ (berdasarkan (19) dan (20)). Dengan demikian, menggunakan perhitungan yang sederhana dapat ditunjukkan bahwa nilai dari β dapat mempengaruhi $D(\lambda)$ dengan kondisi sebagai berikut:



Gambar 3. Pengaruh β terhadap $D(\lambda)$

Berdasarkan (18), maka kestabilan titik ekuilibrium E_2 dipengaruhi oleh besarnya β jika α bernilai konstan dan β divariasikan. Kestabilan dari E_2 dapat diklasifikasikan dalam tiga kasus berikut:

- a. Untuk $0 < \beta < \beta_1$ dan $\beta > \beta_1$

Berdasarkan Gambar (3), kondisi ini mengakibatkan $D(\lambda) > 0$. Selanjutnya dapat ditunjukkan dengan pembuktian sederhana bahwa:

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta + \sqrt{D(\lambda)} \right) < 0, \text{ dan } \lambda_3 = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta - \sqrt{D(\lambda)} \right) < 0$$

Karena $\lambda_{1,2,3} > 0$ maka kondisi $0 < \beta < \beta_1$ dan $\beta > \beta_1$ mengakibatkan E_2 adalah titik ekuilibrium stabil.

- b. Untuk $\beta = \beta_1$ dan $\beta = \beta_2$

Kondisi ini mengakibatkan $D(\lambda) = 0$ sehingga:

$$\lambda_2 = \lambda_3 = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta \right) < 0$$

Karena $\lambda_{1,2,3} > 0$ maka kondisi $\beta = \beta_1$ mengakibatkan E_2 adalah titik ekuilibrium stabil.

- c. Untuk $\beta_1 < \beta < \beta_2$

Kondisi ini mengakibatkan $D(\lambda) < 0$ sehingga:

$$\lambda_{2,3} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha+1} + \beta + i\sqrt{-D(\lambda)} \right)$$

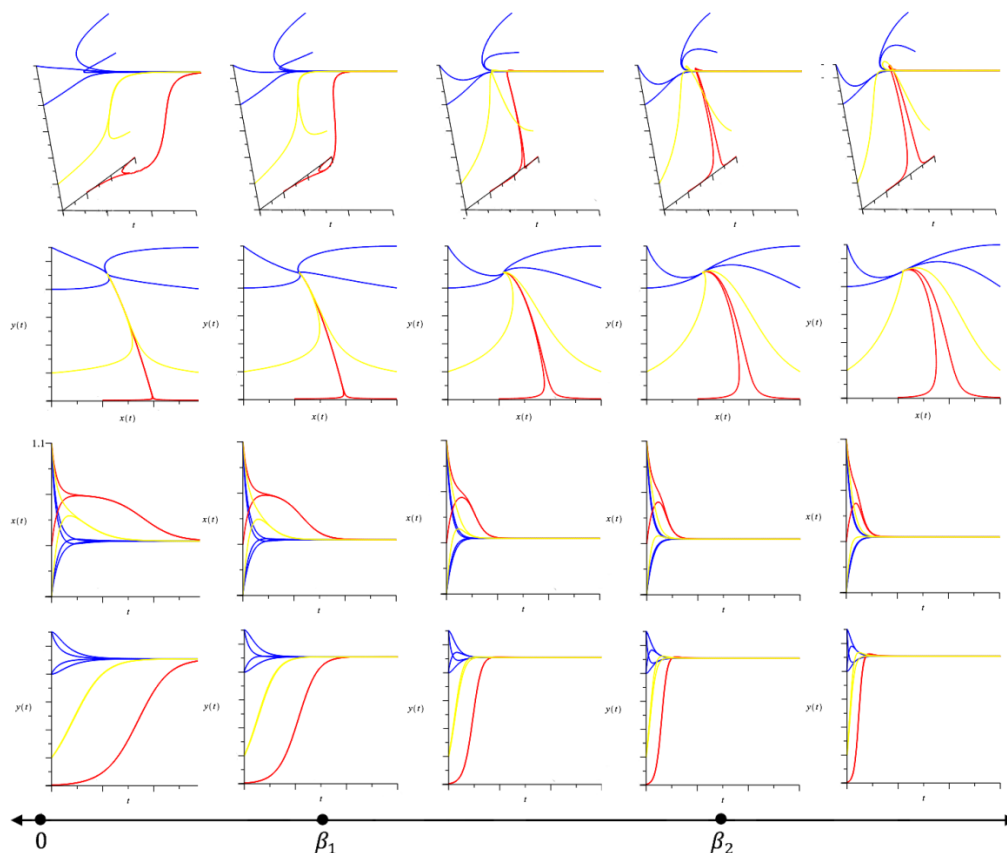
Karena $\lambda_1 > 0$ dan $Re(\lambda_{2,3}) > 0$ maka kondisi $\beta_1 < \beta < \beta_2$ mengakibatkan E_2

adalah titik ekuilibrium stabil.

Dengan melihat ketiga kasus diatas, ternyata titik ekuilibrium E_2 merupakan titik ekuilibrium stabil asimtotik untuk seluruh nilai parameter positif. Dinamik dari solusi disekitar titik ekuilibrium E_1 menunjukkan bahwa E_1 adalah titik ekuilibrium *saddle*, sehingga solusi yang ada disekitar titik ekuilibrium E_1 bergerak mendekati titik ekuilibrium E_2 . Dengan demikian secara global sistem ini merupakan sistem yang stabil.

3.5 Simulasi Numerik

Secara analitik telah ditunjukkan bahwa sistem ini stabil secara global. Dengan komputasi numerik, didapatkan potret fase dari sistem (11) seperti pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Potret fase dari Sistem (11) untuk seluruh nilai dari parameter

Dari potret fase yang ada pada gambar (4), terlihat bahwa titik ekuilibrium pada E_1 merupakan titik ekuilibrium tidak stabil tipe *saddle*. Solusi yang cukup dekat dengan titik ekuilibrium ini akan menjauhinya. Untuk solusi yang berada dari arah kiri dan kanan titik ekuilibrium, solusi akan mendekati titik ekuilibrium, yang pada waktu tertentu kemudian bergerak menjauh dan mendekati titik ekuilibrium E_2 . Sedangkan untuk titik ekuilibrium E_2 yang bersifat stabil, solusi yang ada disekitarnya akan ditarik mendekati titik ekuilibrium ini. Dari potret fase secara global, terlihat sistem ini selalu stabil.

Dari kondisi yang ada, ketika parameter α ditetapkan untuk bilangan real positif tertentu, dan parameter β divariasikan, maka terlihat bahwa tidak ada perubahan kestabilan dari sistem, sehingga dipastikan bahwa tidak akan terjadi bifurkasi pada sistem ini. Hal yang menarik adalah ketika β bergerak menjauhi $\beta = 0$ ke arah positif, perubahan yang terjadi adalah kecepatan dari solusi bergerak mendekati titik ekuilibrium E_2 . Dengan demikian perubahan β akan memberikan pengaruh ke waktu yang dibutuhkan untuk solusi

konvergen ke titik ekuilibrium 2.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat di simpulkan dari analisis pada sistem ini yaitu:

- a. Sistem ini merupakan sistem yang stabil secara global. Setiap solusi di ruang fase akan bergerak mendekati titik ekuilibrium stabil.
- b. Perubahan nilai parameter tidak akan berpengaruh terhadap kestabilan dari sistem. Perubahan nilai parameter hanya akan memberikan pengaruh terhadap kecepatan konvergensi solusi untuk bergerak mendekati titik ekuilibrium stabil.
- c. Dapat diinterpretasikan bahwa model ini menjamin bahwa setiap populasi akan bertahan dengan jumlah populasi masing-masing baik *predator* ataupun *prey* akan menuju ke nilai kesetimbangannya yang bersesuaian dengan daya dukungnya.

4.2 Saran

Pembahasan pada makalah ini terbatas pada sistem *predator-prey* model *Leslie-Gower* dengan perubahan daya dukung dari *prey*. Dalam pengembangan lebih lanjut, modifikasi tidak hanya dapat dilakukan terhadap daya dukungnya, namun juga pada parameter lain dalam sistem *Leslie-Gower*. Misalkan dengan mengasumsikan untuk fungsi respon yang lainnya, dan mengasumsikan pertumbuhan intrinsiknya bukanlah merupakan bilangan konstan, namun merupakan suatu fungsi yang lain yang bergantung waktu. Selain itu, dapat diasumsikan adanya waktu tunda. Modifikasi terhadap daya dukungnyapun tidak terbatas hanya pada asumsi bahwa daya dukungnya tumbuh secara logistik. Modifikasi-modifikasi dapat disesuaikan dengan kondisi *predator* dan *prey* dalam ekosistemnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo yang telah memberikan dukungan moril dan materil sehingga makalah ini dapat diselesaikan, dipresentasikan dan dipublikasikan dalam seminar nasional MIPANET tahun 2017 di Universitas Sam Ratulangi Manado.

Daftar Pustaka

- [1] Conway, ED, Smoller, JA., *Global Analysis of a System of Predator–Prey Equations*, SIAM J Appl Math, 1986.
- [2] Hsu, S. B. and Huang, T. W., *Global stability for a class of predator-prey system*, SIAM J. Appl. Math., 55 , 763-783, 1995.
- [3] Huang, J., Gong, Y., *Bifurcation Analysis in a Predator-Prey Model with Constant-Yield Predator Harvesting*, Discrete and Continuous Dynamical System Series B 21011-212, 2013.
- [4] Kuznetsov, Y. A., *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer-Verlag, New York, 1998
- [5] Leslie, P. H. & Gower, J. C., *The properties of a stochastic model for the predator-prey type of interaction between two species*. *Biometrika*, 47, 219–234, 1960.
- [6] Lynch, S., *Dynamical Systems with Applications using Maple, 2nd Edition*, Springer, New York, 2010.
- [7] Panigoro, H.S., *Analisis Dinamik Sistem Predator-Prey Model Leslie-Gower dengan Pemanenan Secara Konstan terhadap Predator*. *Jurnal Euler*, Vol.2, No.1, 1-12, 2014.

- [8] Panigoro, H.S., *Sistem Dinamik Untuk Pemula "Sebuah Pengantar Analisis Kestabilan dan Bifurkasi Satu Parameter Suatu Titik Ekuilibrium"*, Ideas Publishing, Gorontalo.
- [9] Purnomo, K.D., *Model Pertumbuhan Populasi dengan Menggunakan Model Pertumbuhan Logistik*. Majalah Matematika dan Statistika, Vol. 1, No.1, 21-29, 2000.
- [10] Perko, L., *Differential Equations and Dynamical Systems*," Second edition, Texts in Applied Mathematics, 7, Springer-Verlag, New York, 1996.
- [11] Verhulst, F., *Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.
- [12] Wiggins, S., *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical System and Chaos*, Springer-Verlag, New York, 1990.
- [13] Yang, L, Zhong, S., *Dynamics of a diffusive predator–prey model with modified Leslie–Gower schemes and additive Allee effect*}, Comp. Appl. Math, 34:671–690, 2015.
- [14] Zhang, W., Liu, W., Xu, C., *Bifurcation Analysis for a Leslie-Gower Predator-Prey System with Time Delay*, International Journal of Nonlinear Science, Vol.15 No.1, pp. 35-44.
- [15] Zhu, C. R. and Lan, K. Q., *Phase portraits, Hopf bifurcation and limit cycles of Leslie-Gower predator-prey systems with harvesting rates*, Discrete Contin. Dynam. Syst. Ser. B, 14, 289-306, 2010.

PENGARUH PEMANENAN TERHADAP MODEL VERHULST DENGAN EFEK ALLEE

EMLI RAHMI¹, HASAN S. PANIGORO²

¹Universitas Negeri Gorontalo, emlirahmi@ung.ac.id

²Universitas Negeri Gorontalo, hspanigoro@ung.ac.id

Abstrak

Makalah ini mempelajari tentang model pertumbuhan logistik yang dikenal dengan model *verhulst*. Diasumsikan bahwa populasi pada model ini mengalami efek *allee* dalam hal ini efek *allee* kuat. Selain itu, diasumsikan bahwa terjadi pemanenan secara proporsional terhadap populasi. Analisis yang dilakukan adalah analisis kualitatif yang mempelajari dinamik dari model. Analisis pendahuluan adalah mengidentifikasi titik ekuilibrium dari model dan mengidentifikasi eksistensinya. Hasil identifikasi titik ekuilibrium menunjukkan bahwa besarnya pemanenan yang dilakukan mempengaruhi jumlah titik ekuilibrium yang terbentuk. Model ini memiliki minimal satu titik ekuilibrium dan maksimal 3 ekuilibrium ketika parameter pemanenan divariasikan. Selanjutnya dipelajari kestabilan masing-masing titik ekuilibrium. Analisis lebih lanjut memperlihatkan terjadinya bifurkasi *saddle-node* pada titik ekuilibrium tak trivial dengan pemicu terjadinya bifurkasi adalah variasi parameter dari pemanenan, dimana titik ekuilibrium tak trivial yang pada awalnya berjumlah dua titik dengan salah satu titik stabil dan titik lainnya tidak stabil tipe *saddle*, kemudian melebur menjadi satu titik ekuilibrium stabil, dan akhirnya menghilang.

Kata kunci: Bifurkasi, Efek Allee, Ekuilibrium, Pemanenan, Saddle-Node

1. PENDAHULUAN

Masalah populasi adalah masalah yang sangat menarik yang menjadi objek kajian matematis. Hal ini karena masalah populasi merupakan masalah yang dapat memberikan dampak langsung ke aspek kehidupan lainnya. Dalam pemodelan persamaan diferensial, telah dilakukan banyak hal untuk mempelajari masalah populasi. Beberapa diantaranya mempelajari model pertumbuhan satu spesies seperti model eksponensial (*malthus*) dan model logistik (*verhulst*) [15], [16], [17], [18], model interaksi antar spesies seperti model *predator-prey* [6], model persaingan antara spesies, dan model-model lainnya. Setiap model dan modifikasinya dirumuskan dengan harapan dapat mendekati masalah populasi yang sebenarnya.

Salah satu pemodelan tentang pertumbuhan populasi tunggal yang paling sederhana adalah model *verhulst* [15], [16], [17], [18]. Model ini mengasumsikan bahwa populasi tumbuh secara logistik, yang berarti daya dukung yang menopang pertumbuhan populasi memiliki batas, sehingga pada suatu waktu jumlah populasi akan mencapai kondisi setimbang. Model ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\dot{x} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) \quad (1)$$

dimana $x(t) > 0$ sepanjang $t \geq 0$, dengan r, K bilangan real positif. Variabel x menyatakan besaran populasi, r merupakan pertumbuhan intrinsik populasi, dan K adalah daya dukungnya.

Hal yang menarik ketika membahas pertumbuhan populasi adalah masalah perkembangbiakan spesies. Pada beberapa kasus, ketika terjadi penurunan kepadatan populasi, spesies didalamnya juga mengalami penurunan interaksi. Perilaku ini berdampak terhadap terhambatnya proses perkembangbiakan yang mempengaruhi laju pertumbuhan intrinsiknya. Salah satu ilmuwan yang mempelajari hal tersebut adalah *Warder Cyle Allee* dengan temuannya yang dinamakan dengan efek *allee*. Efek *allee* mengurangi laju pertumbuhan populasi ketika kepadatan populasi rendah. Salah satu penerapan efek *allee* adalah dengan mengasumsikan populasi pada model *verhulst* memiliki efek *allee* pada pertumbuhan populasinya. Dalam *Conway & Smoller* [6], *Bazykin* [2] dan *Yang & Zhong* [20], efek *allee* untuk satu spesies dimodelkan sebagai berikut:

$$\dot{x} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) (x - m) \quad (2)$$

dimana m menunjukkan ambang batas tingkat populasi. Jika $m > 0$ maka (2) menyatakan model populasi dengan efek *allee* lemah.

Dalam makalah ini, diasumsikan populasi tersebut mengalami perlakuan berupa pemanenan. Pemanenan yang dilakukan yaitu pemanenan yang proposional terhadap jumlah populasi. Asumsi tersebut dalam model dituliskan menjadi:

$$\dot{x} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) (x - m) - hx \quad (3)$$

dengan h menunjukkan besaran pemanenan yang diberikan terhadap populasi. Model (3) adalah model yang akan dikaji dalam makalah ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial merupakan persamaan yang memuat variabel bebas dan variabel terikat serta turunannya. Persamaan diferensial merupakan kebutuhan fundamental dalam matematika teknik karena banyak hukum-hukum fisika dan beberapa hubungan didalamnya dinyatakan dalam persamaan diferensial (*Kreyszig* [7]). Model pertumbuhan populasi dengan efek *allee* dan pemanenan proposional yang dibahas dalam makalah ini adalah model dalam persamaan diferensial biasa. Persamaan diferensial biasa adalah suatu persamaan diferensial yang memuat fungsi yang tidak diketahui (variabel terikat) yang merupakan fungsi dari variabel bebas tunggal dan juga memuat turunannya.

2.2 Sistem Dinamik

Pandang suatu persamaan diferensial biasa:

$$\dot{x} = F(x), \quad x \in \mathbb{R}^n \quad (4)$$

dengan $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ adalah fungsi C^r . Solusi dari sistem (4) adalah suatu kurva $\gamma: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$ yang memenuhi $\frac{d\gamma}{dt} = F(\gamma(t))$ untuk setiap $t \in \mathbb{R}$. Ruang variabel bebas pada sistem

dinamik biasanya dinyatakan sebagai waktu, sedangkan ruang variabel terikat di $\mathbb{R}^n$ pada sistem (4) sering disebut dengan ruang fase. Kurva γ diatas disebut dengan orbit, sedangkan kumpulan dari orbit-orbit pada ruang fase disebut dengan potret fase.

2.3 Titik Ekuilibrium

Sistem yang berbentuk seperti pada persamaan (4) disebut sistem *autonomous* atau sistem yang tidak bergantung secara eksplisit terhadap waktu. Apabila sistem bergantung secara eksplisit terhadap waktu, maka sistem itu disebut dengan sistem *nonautonomous*. Salah satu solusi dari sistem (4) adalah titik ekuilibrium. $\bar{x}$ dikatakan titik ekuilibrium dari sistem (4) jika:

$$f(\bar{x}) = 0, \bar{x} \in \mathbb{R}^n \text{ untuk setiap } t \in \mathbb{R}.$$

Jika suatu sistem memiliki tak berhingga banyak solusi ekuilibrium dan solusi-solusi ekuilibrium tersebut membentuk kurva di ruang fasenya, maka kurva ini disebut dengan manifold ekuilibrium.

Kestabilan dari sistem (4) disekitar titik ekuilibrium dapat dipelajari dengan melakukan pelinearan di sekitar titik ekuilibrium tersebut. Pelinearan yang dilakukan yaitu dengan melakukan ekspansi *Taylor* pada $f(x)$ disekitar $\bar{x}(t)$ yang akan mendapatkan:

$$\dot{y} = Df(\bar{x}(t))y + \mathcal{O}(|y|^2) \quad (5)$$

Teorema 1. Misalkan matriks $Df(\bar{x}(t))$ pada (5) semua nilai eigennya bernilai negatif, maka titik ekuilibrium $x = \bar{x}$ stabil asimtotik.

Bukti 1. Lihat Wiggins [19] halaman 8.

3. HASIL

Perhatikan model logistik dengan efek *allee* dan pemanenan proposional berikut:

$$\frac{dx}{dt} = r \left(1 - \frac{x}{K}\right) (x - m) - hx, \quad (6)$$

dengan $x(t) \geq 0$ dan r, m, h, K bilangan real positif. Variabel x menyatakan besaran populasi, r merupakan pertumbuhan intrinsik populasi dan K adalah daya dukung lingkungannya. m menunjukkan ambang batas tingkat populasi. Jika $m > 0$, model (6) menyatakan efek *allee* kuat (*Strong Allee Effect*), sedangkan $m < 0$ menyatakan efek *allee* lemah (*Weak Allee Effect*).

3.1 Identifikasi Titik Ekuilibrium

Titik ekuilibrium didapatkan dengan mencari solusi dari persamaan:

$$r \left(1 - \frac{x}{K}\right) (x - m) - hx = 0, \quad (7)$$

yang akan memberikan solusi:

$$\bar{x}_1 = 0,$$

dan:

$$\bar{x}_{2,3} = \frac{m + K \pm \sqrt{D(h)}}{2},$$

dengan $D(h) = (m - K)^2 - 4 \frac{hK}{r}$.

3.2 Eksistensi Titik Ekuilibrium

Berdasarkan kondisi biologis (bahwa tidak ada populasi yang negatif), maka titik ekuilibrium harus berada di $\mathbb{R}_+ := \{x | x \geq 0, x \in \mathbb{R}\}$. Dengan demikian, karena $\bar{x}_1 = 0$ maka $\bar{x}_1 \in \mathbb{R}$, sehingga $\bar{x}_1$ adalah titik ekuilibrium. Untuk selanjutnya, eksistensi dari titik ekuilibrium tak trivial ditunjukkan oleh teorema berikut:

Teorema 2. Didefinisikan $h_x = \frac{r}{4K}(m - K)^2$ dengan asumsi bahwa model memiliki efek allee kuat ($m > 0$).

a. Jika $0 < h < h_x$, maka ada tiga titik ekuilibrium di $\mathbb{R}_+$ yaitu:

$$\bar{x}_1 = 0, \quad \bar{x}_2 = \frac{m+K+\sqrt{D(h)}}{2}, \quad \bar{x}_3 = \frac{m+K-\sqrt{D(h)}}{2}$$

b. Jika $h = h_x$, maka ada dua titik ekuilibrium $\mathbb{R}_+$ yaitu:

$$\bar{x}_1 = 0, \quad \bar{x}_2 = \frac{m+K}{2},$$

c. Jika $h > h_x$, maka ada satu titik ekuilibrium $\mathbb{R}_+$ yaitu $\bar{x}_1 = 0$.

Bukti 2. Untuk titik ekuilibrium trivial $\bar{x}_1 = 0$, selalu ada untuk semua kondisi dari h . Untuk selanjutnya akan ditunjukkan eksistensi titik ekuilibrium tak trivial.

- Untuk $0 < h < h_x$ maka akan ditunjukkan bahwa $\bar{x}_2 = \frac{m+K+\sqrt{D(h)}}{2}$, dan $\bar{x}_3 = \frac{m+K-\sqrt{D(h)}}{2}$ ada. Dengan proses aljabar sederhana dapat ditunjukkan bahwa $h < h_x$ mengakibatkan $D(h) > 0$ sehingga $\bar{x}_{2,3} \in \mathbb{R}$. Karena $m + K > 0$ dan $D(h) > 0$ maka $\bar{x}_2 = \frac{m+K+\sqrt{D(h)}}{2} > 0$, sehingga $\bar{x}_2 \in \mathbb{R}_+$. Dengan cara sederhana pula dapat ditunjukkan bahwa $m + K > \sqrt{D(h)}$ yang mengakibatkan $\bar{x}_3 = \frac{m+K-\sqrt{D(h)}}{2} > 0$, sehingga $\bar{x}_3 \in \mathbb{R}_+$ merupakan titik ekuilibrium.
- Untuk $h = h_x$ mengakibatkan $D(h) = 0$ sehingga $\bar{x}_2 = \bar{x}_3 = \frac{m+K}{2} > 0$. Hal ini mengakibatkan $\bar{x}_2 \in \mathbb{R}_+$ merupakan titik ekuilibrium.
- Untuk $h > h_x$ mengakibatkan $D(h) < 0$ sehingga $\bar{x}_2, \bar{x}_3 \notin \mathbb{R}_+$, yang berarti $\bar{x}_2$ dan $\bar{x}_3$ bukan merupakan titik ekuilibrium.

3.3 Kestabilan Titik Ekuilibrium.

Misalkan $\dot{x} = f(x)$ dengan $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$. Titik ekuilibrium $\bar{x}$ dikatakan stabil jika $D(f\bar{x}) < 0$ yang berarti solusi disekitar titik ekuilibrium tersebut akan bergerak mendekatnya. Berdasarkan persamaan (5) maka:

$$D(f(\bar{x})) = -\frac{3r\bar{x}^2}{K} + 2r\left(\frac{m}{K} + 1\right)\bar{x} - (mr + h) \quad (8)$$

a. Kestabilan titik ekuilibrium $\bar{x}_1 = 0$

Untuk $\bar{x}_1 = 0$ mengakibatkan $D(f(\bar{x}_1)) = -(mr + h) < 0$ sehingga $\bar{x}_1$ adalah titik ekuilibrium stabil. Perhatikan pada gambar (1), (2), dan (3). Untuk semua nilai parameter, semua solusi yang cukup dekat dengan titik ekuilibrium trivial, akan bergerak mendekati titik ekuilibrium ini. Hal ini mengindikasikan bahwa populasi

akan mengalami kepunahan.

- b. Kestabilan titik ekuilibrium $\bar{x}_2 = \frac{m+K+\sqrt{D(h)}}{2}$

Untuk $\bar{x}_2 = \frac{m+K+\sqrt{D(h)}}{2}$ mengakibatkan $D(f(\bar{x}_2)) = -\frac{r}{2K}(\sqrt{D(h)}(m+K) + D(h)) < 0$ sehingga $\bar{x}_2$ adalah titik ekuilibrium stabil (gambar (1)).

- c. Kestabilan titik ekuilibrium $\bar{x}_3 = \frac{m+K-\sqrt{D(h)}}{2}$

Untuk $\bar{x}_3 = \frac{m+K-\sqrt{D(h)}}{2}$ mengakibatkan $D(f(\bar{x}_3)) = \frac{rD(h)}{2K}\left(\frac{m+K}{\sqrt{D(h)}} - 1\right)$. Karena $\frac{rD(h)}{2K} > 0$, maka kestabilan $\bar{x}_3$ bergantung pada nilai dari $\frac{m+K}{\sqrt{D(h)}} - 1$. Karena $m + \frac{h}{r} > 0$ mengakibatkan $\frac{m+K}{\sqrt{D(h)}} > 1$ yang berarti $D(f(\bar{x}_3)) > 0$ sehingga $\bar{x}_3$ merupakan titik ekuilibrium tidak stabil (gambar (1)).

- d. Kestabilan titik ekuilibrium $\bar{x}_4 = \frac{m+K}{2}$

Untuk $\bar{x}_4 = \frac{m+K}{2}$ mengakibatkan $D(f(\bar{x}_4)) = 0$ sehingga untuk mempelajari kestabilan titik ekuilibrium tidak dapat ditentukan oleh suku-suku linearnya. Oleh karena itu dilakukan transformasi $x \rightarrow x + \bar{x}_4$, dengan $h = h_x$ yang memberikan persamaan:

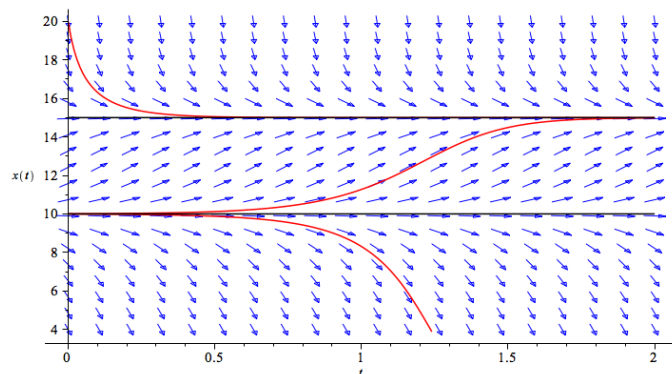
$$\frac{dx}{dt} = -\frac{r}{2}\left(1 + \frac{m}{K}\right)x^2 - \frac{r}{K}x^3.$$

Kestabilan titik ekuilibrium dapat dilakukan dengan melihat tanda koefisien dari x^2 .

Karena $-\frac{r}{2}\left(1 + \frac{m}{K}\right) < 0$, maka $\bar{x}_4$ merupakan titik ekuilibrium stabil (gambar (2)).

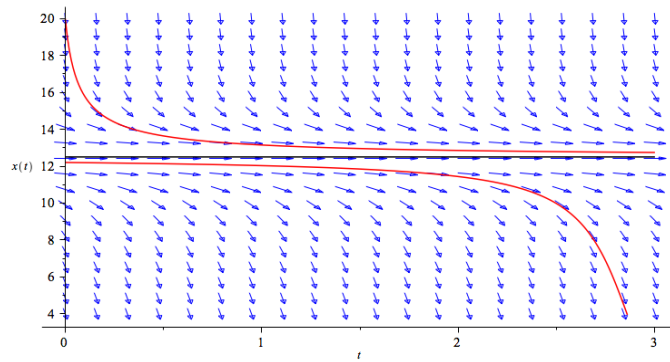
3.4 Analisis Numerik

Perhatikan gambar (1) berikut:



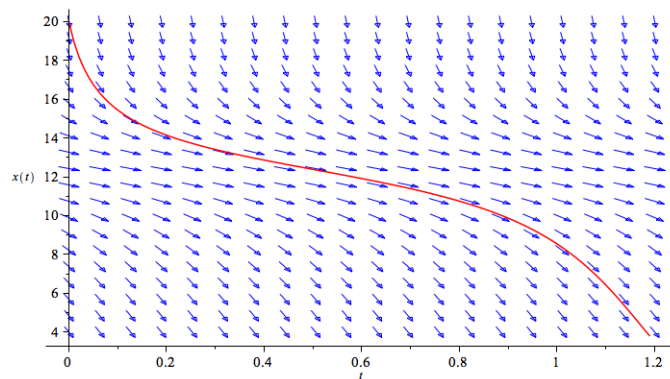
Gambar 1. Potret fase pada saat $0 < h < h_x$

Pada saat $0 < h < h_x$, titik ekuilibrium $\bar{x}_1$ merupakan titik ekuilibrium stabil, dimana solusi diantara titik ekuilibrium $\bar{x}_1$ dan $\bar{x}_2$ bergerak mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_1$. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi ini mengakibatkan populasi akan mengalami kepunahan. Untuk solusi diantara titik ekuilibrium $\bar{x}_2$ dan $\bar{x}_3$, solusi bergerak mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_3$ sehingga jumlah populasi akan bertambah. Hal ini diakibatkan oleh dinamik dari titik ekuilibrium $\bar{x}_2$ yang merupakan titik ekuilibrium tidak stabil. Perhatikan bahwa titik ekuilibrium $\bar{x}_3$ adalah titik ekuilibrium stabil, dimana jumlah populasi diantara $\bar{x}_2$ dan $\bar{x}_3$ akan bergerak mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_3$.



Gambar 2. Potret fase pada saat $h = h_x$

Pada saat $h = h_x$, terdapat dua titik ekuilibrium dengan ekuilibrium tak trivial $\bar{x}_4$ adalah titik ekuilibrium stabil berdasarkan analisis sebelumnya. Namun dapat dilihat dari hasil simulasi bahwa kestabilan yang dimaksud adalah kondisi dimana solusi pada saat $x > \bar{x}_4$ akan bergerak mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_4$, namun solusi pada saat $x < \bar{x}_4$ akan bergerak menjauhi titik ekuilibrium $\bar{x}_4$ dan mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_1$.

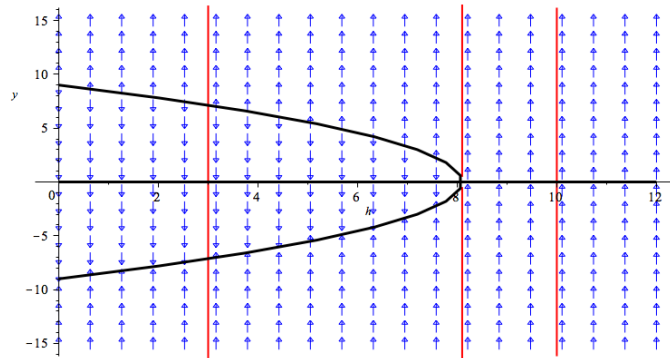


Gambar 3. Potret fase pada saat $h > h_x$

Dinamik pada gambar (2) terjadi ketika $h > h_x$, yang memperlihatkan pemanenan yang berlebihan, dimana besarnya pemanenan mengakibatkan jumlah populasi lambat laun akan habis. Model dengan kondisi ini hanya memiliki satu titik ekuilibrium stabil yang mengakibatkan seluruh solusi bergerak mendekati titik ekuilibrium $\bar{x}_1 = 0$.

3.5 Bifurkasi *Saddle-Node*

Salah satu dinamik yang cukup menarik dalam model ini adalah terjadinya fenomena bifurkasi, dalam hal ini bifurkasi satu parameter dari suatu titik ekuilibrium. Bifurkasi yang terjadi adalah bifurkasi *saddle-node*. Bifurkasi ini muncul akibat divariasikannya parameter berupa pemanenan di model (6). Titik ekuilibrium yang awalnya berjumlah 2 buah, melebur menjadi 1 titik, dan akhirnya titik tersebut lenyap. Hal ini terjadi apabila besaran pemanenan mengalami perubahan ketika divariasikan. Bifurkasi *Saddle-Node* model (5) dapat dilihat pada gambar (4).



Gambar 4. Bifurkasi Saddle-Node

Bifurkasi ini dapat dibuktikan secara analitik yaitu dengan melakukan transformasi $x = y + \frac{m+K}{2}$ dan mengabaikan untuk titik ekuilibrium trivialnya. Hasil transformasinya berbentuk:

$$\dot{y} = \frac{hK}{r} - \frac{(m-K)^2}{4} + y^2. \quad (9)$$

Persamaan (9) merupakan bentuk umum dari bifurkasi *saddle-node* dengan $h = \frac{r}{4K}(m-K)^2$ adalah titik bifurkasinya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Analisis terhadap model ini memperlihatkan bahwa besaran pemanenan harus disesuaikan dengan laju pertumbuhan intrinsik dan besarnya efek *allee* yang dimiliki oleh populasi. Ada kondisi-kondisi yang harus dipenuhi agar populasi akan mendekati kesetimbangan yang tak trivial. Secara matematis, kondisi ini terpenuhi pada saat pada saat $h \geq \frac{r}{4K}(m-K)^2$ dimana h adalah besarnya pemanenan, r adalah laju pertumbuhan intrinsik, m adalah besarnya efek *allee*, dan K adalah daya dukung lingkungan sehingga populasi mampu berkembang dan tumbuh.

4.2 Saran

Model yang dibahas dalam makalah ini adalah model yang sangat sederhana, karena hanya membahas pertumbuhan satu jenis populasi. Namun hal ini adalah salah satu batu pijakan dalam mengeksplorasi lebih lanjut tentang masalah-masalah populasi pada khususnya, dan masalah ekologi yang lebih luas. Oleh karena itu, dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk model yang lebih kompleks yang melibatkan lebih dari satu jenis spesies dan memberikan asumsi-asumsi yang lebih baik, guna mendapatkan model yang lebih akurat dan presisi dengan kondisi yang sebenarnya di alam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo yang telah memberikan dukungan moril dan materil sehingga makalah ini dapat diselesaikan, dipresentasikan dan dipublikasikan dalam seminar nasional MIPANET tahun 2017 di Universitas Sam Ratulangi Manado.

Daftar Pustaka

- [1] Alvendar, J. & Baqi, A.I., *Model Pemanenan Logistik dengan Daya Dukung Bergantung Waktu*, Jurnal Matematika UNAND, Vol.1, No.2, hal.60-65, 2012.
- [2] Bazykin, AD., *Nonlinear Dynamics of Interacting Populations*, World Scientific, Singapore, 1998.
- [3] Boulanouar, M., *Asynchronous Exponential Growth of a Bacterial Population*, Electronic Journal of differential Equations, Vol 2014, No.06, pp.1-12, 2014.
- [4] Boyce, W. E. & DiPrima, R. C., *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, 9th Edition, Wiley, Singapore, 2010.
- [5] Cai, D., *Multiple Equilibria and Bifurcations in an Economic Growth Model with Endogenous Carrying Capacity*, International Journal of Bifurcation and Chaos, vol.20, No.11, pp.3461-3472, 2010.
- [6] Conway, ED, Smoller, JA., *Global Analysis of a System of Predator–Prey Equations*, SIAM J Appl Math, 1986.
- [7] Kreyszig, E., *Advanced Engineering Mathematics*, 9th Edition, Wiley, Singapore, 2006.
- [8] Kuznetsov, Y.A., *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer-Verlag, New York, 1998.
- [9] Lumi, N., Ainsaar, A. and Mankin, R., *Noise-Induced Transitions in a Population Growth Model Based on Size-Dependent Carrying Capacity*, Journal of Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014, Article ID 120624. pp.1-8, 2014.
- [10] Lynch, S., *Dynamical Systems with Applications using Maple*, 2nd Edition, Springer, New York, 2010.
- [11] Panigoro, H.S., *Sistem Dinamik Untuk Pemula "Sebuah Pengantar Analisis Kestabilan dan Bifurkasi Satu Parameter Suatu Titik Ekuilibrium"*, Ideas Publishing, Gorontalo.
- [12] Panigoro, H.S., *Variasi Pemanenan terhadap Model Dinamik Pertumbuhan Populasi*, Jurnal Euler: pp.59-66, 2013.
- [13] Perko, L., *Differential Equations and Dynamical Systems*, Springer-Verlag, New York, 1991.
- [14] Purnomo, K. D, *Model Pertumbuhan Populasi dengan Menggunakan Model Pertumbuhan Logistik*, Majalah Matematika dan Statistika, Vol.1, No.1, pp.21–29, 2000.
- [15] Verhulst, Pierre-François, *Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement*, Correspondance mathématique et physique 10: 113–121, Retrieved 2013-02-18, 1838.
- [16] Verhulst, Pierre-François, *Traité élémentaire des fonctions elliptiques : ouvrage destiné à faire suite aux traités élémentaires de calcul intégral*, Bruxelles: Hayez, Retrieved 2013-02-18., 1841.
- [17] Verhulst, Pierre-François, *Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population [Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase]*, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles 18: 1–42, Retrieved 2013-02-18, 1845.
- [18] Verhulst, Pierre-François, *Deuxième mémoire sur la loi d'accroissement de la population*, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique 20: 1–32, Retrieved 2013-02-18, 1847.
- [19] Wiggins, S., *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical System and Chaos*, 2nd Edition, Springer, New York, 2003.
- [20] Yang, L, Zhong, S., *Dynamics of a diffusive predator–prey model with modified Leslie–Gower schemes and additive Allee effect*, Comp. Appl. Math, 34:671–690, 2015.

REKONSTRUKSI STRUKTUR PENALARAN MATEMATIS MAHASISWA MELALUI PEMECAHAN MASALAH MATEMATIKA

HERY SUHARNA¹, IN Hi. ABDULLAH², ARDIANA³

¹ Pendidikan Matematika Universitas Khairun, hsuharna@yahoo.co.id

² Pendidikan Matematika Universitas Khairun, inabdullah@gmail.com

³ Prodi Pend. Matematika Universitas Khairun, ardiana@yahoo.co.id

Abstrak

Kesulitan mahasiswa dalam mengontruksi dan memecahkan masalah matematika seringkali tercermin dalam bentuk kesalahan yang dibuat oleh mahasiswa. Kesalahan mahasiswa ketika menyelesaikan masalah matematika perlu mendapatkan perhatian, karena kalau tidak segera diatasi, kesalahan tersebut akan berdampak terhadap pemahaman mahasiswa pada konsep matematika berikutnya. Apalagi mahasiswa matematika yang nantinya akan menjadi guru matematika. Untuk dapat memperbaiki kesalahan yang dilakukan mahasiswa, diperlukan pengetahuan tentang sumber kesalahan dengan cara mengembangkan struktur penalaran matematis mahasiswa melalui rekontruksi berpikir reflektif. Penelitian ini mengaji lebih mendalam yang dilakukan terhadap mahasiswa matematika ketika menyelesaikan masalah matematika. Kajian tersebut dilakukan untuk melihat secara lebih detail tipe-tipe kesalahan mahasiswa khususnya dari aspek berpikir pada saat mengontruksi konsep matematika. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh rekontruksi struktur penalaran matematis diawali dengan terjadinya hambatan (*perplexity*) dalam menyelesaikan masalah matematika, selanjutnya melakukan yang bersifat deduktif yaitu pengenalan pola, dugaan dan pembentukan generalisasi serta induktif

Kata Kunci: Mengembangkan penalaran, penalaran matematis, dan pemecahan masalah matematika.

1. PENDAHULUAN

Kesulitan mahasiswa dalam mengontruksi dan memecahkan masalah matematika seringkali tercermin dalam bentuk kesalahan yang dibuat oleh mahasiswa ketika menyelesaikan soal matematika. Hal tersebut merupakan pengalaman yang dimiliki oleh peneliti ketika mengajar matematika. Mahasiswa yang sering mengalami kesulitan pada matakuliah-matakuliah yang dianggap sulit bagi mahasiswa, terutama matakuliah kalkulus I, kalkulus II, kalkulus lanjutan, analisis real, dll. Kesulitan mahasiswa tersebut diduga karena struktur penalaran matematis yang kurang baik.

Kesulitan mahasiswa tersebut ditunjang dengan teori-teori yang telah dikemukakan lewat hasil penelitian dan dipublikasi lewat jurnal-jurnal. Brodie (2010) dalam hasil penelitiannya menjelaskan bahwa kesalahan mahasiswa dalam membangun penalaran matematika meliputi: *basic error*, *appropriate error*, *missing information*, *partial insight*. Gal&Linchevski (2010) menemukan bahwa kesulitan mahasiswa dalam representasi geometri mencakup: (1) *perceptual organization: Gestalt principles*, (2) *recognition:*

bottom-up and top-down processing; and (3) representation of perception-based knowledge: verbal vs. pictorial representation, mental images and hierarchical structure of images. Oleh karena itu penalaran (*reasoning*) memiliki peran yang sangat penting dalam mengatasi kesulitan mahasiswa.

Kesalahan mahasiswa ketika menyelesaikan masalah matematika perlu mendapatkan perhatian, karena kalau tidak segera diatasi, kesalahan tersebut akan berdampak terhadap pemahaman mahasiswa pada konsep matematika berikutnya. Apalagi mahasiswa matematika yang nantinya akan menjadi guru matematika. Untuk dapat memperbaiki kesalahan yang dilakukan mahasiswa, diperlukan pengetahuan tentang sumber kesalahan dengan cara rekontruksi struktur penalaran matematis mahasiswa melalui pemecahan masalah matematika. Oleh karena itu penelitian ini mengaji lebih mendalam yang dilakukan terhadap mahasiswa matematika ketika menyelesaikan masalah matematika.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi rekontruksi penalaran

Pada aspek penalaran sangat di perlukan yang namanya rekontruksi berpikir reflektif. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang disampaikan oleh Suharna (2015) menyatakan bahwa, rekontruksi berpikir reflektif merupakan proses yang diawali dengan terjadi *perplexity* dan mengatasi *perplexity* dengan cara menghubungkan antar konsep (konseptualisasi). Konseptualisasi yang dimaksud adalah mencocokkan semua konsep, prinsip, proses matematika yang terkait. Ilustrasi dari proses tersebut terlihat pada diagram 1.

2.2 Penalaran Matematis

Penalaran induktif adalah kemampuan berpikir seseorang dari hal-hal yang bersifat khusus untuk menarik kesimpulan yang bersifat umum. Penalaran yang menggunakan pendekatan induktif pada prinsipnya menyelesaikan persoalan (masalah) matematika tanpa memakai rumus (dalil), melainkan dimulai dengan memperhatikan data/ soal. Dari data/ soal tersebut diproses sehingga berbentuk kerangka/ pola dasar tertentu yang kita cari sendiri, sedemikian rupa sehingga kita dapat menarik kesimpulan. Oleh karena itu proses berpikir induktif meliputi pengenalan pola, dugaan dan pembentukan generalisasi.

Proses penarikan kesimpulan pada penalaran deduktif merupakan kebalikan dari penalaran induktif. Jika pada penalaran induktif terjadi proses penarikan kesimpulan dari hal-hal khusus menuju hal-hal umum, maka pada penalaran deduktif terjadi proses penarikan kesimpulan dari hal-hal umum menuju ke hal-hal khusus. Di dalam membuktikan dengan penalaran deduktif, kesimpulan didasarkan atas pernyataan generalisasi yang berlaku umum dan pernyataan khusus serta tidak menerima generalisasi dari hasil observasi seperti yang diperoleh dari penalaran induktif. Dasar penalaran deduktif yang berperan dalam matematika adalah kebenaran suatu pernyataan haruslah didasarkan pada kebenaran pernyataan-pernyataan lain. Penarikan kesimpulan yang demikian ini sangat berbeda dengan penarikan kesimpulan pada penalaran induktif yang didasarkan pada hasil pengamatan atau eksperimen yang terbatas. Kebenaran yang diperoleh dari hasil pengamatan atau eksperimen tidak bisa dijamin bebas dari kesalahan atau salah menafsirkan.

2.3 Jenis Penelitian

Berdasarkan pada permasalahan dan tujuan penelitian, maka jenis penelitian Action Research bersifat deskriptif atau penelitian tindakan.

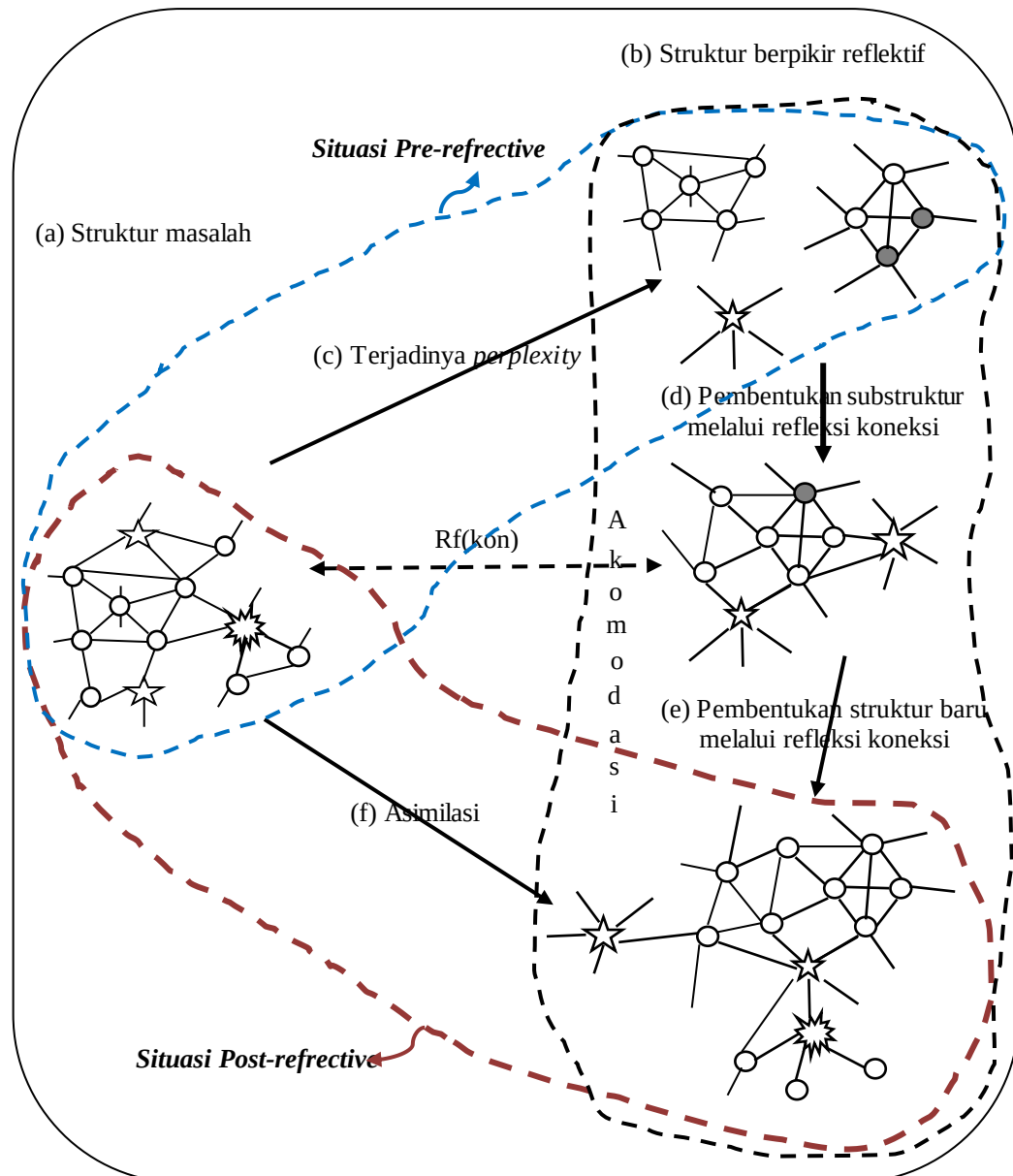


Diagram 1. Alur rekonstruksi struktur penalaran berpikir dalam melakukan refleksi penyelesaian masalah matematika

2.4 Fokus Penelitian

Penelitian ini berfokus pada rekonstruksi struktur penalaran matematis mahasiswa dalam memecahkan masalah matematika dan selanjutnya mendeskripsikan struktur penalaran matematis mahasiswa dalam memecahkan masalah matematika.

2.5 Analisis Data

Gambaran proses analisis data penelitian dapat dilihat pada Diagram 2. Alur analisis data

penelitian dapat disajikan dalam Diagram 2.

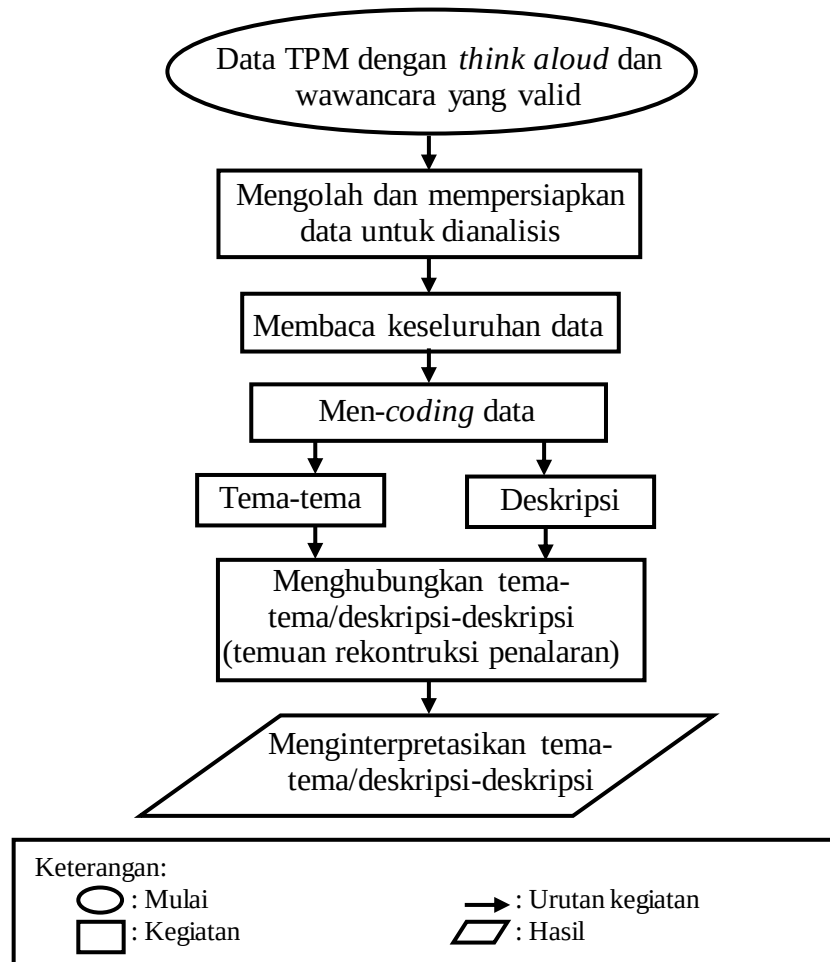


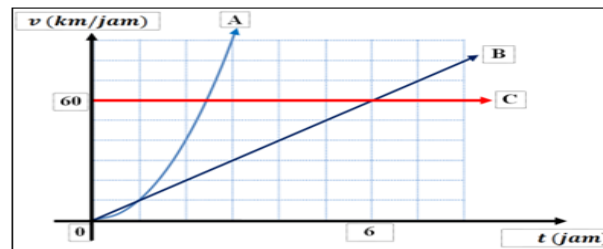
Diagram 2. Proses Analisis Data

3. HASIL

3.1 Hasil Pengembangan Instrumen Bantu

Tugas Penyelesaian Matematika (TPM) yang digunakan untuk menggali rekontruksi struktur penalaran matematis mahasiswa melalui pemecahan masalah matematika adalah sebagai berikut.

Ada tiga kendaraan A, B, dan C menempuh perjalanan pada lintasan yang sama dari kota P ke kota Q yang berjarak 5.760 km dengan kecepatan v_A , v_B , dan v_C . Grafik kecepatan v terhadap waktu t ketiga kendaraan tersebut digambarkan sebagai berikut.



- Berapa jarak yang ditempuh masing-masing kendaraan tersebut pada saat $t = 6$?
- Urutkan kedatangan kendaraan di kota Q mulai dari yang paling awal?
- Selama perjalanan, adakah suatu kendaraan yang mendahului kendaraan yang lain? Jika ada, sebutkan kendaraan mana dan saat t berapa?

3.2 Paparan dan Analisis Data Penalaran Matematis Subjek S5

Mahasiswa yang menjadi subjek penelitian rekonstruksi struktur penalaran matematis mahasiswa melalui pemecahan masalah matematika adalah S5. S5 yang mendominasi ciri-ciri rekonstruksi struktur penalaran matematis. Berikut paparan dan analisis data subjek S5:

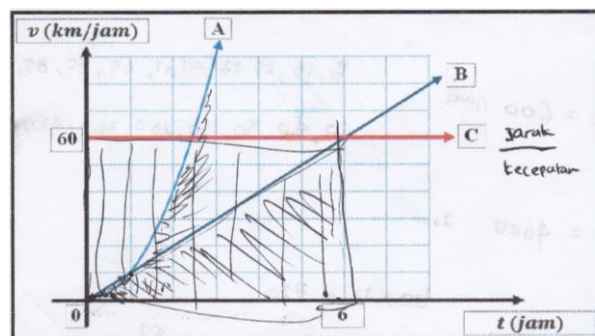
Pada tahap memahami masalah, S5 mengalami hambatan. Ciri S5 mengalami hambatan sesuai dengan pernyataan S5 bahwa *Saya baru liat soal seperti ini, soalnya seperti soal olimpiade*. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 berikut.

S5 : Berarti harus cari ini dulu (S5 memujuk gambar grafik).

S5 : Saya baru liat soal seperti ini, soalnya seperti soal olimpiade.

S5 beranggapan bahwa TPM seperti soal olimpiade. Sehingga menurut S5 soal seperti ini biasanya sulit. Struktur berpikir penalaran matematis S5 belum sesuai dengan struktur masalah pada TPM. Oleh karena itu, dapat dipastikan bahwa S5 mengalami hambatan ketika mau menyelesaikan TPM. Upaya S5 adalah mencari luas daerah A berarti mencari jarak yang ditempuh kendaraan A, mencari luas daerah B berarti mencari jarak yang ditempuh kendaraan B, dan luas daerah C berarti mencari jarak yang ditempuh kendaraan C.

Hasil eksplorasi S5 ketika mengidentifikasi grafik kecepatan terhadap waktu pada TPM disajikan pada Gambar 2. sebagai berikut.



Gambar 2. Eksplorasi S5 Ketika memahami Grafik pada TPM.

S5 mengarsir vertikal untuk menandai daerah grafik fungsi C, mengarsir horizontal untuk menandai daerah grafik fungsi A, dan mengarsir miring untuk grafik fungsi B. Menurut

S5 grafik yang diarsir tersebut merupakan daerah yang akan dicari.

S5 membedakan luas daerah dibawah kurva untuk setiap kendaraan dengan cara mengarsir. Proses tersebut merupakan upaya yang dilakukan oleh S5 dalam mengatasi *perplexity*. S5 menduga bahwa untuk mencari jarak yang ditempuh oleh setiap kendaraan dengan cara mencari luas daerah dibawah kurva. Proses penalaran S5 yang bersifat produktif. Terjadinya hambatan (*perplexity*) pada S5 tersebut merupakan indikasi, terjadinya ketidaksesuaian struktur berpikir S5 dengan struktur masalah pada TPM.

S5 mengalami *perplexity* ketika mengidentifikasi grafik fungsi kecepatan kendaraan A. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 ketika terjadi *perplexity* sebagai berikut.

S5 : Grafik C sudah biasa kita temui karena dia konstan saja persamaan untuk grafik C adalah 60, jadi rumus yang dipakai $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \text{waktu}$; Kalau grafik B persamaannya 10 t; dan kalau yang A kelihatannya tidak beraturan.

Ciri S5 mengalami hambatan yaitu S5 menyatakan bahwa kalau yang A kelihatannya tidak beraturan. Menurut S5 untuk mencari persamaan grafik fungsi A sulit. Struktur penalaran S5 belum sesuai dengan struktur masalah pada TPM. Upaya yang dilakukan S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan cara menjumlahkan setiap waktu (t). Menurut S5 untuk mencari jarak yang ditempuh kendaraan A dengan cara menjumlahkan. Upaya yang dilakukan S5 merupakan proses penalaran produktif.

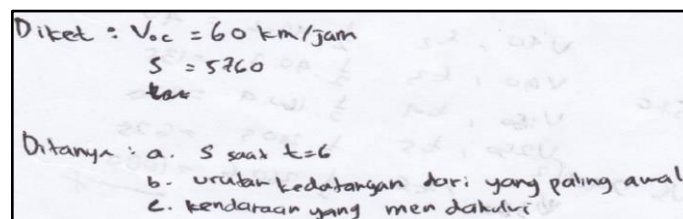
Selanjutnya S5 mengidentifikasi pertanyaan yang berkaitan dengan berapa jarak yang ditempuh masing-masing kendaraan pada saat $t = 6$. S5 menyimpulkan bahwa untuk menyelesaikan pertanyaan tersebut dengan mensubstitusikan nilai t . Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Jarak yang ditempuh masing-masing kendaraan pada waktu/jam ke $t = 6$.

S5 mengidentifikasi pertanyaan yang berkaitan dengan urutan kedatangan kendaraan di kota Q. S5 berkesimpulan bahwa kendaraan yang paling awal di kota Q adalah kendaran dengan menggunakan waktu paling sedikit. Demikian juga dengan pertanyaan (c) selama perjalanan adakah suatu kendaraan yang saling mendahului kendaraan yang lain? Jika ada sebutkan kendaraan mana dan pada saat t berapa?. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Berarti kedatangan kendaraan di kota P yang paling awal, ya yang paling awal. Selanjutnya yang c, selama perjalanan adakah suatu kendaraan yang saling mendahului kendaraan yang lain? Jika ada sebutkan kendaraan mana dan pada saat t berapa?

Hasil eksplorasi S5 ketikan memahami pertanyaan (b) dan pertanyaan (c) disajikan pada Gambar 3. sebagai berikut.



Gambar 3. Hasil Eksplorasi S5 Ketika Memahami Masalah

Proses berpikir S5 dalam mengidentifikasi pertanyaan (a) pada TPM merupakan proses

asimilasi (mengintegrasikan stimulus baru melalui perubahan struktur lama atau pembentukan struktur baru dengan stimulus yang diterima). Struktur berpikir S5 sudah sesuai dengan struktur masalah pada TPM.

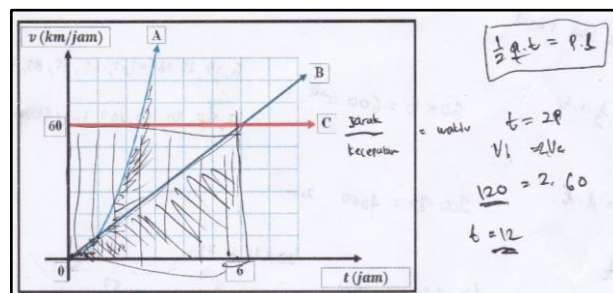
perplexity ketika S5 akan memutuskan rumus apa yang akan digunakan dalam menyelesaikan masalah TPM. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 berikut.

S5 : Emmmm,,, mencari jarak, v dikali jam (maksudnya $v \times t$). Kalau tidak salah ingat, dulu waktu SMA saya dapat pelajaran fisika yaitu kecepatan sama dengan perbandingan jarak dan waktu. Kalau tidak salah begitu, kecepatan = $\frac{\text{jarak}}{\text{waktu}}$, sehingga menyimpulkan jarak = v kali jam, karena di grafik pakai satuan jam jadi yang ini v kali jam.

Upaya S5 dalam mengatasi *perplexity* adalah dengan mengingat pelajaran mengenai kecepatan ketika di SMU. Menurut S5 rumus yang harus digunakan adalah $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \text{waktu}$, berarti $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p.l$. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Jadi kalau mencari jarak yang ditempuh, berarti rumus yang dipakai $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \text{waktu}$, berarti $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p.l$ karena alas sama dengan maka $a = t$, jadi $t = 2p$.

Hasil eksplorasi S5 dalam upaya S5 mengatasi *perplexity* disajikan pada Gambar 4. sebagai berikut.



Gambar 4. Hasil Eksplorasi S5 dalam Mengatasi *Perplexity*

Hasil eksplorasi di atas terlihat bahwa S5 mengambil keputusan bahwa rumus yang akan digunakan $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \text{waktu}$, berarti $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p.l$. S5 yakin bahwa rumus yang harus digunakan ketika menyelesaikan masalah rumus $v = \frac{s}{t}$.

Upaya yang dilakukan S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan cara mengingat ketika SMU tentang rumus kecepatan. Sehingga S5 menduga bahwa rumus yang akan digunakan adalah $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \text{waktu}$, berarti $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p.l$. Proses berpikir S5 tersebut merupakan proses penalaran produktif. Proses penalaran S5 tersebut juga mengindikasikan bahwa, S5 belum memiliki struktur penalaran yang belum sesuai dengan struktur masalah. Upaya yang dilakukan S5 merupakan proses refleksi, sehingga terjadi perubahan struktur berpikir S5 sesuai dengan struktur masalah pada TPM. Menyelesaikan pertanyaan yang berkaitan dengan jarak yang ditempuh setiap kendaraan pada saat $t = 6$. Menurut S5 jarak yang ditempuh kendaraan B dan kendaraan C langsung dengan rumus kecepatan. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Jawab (a) $S_c = V_c \cdot t = 60 \cdot 6 = 360 \text{ km/jam}$, $S_B = \frac{1}{2} V_B \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 6 = 180 \text{ km/jam}$.

Hasil eksplorasi S5 dalam menyelesaikan pertanyaan (a) disajikan pada Gambar 5. sebagai berikut.

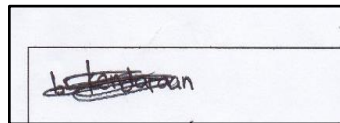
$$\begin{array}{ll} \text{Jarak} & \text{km} \\ S_c = V_c \cdot t & S_B = \frac{1}{2} \cdot V_B \cdot t \\ = 60 \cdot 6 & = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 6 \\ = 360 \text{ km} & = 180 \text{ km} \end{array}$$

Gambar 5. Hasil Eksplorasi S5 dalam Menyelesaikan Pertanyaan (c)

Selanjutnya S5 mengalami *perplexity* ketika menyelesaikan pertanyaan yang berkaitan dengan menentukan jarak yang ditempuh kendaraan A. Ciri S5 mengalami hambatan yaitu sesuai pernyataannya bahwa *kalau yang A sulit karena bentuknya tidak beraturan*. Terjadinya *perplexity* sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Kalau yang A sulit karena bentuknya tidak beraturan.

Terjadinya *perplexity* sesuai dengan hasil eksplorasi S5 ketika menyelesaikan pertanyaan (a) yang berkaitan dengan jarak yang ditempuh kendaraan A. Hasil eksplorasi tersebut disajikan pada Gambar 6. sebagai berikut.



Gambar 6. Hasil Eksplorasi S5 Ketika Terjadi *Perplexity*.

Struktur berpikir S5 belum sesuai dengan struktur masalah yang diberikan. Ciri dari ketidaksesuaian tersebut sesuai dengan pernyataan S5 bahwa *kalau yang A sulit karena bentuknya tidak beraturan*. Hal ini juga merupakan ciri bahwa S5 mengalami hambatan (*perplexity*).

Upaya yang dilakukan S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan cara menjumlahkan nilai t pada grafik yaitu menjumlahkan satu persatu sehingga diperoleh $S_A = \frac{1}{2} V_A \cdot t = \left(\frac{1}{2} V_A \cdot t\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 30\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 50\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 70\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 90\right) = \left(\frac{1}{2} \cdot 110\right) = (10 \cdot 1) = (40 \cdot 1) = (90 \cdot 1) = (160 \cdot 1) = (250 \cdot 1) = 730 \text{ km/jam}$. Hal ini sesuai dengan hasil eksplorasi S5 dalam upaya yang dilakukan dalam mengatasi *perplexity* disajikan pada Gambar 7. berikut.

$$\begin{array}{l} \text{Iskutan} \\ S_A = \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 30\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 50\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 70\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 90\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 110\right) + (10 \cdot 1) + (40 \cdot 1) \\ \quad + (90 \cdot 1) + (160 \cdot 1) + (250 \cdot 1) \\ = 5 + 15 + 25 + 35 + 45 + 55 + 10 + 40 + 90 + 160 + 250 \\ = 730 \text{ km} \end{array}$$

Gambar 7. Hasil Eksplorasi S5 dalam Mengatasi *Perplexity*

Poses berpikir S5 tersebut merupakan proses penalaran matematis. Upaya yang dilakukan S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan cara menjumlahkan sehingga diperoleh 730 km/jam. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Untuk soal (b) urutan kedatangan di kota Q mulai dari yang paling awal, yang pertama kendaraan A pada saat $t=12 \text{ jam}$ dengan $V_t = 1440 \text{ km/jam}$, kedua kendaraan

B saat $t = 24\sqrt{2}$ jam dengan $V_t = 240\sqrt{2}$ km/jam, dan yang ketiga kendaraan C saat $t=96$ jam dengan $V_t = 60$ km/jam.

Hasil eksplorasi ketika menyelesaikan pertanyaan (b), disajikan pada Gambar 8. sebagai berikut.

b. Urutan kedatangan di kota Q mulai dari yang paling awal, yang pertama kendaraan A saat $t = 12$ jam dengan $V_t = 1440$ km/jam
 yang kedua kendaraan B saat $t = 24\sqrt{2}$ jam dengan $V_t = 240\sqrt{2}$ km/jam
 yang ketiga kendaraan C saat $t = 96$ jam dengan $V_t = 60$ km/jam

Gambar 8. Hasil Eksplorasi S5 Ketika Menyelesaikan Pertanyaan (b)

S5 memutuskan bahwa urutan kedatangan kendaraan yang paling awal adalah kendaraan A yang membutuhkan waktu $t = 12$ jam. Selanjutnya kendaraan B dengan waktu yang dibutuhkan adalah $t = 24\sqrt{2}$ jam. Kendaraan yang terakhir sampai di kota Q adalah kendaraan C dengan waktu yang dibutuhkan adalah $t = 96$ jam.

Selanjutnya terjadi *perplexity* ketika menyelesaikan pertanyaan yang berkaitan dengan selama perjalanan adakah kendaraan yang mendahului kendaraan lain? Jika ada, sebutkan kendaraan mana dan pada saat t berapa. Ciri S5 mengalami hambatan berdasarkan pada hasil eksplorasi. Hasil eksplorasi S5 disajikan pada Gambar 9. sebagai berikut.

C. ~~kendaraan B mendahului C saat~~
 kendaraan B mendahului C
 $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p \cdot l$ (diket $a = 2$) } jadi kendaraan B mendahului C saat
 $\frac{1}{2} \cdot t = 0$ } $t = 12$ jam
 $t = 2p$
 jika $p = 60$ maka $t = 120$
 karena $V_b = 120$ maka $t_b = 12$
 kendaraan A mendahului B saat $t = 1$ jam
 kendaraan A mendahului C ~~saat $t = 1$ jam~~

Gambar 9. Hasil Eksplorasi S5 Ketika Terjadi *Perplexity*

Upaya S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan menggunakan rumus $\text{luas} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$. Hal ini sesuai dengan pernyataan S5 sebagai berikut.

S5 : Berarti kendaraan B mendahului kendaraan C pada saat $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p \cdot l$ (diket. $a = 2$ diperoleh $\frac{1}{2} \cdot t = p$ maka $t = 2 \cdot p$, jika $p = 60$ maka $t = 120$, karena $V_b = 120$ maka $t_b = 12$. Jadi kendaraan B mendahului kendaraan C saat $t = 12$ jam. Kendaraan A mendahului kendaraan B saat $t = 1$ jam.

Hasil eksplorasi S5 ketika memutuskan rumus yang digunakan dalam menyelesaikan pertanyaan (c), disajikan dengan Gambar 10. sebagai berikut.

kendaraan B mendahului C
 $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p \cdot l$ (diket $a = 2$)
 $\frac{1}{2} \cdot t = 0$
 $t = 2p$

Gambar 10. Hasil Eksplorasi S5 dalam Mengatasi *Perplexity*.

S5 melakukan proses analisis sebagai upaya dalam mengatasi *perplexity*. Proses analisis dengan cara memodifikasi rumus kecepatan $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t = p \cdot l$ sehingga diperoleh $\frac{1}{2} \cdot t = p$. S5 memutuskan bahwa kendaraan yang paling awal sampai di kota Q adalah kendaraan A, kemudian kendaraan B, dan yang terakhir kendaraan C. Proses berpikir reflektif S5 merupakan proses refleksi produktif, karena proses memodifikasi rumus yang dilakukan

S5 merupakan inovasi ketika menyelesaikan masalah.

Pada tahap memeriksa **kembali** S5 mengalami *perplexity* hal ini sesuai dengan petikan wawancara sebagai berikut.

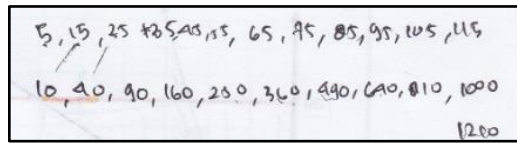
PS : Terus *bagaimana* cara menyelesaikan pertanyaan a?

S5 : *Luasnya ini kan, jadi kalau cari jaraknya kan yang ini (S5 menunjuk grafik) kalau $t=1$ kan dikali 10 (1×10) terus yang ini ditambah yang ini, terus yang ini tambah yang ini dan seterusnya...*

PS : "terus...?"

S5 : "*Yang ini itung-itungannya*" (subjek menunjukkan hasil pekerjaannya). *Itu yang a (maksudnya soal a). kalau yang b (maksudnya soal b) urutan kedatangan mulai dari yang paling awal*".

Hasil eksplorasi S5 ketika memeriksa kembali disajikan pada Gambar 11. sebagai berikut.



Gambar 11. Hasil Eksplorasi S5 Ketika Terjadi *Perplexity*.

Upaya yang dilakukan S5 dalam mengatasi *perplexity* dengan cara menjumlahkan hasil luas daerah berdasarkan nilai waktu. Hal ini sesuai dengan petikan dengan wawancara S5 sebagai berikut.

PS : *Dilihat dari mana kamu membuat kesimpulan begitu?*

S5 : *Dilihat dari waktu sama kecepatannya dari grafiknya ini (subjek menunjuk grafik).*

PS : *Terus....?*

S5 : *Kalau yang ini kan rata-rata (subjek menunjuk grafik c), kalau yang ini jaraknya makin besar (subjek menunjuk grafik b) kalau yang ini jaraknya makin lama makin besar lagi (subjek menunjuk grafik kecepatan a), oleh karena itu kendaraan yang sampai paling awal kendaraan A, terus kendaraan B setelah itu kendaraan C. Ini itung-itungannya (subjek menunjuk hasil pekerjaannya) yang kendaraan A sampainya setelah 12 jam, kalau yang A ini tidak beraturan jadi menghitungnya satu-satu, jadi ketemunya 12/12 jam terus kendaraan b.*

Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa S5 dalam mengatasi *perplexity* yaitu dengan cara mengamati grafik pada TPM. Proses berpikir S5 merupakan proses refleksi produktif. Proses berpikir reflektif produktif S5 tersebut juga mengindikasikan bahwa, struktur berpikir S5 belum sesuai dengan struktur masalah. Upaya mengamati dengan grafik kecepatan terhadap waktu, upaya selanjutnya dengan memodifikasi rumus kecepatan, sehingga terjadi kesesuaian struktur, sehingga terjadi proses akomodasi. Oleh karena itu terlihat bahwa ada proses mengintegrasikan stimulus baru melalui perubahan struktur lama.

Selanjutnya menurut S5, jawaban yang diperoleh sudah masuk akal. Hal ini sesuai dengan petikan wawancara sebagai berikut.

PS : Menurut kamu, jawaban yang kamu peroleh sudah masuk akal belum?

S5 : Iya sudah pak, karena jawaban yang diperoleh menurut saya tidak aneh-aneh.

Hal ini menunjukkan bahwa S5 yakin dengan jawaban yang diperoleh sudah masuk akal. Struktur berpikir reflektif produktif S5 dalam menyelesaikan masalah matematika disajikan pada Diagram 3.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian rekontruksi struktur penalaran matematis mahasiswa melalui pemecahan masalah matematika dapat disimpulkan bahwa rekontruksi struktur penalaran matematis diawali dengan terjadinya hambatan (*perplexity*) dalam menyelesaikan masalah matematika, selanjutnya melakukan yang bersifat deduktif yaitu pengenalan pola, dugaan dan pembentukan generalisasi dan induktif.

5. Daftar Pustaka

- [1] Dewey, J. 1933. *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*, Boston, MA: D.C., Heath and Company.
- [2] Lee, H. 2005. Understanding and Assessing Preservice Teachers' Reflective Thinking. *Teaching and Teacher Education*. New York. 21 (699–715).
- [3] Lee, Y. H. & Roh. K.H. 2010. Promoting Students' Reflective Thinking of Multiple Quantifications via the Mayan Activity. *Contributed Research Report. Educational Studies in Mathematics*. No. 73, Vol 263-279.
- [4] Suharna, Hery. 2012. Reflective Thinking In Problem Solving Student Looking Back On Stage. Makalah disajikan dalam seminar Internasional Conference On Applied Mathematics and Education UIN Yogyakarta. Sabtu 6 Oktober 2012. UIN Yogyakarta. Indonesia.
- [5] Suharna, Hery. 2013. The reflective thinking student with logic approach in problems solving of speed, distance and time. *Proceedings of international seminar on mathematics education and graph theory* ISBN 978-602-71141-0-4. 7-9 June 2013. Indonesia.
- [6] Suharna, Hery. 2014. The process of reflective thinking innovative in solving calculus problems. *International Seminar on Innovation in Mathematics and Mathematics Education 1st ISIM-MED 2014*. ISBN : 978-602-1037-00-3. November, 26-30 2014. Indonesia.
- [7] Suharna, Hery. 2013. Peran Berpikir Reflektif dalam Pembelajaran Matematika. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika Sabtu, 18 Mei 2013. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- [8] Suharna, Hery. 2013. Profil Berpikir Reflektif Siswa SD dalam Pemecahan Masalah Pecahan Berdasarkan Kemampuan Matematika. Makalah disajikan dalam Konferensi Nasional Pendidikan Matematika V oleh Jurusan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang (UM).
- [9] Suharna, Hery. 2013. Identifikasi Berpikir Reflektif Klarifikasi Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Aljabar. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Pendidikan Matematika (SeNdiMat) 2013 PPPPTK Matematika dengan tema "Peran PPPPTK dalam Keprofesian Berkelanjutan (PKB) Guru untuk Mendukung Implementasi Kurikulum 2013 Mata Pelajaran Matematika" di Yogyakarta.
- [10] Zehavi & Mann, 2006. Instrumented Techniques and Reflective Thinking in Analytic Geometry. *The Montana Mathematics Enthusiast*. ISSN 1551-3440, Vol. 2, no.2, pp. 83-92.

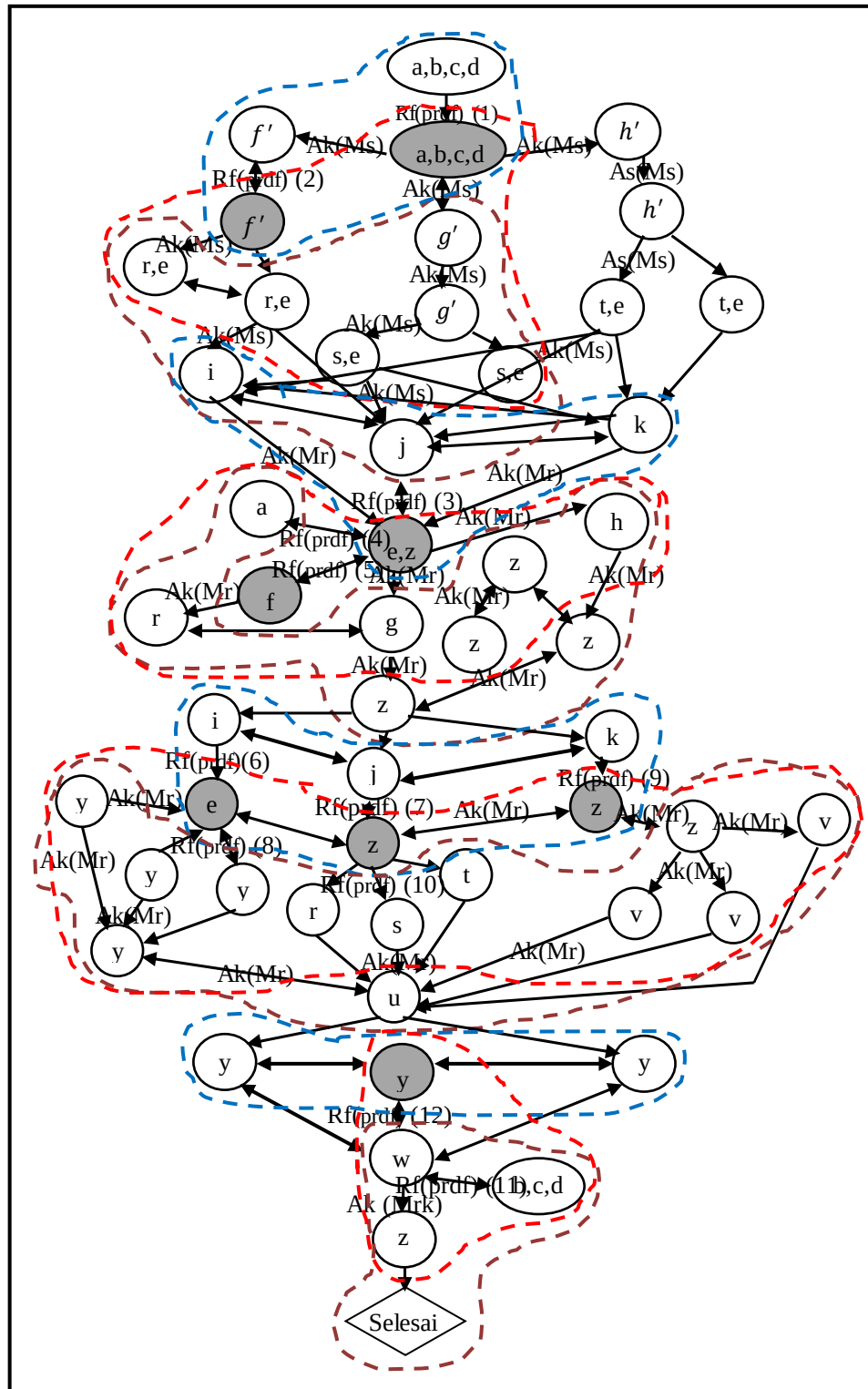


Diagram 3. Struktur Penalaran matematis mahasiswa melalui pemecahan masalah

PEMAHAMAN LITERASI MATEMATIS SISWA DALAM MENYELESAIKAN MASALAH YANG BERKAITAN DENGAN MATERI BANGUN RUANG

INDRIE NOOR AINI¹

¹ Universitas Singaperbangsa Karawang, indrienooraini@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pemahaman literasi matematis siswa SMP dalam menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan materi bangun ruang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif. Subjek populasi penelitian adalah 10 siswa di kelas VIII di SMPN 2 Karawang Timur di Kabupaten Karawang. Data penelitian dikumpulkan dengan metode tes dan wawancara. Tes yang diberikan berupa soal kubus dan balok. Adapun teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik triangulasi data. Hasil penelitian menunjukkan pemahaman matematis siswa dalam menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan materi kubus dan balok masih rendah karena dari 10 siswa yang mengerjakan permasalahan tersebut hanya 3 orang yang mengerjakan dengan proses dan hasil yang benar. Jika dipersentasekan hanya mencapai 30%. Selanjutnya 70% siswa dengan hasil jawaban yang sebagian proses tepat dengan hasil yang salah. Berdasarkan hasil jawaban dan wawancara, kesulitan yang dihadapi adalah memahami permasalahan tersebut sehingga kebingungan menggunakan rumus yang mana dalam menyelesaikan soal.

Kata Kunci: *pendidikan matematika realistik, kemampuan literasi matematis, materi kubus dan balok.*

1. PENDAHULUAN

Literasi merupakan serapan dari kata dalam bahasa Inggris '*literacy*', yang artinya kemampuan untuk membaca dan menulis. Kemampuan membaca atau menulis merupakan kompetensi utama yang sangat dibutuhkan dalam melakukan kegiatan sehari-hari. Tanpa kemampuan membaca dan menulis, komunikasi antar manusia sulit berkembang ke taraf yang lebih tinggi.

Dalam *Cambridge Advance Learner's Dictionary* Literasi diartikan sebagai: (1) *Able to read and write*; (2) *Having knowledge of a particular subject, or a particular type of knowledge*. Kandungan dan gagasan umum dari literasi tersebut diserap dalam berbagai bidang, seperti matematika, sehingga muncul istilah Literasi Matematis. Literasi matematis adalah kemampuan individu (*individual's capacity*) untuk mengenal dan memahami peran yang dimainkan matematika dalam kehidupan nyata, untuk mampu memberikan penilaian dan pertimbangan secara tepat, memanfaatkan matematika yang dapat memenuhi kebutuhan seseorang menjadi anggota masyarakat yang konstruktif,

peduli, dan mau berfikir (OECD, dalam Kusumah 2011). Dalam pengertian ini, literasi matematis digunakan untuk memberi penekanan pada pengetahuan matematis, yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Untuk mendukung ini semua, pengetahuan dasar dan keterampilan matematis mutlak diperlukan.

Menurut de Lange (Kusumah 2011), literasi matematis tidak sebatas mencakup kemampuan melaksanakan sejumlah cara atau prosedur, dan memiliki pengetahuan dasar matematis yang memungkinkan siswa mampu hidup dalam suatu situasi yang sulit dan cukup dengan hanya yang mereka perlukan. Literasi matematis juga mencakup pengetahuan, metode, dan proses matematis yang dimanfaatkan dalam berbagai konteks yang memberi inspirasi dan membuka wawasan pemikiran.

Definisi literasi matematis dalam PISA (OECD 2009: 19) adalah : *“Mathematical literacy is an individual’s capacity to identify, and understand, the role that mathematics plays in the world, to make well-founded judgments and to use and engage with mathematics in ways that meet the needs of that individual’s life as a constructive, concerned, and reflective”*.

Literasi matematis sifatnya kurang formal tapi lebih intuitif, kurang abstrak tapi lebih kontekstual, kurang banyak simbol tapi lebih konkrit. Literasi matematis terfokus pada kemampuan penalaran, berfikir, dan interpretasi, di samping kemampuan-kemampuan matematis lainnya. Definisi literasi matematis tidak sekadar terfokus pada pengetahuan minimal dalam matematika. Literasi tersebut juga mencakup *doing mathematics* dan menggunakan konsep matematis dalam bidang lainnya dan dalam aspek kehidupan sehari-hari. Dari yang biasa hingga yang tidak biasa, dari yang sederhana hingga yang kompleks.

Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (P4TK, 2011) menyebutkan bahwa, “Literasi matematis adalah kemampuan seseorang untuk merumuskan, menerapkan dan menafsirkan matematika dalam berbagai konteks, termasuk kemampuan melakukan penalaran secara matematis dan menggunakan konsep, prosedur, dan fakta untuk menggambarkan, menjelaskan atau memperkirakan suatu kejadian”.

Konsep bangun ruang merupakan salah satu materi yang harus dipahami oleh siswa kelas VII sekolah menengah pertama. Kompetensi tersebut sebagaimana diamanatkan dalam Standar Isi Sekolah Menengah Pertama tentang standar kompetensi yaitu “Memahami sifat-sifat kubus, balok, prisma, limas, dan bagian-bagiannya, serta menentukan ukurannya” dan kompetensi dasar yaitu “Menghitung luas permukaan dan volume kubus, balok, prisma dan limas” (Depdiknas, 2006).

Zulkardi (2005), menyatakan permasalahan inti dalam pendidikan matematika di Indonesia yaitu rendahnya mutu pendidikan yang ditunjukkan oleh rendahnya prestasi siswa baik pada skala nasional maupun internasional. Hal ini ditunjukkan oleh hasil *Programme for International Students Assessment* (PISA) yang mengukur kemampuan anak usia 15 tahun dalam literasi membaca, matematika, dan sains. Pada tahun 2015 bahkan Indonesia menempati peringkat ke 63 dari 69 negara yang dievaluasi. Literasi matematis dalam PISA fokus kepada kemampuan siswa dalam menganalisis, memberikan alasan, dan menyampaikan ide secara efektif, merumuskan, memecahkan, dan menginterpretasi masalah-masalah matematika dalam berbagai bentuk dan situasi. Secara lebih khusus, soal-soal yang diujikan dalam PISA terdiri atas konten ruang dan bentuk, perubahan dan hubungan, bilangan, dan probabilitas. Penilaian yang digunakan adalah fokus kepada masalah-masalah dalam kehidupan nyata, di luar dari situasi atau masalah

yang sering di bahas di kelas.

Berdasarkan beberapa penjelasan di atas dapat disimpulkan rendahnya literasi siswa terletak pada lemahnya kemampuan menjawab soal literasi level 3 sampai level 6. Artinya, siswa belum mampu menginterpretasikan kemampuan matematis dalam kehidupan sehari-hari dalam berbagai konteks. Hal ini terkait dengan kemampuan bernalar, berargumentasi, komunikasi, pemodelan, koneksi dan pemecahan masalah matematis itu sendiri serta kemampuan merepresentasikan yang belum dimiliki oleh siswa di Indonesia.

Selain secara umum literasi matematis yang rendah, level kemampuan akademik siswa di kelas pun beragam. Hal ini menentukan bagaimana metode pembelajaran yang diberikan guru pengaruhnya terhadap kemampuan siswa. Diduga siswa berkemampuan tinggi akan dapat meningkat hasil belajarnya dengan menggunakan metode pembelajaran apapun, namun hal sebaliknya terjadi pada siswa berkemampuan rendah.

Terdapat banyak hal yang dapat dilakukan untuk mengupayakan terciptanya kegiatan pembelajaran yang bermakna sebagai pendukung dalam pengembangan kemampuan literasi matematis siswa salah satunya dengan mengetahui terlebih dahulu potensi yang dimiliki siswa, mengenai kemampuan literasi matematis apa saja yang sudah dikuasai dan belum dikuasai. Langkah awal ini dinilai penting agar dapat memilih metode, media, bahan ajar dan hal lain yang mendukung untuk menciptakan suatu kegiatan pembelajaran yang bermakna. Oleh karena peneliti memandang perlu untuk mengetahui lebih jauh bagaimanakah kemampuan literasi matematis siswa kelas VIII Sekolah Menengah Pertama.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif. Subjek populasi penelitian adalah 10 siswa di kelas VIII di SMPN 2 Karawang Timur di Kabupaten Karawang. Data penelitian dikumpulkan dengan metode tes dan wawancara. Tes yang diberikan berupa uraian yang digunakan untuk memperoleh gambaran tentang kemampuan literasi matematis siswa. Sedangkan wawancara yang dimaksud adalah percakapan ini dilakukan oleh dua pihak yaitu pewawancara yang mengajukan pertanyaan dan yang diwawancarai yang memberikan jawaban atas pertanyaan itu. Metode ini digunakan untuk mendapatkan data-data kesulitan siswa dalam memahami soal yang diberikan.

Analisis data pada penelitian ini menggunakan teknik triangulasi. Hal ini dilakukan dengan cara mengecek data kepada sumber yang sama dengan teknik yang berbeda (Sugiyono, 2011: 274). Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil jawaban siswa dengan hasil wawancara mendalam. Teknik analisis data yang digunakan adalah deskriptif naratif dengan menggunakan model Miles dan Huberman. Menurut Miles dan Huberman (Sugiyono, 2011:246) aktivitas dalam analisis data kualitatif dilakukan secara interaktif dan berlangsung secara terus-menerus sampai tuntas, sehingga datanya jenuh.

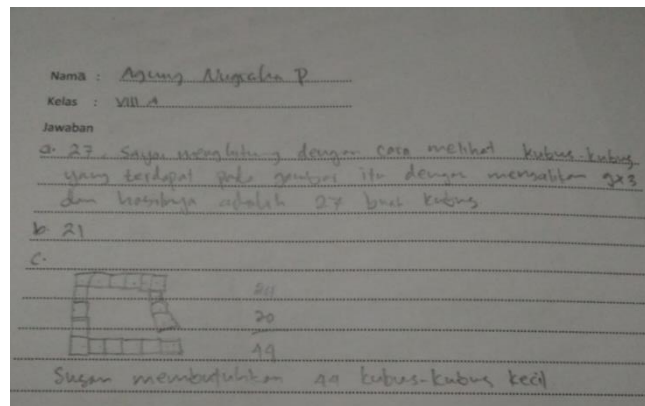
Aktivitas dalam analisis meliputi reduksi data (*data reduction*) yaitu tahapan mengkoreksi jawaban hasil tes siswa yang sudah dikumpulkan untuk menemukan jenis-jenis kesalahan dan mencatat hasil wawancara, penyajian data (*data display*) merupakan proses pengumpulan informasi atau data dari hasil penelitian yang sudah disusun dan terorganisir, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi (*conclusion drawing/verification*) merupakan proses perumusan makna dari hasil penelitian yang diperoleh, pada tahap verifikasi dilakukan peninjauan terhadap kebenaran dari penyimpulan, berkaitan dengan relevansi dan konsistensinya dengan judul, tujuan dan perumusan masalah.

3. HASIL

Jenis soal yang diujikan adalah konteks pekerjaan dengan proses yang diujikan meliputi mampu merumuskan masalah secara matematis, mampu menggunakan konsep, fakta, prosedur dan penalaran dalam matematika, menafsirkan, menerapkan dan mengevaluasi hasil dari suatu proses matematis.

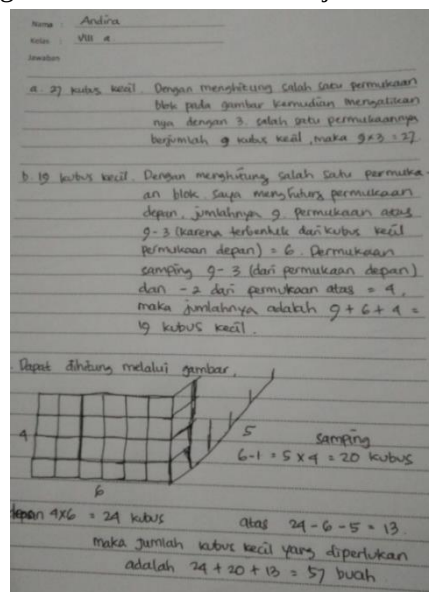
Hasil jawaban siswa pada permasalahan yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari dengan materi bangun ruang. Persentase siswa yang menjawab benar secara keseluruhan adalah 30%. Sedangkan 70% sisanya tidak semuanya dengan hasil akhir dan proses yang salah, akan tetapi bervariasi. Ada yang hasil akhirnya salah, tetapi prosesnya benar, ada yang jawaban benar tetapi tidak mampu memberikan alasan atas jawabannya.

Berikut adalah contoh hasil jawaban siswa:



Gambar 1

Pada hasil jawaban siswa tersebut terlihat bahwa siswa kurang mampu menganalisis maksud dari soal sehingga tidak dapat menyelesaikannya dengan baik. Hal ini terlihat dari ilustrasi gambar yang siswa buat dalam lembar jawaban tersebut.



Gambar 2

Pada hasil jawaban siswa tersebut terlihat bahwa siswa mampu menganalisis maksud dari soal dan mampu memberikan jawaban serta alasan yang dipaparkannya.

Hasil penelitian selanjutnya adalah hasil wawancara dengan beberapa siswa yang dilihat dari hasil jawabannya dengan hasil akhir yang kurang tepat. wawancara dilakukan setelah dilakukan tes kemampuan literasi matematis siswa. Tujuan dilakukannya wawancara ini

untuk mengetahui bagaimana kemampuan literasi matematis mereka secara lisan. Hasil wawancara bahwa siswa yang menjawab kurang tepat, mereka sebagian besar kebingungan dengan soal yang disajikan. Mereka tidak terbiasa dalam menyelesaikan soal tersebut, sehingga tidak dapat mengerjakan dengan baik. Peneliti mencoba untuk membuat stimulus dengan langsung menyebutkan bahwa untuk point c yang dicari adalah luas permukaan kubus. Barulah mereka bisa menjawabnya.

Berikut gambaran wawancara yang dilakukan dengan salah satu siswa:

Peneliti : Menurut anda apakah anda sudah paham materi bangun ruang? kesulitan apa yang anda temui saat mengerjakan soal yang telah anda kerjakan ?

Siswa : Saya sudah paham materi itu, tapi ketika saya mengerjakan soal yang diberikan saya kebingungan harus menghitung apa, karena tidak disebutkan apakah saya harus menghitung volume atau luas permukaan.

Peneliti : Bagaimana kesan anda terhadap soal yang diberikan?

Siswa : Saya tidak pernah mengerjakan soal yang diberikan, ini seperti soal untuk SMA.

Peneliti : Bagian mana yang menurut anda susah untuk di fahami?

Siswa : Bagian c. Saya bingung harus menjawab apa.

Peneliti : Jika saya beri kata kunci bahwa point c adalah menghitung luas permukaan, apakah anda bisa mengerjakannya?

Siswa : Ya, saya bisa mengerjakan.

Hasil penelitian menunjukkan pemahaman matematis siswa dalam menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan materi kubus dan balok masih rendah karena dari 10 siswa yang mengerjakan permasalahan tersebut hanya 3 orang yang mengerjakan dengan proses dan hasil yang benar. Jika dipersentasekan hanya mencapai 30%. Selanjutnya 70% siswa dengan hasil jawaban yang sebagian proses tepat dengan hasil yang salah. Berdasarkan hasil jawaban dan wawancara, kesulitan yang dihadapi adalah memahami permasalahan tersebut sehingga kebingungan menggunakan rumus yang mana dalam menyelesaikan soal tersebut.

Berdasarkan hasil wawancara, menunjukkan bahwa siswa tidak dibiasakan untuk menganalisis soal realistik dalam proses pembelajaran. Menurut de Lange (dalam Zulkardi, 2005:14) ada lima karakteristik dari PMRI (Pendidikan Matematika Realistik Indonesia) antara lain : 1) Menggunakan masalah kontekstual, 2) Menggunakan model atau jembatan dengan instrumen vertikal, 3) Menggunakan kontribusi siswa. 4) Interaktif dalam proses pembelajaran, 5) Terintegrasi dengan topik pembelajaran lain. PMRI dapat digunakan oleh guru matematika dalam mengembangkan kemampuan siswa untuk berpikir, bernalar, komunikasi, dan pemecahan masalah baik dalam pelajaran maupun kehidupan sehari-hari (Zulkardi, 2002). Berdasarkan teori dan hasil wawancara menunjukkan PMRI dapat membantu siswa dalam memahami materi pada kegiatan pembelajaran matematika.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang literasi matematis pada materi bangun ruang, disimpulkan bahwa sebagian siswa mengetahui apa yang diketahui dan ditanyakan dari soal tersebut serta dapat menggunakannya dalam pengerjaannya.

Pada umumnya siswa kesulitan menganalisis soal yang diberikan, sehingga mereka kebingungan apa yang harus dikerjakan untuk selanjutnya dihitung. Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman literasi matematis siswa masih lemah.

Daftar Pustaka

- [1] Depdiknas. (2006). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [2] Kusumah, Y. S. (2010). *Literasi Matematika*. Disajikan pada Seminar Nasional Matematika, Universitas Bandar Lampung.
- [3] Milles, M.B. and Huberman, M.A. 1984. *Qualitative Data Analysis*. London: Sage Publication
- [4] Muslich, M. (2008). *KTSP Dasar Pengembangan dan Pengajaran*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- [5] OECD. (2010). *Draft PISA 2015 Assesment Framework*. [online]. Tersedia di <http://www.oecd.org/dataoecd/61/15/46241909.pdf>. [17 April 2017].
- [6] Phineas. (2007). *Perception of The Notion of Mathematical Literacy as A Competence and as A Subject*. Dissertation. Univercity of KwaZulu-Natal.
- [7] Quasar General Rubric. *The Conceptual Framework for the Development of Mathematics Performance Assessment Instrument*. [Online]. Tersedia: http://internet.cpd.k12.il.us/Assessment/Idea_and_Rubrics/Rubrics_Bank/MathRubric.pdf. [17 Juni 2012]
- [8] Surapranata. 2005. *Panduan Penulisan Tes Tertulis Implementasi Kurikulum 2004*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- [9] Zulkardi. 2002. *Developing a Learning Envorinment on Realistic Mathematics Education for Indonesian Students Teachers*. Thesis. University of Twente. Enschede:Printpartners Ipskamp
- [10] Zulkardi. 2005. *Permasalahan Matematika Di Indonesia, Permasalahan Dan Upaya Penyelesaiannya*. Palembang: Percetakan Unsri.

PENENTUAN STATUS PEMANFAATAN DAN SKENARIO PENGELOLAAN IKAN TONGKOL (*Auxis rochei*) DI PERAIRAN MANADO - SULAWESI UTARA

JOHN S. KEKENUSA¹, SENDY B. RONDONUWU², MARLINE S. PAENDONG³

¹Universitas Sam Ratulangi Manado

²Universitas Sam Ratulangi Manado

³Universitas Sam Ratulangi Manado

Abstrak

Ikan tongkol (*Auxis rochei*), perlu dikelola dengan baik karena walaupun sebagai sumberdaya alam terbarukan, namun dapat mengalami deplesi ataupun kepunahan. Salah satu pendekatan dalam pengelolaan sumberdaya ikan ialah dengan pemodelan. Analisis dilakukan bertujuan untuk mendapatkan penduga terbaik untuk model produksi surplus guna mengetahui tangkapan maksimum lestari (MSY), tingkat pemanfaatan, dan pengupayaan ikan tongkol.

Data hasil tangkapan dan upaya tangkap ikan tongkol dikumpulkan dari Dinas Pertanian Kelautan dan Perikanan Kota Manado, serta Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi Utara.

Model Produksi Surplus terbaik, yang digunakan untuk menilai potensi ikan tongkol di Perairan Manado ialah model Schaefer. Upaya optimal (EMSY) sebesar 3.558 trip per tahun, dengan hasil tangkapan optimal CMSY sebesar 932,156 ton per tahun. Tingkat pengupayaan mulai tahun 1999 sudah melebihi tingkat upaya optimum, yang menunjukkan ketidakefisienan usaha. Untuk tahun 2005 dengan tingkat pemanfaatan sebesar 105,487 %, menunjukkan terjadi tangkap-lebih (overfishing).

Kata Kunci: *Ikan tongkol, Model Produksi Surplus, Tangkapan Maksimum Lestari, Manado*

1. PENDAHULUAN

Ikan tongkol (*Auxis rochei*) tergolong sumberdaya perikanan pelagis penting dan merupakan salah satu komoditi ekspor nir-migas. Produksi ikan tongkol di Sulawesi Utara (termasuk Kota Manado) pada tahun 2011 mencapai sekitar 30.000 ton, dengan nilai sekitar 300 milyar rupiah (DKP Sulawesi Utara, 2012). Penelitian tentang ikan tongkol umumnya membahas tentang eksploitasi untuk meningkatkan produksi, belum banyak yang meneliti tentang status pemanfaatan (termasuk aspek kelestarian dan efisiensi) sumberdaya.

Penangkapan ikan tongkol di perairan Manado telah berlangsung cukup lama, dengan intensitas yang padat. Data mengenai tingkat pemanfaatan suatu sumberdaya ikan sangat penting, karena akan menentukan apakah pemanfaatan sumberdaya tersebut kurang optimal, optimal, atau berlebih. Pemanfaatan sumberdaya ikan yang berlebihan akan mengancam kelestariannya. Dengan mengetahui tingkat pemanfaatan sumberdaya tongkol, diharapkan dapat dilakukan pengelolaan yang terencana dan lestari.

Model yang paling sederhana dalam dinamika populasi ikan ialah Model Produksi Surplus (MPS), dengan memperlakukan ikan sebagai biomassa tunggal yang tak dapat dibagi, yang tunduk pada aturan-aturan sederhana kenaikan dan penurunan biomassa. Model ini, pada umumnya digunakan dalam penilaian stok ikan hanya dengan menggunakan data hasil tangkapan dan upaya tangkap yang umumnya tersedia.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan MPS terbaik, serta mengetahui berapa besar hasil tangkapan maksimum lestari (Maximum Sustainable Yield = MSY), tingkat pemanfaatan, dan tingkat pengusahaan ikan tongkol di perairan Manado.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Produksi Surplus

Model yang paling sederhana dalam dinamika populasi ikan ialah model produksi surplus yang memperlakukan populasi ikan sebagai biomassa tunggal yang tidak dapat dibagi, yang tunduk pada aturan-aturan sederhana dari kenaikan dan penurunannya. Model produksi ini tergantung pada 4 macam besaran, yaitu : biomassa populasi pada suatu waktu tertentu t (B_t), tangkapan untuk suatu waktu tertentu t (C_t), upaya tangkap pada waktu tertentu t (E_t), dan laju pertumbuhan alami konstan (r) (Boer dan Aziz, 1995). Model ini pertama kali dikembangkan oleh Schaefer, yang bentuk awalnya sama dengan model pertumbuhan logistik.

Menurut Coppola dan Pascoe (1996), persamaan surplus produksi terdiri dari beberapa konstanta yang dipengaruhi oleh pertumbuhan alami, kemampuan alat tangkap, dan daya dukung lingkungan. Konstanta-konstanta tersebut diduga dengan menggunakan model-model penduga parameter biologi dari persamaan surplus produksi, yaitu model : Equilibrium Schaefer, Disequilibrium Schaefer, Schnute, dan Walter – Hilborn. Berdasarkan keempat model tersebut dipilih yang paling sesuai atau best fit dari pendugaan yang lain.

Menurut Sparre dan Venema (1999), rumus-rumus model produksi surplus hanya berlaku apabila parameter slope (b) bernilai negatif, yang berarti penambahan upaya tangkap akan menyebabkan penurunan hasil tangkapan per upaya tangkap. Apabila parameter b nilainya positif, maka tidak dapat dilakukan pendugaan besarnya stok maupun upaya optimum, tetapi hanya dapat disimpulkan bahwa penambahan upaya tangkap masih memungkinkan untuk meningkatkan hasil tangkapan.

Pendugaan upaya penangkapan optimum (E_{opt}) dan hasil tangkapan maksimum lestari (CMSY) didekati dengan Model Produksi Surplus. Antara hasil tangkapan per satuan upaya (CPUE_t) dan upaya tangkap (effort) dapat berupa hubungan linear maupun eksponensial (Gulland, 1983). Model Produksi Surplus terdiri dari 2 model dasar yaitu Model Schaefer (hubungan linear) dan Model Gompertz yang dikembangkan oleh Fox dengan bentuk hubungan eksponensial (Gulland, 1983).

2.2 Model Schaefer

Model Produksi Surplus pertama kali dikembangkan oleh Schaefer, yang bentuk awalnya sama dengan model pertumbuhan logistik. Model tersebut ialah sebagai berikut :

$$\frac{dB_t}{dt} = G(B_t) = r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) \quad (1)$$

Persamaan ini belum memperhitungkan pengaruh penangkapan, sehingga Schaefer menuliskan kembali menjadi :

$$\frac{dB_t}{dt} = r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t \quad (2)$$

dengan K ialah daya dukung lingkungan perairan, dan C_t ialah tangkapan yang dapat ditulis sebagai :

$$C_t = q E_t B_t \quad (3)$$

dengan q sebagai koefisien ketertangkapan (*catchability*), dan E_t menunjukkan upaya tangkap. Persamaan ini dapat ditulis menjadi :

$$\frac{C_t}{E_t} = q B_t = \text{CPUE} \quad (4)$$

Dari persamaan diferensial (2), tangkapan optimum dapat dihitung pada saat $\frac{dB_t}{dt} = 0$ atau disebut juga penyelesaian pada titik keseimbangan (*equilibrium*), yang berbentuk :

$$\begin{aligned} r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) - C_t &= 0, \quad \text{atau} \\ C_t &= r B_t \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) = q E_t B_t \end{aligned} \quad (5)$$

Dari persamaan (3) dan (5) diperoleh nilai B_t sebagai berikut :

$$B_t = K \left(1 - \frac{q E_t}{r} \right) \quad (6)$$

Sehingga persamaan (5) menjadi :

$$\begin{aligned} C_t &= q K E_t \left(1 - \frac{q E_t}{r} \right) \\ &= q K E_t - \frac{q^2 K}{r} E_t^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Persamaan (7) disederhanakan lagi oleh Schaefer menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{C_t}{E_t} &= a - b E_t, \quad \text{atau} \\ C_t &= a E_t - b E_t^2 \end{aligned} \quad (8)$$

sedangkan $a = q K$ dan $b = \frac{q^2 K}{r}$. Hubungan linear ini yang digunakan secara

luas untuk menghitung C_{MSY} melalui penentuan turunan pertama C_t terhadap E_t untuk mencari solusi optimal, baik untuk tangkapan maupun upaya tangkap.

Turunan pertama C_t terhadap E_t adalah : $\frac{dC_t}{dE_t} = a - 2b E_t$, sehingga diperoleh

dugaan E_{opt} (upaya tangkap optimum) dan C_{MSY} (tangkapan maksimum lestari) masing-masing :

$$E_{opt} = \frac{a}{2b} = \frac{r}{2q} \quad (9)$$

dengan memasukkan nilai E_{opt} pada persamaan (8), akan diperoleh C_{MSY} sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{MSY} &= a E_t - b E_t^2 \\ &= a \left(\frac{a}{2b} \right) - b \left(\frac{a}{2b} \right)^2 = \frac{a^2}{4b} \end{aligned}$$

dengan mensubstitusi $a = qK$ dan $b = \frac{q^2 K}{r}$, akan diperoleh

$$C_{MSY} = \frac{a^2}{4b} = \frac{q^2 K^2}{4q^2 K / r} = \frac{rK}{4}$$

(10)

Nilai-nilai a dan b diduga melalui pendekatan metode kuadrat terkecil yang umum digunakan untuk menduga koefisien persamaan regresi sederhana. Selanjutnya, dengan memasukkan nilai E_{opt} pada persamaan (6) diperoleh biomassa optimum (B_{MSY}) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B_{MSY} &= K - \frac{Kq}{r} E_{opt} \\ &= K - \frac{Kq}{r} \left(\frac{r}{2q} \right) \\ &= K - \frac{K}{2} \\ &= \frac{K}{2} \end{aligned} \quad (11)$$

Nilai-nilai parameter q , K , dan r dapat dihitung dengan menggunakan algoritma Fox, seperti yang diacu dalam Sularso (2005), sebagai berikut :

$$q_t = \ln \left[\left(z U_t^{-1} + \frac{1}{b} \right) / \left(z U_{t+1}^{-1} + \frac{1}{b} \right) \right] / (z) \quad (12)$$

dimana $z = -(a/b)/E^*$, $E^* = (E_t + E_{t+1})/2$, $U_t = \frac{C_t}{E_t}$, dan nilai q adalah rata-rata geometrik dari nilai q_t . Dari nilai a , b , dan q , selanjutnya dapat dihitung nilai K dan r .

2.3 Model Fox

Model Fox (1970) memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dari model Schaefer, yaitu pertumbuhan biomassa mengikuti model pertumbuhan Gompertz. Penurunan CPUE terhadap upaya tangkap (E) mengikuti pola eksponensial negatif.

$$C_t = E_t \cdot \exp(a - b E_t) \quad (13)$$

Upaya optimum diperoleh dengan menyamakan turunan pertama C_t terhadap E_t sama dengan nol :

$$E_{opt} = \frac{1}{b} \quad (14)$$

Hasil tangkapan maksimum lestari (C_{MSY}) didapat dengan memasukkan nilai upaya optimum ke dalam persamaan (13), dan diperoleh :

$$C_{MSY} = \frac{1}{b} e^{a-1} \quad (15)$$

2.4 Model Schnute

Schnute (1977), mengemukakan versi lain dari model produksi surplus yang bersifat dinamis serta deterministik. Metode Schnute dianggap sebagai modifikasi dari model Schaefer dalam bentuk diskret (Roff, 1983, yang diacu dalam Tinungki 2005).

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{U_{t+1}}{U_t}\right) &= r - \frac{r}{qK} \left(\frac{U_t + U_{t+1}}{2}\right) - q \left(\frac{E_t + E_{t+1}}{2}\right) \\ &= a - b \left(\frac{U_t + U_{t+1}}{2}\right) - c \left(\frac{E_t + E_{t+1}}{2}\right)\end{aligned}\quad (16)$$

dimana $a = r$, $b = \frac{r}{qK}$, dan $c = q$, adalah penduga parameter koefisien regresi berganda.

2.5 Model Walter – Hilborn

Walter dan Hilborn (1976) yang diacu dalam Tinungki (2005), mengembangkan jenis lain dari model produksi surplus, yang dikenal sebagai model regresi. Model Walter – Hilborn ini, menggunakan persamaan diferensial sederhana, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{U_{t+1}}{U_t} - 1 &= r - \frac{r}{Kq} U_t - q E_t \\ &= a - b U_t - c E_t\end{aligned}\quad (17)$$

dimana $a = r$, $b = \frac{r}{Kq}$, dan $c = q$, adalah penduga parameter koefisien regresi berganda.

2.6 Model Clarke Yoshimoto Pooley (CYP)

Pendugaan parameter biologi untuk model produksi surplus dapat pula dilakukan melalui teknik pendugaan yang dikemukakan oleh Clarke, Yoshimoto, dan Pooley (Fauzi dan Anna 2005, Tinungki 2005). Parameter-parameter yang diduga ialah r , K , dan q , dengan model yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\ln(U_{t+1}) = \left(\frac{2r}{2+r}\right) \ln(qK) + \frac{2-r}{2+r} \ln(U_t) - \frac{q}{2+r} (E_t + E_{t+1}) \quad (18)$$

di mana : $a' = \frac{2r}{2+r}$, $a = a' \ln(qK)$, $b = \frac{2-r}{2+r}$, $c = \frac{q}{2+r}$

dengan demikian persamaan (18) dapat ditulis dalam bentuk :

$$\begin{aligned}\ln(U_{t+1}) &= a' \ln(qK) + b \ln(U_t) - c (E_t + E_{t+1}) \\ &= a + b \ln(U_t) - c (E_t + E_{t+1})\end{aligned}\quad (19)$$

3. HASIL

3.1 Sumber Data

Data yang dikumpulkan ialah data primer dan sekunder hasil tangkapan ikan tongkol di perairan Manado. Data produksi dan upaya tangkap dikumpul dari Dinas Pertanian Kelautan dan Perikanan Kota Manado, dan Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi Utara selama tahun 1995 - 2014. Data (variabel) yang digunakan untuk analisis model produksi surplus ialah data hasil tangkapan (C_t) per tahun dan upaya tangkap (E_t)

per tahun, serta CPUE $(\frac{C_t}{E_t})$. Data (variabel) utama yang digunakan untuk analisis

model produksi surplus ialah sebagai berikut :

1. Hasil tangkapan (C_t) : berat ikan yang didaratkan (ton) pada tahun ke t
2. Upaya tangkap (E_t) : jumlah kapal motor penangkap ikan yang mendaratkan hasilnya di tempat pendaratan (trip) pada tahun ke t
3. $\frac{C_t}{E_t}$: C_t dibagi E_t (ton /trip) pada tahun ke t

3.2 Metode Analisis Data

Model penduga yang dianalisis dan dievaluasi ialah : model Schaefer, model Fox, model Schnute, model Walter-Hilborn, dan model Clarke Yoshimoto Pooley (CYP). Berdasarkan hasil evaluasi secara statistika (kesesuaian tanda, nilai R^2 , nilai validasi, dan signifikansi koefisien regresi model), akan diperoleh suatu model yang “terbaik” sebagai penduga. Dari model terbaik tersebut dapat dihitung nilai C_{MSY} , upaya tangkap optimum (E_{MSY}), tingkat pemanfaatan, dan tingkat pengusahaan sumberdaya perikanan tongkol.

3.3 Hasil

Hasil tangkapan perikanan tongkol di perairan Talaud berfluktuasi dari tahun ke tahun. Data hasil tangkapan selang tahun 1995 - 2014, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Jumlah Hasil Tangkapan, upaya tangkap, dan CPUE ikan tongkol di perairan Manado tahun 1995 - 2014

Tahun	Tangkapan (ton)	Upaya (trip)	CPUE $\frac{C_t}{E_t}$ (ton/trip)
1995	700,0	2411	0,2903
1996	715,9	2500	0,2864
1997	923,4	2515	0,3672
1998	1347,4	3200	0,4211
1999	798,1	4215	0,1893
2000	847,5	4200	0,2018
2001	908,3	4117	0,2206
2002	864,2	4200	0,2058
2003	891,2	4206	0,2119
2004	920,1	4321	0,2129
2005	983,3	4360	0,2255

2006	926,6	4372	0,2119
2007	900,2	4512	0,1995
2008	906,4	4501	0,2014
2009	873,2	4522	0,1931
2010	826,5	4611	0,1792
2011	853,2	4620	0,1847
2012	869,3	4613	0,1884
2013	722,4	4621	0,1563
2014	721,6	4701	0,1535
Rata-rata	874,940	4066	0.2250

Sumber : Diolah dari data Dinas Pertanian Kelautan dan Perikanan Kota Manado dan Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi Utara

Hasil analisis regresi untuk model produksi surplus disajikan pada Lampiran 1, yang diuraikan sebagai berikut :

Model Schaefer

Dari hasil analisis diperoleh persamaan regresi $\frac{C_t}{E_t} = 0,524 - 0,00007364 E_t$, dengan

nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,682 dan tingkat signifikansi $p < 0,05$. Dengan demikian model produksi penduga hasil tangkapan untuk model Schaefer sesuai persamaan (8) ialah : $C_t = 0,524 E_t - 0,00007364 E_t^2$.

Model Fox

Dari hasil analisis regresi diperoleh persamaan regresi :

$\ln \frac{C_t}{E_t} = -0,352 - 0,000289 E_t$, dengan $R^2 = 0,729$ ($p < 0,05$). Penduga hasil tangkapan

untuk model Fox sesuai persamaan (13) :

$$C_t = E_t \cdot e^{(-0,352 - 0,000289 E_t)}$$

Model Schnute

Untuk metode Schnute sesuai persamaan (16), didapatkan persamaan regresi : $\ln(U_{t+1}/U_t) = 1,345 - 2,278 (U_{t+1}+U_t)/2 - 0,000210 (E_{t+1}+E_t)/2$ dengan $R^2 = 0,112$, dan semua koefisien regresi tidak ada yang signifikan ($p > 0,05$).

Model Walter - Hilborn

Pada metode Walter-Hilborn dengan menggunakan persamaan (17) diperoleh persamaan regresi $(U_{t+1}/U_t) - 1 = 1,798 - 3,268 U_t - 0,000264 E_t$ dengan $R^2 = 0,634$, semua koefisien regresi signifikan ($p < 0,05$).

Model Clarke Yoshimoto Pooley (CYP)

Pada metode CYP diperoleh persamaan regresi, menurut persamaan (19) : $\ln(U_{t+1}) = -0,264 - 0,018 \ln(U_t) - 0,000159 (E_t + E_{t+1})$ dengan $R^2 = 0,759$, dan tidak semua koefisien regresi signifikan.

3.4 Pembahasan

Hasil perhitungan validasi data untuk kelima model produksi surplus disajikan pada Lampiran 2, yang diringkas pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil validasi model produksi surplus

	Model Schaefer	Model Fox	Model Schnute	Model Walter-Hilborn	Model CYP
Kesesuaian Tanda	Sesuai	Tidak Sesuai	Sesuai	Sesuai	Tidak Sesuai
Nilai R^2	0,682	0,729	0,112	0,634	0,759
Nilai Validasi	0,08420	0,08781	0,11130	0,08970	2.5634
Signifikansi Koefisien Regresi Individu	Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan

Dari hasil perhitungan pada Tabel 2, terlihat bahwa yang paling sesuai ialah model Schaefer dengan nilai R^2 cukup besar ($R^2 = 0,682$) dan validasi (nilai residual) paling kecil. Dari model Schaefer diperoleh nilai $a = 0,524$ dan nilai $b = 0,00007364$, dengan persamaan (9) dan (10) dapat dihitung nilai Upaya optimum (E_{opt}) dan Tangkapan maksimum lestari (C_{MSY}) sebagai berikut :

$$E_{opt} = \frac{a}{2b} = \frac{0,524}{2(0,00007364)} = 3557,8 \approx 3558 \text{ trip per tahun.}$$

$$C_{MSY} = \frac{a^2}{4b} = \frac{0,524^2}{4(0,00007364)} = 932,156 \text{ ton per tahun.}$$

Ini berarti bahwa untuk menjaga kelestarian sumberdaya perikanan tongkol secara teknis dan biologis, dalam setahun jumlah unit penangkapan tidak boleh melebihi 3558 trip. Untuk menjaga kelestarian sumberdaya ikan tongkol di perairan Manado, maksimum ikan yang dapat ditangkap sebesar 932,156 ton per tahun.

Selanjutnya dari nilai E_{opt} dan C_{MSY} dapat dihitung tingkat upaya penangkapan dan tingkat pemanfaatan ikan cakalang untuk tahun tertentu misalkan tahun 2005, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tingkat upaya tahun 2005} &= \frac{E_{2005}}{E_{opt}} \times 100\% \\ &= \frac{4360}{3558} \times 100\% = 122,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tingkat pemanfaatan tahun 2005} &= \frac{C_{2005}}{C_{MSY}} \times 100\% \\ &= \frac{983,3}{932,156} \times 100\% = 105,487\%. \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, ternyata upaya tangkap ikan tongkol di perairan Manado pada tahun 2005, sudah melebihi tingkat upaya maksimum lestari. Hal ini menunjukkan upaya penangkapan yang sangat tidak efisien. Tingkat pemanfaatan untuk tahun 2005, sudah melampaui tingkat optimum, menjadi tanda terjadinya *overfishing* (tangkap-lebih).

Penelitian ini menjelaskan penggunaan beberapa kriteria statistika dalam memilih model produksi surplus terbaik. Dengan menerapkan beberapa kriteria statistika dalam memilih model produksi surplus, akan diperoleh hasil yang lebih baik. Para peneliti di bidang perikanan mendapatkan pedoman dalam menetapkan kriteria pemilihan model produksi surplus, sekaligus juga menghindari penerapan langsung satu model saja dalam menganalisis model produksi surplus di suatu perairan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Model Produksi Surplus yang dapat digunakan untuk menelaah hasil tangkapan ikan tongkol di perairan Manado ialah Model Schaefer, dengan persamaan :

$$\hat{C}_t = 0,524 E_t - 0,00007364 E_t^2$$

2. Hasil tangkapan maksimum lestari ikan tongkol C_{MSY} sebesar **932,156** ton per tahun, diperoleh pada tingkat upaya tangkap E_{MSY} **3558** trip. Untuk **tahun 2005** besarnya tingkat pemanfaatan sebesar **105,487 %** merupakan tanda terjadinya **overfishing** (tangkap-lebih), dengan tingkat pengupayaan **122,54 %** menunjukkan ketidakefisienan dalam upaya penangkapan

4.2 Saran

1. Dalam menerapkan model produksi surplus di suatu perairan, tidak hanya langsung menggunakan satu model tertentu saja, tetapi hendaknya menggunakan beberapa model yang dipilih berdasarkan kriteria statistika. Kriteria tersebut menyangkut antara lain : kesesuaian tanda, nilai koefisien determinasi (R^2), nilai validasi, dan signifikansi koefisien regresi.
2. Ada indikasi terjadi *overfishing* (tangkap lebih), dan adanya ketidakefisienan usaha penangkapan tongkol di perairan Manado, disarankan secepatnya dilakukan pengawasan oleh pihak berkompeten untuk menangani masalah ini. Terutama melakukan efisiensi terhadap upaya tangkap.

Daftar Pustaka

- [1] Boer, M., dan K.A. Azis. 1995. Prinsip-prinsip Dasar Pengelolaan Sumberdaya Perikanan Melalui Pendekatan Bio-Ekonomi. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan III(2):109-119.
- [2] Coppola G., and S. Pascoe. 1996. A Surplus Production Model with a non-linear Catch-Effort Relationship. (Research Paper 105) Center for the Economics and Managemant of Aquatic Resources University of Portsmouth.
- [3] [DKP] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi Utara. 2012. Statistik Perikanan Tangkap Provinsi Sulawesi Utara Tahun 2011.
- [4] Fauzi, A., dan S. Anna. 2005. Pemodelan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [5] Fox, W.W. 1970. An Exponential Surplus Yield Model for Optimazing Exploited Fish Population. Trans. Am. Fish Soc. 99(1):80-88.
- [6] Gulland, J.A. 1983. Fishing and Stock of Fish at Iceland. Mui.`Agric. Fish Food, Invest. (Ser.2) 23(4): 52 – 70.

- [7] Kekenusa, J.S. 2006. Pemodelan Hasil Tangkapan dan Evaluasi Model Produksi Surplus Ikan Cakalang yang Tertangkap di Perairan Sekitar Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Disertasi (Tidak Dipublikasikan). Program Pascasarjana Universitas Airlangga. Surabaya. 140 hal.
- [8] Kekenusa, J.S. 2007. Analisis Bio-ekonomi Ikan Cakalang yang Tertangkap di Perairan Sekitar Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Pacific Journal Vol.2 No.1 :71-76.
- [9] Kekenusa, J.S., V.N.R. Watung, Dj. Hatidja, dan A.J. Rindengan. 2008. Penentuan Status Pemanfaatan dan Skenario Pengelolaan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) yang Tertangkap di Perairan Sulawesi Utara. Laporan Penelitian Hibah Bersaing.
- [10] Kekenusa, J.S., V.N.R. Watung, dan Dj. Hatidja. 2009. Penentuan Status Pemanfaatan dan Skenario Pengelolaan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) yang Tertangkap di Perairan Sangihe-Talaud. Laporan Kegiatan Penelitian Strategis Nasional Tahun 2009.
- [11] Meyer, W.J. 1987. Concepts of Mathematical Modelling. McGraw-Hill Inc. New York. 439p.
- [12] Monintja, D. R., dan R. Yusfiandayani. 1999. Teknologi Penangkapan Ikan Cakalang dan Tuna. Laboratorium Teknologi Penangkapan Ikan, FPIK-IPB. Bogor. 27 hal.
- [13] Monintja, D. R., dan R. Yusfiandayani. 2001. Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir Dalam Bidang Perikanan Tangkap. Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu. IPB, Bogor.
- [14] Purwanto. 1988. Bio-Ekonomi Penangkapan Ikan : Model Statik. Oseana. Vol. XIII No. 2. Departemen Pertanian, Jakarta.
- [15] Schnute, J. 1977. Improved Estimates from the Schaefer Production Models : Theoretical Considerations : J. Fish. Res. Board Can., 34:583-663.
- [16] Sparre, P. and S.C. Venema. 1999. Introduksi Pengkajian Stok Ikan Tropis. Buku 1 Manual. (Terjemahan J. Widodo. I.G.S. Merta, S. Nurhakim, dan M. Badrudin). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Kerjasama dengan Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-bangsa). Jakarta. 438 hal.
- [17] Sularso, A. 2005. Alternatif Pengelolaan Perikanan Udang di Laut Arafura. Disertasi (Tidak Dipublikasikan). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 130 hal.
- [18] Tinungki, G. M. 2005. Evaluasi Model Produksi Surplus dalam Menduga Hasil Tangkapan Maksimum Lestari untuk Menunjang Pengelolaan Perikanan Lemuru Di Selat Bali. Disertasi (Tidak Dipublikasikan). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 207 hal.
- [19] Uktolseja, J.C.B. 1997. Laporan Penelitian Indeks Kelimpahan Ikan Tuna dan Cakalang di Sekitar Rumpun (Tidak Diterbitkan). Balai Penelitian Perikanan Laut, Jakarta. 29 hal.
- [20] Widodo, J. 1987. Modified Surplus Production Methods of Gulland (1961), and Schnute (1977). A Serial Seminars Published by Oceana XII(2):119-130.
- [21] Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Lampiran 1. Hasil analisis regresi Model Produksi Surplus**1. Model Schaefer****Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.826 ^a	.682	.665	.0390569

a. Predictors: (Constant), Et

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.059	1	.059	38.692	.000 ^b
Residual	.027	18	.002		
Total	.086	19			

a. Dependent Variable: Ut

b. Predictors: (Constant), Et

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.524	.049		10.720	.000
	Et	-7.364E-005	.000	-.826	-6.220	.000

a. Dependent Variable: Ut

2. Model Fox**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.854 ^a	.729	.714	.13672728

a. Predictors: (Constant), Et

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.907	1	.907	48.524	.000 ^b
Residual	.336	18	.019		
Total	1.244	19			

a. Dependent Variable: LnCtperEt

b. Predictors: (Constant), Et

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.352	.171		-2.055	.055
	Et	.000	.000	-.854	-6.966	.000

a. Dependent Variable: LnCtperEt

3. Model Schnute**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.334 ^a	.112	.001	.2077956

a. Predictors: (Constant), $(E_t + E_{t+1})/2$, $(U_t + U_{t+1})/2$ **ANOVA^a**

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.087	2	.043	1.007	.387 ^b
	Residual	.691	16	.043		
	Total	.778	18			

a. Dependent Variable: $\ln(U_{t+1}/U_t)$ b. Predictors: (Constant), $(E_t + E_{t+1})/2$, $(U_t + U_{t+1})/2$ **Coefficients^a**

	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.345	.972		1.384	.185
	$(U_t + U_{t+1})/2$	-2.278	1.734	-.660	-1.313	.208
	$(E_t + E_{t+1})/2$	.000	.000	-.710	-1.412	.177

a. Dependent Variable: $\ln(U_{t+1}/U_t)$ **4. Model Walter - Hilborn****Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.796 ^a	.634	.588	.1031662

a. Predictors: (Constant), E_t , U_t **ANOVA^a**

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.295	2	.147	13.852	.000 ^b
	Residual	.170	16	.011		
	Total	.465	18			

a. Dependent Variable: $(U_{t+1}/U_t) - 1$ b. Predictors: (Constant), E_t , U_t **Coefficients^a**

	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.798	.353		5.098	.000
	U_t	-3.268	.630	-1.365	-5.185	.000
	E_t	.000	.000	-1.254	-4.764	.000

a. Dependent Variable: $(U_{t+1}/U_t) - 1$

5. Model CYP

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.871 ^a	.759	.729	.13200675

a. Predictors: (Constant), Et + Et+1, Ln Ut

ANOVA^a

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.877	2	.438	25.159	.000 ^b
	Residual	.279	16	.017		
	Total	1.156	18			

a. Dependent Variable: Ln Ut+1

b. Predictors: (Constant), Et + Et+1, Ln Ut

Coefficients^a

	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.264	.199		-1.327	.203
	Ln Ut	-.018	.195	-.018	-.095	.926
	Et + Et+1	.000	.000	-.885	-4.621	.000

a. Dependent Variable: Ln Ut+1

Lampiran 2. Validasi model produksi surplus

Tahun	C _t (ton)	E _t (trip)	Validasi : $Abs(\frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t})$				CYP
			Schaefer	Fox	Schnute	Walter-Hilborn	
1995	700,0	2411	0.29329	0,20676	0,26803	0,22241	1.62157
1996	715,9	2500	0,18697	0,19244	0,25698	0,21421	1.65662
1997	923,4	2515	0,07725	0,07399	0,02340	0,05630	1.07182
1998	1347,4	3200	0,31518	0,33756	0,29838	0,30889	.79952
1999	798,1	4215	0,12812	0,09860	0,06609	0,10265	2.97843
2000	847,5	4200	0,06406	0,03536	0,00723	0,04071	2.73352
2001	908,3	4117	0,00092	0,03005	0,04409	0,01767	2.41640
2002	864,2	4200	0,04350	0,01535	0,01224	0,02060	2.66138
2003	891,2	4206	0,01124	0,01571	0,04340	0,01120	2.55540
2004	920,1	4321	0,03351	0,05258	0,09790	0,05982	2.53554
2005	983,3	4360	0,10020	0,11549	0,16420	0,12632	2.33741
2006	926,6	4372	0,04668	0,06205	0,11584	0,07849	2.55113
2007	900,2	4512	0,03898	0,04313	0,12545	0,07410	2.76928
2008	906,4	4501	0,04385	0,04897	0,12851	0,07825	2.73461
2009	873,2	4522	0,01088	0,01421	0,10118	0,04755	2.89422
2010	826,5	4611	0,02901	0,03502	0,07748	0,01415	3.19307
2011	853,2	4620	0,00483	0,00198	0,10909	0,04708	3.06957
2012	869,3	4613	0,02201	0,01608	0,12349	0,06314	2.98831
2013	722,4	4621	0,17514	0,18331	0,05185	0,12518	3.80743
2014			0,15843	0,17769			3.89382
	721,6	4701					
Rataan	874,940	4066	0,08420	0,08781	0,11130	0,0897	2,5634

1. Model Schaefer : $\hat{C}_t = 0,524E_t - 0,00007364 E_t^2$

2. Model Fox : $\hat{C}_t = E_t \cdot e^{(-0,352-0,000289 E_t)}$

3. Model Schnute :

$$\hat{Y} = a - b X_1 - c X_2 = 1,345 - 2,278 X_1 - 0,000210 X_2$$

$$r = a = 1,345 \quad q = c = 0,000210 \quad b = \frac{r}{Kq} = 2,278$$

$$K = \frac{r}{bq} = \frac{1,345}{(2,278)(0,000210)} = 2811,57$$

$$\hat{C}_t = KqE_t - \frac{Kq^2}{r} E_t^2 = 0,5904 E_t - 0,00009218 E_t^2$$

4. Model Walter – Hilborn :

$$\hat{Y} = a - b X_1 - c X_2 = 1,798 - 3,268 X_1 - 0,000264 X_2$$

$$r = a = 1,798 \quad q = c = 0,000264 \quad b = \frac{r}{Kq} = 3,268$$

$$K = \frac{r}{bq} = \frac{1,798}{(3,268)(0,000264)} = 2084,03$$

$$\hat{C}_t = KqE_t - \frac{Kq^2}{r} E_t^2 = 0,5502 E_t - 0,000081 E_t^2$$

5. Model CYP : $\hat{Y} = a + b X_1 - c X_2 = -0,264 - 0,018 X_1 - 0,000159 X_2$

$$r = \frac{2(1-b)}{1+b} = \frac{2(1+0,018)}{1-0,018} = 2,0733 \quad q = -c(2-r) = -0,000159(2-2,0733) = 0,00001165$$

$$Q = \frac{a(2+r)}{2r} = \frac{-0,264(2+2,0733)}{2(2,0733)} = -0,25933$$

$$K = \frac{e^Q}{q} = \frac{e^{-0,25933}}{0,00001165} = 66229,04$$

$$\hat{C}_t = KqE_t - \frac{Kq^2}{r} E_t^2 = 0,7716 E_t - 0,00000434 E_t^2$$

ANALISIS DESKRIPSI FAKTOR- FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KASUS GIZI BURUK PADA BALITA DI SUMBA TIMUR NTT

KERISTINA BR GINTING¹, RAPMAIDA M. PANGARIBUAN²,
MEKSANIS Z. NDII³

¹Universitas Nusa Cendana, nandeeky@gmail.com

² Universitas Nusa Cendana, rapmaida_pangaribuan@yahoo.com

³ Universitas Nusa Cendana, meksand@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengkaji dari aspek matematika faktor- faktor dominan penyebab kasus Gizi kurang dan gizi Buruk pada balita di wilayah Daratan Sumba Timur. Metode penelitian ini menggunakan kajian matematika bidang statistik terapan yaitu Analisis Diskriptif dari data kasus Gizi buruk dan Gizi Kurang pada balita yang dikumpulkan, Analisis Uji Khi-kuadrat untuk menentukan Presentasi hubungan penyebab Gizi Buruk dan Gizi Kurang Balita, model logistik faktor yang dominan penyebab Gizi Buruk balita di Sumba Timur. Hasil penelitian diperoleh parameter yang paling dominan mempengaruhi balita menderita gizi buruk; pendidikan ibu tidak tamat SD, Pendapatan keluarga di bawah satu juta per bulan, balita mengkonsumsi makanan kurang bergizi dua sampai tiga kali sehari, balita sering sakit Malaria/diare serta cara penyembuhan dengan obat tradisional, Jarak Kelahiran kurang dari 2 tahun dan adanya budaya bayar belis yang belum lunas dalam keluarga.

Kata Kunci: Khi kuadrat, Regresi Logistik, Gizi Kurang dan Gizi Buruk

1. PENDAHULUAN

Kasus gizi Kurang terjadi di hampir semua kabupaten di NTT. Kasus terbanyak di Kabupaten Sumba Timur, Sumba Barat Daya, Kabupaten Kupang, Kabupaten Timor Tengah Selatan, dan Kabupaten Timor Tengah Utara. Tahun 2014 tercatat 2.100 anak penderita gizi buruk dan 15 anak di antaranya meninggal, serta tercatat 3.121 anak balita mengalami kurang gizi. Masalah gizi buruk kini sudah menjadi masalah yang sangat pelik dan pantas untuk dijadikan prioritas oleh pemerintah.

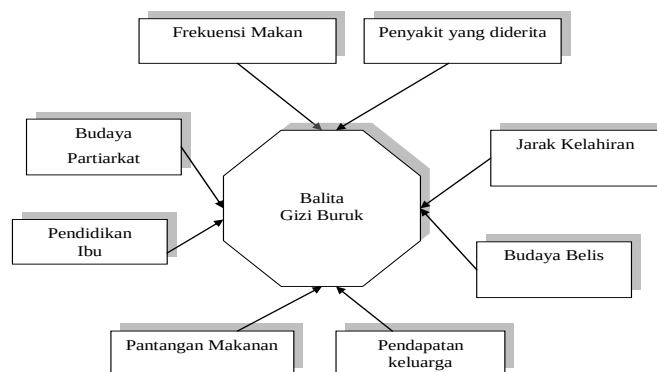
Kasus gizi buruk di NTT masih tinggi, dari 520.188 jumlah balita terdapat 103 balita penderita gizi buruk dengan Marasmus-Kwashiorkor, 12.319 penderita gizi buruk tanpa marasmus-kwashiorkor, 67.648 penderita kurang gizi dan 32 meninggal dunia. Kabupaten yang paling banyak terdapat balita gizi buruk dengan marasmus-kwashiorkor adalah Kabupaten Sumba Barat Daya yakni 34 balita, disusul Timor Tengah Utara (TTU) 17 balita dan Rote Ndao 15 balita. Sedangkan untuk balita gizi buruk tanpa marasmus-kwashiorkor paling banyak terdapat di Kabupaten, Timor Tengah Selatan (TTS) yakni berjumlah 3.116 balita dari total balita sebanyak 53.608 balita, Kupang 2.192 balita dari 42.721 balita, Sumba Barat Daya 885 balita dari 33.344 balita.

Dalam penelitian ini akan dikaji dari aspek matematika terapan dengan mendeskripsikan untuk menganalisa penyebab gizi Kurang pada Balita di wilayah kabupaten Sumba Timur NTT. Masalahnya adalah bagaimana Analisis Khi kuadrat untuk menganalisa faktor penyebab yang berhubungan dengan penderita gizi Buruk dan Gizi kurang? Bagaimana model Khi kuadrat yang diperoleh dapat dipakai untuk menjelaskan fenomena penyebab gizi Buruk dan kurang pada Balita di wilayah kabupaten Sumba Timur NTT dalam Rencana Aksi Nasional Pencegahan dan penanggulangan gizi kurang / buruk di Indonesia

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Variabel Penelitian

Variabel yang diperlukan dalam penelitian ini adalah: Pendidikan Ibu (X_1), Pekerjaan Ibu (X_2), Pendapatan Orang tua Balita (X_3), Frekuensi Mengkonsumsi Makanan (X_4), jenis Makanan Di konsumsi Balita (X_5), Kondisi Kesehatan Balita (X_6), Budaya Bayar Belis (X_6), Budaya belis (X_7). Hutang Belis (X_8), Budaya Partiarkat (X_9), Jumlah Anak (X_{10}), Jarak Kelahiran (X_{11})



2.2 Teknik Pengambilan Data

Data penelitian adalah data primer yang diambil langsung di Puskesmas dengan wawancara melalui lembaran kuesioner. Peneliti dibantu oleh beberapa mahasiswa melakukan pengamatan secara langsung melalui lembaran kuesioner dan mencatat data dari Puskesmas. Data sekunder diambil di Puskesmas, Dinkes Kabupaten Kabupaten Sumba Timur.

2.1 Kajian dan Analisis Data

1. Fenomena Kasus Malaria Balita di NTT
Mendiskripsikan dalam tabel dan grafik kasus gizi buruk di Sumba Timur.
2. Analisis Khi-Kuadrat

$$\text{Statistik uji khi-kuadrat adalah : } \chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(X_{ij} - C_{ij})^2}{C_{ij}}$$

3. HASIL

3.1 Fenomena Malaria/Gizi Buruk di NTT

Kasus gizi buruk di NTT masih tinggi, dari 520.188 jumlah balita terdapat 103 balita penderita gizi buruk dengan Marasmus-Kwashiorkor, 12.319 penderita gizi buruk tanpa marasmus-kwashiorkor, 67.648 penderita kurang gizi dan 32 meninggal dunia. Kabupaten yang paling banyak terdapat balita gizi buruk dengan marasmus-kwashiorkor adalah Kabupaten Sumba Barat Daya yakni 34 balita, disusul Timor Tengah Utara (TTU) 17 balita dan Rote Ndao 15 balita. Sedangkan untuk balita gizi buruk tanpa marasmus-kwashiorkor paling banyak terdapat di Kabupaten, Timor Tengah Selatan (TTS) yakni berjumlah 3.116 balita dari total balita sebanyak 53.608 balita, Kupang 2.192 balita dari 42.721 balita, Sumba Barat Daya 885 balita dari 33.344 balita. Kabupaten yang paling rendah balita kurang gizi terdapat di Kabupaten Sumba Timur yakni berjumlah 552 dari total balita sebanyak 23.352 balita. Berikut ini adalah tabel Kasus Malaria, Gizi Buruk/Kurang yang ada di Sumba Timur.

Kabupaten Sumba Timur yang termasuk dalam 10 kabupaten dengan jumlah penderita malaria terbanyak dari 21 Kabupaten/ Kota yang ada di Provinsi NTT (Dinkes Propinsi NTT, 2013), memiliki jumlah penderita malaria pada balita yang cukup banyak dan tersebar di berbagai kecamatan yang ada di kabupaten ini.

Berikut ini adalah kasus gizi buruk /gizi kurang balita di Sumba Timur NTT sebagai berikut :

Tabel 5.1. Data Kasus Gizi Buruk/ kurang Balita di Sumba Timur

No	Puskesmas	Gizi Buruk/Kurang	No	Puskesmas	Gizi Buruk/Kurang
1	Waingapu	133	12	Kombapari	208
2	Kambaniru	346	13	Goa	80
3	Kawangu	508	14	Lewa	312
4	Kataka	213	15	Nggongi	54
5	Malolo	186	16	Rembangaru	182
6	Mangili	459	17	Tanarara	186
7	Baing	171	18	Kambata	128
8	Kananggar	101	19	Ngadu Ngala	43
9	Tanaraing	156	20	Mahu	102
10	Lailunggi	71	21	Lewa Tidahu	61
11	Malahar	125	22	Kanatang	46

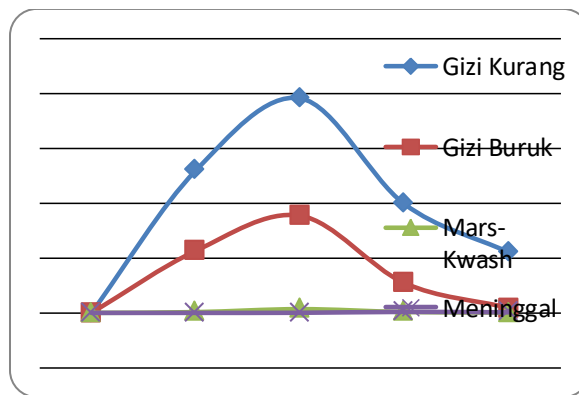
Sumber: Dinkes Sumba Timur 2014.

Kabupaten Sumba Timur ada 22 puskesmas berikut jumlah balita penderita gizi kurang dan gizi buruk berdasarkan kunjungan pada puskesmas.

No	Kabupaten/ Kota	Jumlah Balita	Gizi Kurang	Gizi Buruk	Mars- Kwash	Meninggal
1	Sumba Barat	11.498	1.296	565	7	0
2	Sumba Barat Daya	33.344	1.954	885	34	1
3	Sumba Tengah	7.654	992	272	8	9
4	Sumba Timur	23.352	552	46	4	5
	Σ	520.188	67.648	12.319	103	32

Sumber: Dinkes Provinsi NTT 2014.

Berikut grafik jumlah Kasus Gizi Kurang Dan Gizi pada balita di wilayah daratan Sumba berdasarkan kunjungan pada puskesmas (Gambar 1)



Gambar1. Status Gizi Balita di Sumba NTT Tahun 2014

3.2. Analisis Deskriptif Kasus Gizi Kurang Dan Gizi Buruk Balita di Sumba Timur

Tabel 1. Persentase Pendidikan Ibu Mempengaruhi Status Gizi Balita

		pendidikan ibu			Total
		SD ke bawah	SMP	SMA ke atas	
status gizi	buruk	Count	30	1	0
		% within status gizi	96.8%	3.2%	100.0%
	kurang	Count	68	14	2
		% within status gizi	81.0%	16.7%	100.0%
	baik	Count	53	28	14
		% within status gizi	55.8%	29.5%	100.0%
Total		Count	151	43	16
		% within status gizi	71.9%	20.5%	7.6%

Berdasarkan tabel 1 hasil analisis deskriptif dari 151 ibu yang memiliki Balita dengan berpendidikan hanya SD kebawah menjelaskan bahwa 96.8% balita menderita gizi

buruk, 81.0% balita dengan status gizi kurang. Terdapat 32 ibu yang memiliki Balita dengan berpendidikan SMP menjelaskan bahwa 3.2 % balita menderita gizi buruk, 16.7% balita dengan status gizi kurang. Sedangkan ibu yang memiliki Balita dengan berpendidikan SMA hanya 24% balita status gizi kurang .

Tabel 2. Analisis Khi-kuadrat Pendidikan Ibu Mempengaruhi Kasus Gizi Balita

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	27.614 ^a	4	.000
Likelihood Ratio	31.799	4	.000
Linear-by-Linear Association	25.277	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 1 cells (11,1%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2,36.

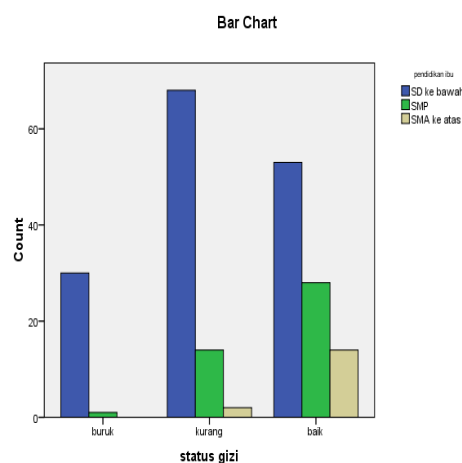
Hipotesis hubungan antara pendidikan Ibu yang Mempengaruhi Status Gizi pada Balita adalah :

Statistik uji khi-kuadrat adalah :

$$\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(X_{ij} - C_{ij})^2}{C_{ij}} = 27.61$$

Berdasarkan hasil analisis khi- kuadrat tabel 5.5 menjelaskan bahwa khi- kuadrat hitung adalah 27.61 sedangkan khi- kuadrat tabel dengan tingkat signifikasi ($\alpha = 5\%$) dan derajat kebebasan (df = 4) adalah 9.49 atau dapat ditulis : $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$ maka H_o ditolak, artinya ada hubungan pendidikan Ibu terhadap kasus Gizi Buruk pada Balita.

Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_o ditolak. Jadi kedua analisis 1 hasilnya yaitu H_o ditolak, artinya ada hubungan pendidikan Ibu terhadap kasus Gizi Buruk pada Balita. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pendidikan ibu mempengaruhi status gizi balita. Ibu Balita yang berpendidikan rendah biasanya kurang kreatif dalam memasak atau mengolah bahan makanan yang ada disekitar lingkunganya seperti Sayuran, Kacang Hijau, Telor , ikan , buah pisang, Pepaya. Sehingga anak balitanya sering hanya di kasih bubur dan nasi putih saja atau tidak diberi makanan yang bergizi seimbang, seperti yang dideskripsikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pendidikan Ibu Mempengaruhi Kasus Gizi Buruk pada Balita

Tabel 3. Hubungan Pekerjaan Ibu Terhadap Status Gizi Balita

Crosstab					
			pekerjaan ibu		Total
			petani/ nelayan	PNS/ Wiraswasta/ lain-lain	
status gizi	buruk	Count	30	1	31
		% within status gizi	96.8%	3.2%	100.0%
	kurang	Count	78	6	84
		% within status gizi	92.9%	7.1%	100.0%
	baik	Count	65	30	95
		% within status gizi	68.4%	31.6%	100.0%
Total	Count	173	37	210	
	% within status gizi	82.4%	17.6%	100.0%	

Berdasarkan hasil analisis deskriptif dari 173 reponden keluarga yang pekerjaan Orang Tua Petani/ Nelayan memiliki balita yang Penderita Gizi Buruk 96.8 %, Gizi Kurang 92.9 %. Sedangkan 59 responden keluarga yang pekerjaan Pedagang /Wiraswasta memiliki balita yang Gizi Buruk 3.2%, gizi Kurang 7.1%. Hal ini sangat mungkin, sebab ibu yang berpendidikan rendah dan pekerjaan petani kurang mampu membeli makanan yang bergizi serta tidak kreatif dalam mengolah masakan yang bahan tersedia di lingkungan sekitar , hal ini berpengaruh terhadap status gizi balitanya.

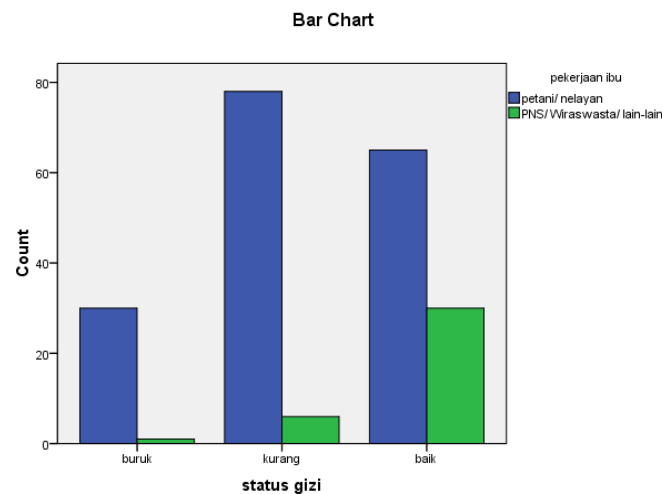
Tabel 4. Analisis Khi-Kuadrat Pekerjaan Orang Tua dengan Status Gizi Balita

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	23.531 ^a	2	.000
Likelihood Ratio	24.979	2	.000
Linear-by-Linear Association	20.226	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.46.

Hasil analisis Khi- kuadrat diperoleh khi- kuadrat hitung adalah $\chi^2_{hitung} = 23.53$. Sedangkan Khi-kuadrat tabel dengan tingkat signifikasi ($\alpha = 5\%$) dan derajat kebebasan ($df = 2$) adalah $\chi^2_{tabel} = 5,99$ atau dapat ditulis $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$ maka H_o di tolak, artinya ada hubungan antara pekerjaan orang tua dengan status Gizi Balita. Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_o ditolak.

Jadi dapat disimpulkan bahwa jika Balita yang orang tuanya pekerjaan petani/nelayan lebih besar ber peluang gizi kurang dan gizi buruk seperti yang dideskripsikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pendapatan Orang Tua mempengaruhi Status Gizi Balita

Balita yang orang tuanya pekerjaan petani/nelayan cukup signifikan terhadap balita yang menderita gizi kurang dan gizi buruk jika dibanding dengan balita yang orang tuanya pekerjaan PNS dan Pedagang.

3.3 Hubungan Pendapatan Orang Tua Terhadap Status Gizi Balita

Berdasarkan analisis deskripsi tabel 5.8 menjelaskan keluarga menjelaskan bahwa ada 135 responden dengan pendapatan keluarga kurang dari 1 juta per bulan lebih cenderung memiliki balita dengan menderita gizi buruk 93.5%, gizi kurang 92.9% dan gizi baik 29.5%. Responden keluarga dengan pendapatan antara 1 juta sampai 2 juta perbulan memiliki balita dengan menderita gizi buruk dengan klainan marasmus atau kwashiorkor 6.5%, gizi kurang 7.1% dan gizi baik 70.5 %.

Pendapatan sangat berarti bagi sebuah keluarga dalam usaha pemenuhan kebutuhan hidup mereka. Semakin tinggi pendapatan makin tinggi juga daya beli terhadap semua jenis barang dan jasa, termasuk daya beli terhadap makanan yang bergizi (Yuniastuti, 2008). Tidak dapat dipungkiri bahwa, pendapatan para responden di wilayah pedesaan di Sumba kebanyakan di bawah 1 juta per bulan. Ini memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kejadian gizi buruk di NTT khususnya di daerah pedesaan sesuai dengan peserta responden. Hal ini sejalan dengan apa yang diungkapkan oleh Ren (2007) dan Margaretha (2009), bahwa kemiskinan yang paling mempengaruhi gizi buruk pada balita.

Tabel 5. Analisis Khi-Kuadrat Pendapatan Orang Tua Terhadap Status Gizi Balita

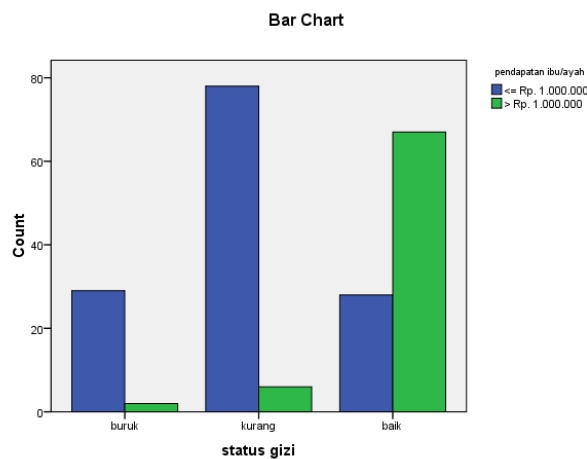
Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	91.573 ^a	2	.000
Likelihood Ratio	100.472	2	.000
Linear-by-Linear Association	72.292	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 11.07.

Berdasarkan hasil analisis khi- kuadrat menjelaskan bahwa khi-kuadrat hitung adalah

$$\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(X_{ij} - C_{ij})^2}{C_{ij}} = 91.57$$

Sedangkan khi- kuadrat tabel dengan tingkat signifikasi ($\alpha = 5\%$) dan Khi-kuadrat tabel 5. dengan tingkat signifikasi ($\alpha = 5\%$) dan derajat kebebasan ($df = 2$) adalah $\chi^2_{tabel} = 5,99$ atau dapat ditulis: $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$ maka H_o di tolak, artinya ada hubungan pendapatan orang tua mempengaruhi status gizi balita. Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.signifikan lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_o ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika pendapatan orang tua rendah tidak mampu memberi asupan makanan yang bergizi seimbang menyebabkan balita menderita gizi buruk, seperti yang dideskripsikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pendapatan Orang Tua mempengaruhi Status Gizi Balita

Di beberapa wilayah kerja puskesmas yang pendapatan penduduk golongan rendah akan berdampak kepada pemenuhan bahan makanan terutama makanan yang bergizi. Keterbatasan ekonomi yang berarti ketidakmampuan daya beli keluarga yang berarti tidak mampu membeli bahan makanan yang berkualitas baik, maka pemenuhan gizi pada balitanya juga akan terganggu.

3.4 Hubungan Frekuensi Mengkonsumsi Makanan mempengaruhi Status Gizi Balita

Berdasarkan hasil analisis deskripsi pada tabel 6. yang frekuensi pemberian makanan dengan nasi kosong 3 kali dalam sehari menjelaskan bahwa 87.1% balita menderita gizi Buruk. Dan 95 balita yang mengkonsumsi makanan bergizi 3 kali dalam sehari menderita gizi kurang 14.3 %, gizi baik 83,2 %.

Dalam satu hari Balita lebih sering makan balita hanya nasi kosong, jagung,ubi kalau sudah musim kering tanpa lauk dan sayuran, jadi asupan makanan diberikan pada balita tidak memenuhi gizi yang seimbang. Balita yang mengkonsumsi makanan bergizi kurang dari 3 kali dalam sehari lebih banyak menderita gizi kurang dan gizi buruk. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Bessie (2007) di wilayah kerja puskesmas Lurasik, yang menyebutkan bahwa lebih banyak anak balita yang menderita gizi buruk akibat frekuensi makan kurang dari tiga kali sehari.

Tabel 6. Analisis khi-Kuadrat Frekuensi Mengkonsumsi Makanan Terhadap Status Gizi

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	1.007E2 ^a	2	.000
Likelihood Ratio	110.332	2	.000
Linear-by-Linear Association	79.989	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 14.02.

Hipotesis hubungan antara frekuensi makan status gizi buruk balita adalah :

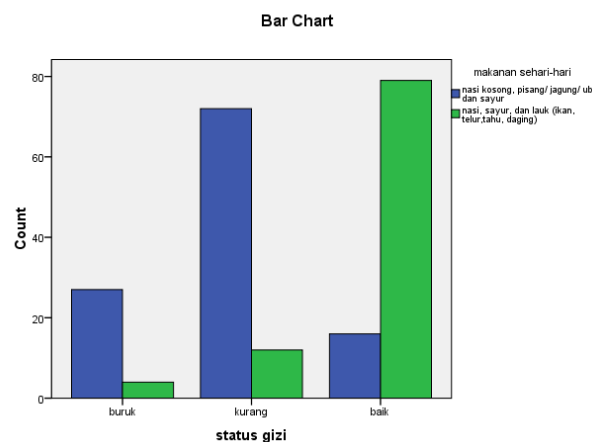
H_o : Tidak ada hubungan antara frekuensi makan dengan kasus gizi buruk balita

H_1 : Terdapat hubungan antara frekuensi makan dengan kasus gizi buruk balita

Statistik uji khi-kuadrat adalah $\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(X_{ij} - C_{ij})^2}{C_{ij}} = 0.01$

Berdasarkan hasil analisis khi- kuadrat tabel 5.11. menjelaskan bahwa $\chi^2_{hitung} = 0.01$, dengan Khi-kuadrat tabel dengan tingkat signifikasi ($\alpha = 5\%$) dan derajat kebebasan ($df = 2$) adalah $\chi^2_{tabel} = 5,99$ sehingga $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$. Jadi H_o diterima, artinya ada hubungan signifikan frekuensi makan terhadap status gizi buruk pada balita.

Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_o ditolak. Jadi kedua analisis pada Tabel 6 sama hasilnya yaitu H_o ditolak, artinya ada hubungan frekuensi makan terhadap status gizi buruk pada balita Jadi dapat disimpulkan bahwa jika makin sering balita makan dengan makanan yang bergizi dalam sehari maka peluangnya lebih kecil menderita gizi buruk, seperti yang dideskripsikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kebiasaan Konsumsi Makanan Mempengaruhi Status Gizi

Tabel 7. Persentase Kodisi Kesehatan terhadap Status Gizi Balita

Crosstab					
			kodisi kesehatan balita		Total
			sering sakit	tidak sering sakit	
status gizi	buruk	Count	26	5	31
		% within status gizi	83.9%	16.1%	100.0%
	kurang	Count	64	20	84
		% within status gizi	76.2%	23.8%	100.0%
	baik	Count	43	52	95
		% within status gizi	45.3%	54.7%	100.0%
	Total	Count	133	77	210
		% within status gizi	63.3%	36.7%	100.0%

3.5 Hubungan Kondisi Kesehatan terhadap Status Gizi Balita

Hasil analisis deskriptisi tabel 7 balita yang sering menderita sakit 133 responden menderita gizi buruk 83.9 %, dan gizi kurang 76.2%. Dan hanya 77 balita yang jarang sakit seperti penyakit ISPA dan Diare menderita gizi buruk gizi kurang 16,1%, dan gizi baik 54.7% .

Balita yang sering sakit cenderung menderita gizi kurang atau gizi buruk karena asupan gizi yang ada dalam diri seorang balita terbagi dengan upaya pemulihan penyakit yang tengah dideritanya, bahwa apabila anak balita sering menderita suatu penyakit, maka kemungkinan besar ia juga akan menderita gizi buruk. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sinaga (2004) .

Tabel 8. Analisis Khi-kuadrat Kodisi Kesehatan terhadap Status Gizi Balita

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	24.968 ^a	2	.000
Likelihood Ratio	25.560	2	.000
Linear-by-Linear Association	22.287	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 11,37.

Berdasarkan hasil analisis khi- kuadrat tabel 8 menjelaskan bahwa $\chi^2_{hitung} = 25.66$ dengan $\alpha = 0.05$, $df = 2$ diperoleh $\chi^2_{tabel} = 5,99$ sehingga $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$. Sehingga H_0 di tolak , artinya ada hubungan penyakit yang diderita balita terhadap status gizi buruk. Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_0 ditolak. Jadi analisis persentase dan khi-kuadrat sama hasilnya yaitu H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika balita sering menderita suatu penyakit, lebih cenderung akan menderita gizi buruk karena asupan gizi yang ada dalam diri seorang balita terbagi dengan upaya pemulihan penyakit dideritanya.

Tabel 9. Persentase Budaya Bayar Balis Terhadap Status Gizi Balita

			hutang belis keluarga bapa ke ibu		Total
			belum lunas	sudah lunas	
status gizi	buruk	Count	18	13	31
		% within status gizi	58.1%	41.9%	100.0%
	kurang	Count	42	42	84
		% within status gizi	50.0%	50.0%	100.0%
	baik	Count	24	71	95
		% within status gizi	25.3%	74.7%	100.0%
Total	Count	84	126	210	
	% within status gizi	40.0%	60.0%	100.0%	

3.6 Hubungan Budaya Bayar Belis Terhadap Status Gizi Balita

Berdasarkan tabel 9 dijelaskan bahwa responden yang ada budaya belum melunasi belis memiliki balita menderita gizi buruk dengan gizi buruk 58.1 %, dan gizi kurang 50.0%. Dan responden sudah melunasi belis memiliki balita menderita gizi buruk 41.9%, gizi kurang 50.0%, dan gizi baik 74.7%. Hal ini dapat terjadi sebab belis atau bayar ganti air susu ibu merupakan adat yang merupakan suatu status sosial dalam keluarga yang harus dilunasi bagi keluarga perempuan (Ibu). Ada beberapa responden yang mengaku selain memenuhi kebutuhan hidup dalam rumah tangga juga ada kewajiban melunasi belis atau bayar adat yang terhadap keluarga besar dari pihak perempuan. Begitu pula setiap kali ada kegiatan adat dalam keluarga seperti pesta nikah, sambut baru, kematian setiap keluarga ada sumbangan berupa uang atau hewan yang harganya cukup besar, sehingga kepentingan asupan makanan yang bergizi bagi balita bukan yang prioritas lagi. Sering sekali hewan piaran (Kuda, Babi, Kerbau, ayam, sapi, kambing dll) yang seharusnya bisa menambah pendapatan keluarga untuk memenuhi kebutuhan dalam rumah tangga, terpaksa diberikan kepada pihak keluarga perempuan.

Tabel 10. Analisis khi-kuadrat Budaya Bayar Belis Terhadap Status Gizi Balita

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	16.312 ^a	2	.000
Likelihood Ratio	16.662	2	.000
Linear-by-Linear Association	14.959	1	.000
N of Valid Cases	210		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 12.40.

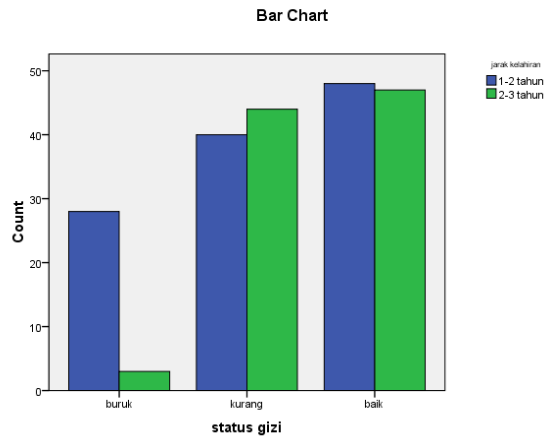
Berdasarkan hasil analisis khi-kuadrat menjelaskan $\chi^2_{hitung} = 16.3$ dengan $\alpha = 0.05$, $df = 2$ diperoleh $\chi^2_{tabel} = 5.99$ sehingga $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$. Sehingga H_0 ditolak, artinya ada hubungan antara budaya belis terhadap status gizi buruk pada balita. Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_0 ditolak. Jadi analisis persentase dan khi-kuadrat sama hasilnya yaitu H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika budaya bayar belis berpengaruh terhadap gizi buruk pada balita bagi keluarga yang belum lunas bayar belis, seperti yang dideskripsikan pada grafik histogram berikut ini:

3.7 Jarak Kelahiran Terhadap Gizi Buruk

Berdasarkan hasil analisis deskriptif dari 116 responden menggambarkan bahwa ibu yang melahirkan bayi dengan jarak kelahiran kurang dari 2 tahun memiliki balita status gizi buruk 33.2 %, balita menderita gizi kurang 90.3%, dan balita menderita gizi kurang 47.6%. Dan ibu yang memiliki jarak kelahiran lebih dari 2 tahun anak balitanya menderita gizi buruk 15.7%, gizi buruk 9.7%, dan gizi kurang 52.4%. Hal ini sangat mungkin terjadi sebab, semakin dekat jarak kelahiran anak oleh seorang ibu, maka akan semakin mempengaruhi pola asuh dari Ibu tersebut.

Berdasarkan hasil analisis Khi- kuadrat tabel 12. menjelaskan bahwa khi- kuadrat hitung adalah 18.26 $\alpha = 0.05$, $df = 2$ diperoleh $\chi^2_{tabel} = 5.99$ sehingga $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$ maka H_0 ditolak, artinya ada hubungan antara jarak kelahiran terhadap status gizi buruk pada balita.

Analisis berdasarkan probabilitas Asymp.sig lebih kecil dari probabilitas 0.05 maka H_0 ditolak. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika ibu yang mempunyai jarak kelahiran anak lebih dari 3 tahun peluang balita menderita gizi buruk lebih kecil seperti yang dideskripsikan pada Gambar 6.



Grafik 6. Jarak Kelahiran terhadap status gizi Balita

Jarak kelahiran balita yang kurang dari 2 tahun cukup signifikan terhadap balita yang menderita gizi buruk jika dibanding dengan balita yang mempunyai jarak kelahiran lebih dari 2 tahun. Hal ini dimaksudkan agar Ibu memiliki kesempatan untuk memperbaiki gizi anak tersebut dan juga dirinya. Selain itu, jarak ini akan memungkinkan orang tua mencurahkan kasih sayang yang berlimpah kepada anak tersebut. Segala kebutuhan akan zat gizi terpenuhi dengan baik. Hal ini memungkinkan anak dapat terhindar dari segala jenis penyakit termasuk gizi buruk.

3.8 Model Logistik Faktor Penyebab Gizi kurang dan Gizi Buruk Balita di Sumba Timur

Hasil analisis pengujian likelihood ratio test pada tabel 11. menjelaskan bahwa parameter $\beta_0 = 0.014$. Sehingga model multinomial logit pengujian secara simultan adalah :

Tabel 11. Hasil Model Logit Likelihood di Sumba Timur

Effect	Model Fitting Criteria	Likelihood Ratio Tests		
		-2 Log Likelihood of Reduced Model	Chi-Square	Sig.
Intercept	1.40562 ^a			
x1	159.997	19.454	4	.001
x2	144.911	4.366	2	.113
x3	170.217	29.673	2	.000
x4	144.116	3.573	2	.168
x5	185.785	45.241	2	.000
x6	153.847	13.303	2	.001
x7	142.764	2.220	2	.330
x8	142.394	1.851	2	.396
x9	155.549	15.005	2	.001
x10	144.844	4.300	2	.116
x11	156.514	15.970	2	.000

The chi-square statistic is the difference in -2 log-likelihoods between the final model and a reduced model. The reduced model is formed by omitting an effect from the final model. The null hypothesis is that all parameters of that effect are 0. a. This reduced model is equivalent to the final model because omitting the effect does not increase the degrees of freedom.

$$Z = 0.014 + 160X_1 + 170.2X_3 + 185.8X_5 + 153.8X_6 + 155.54X_9 + 156.5X_{11}$$

$$\text{Sehingga } p = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{Z=0.014+160X_1+170.2X_3+185.8X_5+153.8X_6}{155.54X_9+156.5X_{11}} \right)}}$$

Hasil analisis Estimasi Parameter (β) secara parsial pada tabel 12. diperoleh model logistik pada kasus gizi buruk balita di Sumba timur sebagai berikut:

$$Z_1 = -29.68 + 18.52X_{11} + 3.6X_{31} + 4.6X_{51} + 2.2X_{61} + 4.1X_{91} + 2.59X_{111}$$

Model logistik pada kasus gizi Kurang pada balita di Sumba Timur, sebagai berikut

$$Z_2 = -7.41 + 3.31X_{31} + 4.01X_{51} - 18.28X_{21} + 2.3X_{61} + 2.98X_{91}$$

Tabel 12 . Hasil Estimasi Parameter Penyebab Gizi Buruk Balita di Sumba Timur

Parameter Estimates							95% Confidence Interval for Exp (B)	
status gizi ^a		B	Std. Error	Wald	df	Sig.	Exp(B)	
buruk	Intercept	-29.680	2.937	109.428	1	.000		
	[x1=1]	18.520	1.365	184.060	1	.000	1.104E8	7605513.526
	[x1=2]	14.056	.000		1		1.272E6	1272237.673
	[x1=3]	0 ^b			0			
	[x2=1]	2.568	1.714	2.245	1	.134	13.044	453
	[x2=2]	0 ^a			0			
	[x3=1]	3.603	1.194	9.099	1	.003	36.700	3.532
	[x3=2]	0 ^a			0			
	[x4=1]	-1.431	1.270	1.271	1	.260	.239	.020
	[x4=2]	0 ^a			0			
	[x5=1]	4.609	1.017	20.534	1	.000	100.369	13.673
	[x5=2]	0 ^a			0			
	[x6=1]	2.206	.912	5.847	1	.016	9.082	1.519
	[x6=2]	0 ^a			0			
	[x7=1]	.841	1.038	.656	1	.418	2.319	.303
	[x7=2]	0 ^a			0			
	[x8=1]	.816	.780	1.095	1	.295	2.261	.490
	[x8=2]	0 ^a			0			
	[x9=1]	4.108	1.169	12.349	1	.000	60.802	6.151
	[x9=2]	0 ^a			0			
kurang	[x10=1]	-.014	.824	.000	1	.986	.986	.196
	[x10=2]	0 ^a			0			
	[x11=1]	2.590	.937	7.646	1	.006	13.330	2.126
	[x11=2]	0 ^a			0			
	Intercept	-7.407	1.577	22.067	1	.000		
	[x1=1]	.842	1.028	.670	1	.413	2.320	.309
	[x1=2]	-1.506	1.167	1.666	1	.197	.222	.023
	[x1=3]	0 ^a			0			
	[x2=1]	1.977	1.064	3.451	1	.063	7.222	.897
	[x2=2]	0 ^a			0			
	[x3=1]	3.311	.750	19.471	1	.000	27.420	6.300
	[x3=2]	0 ^a			0			
	[x4=1]	-1.716	.919	3.496	1	.062	.180	.030
	[x4=2]	0 ^a			0			
	[x5=1]	4.013	.786	26.081	1	.000	55.297	11.854
	[x5=2]	0 ^a			0			
	[x6=1]	2.302	.692	11.057	1	.001	9.991	2.573
	[x6=2]	0 ^a			0			
	[x7=1]	1.031	.705	2.135	1	.144	2.804	.703
	[x7=2]	0 ^a			0			
	[x8=1]	.873	.647	1.818	1	.178	2.394	.673
	[x8=2]	0 ^a			0			
	[x9=1]	2.975	1.058	7.903	1	.005	19.591	2.462
	[x9=2]	0 ^a			0			
	[x10=1]	-.931	.663	1.971	1	.160	.394	.107
	[x10=2]	0 ^a			0			
	[x11=1]	.217	.645	.113	1	.736	1.243	.351
	[x11=2]	0 ^a			0			

a. The reference category is: baik.

b. This parameter is set to zero because it is redundant.

4. KESIMPULAN

- Hasil penelitian diperoleh parameter yang paling dominan mempengaruhi balita menderita gizi buruk; pendidikan ibu tidak tamat SD, Pendapatan keluarga di bawah satu juta per bulan, balita mengkonsumsi makanan kurang bergizi dua sampai tiga kali sehari, balita sering sakit Malaria/diare serta cara penyembuhan dengan obat tradisional, Jarak Kelahiran kurang dari 2 tahun dan adanya budaya bayar belis yang belum lunas dalam keluarga.
- Faktor-faktor yang paling dominan penyebab balita menderita gizi buruk pada balita di sumba timur yaitu Pendidikan Ibu yang hanya SD, Pendapat Orangtua Balita dibawah satu juta per bulan, frekuensi pemberian makan pada balita kurang dari 3 kali dalam sehari dengan nasi bubur tanpa lauk pauk yang mengandung Gizi, Balita yang sering menderita sakit Diare/ISPA, Budaya Partiarkat, budaya Belis yang belum Lunas

Daftar Pustaka

- [1] Arnelia, dkk,(2007), *Studi Aplikasi Penatalaksanaan dan Pengembangan Sistem Pelayanan Gizi Buruk Secara Rawat Jalan*, www.p3gizi.litbang.depkes.go.id.
- [2] Arianto, (2007), *Pola Asuh dalam Hubungan dengan Status Gizi Anak Balita di Tinjau dari Pekerjaan*, www.litbang.go.id.
- [3] Anwar, M., H., (2008), *Peranan Gizi dan Pola Asuh dalam Meningkatkan Kualitas Tumbuh Kembang Anak*, www.anak.iz.co.id.
- [4] Departemen Kesehatan, (1992). *Pedoman Pemberian makanan Tambahan Pendamping ASI (MP-ASI)*. Jakarta : Direktorat Bina Gizi Masyarakat. Dikjen Pembinaan Kesehatan Masyarakat.
- [5] Gaspersz Vincent, (1995) *Teknik analisis dalam penelitian percobaan 2*. Tarsito Bandung.
- [6] Greene William H., (1992). *Econometric Analysis Fourth Edition*.
- [7] Ginting, Br., K (2005) *Pemilihan Model Regresi Terbaik dalam Model Linier*, Media Sains Jurnal MIPA , Undana, Volume 3, Nomor 2, Desember 2005.
- [8] Ginting, Br., K., Sugi, Y., Jafaruddin, Atti, A. (2008), *Analisis Deskriptif Kasus HIV/AIDS di Indonesia Menurut Faktor Resiko*, Jurnal MIPA, FST Undana, ISSN 0216-583X.
- [9] Ginting, Br., K., (2009), *Aplikasi Model Regresi Logistik Terhadap Masalah Gizi Buruk pada Puskesmas Oelolok Kabupaten TTU*, Buletin IAEUP, Undana, Volume 10, Nomor 2 Juli 2009, ISSN 1412-3703.
- [10] Herwin, (2004), *Faktor yang Berkaitan dengan Penyebab Gizi Kurang pada Anak Balita*, www.gizi.net.co.id .
- [11] Mardikanto, Totok.(2008), *Soal Gizi Buruk Perlu Optimalkan Penyuluh Kesehatan*, www.kompas.com
- [12] Murti Bhisma, (1994). *Penerapan Metode Statistik dalam Ilmu-Ilmu Kesehatan*.
- [13] Nachrowi Djalal Nachrowi Dan Hardius Usman, (2002) *Penggunaan Teknik Ekonometri Dalam Pendekatan Populer Dan Praktis Dilengkapi Teknik Analisis Dan Pengolahan Data Dengan Menggunakan Paket Program SPSS*
- [14] Poorwosoedarmo (2007) *Kemiskinan, Kelaparan, Dan Gizi Kurang*, Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang **Gizi** Masyarakat
- [15] Wirawan Ady. I Made (2008), *Pendekatan Sektor Kesehatan untuk Tanggulangi Gizi Buruk* www.balipost.co.id/o3.htm.
- [16] Sinaga Masrida. (2004).*Faktor-faktor yang mempengaruhi Status Gizi Balita di Kecamatan Malaka Barat Kabupaten Belu*. FKM. Undana.
- [17] Sidney Siegel, (1994). *Statistik Nonparametrik untuk ilmu-Ilmu Sosial*. Jakarta, PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [18] Singgih, (2005) *.Analisis Hubungan Pola Asuhan Dan Status Gizi Anak Baduta Pada Ibu Pekerja Di Kecamatan Turikalle Kabupaten Maros*".
- [19] Yuniastuti,(2008), *Gizi dan kesehatan*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [20] Uji wahyuni, Endang. 2012. *Hubungan Faktor Lingkungan Tempat Tinggal dengan Kejadian Malaria Pada Balita di Indonesia*. Jakarta : Universitas Indonesia.

PEMAHAMAN MATEMATIS SISWA DALAM PENYELESAIAN MASALAH YANG BERKAITAN DENGAN KONSEP KECEPATAN

KIKI NIA SANIA EFFENDI¹

¹Universitas Singaperbangsa Karawang, qqeffendi@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk bagaimanakah kemampuan pemahaman matematis siswa kelas V Sekolah Dasar pada materi kecepatan. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif. Teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi tes, dokumentasi, dan wawancara. Tes divalidasi secara kualitatif oleh validator yang merupakan para pakar dan teman sejawat. Hasil penelitian ini menunjukkan kemampuan pemahaman matematis siswa pada umumnya masih rendah terlihat dari presentase siswa yang menjawab dengan benar dan proses pengerjaan yang benar 20,5% dan 79,5 % pengerjaan siswa tersebut hasil akhir dan proses yang salah serta pengerjaan yang sebagian prosesnya benar dengan hasil akhir yang salah.

Kata Kunci: Pemahaman Matematis, Konsep Kecepatan.

1. PENDAHULUAN

Konsep kecepatan merupakan salah satu materi yang harus dipahami oleh siswa kelas V sekolah dasar. Kompetensi tersebut terdapat pada Standar Isi Sekolah Dasar (SD)/Madrasah Ibtidaiyah (MI) tentang standar kompetensi yaitu “menggunakan pengukuran waktu, jarak dan kecepatan dalam pemecahan masalah” dan kompetensi dasar yaitu “menyelesaikan masalah sehari-hari yang berkaitan dengan waktu, jarak dan kecepatan” (Depdiknas, 2006). Untuk itu materi ini harus dikuasai dengan baik oleh siswa, karena materi ini berkaitan dengan mata pelajaran lain.

Pemahaman matematis merupakan salah satu kemampuan yang harus dimiliki dalam pembelajaran matematika. Dengan memiliki kemampuan ini materi-materi yang diajarkan bukan sekedar hafalan, namun lebih dari itu yaitu siswa dapat lebih mengerti akan konsep materi pelajaran itu sendiri sehingga menjadi bermakna bagi siswa. Skemp (1976) membedakan dua jenis pemahaman, yaitu pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Pemahaman instrumental sejumlah konsep diartikan sebagai pemahaman atas konsep yang saling terpisah dan hanya hafal rumus serta menerapkannya dalam perhitungan tanpa mengetahui alasan-alasan dan penjelasannya. Sebaliknya pada pemahaman relasional termuat suatu skema atau struktur pengetahuan yang kompleks dan saling berkaitan atau berhubungan yang dapat digunakan pada penyelesaian masalah yang lebih luas dan kompleks. Contohnya seorang siswa yang hanya memiliki pemahaman instrumental dapat menyelesaikan soal luas persegi panjang dengan diketahui panjang dan lebar untuk mencari luas dengan rumus $L = p \times l$ tetapi ia akan merasa kesulitan untuk mencari ukuran panjang jika diketahui luas dan lebar pada soal. Bagi siswa yang

memiliki pemahaman relasional ia akan dapat menyelesaikan soal tersebut bahkan lebih kompleks dari soal tersebut pun ia mampu. Dalam pemahaman relasional, sifat pemakaiannya lebih bermakna.

Menurut Russefendi (2006: 221) pemahaman matematis terbagi menjadi tiga, yaitu : pengubahan (*translation*), pemberian arti (*interpretation*) dan pembuatan ekstrapolasi (*ekstrapolation*). Pemahaman translasi digunakan untuk menyampaikan informasi dengan bahasa dan bentuk yang lain dan menyangkut pemberian makna dari suatu informasi yang bervariasi. Misalnya siswa mampu mengubah bahasa verbal pada soal cerita dalam bahasa matematika. Interpretasi adalah pemberian arti dari sebuah informasi yang diubah untuk menyesuaikan dengan permasalahan secara spesifik. Interpretasi digunakan untuk menggambarkan maksud dari bacaan, tidak hanya dengan kata-kata dan frase, tetapi juga mencakup pemahaman suatu informasi dari sebuah ide. Misalnya siswa mampu menggambarkan maksud dari soal cerita permasalahan matematika. Sedangkan ekstrapolasi adalah menyelesaikan masalah dengan memperluas data yang tersedia, tetapi tetap mengikuti pola kecenderungan data yang tersedia. Misalnya siswa mampu menyelesaikan permasalahan matematika yang melibatkan beberapa konsep matematika.

National Council of Teacher Mathematic (NCTM, 2000) menetapkan ada lima keterampilan proses yang harus dikuasai siswa melalui pembelajaran matematika, yaitu : (1) pemecahan masalah (*problem solving*); (2) penalaran dan pembuktian (*reasoning and proof*); (3) koneksi (*connection*); (4) komunikasi (*communication*); serta (5) representasi (*representation*). Kelima keterampilan proses matematika ini dapat dikembangkan apabila siswa tersebut memiliki kemampuan pemahaman matematis. Hal ini menunjukkan pentingnya kemampuan ini dimiliki oleh seluruh siswa dalam pembelajaran matematika. Zulkardi (2005), menyatakan permasalahan inti dalam pendidikan matematika di Indonesia yaitu rendahnya mutu pendidikan yang ditunjukkan oleh rendahnya prestasi siswa baik pada skala nasional maupun internasional. Rendahnya prestasi tersebut terindikasi pemahaman matematis siswa yang rendah, karena kemampuan ini merupakan kemampuan dasar yang harus dimiliki siswa dalam pembelajaran matematika. NCTM (2000) menyebutkan bahwa pemahaman matematis merupakan aspek yang sangat penting dalam prinsip pembelajaran matematika. Pemahaman matematis lebih bermakna jika dibangun oleh siswa sendiri. Mutu di bidang pendidikan meliputi mutu input, proses, output, dan outcome. Keempat mutu tersebut melibatkan peran guru dalam prosesnya, sehingga guru diharapkan mampu menciptakan kegiatan pembelajaran yang bermakna bagi siswa.

Pembelajaran bermakna adalah pembelajaran dengan proses mengkaitkan informasi baru pada konsep-konsep relevan yang terdapat dalam struktur kognitif siswa (Thompson, 2004). Struktur kognitif ialah fakta-fakta, konsep-konsep, dan generalisasi-generalisasi yang telah dipelajari dan diingat siswa. Dengan melibatkan struktur kognitif siswa dapat mengumpulkan seluruh informasi secara utuh pada pemikiran siswa sehingga materi pelajaran dapat dipahami oleh siswa. Terdapat banyak hal yang dapat dilakukan untuk mengupayakan terciptanya kegiatan pembelajaran yang bermakna sebagai pendukung dalam pengembangan kemampuan pemahaman matematis siswa salah satunya dengan mengetahui terlebih dahulu potensi yang dimiliki siswa, mengenai kemampuan pemahaman matematis apa saja yang sudah dikuasai dan belum dikuasai. Langkah awal ini dinilai penting agar dapat memilih metode, media, bahan ajar dan hal lain yang mendukung untuk menciptakan suatu kegiatan pembelajaran yang bermakna. Oleh karena peneliti memandang perlu untuk menelusuri lebih jauh bagaimanakah kemampuan pemahaman matematis siswa kelas V Sekolah Dasar pada materi kecepatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam proses pembelajaran matematika, pemahaman matematis merupakan bagian yang sangat penting. Kemampuan pemahaman matematis adalah salah satu tujuan penting dalam pembelajaran, memberikan pengertian bahwa materi-materi yang diajarkan kepada siswa bukan hanya sebagai hafalan, namun lebih dari itu dengan pemahaman siswa dapat lebih mengerti akan konsep materi pelajaran itu sendiri. National Council of Teacher Mathematic (NCTM, 2000) menetapkan ada 5 keterampilan proses yang harus dikuasai siswa melalui pembelajaran matematika, yaitu: (1) pemecahan masalah (*problem solving*); (2) penalaran dan pembuktian (*reasoning and proof*); (3) koneksi (*connection*); (4) komunikasi (*communication*); serta (5) representasi (*representation*). Kelima keterampilan proses matematika ini dapat dikembangkan apabila siswa tersebut memiliki kemampuan pemahaman matematis. Dan pengembangannya melalui pembelajaran matematika. Dalam NCTM (2000) disebutkan bahwa pemahaman matematis merupakan aspek yang sangat penting dalam prinsip pembelajaran matematika. Pemahaman matematik lebih bermakna jika dibangun oleh siswa sendiri. Menurut Delvin (dalam Kurniawan, 2011: 36) pemahaman matematis merupakan proses pengamatan kognisi secara tidak langsung dalam penyerapan konsep yang akan dipahami, menerapkan konsep yang akan dipahami dalam situasi dan keadaan lain. Pemahaman matematis juga merupakan salah satu tujuan dari setiap materi yang disampaikan oleh guru, sebab guru merupakan pembimbing siswa untuk mencapai konsep yang diharapkan. Karena tujuan mengajar adalah agar materi yang disampaikan oleh guru dapat dipahami peserta didik. Pendidikan yang baik adalah usaha yang berhasil membawa siswa kepada tujuan yang ingin dicapai yaitu agar bahan yang disampaikan dipahami sepenuhnya oleh siswa.

Pendapat lainnya mengenai pemahaman matematis disampaikan oleh Ruseffendi (2006: 221) menyatakan bahwa pemahaman matematis terbagi menjadi tiga, yaitu: pengubahan (*translation*), pemberian arti (*interpretation*) dan pembuatan ekstrapolasi (*ekstrapolation*). Pemahaman translasi digunakan untuk menyampaikan informasi dengan bahasa dan bentuk yang lain dan menyangkut pemberian makna dari suatu informasi yang bervariasi. Interpretasi adalah penggambaran informasi yang diubah untuk menyesuaikan dengan suatu kumpulan simbol spesifik. Informasi itu dapat berupa lisan, tulisan, gambar [matematika](#), atau berbagai bentuk [bahasa](#) lainnya. Interpretasi digunakan untuk menggambarkan maksud dari bacaan, tidak hanya dengan kata-kata dan frase, tetapi juga mencakup pemahaman suatu informasi dari sebuah ide. Sedangkan ekstrapolasi adalah menyelesaikan masalah dengan memperluas data yang tersedia, tetapi tetap mengikuti pola kecenderungan data yang tersedia.

Polya mengemukakan empat tingkat pemahaman suatu hukum atau konsep, yaitu pemahaman mekanikal, pemahaman induktif, pemahaman rasional, dan pemahaman intuitif. Selanjutnya menurut Skemp (1976) membedakan dua jenis pemahaman, yaitu pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Pemahaman instrumental sejumlah konsep diartikan sebagai pemahaman atas konsep yang saling terpisah dan hanya hafal rumus serta menerapkannya dalam perhitungan tanpa mengetahui alasan-alasan dan penjelasannya. Sebaliknya pada pemahaman relasional termuat suatu skema atau struktur pengetahuan yang kompleks dan saling ber-relasi atau berhubungan yang dapat digunakan pada penyelesaian masalah yang lebih luas dan kompleks. Dalam pemahaman relasional, sifat pemakaiannya lebih bermakna.

Para ahli banyak yang bersilang pendapat tentang pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Reys (1998) di tengah adanya perbedaan pendapat para ahli

tentang mana yang lebih antara pemahaman prosedural dan pemahaman konseptual mengungkapkan bahwa kedua pemahaman tersebut sama-sama penting dalam keahlian matematika. Pemahaman prosedural didasarkan pada urutan langkah-langkah dan aturan-aturan yang harus dilaksanakan dalam memecahkan persoalan. Sedangkan pemahaman relasional atau konseptual didasarkan pada jaringan-jaringan terkoneksi yang menghubungkan dan memilah informasi (Hiebert and Lefevre, dalam Reys, 1998), di mana hal ini juga sangat dibutuhkan dalam pembelajaran matematika.

Kemampuan Pemahaman matematis sangat penting untuk kuasai oleh seluh siswa dalam belajar matematika agar terwujud belajar yang bermakna. Menurut Ausubel bahwa belajar bermakna yaitu belajar dengan menyusun materi pelajaran sesuai dengan struktur kognitif yang dimiliki siswa sehingga siswa dapat mengkaitkan materi pelajaran yang baru dipelajari dengan struktur kognitif yang dimiliki sehingga siswa dapat mengkaitkan antara pengetahuan yang dipunyai dengan keadaan lain sehingga belajar dengan memahami. Para guru mengharapkan pemahaman yang dicapai siswa tidak terbatas pada pemahaman instrumetal.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif. Subjek populasi penelitian adalah 39 siswa di kelas V di SDN Karawang Kulon II di Kecamatan Karawang Barat Kabupaten Karawang. Data penelitian dikumpulkan dengan metode tes dan wawancara. Tes yang digunakan untuk memperoleh kemampuan pemahaman matematis siswa adalah tes uraian mengenai permasalahan sehari-hari yang berkaitan dengan konsep kecepatan yang dibuat berdasarkan teori pemahaman matematis menurut Skemp (1976) membedakan dua jenis pemahaman, yaitu pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Sedangkan wawancara dilakukan kepada beberapa siswa kelas V berdasarkan hasil jawaban siswa.

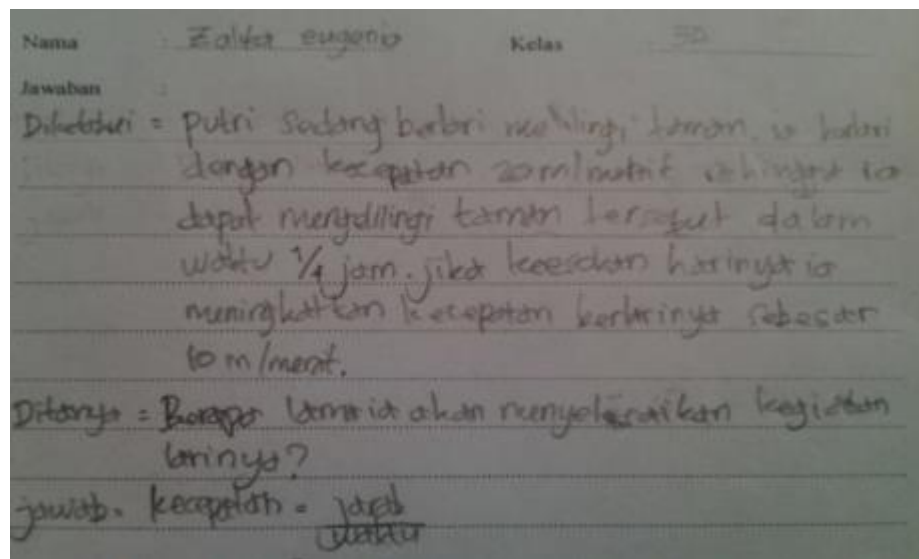
Terkait dengan metode pengumpulan data yang digunakan, maka instrumen pengumpulan datanya adalah tes uraian. Pedoman wawancara yang digunakan hanya berisi pertanyaan-pertanyaan pokok yang akan berkembang ketika proses wawancara berlangsung. Berdasarkan metode dan instrumen pengumpulan data, data utama yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa skor kemampuan pemahaman matematis. Pada kegiatan wawancara diperoleh informasi tentang upaya-upaya yang dilakukan guru dalam meningkatkan kemampuan pemahaman matematis siswa. Melalui wawancara juga ditemukan permasalahan mengenai kendala-kendala yang dihadapi guru dan siswa dalam upaya pengembangan kemampuan pemahaman matematis siswa. Miles dan Huberman (1984), mengemukakan bahwa aktivitas dalam analisis data kualitatif dilakukan secara interaktif dan berlangsung secara terus menerus sampai tuntas, sehingga datanya jenuh. Ukuran kejenuhan data ditandai dengan tidak diperolehnya lagi data atau informasi baru. Aktivitas dalam analisis meliputi reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*) serta penarikan kesimpulan dan verifikasi (*conclusion drawing / verification*).

3. HASIL

Hasil penelitian menunjukkan pemahaman matematis siswa dalam menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan konsep kecepatan masih rendah karena dari 39 siswa yang mengerjakan permasalahan tersebut hanya 8 orang yang mengerjakan dengan proses dan hasil yang benar. Jika dipersentasekan hanya mencapai 20,5%. Selanjutnya 46,2% siswa dengan hasil jawaban yang sebagian proses tepat dengan hasil yang salah. Berdasarkan hasil jawaban dan wawancara, kesulitan yang dihadapi adalah memahami permasalahan tersebut sehingga kebingungan menggunakan rumus yang mana dalam menyelesaikan soal tersebut. 33,1% siswa hanya menulis ulang soal yang menunjukkan bahwa siswa tersebut tidak memahami materi kecepatan.

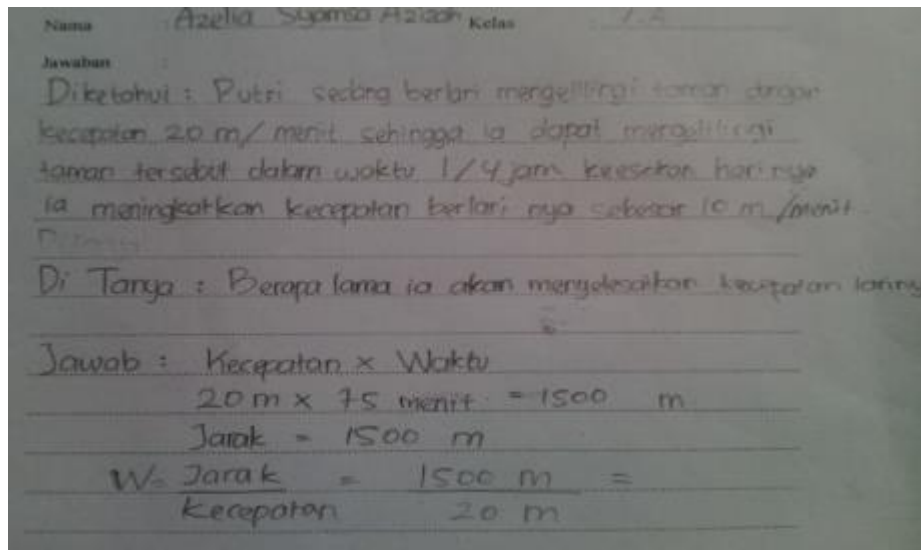
Berdasarkan hasil jawaban siswa pada permasalahan yang berkaitan dengan konsep kecepatan merupakan hasil penelitian ini yang ditunjukkan dengan persentase siswa yang menjawab dengan benar dan proses pengerjaan yang benar 20,5%. Dari 79,5 % pengerjaan siswa tersebut tidak semuanya dengan hasil akhir dan proses yang salah melainkan pengerjaan yang sebagian prosesnya benar dengan hasil akhir yang salah sebesar 46,2 %. Selanjutnya pengerjaan siswa yang hanya menulis ulang soal sebesar 33,3%. Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh proses berpikir dalam pemahaman matematis Pada konsep kecepatan dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Proses berpikir pada pemahaman instrumental ditandai dengan jawaban siswa yang tidak relevan dengan maksud soal. siswa terkesan sembarang dalam menjawab dan hanya memperhatikan angka yang ada dalam soal. Terlihat proses berpikir ini sebatas pemahaman atas konsep yang saling terpisah dan hanya hafal rumus serta menerapkannya dalam perhitungan tanpa mengetahui alasan-alasan dan penjelasannya. Hasil jawaban siswa terlihat pada gambar dibawah ini :



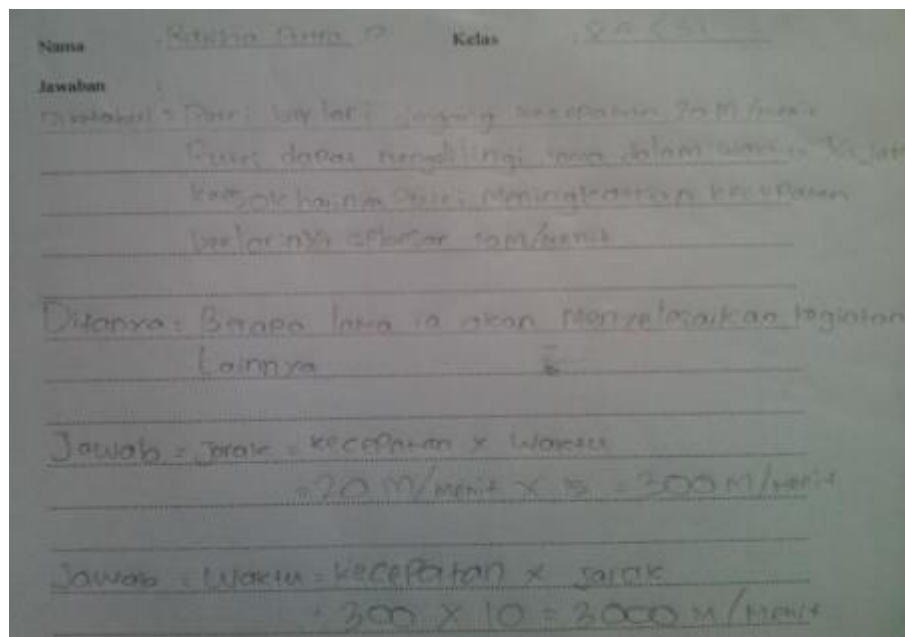
Gambar 1

Pada hasil jawaban siswa terlihat siswa hanya menulis ulang soal dan menuliskan rumus kecepatan. Hal ini menunjukkan siswa sembarang menjawab soal tersebut dan terlihat adanya rasa kesulitan untuk menentukan langkah yang harus ia ambil dalam menyelesaikan permasalahan tersebut .



Gambar 2

Pada hasil jawaban siswa terlihat siswa menyelesaikan soal tersebut dengan proses yang sebagian salah sehingga menghasilkan hasil akhir yang salah. Hal ini terlihat siswa tersebut tidak mengetahui kesamaan antara satuan jam dengan menit meskipun siswa tersebut mengetahui rumus yang harus digunakan menyelesaikan permasalahan tersebut akan menghasilkan jawaban yang salah. Penyebabnya siswa tersebut belum mampu mengingat materi yang berkaitan dengan materi kecepatan.



Gambar 3

Pada hasil jawaban siswa terlihat siswa menyelesaikan soal tersebut dengan sebagian proses yang benar dan sebagiannya salah sehingga menghasilkan hasil akhir yang salah. Hal ini siswa tersebut hanya hafal rumus kecepatan $v = s / t$ dan $s = v \times t$. Jadi ketika siswa tersebut permasalahan waktu dengan diketahui kecepatan dan jarak maka ia akan menggunakan rumus yang salah yang disebabkan siswa tersebut hanya menghafal rumus tanpa memahami makna dari konsep tersebut.

- b. Proses berpikir pada pemahaman relasional ditandai dengan subjek yang mencoba mencari makna soal menggunakan logika berpikirnya kemudian melanjutkan perhitungan secara algoritmik. Terlihat proses berpikir ini memuat suatu skema atau struktur pengetahuan yang kompleks dan saling berkaitan atau berhubungan yang dapat digunakan pada penyelesaian masalah yang lebih luas dan kompleks. Hasil jawaban siswa terlihat pada gambar dibawah ini :

The image shows a handwritten student solution on lined paper. At the top, there are fields for 'Nama' (Name) and 'Kelas' (Class). Below these, the student has written 'Jawaban' (Answer). The problem is written in Indonesian: 'Diket: Kecepatan = 20 m/menit' and 'Waktu = 15 menit'. The student then calculates the distance: 'Jarak = Kecepatan x Waktu = 20 m/menit x 15 menit = 300 m'. Finally, the student concludes: 'Jadi 10 Aron dapat menyelesaikan masalahnya dalam waktu 10 menit dengan jarak 300 m'.

Gambar 4

Pada hasil jawaban siswa terlihat pengerjaan yang sistematis mulai dari apa yang diketahui dari soal dengan perhitungan konversi yang disesuaikan dengan satuan pada kecepatan yang diketahui dan apa yang ditanyakan. Selanjutnya perhitungan jarak dengan rumus yang tepat pada kecepatan di hari pertama dan perhitungan waktu dengan kecepatan lari dihari kedua dengan hasil akhir yang benar. Terlihat siswa tersebut mampu memahami permasalahan tersebut sehingga dapat menyelesaikan dengan tepat.

Berdasarkan hasil wawancara, kegiatan pembelajaran biasanya dilakukan tidak melibatkan siswa dalam memahami materi yang sedang dipelajari dan kurang berkesan bagi siswa. Skemp (1976) berpendapat bahwa para guru memilih mengajarkan pemahaman matematis hanya pada level instrumental. Akibatnya siswa tidak mengkonstruksi pengetahuannya untuk memahami materi yang sedang dipelajari sehingga materi tersebut kurang dipahami siswa dan mudah dilupakan oleh siswa. Terlihat dari persentase 46,2% siswa menjawab dengan kesalahan rumus yang digunakan dalam penyelesaian soal tersebut.

Selanjutnya, hasil wawancara menunjukkan ketertarikan siswa dan adanya dalam belajar matematika pada saat siswa memiliki kontribusi dalam kegiatan pembelajaran matematika serta benda-benda sekitar siswa yang menjadi media untuk memahami materi sehingga siswa tersebut merasa ia memahami materi tersebut. Menurut de Lange (dalam Zulkardi, 2005:14) ada lima karakteristik dari PMRI (Pendidikan Matematika Realistik Indonesia) antara lain : 1) Menggunakan masalah kontekstual, 2) Menggunakan model atau jembatan dengan instrumen vertikal, 3) Menggunakan kontribusi siswa. 4) Interaktif dalam proses pembelajaran, 5) Terintegrasi dengan topik pembelajaran lain. PMRI dapat digunakan oleh para guru matematika dalam mengembangkan kemampuan siswa untuk berpikir, bernalar, komunikasi, dan pemecahan masalah baik dalam pelajaran maupun kehidupan sehari-hari (Zulkardi, 2002). Berdasarkan teori dan hasil wawancara menunjukkan PMRI dapat membantu siswa dalam memahami materi pada kegiatan pembelajaran matematika.

4. KESIMPULAN

Siswa pada kelas mengalami dua jenis pemahaman matematis dalam proses berpikirnya yaitu pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Selain itu terdapat tahapan-tahapan proses berpikir dalam pemahaman matematis yang ditemukan dalam penelitian yaitu tahapan pemahaman soal sehingga ia mengetahui apa yang diketahui dan ditanyakan dari soal tersebut serta dapat menggunakannya dalam pengerjaannya, mengubah soal ke dalam model matematika, melakukan operasi hitung dan menarik kesimpulan.

Pada umumnya siswa kesulitan dalam tahap pemahaman soal sehingga siswa hanya menulis ulang soal dilembar jawaban. Siswa lemah dalam pemahaman relasional, akibatnya siswa salah menggunakan rumus dalam perhitungannya. Selain itu siswa kesulitan dalam tahap melakukan perhitungan pada saat melakukan operasi hitung pembagian. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan pemahaman matematis siswa masih lemah.

Daftar Pustaka

- [1] Depdiknas. (2006). *Kurikulum 2006*. Jakarta: Media Makmur Majumandiri.
- [2] Kurniawan, R. (2011). *Peningkatan Kemampuan Pemahaman dan Pemecahan Masalah Matematis melalui Pembelajaran dengan Pendekatan Kontekstual pada Siswa Sekolah Menengah Kejuruan*. Disertasi UPI : Tidak diterbitkan.
- [3] Milles, M.B. and Huberman, M.A. 1984. *Qualitative Data Analysis*. London: Sage Publication
- [4] National Council of Teacher of Mathematics (NCTM). 2000. *Principle and Standards for School Mathematics*. Reston, VA: NCTM.
- [5] Skemp, R. R. 1976. *Relational Understanding and Instrumental Understanding*. *Mathematics Teaching*, 77, 20–26.
- [6] Reys, R. E. et. al. (1998). *Helping Children Learn Mathematics 5th Edition*. Boston : Allyn and Bacon.
- [7] Ruseffendi, E.T. 2006. *Pengantar Kepada Membantu Guru Mengembangkan Potensinya dalam Pengajaran Matematika Untuk Meningkatkan CBSA*. Bandung: Tarsito.
- [8] Thompson, T., L. 2004. *The Learning Theories of David P. Ausubel: The Importance of Meaningful and Reception Learning*. University of Alaska Southeast.
- [9] Zulkardi. 2002. *Developing a Learning Environment on Realistic Mathematics Education for Indonesian Students Teachers*. Thesis. University of Twente. Enschede:Printpartners Ipskamp
- [10] Zulkardi. 2005. *Permasalahan Matematika Di Indonesia, Permasalahan Dan Upaya Penyelesaiannya*. Palembang: Percetakan Unsri.

TEORI HIMPUNAN LUNAK DAN BEBERAPA OPERASINYA

MUHAMMAD ABDY¹

¹Universitas Negeri Makassar, muh.abdy@unm.ac.id

Abstrak

Teori himpunan lunak pertama kali diperkenalkan oleh Molodtsov sebagai suatu metode matematika untuk menangani ketidakpastian. Himpunan ini merupakan koleksi dari deskripsi aproksimasi suatu objek. Paper ini membahas konsep-konsep himpunan lunak dan operasi-operasinya beserta sifat-sifatnya.

Kata kunci: *ketidakpastian, himpunan lunak, aproksimasi.*

1. PENDAHULUAN

Dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan dibidang keteknikan, kedokteran, ilmu-ilmu sosial, dan lain-lain, penggunaan metode matematika klasik tidak dapat menyelesaikan permasalahan secara sempurna karena berbagai tipe ketidakpastian pada permasalahan tersebut. Ketidakpastian tersebut diantaranya ketidakpastian karena keacakan (randomness) dan ketidakpastian karena kekaburan (fuzziness). Ketidakpastian karena keacakan biasanya diselesaikan dengan berlandaskan pada teori peluang, dan ketidakpastian karena kekaburan diselesaikan dengan teori fuzzy [1]. Beberapa teori lain juga telah banyak diusulkan untuk menangani ketidakpastian karena kekaburan, diantaranya teori fuzzy intuisi [2], teori rough set [3], teori vague set [4]. Akan tetapi teori-teori tersebut masing-masing mempunyai kelemahan dan keterbatasan tersendiri yang mungkin diakibatkan oleh ketidakcukupan alat parameterisasi dari teori-teori tersebut [5]. Molodtsov memperkenalkan suatu teori baru untuk meminimalkan kelemahan-kelemahan yang berkaitan dengan parameterisasi. Teori tersebut dinamai teori himpunan lunak (soft set). Molodtsov berhasil mengaplikasikan teori ini dalam beberapa permasalahan, diantaranya dalam integral Reimann, integral Perron, teori ukuran, riset operasi, teori game, dan sebagainya [6]. Pada paper ini dibahas konsep-konsep dasar dari teori himpunan lunak dan operasi-operasi padanya beserta sifat-sifatnya. Pembahasan tersebut sebagian besar dikutip dari [5] dan [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Molodtsov [5] mendefinisikan himpunan lunak yang diberikan seperti berikut.

Definisi 1

Misalkan S adalah suatu himpunan semesta, P adalah himpunan parameter, dan $A \subseteq P$. Suatu pasangan (f_A, P) disebut himpunan lunak pada S yang didefinisikan oleh pasangan terurut.

$(f_A, P) = \{(e, f_A(e)) : e \in P, f_A(e) \in 2^S\}$, dimana $f_A : P \rightarrow 2^S \ni f_A(e) = \emptyset$ jika $e \notin A$.

Jadi, himpunan lunak pada S merupakan koleksi himpunan berparameter yang merupakan himpunan bagian dari semesta S . Fungsi f_A disebut fungsi aproksimasi dari himpunan lunak (f_A, P) , dan nilai $f_A(e)$, $e \in P$ disebut himpunan e -aproksimasi atau e -elemen yang terdiri objek-objek yang berkaitan dengan parameter $e \in P$, [6]. Berikut ini diberikan beberapa ilustrasi untuk memahami lebih mudah himpunan lunak.

Contoh 1

Misalkan S adalah himpunan tempat-tempat wisata, dan P adalah himpunan parameter-parameter, yaitu $P = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$, dimana e_1 =tiket masuk mahal; e_2 =indah; e_3 =sejuk; e_4 =tiket masuk murah; e_5 =auhman; e_6 =bising; e_7 =kotor; e_8 =bersih. Untuk mendefinisikan suatu himpunan lunak dalam kasus ini, berarti menunjukkan tempat wisata dengan tiket masuk mahal, tempat wisata yang indah, tempat wisata yang sejuk, dan seterusnya. Himpunan lunak (f_A, P) menggambarkan “kemenarikan tempat wisata” yang seseorang akan kunjungi. Misalkan terdapat enam tempat wisata dalam semesta S , yaitu:

$S = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6\}$ dan $A = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$. Misalkan bahwa $f_A(e_1)=\{w_2, w_4\}$; $f_A(e_2)=\{w_1, w_3\}$; $f_A(e_3)=\{w_3, w_4, w_5\}$; $f_A(e_4)=\{w_1, w_3, w_5\}$; $f_A(e_5)=\{w_1\}$. Himpunan lunak (f_A, P) merupakan suatu koleksi deskripsi-deskripsi aproksimasi dari tempat-tempat wisata. Fungsi $f_A(e_2)$ bermakna “tempat wisata (indah)” dengan nilai fungsinya adalah himpunan $\{w_1, w_3\}$. Jadi himpunan lunak (f_A, P) dapat dinyatakan sebagai:

$(f_A, P) = \{\text{tempat wisata dengan tanda masuk mahal}=\{w_2, w_4\}, \text{tempat wisata indah}=\{w_1, w_3\}, \text{tempat wisata sejuk}=\{w_3, w_4, w_5\}, \text{tempat wisata dengan tiket masuk murah}=\{w_1, w_3, w_5\}, \text{tempat wisata yang aman}=\{w_1\}\}$. Setiap deskripsi aproksimasi mempunyai dua bagian, yaitu predikat p dan himpunan nilai aproksimasi v . Jadi, aproksimasi “tempat wisata indah= $\{w_1, w_3\}$ ” mempunyai predikat “tempat wisata indah” dan himpunan nilainya adalah $\{w_1, w_3\}$. Sehingga himpunan lunak (f_A, P) dapat ditulis sebagai

$$(f_A, P) = \{p_1 = v_1, p_2 = v_2, p_3 = v_3, p_4 = v_4, p_5 = v_5\}$$

Contoh 2

Misalkan $\tilde{A}$ adalah himpunan fuzzy pada semesta S dengan fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}$.

Potongan- α dari himpunan fuzzy $\tilde{A}$ adalah $A_\alpha = \{x \in S : \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$; $\alpha \in [0, 1]$.

Pasangan $(A_\alpha, [0, 1])$ merupakan himpunan lunak, yaitu $(A_\alpha, [0, 1]) = \{(\alpha, A_\alpha) : \alpha \in [0, 1], A_\alpha \in 2^S\}$. Jadi himpunan fuzzy $\tilde{A}$ merupakan himpunan lunak yang berbentuk $(A_\alpha, [0, 1])$.

3. HASIL

Berikut ini diberikan beberapa operasi-operasi himpunan lunak yang didefinisikan oleh Maji, dkk [7].

Definisi 2

Koleksi semua himpunan nilai dari suatu himpunan lunak (f_A, P) pada S disebut kelas-nilai himpunan lunak, dinyatakan dengan $C_{(f_A, P)}$. Jelas bahwa $C_{(f_A, P)} \subseteq 2^S$.

Definisi 3

Misalkan (f_A, P) dan (f_B, P) adalah himpunan lunak pada semesta S . (f_A, P) disebut himpunan bagian lunak dari (f_B, P) , ditulis sebagai $(f_A, P) \tilde{\subset} (f_B, P)$, jika

- (i) $A \subset B$
- (ii) $\forall e \in A, f_A(e)$ dan $f_B(e)$ merupakan aproksimasi yang identik.

Contoh 3

Misalkan $S = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6\}$; $P = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$; $A = \{e_1, e_2, e_5\} \subset P$; $B = \{e_1, e_2, e_4, e_5\} \subset P$

Misalkan (f_A, P) dan (f_B, P) adalah himpunan lunak pada S sedemikian hingga, $f_A(e_1)=\{w_2, w_4\}$; $f_A(e_2)=\{w_1, w_3\}$; $f_A(e_5)=\{w_1\}$ dan $f_B(e_1)=\{w_2, w_4\}$; $f_B(e_2)=\{w_1, w_3\}$; $f_B(e_4)=\{w_3\}$; $f_B(e_5)=\{w_1\}$. Karena $A \subset B$ dan $f_A(e_1)=f_B(e_1)$, $f_A(e_2)=f_B(e_2)$, $f_A(e_5)=f_B(e_5)$, maka $(f_A, P) \tilde{\subset} (f_B, P)$

Definisi 4

Misalkan (f_A, P) dan (f_B, P) adalah himpunan lunak pada semesta S . Jika $(f_A, P) \tilde{\subset} (f_B, P)$ dan $(f_B, P) \tilde{\subset} (f_A, P)$ maka $(f_A, P) = (f_B, P)$.

Definisi 5

Misalkan $P = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ adalah himpunan parameter. Bukan himpunan P , ditulis $\neg P$, didefinisikan sebagai $\neg P = \{\neg e_1, \neg e_2, \dots, \neg e_n\}$, dimana $\neg e_i$ = bukan e_i untuk setiap i .

Proposisi 1

1. $\neg(\neg A) = A$
2. $\neg(A \cup B) = \neg A \cap \neg B$
3. $\neg(A \cap B) = \neg A \cup \neg B$
4. $\neg(A \times B) = \neg A \times \neg B$

Bukti

1. Misalkan $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, maka $\neg A = \{\neg a_1, \neg a_2, \dots, \neg a_m\}$, sehingga $\neg(\neg A) = \{\neg(\neg a_1), \neg(\neg a_2), \dots, \neg(\neg a_m)\} = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} = A \quad \square$
2. Misalkan $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ dan $B = \{b_1, b_2, \dots, b_r\}$, maka $A \cup B = \{a_1, a_2, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_r\}$, sehingga $\neg(A \cup B) = \{\neg a_1, \neg a_2, \dots, \neg a_m, \neg b_1, \neg b_2, \dots, \neg b_r\}$
 $= \{\neg a_1, \neg a_2, \dots, \neg a_m\} \cup \{\neg b_1, \neg b_2, \dots, \neg b_r\}$
 $= \neg A \cap \neg B \quad \square$

Definisi 6

Misalkan (f_A, P) himpunan lunak pada S . Komplemen dari (f_A, P) , ditulis sebagai $(f_A, P)^c$, didefinisikan sebagai $(f_A, P)^c = (f_A^c, \neg P)$, dimana $f_A^c : \neg P \rightarrow 2^S \ni f_A^c(\varepsilon) = S \setminus f_A(\neg \varepsilon)$, $\forall \varepsilon \in \neg P$.

Jelas bahwa $((f_A, P)^c)^c = (f_A, P)$ karena $(f_A^c)^c = f_A$ dan $\neg(\neg P) = P$.

Definisi 7

Misalkan (f_A, P) himpunan lunak pada S . (f_A, P) disebut himpunan lunak null, dinyatakan dengan Φ , jika $f_A(e) = \emptyset$, $\forall e \in A$

Definisi 8

Misalkan (f_A, P) himpunan lunak pada S . (f_A, P) disebut himpunan lunak mutlak, dinyatakan dengan $\bar{A}$, jika $f_A(e) = S$, $\forall e \in A$.

Definisi 9

Misalkan (f_A, P_1) dan (f_B, P_2) adalah himpunan lunak pada semesta S . Operasi “ (f_A, P_1) DAN (f_B, P_2) ”, dinyatakan dengan $(f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2)$, didefinisikan sebagai $(f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2) = (f_{A \times B}, P_1 \times P_2)$, dimana $f_{A \times B}(\alpha, \beta) = f_A(\alpha) \cap f_B(\beta)$, $\forall (\alpha, \beta) \in A \times B$

Contoh 4

Misalkan himpunan lunak (f_A, P) seperti pada Contoh 1 dan himpunan lunak (f_B, P') pada S menggambarkan “ongkos mengunjungi tempat wisata”. Misalkan $B = \{b_1, b_2, b_3\} \subseteq P'$ dimana $b_1 =$ sangat mahal; $b_2 =$ mahal; $b_3 =$ murah, dan $f_B(b_1) = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}$; $f_B(b_2) = \{w_1, w_2, w_3, w_4\}$; $f_B(b_3) = \{w_1, w_3, w_5, w_6\}$. Maka $(f_A, P) \wedge (f_B, P') = (f_{A \times B}, P \times P')$, dimana $f_{A \times B}(e_1, b_1) = \{w_2, w_4\}$; $f_{A \times B}(e_1, b_2) = \{w_2, w_4\}$; $f_{A \times B}(e_1, b_3) = \emptyset$; $f_{A \times B}(e_2, b_1) = \{w_1, w_3\}$; $f_{A \times B}(e_2, b_2) = \{w_1, w_3\}$; $f_{A \times B}(e_2, b_3) = \{w_1, w_3\}$; $f_{A \times B}(e_3, b_1) = \{w_3, w_4, w_5\}$; $f_{A \times B}(e_3, b_2) = \{w_3, w_4\}$; $f_{A \times B}(e_3, b_3) = \{w_3, w_5\}$; $f_{A \times B}(e_4, b_1) = \{w_1, w_3, w_5\}$; $f_{A \times B}(e_4, b_2) = \{w_1, w_3\}$; $f_{A \times B}(e_4, b_3) = \{w_1, w_3, w_5\}$; $f_{A \times B}(e_5, b_1) = \{w_1\}$; $f_{A \times B}(e_5, b_2) = \{w_1\}$; $f_{A \times B}(e_5, b_3) = \{w_1\}$.

Definisi 10

Misalkan (f_A, P_1) dan (f_B, P_2) adalah himpunan lunak pada semesta S . Operasi “ (f_A, P_1) ATAU (f_B, P_2) ”, dinyatakan dengan $(f_A, P_1) \vee (f_B, P_2)$, didefinisikan sebagai $(f_A, P_1) \vee (f_B, P_2) = (f_{A \times B}, P_1 \times P_2)$, dimana $f_{A \times B}(\alpha, \beta) = f_A(\alpha) \cup f_B(\beta)$, $\forall (\alpha, \beta) \in A \times B$

Proposisi 2 (Hukum De Morgan)

1. $((f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2))^c = (f_A, P_1)^c \vee (f_B, P_2)^c$
2. $((f_A, P_1) \vee (f_B, P_2))^c = (f_A, P_1)^c \wedge (f_B, P_2)^c$

Bukti

1. Diketahui bahwa $(f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2) = (f_{A \times B}, P_1 \times P_2)$, sehingga $((f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2))^c = (f_{A \times B}, P_1 \times P_2)^c = ((f_{A \times B})^c, \neg(P_1 \times P_2))$.
Demikian juga, $(f_A, P_1)^c \vee (f_B, P_2)^c = (f_A^c, \neg P_1) \vee (f_B^c, \neg P_2) = (f_{A \times B}^c, (\neg P_1 \times \neg P_2)) = (f_{A \times B}^c, \neg(P_1 \times P_2))$, dimana $f_{A \times B}^c(\alpha, \beta) = f_A^c(\alpha) \cup f_B^c(\beta)$.
Selanjutnya akan diperlihatkan bahwa $(f_{A \times B})^c = f_{A \times B}^c$.
Misalkan $(\neg \alpha, \neg \beta) \in (\neg A \times \neg B) = \neg(A \times B)$, maka

$$\begin{aligned} (f_{A \times B})^c(\neg \alpha, \neg \beta) &= S \setminus f_{A \times B}(\alpha, \beta) \\ &= S \setminus (f_A(\alpha) \cap f_B(\beta)) \\ &= S \cap (f_A(\alpha) \cap f_B(\beta))^c \\ &= S \cap (f_A^c(\alpha) \cup f_B^c(\beta)) \\ &= (S \cap f_A^c(\alpha)) \cup (S \cap f_B^c(\beta)) \\ &= (S \setminus f_A(\alpha)) \cup (S \setminus f_B(\beta)) \\ &= f_A^c(\neg \alpha) \cup f_B^c(\neg \beta) \\ &= f_{A \times B}^c(\neg \alpha, \neg \beta) \end{aligned}$$

Dengan demikian $(f_{A \times B})^c = f_{A \times B}^c$, sehingga

$$((f_A, P_1) \wedge (f_B, P_2))^c = (f_A, P_1)^c \vee (f_B, P_2)^c.$$

Dengan cara yang serupa, bagian ke-2 dengan mudah dapat dibuktikan. $\square$

Definisi 11

Misalkan (f_A, P) dan (f_B, P) adalah himpunan lunak pada semesta S . Gabungan antara (f_A, P) dan (f_B, P) , ditulis sebagai $(f_A, P) \dot{\cup} (f_B, P)$, adalah himpunan lunak pada S berbentuk (g_C, P) , dimana $C = A \cup B$, dan $\forall e \in C$, maka $g_C(e) = f_A(e)$ jika $e \in A \setminus B$; $g_C(e) = f_B(e)$ jika $e \in B \setminus A$; $g_C(e) = f_A(e) \cup f_B(e)$ jika $e \in A \cap B$.

Definisi 12

Misalkan (f_A, P) dan (f_B, P) adalah himpunan lunak pada semesta S . Irisan antara (f_A, P) dan (f_B, P) , ditulis sebagai $(f_A, P) \dot{\cap} (f_B, P)$, adalah himpunan lunak pada S berbentuk (g_C, P) , dimana $C = A \cap B$, dan $\forall e \in C$, maka $g_C(e) = f_A(e)$ atau $f_B(e)$

Proposisi 3

1. $(f_A, P) \circ (f_A, P) = (f_A, P)$
2. $(f_A, P) \sim (f_A, P) = (f_A, P)$
3. $(f_A, P) \circ \Phi = \Phi$
4. $(f_A, P) \sim \Phi = \Phi$
5. $(f_A, P) \circ \bar{A} = \bar{A}$
6. $(f_A, P) \sim \bar{A} = (f_A, P)$
7. $((f_A, P) \circ (f_B, P))^c = (f_A, P)^c \circ (f_B, P)^c$
8. $((f_A, P) \sim (f_B, P))^c = (f_A, P)^c \sim (f_B, P)^c$

Bukti

1. Diketahui bahwa $(f_A, P) \circ (f_A, P) = (g_C, P)$, dimana $C = A \cup A = A$. $\forall e \in C = A$, maka $g_C(e) = f_A(e)$ jika $e \in A \setminus A$; $g_C(e) = f_A(e) \cup f_A(e) = f_A(e)$ jika $e \in A \cap A = A$.
Dengan demikian, $g_C(e) = f_A(e) \forall e \in C = A$. Oleh karena itu, $(g_C, P) = (f_A, P) \quad \square$
5. Misalkan himpunan lunak absolut $\bar{A} = (g_A, P)$ dimana $g_A(e) = S \forall e \in A$, sehingga $(f_A, P) \circ (g_A, P) = (h_C, P)$, dimana $C = A \cup A = A$.
 $\forall e \in C = A$, maka $h_C(e) = f_A(e)$ jika $e \in A \setminus A$; $h_C(e) = g_A(e)$ jika $e \in A \cap A$ dan $h_C(e) = f_A(e) \cup g_A(e) = f_A(e)$ jika $e \in A \cap A = A$. Karena $f_A(e) \subseteq g_A(e) \forall e \in A$, maka $h_C(e) = g_A(e) \forall e \in A$. Dengan demikian, $(h_C, P) = (g_A, P) = \bar{A} \quad \square$
8. Misalkan $(f_A, P) \sim (f_B, P) = (g_C, P)$, dimana $C = A \cap B$ dan $\forall e \in C$, maka $g_C(e) = f_A(e)$ atau $f_B(e)$. Sehingga $((f_A, P) \sim (f_B, P))^c = (g_C, P)^c = (g_{\neg C}^c, \neg P)$ dimana $\neg C = \neg(A \cap B)$.
Diketahui bahwa $(f_A, P)^c \sim (f_B, P)^c = (f_{\neg A}^c, \neg P) \sim (f_{\neg B}^c, \neg P) = (h_{\neg C}^c, \neg P)$ dimana $\neg C = \neg(A \cap B)$ dan $\forall \neg e \in \neg C = \neg(A \cap B)$, maka $h_{\neg C}^c(\neg e) = f_{\neg A}^c(\neg e)$ atau $f_{\neg B}^c(\neg e) = f_A(e)$ atau $f_B(e)$, dimana $e \in C = A \cap B$

$$= g_C(e)$$

$$= g_{\neg C}^c(\neg e)$$
 Dengan demikian, $g_{\neg C}^c = h_{\neg C}^c$. Oleh karena itu, $((f_A, P) \sim (f_B, P))^c = (f_A, P)^c \sim (f_B, P)^c \quad \square$

4. KESIMPULAN

Teori himpunan lunak menawarkan suatu metode matematika untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang muncul dari objek-objek yang mengandung ketidakpastian. Teori ini melengkapi teori-teori yang dipakai sebelumnya, seperti teori fuzzy, teori rough set, teori vague set yang mengandung beberapa kelemahan. Dalam paper ini dibahas konsep-konsep dasar teori himpunan lunak, dan beberapa operasi-operasi himpunan serta sifat-sifatnya. Sebagian operasi-operasi himpunan yang dipakai pada himpunan lunak berbeda dengan operasi-operasi pada himpunan biasa.

Daftar Pustaka

- [1] L. A. Zadeh, Fuzzy Sets, *Infor. and Control* **8**, 338 – 353, (1965)
- [2] K. Atanassov, Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems* **20**, 87 – 96, (1986)
- [3] Z. Pawlak, Rough Sets, *International Journal of Information and Computer Sciences* **11**, 341 – 356 (1993)
- [4] W.L. Gau and D.J. Buehrer, Vague Sets, *IEEE Trans. System Man. Cybernet* **23** (2), 610 – 614, (1993)
- [5] D.A. Molodtsov, Soft Set Theory – First results, *Computer and Mathematics with Applications* **37**, 19 – 31, (1999)
- [6] N. Cagman and S. Enginoglu, Soft Matrix Theory and Its Decision Making, *Computer and Mathematics with Applications* **59**, 3308 – 3314 (2010)
- [7] P.K. Maji, R. Biswas, A.R.Roy, Soft Set Theory, *International Journal Computers and Mathematics with Applications* **45**, 555 – 562, (2003)

APLIKASI BURSA RENTAL LAPANGAN FUTSAL BERBASIS ANDROID

MICHAEL GEORGE SUMAMPOUW¹

¹Universitas Katolik De La Salle Manado, msumampouw@unikadelasalle.ac.id

Abstrak

Peminat terhadap olah raga futsal saat ini semakin tinggi. Melihat peluang tersebut maka muncul bisnis baru yaitu penyewaan lapangan futsal. Bisnis ini ada untuk memberikan wadah kepada konsumen khususnya penggemar olah raga futsal. Saat ini pemasaran dan transaksi dalam bisnis telah memanfaatkan teknologi dalam bentuk aplikasi, salah satunya aplikasi berbasis android yang dijalankan di *smartphone*. Pembuatan aplikasi berbasis android untuk bursa rental lapangan futsal menggunakan metode SDLC (*Systems Development Life Cycle*). Aplikasi tersebut diharapkan dapat membantu wirausaha yang bergerak pada bisnis penyewaan lapangan futsal untuk memasarkan bisnisnya dan memudahkan pelanggan untuk proses reservasi.

Kata Kunci: lapangan futsal, metode SDLC, aplikasi berbasis android

1. PENDAHULUAN

Futsal merupakan salah satu yang olah raga yang sedang diminati saat ini, karena dapat dimainkan oleh semua kalangan mulai dari anak-anak sampai orang dewasa. Permainan futsal dimainkan oleh dua tim yang saling berhadapan, dimana setiap tim terdiri dari lima orang. Permainan futsal sekilas sama dengan sepak bola, yang membedakan adalah lapangan bukan dari rumput, berada di dalam ruangan dan ukuran lapangan yang lebih kecil dari lapangan sepak bola.

Meningkatnya minat masyarakat terhadap olah raga futsal berpengaruh terhadap wirausaha dalam melihat peluang untuk bisnis baru, yaitu penyewaan lapangan futsal. Berdasarkan hasil pengamatan di Kota Manado sudah banyak lapangan futsal yang dibuka untuk memenuhi permintaan konsumen. Dalam proses bisnisnya penyewaan lapangan futsal dengan cara pertama konsumen datang langsung ke tempat dan yang kedua adalah lewat SMS. Berdasarkan proses tersebut dapat muncul permasalahan dimana konsumen kurang informasi ketersediaan lapangan, cara pemesanan dan informasi harga yang berbeda setiap jam tertentu.

Teknologi dalam bidang komunikasi sudah sangat berkembang saat ini, seiring dengan perkembangannya maka hadirilah perangkat keras salah satunya *smartphone*. *Smartphone* (telepon pintar) merupakan telepon yang mampu melakukan banyak fungsi seperti sebuah komputer, yang memiliki antarmuka layar sentuh, akses internet dan sistem operasi yang dapat menjalankan aplikasi [1].

Sistem operasi yang digunakan pada *smartphone* yang populer saat ini adalah sistem operasi android dan IOS. Dimana perbandingan penggunaan kedua sistem operasi di dunia pada tahun 2013 adalah satu miliar pengguna android sedangkan IOS sekitar tujuh ratus juta pengguna. Selain itu untuk di Indonesia pengguna *smartphone* mencapai angka empat puluh tujuh juta atau sekitar 14% dari total pengguna *smartphone* di dunia [2].

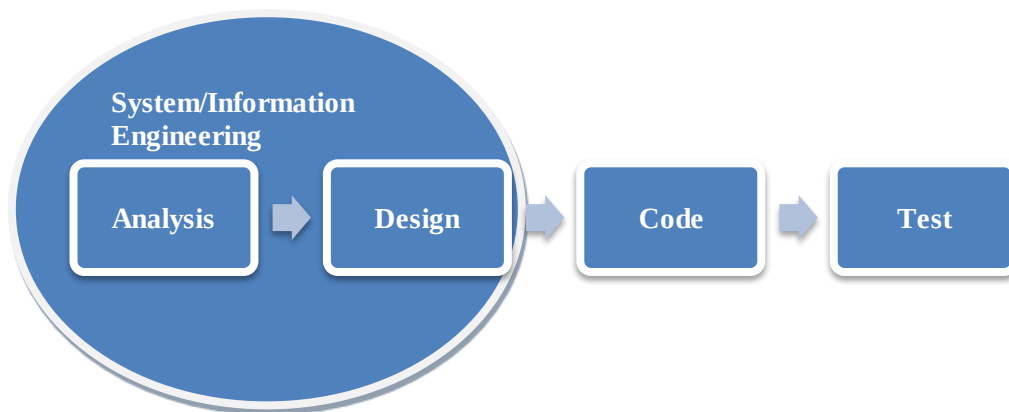
Terdapat berbagai metode dalam pengembangan aplikasi salah satunya metode SDLC (*Systems Development Life Cycle*) dimana metode ini terdiri dari empat tahap pengembangan menurut Pressman yaitu analisis sistem, perancangan sistem, pengkodean dan pengujian sistem [3].

Untuk membantu wirausaha dalam memasarkan bisnisnya dan memudahkan pengguna untuk mendapatkan informasi sebelum melakukan reservasi. Maka akan dibuat aplikasi bursa rental lapangan futsal berbasis android dengan menggunakan metode pengembangan aplikasi yaitu SDLC. Dibatasi berbasis android karena berdasarkan data pengguna *smartphone* dengan sistem operasi android lebih banyak dibandingkan dengan sistem operasi IOS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode SDLC

Pengembangan aplikasi dengan metode SDLC terdiri dari empat tahap menurut Pressman dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 1. Metode SDLC [3]

- Tahap *Analysis* merupakan proses pemberian informasi tentang aplikasi yang akan dikembangkan.
- Tahap *Design* merupakan proses penggambaran atau perancangan bentuk aplikasi yang akan dikembangkan
- Tahap *Code* merupakan proses penulisan program yang merealisasikan rancangan aplikasi yang dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman, dengan mengikuti kaidah pemrograman yang berlaku.
- Tahap *Test* merupakan proses pengujian terhadap aplikasi yang telah dibuat.

2.2 Aplikasi *Mobile*

Aplikasi *mobile* adalah sebuah aplikasi yang memungkinkan pengguna melakukan mobilitas dengan menggunakan perlengkapan seperti *smartphone* [4]. Dengan menggunakan aplikasi *mobile* pengguna dapat dengan mudah menggunakan aplikasi untuk berbagai macam aktifitas seperti hiburan, pembelajaran, bisnis, *browsing* informasi dan lainnya. Berdasarkan data 70% pengguna *smartphone* memanfaatkan untuk hiburan *game*, *music player*, dan *video player*.

2.3 Android

Android merupakan sistem operasi untuk *smartphone* yang dikembangkan dari sistem operasi Linux, dan semua aplikasinya dibuat dengan menggunakan Java. Perlengkapan penyediaan fitur dalam Android disertakan *Standart Development Kid (SDK)* dan pengembangan aplikasi dalam *platform android* disertakan *Application Programming Interface (API)*. Android menyediakan platform terbuka bagi para pengembang aplikasi untuk mengembangkan aplikasi sendiri yang dapat digunakan dalam berbagai macam *smartphone* yang memiliki sistem operasi android [5].

3. PEMBAHASAN

3.1 Analisis Aplikasi

Pada tahap analisis ini membahas mengenai Deskripsi dan Fungsionalitas Aplikasi.

3.1.1 Deskripsi Aplikasi

Aplikasi Bursa Rental Lapangan Futsal Berbasis Android merupakan aplikasi yang akan menyediakan tempat bagi wirausaha yang memiliki usaha penyewaan lapangan futsal untuk memasarkan usahanya. Sedangkan bagi pengguna untuk memberikan informasi ketersediaan lapangan, harga dan reservasi lapangan. Pengembangan aplikasi ini dengan menggunakan tool eclipse, bahasa pemrograman Java.

3.1.2 Fungsionalitas Aplikasi

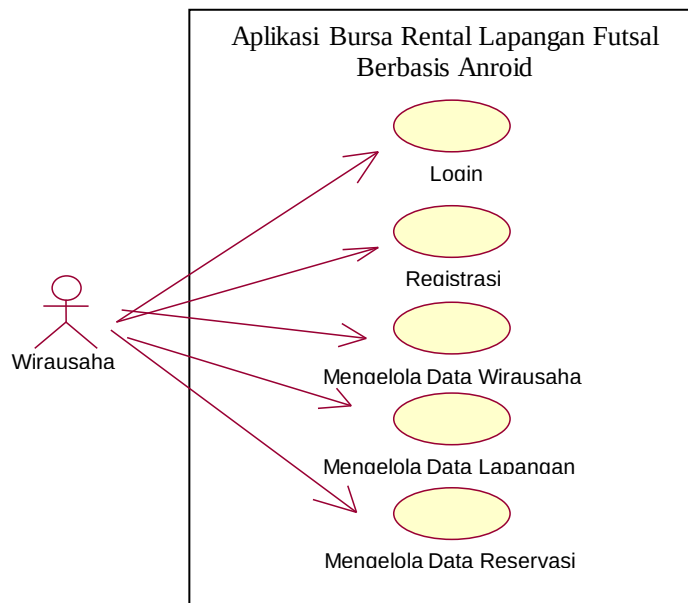
Fungsi aplikasi untuk wirausaha:

- Fungsi Login merupakan fungsi yang digunakan oleh pengusaha untuk masuk ke aplikasi untuk menggunakan aplikasi.
- Fungsi Registrasi merupakan fungsi yang digunakan untuk mendaftarkan diri agar dapat terdaftar untuk menggunakan aplikasi.
- Fungsi Pengelolaan Data Wirausaha merupakan fungsi untuk mengolah data pribadi wirausaha.
- Fungsi Pengelolaan Data Lapangan merupakan fungsi untuk mengolah data lapangan.
- Fungsi Pengelolaan Data Reservasi merupakan fungsi untuk mengelola data reservasi dari pelanggan

Fungsi aplikasi untuk pelanggan:

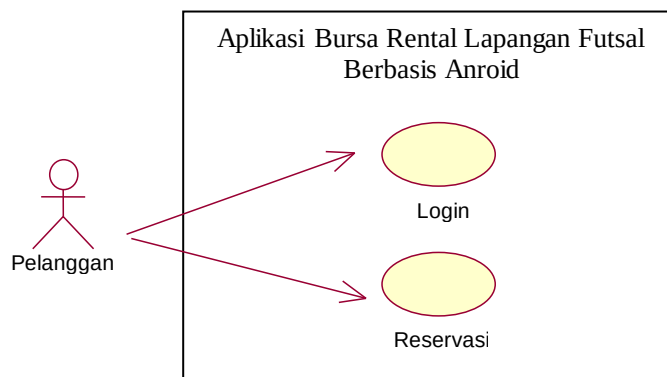
- Fungsi Login merupakan fungsi yang digunakan oleh pengusaha untuk masuk ke aplikasi untuk menggunakan aplikasi.
- Fungsi Reservasi merupakan fungsi untuk melakukan reservasi.

Berikut gambar *use case* untuk pengguna sebagai wirausaha



Gambar 2. Use Case untuk Wirausaha

Berikut gambar *use case* untuk pengguna sebagai Pelanggan



Gambar 3. Use Case untuk Pelanggan

3.2 Perancangan Aplikasi

Berikut merupakan beberapa perancangan antarmuka, yaitu login, halaman utama dan reservasi.

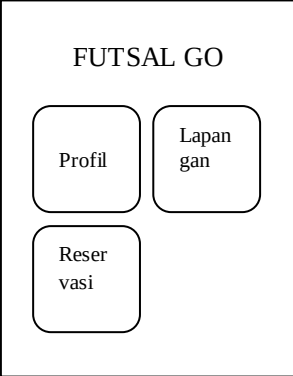
3.2.1 Antarmuka *Login* untuk Pengguna Wirausaha dan Pelanggan

The interface design for the login screen is shown within a rectangular frame. At the top, the text 'FUTSAL GO' is centered. Below it, there are two input fields: 'Username' and 'Password'. To the right of the 'Password' field is a 'Login' button. Below the 'Login' button is a 'Daftar' (Register) link.

Gambar 4. Rancangan Antarmuka Login

Antarmuka ini adalah merupakan antarmuka untuk *login* ke dalam aplikasi. Dimana pengguna wajib memasukan *username* dan *password* yang sudah didaftarkan. Jika belum terdaftar ada link daftar untuk mendaftar.

3.2.2 Antarmuka Halaman Utama untuk Wirausaha



The diagram shows a rectangular frame representing a user interface. At the top center, the text "FUTSAL GO" is displayed. Below this, there are three rounded rectangular buttons arranged in a grid: "Profil" on the left, "Lapangan" on the right, and "Reservasi" centered below the other two.

Gambar 5. Rancangan Antarmuka Halaman Utama

Antarmuka ini merupakan rancangan antarmuka halaman utama dimana terdapat tiga pilihan menu, yaitu menu profil untuk ke halaman mengelola profil, menu lapangan ke halaman untuk mengelola lapangan dan menu reservasi ke halaman mengelola reservasi.

3.2.3 Antarmuka Reservasi untuk Pelanggan



The diagram shows a rectangular frame representing a reservation form. At the top center, the text "FUTSAL GO" is displayed. Below this, there are four rectangular input fields stacked vertically: "Tempat Futsal", "No. Lapangan", "Jam", and "Pesan".

Gambar 6. Rancangan Antarmuka Reservasi

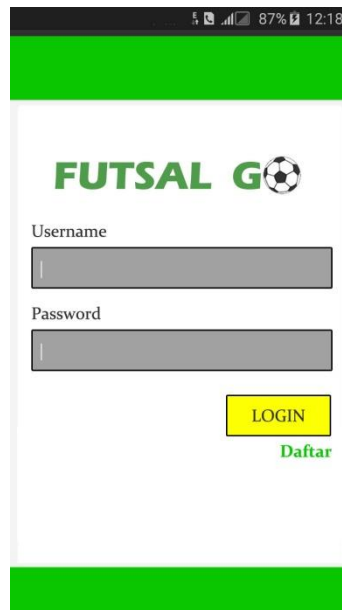
Antarmuka ini merupakan rancangan antarmuka reservasi dari pelanggan yang akan memesan lapangan dengan mengisi tempat futsal yang dipilih, nomor lapangan dan jam.

4. HASIL

4.1 Pengkodean

Bagian ini akan menjelaskan mengenai tahap implementasi dalam bentuk kode untuk menghasilkan aplikasi. Beberapa *form* dalam aplikasi yaitu *form login* untuk wirausaha dan pelanggan, *form* menu utama untuk wirausaha, dan *form* reservasi untuk pelanggan.

4.1.1 Form Login

The screenshot shows a mobile application interface for 'FUTSAL GO'. At the top, there is a green header bar. Below it, the app's logo 'FUTSAL GO' is displayed in green, with a soccer ball icon next to the 'O'. The login form consists of two input fields: 'Username' and 'Password', both with gray borders and a small vertical line on the left. Below the password field is a yellow 'LOGIN' button. Underneath the button is a green link labeled 'Daftar'. The entire form is set against a white background, which is framed by a light gray border. At the bottom of the screen, there is a green footer bar. The status bar at the very top shows signal strength, 87% battery, and the time 12:18.

Gambar 7. Form Login

Form Login merupakan halaman dari wirausaha dan pelanggan untuk memasuki aplikasi berdasarkan tipe pengguna. Jika yang *login* adalah pengguna sebagai wirausaha maka akan *login* ke *form* menu utama, sedangkan jika pengguna sebagai pelanggan yang *login* maka akan masuk ke halaman reservasi untuk melanjutkan reservasi lapangan dengan mengisi data secara lengkap.

4.1.2 Form Menu Utama



Gambar 8. Form Menu Utama

Form menu utama ini adalah tampilan setelah pengguna sebagai wirausaha yang telah melakukan *login* dimana terdapat tiga menu pilihan untuk mengakses *form-form* tersebut. Menu pilihan tersebut yaitu menu Profil, menu Lapangan dan menu Reservasi.

4.1.3 Form Reservasi

Gambar 9. Form Reservasi

Form reservasi ini adalah tampilan setelah pengguna sebagai pelanggan yang telah melakukan login. Pada form ini pelanggan dapat melakukan pemesanan lapangan futsal.

4.2 Pengujian Aplikasi

Pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan uji fungsionalitas aplikasi. Uji yang dilakukan meliputi deskripsi serta kesesuaian tampilan serta proses yang didapatkan. Hasil yang didapatkan dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Tabel Deskripsi dan Hasil Pengujian Fungsionalitas

Deskripsi	Prosedur Pengujian	Masukan	Keluaran yang Di harapkan	Hasil yang didapat	Kesimpulan
Pengujian Halaman Login (wirausaha)	Klik Tombol Login	username, password	Masuk ke Halaman Menu Utama	Masuk ke Halaman Menu Utama	Handal
Pengujian Halaman Menu Utama	Klik Tombol Menu Profil	Klik menu profil	Masuk ke Halaman profil	Masuk ke Halaman profil	Handal
	Klik Tombol Menu Lapangan	Klik menu Lapangan	Masuk ke Halaman Lapangan	Masuk ke Halaman Lapangan	Handal
	Klik Tombol Menu Reservasi	Klik menu Reservasi	Masuk ke Halaman Reservasi	Masuk ke Halaman Reservasi	Handal
Pengujian Halaman Profil	Klik Tombol Simpan	Nama wirausaha, alamat, no_telp	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Handal
Pengujian Halaman Lapangan	Klik Tombol Simpan	No_Lapangan, alas, panjang, lebar, harga_sewa, jam	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Handal

Pengujian Halaman Reservasi (wirausaha)	Klik Tombol Lihat	Klik tombol lihat	Menampilkan daftar reservasi yang sudah dilakukan pelanggan	Menampilkan daftar reservasi yang sudah dilakukan pelanggan	Handal
Pengujian Halaman Login (pelanggan)	Klik Tombol Login	username, password	Masuk ke Halaman Reservasi	Masuk ke Halaman Reservasi	Handal
Pengujian Halaman Reservasi (pelanggan)	Klik Tombol Pesan	Tempat_futsal, no_lapangan, jam	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Peringatan "Data Berhasil Disimpan"	Handal

5. KESIMPULAN

Aplikasi bursa rental lapangan futsal berbasis android dapat dikembangkan. Aplikasi ini juga dapat membantu wirausaha dalam melakukan pemasaran dan manajemen penyewaan lapangan futsal miliknya. Selain itu aplikasi ini dapat membantu pelanggan dengan memberikan informasi ketersediaan lapangan dan membantu dalam melakukan reservasi lapangan futsal.

Daftar Pustaka

- [1] Oxford Dictionaries. Definition of smartphone. 2017.
<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/smartphone?q=smart-phone>
diakses pada 05 Agustus 2017
- [2] Heriyanto, Trisno. Indonesia Masuk 5 Besar Negara Pengguna Smartphone. 03 Februari 2014.
<http://inet.detik.com/read/2014/02/03/171002/2485920/317/indonesia-masuk-5-besar-negara-pengguna-smartphone>
diakses pada 05 Agustus 2017
- [3] Pressman, Roger S., Ph.D. Rekayasa Perangkat Lunak –Buku Satu, Pendekatan Praktisi (Edisi 7). Penerbit ANDI, Yogyakarta. 2012
- [4] Kosidin, Resha Nur Farizah. Pemodelan Aplikasi Mobile Remander Berbasis Android. Yogyakarta. SENTIKA 2016.
- [5] I Gusti Ngurah Darma P, Sigit Purnomo WP, Kusworo Anindito. Perancangan Aplikasi Mobile City Directory Yogyakarta Berbasis Android. Yogyakarta. SENTIKA 2012.

SISTEM PAKAR DIAGNOSIS PENYAKIT PADA HEWAN TERNAK MENGGUNAKAN CERTAINTY FACTOR BERBASIS WEB

NI MADE HERLINAWATI¹, IMMANUELA P. SAPUTRO², RINALDO TURANG³

¹Unika De La Salle Manado, Kombos Kairagi 1, herlinamade21@gmail.com

²Unika De La Salle Manado, Kombos Kairagi 1, isaputro@unikadelasalle.ac.id

³Unika De La Salle Manado, Kombos Kairagi 1, tturang@unikadelasalle.ac.id

Abstrak

Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara pada tahun 2014, Kabupaten Bolaang Mongondow merupakan salah satu penghasil hewan ternak terbesar terutama untuk hewan sapi dengan populasi sebanyak 22,406 ekor, babi sebanyak 23,109, ayam petelur sebanyak 152,955 ekor, dan ayam pedaging sebanyak 17,820 ekor. Peternak dalam melakukan perawatan hewan baik rutin maupun untuk hewan sakit bergantung pada dokter hewan dari pusat yang datang dua minggu sekali di daerah tersebut. Lamanya waktu tunggu, seringkali membuat peternak melakukan penanganan sendiri pada hewan ternak mereka yang sakit tanpa pengetahuan yang cukup sehingga justru menyebabkan kematian hewan ternak. Untuk itu, pada penelitian ini akan dibangun sistem pakar menggunakan metode Certainty Factor, yang dapat membantu peternak melakukan diagnosa penyakit berdasarkan pengetahuan pakar. Berdasarkan hasil 20 kasus pengujian, diperoleh kinerja sistem sebesar 85%.

Kata Kunci: Sistem Pakar, Certainty Factor, Diagnosis, Hewan ternak. Web.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah yang sangat potensial di bidang peternakan dilihat dari segi sumber daya alam maupun sumber daya manusia, salah satunya Kabupaten Bolaang Mongondow yang memiliki populasi dan jumlah hewan ternak yang cukup banyak dan dibagi berdasarkan jenis ternak utama yaitu Sapi sebanyak 22.406 ekor, Babi sebanyak 23.109 ekor, Ayam petelur sebanyak 152.955 ekor, dan Ayam pedaging sebanyak 17.820 ekor [1].

Peternakan merupakan bagian dari pembangunan sektor pertanian yang memiliki nilai strategis dalam memenuhi kebutuhan protein hewani. Secara umum di Indonesia saat ini kesadaran masyarakat semakin meningkat terhadap pentingnya asupan gizi sehingga kebutuhan akan protein hewani juga semakin meningkat [2]. Oleh itu, kesehatan akan hewan ternak yang dipelihara oleh peternak menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. [3]. Kendala yang sering dihadapi oleh para peternak dalam melakukan kegiatan berternak adalah penyakit menular yang menyerang ternak. Penyakit pada hewan ternak merupakan salah satu faktor yang dapat menimbulkan kerugian ekonomi [4]. Kabupaten Bolaang Mongondow sangat mengandalkan tenaga medis yang ditugaskan dari pusat seminggu dua kali dalam melakukan pengobatan jika terdapat ternak yang sakit. Keterbatasan waktu dan kesulitan mengakses tenaga medis, membuat peternak melakukan pengobatan sendiri tanpa bekal pengetahuan yang cukup. Pemberian obat yang salah karena diagnosa yang kurang tepat justru dapat berakibat pada kematian hewan.

Salah satu teknologi informasi yang dapat membantu para peternak dalam melakukan penanganan dini terhadap penyakit yang menyerang hewan ternak adalah sistem pakar. Sistem pakar adalah sebuah aplikasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah seperti seorang pakar. Dalam menyelesaikan masalah saat pakar bekerja sering kali muncul kondisi yang tidak pasti. Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, dapat digunakan suatu metode yaitu *certainty factor*. Metode *certainty factor*

dapat mengakomodir ungkapan seperti “mungkin”, “kemungkinan besar”, atau “hampir pasti” [5].

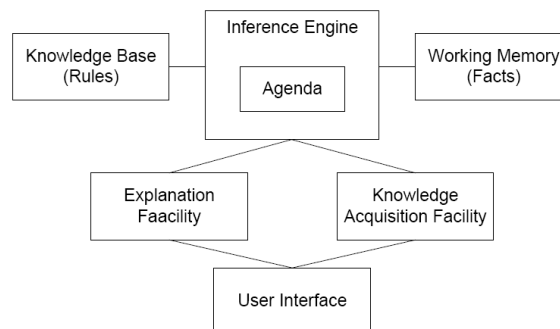
Berdasarkan beberapa hal yang telah disebutkan diatas, maka penelitian ini bertujuan membangun sistem pakar diagnosis penyakit hewan ternak berbasis web menggunakan metode *certainty factor*. Sistem pakar ini diharapkan dapat membantu peternak melakukan diagnosa dan penanganan penyakit hewan ternak berdasarkan pengetahuan pakar. Sistem pakar ini bekerja melalui masukan gejala penyakit yang terjadi pada ternak, kemudian melalui data gejala tersebut sistem melakukan penalaran berdasarkan pengetahuan pakar yang sudah tersimpan didalam sistem.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah menerapkan metode *certainty factor* dalam sistem pakar untuk diagnosis penyakit diantaranya adalah sistem pakar untuk diagnosis penyakit kambing berbasis web. Pada penelitian ini, sistem pakar dapat membantu para peternak mendiagnosis penyakit yang terjadi pada kambing dan cara penanganannya. Sistem dapat memberikan tingkat akurasi sebesar 84% pada 25 kasus uji [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Sibagariang bertujuan untuk membangun sistem pakar diagnosa penyakit sapi berbasis android [3]. Android adalah sistem operasi bergerak (*mobile operating system*) yang mengadopsi sistem operasi Linux. Android bersifat terbuka dan gratis, oleh karena itu hampir setiap kode program Android diluncurkan berdasarkan lisensi *open-source Apache* yang berarti bahwa semua orang yang ingin menggunakan Android dapat mendownload penuh *source code*-nya, sehingga sistem pakar ini dapat digunakan oleh siapa saja yang membutuhkan khususnya untuk menganalisa suatu jenis penyakit yang terdapat pada hewan ternak sapi sehingga dapat dengan mudah diketahui jenis penyakit yang sedang menjangkit sapi tersebut tanpa harus berhadapan dengan dokter hewan secara langsung. Sedangkan penelitian yang dilakukan Rahmawati bertujuan untuk membangun sistem pakar diagnosa penyakit pada burung kenari [7]. Burung kenari banyak diminati karena memiliki keindahan bulu, suara yang merdu, dan jenis yang beragam. Selain dapat dijadikan sebagai hobi, pemeliharaan burung kenari berpotensi memberikan peluang usaha yang mudah dan murah tetapi dapat memberikan keuntungan yang cukup besar. Tetapi salah satu kelemahan dari budidaya maupun pemeliharaan adalah burung kenari sangat rentan terhadap penyakit. Sistem pakar ini dapat memberikan ketepatan perhitungan dalam diagnosa gejala penyakit pada burung kenari serta solusi pada penyakit tersebut dengan nilai prosentase *certainty factor* terbesar.

2.1 Sistem Pakar

Sistem pakar adalah sistem berbasis komputer yang menggunakan pengetahuan, fakta dan teknik penalaran dalam memecahkan masalah yang biasanya hanya dapat dipecahkan oleh seorang pakar dalam bidang tersebut [8]. Untuk dapat disebut sebagai sistem pakar, harus memiliki arsitektur seperti terlihat pada Gambar 1. Sedangkan definisi sistem pakar yang lain dinyatakan bahwa sistem pakar adalah sistem yang mengambil pengetahuan manusia dan memanfaatkannya ke komputer, supaya komputer dapat menyelesaikan masalah layaknya manusia atau yang dilakukan oleh pakar pada umumnya, sehingga sistem pakar dapat



Gambar 1. Arsitektur Sistem Pakar

2.2 Metode Certainty Factor

Metode *certainty factor* digunakan ketika menghadapi suatu masalah yang jawabannya tidak pasti. Ketidakpastian ini merupakan probabilitas nilai keyakinannya setiap *rule* dan premis-premisnya. Formula perhitungan *certainty factor* dapat dilihat pada persamaan 1 [10].

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E) \quad (1)$$

Keterangan:

CF (H,E): *Certainty Factor* dari hipotesis H yang dipengaruhi oleh gejala (*evidence*) E. Besarnya CF berkisar antara -1 sampai dengan 1. Nilai -1 menunjukkan ketidakpercayaan mutlak, sedangkan 1 menunjukkan kepercayaan mutlak.

MB(H,E): Ukuran kenaikan kepercayaan (*measure of increased belief*) terhadap hipotesis H yang dipengaruhi oleh gejala E.

MD(H,E): Ukuran kenaikan ketidakpercayaan (*measure of increased disbelief*) terhadap hipotesis H yang dipengaruhi oleh gejala E.

Sedangkan nilai CF(Rule) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai CF(Rule)

No.	Keterangan	Nilai CF
1.	Pasti tidak	-1.0
2.	Hampir pasti tidak	-0.8
3.	Kemungkinan besar tidak	-0.6
4.	Mungkin tidak	-0.4
5.	Tidak tahu	0
6.	Mungkin	0.4
7.	Kemungkinan besar	0.6
8.	Hampir pasti	0.8
9.	Pasti	1.0

2.3 Penyakit Hewan Ternak

Penyakit adalah suatu keadaan abnormal dari tubuh atau pikiran yang menyebabkan ketidaknyamanan. Penyembuhan penyakit dapat dilakukan dengan cara berkonsultasi dengan seorang dokter [11]. Hewan ternak sangat rentan terhadap penyakit-penyakit yang menyerang hewan ternak secara tiba-tiba seperti pada hewan ternak Babi, Sapi dan Ayam. Berikut ini adalah jenis-jenis penyakit pada hewan ternak:

Pada hewan sapi, akan di bahas 10 jenis penyakit:

1. *Brucellosis* (Keguguran Menular)
2. Radang Paha
3. *Bovine ephemeral fever*
4. *Anthrax*
5. *Scabies*
6. *Malignant catharral fever*
7. Cacingan
8. *Foot rot*
9. *Bloat*
10. Masitis

Pada hewan babi, akan dibahas 12 jenis penyakit:

1. Anemia
2. Kekurangan vitamin A
3. *White scours*
4. *Cholera*
5. *Agalactia*
6. *Pneumonia*

7. *Swine pox*
8. *Aphatae epizotticae*
9. *Anthrax*
10. *Foot rot*
11. *Tuberculosis*
12. Masitis

Pada hewan ayam, akan dibahas 11 jenis penyakit:

1. *Snot*
2. *Pullorum*
3. *Cholera*
4. CRD
5. ND
6. Gumoro
7. *Worm disiasse*
8. *Cacidiosis*
9. *Fowl pox*
10. Merek
11. Coryza

2.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada tahap pengumpulan data, analisis, dan perancangan sistem pakar diagnosa penyakit hewan ternak berbasis web terdiri dari:

a. Studi Literatur

Metode dilakukan dengan cara membaca buku referensi, jurnal, dan media lain yang berkaitan dengan pengumpulan, analisa, dan pengolahan data secara umum.

b. Wawancara

Metode dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung kepada pakar yang memberikan solusi atau penanganan masalah untuk memperoleh data secara tepat dan akurat yang akan digunakan dalam sistem ini.

Sedangkan tahapan untuk perancangan dan pengembangan sistem pakar menggunakan *expert systems development life cycle* [12]

c. Identifikasi

Tahap ini dilakukan untuk menentukan batasan masalah yang dikaji, pakar yang terlibat, dan tujuan yang ingin dicapai.

d. Konseptualisasi

Pada tahap ini dilakukan penentuan konsep yang akan dikembangkan menjadi sistem pakar dengan merinci semua unsur yang terlibat dan menentukan mekanisme pengendalian yang diperlukan untuk mencapai solusi.

e. Formalisasi

Tahap ini adalah untuk menentukan struktur data dan metode yang dipakai serta menentukan kaskas yang digunakan untuk membangun sistem pakar.

f. Implementasi

Tahap implementasi merupakan tahap membuat rancangan sistem dan penulisan kedalam bahasa pemrograman.

g. Pengujian

Pada tahap ini, dilakukan pengujian dan perbaikan sistem

3. HASIL

Pada bagian ini akan dijelaskan analisis perhitungan menggunakan metode *certainty factor* serta implementasinya dalam bahasa pemrograman PHP.

3.1 Analisa Perhitungan Manual Metode Certainty Factor

Seperti yang sudah disampaikan sebelumnya bahwa metode *certainty factor* dapat mengakomodasi ungkapan yang mengandung ketidakpastian, dimana ketidakpastian dapat berupa probabilitas pada setiap aturan maupun premis. Pada tabel 1, nilai yang sama juga berlaku untuk pengguna. Nilai 0 mempunyai arti bahwa pengguna tidak tahu apakah hewan ternak mempunyai gejala penyakit seperti yang ditanyakan oleh sistem. Semakin tinggi nilai yang diberikan pengguna kedalam sistem menunjukkan bahwa pengguna mengetahui gejala penyakit yang terjadi pada hewan ternak mereka, dan sebaliknya. Salah satu proses analisa untuk menentukan presentase hasil dari diagnosis penyakit hewan ternak dapat dilihat pada perhitungan berikut berdasarkan persamaan 1, dengan aturan diagnosis pada salah satu penyakit sapi yaitu *Brucellosis*.

IF mengalami keguguran
And mengeluarkan cairan vaginal
And demam tinggi
And badan lemah
And berat badan turun
And susah berdiri
And depresi
And kematian
Then Brucellosis

Langkah pertama, pakar memberikan nilai CF pada masing-masing gejala pada penyakit *Brucellosis*, sebagai berikut:

CFpakar (mengalami keguguran) = 1.0
CFpakar (mengeluarkan cairan vaginal) = 0.8
CFpakar (demam tinggi) = 0.4
CFpakar (badan lemah) = 0.6
CFpakar (berat badan turun) = 0
CFpakar (susah berdiri) = 0
CFpakar (depresi) = 0.4
CFpakar (kematian) = 0.4

Langkah kedua, pengguna diminta memberikan jawaban menggunakan ungkapan tidak pasti seperti pada tabel 1, misalnya sebagai berikut:

Apakah ternak mengalami keguguran? Hampir pasti (CF = 0.8)
Apakah ternak mengeluarkan cairan vaginal? Kemungkinan besar (CF = 0.6)
Apakah ternak mengalami demam tinggi? Tidak tahu (CF = 0)
Apakah ternak mengalami badan lemah? Mungkin (CF = 0.4)
Apakah ternak berat badannya turun? Tidak tahu (CF = 0)
Apakah ternak susah berdiri? Mungkin tidak (CF = -0.4)
Apakah ternak depresi? Kemungkinan besar tidak (CF = -0.6)
Apakah ternak ada kemungkinan mati? Mungkin (CF = 0.4)

Menghitung nilai CF pengguna dan pakar

$CF(H,E)1 = CF(E)1 * CF(Rule)1$	$CF(H,E)5 = CF(E)5 * CF(Rule)5$
$= 0.8 * 1.0$	$= 0 * 0$
$= 0.8$	$= 0$
$CF(H,E)2 = CF(E)2 * CF(Rule)2$	$CF(H,E)6 = CF(E)6 * CF(Rule)6$
$= 0.6 * 0.8$	$= -0.4 *$
$= 0.48$	$= 0$
$CF(H,E)3 = CF(E)3 * CF(Rule)3$	$CF(H,E)7 = CF(E)7 * CF(Rule)7$
$= 0 * 0.4$	$= -0.6 * 0.4$
$= 0$	$= -0.24$
$CF(H,E)4 = CF(E)4 * CF(Rule)4$	$CF(H,E)8 = CF(E)8 * CF(Rule)8$
$= 0.4 * 0.6$	$= 0.4 * 0.4$
$= 0.24$	$= 0.16$

Menghitung nilai CF kombinasi untuk setiap aturan

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{1,2} &= CF(H,E)_1 + CF(H,E)_2 * [1 - CF(H,E)_1] \\ &= 0.8 + 0.48 * 0.2 \\ &= 0.8 + 0.096 \\ &= 0.896 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}3} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_3 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.896 + 0 * 0.104 \\ &= 0.896 + 0 \\ &= 0.896 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}4} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_4 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.896 + 0.24 * 0.104 \\ &= 0.896 + 0.025 \\ &= 0.921 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}5} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_5 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.921 + 0 * 0.079 \\ &= 0.921 + 0 \\ &= 0.921 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}6} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_6 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.921 + 0 * 0.079 \\ &= 0.921 + 0 \\ &= 0.921 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}7} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_7 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.921 + (-0.24) * 0.079 \\ &= 0.921 - 0.018 \\ &= 0.903 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF_{\text{combine}}(H,E)_{\text{old}8} &= CF(H,E)_{\text{old}} + CF(H,E)_8 * [1 - CF(H,E)_{\text{old}}] \\ &= 0.903 + 0.16 * 0.097 \\ &= 0.903 - 0.016 \\ &= 0.887 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, aturan memiliki CF sebesar 0.887. Hasil tersebut dapat disimpulkan memiliki tingkat keyakinan hampir pasti dengan presentasi sebesar 88.7% dinyatakan bahwa sapi menderita *Brucellosis*.

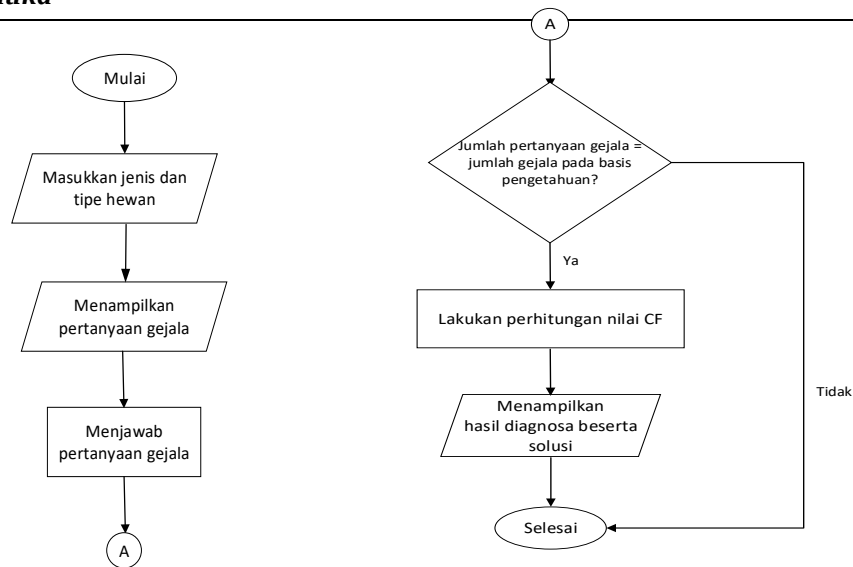
3.2 Diagram Alir Proses Sistem

Pada Gambar 2 dibawah ini adalah alur proses dari sistem pakar yang dibangun mulai dari pembacaan masukkan yang diberikan pengguna sampai dengan hasil diagnosa dan solusi yang diberikan oleh sistem.

3.3 Tampilan Antarmuka Sistem

Sistem Pakar untuk diagnosa penyakit ternak ini dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman berbasis web PHP. Beberapa tampilan antarmuka sistem dapat dilihat pada beberapa gambar di bawah ini. Gambar 3 adalah tampilan halaman beranda, gambar 4 adalah tampilan halaman diagnosa, dan gambar 5 adalah tampilan halaman hasil diagnosa.

Hasil pengujian sistem dilakukan melalui halaman diagnosa dimana pengguna akan memberikan masukkan dengan cara memberi jawaban dari pertanyaan gejala yang diajukan sistem dengan memilih salah satu nilai besar kepercayaan yang disediakan. Berdasarkan 20 kali pengujian dengan berbagai jenis dan tipe hewan, sistem tidak dapat memberikan diagnosa atau memberikan diagnosa yang salah dengan kondisi pertama pengguna tidak memberikan nilai besar kepercayaan sama sekali, dan kedua pengguna memberikan nilai kepercayaan yang sama untuk pertanyaan gejala. Pada tabel 2, dapat dilihat kinerja dari sistem pakar yang dibangun.

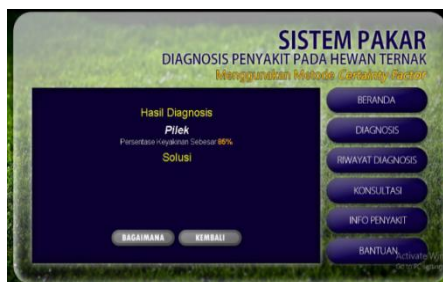


Gambar 2. Diagram Alir Proses Diagnosis Sistem

Gambar 3. Tampilan Halaman Beranda



Gambar 4. Tampilan Halaman Diagnosa



Gambar 5. Tampilan Halaman Hasil Diagnosa

Tabel 2. Kinerja Sistem

No.	Jenis Hewan	Kasus Uji	Hasil
1.	Sapi	Brucellosis	Sesuai
2.		Anthrax	Sesuai
3.		Cacingan	Sesuai
4.		Masitis	Tidak Sesuai
5.		Foot Rot	Sesuai
6.		Scabies	Sesuai
7.	Babi	Anemia	Sesuai
8.		Cholera	Sesuai
9.		Anthrax	Tidak Sesuai
10.		Masitis	Sesuai
11.		Tuberculosis	Sesuai
12.		Foot rot	Sesuai
13.	Ayam	Cholera	Tidak Sesuai
14.		Gumoro	Sesuai

15.		Worm Disiace	Sesuai
16.		Merek	Sesuai
17.		Snot	Sesuai
18.		Fowl pox	Sesuai
19.		Cacidiosis	Sesuai
20.		Pullorum	Sesuai

4. KESIMPULAN

Sistem pakar diagnosis penyakit pada hewan ternak berbasis *web* telah berhasil dibangun menggunakan *rule base system* sebanyak 102 aturan, mesin inferensi menggunakan teknik *forward chaining*, metode *certainty factor* dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah ketidakpastian dalam diagnosis penyakit menggunakan bahasa pemrograman PHP. Sistem pakar diagnosa penyakit hewan ternak yang dibangun dapat memberikan unjuk kerja sebesar 85% pada 20 kasus pengujian.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, "Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Sulawesi Utara," Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara, Manado, 2014.
- [2] A. K. Rintjap, "Efektivitas Komunikasi Dalam Penerimaan Informasi Pada Kelompok Peternak Sapi Potong Di Kecamatan Remboken, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara," *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, vol. 1, no. 7, pp. 1711-1714, 2015.
- [3] S. Sibagariang, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Sapi Dengan Metode Certainty Factor Berbasis Android," *Jurnal Times*, vol. IV, no. 2, pp. 35-39, 2015.
- [4] E. Nugroho, S. B. Siswijono, B. A. Nugroho, H. Hermanto, P. S. Winarto, R. Prafitri, I. Subagiyo and S. Susilo, "Kajian Evaluasi Manfaat dan Kontribusi Dana APBN Dalam Pembangunan Peternakan Di Jawa Timur," *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, vol. XX, no. 2, pp. 14-23, 2010.
- [5] T. Sutojo, E. Mulyanto and V. Suhartomo, *Kecerdasan Buatan*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2011.
- [6] M. Orisa, P. B. Santoso and O. Setyawati, "Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Kambing Berbasis Web Menggunakan Metode Certainty Factor," *Jurnal EECCIS*, vol. VII, no. 2, pp. 49-53, 2014.
- [7] A. Rahmawati, D. Puspitasari and H. Pradibta, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Pada Burung Kenari Dengan Metode Certainty Factor," *Jurnal Informatika Polinema*, vol. I, no. 2, pp. 49-53, 2015.
- [8] L. Handayani and T. Sutikno, "Sistem Pakar untuk Diagnosis Penyakit THT Berbasis Web dengan "e2gLite Expert System Shell"," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. XII, no. 1, pp. 19-26, 2008.
- [9] N. A. Sari, "Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Demam Berdarah Menggunakan Certainty Factor," *Jurnal Pelita Informatika Budi Dharma*, vol. IV, no. 3, pp. 100-103, 2013.
- [10] Kusrini, *Sistem Pakar Teori dan Aplikasinya*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2006.
- [11] Diana, "Sistem Pendukung Keputusan Diagnosis Penyakit Tanaman Padi," *Telematik*, vol. I, no. 1, pp. 26-31, 2009.
- [12] C. R. M. Yusuf, D. D. S. Fatimah and D. J. Damiri, "Perancangan Sistem Pakar Untuk Diagnosis Penyakit Amenorea Dengan Menggunakan Metode Expert Systems Development Life Cycle," *Jurnal Algoritma*, vol. XI, no. 10, pp. 2-10, 2014.

APLIKASI ANALISIS GEROMBOL DAN VISUALISASI MULTIDIMENSIONAL GEMPA BUMI PROVINSI BENGKULU DAN SEKITARNYA

FACHRI FAISAL¹, PEPI NOVIANTI², JOSE RIZAL³

¹ Program Studi Matematika Fakultas MIPA Universitas Bengkulu, fachrif@unib.ac.id

² Program Studi Statistika Fakultas MIPA Universitas Bengkulu, pie_novianti@unib.ac.id

³ Program Studi Matematika Fakultas MIPA Universitas Bengkulu, jrizal04@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengaplikasikan analisis multivariat untuk mengelompokkan dan mendeskripsikan hasil pengelompokkan titik-titik pusat terjadinya gempa di Provinsi Bengkulu. Data yang digunakan merupakan data gempa bumi di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya berdasarkan data BMKG dari bulan Januari 2000 sampai dengan Desember 2016. Analisis yang digunakan untuk mengelompokkan kejadian gempa adalah analisis gerombol *K-means* dan penskalaan multidimensional. Variable yang digunakan adalah posisi latitude, longitude, kedalaman dan kekuatan gempa. Tahap pertama yang akan dilakukan adalah mengelompokkan data episentrum dengan menggunakan analisis *K-means*, tahap berikutnya adalah mengelompokkan kejadian gempa berdasarkan *multidimensional scalling* dan kemudian menyajikan hasil penggerombolan dalam peta serta mendeskripsikan kejadian gempa di setiap gerombol. Berdasarkan *multidimensional scalling*, hasil penggerombolan analisis *K-means* sangat dipengaruhi oleh variabel kedalaman gempa. Berdasarkan penggerombolan analisis *K-means*, gerombol 1, 2 dan 6 merupakan gempa dangkal, gerombol 7, 5 dan 4 merupakan jenis gempa menengah dan gerombol 3 merupakan jenis gempa dalam.

Kata kunci:: *Gempabumi, penggerombolan k-means, multidimensional scaling, euclidean distance, eigenvalue.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup kedalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal maka akan berpotensi menimbulkan tsunami sehingga Indonesia juga dikategorikan wilayah rawan kejadian tsunami.

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu provinsi yang terletak pada pertemuan lempeng tektonik IndoAustralia dan Eurasia yang merupakan generator utama aktivitas gempa bumi tinggi. Gerakan yang diakibatkan kedua lempeng tersebut bisa menimbulkan terjadinya patahan aktif yang merupakan generator seismisitas di belahan Sumatera. Bengkulu juga berada di antara dua patahan aktif yakni patahan Semangko dan Mentawai. Kondisi ini menjadikan Provinsi Bengkulu sebagai daerah paling rawan

terhadap bencana gempa bumi [1]. Bengkulu telah digoncang dua kali gempa tektonik berkekuatan besar dalam kurun waktu yang relatif singkat, yakni pada tahun 2000 dan tahun 2007. Pada tanggal 4 Juni 2000, Bengkulu digoncang gempa bumi tektonik dengan kekuatan 7,3 pada Skala Richter (SR). Kemudian gempa besar kembali terjadi di Bengkulu pada tanggal 12 September 2007 dengan kekuatan 7,9 SR. Menurut sejarah Provinsi Bengkulu telah beberapa kali digoncang gempa besar seperti pada tanggal 24 November 1833 (VIII-IX MMI), 18 Agustus 1938 (VII MMI), 18 Agustus 1871 (VI-VII MMI), 26 Juni 1914 (VII-VIII MMI), 24 Nopember 1933 (VIII- IX MMI) dan 15 Desember 1979 (VIII MMI).

Kejadian gempa bumi telah mengakibatkan korban jiwa serta kerugian harta benda yang tidak sedikit. Hal inilah yang menjadi dasar diperlukannya upaya-upaya mitigasi baik ditingkat pemerintah maupun masyarakat untuk mengurangi resiko akibat bencana gempabumi dan tsunami. Salah satu bentuk mitigasi bencana adalah sistem peringatan dini. Sistem peringatan dini memiliki empat komponen: Pengetahuan (meliputi bahaya dan resiko, peramalan, peringatan, dan reaksi), observasi (monitoring gempa dan permukaan laut), integrasi serta diseminasi Informasi, dan kesiapsiagaan.

Data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Bengkulu menunjukkan bahwa pusat gempa yang terjadi di Bengkulu berbeda-beda. Perbedaan letak episentrum gempa dan waktu kejadian gempa diakibatkan oleh keadaan geologi dan seismisitas di Provinsi Bengkulu. Oleh karena itu setiap kejadian gempa memiliki keterkaitan dalam ruang dan waktu. Dari sudut pandang statistika spatial, Fachri dkk (2014) menyatakan terdapat hubungan kejadian gempa bumi antar titik kejadian, dimana hasilnya secara statistik terdapat hubungan yang erat kejadian gempa antar titik lokasi. Secara statistika, kedekatan dan karakteristik titik kejadian gempa ini dapat dikelompokkan dengan menggunakan pendekatan analisis gerombol [2].

Shodiq, *et.al* (2015) telah memperkenalkan sebuah pendekatan untuk menggerombolkan data gempa yang terjadi di Indonesia dengan menggunakan *Single Linkage Hierarchical K-means clustering*. Banyaknya klaster optimum ditentukan berdasarkan metode *Valley Tracing*. Berdasarkan hasil penelitiannya diperoleh hasil bahwa jumlah gerombol yang optimum untuk gempa bumi di Indonesia adalah 6 gerombol [3]. Weatherill dan Burton (2009) melakukan penelitian tentang analisis gerombol *K-means* pada daerah sumber seismisitas dangkal di Aegean (termasuk Yunani, Albania, *Former Yugoslav Republic of Macedonia* (F.Y.R.O.M.), Bulgaria bagian Selatan dan Turki bagian barat). Penelitian ini mengembangkan *K-means* partisi seismisitas ke dalam sumber model dan menaksir gambaran dari seismotektonik di Aegean. Pada penelitian ini juga dilakukan pembobotan pada analisis *K-means* dengan panjang patahan sebagai pembobot dari setiap data kejadian gempa. Hasilnya menunjukkan bahwa model mengandung 20 sampai dengan 30 gerombol untuk daerah sumber seismisitas Aegean [4]. Pada tahun 2014 Rehman, Burton dan Weatherill juga melakukan penelitian yang mengaplikasikan analisis gerombol *K-means* dan mempartisi kegempaan di Pakistan. Analisis gerombol *K-means* pada penelitian ini hanya menggunakan *K-means* titik dan tanpa pembobotan. Hasil dari penelitian ini adalah gerombol yang optimum dari kejadian kegempaan di Pakistan sebanyak 19 gerombol [5].

Untuk mengeksplorasi hubungan gerombol yang diperoleh, penggerombolan harus disajikan secara visual karena penggerombolan tidak pernah memberikan hasil yang konsisten. Visualisasi gerombol dianggap sebagai salah satu metode yang paling beralasan untuk pendeteksian dan validasi gerombol. Visualisasi ini berkinerja baik untuk menyajikan gerombol yang tidak beraturan. [6]. Shodiq, dkk. (2015) Menyatakan bahwa salah satu teknik efektif untuk mempelajari data spatial multidimensional adalah visualisasi. Visualisasi data multidimensional adalah masalah yang rumit sebab analisis

ini terdiri dari data cluster yang diamati dan parameter seismik. Shodiq, dkk. mengusulkan sebuah sistem visualisasi, yang disebut IES (Sistem Gempa Indonesia), untuk analisis cluster, analisis spatio temporal, dan visualisasi data multidimensi seismik [7]. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Dzwinel, *et.al.* (2003) dengan mengaplikasikan metode penggerombolan dengan menggunakan k tetangga terdekat untuk mengelompokkan data simulasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gempa besar berkorelasi dengan bagian-bagian gempa kecil. Visualisasi dengan menggunakan ruang sifat multidimensional menyatakan bahwa terdapat hubungan antara gerombol gempa kecil, sedang dan besar [8].

Novianti, dkk (2017) mengaplikasikan analisis gerombol *K-means* untuk mengelompokkan titik-titik pusat terjadinya gempa di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya. Variable yang digunakan adalah posisi latitude, longitude dan kekuatan gempa. Dari hasil analisis gerombol *K-means* diperoleh bahwa penggerombolan yang optimum untuk data kejadian gempa di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya sebanyak 7 gerombol. Apabila disajikan dalam peta, hasil penggerombolan cenderung berkumpul di sekitar titik pusat gerombol, sehingga hasil penggerombolan terlihat jelas yang dinyatakan dengan warna yang berbeda. Tidak dilibatkannya variabel kedalaman gempa masih menghasilkan gerombol yang beraturan pada peta dan relatif mudah untuk diinterpretasikan [9]. Pada penelitian ini akan dilakukan penggerombolan titik pusat gempa Bengkulu dengan memasukkan variabel kedalam analisis menggunakan *K-means*. Titik-titik sumber gempa akan divisualisasikan dengan menggunakan analisis multidimensional scalling. Hasil pengelompokkan *K-means* akan dibandingkan dengan hasil visualisasi multidimensional scalling.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis gerombol *K-means*

Analisis gerombol merupakan teknik peubah ganda yang mempunyai tujuan utama untuk mengelompokkan objek-objek berdasarkan kemiripan karakteristik yang dimilikinya. Karakteristik objek-objek dalam suatu gerombol memiliki tingkat kemiripan yang tinggi, sedangkan karakteristik antar objek pada suatu gerombol dengan gerombol lain memiliki tingkat kemiripan yang rendah. Dengan kata lain, keragaman dalam suatu gerombol minimum sedangkan antar keragaman antar gerombol maksimum [10].

Kemiripan antar objek diukur dengan menggunakan ukuran jarak. Beberapa ukuran jarak yang sering digunakan antara lain jarak *euclid*, jarak mahalanobis, jarak *City-block* (Manhattan), dan lain-lain. Jarak *euclid* merupakan tipe jarak yang paling umum dipilih. Kemudahannya adalah jarak geometrik dalam ruang dimensi ganda. Perhitungan jarak *euclid* sebagai berikut:

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + \dots + (x_p - y_p)^2} = \sqrt{(x - y)'(x - y)} \quad (1)$$

Jarak *Euclid* (dan kuadrat *Euclid*) biasanya dihitung dari data mentah, dan tidak dari data standar. Metode ini memiliki beberapa keuntungan, antara lain jarak dari 2 objek apa saja tidak dipengaruhi oleh penambahan dari objek baru untuk di analisis, yang mungkin merupakan pencilan. Namun demikian, jarak bisa menjadi sangat besar, disebabkan hanya karena perbedaan skala.

Prosedur pembentukan gerombol terbagi menjadi 2 metode, yaitu metode hirarki dan nonhirarki. Pembentukan metode hirarki mempunyai sifat sebagai pengembangan suatu hirarki atau struktur mirip pohon bercabang. Metode hierarki bisa *agglomerative* atau

devisive. Metode *agglomerative* terdiri dari *linkage method*, *variance methods*, dan *centroid method*. *Linkage method* terdiri dari *single linkage*, *complete linkage* dan *average linkage*. Metode non hierarki sering disebut metode *K-mean*.

MacQueen menyarankan penggunaan *K-means* untuk mendeskripsikan algoritma dalam penentuan suatu objek ke dalam gerombol tertentu berdasarkan ukuran pusat terdekat (rata-rata). Dalam bentuk yang paling sederhana, proses ini terdiri dari tiga tahap [11]:

1. Partisi obyek-obyek ke dalam *K* gerombol awal
2. Dimulai dengan mencatat obyek-obyek, menentukan suatu obyek ke dalam suatu gerombol yang mempunyai ukuran pusat terdekat (rata-rata). Jarak biasanya dihitung menggunakan jarak Euclid dengan pengamatan yang distandarkan atau yang tidak distandarkan. Hitung kembali *centroid* (titik pusat) untuk gerombol yang mendapatkan obyek baru dan untuk gerombol yang kehilangan obyek. *Centroid* pada satu kelompok dihitung dengan cara menghitung nilai rata-rata dari data sebagai berikut:

$$C_{kj} = \frac{x_{1kj} + x_{2kj} + \dots + x_{akj}}{a}, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

Dimana C_{kj} = *centroid* pada kelompok k variabel j

a = banyaknya anggota pada kelompok k

3. Langkah 2 diulangi sampai tidak ada lagi pemindahan obyek.

Pengklasteran *K-means* sangat cocok untuk data dengan ukuran yang besar karena memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan metode hirarki. Kelemahan metode ini adalah pada pemilihan banyaknya gerombol dan *centroid* yang harus ditentukan lebih dahulu. Hasil penggerombolan mungkin tergantung pada urutan observasi data. Selain itu jarak pada tahapan awal mempunyai nilai yang hampir sama sehingga sukar untuk menentukan urutan beberapa kluster awal yang terbentuk. Sebenarnya tidak ada aturan baku dalam menentukan banyak kluster tergantung subjektivitas peneliti. Peneliti juga dapat menggunakan pertimbangan teoritis, konseptual dan praktis [12].

2.2 Multidimensional Scalling

Multidimensional scalling (MDS) adalah suatu teknik multivariat yang digunakan untuk menyajikan objek-objek secara visual berdasarkan proximity yang dimiliki dalam ruang dimensi yang rendah. Tujuan dari MDS adalah untuk memvisualisasikan hubungan beberapa objek dalam sebuah grafik. Selain itu MDS digunakan untuk mengelompokkan objek-objek yang memiliki kemiripan dan melibatkan banyak peubah yang dianggap mampu mengelompokkan objek tersebut.

Proximity merupakan ukuran yang digunakan untuk mengukur hubungan antar objek. *Proximity* juga diartikan sebagai kedekatan objek yang satu dengan yang lainnya. *Proximity* dapat berupa kemiripan (s_{rj}) ataupun ketakmiripan (δ_{rj}) antar objek. Kemiripan digunakan untuk mengukur hubungan antar objek dan diukur berdasarkan jarak satu objek dengan objek lainnya.

MDS terbagi mejadi dua jenis, yaitu MDS metrik dan non metrik. MDS metrik digunakan apabila data jarak berupa data rasio. MDS metrik digunakan untuk menemukan himpunan titik dalam ruang dimensi n dimana masing-masing titik mewakili satu objek sehingga jarak antar titik adalah $d_{rj} \approx f(\delta_{rj})$, dimana f adalah fungsi monotonik parametric kontinu. Fungsi ini dapat berupa fungsi identitas maupun fungsi transformasi ketakmiripan menjadi jarak.

Ketakmiripan dalam MDS biasanya dinyatakan dalam bentuk jarak *euclid*. Misalkan koordinat n titik dalam ruang euklid berdimensi- p adalah x_r ($r=1,2,\dots,n$), dimana $(x_r)^T = (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{rp})^T$. Jarak euklid antara titik r ke t adalah [12]:

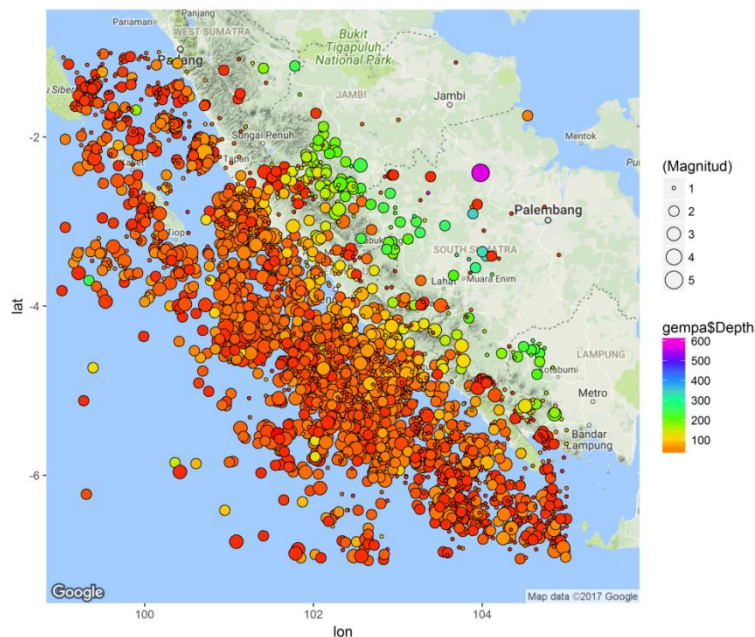
$$d_{rt}^2 = (x_r - x_t)^T (x_r - x_t)$$

Secara singkat algoritma MDS adalah sebagai berikut:

1. Menentukan koefisien ketakmiripan (δ_{rt})
2. Mencari matriks $A = \left[-\frac{1}{2} \delta_{rt}^2 \right]$
3. Mencari matriks $B = [a_{rt} - a_{r.} - a_{.s} + a_{..}]$
4. Mencari akar ciri $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}$ dan vektor ciri $V_1, V_2, \dots, V_{n-1}$ yang kemudian dinormalkan sehingga $V_i^T V_i = \lambda_i$.
5. Memilih jumlah dimensi yang tepat. Dapat menggunakan $\frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}$
6. Menentukan koordinat n titik pada ruang euklid dimensi p dengan $x_{ri} = V_{ir}$ ($r = 1, 2, \dots, n; i = 1, \dots, p$)

3. HASIL

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data gempa bumi tektonik di Provinsi Bengkulu dari bulan Januari 2000 sampai dengan Desember 2016. Data diperoleh dari katalog gempa bumi BMKG dan USGS. Data berupa posisi koordinat pusat gempa, latitude, longitude, kedalaman dan magnitude gempa. Berdasarkan posisi garis bujurnya, kejadian gempa pada data berada pada rentang 99.00°BT sampai 106.00°BT . Sedangkan berdasarkan posisi garis lintang, data minimum berada pada titik -7.00°LS dan maksimum berada pada titik -1.00°LS . Penyebaran data kejadian gempa Provinsi Bengkulu disajikan pada gambar (1).



Gambar 2. Penyebaran Kejadian Gempa dengan kekuatan ≥ 3 SR tahun 2000-2016. Magnitudo 1: $SR \leq 4$, Magnitudo 2: $4 < SR \leq 5$, Magnitudo 3: $5 < SR \leq 6$, Magnitudo 4: $6 < SR \leq 7$, Magnitudo 5: $SR \leq 8$

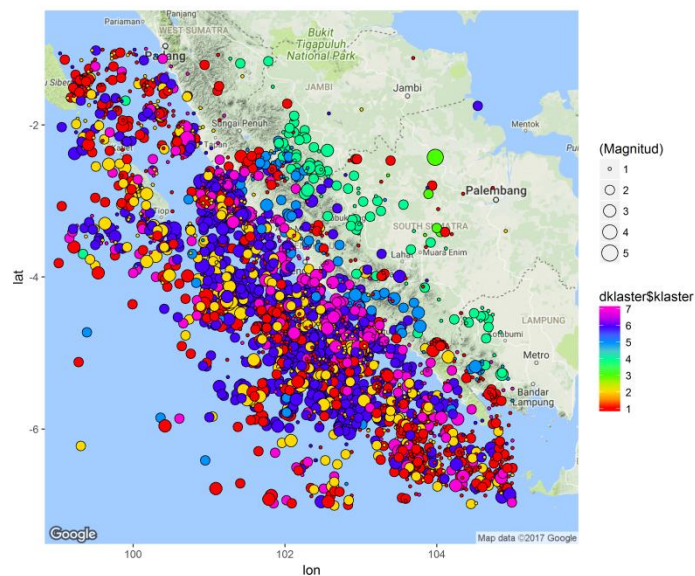
Berdasarkan kekuatannya, kejadian gempa terbesar di Provinsi Bengkulu terjadi pada tanggal 12 September 2007 dengan kekuatan M 8.4 yang berada pada episentrum -4.44°LS 101.36°BT dan pada kedalaman 34 KM. Menurut Ardiansyah (2014) akibat

bencana ini, total 25 orang meninggal dunia, 41 orang luka berat, dan puluhan lainnya mengalami luka ringan. Gempa ini juga merusak puluhan ribu rumah penduduk, bangunan/instansi pemerintah, rumah ibadah, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, jalan/jembatan serta irigasi dalam skala rusak total, berat, maupun ringan. Kejadian gempa bumi besar lainnya adalah sebesar M 7.3 yang terjadi pada tanggal 4 Juni 2000 dan pada letak episentrum -4.72°LS dan 102.09°BT serta berjarak 33 KM dibawah permukaan laut. Gempabumi 4 Juni 2000 merupakan salah satu gempa bumi merusak yang terjadi di daerah Bengkulu. Gempa bumi ini berjarak lebih kurang 100 km sebelah selatan Bengkulu. Lebih dari 90 orang meninggal, ratusan lainnya luka-luka dan ribuan rumah serta bangunan di Propinsi Bengkulu rusak [13].

Dilihat dari kedalamannya, 85.56% gempa di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya merupakan gempa dangkal, 14.26% merupakan gempa menengah dan sisanya 00.18% adalah gempa dalam. Dilihat dari persentasenya sebagian besar gempa bumi di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya adalah gempa dangkal. Hal ini terlihat pada Gambar 1 yang ditandai dengan banyaknya titik episentrum yang berwarna merah dan orange dan sebagian besar terjadi di laut Samudera Hindia. Gempa dangkal merupakan gempa yang paling berbahaya dikarenakan dapat menimbulkan kerusakan dan berpotensi terjadi tsunami. Apabila ditinjau dari kekuatannya, sebagian besar gempa yang terjadi adalah gempa minor dan ringan dengan persentase 90.00%. Sekitar 9.15% gempa yang terjadi merupakan gempa sedang dan 00.63% merupakan gempa kuat dan gempa mayor.

3.1 Penggerombolan dengan *K-Means*

Pada penelitian sebelumnya, Novianti, dkk telah menentukan bahwa gerombol yang optimal berdasarkan variabel latitude, lotitude dan magnitudo adalah sebanyak 7 gerombol. Pada hasil penggerombolan tersebut, episentrum dalam satu kelompok cenderung mengumpul di sekitar titik pusat. Dengan menambahkan variabel kedalaman gempa, hasil penggerombolan dengan $k=7$ disajikan pada gambar 2.



Gambar 3. Penggerombolan Data Gempa Tektonik Provinsi Bengkulu dengan variable longitude, latitude, kedalaman dan magnitudo.

Pada gambar 2 terlihat bahwa hasil penggerombolan menyebar tidak beraturan di posisi latitude dan longitudinya. Anggota dari gerombol 1 yang ditandai dengan titik berwarna

merah dan gerombol 2 dengan warna kuning menyebar di lautan samudera Hindia. Anggota dari gerombol 3 dengan warna hijau toska dan gerombol 4 dengan warna hijau sebagian besar terjadi di darat. Anggota dari gerombol 5 dengan warna biru muda terjadi di pesisir pantai Samudera Hindia. Gerombol 6 dan 7 dengan warna biru tua dan violet terjadi di lautan. Deskripsi gerombol diringkas pada tabel 1.

Tabel 2. Rata-rata variabel menurut hasil penggerombolan

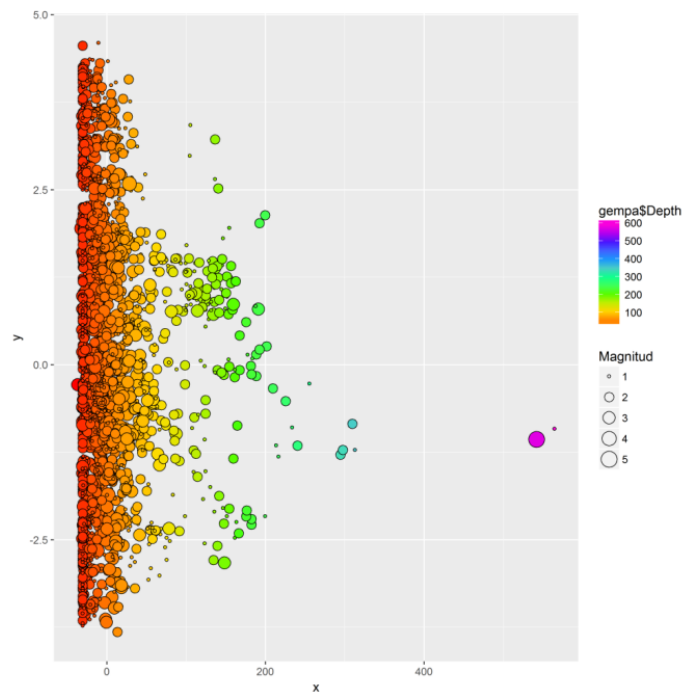
Gerombol	Magnitud e	Kedalaman	Latitude	Longitude	Jumlah
1	3.88	11.2184	-4.52	102.39	837
2	4.13	23.8474	-4.32	101.89	498
3	4.62	427.1667	-3.04	103.85	6
4	4.06	193.1158	-3.10	102.85	114
5	4.06	115.4185	-3.97	102.70	146
6	4.52	35.2116	-4.51	102.08	1307
7	4.37	64.0601	-4.26	102.21	381

Pada tabel 1 terlihat bahwa rata-rata magnitudo gempa terkecil berada pada klaster 5. yaitu sebesar M 3.8. Sebagian besar gempa pada klaster 5 terjadi di lautan dengan kedalaman rata-rata 11.22 dan jumlah anggota 837 kejadian gempa. Berdasarkan kedalaman dan magnitudo. Klaster 5 merupakan gempa dangkal dan gempa ringan.

Gempa yang sering terjadi di Provinsi Bengkulu adalah gempa pada klaster 4 dengan kejadian sebanyak 1.307. rata-rata gempa ini terjadi di kedalaman 35.21 KM dan magnitudo rata-rata M 4.5. dengan kejadian menyebar di lautan. klaster 4 termasuk ke dalam jenis gempa dangkal. Gempa dengan magnitudo rata-rata terbesar dan kedalaman terbesar adalah klaster 6. Semua anggota kejadian di klaster 6 terjadi di daratan.

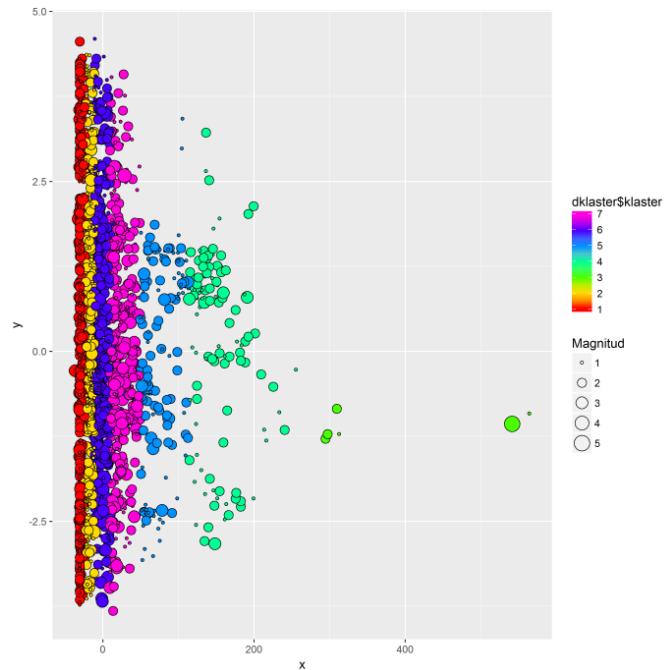
3.2 Visualisasi Multidimensional

Pada gambar 1 dan gambar 2 titik pusat gempa disajikan dalam posisi longitude dan latitude. Posisi penyebaran gerombol yang tumpang tindih mengakibatkan penentuan zona gerombol dengan menggunakan variabel longitude, latitude, kedalaman dan magnitudo tidak begitu jelas. Dengan menggunakan bantuan *multidimensional scaling*. Kejadian gempa dapat disajikan dalam ruang dimensi 2 seperti pada gambar 3.



Gambar 4. Visualisasi dua dimensi penskalaan multidimensional berdasarkan latitude, longitude, kedalaman dan magnitud gempa.

Interpretasi pada grafik 2-dimensi MDS sama dengan interpretasi untuk grafik yang lain, yaitu objek-objek yang berdekatan cenderung memiliki persamaan sifat dibandingkan dengan objek yang berada jauh. Pada gambar 3 terbentuk pola pada pencarian data berdasarkan kedalaman gempa. Kelompok pertama dengan warna titik merah merupakan gempa dangkal, kelompok kedua dengan warna bergradien dari orange hingga kuning termasuk dalam gempa menengah, dan titik dengan warna hijau hingga violet merupakan gempa dalam. Sedangkan jenis gempa berdasarkan kekuatannya magnitudnya tidak memiliki pola dan terpencah secara merata. Hal ini berarti variabel kedalaman dapat membedakan titik episentrum sedangkan kekuatan gempa tidak cukup membedakan antara satu kelompok dengan kelompok yang lain. Apabila titik episentrum gempa diwarnai berdasarkan penggerombolan k-means, maka penyebaran gerombol pada ruang dua-dimensi terlihat pada gambar 4.



Gambar 5. Visualisasi dua dimensi penskalaan multidimensional hasil penggerombolan k-means dengan variabel latitude, longitude, kedalaman dan magnitud gempa.

Pada gambar 4 terlihat posisi titik episentrum dalam gerombol yang sama cenderung mengumpul pada nilai dimensi pertama. Gerombol 1 dengan warna merah memiliki rata-rata kedalaman 11.21 dan kekuatan magnitud 3.88, gerombol 2 dengan warna gerombol kuning memiliki rata-rata kedalaman 23.85 dan kekuatan magnitud 4.13, gerombol 6 dengan warna biru tua memiliki rata-rata kedalaman 35.21 memiliki rata-rata kedalaman 35.21 dan kekuatan magnitud 4.52. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gerombol 1, 2 dan 6 merupakan gerombol data dengan jenis gempa dangkal. Gerombol 4 dan 5 dengan rata-rata kedalaman 193.12 dan 115.42 merupakan gerombol data dengan jenis gempa menengah. Sedangkan gerombol 3 dengan jumlah data sebanyak 6 kejadian gempa merupakan gempa dengan jenis gempa dalam.

4. KESIMPULAN

1. Selama jangka waktu 2000-2016, kejadian gempa bumi di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya sebagian besar terjadi di laut Samudera Hindia dan hanya sebagian kecil terjadi di daratan.
2. Kejadian gempa dangkal dengan kekuatan minor dan sangat sering terjadi di Provinsi Bengkulu dan sekitarnya.
3. Analisis penggerombolan metode *K-means* dengan menggunakan variabel latitude, longitude, kedalaman dan magnitud menghasilkan peyebaran anggota gerombol yang tumpang tindih.
4. Berdasarkan *multidimensional scaling*, hasil penggerombolan analisis k-means sangat dipengaruhi oleh variabel kedalaman gempa.
5. Berdasarkan penggerombolan analisis *K-means*, gerombol 1, 2 dan 6 merupakan gempa dangkal, gerombol 7, 5 dan 4 merupakan jenis gempa menengah dan gerombol 3 merupakan jenis gempa dalam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan KEMENRISTEKDIKTI yang telah mendanai penelitian ini dan LPPM Universitas Bengkulu selaku institusi penyelenggara penelitian.

DaftarPustaka

- [1] Hadi. A.I., Suhendra dan Efriyadi. Studi Analisis Parameter Gempa Bengkulu Berdasarkan Data Single-Station dan Multi-Station serta Pola Sebarannya. *Berkala Fisika* . Vol. 13 No. 4. Halm: 105-112. 2012
- [2] Faisal F. Aplikasi Program Linier dalam Menentukan Nilai Parameter Model Semivariogram Teoritis. Prosiding Semirata 2014 IPB Bogor. 2014
- [3] Mohammad Nur Shodiq, Ali Ridho Barakbah, Tri Harsono. Spatial Analysis of Earthquake Distribution with Automatic Clustering for Prediction of Earthquake Seismicity in Indonesia. *The Fourth Indonesian-Japanese Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC) 2015*. Surabaya/Bali. Indonesia. March 24-26. 2014.
- [4] Weatherill. G. And Burton. P.W. Delineation of Shallow Seismic Source Zones Using k-means Cluster Analysis. with Application to the Aegean Region. *Geophysical Journal International*. Vol. 176. Page 565-588. 2009
- [5] Rehman. K. P.W. Burton and G.A. Weatherill. K-Means cluster analysis and seismicity partitioning for Pakistan. *Journal Seismology*. Vol. 18. Page 401-419. 2014
- [6] Yuen. D. A., B. J. Kadlec., Evan F.B., Dzwinel W., Zachary A.G., Cesar R.S.. Clustering and visualization of earthquake data in a grid environment. *Visual GeoScience*. 2005.
- [7] Shodiq. M. N., A. R. Barakbah, T. Harsono. Cluster Oriented Spatio Temporal Multidimensional Data Visualization of Earthquakes in Indonesia. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*. Vol.3. No. 1. pp. 2015
- [8] Yuen. D. A, B J. Kaldec, E.F. Bollig, W. Dzwinel, Z.A. Garbow, &C.R. Silva. Clustering and visualization of earthquake data in a grid environment. *Visual GeoScience*. Vol 10, pp 1-12, 2005.
- [9] Novianti. P., D. Setyorini dan U. Rafflesia. The application of K-Means cluster analysis to partitioning earthquake. *International Journal of Advances in Intelligent Informatics* . Vol.3 No. 2. 2017.
- [10] Mattjik. A.A. I.M. Sumertajaya. *Sidik Peubah ganda dengan menggunakan SPSS*. IPB Press. Bogor. 2011.
- [11] Johnson. R. A. and Wichern. D. W.. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Fifthedition. Pearson Education Inc. USA. 2002.
- [12] Nugroho, S. *STATISTIKA MULTIVARIAT TERAPAN*. UNIB Press, Bengkulu. 2008.
- [13] Ardiansyah. S. Percepatan Pelepasan Energi (*Accelerating Moment Release*) Sebagai Prekursor Sebelum Terjadi Gempabumi Signifikan Daerah Bengkulu dan Sekitarnya. *Physics Student Journal*. Vol 2 No.1. Halm: 129-136. 2014.

PENDEKATAN *CREATIVE PROBLEM SOLVING* (CPS) *PROBLEM SOLVING* (PS) DAN *DIRECT INSTRUCTION* (DI) TERHADAP PENINGKATAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS MATEMATIS MAHASISWA CALON GURU

RIKA MULYATI MUSTIKA SARI¹

¹Universitas Singaperbangsa Karawang, mrizki.fathoni82@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menelaah perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis antara mahasiswa yang memperoleh pembelajaran dengan pendekatan *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction*. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan metode kuantitatif yang dilaksanakan di Universitas Singaperbangsa Karawang. Dengan populasi seluruh mahasiswa semester 6 2016/2017. Sampel yang diteliti terdiri dari tiga kelas dengan masing-masing kelas 42 orang mahasiswa, dengan desain kuasi eksperimen. Kelompok eksperimen pertama mendapat pembelajaran *Creative Problem Solving*, kelompok eksperimen kedua memperoleh pembelajaran dengan pendekatan *Problem Solving* dan kelompok ketiga memperoleh pendekatan *Direct Instruction*. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes kemampuan berpikir kritis matematis dan angket. Dalam pelaksanaannya, tes kemampuan berpikir kritis matematis diberikan dalam bentuk *pretest* dan *posttest*. Hipotesis penelitian di uji dengan menggunakan Uji perbedaan tiga rerata yaitu dengan uji Anova Satu Jalur dan Uji Kruskal-Walis. Berdasarkan analisis data, diperoleh kesimpulan bahwa : a) terdapat perbedaan pengaruh kemampuan berpikir kritis matematis antara siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction*; b) kemampuan berpikir kritis matematis yang memperoleh pembelajaran *Creative Problem Solving* tidak berbeda signifikan dengan kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa yang mendapatkan pembelajaran *Problem Solving*, kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving* dan *Problem Solving* lebih baik pengaruhnya daripada siswa yang mendapatkan pembelajaran *Direct Instruction*; c) terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis antara siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan pembelajaran *Direct Instruction*; d) kemampuan berpikir kritis matematis yang memperoleh pembelajaran *Creative Problem Solving* peningkatan kemampuan berpikir kritisnya tidak berbeda signifikan dengan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Problem Solving*, kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving* dan *Problem Solving* lebih baik peningkatannya daripada siswa yang belajar dengan pendekatan *Direct Instruction*; e) secara keseluruhan, sikap siswa terhadap pembelajaran *Creative Problem Solving* dan *Problem Solving* menunjukkan sikap yang positif.

Kata Kunci: *Creative Problem Solving*, *Problem Solving*, *Direct Instruction*, Berpikir Kritis Matematis.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan kemampuan berpikir matematis telah menjadi perhatian utama dalam pembelajaran matematika di Indonesia saat ini. Bahkan di negara maju seperti Jepang, Australia, Inggris dan Amerika pengembangan kemampuan berpikir matematis menjadi isu utama dalam menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan seni (Wijaya, 2012: 16).

Dalam proses pembelajaran pengajar harus menekankan pada metode atau cara bagaimana membelajarkan mahasiswa secara aktif, kegiatan belajar dapat dilakukan dengan cara merumuskan semua kegiatan belajar yang dapat membangkitkan proses pembelajaran, menetapkan kegiatan-kegiatan yang tidak perlu agar mencapai efisiensi proses belajar serta menetapkan kegiatan-kegiatan mana yang akan dilakukan dan mempelajari materi pembelajaran yang sesuai dengan upaya pencapaian tujuan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui peningkatan kualitas pembelajaran matematika yang berfokus pada pengembangan kemampuan. Pembelajaran matematika yang diberikan disekolah, memberikan manfaat yang penting bagi siswa dalam mengembangkan kemampuan dan juga memiliki peranan strategis dalam upaya peningkatan SDM. Sebagaimana yang tercantum dalam kurikulum (BSNP, 2006) menyatakan bahwa tujuan pembelajaran matematika disekolah yaitu agar siswa memiliki kemampuan sebagai berikut :

- 1) memahami konsep matematika, menjelaskan keterkaitan antar konsep dan mengaplikasikan konsep atau algoritma secara luwes, akurat, efisien dan tepat dalam pemecahan masalah;
- 2) mengkomunikasikan gagasan dengan simbol, tabel, diagram atau media lain untuk menjelaskan masalah;
- 3) menggunakan penalaran pada pola dan sifat, melakukan manipulasi matematika dan membuat generalisasi, menyusun bukti atau menjelaskan gagasan dan pernyataan matematika;
- 4) memecahkan masalah yang meliputi kemampuan memahami masalah, merancang model matematika, menyelesaikan model dan dan menapsirkan solusi yang diperoleh; dan
- 5) memiliki sikap menghargai kegunaan matematika dalam kehidupan yaitu memiliki rasa ingin tahu, perhatian, dan minat dalam mempelajari matematika, serta sikap ulet dan percaya diri dalam memecahkan masalah.

Untuk mencapai salah satu tujuan pembelajaran matematika seperti yang diungkapkan sebelumnya, dalam NCTM (2000) telah ditetapkan prinsip pengajaran dan prinsip belajar matematika. Prinsip pengajaran yang dimaksud yaitu pengajaran matematika yang efektif yang mengusahakan siswa agar mengetahui akan pentingnya belajar matematika, dan memberikan dukungan kepada siswa untuk belajar matematika lebih baik lagi. Sedangkan prinsip belajar yang dimaksud yaitu dalam belajar siswa harus paham dalam mempelajari matematika, dapat membangun pengetahuan baru berdasarkan pengalaman dan pengetahuan yang telah dimilikinya.

Departemen Pendidikan Nasional (2007) menyatakan ada beberapa aspek yang perlu dikembangkan dalam pembelajaran matematika, diantaranya adalah pemahaman matematis, pemecahan masalah, serta penalaran dan komunikasi. Sejalan dengan itu Cornelius (dalam Ruspiani, 2000:2) menyatakan bahwa tujuan pengajaran matematika di sekolah diantaranya adalah untuk memberikan perangkat dan keterampilan yang perlu untuk penggunaan dalam dunia nyata, kehidupan sehari-hari dan dengan mata pelajaran lain.

Berkaitan dengan tuntutan dan harapan pendidikan matematika, maka program pendidikan yang dikembangkan perlu menekankan pada pengembangan kemampuan berpikir yang harus dimiliki siswa. Menurut Hendrayana (2008) berpikir tingkat tinggi dalam matematika, khususnya berpikir kritis, sangatlah penting untuk dikembangkan pada pembelajaran matematika secara formal baik itu di tingkat dasar, pendidikan menengah, ataupun perguruan tinggi. Bila berpikir kritis dikembangkan, seseorang akan cenderung untuk mencari kebenaran, berpikir divergen (terbuka dan toleran terhadap ide-ide baru), dapat menganalisis masalah dengan baik, berpikir secara sistematis, penuh rasa ingin tahu, dan dewasa dalam berpikir.

Pengembangan kemampuan berpikir dalam pembelajaran matematika juga didukung oleh pemerintah seperti yang terdapat dalam Standar Kompetensi Kurikulum 2006. Dalam standar isi untuk satuan pendidikan dasar dan menengah mata pelajaran matematika (Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2006 tanggal 23 Mei 2006 tentang standar isi) bahwa mata pelajaran matematika perlu diberikan kepada semua peserta didik mulai dari sekolah dasar untuk membekali peserta didik dengan kemampuan berpikir logis, analitis, sistematis, kritis, dan kreatif, serta kemampuan bekerjasama.

Kemampuan berpikir kritis matematis merupakan suatu hal yang sangat penting dalam kehidupan modern, karena dapat membuat manusia menjadi lebih terbuka dan mudah menyesuaikan dengan berbagai situasi dan permasalahan. Jonson (2006) mengemukakan bahwa kemampuan berpikir kritis memungkinkan siswa untuk mempelajari masalah secara sistematis, menghadapi berbagai tantangan dengan cara terorganisasi, merumuskan pertanyaan inovatif, dan merancang permasalahan yang dipandang relatif baru.

Kenyataan di lapangan belum sesuai dengan yang diharapkan. Hasil studi menyebutkan bahwa meski adanya peningkatan mutu yang cukup menggembirakan, namun fokus dan perhatian pada upaya meningkatkan kemampuan berpikir matematika mahasiswa masih jarang dikembangkan. Rohaeti (2008:4) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa rendahnya kemampuan berpikir kritis disebabkan upaya pengembangan kemampuan berpikir kritis di sekolah-sekolah jarang dilakukan.

Menurut Munandar (2004) perkembangan optimal dari perkembangan kemampuan berpikir kritis berhubungan erat dengan cara mengajar guru. Dalam pengembangan model pembelajaran yang kondusif, untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis, penataan kelas (*classroom setting*) memiliki peranan yang sangat penting. Sumarmo (2005) menyarankan bahwa pembelajaran matematika untuk mendorong kemampuan berpikir tingkat tinggi dapat dilakukan melalui belajar dalam kelompok kecil, menyajikan tugas non rutin dan tugas yang menuntut strategi kognitif dan metakognitif peserta didik serta menerapkan pendekatan *scaffolding*. Dalam setiap pertemuan, siswa dibagi kedalam kelompok-kelompok kecil beranggotakan 4 sampai 5 orang, dengan struktur kelompok yang heterogen. Pembelajaran berorientasi pada upaya menciptakan iklim yang kondusif dalam membangun hubungan kerjasama, berbagi informasi, pengetahuan dan pengalaman antara sesama siswa maupun guru dengan siswa.

Untuk melaksanakan pembelajaran matematika seperti diatas, diperlukan beberapa strategi guru untuk memilih suatu model pembelajaran yang tepat, baik materi ataupun situasi dan kondisi pembelajaran saat itu. Sehingga pembelajaran tersebut dapat merangsang siswa untuk memperoleh kompetensi yang diharapkan. Dengan demikian siswa mampu menyelesaikan berbagai permasalahan baik dalam pembelajaran ataupun dalam kehidupan sehari-hari.

Berkaitan dengan pembelajaran matematika, Sukmadinata (2004) mengatakan bahwa pembelajaran merupakan kegiatan atau upaya yang dilakukan oleh guru agar siswa mau

belajar. Sejalan dengan itu, Depdiknas (2006) menyatakan bahwa pendekatan pemecahan masalah merupakan fokus dalam pembelajaran matematika. Dengan pendekatan pemecahan masalah, seyogyanya siswa pada awal pembelajaran dihadapkan pada masalah, selanjutnya siswa diberi kesempatan secara mandiri untuk menyelesaikan masalah tersebut sehingga siswa dapat mengembangkan kemampuan aktualnya secara optimal. Bila siswa menghadapi kesulitan dalam menyelesaikan permasalahan, maka guru berkewajiban memberikan penjelasan sehingga siswa dapat menuntaskan penyelesaian masalah secara optimal sehingga konsep dan prinsip dapat dikonstruksi oleh siswa.

Proses pembelajaran matematika yang menyenangkan harus menjadi prioritas utama untuk mewujudkan tujuan pembelajaran matematika. Berdasarkan seluruh uraian yang dikemukakan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang *penerapan* pendekatan *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction* dalam upaya peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa calon guru.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan latar belakang dan pentingnya masalah yang dikemukakan, maka masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah: (1) Apakah terdapat pengaruh kegiatan pembelajaran dengan pendekatan *Creative Problem Solving*, pendekatan *Problem Solving* dan pendekatan *Direct Instruction* terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa?; (2) Jika terdapat pengaruh kegiatan pembelajaran dengan pendekatan *Creative Problem Solving*, pendekatan *Problem Solving* dan pendekatan *Direct Instruction* terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa, manakah dari ketiga pendekatan tersebut yang memiliki peningkatan lebih baik? (3) Bagaimana sikap siswa terhadap kegiatan pembelajaran dengan pendekatan *Creative Problem Solving* dan kegiatan pembelajaran dengan pendekatan *Problem Solving*?

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuasi eksperimen karena pemilihan sampel tidak secara random, tetapi menerima keadaan sampel apa adanya. Desain penelitian yang digunakan adalah desain *true experimental* yaitu *Pretest-Posttest Control Group Design*. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa semester VI prodi pendidikan matematika. Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kelas VI C, VI E dan VI A di salah satu S. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah instrumen tes dan non-tes. Adapun instrumen tes terdiri dari tes kemampuan berpikir kritis matematis siswa, sedangkan instrumen non-tes yaitu skala sikap siswa.

3. HASIL

Pembahasan hasil penelitian ini berdasarkan pada faktor-faktor yang diamati dan ditemukan dalam penelitian.

3.1 Analisis Hasil Pretes Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Berikut gambaran umum rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis dari masing-masing kelas.

Tabel 1.1
Rataan Hasil Pretes Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Kelas	N	Statistik	Berpikir Kritis
			Pretes
Eksperimen -1 CPS	42	$\bar{x}$	7.71
		S	3.41
Eksperimen- 2 PS	42	$\bar{x}$	7.53
		S	3.29
Kontrol DI	42	$\bar{x}$	7.71
		S	3.44

Keterangan: Skor maksimal ideal yaitu 40

Output hasil perhitungan uji perbedaan tiga rerata data *pretest* kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang memperoleh pembelajaran *Creative Problem Solving*, siswa yang memperoleh pembelajaran *Problem Solving*, serta siswa yang memperoleh pembelajaran *Direct Instruction* dengan menggunakan uji ANOVA satu jalur, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2
HASIL UJI PERBEDAAN TIGA RERATA
(ANOVA SATU JALUR)

Pretes

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.016	2	.508	.044	.957
Within Groups	1407.619	123	11.444		
Total	1408.635	125			

Berdasarkan tabel 2 hasil ANOVA satu jalur dari penganalisisan ketiga data yang berdistribusi normal dan bervariasi homogen, terlihat $F = 0,044$ dengan nilai $\text{sig} = 0,957$, adapun kriteria penganalisisan tolak H_0 jika nilai $\text{sig} \leq \alpha$ (taraf signifikan) dan terima H_0 jika nilai $\text{sig} > \alpha$ (taraf signifikan). Karena nilai $\text{Sig.} = 0,957 > \alpha = 0,050$ maka H_0 diterima.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa:

“ Secara signifikan tidak terdapat perbedaan kemampuan berpikir kritis matematis antara kelompok yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction* “.

Artinya sebelum diberikan perlakuan siswa mempunyai kemampuan awal yang sama.

3.2 Analisis Data Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Untuk mengetahui peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis, antara siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction*, maka dilakukan analisis terhadap kelompok data gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Problem Solving* dan gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Direct Instruction*. Sebelum data dianalisis, data gain diubah kedalam bentuk *indeks gain* atau gain yang telah dinormalisasikan berdasarkan rumus yang telah diketahui.

Jenis statistik uji perbedaaan skor N-gain kemampuan berpikir kritis matematis yang digunakan, dapat diketahui terlebih dahulu melakukan uji normalitas sebaran data dan uji homogenitas gain kemampuan berpikir kritis matematis. Jika data memenuhi syarat normalitas dan homogenitas maka uji kesamaan rata-rata menggunakan uji ANOVA satu jalur. Sedangkan jika data normal tapi tidak homogen menggunakan uji non-parametrik, uji Kruskal-Wallis.

Out put hasil perhitungan rata-rata dan simpangan skor N-gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa pada kelompok eksperimen-1, eksperimen-2 dan kontrol adalah sebagai berikut:

Tabel 4
Statistik Deskriptif Skor Gain Ternormalisasi

Gain (Kemampuan Berpikir Kritis Matematis)		eksperimen	eksperimen-2	kontrol	Total
N		42	42	42	126
Mean		.6338	.5712	.4743	.5598
Std. Deviation		.13266	.11017	.18997	.16103
Std. Error		.02047	.01700	.02931	.01435
95% Confidence	Lower Bound	.5925	.5369	.4151	.5314
Interval for Mean	Upper Bound	.6752	.6055	.5335	.5882
Minimum		.27	.29	.06	.06
Maximum		.88	.79	.87	.88

Berdasarkan data diatas terlihat bahwa rata-rata N-gain yang diperoleh siswa kelas eksperimen-1 sebesar 0,633 artinya kelas eksperimen-1 mempunyai peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis yang sedang, rata-rata N-gain yang diperoleh siswa kelas eksperimen-2 sebesar 0,571 artinya kelas eksperimen-2 mempunyai peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis yang sedang, dan rata-rata N-gain yang diperoleh siswa kelas kontrol sebesar 0,473 artinya kelas kontrol mempunyai peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis yang sedang. Selain itu, simpangan baku yang memperlihatkan simpangan data dari rata-rata kelompok eksperimen-1 adalah 0,133 dengan N-gain maksimum 0,88 dan minimum 0,27, untuk kelompok eksperimen-2 simpangan baku mencapai 0,110 dengan N-gain maksimum 0,79 dan minimum 0,29, dan untuk kelompok kontrol simpangan baku mencapai 0,110 dengan N-gain maksimum 0,79 dan minimum 0,29. Dengan deskripsi data tersebut, dapat dilihat bahwa N-gain ketiga kelompok tidak jauh berbeda dan memberikan gambaran bahwa N-gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving* relatif sama dengan yang mendapatkan pembelajaran *Problem Solving*. Sementara N-gain kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving* dan *Problem Solving* lebih baik dari pada yang mendapatkan pembelajaran *Direct Instruction*.

Selanjutnya untuk menguji ada tidaknya perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis yang signifikan antara *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction* digunakan uji ANOVA satu jalur jika datanya homogen, tetapi jika datanya tidak homogen maka untuk uji perbedaan tiga rata rata akan digunakan uji non parametrik yaitu uji Kruskal-Wallis. Namun terlebih dahulu kita akan melakukan uji normalitas dari skor N-gain kemampuan berpikir kritis matematis yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction* dengan

menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan bantuan program SPSS 17, kemudian di tes homogenitasnya menggunakan uji *Levene's*.

Karena varians ketiga kelompok data N-gain kemampuan berpikir kritis matematis tidak homogen, maka untuk mengetahui perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis dilakukan dengan menggunakan uji non parametrik yaitu dengan Uji *Kruskall-Wallis*.

Bagaimana hasil analisis kemampuan berpikir kritis matematis terhadap ketiga model pembelajaran, jika menggunakan uji *Kruskall Wallis* maka berikut hipotesis yang diujikan adalah:

$$H_0 : \theta_1 = \theta_2 = \theta_3$$

Tidak terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis antara siswa yang belajar dengan pembelajaran *CPS*, *PS* dan *DI*.

$$H_1 : \text{Bukan } H_0$$

Terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis antara siswa yang belajar dengan pembelajaran *CPS*, *PS* dan *DI*.

Keterangan θ = Peringkat rerata.

Dengan menggunakan program SPSS 17 maka diperoleh hasil perhitungan *Kruskall Wallis* sebagai berikut:

Tabel 3.2

Peringkat (Ranks)

	Metode	N	Mean Rank
N-Gain	Eksperimen 1	42	80.92
	Eksperimen 2	42	65.21
	Kontrol	42	44.37
	Total	126	

Tabel 3.3

Hasil Uji *Kruskall-Wallis*

	N-Gain
Chi-Square	21.226
Df	2
Asymp. Sig.	.000

a. *Kruskal Wallis Test*

b. Grouping Variable: metode

Dari Tabel 3.2 menyatakan rerata peringkat setiap kelas, jumlah rerata peringkat ketiga kelas digunakan untuk menghitung χ^2 (*Chi-Square*) yang terlihat pada tabel 3.3 Hasil uji *Kruskall-Wallis* diperoleh nilai χ^2 (*Chi-Square*) = 21,226 dengan *Asymp.sig* = 0,000. Adapun kriteria penganalisan : jika *Asymp.sig* > α (taraf signifikan) maka H_0 diterima dan H_0 ditolak jika *Asymp.sig* $\leq \alpha$ (taraf signifikan). Karena *Asymp.sig* = 0,000 < α = 0,050 maka H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa: “ Terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis yang signifikan antara kelompok yang mendapatkan pembelajaran *Creative Problem Solving*, *Problem Solving* dan *Direct Instruction*”.

Karena hasil pengujian Kruskal-Wallis hipotesis nol ditolak, maka untuk membandingkan peringkat rerata mana yang lebih tinggi peningkatannya terhadap kemampuan berpikir kritis matematis, maka dilanjutkan uji perbandingan multipelnya sebagai berikut:

Hipotesis yang di uji:

H_0 : $\theta_1 = \theta_2$ tidak berbeda signifikan

H_1 : $\theta_1 \neq \theta_2$ berbeda signifikan

Jika $|\overline{R_i} - \overline{R_j}| \geq Z_{\alpha/k} (k-1) \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} \right)}$

Keterangan θ = peringkat rerata.

Sedangkan, perhitungan selisih peringkat rerata adalah sebagai berikut:

$$|R_{cps} - R_{ps}| = |80,92 - 65,21| = 15,71$$

$$|R_{cps} - R_{DI}| = |80,92 - 44,37| = 36,55$$

$$|R_{ps} - R_{DI}| = |65,21 - 44,37| = 20,84$$

Selanjutnya hasil perhitungan selisih peringkat rerata dari ketiga kelas yang diteliti dibandingkan dengan hasil perhitungan Z_{kritis} menghasilkan sebagai berikut:

1. $|R_{cps} - R_{ps}| = 15,71$ lebih kecil ($<$) dari $Z_{kritis} = 19,07$ sesuai dengan hipotesis yang di uji maka disimpulkan bahwa “ peringkat rerata peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Creative Problem Solving* secara signifikan tidak berbeda dengan peringkat rerata kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Problem Solving*”.
2. $|R_{cps} - R_{DI}| = 36,55$ lebih besar ($>$) dari $Z_{kritis} = 19,07$ sesuai dengan hipotesis yang di uji maka disimpulkan bahwa “ peringkat rerata peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Creative Problem Solving* secara signifikan berbeda dengan peringkat rerata kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Direct Instruction*”.
3. $|R_{ps} - R_{DI}| = 20,84$ lebih besar ($>$) dari $Z_{kritis} = 19,07$ sesuai dengan hipotesis yang di uji maka disimpulkan bahwa “ peringkat rerata peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Creative Problem Solving* secara signifikan berbeda dengan peringkat rerata kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Problem Solving*”.

Hasil uji Kruskal-Wallis menghasilkan kesimpulan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Creative Problem Solving* secara signifikan lebih tinggi peningkatannya dibandingkan dengan siswa yang belajar dengan pembelajaran *Direct Instruction*. Dan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *Problem Solving* secara signifikan lebih tinggi peningkatannya dibandingkan dengan siswa yang belajar dengan pembelajaran *Direct Instruction*.

4. KESIMPULAN

(1) Terdapat perbedaan pengaruh model pembelajaran *creative problem solving*, *problem solving* dan *direct instruction* terhadap kemampuan berpikir kritis matematis siswa; (2) Pembelajaran *creative problem solving* memiliki pengaruh yang lebih baik terhadap kemampuan berpikir kritis matematis siswa dibanding dengan pembelajaran *direct instruction*, dan pembelajaran *problem solving* memiliki pengaruh yang lebih baik terhadap kemampuan berpikir kritis matematis siswa dibanding dengan pembelajaran *direct instruction*, sedangkan pembelajaran *creative problem solving* dan pembelajaran *problem solving* memiliki pengaruh yang relatif sama terhadap kemampuan berpikir kritis matematis siswa; (3) Terdapat perbedaan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang memperoleh pembelajaran *creative problem solving*, *problem*

solving dan *direct instruction*; (4) Peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *creative problem solving* tidak berbeda dengan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *problem solving*, tetapi peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *creative problem solving* lebih baik peningkatannya dari kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *direct instruction*, dan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *problem solving* lebih baik peningkatannya dari kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang belajar dengan pembelajaran *direct instruction*; (5) Sikap siswa selama pembelajaran baik pembelajaran *creative problem solving* dan pembelajaran *problem solving* berjalan dengan cukup baik. Selama pembelajaran siswa terlibat secara aktif baik dalam berdiskusi, mengemukakan pendapat serta dalam menyelesaikan tugas yang diberikan oleh guru. Begitu juga pada siswa yang memperoleh pembelajaran *direct instruction* terlihat cukup aktif untuk membahas soal-soal berpikir kritis matematis di depan kelas. Sehingga secara keseluruhan sikap siswa terhadap ketiga pembelajaran yang dilakukan dalam penelitian adalah positif.

Kesimpulan yang telah dikemukakan di atas, memberikan implikasi sebagai berikut: (1) Model pembelajaran yang terbaik dalam penelitian ini hendaknya dijadikan referensi setiap pengajar dalam memilih model pembelajaran yang tepat, untuk digunakan dalam usahanya mengembangkan kemampuan berpikir kritis matematis siswa, kreativitas dalam membuat soal-soal matematika, melatih siswa mengkaji dan menyimpulkan materi yang telah dipelajari; (2) Pengembangan kemampuan berpikir kritis matematis melalui model pembelajaran matematika secara khusus dan kemampuan matematis umumnya, senantiasa memperhatikan pengajuan masalah eksploratif yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa sehingga dapat dengan mudah dipahami oleh siswa pada semua kategori kemampuan; (3) Kemungkinan adanya kendala-kendala pelaksanaan pembelajaran *Creative Problem Solving* pada awal pembelajaran perlu diantisipasi oleh guru. Siswa tidak terbiasa belajar mandiri, memecahkan masalah dan berdiskusi bisa menghambat dalam keberhasilan proses pembelajaran. Oleh karena itu, disarankan agar guru membantu siswa mengatasi masalah menggunakan teknik *scaffolding*. Namun intervensi yang diberikan guru bukan dalam bentuk hasil akhir melainkan petunjuk-petunjuk yang menghubungkan pengetahuan awal siswa dengan masalah yang dihadapi sehingga menemukan penyelesaiannya; (4) Dalam menerapkan model pembelajaran yang diteliti, setiap pengajar disarankan untuk menyediakan bahan ajar yang dirancang secara khusus sesuai dengan indikator kemampuan yang akan dikembangkannya sehingga kemampuan tersebut dapat dimiliki siswa; (5) Untuk penelitian lebih lanjut hendaknya penelitian ini dapat dilengkapi dengan meneliti aspek lain secara lebih terperinci yang belum terjangkau oleh peneliti saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aldous, C. R. (2007). *Creativity, problem solving and innovative science insights from history, cognitive psychology and neuroscience*. International Education Journal, 8(2), 176 – 186. Tersedia : <http://ehlt.flinders.edu.au/education/iej/articles/v8n2/Aldous/paper.pdf>. Diakses : 6 mei 2012
- [2] Depdiknas. (2006). *Kurikulum 2006 Mata Pelajaran Matematika SMP/MTs*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [3] Fisher, R. (2005). *Teaching Children to Think*. London: Stanley Thornes Ltd.
- [4] Hendrayana, A. (2008). *Pengembangan Multimedia Interaktif Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Siswa SMP Dalam Matematika*. Bandung: Tesis Pendidikan Matematika Universitas Pendidikan Indonesia. Tesis tidak diterbitkan.

- [5] Herman, T. (2005). *Pembelajaran Berbasis Masalah Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Matematis Tingkat Tinggi Siswa Sekolah SMP*. Bandung: Disertasi Pendidikan Matematika Universitas Pendidikan Indonesia. Disertasi tidak diterbitkan.
- [6] Hidayat, (2010). *Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Matematik Siswa Melalui Pembelajaran TTW*. Bandung: Tesis Pendidikan Matematika Universitas Pendidikan Indonesia. Tesis tidak diterbitkan.
- [7] Johnson, E. (2006). *Contextual Teaching and Learning : What in and Why it's Here to stay*. Thousand Oaks: Corwin Press. Inc.
- [8] Karen L, Pepkins. (2004). *Creative Problem Solving in Math*. Artikel dari www.uh.edu (1Juli2011).
- [9] KTSP (2007). *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan*. Jakarta: Depdiknas.
- [10] Langrehr, J. (2003). *Teaching Children Thinnking Skill*. Jakarta: PT Gramedia.
- [11] Meltzer, D. E. (2002). *The Relationship between Mathematics Preparation and Conceptual Learning Gains in Physics: A Possible "Hidden Variable" in Diagnostic Pretest Scores*. *American Journal of Physics*. v70 n12 p1259-68 Dec 2002. [Online]. Tersedia: www.physics.iastate.edu/~per/doc/AJP-Dec-2002-Vol.70-1259-1268.pdf. [6 Juni 2012].
- [12] NCTM (2000). *"Principles and Standar For School Mathematics"*. Restin, VA: NCTM.
- [13] Noer.(2007). *Pembelajaran Open Ended Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah matematika dan Kemampuan Berpikir Kreatif*. Bandung : Thesis UPI. Tidak dipublikasikan.
- [14] Pepkin. (2004). *"Creative Problem Solving in Math"*. Tersedia di :<http://www.uh.edu.hti/cu/2004/v02/04.htm> [5 juli 2012]
- [15] Permendiknas. (2006). *Standar Isi Untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. [Online]. Tersedia: [http:// www. Google.co.id/permendiknas](http://www.google.co.id/permendiknas) no. 22 tahun. 2006.pdf. [12 Januari 2011]
- [16] Polya, G. (1957). *How to Solve it*.Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [17] Polya, G. (1981). *Mathematical Discovery On Understanding, Learning and TeachingProblem Solving*. United States of America.
- [18] Pugalee,D.K.(2001). *Ussing Communication to Develop Student Mathematical Literacy*. *Journal Research of Mathematics Education* 6(5). 296-299
- [19] Puspita, Diana (2008). *Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Masalah Untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran Matematika*. Bandung : Skripsi Jurusan Pendidikan Matematika pada FMIPA UPI. Tidak dipublikasikan.
- [20] Ruseffendi,E.T (2005). *Dasar-dasar Penelitian Pendidikan dan Bidang Non-Eksakta Lainnya*. Bandung : Tarsito
- [21] Suherman, E. dan Sukjaya, Y. (1990). *Petunjuk Praktis untuk Melaksanakan Evaluasi Pendidikan Matematika*. Bandung : Wijaya Kusumah.
- [22] Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Pendidikan, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung, Alfabet
- [23] Sumarmo, U. (2010). *Berpikir Matematika Tingkat Tinggi: Apa, Mengapa, dan bagaimana dikembangkan pada siswa Sekolah Menengah dan Mahasiswa Calon Guru*. Makalah disajikan dalam seminar Matematika di UNPAD. Bandung: Tidak diterbitkan.
- [24] Taylor, L. (1993). *"Vygotskian Influence in Mathematics Education, with ParticularReference to Attitude Development. Focus on Learning Problem in Mathematics."* *Spring and Summer Edition*, Volume 15, number 2&3. (Halaman 3 – 16). *Center for teaching/learning oh Mathematics*.
- [25] Uno, H. (2008). *Model Pembelajaran Menciptakan Proses Belajar Mengajar yang Kreatif dan Efektif*. Jakarta: Bumi Aksara.

PENGARUH STRATEGI VAKSINASI KONTINU PADA MODEL EPIDEMIK SVIRS

TONAAS KABUL WANGKOK YOHANIS MARENTEK¹

¹Universitas Universal Batam
tonaasmarentek@gmail.com, tonaasmarentek@uvers.ac.id

Abstrak

Penyebaran penyakit menular sangat berbahaya sehingga perlu diminimalisir. Vaksinasi adalah salah satu cara untuk meminimalisir penyebaran penyakit menular ataupun untuk memberantas penyakit. Berdasarkan proses vaksinasi terdapat dua strategi vaksinasi yaitu strategi vaksinasi kontinu dan strategi vaksinasi terputus. Penelitian ini membahas strategi vaksinasi kontinu pada model epidemik SVIRS, dari hasil analisis diperoleh dua titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit dan titik tetap endemik dan juga suatu nilai ambang batas epidemik yaitu bilangan reproduksi dasar yang selanjutnya digunakan sebagai batasan untuk analisis selanjutnya. Ambang batas epidemik atau bilangan reproduksi dasar sepenuhnya bergantung pada strategi vaksinasi kontinu yang dilakukan. Jika strategi vaksinasi yang dilakukan berada diatas atau sama dengan tingkat vaksinasi minimum maka titik tetap bebas penyakit akan stabil asimtotik yang artinya penyakit tidak akan menyebar dan pada akhirnya penyakit akan hilang dari populasi. Sebaliknya, jika strategi vaksinasi kontinu yang dilakukan berada dibawah tingkat vaksinasi minimum maka titik tetap endemik akan stabil asimtotik sehingga penyakit akan menyebar dan menjadi endemik. Selain itu dari hasil simulasi yang dilakukan dengan perangkat lunak *Mathematica* diperoleh bahwa vaksinasi berpengaruh dapat menurunkan proporsi individu yang terinfeksi dari populasi dan dengan strategi vaksinasi yang tepat yaitu strategi yang dilakukan lebih dari atau sama dengan tingkat vaksinasi minimum akan berhasil mencegah penyebaran penyakit menular.

Kata Kunci: Model Epidemik, SVIR, Vaksinasi, Strategi, Kestabilan

1. PENDAHULUAN

Penyebaran penyakit menular memiliki pengaruh yang luar biasa pada kehidupan manusia. Setiap tahun jutaan orang meninggal karena berbagai penyakit menular. Sehingga perlu dikendalikan atau diminimalisir agar tidak terjadi epidemik salah satu caranya dengan melakukan program vaksinasi. Sehingga untuk mengetahui seberapa besar laju penyebaran suatu penyakit menular secara matematis adalah dengan membuat model matematika penyebaran penyakit menular atau model matematika epidemik. Pertama, pola epidemik dapat digambarkan secara matematis dengan menghampiri keadaan sebenarnya. Kedua, menganalisa pola epidemik melalui model yang telah dirumuskan. Kemudian menginterpretasikan hasil analisa ke dalam keadaan sebenarnya.

Vaksinasi adalah salah satu cara untuk mencegah atau meminimalisir penyebaran suatu penyakit menular. Dan kini vaksinasi rutin disediakan disemua negara-negara

berkembang terhadap semua penyakit. Pemberantasan atau eradikasi penyakit cacar yang terakhir terlihat dalam kasus alami pada tahun 1977 telah dianggap sebagai keberhasilan paling spektakuler vaksinasi [1].

Menurut Ramali dan Pamoentjak [2], vaksin itu merupakan suspensi bibit penyakit yang hidup tetapi telah dilemahkan atau dimatikan untuk menimbulkan kekebalan aktif terhadap suatu penyakit sehingga dapat mencegah atau mengurangi pengaruh infeksi oleh organisme alami. Sedangkan untuk menyelesaikan proses vaksinasi biasanya ada jadwal yang berbeda untuk penyakit yang berbeda ataupun untuk penerima vaksin yang berbeda.

Teori epidemik penyebaran penyakit menular secara matematis pertama kali di kemukakan oleh Kermack dan McKendrick pada tahun 1927 yaitu model epidemik *SIR* dan *SIS*. Dalam model *SIR* ataupun *SIS* menyatakan bahwa penyebaran penyakit digambarkan oleh model-model kompartemen. Model kompartemen *SIR* ataupun *SIS* dengan setiap huruf mengacu pada kompartemen dimana individu berada. Kompartemen tersebut adalah : *Susceptible* (S) yaitu kelompok individu yang sehat tetapi rentan terhadap penyakit, *Infected* (I) yaitu kelompok individu yang terinfeksi dan dapat sembuh dari penyakit dan *Recovered* (R) yaitu kelompok individu yang telah sembuh dan kebal dari penyakit. Individu yang rentan dapat tertular penyakit karena adanya kontak antar individu yang rentan dengan individu yang terinfeksi.

Oleh karena itu secara matematis vaksinasi juga dapat dianggap sebagai penambahan kompartemen V (*Vaccinated*) secara alami ke dalam model *SIR*, *SIS* ataupun *SIRS* sehingga modelnya menjadi *SVIR*, *SVIS* maupun *SVIRS*. Model epidemik *SVIRS* ini, berdasarkan prosesnya terdapat dua strategi vaksinasi yaitu strategi vaksinasi yang kontinu (CVS) dan strategi vaksinasi yang terputus (PVS). Dimana strategi CVS dapat dikenali sebagai perilaku dari individu-individu rentan yang dilakukan vaksinasi secara terus menerus sedangkan strategi PVS adalah suatu proses vaksinasi yang dilakukan hanya sekali atau bisa juga lebih dari sekali tetapi dengan jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan (musiman). Tulisan ini mengkaji mengenai pengaruh strategi vaksinasi kontinu pada model epidemik *SVIRS* dengan pendekatan matematis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

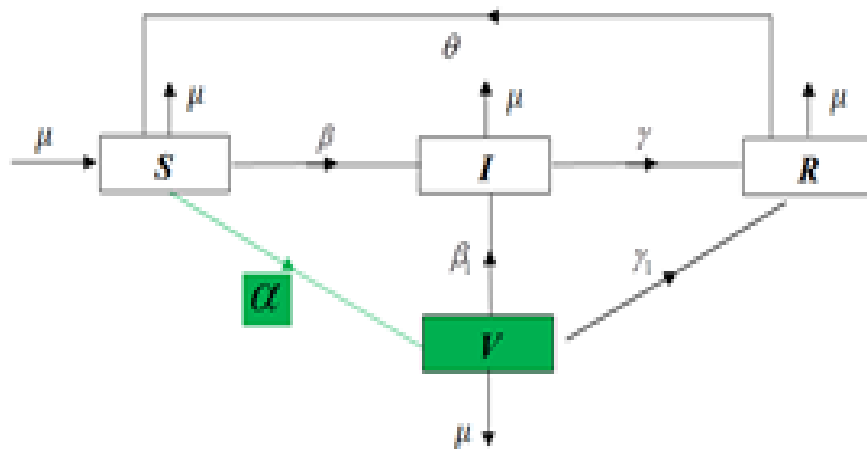
2.1 Model Epidemik *SVIRS* dengan Strategi Vaksinasi Kontinu

Tailei Zhang dan Zhidong Teng [3] menambahkan kompartemen V ke dalam model *SIRS* sehingga menjadi model *SIRVS* dengan asumsi bahwa individu yang divaksinasi selain masih bisa terinfeksi mereka tidak akan mendapatkan kekebalan permanen tetapi akan langsung kembali ke populasi individu yang rentan. Xianning Liu *et al.* [4] menambahkan kompartemen V kedalam model *SIR* dan memperkenalkan strategi vaksinasi kontinu pada model epidemik *SVIR*, Alexander *et al.* [5] juga menambahkan kompartemen V kedalam model *SIRS* sehingga menjadi model *SVIRS* dengan asumsi bahwa individu tidak mendapatkan kekebalan dari proses vaksinasi, individu yang divaksinasi hanya memiliki kekebalan sementara sehingga langsung masuk ke populasi individu yang rentan dan individu yang mendapatkan kekebalan alami akibat sembuh dari penyakit masih memungkinkan untuk masuk ke populasi individu yang rentan karena kekebalan individu yang diperoleh dari penyakit akan berkurang oleh waktu. Sehingga individu yang telah sembuh akan menjadi rentan terhadap penyakit lagi.

Sehingga strategi vaksinasi kontinu pada model *SVIRS* ini berdasar pada model epidemik dasar untuk suatu penyakit yang tidak menyebabkan kematian (*non fatal*) serta berdasarkan pada Hethcote [6], Alexander *et al.* [7] serta Xianning Liu [8] :

1. Total Populasi berada pada tingkat konstan
2. Jumlah populasi diasumsikan cukup besar sehingga dapat dianggap sebagai variabel kontinu
3. Laju rekrutmen dan laju kematian alami populasi diasumsikan sama yaitu μ
4. Laju transmisi/penularan penyakit ketika individu rentan berinteraksi dengan individu yang divaksinasi yaitu β
5. Laju pemulihan individu yang terinfeksi yaitu γ , sehingga $1/\gamma$ adalah waktu rata-rata individu terinfeksi atau menderita penyakit.
6. Laju rata-rata ($\frac{1}{\gamma_1}$ adalah waktu rata-rata) individu yang mengalami vaksinasi untuk mendapatkan kekebalan yaitu γ_1 .
7. Sebelum memperoleh kekebalan, individu masih memiliki kemungkinan terinfeksi dengan laju transmisi β_1 . Diasumsikan juga $\beta_1 < \beta$ karena individu yang memperoleh vaksinasi mungkin memiliki kekebalan parsial selama proses vaksinasi.
8. Laju individu yang hilang kekebalan akibat terinfeksi yaitu θ .
9. Laju individu yang rentan menerima vaksin atau laju individu rentan dipindahkan kedalam proses vaksinasi α .

sehingga berdasarkan metode “*Compartment Modelling*”, asumsi-asumsi diatas dapat digambarkan dalam bentuk diagram transfer sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Transfer Model Epidemik SVIRS

asumsi-asumsi dan diagram transfer diatas dapat dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial linear yang selanjutnya disebut dengan sistem 1 sebagai berikut.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = \mu - \mu S - \beta SI - \alpha S + \theta R \\ \frac{dV}{dt} = \alpha S - \beta_1 VI - \gamma_1 V - \mu V \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI + \beta_1 VI - \gamma I - \mu I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma_1 V + \gamma I - \mu R - \theta R \end{array} \right. \quad (\text{Sistem 1})$$

dengan $\alpha, \theta \geq 0$ dan parameter lainnya bernilai positif.

2.2 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan dengan pendekatan matematis dan studi literatur. Adapun kerangka analisis penelitian ini adalah :

1. Menganalisis dinamika sistem dengan menentukan titik kesetimbangannya, memeriksa kestabilannya dan menentukan bilangan reproduksi dasarnya.
2. Menganalisis pengaruh vaksinasi kontinu berdasarkan bilangan reproduksi dasarnya secara matematis.
3. Mengimplementasikan dengan cara melakukan simulasi terhadap suatu contoh penyakit yang sesuai dengan model SVIRS (Mis. Influenza) dengan menggunakan perangkat lunak *Mathematica 8*.

Langkah-langkah penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Langkah-langkah penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kestabilan Titik Tetap

Titik tetap atau titik kesetimbangan adalah suatu kondisi setimbang pada populasi dimana terjadi “zero growth rate” atau tidak ada pertumbuhan pada masing-masing populasi. Jika $N = S + V + I + R$ adalah jumlah total populasi sehingga titik tetap ini diperoleh dengan mensubstitusikan $R = 1 - S - V - I$, maka Sistem 1 akan tereduksi menjadi Sistem 2 berikut.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \mu - \mu S - \beta SI - \alpha S + \theta(1 - S - V - I) \\ \frac{dV}{dt} = \alpha S - \beta_1 VI - \gamma_1 V - \mu V \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI + \beta_1 VI - \gamma I - \mu I \end{cases} \quad \text{Sistem 2}$$

persamaan keempat pada Sistem 2 bebas dari ketiga persamaan lain maka titik tetap pada Sistem 2 diperoleh dengan membuat ketiga persamaannya sama dengan nol yaitu :

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = 0 = \mu - \mu S - \beta SI - \alpha S + \theta(1 - S - V - I) \\ \frac{dV}{dt} = 0 = \alpha S - \beta_1 VI - \gamma_1 V - \mu V \\ \frac{dI}{dt} = 0 = \beta SI + \beta_1 VI - \gamma I - \mu I \end{cases}$$

Titik Tetap Bebas Penyakit

Misalkan titik tetap bebas penyakit diasumsikan $I_0 = 0$ yaitu tidak ada individu yang terinfeksi dalam populasi. Sehingga titik tetap bebas penyakit model ini adalah $T_0 = (S_0, V_0, I_0)$ dengan $I_0 = 0$ dan

$$S_0 = \frac{(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1)}{(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1) + \alpha(\mu + \theta + \gamma_1)}, \quad V_0 = \frac{\alpha(\mu + \theta)}{(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1) + \alpha(\mu + \theta + \gamma_1)}$$

Titik Tetap Endemik

Misalkan $T_+ = (S_+, V_+, I_+)$ adalah titik tetap endemik dan diasumsikan bahwa dalam populasi masih terdapat individu yang terinfeksi dan dapat menyebarkan penyakit maka $I \neq 0$. Sehingga titik tetap endemik model ini dengan nilai I adalah akar bernilai riil positif dari persamaan $g(I)$ yaitu $g(I) \equiv A_1 I^2 + A_2 I + A_3$ dengan :

$$A_1 = \beta^2(\mu + \gamma) + \beta\beta_1\theta > 0$$

$$A_2 = \alpha\beta_1(\mu + \gamma + \theta) + \beta(\mu + \theta)\{2\mu + (\gamma_1 - \beta_1)\} + \beta\gamma(2\mu + \gamma_1 + \theta) > 0$$

$$A_3 = (-\beta + \gamma + \mu)(\mu + \gamma_1)(\mu + \theta) + \alpha\{-\beta_1(\mu + \theta) + (\mu + \gamma)(\mu + \theta + \gamma_1)\}$$

dan

$$S_+ = \frac{\mu + \theta - \theta V_+ - \theta I_+}{\mu + \alpha + \theta + \beta I_+} \text{ serta } V_+ = \frac{\alpha S_+}{\mu + \gamma_1 + \beta_1 I_+}$$

Analisis Kestabilan Titik Tetap

Misalkan persamaan-persamaan pada Sistem 2 dituliskan dalam bentuk berikut :

$$f(S, V, I) = \mu - \mu S - \beta SI - \alpha S + \theta - \theta S - \theta V - \theta I$$

$$g(S, V, I) = \alpha S - \beta_1 VI - \gamma_1 V - \mu V$$

$$h(S, V, I) = \beta SI + \beta_1 VI - \gamma I - \mu I$$

dengan melakukan pelinearan diperoleh matriks *Jacobi* sebagai berikut :

$$J(S, V, I) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial S} & \frac{\partial f}{\partial V} & \frac{\partial f}{\partial I} \\ \frac{\partial g}{\partial S} & \frac{\partial g}{\partial V} & \frac{\partial g}{\partial I} \\ \frac{\partial h}{\partial S} & \frac{\partial h}{\partial V} & \frac{\partial h}{\partial I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\mu + \alpha + \theta + \beta I) & -\theta & -\beta S - \theta \\ \alpha & -\beta_1 I - \gamma_1 - \mu & -\beta_1 V \\ \beta I & \beta_1 I & \beta S + \beta_1 V - \gamma - \mu \end{bmatrix}$$

Berdasarkan Borrelli dan Coleman [10], jika semua nilai eigen dari matriks *Jacobi* bagian riilnya bernilai negatif maka titik tetap tersebut stabil dan akan tidak stabil jika dan hanya jika satu saja nilai eigen matriks tersebut bagian riilnya bernilai positif. Namun, jika nilai eigen matriks *Jacobi* sulit ditentukan maka kestabilan titik tetap tersebut ditentukan dengan menggunakan kriteria *Routh-Hurwitz*.

Hasil analisis kestabilan titik tetap :

1. Sistem 2 akan selalu mempunyai titik tetap bebas penyakit yaitu T_0 yang stabil asimtotik lokal jika $R_d < 1$ dan akan tidak stabil jika $R_d > 1$.
2. Sistem 2 akan mempunyai satu titik tetap endemik yang unik (hanya satu) yaitu T_+ jika dan hanya jika $R_d > 1$ dan T_+ akan stabil asimtotik lokal jika ada.
3. Terdapat R_d yang adalah bilangan reproduksi dasar yaitu suatu bilangan yang menentukan kondisi Sistem ini. Dengan R_d adalah :

$$R_d = \frac{\beta(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1) + \beta_1\alpha(\mu + \theta)}{(\mu + \gamma)(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1) + \alpha(\mu + \theta + \gamma_1)(\mu + \gamma)}$$

4. Keberadaan titik tetap endemik akan terpenuhi dan stabil asimtotik jika dan hanya jika $R_d > 1$ dan Sistem 2 mempunyai dua titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit T_0 yang tidak stabil dan titik tetap endemik yang unik T_+ yang stabil asimtotik lokal.
5. Kondisi titik tetap endemik T_+ yang stabil asimtotik yang dipenuhi jika dan hanya jika $R_d > 1$ mengartikan bahwa masih ada individu yang terinfeksi dalam populasi dan dapat menyebarkan penyakit sehingga pada akhirnya penyakit akan endemik dalam populasi.

3.2 Pengaruh Vaksinasi

Hasil dari analisis kestabilan diatas menunjukkan bahwa dinamika Sistem pada model ini sepenuhnya bergantung pada R_d yaitu bilangan reproduksi dasar Sistem ini. Jika $R_d = 1$ maka diperoleh tingkat vaksinasi minimum model ini yaitu :

$$\alpha_c = \frac{(\beta - \gamma - \mu)(\mu + \theta)(\mu + \gamma_1)}{(\mu + \theta + \gamma_1)(\mu + \gamma) - \beta_1(\mu + \theta)}$$

sehingga bilangan reproduksi dasar bergantung pada pengaruh dari strategi vaksinasi kontinu yang dilakukan. Jika $\alpha = 0$ yaitu tidak dilakukannya proses vaksinasi maka R_d akan tereduksi menjadi $R_0 = \beta / (\mu + \gamma)$ yaitu bilangan reproduksi dasar jika tidak dilakukan proses vaksinasi. Ketika $R_0 \leq 1$ maka penyakit dapat diberantas sehingga jika $R_d \leq R_0$ maka penyakit akan bisa diberantas dengan melakukan strategi vaksinasi kontinu. Sehingga untuk melihat pengaruh dari strategi vaksinasi kontinu pada model SVIRS diasumsikan bahwa jika $\alpha = 0$ maka $R_0 > 1$ dan penyakit tidak dapat diberantas sehingga harus dilakukan proses vaksinasi $\alpha \neq 0$. Jika $\alpha > 0$ atau dilakukan vaksinasi terdapat tiga kemungkinan strategi vaksinasi yang dilakukan yaitu $\alpha < \alpha_c$, $\alpha = \alpha_c$ dan $\alpha > \alpha_c$ dengan α_c adalah tingkat vaksinasi minimum.

Strategi $\alpha > \alpha_c$

Ketika strategi ini dilakukan akan menyebabkan $R_d < 1$, sehingga hanya akan terdapat satu titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit T_0 yang stabil asimtotik lokal.

Strategi $\alpha = \alpha_c$

Ketika strategi ini dilakukan akan menyebabkan $R_d = 1$ sehingga keberadaan titik tetap endemik T_+ yang merupakan akar persamaan $g(I)$ yang bernilai riil positif tidak ada

karena jika $R_d = 1$ maka $A_3 = 0$, persamaan $g(I)$ tereduksi $g(I) \equiv A_1 I^2 + A_2 I = (A_1 I + A_2)I = 0$ dan karena $A_1 > 0$ dan $A_2 > 0$ maka $g(I)$ tidak memiliki akar yang bernilai riil positif. Keberadaan titik tetap bebas penyakit T_0 ketika $R_d = 1$ akan menyebabkan semua nilai eigen bagian riilnya bernilai negatif kecuali nilai $\lambda_3 = 0$ sehingga T_0 akan ada dan stabil asimtotik. Sehingga, ketika $\alpha = \alpha_c$ maka $R_d = 1$ tidak terdapat titik tetap endemik T_+ dan hanya terdapat titik tetap bebas penyakit T_0 yang stabil asimtotik.

Strategi $\alpha < \alpha_c$

Ketika strategi ini dilakukan akan menyebabkan $R_d > 1$, sehingga menurut hasil analisis kestabilan titik tetap diatas akan terdapat dua titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit T_0 yang tidak stabil dan titik tetap endemik T_+ yang stabil asimtotik.

Dari analisis kestabilan dan strategi vaksinasi diatas dapat disimpulkan :

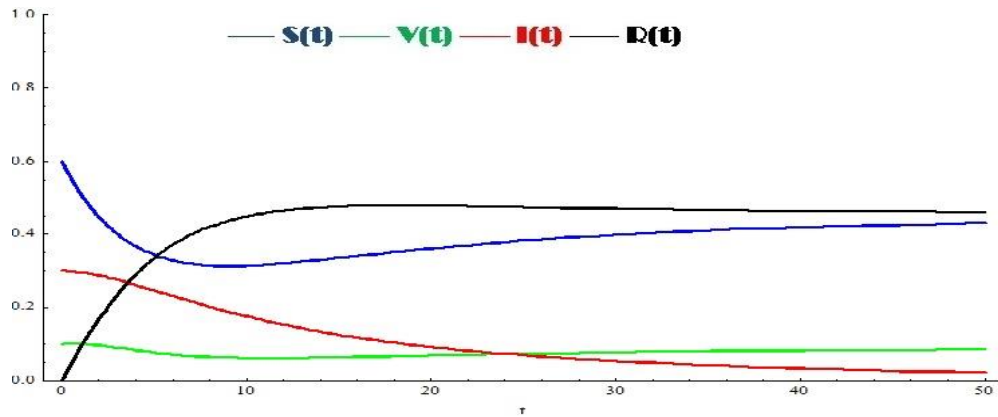
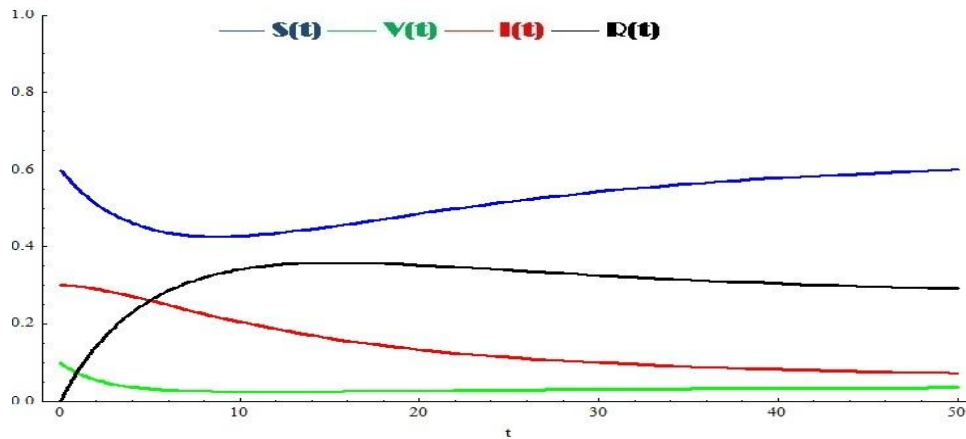
1. Jika strategi yang dilakukan $\alpha \geq \alpha_c$ akan menyebabkan $R_d \leq 1$ sehingga titik tetap bebas penyakit T_0 akan stabil asimtotik global.
2. Jika srategi yang dilakukan $\alpha < \alpha_c$ sehingga menyebabkan $R_d > 1$ maka titik tetap endemik T_+ stabil asimtotik global.

3.3 Simulasi

Untuk mengamati pengaruh dari strategi vaksinasi kontinu yang dilakukan terhadap model ini dilakukan simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak *Mathematica 8*. Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh ketika dilakukan tiga strategi yang berbeda pada proses tersebut. Gambaran dari simulasi ini dalam bentuk kurva bidang solusi dari masing-masing populasi terhadap variabel waktu (t).

Tabel 1. Nilai Parameter Simulasi

Parameter	Nilai Parameter
$S(0)$	0.6
$V(0)$	0.1
$I(0)$	0.3
$R(0)$	0
μ	0.00003653
β	0.215
γ	0.143
β_1	0.1
γ_1	0.5
θ	0.1
α	$\alpha > \alpha_c$, $\alpha = \alpha_c$ dan $\alpha < \alpha_c$

Gambar 3. Dinamika Populasi ketika $\alpha = 0.1 > \alpha_c = 0.045474$ Gambar 4. Dinamika Populasi ketika $\alpha = 0.03 < \alpha_c = 0.045474$

Gambar 3 menunjukkan dinamika populasi dengan kondisi bebas penyakit. Kondisi ini terjadi ketika dilakukan strategi vaksinasi kontinu pada populasi individu rentan yaitu dengan $\alpha = 0.1$ atau 10% dari jumlah populasi individu yang rentan divaksinasi setiap hari secara terus-menerus atau secara kontinu yang menyebabkan $R_d = 0.75 < 1$. Kurva S , V , I dan R akan stabil menuju titik tetap bebas penyakit yaitu :

$$T_0 = (S_0, V_0, I_0, R_0) = (0.45, 0.09, 0, 0.46)$$

Proporsi individu yang terinfeksi (kurva merah) akan turun stabil menuju titik nol ketika dilakukan program vaksinasi dengan strategi 10% proporsi populasi rentan divaksinasi secara kontinu maka dapat strategi ini dapat memberantas penyakit. Sebaliknya, Pada Gambar 4 jika dilakukan strategi $\alpha = 0.03$, menunjukkan kondisi endemik yang tercapai, yaitu suatu kondisi masih tetap adanya penyakit dalam populasi. Kurva S , V , I dan R akan stabil menuju titik tetapnya yaitu

$$T_+ = (S_+, V_+, I_+, R_+) = (0.065, 0.038, 0.047, 0.85)$$

Proporsi individu yang terinfeksi (kurva merah) pada Gambar 4 akan turun dan stabil menuju titik 0.047 yang berarti bahwa ketika dilakukan program vaksinasi dengan strategi hanya 3% proporsi populasi rentan divaksinasi secara kontinu maka penyakit tidak bisa diberantas dan akan endemik tetapi dapat menurunkan proporsi individu yang terinfeksi.

Simulasi menunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 diatas, dinamika populasi sistem ini

terdapat dua kondisi yang berbeda. Pertama, kondisi bebas penyakit yang akan tercapai dengan melakukan strategi vaksinasi $\alpha = 0.1$. Kedua, kondisi endemik ketika melakukan strategi vaksinasi $\alpha = 0.03$. Strategi vaksinasi dengan $\alpha = 0.03$ tidak dapat memberantas penyakit namun dapat menurunkan proporsi jumlah individu yang terinfeksi dalam populasi karena strategi ini berada dibawah ambang batas epidemik yaitu tingkat vaksinasi minimum α_c model ini. Nilai parameter α yang sangat mempengaruhi nilai R_d , dimana α adalah ambang batas strategi vaksinasi yang harus dilakukan secara kontinu pada individu yang rentan.

4. KESIMPULAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, diperoleh dua titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit dan titik tetap endemik. Dari analisis kestabilan, dinamika model *SVIRS* dengan strategi vaksinasi kontinu ini sepenuhnya bergantung pada bilangan reproduksi dasar. Ketika bilangan reproduksi dasarnya kurang dari atau sama dengan satu maka titik tetap bebas penyakit akan stabil asimtotik yang berarti bahwa penyakit tidak akan menyebar dalam populasi atau pada akhirnya penyakit akan hilang dari populasi. Jika bilangan reproduksi dasarnya lebih dari satu maka titik tetap endemik akan stabil asimtotik yang berarti bahwa penyakit akan tetap ada dan menyebar dalam populasi.

Selanjutnya, dari analisis dan simulasi terhadap pengaruh dari strategi vaksinasi kontinu diperoleh :

1. Diperoleh ambang batas atau tingkat vaksinasi minimum yang menjadi acuan strategi vaksinasi kontinu yang harus dilakukan.
2. Vaksinasi bermanfaat untuk mengendalikan penyebaran penyakit yaitu dengan mereduksi bilangan reproduksi dasarnya dan menurunkan proporsi individu yang terinfeksi pada tahap endemik.
3. Strategi yang dilakukan untuk memberantas penyakit harus lebih besar atau sama dengan tingkat vaksinasi minimum.

4.2 Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan strategi vaksinasi yang berbeda yaitu strategi vaksinasi terputus dan membandingkan kedua strategi ini. Selain itu perlu juga dipertimbangkan efektifitas atau efikasi dari vaksin itu sendiri.

Setiap makalah diakhiri dengan kesimpulan, yang merangkum hasil dari makalah yang ditulis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada seluruh pihak yang telah ikut membantu penelitian ini khususnya kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dananya dan semua dukungannya.

Daftar Pustaka

- [1] WHO. 2005. *Immunization against diseases of public health importance*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs288/en/index.html/>
- [2] Ramali & Pamoentjak. 2005. *Arti dan Keterangan istilah. Kamus kedokteran.cet.26*. Jakarta
- [3] Tailei Zhang., Zhidong Teng., 2007. *An SIRVS Epidemic Model With Pulse*

- Vaccination Strategy*. Journal of Theoretical Biology 250(2008) 375-381
- [4] Xianning, L., Yasuhiro, T., Shingo, I., 2007. SVIR models with vaccination strategies. Shiuzuka University, Hammamatsu 432-9561, Japan
 - [5] Alexander, M.E., Bowman, C., Moghadas, S.M., Summers, R., Gumel, A.B., Sahai, B.M., 2004. A Vaccination Model for Transmission Dynamics of Influenza. SIAM J. Appl. Dyn. Syst. 3, 503-524
 - [6] Hethcote, HW., 2000. The mathematics of infectious diseases. SIAM rev.42. 599-653
 - [7] Alexander, M.E., Bowman, C., Moghadas, S.M., Summers, R., Gumel, A.B., Sahai, B.M., 2004. A Vaccination Model for Transmission Dynamics of Influenza. SIAM J. Appl. Dyn. Syst. 3, 503-524
 - [8] Xianning, L., Yasuhiro, T., Shingo, I., 2007. SVIR models with vaccination strategies. Shiuzuka University, Hammamatsu 432-9561, Japan

MODEL MEANS-ENDS-ANALYSIS YANG DIMODIFIKASI DENGAN DISERTAI DIDACTICAL ENGINNERING UNTUK PENINGKATAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS MATEMATIS SISWA SMP

WAHID UMAR¹

¹ Universitas Khairun Ternate, wahidun0801@gmail.com

Abstrak

Artikel ini menyajikan tentang penerapan model pembelajaran *Means-Ends-Analysis* (MEA) yang dimodifikasi dengan disertai *Didactical Enginnering* (DE) untuk peningkatan kemampuan berpikir kritis (KBK) matematis siswa. DE atau rekayasa situasi didaktis digunakan pada saat mendesain bahan ajar. Metode yang digunakan adalah *quasi* eksperimen dengan desain pretes-postes. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas VIII SMP Negeri yang ada di Kabupaten Halmahera Selatan. Sampel yang dilibatkan sebanyak 158 siswa kelas VIII dari dua SMP level sekolah tinggi dan sedang. Penentuan sampel untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol dilakukan secara acak menurut kelas. Instrumen yang digunakan adalah tes kemampuan awal matematis (KAM) dan tes KBK matematis. Data penelitian untuk skor pretes, postes, dan gain ternormalisasi KBK matematis siswa dianalisis dengan menggunakan *mix-methods*, yakni gabungan antara analisis kuantitatif dan kualitatif disesuaikan dengan data yang ada. Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh kesimpulan bahwa ada perbedaan peningkatan KBK matematis siswa yang signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Peningkatan KBK matematis siswa kelompok eksperimen yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih tinggi secara signifikan ditinjau dari setiap kategori KAM dengan kedua level sekolah dibandingkan dengan siswa yang mendapatkan model pembelajaran konvensional (PKV). Akan tetapi perbedaan peningkatan KBK matematis siswa tertinggi diperoleh oleh kelompok siswa kategori KAM tinggi pada level sekolah tinggi dan terakhir oleh kelompok siswa dengan kategori KAM rendah pada level sekolah sedang. Hasil studi ini juga menemukan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi antara model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dengan model PKV, dan kategori KAM terhadap peningkatan disposisi matematis siswa.

Kata Kunci: Model MEA yang dimodifikasi, *didactical enginnering*, KBK matematis.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis merupakan salah satu fokus dalam kegiatan pembelajaran matematika. Melalui pembelajaran matematika, semua peserta didik mulai dari sekolah dasar diharapkan memiliki kemampuan berpikir logis, analitis, sistematis, kritis dan kreatif, dan kemampuan bekerja sama [BNSP, 4]. Demikian pula Sabandar [19], mengemukakan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis merupakan salah satu tujuan utama dalam kegiatan matematika, dan dianggap penting baik oleh para guru maupun siswa. Paul dan Elder [17] juga mengungkapkan bahwa *high order thinking*

skill saat ini dibutuhkan oleh siswa untuk meningkatkan kualitas hasil pemikiran dan daya pikir intelektual yang original. Dengan demikian, kemampuan berpikir tingkat tinggi, khususnya kemampuan berpikir kritis matematis perlu dan harus secara terus menerus dikembangkan dalam pembelajaran matematika. Dengan kata lain, kemampuan berpikir kritis matematis harus terbentuk dalam diri siswa melalui belajar matematika. Peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis memang perlu dilakukan karena kemampuan ini merupakan salah satu kemampuan yang sangat penting untuk masa depan setiap peserta didik.

Menurut Hamid [13] bahwa kemampuan berpikir kritis matematis perlu dikembangkan kepada semua siswa, karena setiap manusia mempunyai potensi untuk berpikir secara kritis, sehingga potensi tersebut dapat dikembangkan. Penulis lain, Duron, Limbach, dan Waugh [8] bahwa berpikir adalah proses alami, apabila dibiarkan sendiri, sering bias, terdistorsi, parsial, kurang informasi, dan berpotensi berprasangka, sehingga keunggulan dalam pikiran harus dikembangkan. Hal ini sejalan dengan pendapat Cotton [Umar, 30] meskipun banyak orang percaya bahwa manusia lahir dengan atau tanpa kemampuan berpikir kritis, riset telah memperlihatkan bahwa berpikir kritis matematis dapat diajarkan dan dapat dipelajari. Dengan demikian, kemampuan berpikir kritis matematis perlu dilatih dan diajarkan kepada siswa melalui belajar matematika, karena akan sangat membantu mereka dalam memecahkan masalah-masalah yang dihadapinya.

Ada empat alasan yang dikemukakan oleh Cotton [Umar, 30], mengenai perlunya dibiasakan mengembangkan kemampuan berpikir kritis matematis, yakni: (1) tuntutan zaman yang menghendaki warga negara dapat mencari, memilih, dan menggunakan informasi untuk kehidupan bermasyarakat dan bernegara; (2) setiap warga negara senantiasa berhadapan dengan berbagai masalah dan pilihan sehingga dituntut mampu berpikir kritis dan kreatif; (3) kemampuan memandang sesuatu dengan cara yang berbeda dalam memecahkan masalah; dan (4) berpikir kritis merupakan aspek dalam memecahkan masalah secara kreatif agar peserta didik dapat bersaing secara adil dan mampu bekerja sama dengan bangsa lain. Sementara itu, Kusumah [14] berpendapat bahwa kemampuan berpikir kritis, sebagai bagian dari kemampuan berpikir matematis, amat penting, ditumbuhkan melalui kegiatan pembelajaran matematika, yang dititikberatkan pada sistem, struktur, konsep, prinsip, serta kaitan yang ketat antara suatu unsur dan unsur lainnya. Di sisi lain, Ruseffendi [18] mengatakan bahwa matematika terbentuk sebagai hasil pemikiran manusia yang berhubungan dengan ide, proses, dan penalaran. Menurutny lebih jauh, bahwa matematika adalah penalaran. Dengan kata lain, matematika sebagai ilmu yang mengembangkan sikap berpikir kritis, dinamis, dan terbuka tidak dapat dipisahkan dengan penalaran. Hal ini diperkuat oleh Sumarmo [24] yang mengatakan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis merupakan bagian dari penalaran.

Memang upaya peningkatan mutu pendidikan tidak terlepas dari peran dan tanggung jawab institusi pendidikan. Peningkatan mutu pendidikan, khususnya mata pelajaran matematika di setiap sekolah harus selalu diupayakan. Upaya peningkatan mutu mata pelajaran matematika tersebut dilakukan dengan mengembangkan kemampuan berpikir kritis matematis harus dipandang sebagai sesuatu yang urgen dan tidak bisa disepelekan. Upaya ini tentu saja tidak mungkin dilakukan melalui cara-cara lama yang cenderung mengandalkan proses pengembangan kemampuan yang lebih bersifat prosedural serta kurang memuat tantangan. Upaya tersebut perlu dikembangkan lebih jauh lagi sehingga menyentuh aspek-aspek yang memungkinkan peserta didik mampu mengembangkan potensi yang dimilikinya secara optimal. Hal ini tentunya, paling tidak bahwa untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa melalui pembelajaran matematika, tidak terlepas dari kemampuan pemahaman. Solihin [20] dalam studinya melaporkan bahwa terdapat korelasi positif antara kemampuan pemahaman matematis dan kemampuan

berpikir kritis matematis. Dalam konteks ini, bahwa materi matematika tidak dapat dipahami dengan baik dan benar bila tidak dipelajari dengan kemampuan berpikir kritis matematis dengan benar. Sebaliknya, agar siswa dapat berpikir kritis matematis maka dia harus memahami matematika dengan baik dan benar. Sutawidjaja [27] mengatakan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis itu hanya dapat dipahami dan dilatihkan melalui belajar materi matematika, tidak dapat diajarkan tersendiri.

Di negara Indonesia, kemampuan siswa dalam matematika sampai saat ini belum memperlihatkan hasil yang memuaskan, dengan kata lain prestasi belajar matematika yang dicapai siswa masih rendah. Hal ini dapat dilihat dari hasil survey pengukuran dan penilaian pendidikan oleh *Program for International Student Assessment (PISA)* dan *The International Mathematics and Science Survey (TIMSS)* tahun 2011 untuk kategori siswa kelas VIII SMP menunjukkan bahwa penguasaan matematika, siswa di Indonesia berada pada peringkat 39 dari 43 negara [Turmudi, 28]. Hasil survey PISA dan TIMSS tersebut didukung oleh studi Noer [16] mengindikasikan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis siswa kelas VIII SMP masih belum optimal karena hanya sebagian kecil siswa (kurang dari 15%) mampu menyelesaikan berbagai tugas akademik, baru mencapai pada indikator kemampuan mengidentifikasi asumsi yang diberikan; kemampuan merumuskan pokok-pokok permasalahan; dan kemampuan menentukan akibat dari suatu ketentuan yang diambil. Khusus untuk indikator kemampuan mendekteksi adanya bias berdasarkan pada sudut pandang yang berbeda; indikator kemampuan mengungkap suatu konsep/definisi atau teorema dalam menyelesaikan masalah; dan indikator kemampuan mengevaluasi argumen yang relevan dalam menyelesaikan masalah, hanya terdapat (5%) siswa yang berhasil menyelesaikan tugas-tugas yang diberikan guru.

Lebih jauh, Noer [16] mengatakan bahwa belum optimalnya kemampuan berpikir kritis matematis siswa tersebut diduga disebabkan oleh kurang tepatnya model dan strategi pembelajaran yang digunakan guru dalam pembelajaran matematika. Sementara itu studi Stacey [21] melaporkan bahwa peserta dari Indonesia kurang berhasil dalam menyelesaikan soal-soal matematika non rutin yang memerlukan penalaran matematis, generalisasi atau konjektur, dan menemukan hubungan antara data-data atau fakta yang diberikan. Sharadgah [1] juga melaporkan bahwa sebagian besar siswa tidak mengambil makna dari proses penyelesaian, akibatnya proses mengkonstruksi materi kurang berhasil. Menurutny lebih jauh, bahwa pengetahuan siswa dalam kegiatan pemecahan masalah, belum sepenuhnya dikuasai, dan di satu sisi proses pembelajaran yang dilakukan guru kurang mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa.

Berdasarkan uraian yang dikemukakan di atas, maka jelas diperlukan sebuah proses pembelajaran yang sesuai dengan harapan yakni dapat menumbuhkembangkan kemampuan berpikir kritis matematis siswa. Dengan demikian, pada penelitian ini penulis mengimplementasikan model MEA yang telah dikembangkan oleh Glass & Holyoak [Umar, 29], dengan disertai *Didactical Enginnering (DE)* pada saat pendesainan bahan ajar. Emprin [9] mengatakan bahwa *didactical engineering* atau rekayasa didaktis termasuk dalam penelitian pengembangan (*developmental research*), karena berkaitan dengan pengembangan materi dan bahan pembelajaran. Sedangkan menurut Brousseau [5] bahwa kerangka kerja DE dapat diformulasikan sebagai suatu rangkaian langkah desain didaktis bertujuan untuk memperbaiki proses pengajaran. Di lain pihak, Artigue [3] dan Godino & Batanero, *et. al.*, [11] mengatakan bahwa DE digunakan ketika sebuah penelitian menempatkan “desain didaktis” sebagai suatu produk yang penting, maka penelitian tersebut dapat dikatakan mendesain kerangka kerja *didactical engineering*. Karena itu, menurut Suryadi [26], bahwa desain didaktis pada dasarnya terdiri atas tiga tahap yakni: (1) analisis perencanaan situasi didaktis sebelum pembelajaran, (2) analisis metapedadidaktik untuk mendukung pembelajaran, dan (3) analisis retrospektif terhadap data yang dihasilkan antara perencanaan sebelum pembelajaran dengan hasil analisis

metapedagogik

Dari perspektif rekayasa situasi didaktis di atas, implementasi model MEA dengan disertai DE yang dikembangkan pada penelitian ini adalah suatu desain pembelajaran dengan pendekatan pembelajarannya berpusat pada siswa, sedangkan guru (peneliti) hanya sebagai fasilitator. Adapun sintaks pembelajaran melalui model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE adalah sebagai berikut: (1) proses awal pembelajaran guru memberikan masalah kontekstual yang bersifat *open-ended* kepada siswa; (2) siswa belajar secara *cooperative learning* mengelaborasi masalah menjadi sub-sub masalah yang lebih sederhana; (3) selama proses pembelajaran berlangsung, siswa membangun pengetahuannya dan mengembangkan kemampuan; berpikir kritis matematis untuk memecahkan masalah-masalah yang hendak dituju, (4) siswa menentukan strategi pembelajaran secara mandiri untuk mencari solusi dari masalah yang diberikan; dan (5) guru bertindak sebagai fasilitator dalam rangkaian kegiatan, dan apabila ada siswa yang mengalami kesulitan maka diberikan bimbingan dengan teknik *scaffolding*, dengan cara mengajukan pertanyaan: informasi apa yang diketahui dari permasalahan tersebut? Apa yang diketahui dan apa yang akan dicari serta apa hubungan diantara keduanya? Pertanyaan-pertanyaan seperti itu merupakan pertanyaan yang mengarahkan siswa untuk melakukan aksi atas situasi yang ada sehingga tercipta situasi didaktis yang mampu mensinergikan setiap potensi siswa terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut. (1) Penerapan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE sebagai upaya mengoptimalkan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa. (2) Menganalisis apakah peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih baik daripada siswa yang mendapatkan model pembelajaran konvensional (PKV). Selain itu, dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh peneliti selanjutnya yang ingin melakukan penelitian lebih detail tentang penerapan model *Means-Ends-Analysis* (MEA) yang dimodifikasi dengan disertai DE untuk peningkatan kemampuan berpikir kritis (KBK) matematis siswa atau kemampuan berpikir matematis lainnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini menggunakan metode *Research & Development Method* selama satu tahun, yang dibagi menjadi dua tahap yakni sebagai berikut: (1) Tahap pertama disebut tahap persiapan, yakni desain dan pengembangan bahan ajar, termasuk model evaluasi yang dikembangkan melalui model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, serta pembuatan instrumen penelitian berupa: butir soal tes Kemampuan Awal Matematis (KAM) dan butir soal tes Kemampuan Berpikir Kritis (KBK) matematis. (2) Tahap kedua berupa kegiatan pelaksanaan penelitian. Pada penelitian tahap pertama digunakan desain penelitian satu kelompok siswa tanpa kontrol: X O untuk mengetahui efektivitas dari bahan ajar dan implementasi model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, serta tingkat validitas, reliabilitas, daya pembeda, dan indeks kesukaran butir soal tes KAM dan tes KBK matematis yang dilakukan terhadap siswa kelas VIII-A pada salah satu SMP Negeri di Kabupaten Halmahera Selatan provinsi Maluku Utara selama satu semester.

Pada tahap kedua, penelitian dilakukan lewat uji coba model MEA yang dimodifikasi, terhadap 158 siswa kelas VIII dari dua SMP Negeri yang ada di Kabupaten Halmahera Selatan, masing-masing dua kelas level sekolah tinggi dan dua kelas level sekolah sedang. Metode yang digunakan pada tahap kedua adalah *quasi* eksperimen berbentuk pretes-postes, dengan desain penelitian sebagai berikut: O X O dan O---O, dimana O menggambarkan pretes-postes, sedangkan X menggambarkan implementasi model MEA

yang dimodifikasi dengan disertai DE kontras pembelajaran konvensional (PKV). Kelas eksperimen mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dan kelas kontrol mendapatkan model PKV. Sebelum perlakuan baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol diberi tes KAM. Tes KAM digunakan untuk mengelompokkan siswa berdasarkan tingkatan kemampuan sehingga berimplikasi pada hasil diskusi selama proses pembelajaran berlangsung maupun hasil belajarnya. Data tentang peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa diperoleh melalui tes akhir butir soal KBK matematis, sedangkan data disposisi matematis siswa diperoleh dengan menggunakan skala disposisi. Untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan dan analisis data dengan menggunakan *mix-methods*, yakni gabungan antara analisis kuantitatif dan analisis kualitatif disesuaikan dengan data yang ada [Arikunto, 2]. Asumsi kenormalan dan homogenitas variansi dilakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan gabungan uji statistik ini.

3. HASIL

3.1 Implementasi Model MEA yang Dimodifikasi dengan Disertai DE

Sebelum bahan ajar digunakan pada pembelajaran yang sesungguhnya, guru terlebih dulu melakukan pengembangan bahan ajar model MEA yang dimodifikasi dengan disertai *Didactical Engineering* (DE) melalui tiga tahap, yakni sebagai berikut: (1) Analisis situasi didaktis yang dilakukan guru (peneliti) sebelum uji coba bahan ajar, berisi prediksi dan antisipasi terhadap setiap kemungkinan respons siswa yang muncul atas situasi didaktis dan situasi pedagogis yang dimunculkan, (2) Analisis metapedadidaktik yang dilakukan guru pada saat uji coba bahan ajar, berisi identifikasi dan analisis tentang hambatan pembelajaran yang muncul pada saat pembelajaran berlangsung. (3) Analisis retrospektif yang dilakukan setelah uji coba bahan ajar, berisi refleksi kesesuaian antara analisis situasi didaktis dengan analisis metapedadidaktik yang berisi tindakan didaktis dan pedagogis lanjutan. Jadi, sebelum implementasi model pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, terlebih dulu bahan ajarnya telah diujicobakan dan disempurnakan sehingga hambatan pembelajaran yang mungkin muncul sudah terantisipasi oleh guru. Melalui implementasi model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dapat lebih mengoptimalkan peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis siswa dibandingkan dengan model pembelajaran konvensional (PKV).

Strategi pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE bersifat individu, kelompok, maupun kelas. Strategi pembelajaran individual dilakukan pada saat awal pembelajaran, yakni guru menanyakan kesiapan masing-masing siswa berkaitan dengan materi yang akan dipelajari. Strategi pembelajaran individual diberlakukan baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Strategi pembelajaran kelompok dilakukan pada saat siswa menyelesaikan masalah dan mempresentasikan hasil pekerjaannya. Sedangkan strategi pembelajaran kelas yang dimaksud adalah dilakukan baik pada siswa kelas eksperimen maupun pada siswa kelas kontrol pada akhir pembelajaran, yakni pada saat diskusi berkaitan dengan materi pembelajaran.

Selanjutnya teknik dan taktik dalam pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE adalah sebagai berikut: guru memberikan masalah kontekstual yang berkaitan dengan kehidupan siswa sehari-hari, bersifat *open-ended*. Masalah dipahami terlebih dahulu oleh setiap siswa secara individual, kemudian siswa secara berkelompok menentukan strategi untuk mencari solusi dari masalah yang diberikan. Dalam konteks ini, bahwa selama proses pembelajaran berlangsung, mengharuskan siswa untuk bekerja dalam bentuk tim yang terdiri dari tiga sampai empat orang siswa dengan harapan dapat menghasilkan solusi masalah melalui deskripsi tertulis, penjelasan, dan konstruksi dengan

cara menganalisis masalah secara berulang-ulang hingga menemukan sebuah bukti matematis. Glass & Holyoak [Umar, 29] mengatakan bahwa model pembelajaran MEA, siswa diberi kesempatan menggunakan strateginya sendiri, mengkonstruksi pengetahuan sendiri, memecahkan suatu masalah yang hendak dituju hingga menemukan sebuah bukti matematis. Pada akhir pembelajaran, siswa dengan dipandu guru membuat kesimpulan dan rangkuman.

Hasil penelitian mengenai pelaksanaan, tujuan, dan hasil dari analisis rekayasa situasi didaktis, analisis rekayasa metapedadidaktik, dan analisis rekayasa retrospektif pengembangan bahan ajar untuk model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, diperoleh beberapa implikasi sebagai berikut: (1) Hasil analisis rekayasa situasi didaktis akan memungkinkan terciptanya suatu situasi didaktis yang ideal bagi siswa. Hal ini terjadi karena analisis rekayasa situasi didaktis berisi pemikiran guru tentang prediksi dan antisipasi terhadap respon siswa yang akan dimunculkan pada situasi didaktis saat pembelajaran berlangsung. (2) Hasil analisis rekayasa metapedadidaktis, tahapan pembelajaran akan berjalan lancar dan hasil belajar siswa akan optimal. Hal ini terlihat dari kemampuan guru terkait dengan pencapaian target pembelajaran, juga berdasarkan hasil analisis respon siswa. (3) Hasil analisis rekayasa retrospektif pasca pembelajaran akan diperoleh suatu strategi yang sangat baik untuk melakukan pengembangan diri guru sehingga kualitas pembelajaran dari waktu ke waktu senantiasa dapat ditingkatkan. Secara garis besar, implikasinya adalah ada kecenderungan bahwa model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE mempunyai pengaruh lebih besar terhadap peningkatan KBK matematis dan disposisi matematis siswa dibandingkan dengan model PKV untuk setiap kategori KAM siswa.

3.2 Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis (KBK) Matematis Siswa

Peningkatan KBK matematis siswa ditentukan berdasarkan gain ternormalisasi antara skor pretes dengan skor postes yang diperoleh dengan menggunakan butir soal tes KBK matematis yang sama. Dari hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* berdasarkan model pembelajaran, level sekolah, dan setiap katagori KAM siswa dapat diketahui bahwa data peningkatan KBK matematis siswa semuanya berdistribusi normal. Selanjutnya dari hasil uji homogenitas variansi dengan menggunakan uji *Levene Test*, diketahui bahwa keseluruhan data peningkatan KBK matematis siswa bervariasi homogen pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Adapun data capaian KBK matematis berdasarkan model pembelajaran, level sekolah, dan katagori KAM siswa disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Data Capaian Kemampuan Berpikir Kritis (KBK) Matematis Siswa berdasarkan Model Pembelajaran, Level Sekolah, dan Kategori KAM

Level Sekolah	KAM	Ukuran Statistik	Model Pembelajaran					
			MEA yang Dimodifikasi			PKV		
			Pretes	Postes	N-Gain	Pretes	Postes	N-Gain
Tinggi	Tinggi	<i>N</i>	8	8	8	7	7	7
		Rerata	12,5	36,5	0,65	6,00	28,29	0,51
		<i>SB</i>	3,34	7,84	0,19	2,58	9,41	0,22
	Sedang	<i>N</i>	25	25	25	24	24	24
		Rerata	7,52	26,08	0,45	6,17	20,17	0,31
		<i>SB</i>	3,23	10,46	0,23	3,33	7,05	0,18
	Rendah	<i>N</i>	7	7	7	7	7	7
		Rerata	4,00	17,14	0,29	3,14	10,29	0,15
		<i>SB</i>	4,00	7,38	0,12	1,57	4,23	0,09
Sedang	Tinggi	<i>N</i>	7	7	7	8	8	8

		Rerata	7,14	32,86	0,60	4,25	24,25	0,46
		SB	3,44	5,98	0,15	1,67	7,96	0,20
	Sedang	N	23	23	23	23	23	23
		Rerata	7,04	24,09	0,40	4,52	19,22	0,33
		SB	4,08	6,37	0,12	1,50	5,93	0,15
	Rendah	N	10	10	10	9	9	9
		Rerata	6,20	18,60	0,28	4,89	14,00	0,20
		SB	3,19	7,24	0,15	2,26	5,10	0,11

Catatan: skor maksimal ideal 50; SB (simpangan baku); N (ukuran sampel)

Data pada Tabel 1 di atas, tampak bahwa ditinjau dari kedua level sekolah dan kemampuan awal matematis khususnya siswa dengan KAM tinggi maupun sedang yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE memperoleh peningkatan KBK matematis lebih unggul daripada siswa kelas kontrol yang mendapatkan model pembelajaran konvensional (PKV). Sedangkan siswa dengan kategori KAM rendah yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE pada level sekolah sedang mencapai gain ternormalisasi KBK matematis lebih baik (18,60) daripada siswa kelas kontrol pada level sekolah tinggi mencapai gain ternormalisasi KBK sebesar (17,14). Untuk model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, peningkatan tertinggi KBK matematis siswa kelas eksperimen dicapai pada indikator *“Siswa mampu mengidentifikasi asumsi yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah”*. Jika ditinjau dari klasifikasi dari Meltzer [15], maka peningkatan yang dicapai pada indikator tersebut, termasuk dalam kategori sedang. Sementara untuk model PKV peningkatan KBK matematis siswa terendah dicapai pada indikator *“Siswa mampu mengungkapkan suatu konsep dan menggunakannya dalam menyelesaikan masalah”*, dan termasuk dalam kategori rendah. Temuan ini hampir sejalan dengan studi Noer [16] yang mengatakan bahwa kelemahan siswa yang paling banyak ditemui adalah aspek merumuskan masalah dan menguji kebenaran jawaban. Meski demikian, jika dilihat secara keseluruhan ternyata bahwa makin tinggi kategori KAM pada kedua level sekolah, makin tinggi pula gain ternormalisasi KBK matematis siswa.

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif dan inferensial di atas, dapat disimpulkan bahwa sebelum perlakuan pembelajaran, kemampuan berpikir kritis (KBK) matematis siswa dari kedua level sekolah berbeda secara signifikan. Setelah pembelajaran, kemampuan berpikir kritis (KBK) matematis siswa baik level sekolah tinggi maupun level sedang yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih tinggi secara signifikan daripada siswa kelas kontrol yang mendapatkan model PKV. Fakta ini memperkuat pernyataan bahwa model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih unggul secara signifikan dibandingkan dengan model PKV dan kategori KAM rendah terhadap peningkatan KBK matematis siswa. Keunggulan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE juga diperkuat oleh hasil analisis uji *post hoc* dari *One-Way ANOVA* dua jalur tentang pengaruh interaksi antara model pembelajaran, level sekolah, dan kategori KAM siswa terhadap data gain ternormalisasi KBK matematis siswa. Secara teoritis hal ini terjadi oleh karena kualitas bahan ajar model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih baik, juga disertai proses pembelajaran lebih intraktif dan bermakna dibandingkan model PKV. Chamot [6] mengatakan bahwa seorang guru yang ideal, manakalah dia mampu memilih tugas yang tepat, mendorong siswa belajar bermakna (*meaningful learning*), atur diskursus (*discourse*) untuk menciptakan suasana belajar dan analisis situasi kelas. Dengan demikian, nampaknya pembelajaran model MEA yang direformulasi dengan disertai DE telah mampu membantu siswa menuju ke *Zona of Proximal Development* (ZPD) dari Vygotsky [31]. Alasan teoritis lainnya adalah implementasi model MEA dengan disertai DE didasarkan pada filosofi konstruktivisme bahwa siswa harus aktif secara mental membangun struktur

pengetahuannya berdasarkan kematangan kognitif yang dimilikinya. Selanjutnya keempat prinsip yang ada pada model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE telah sesuai dengan teori perkembangan kognitif dari Piaget bahwa belajar merupakan proses asimilasi dan akomodasi. Proses asimilasi pada pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE terjadi pada prinsip “disajikan materi dengan pendekatan *heuristic* dan *realitas*”, sedangkan proses akomodasi pada pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE terjadi pada prinsip “elaborasi masalah; dokumentasi; *reusability* dan berbagi-kemampuan; serta prototipe yang efektif. Secara umum, bahwa proses pembelajaran melalui model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih ditekankan kepada keaktifan siswa. Sehingga pembelajaran tidak berpusat pada guru akan tetapi siswa yang aktif belajar, menggali pengetahuannya secara mandiri. Pandangan konstruktivisme mengasumsikan bahwa siswa harus mengkonstruksi pengetahuan mereka sendiri [Suparno,25]. Sementara teorema konstruksi dari Bruner [Umar, 30] mengungkapkan bahwa cara berpikir terbaik bagi siswa untuk memulai belajar konsep dan prinsip dalam matematika adalah dengan mengkonstruksi sendiri. Alasannya jika para siswa mengkonstruksi sendiri, maka mereka akan mudah mengingat dan dapat mengaplikasikannya dalam situasi-situasi yang sesuai.

3.3 Pengaruh Interaksi antara Faktor Pembelajaran dan KAM Siswa terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis (KBK) Matematis Siswa

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif tentang kemampuan berpikir kritis (KBK) matematis siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, dengan siswa yang mendapatkan model PKV yang disajikan pada Lampiran, menunjukkan bahwa rerata data peningkatan KBK matematis siswa berdasarkan model pembelajaran dan KAM siswa tidak berdistribusi normal, sehingga uji ANOVA dua jalur tidak dapat dilakukan. Dengan demikian, analisis pengaruh interaksi terhadap data peningkatan KBK matematis siswa dilakukan secara deskriptif dari grafik yang dihasilkan. Grafik pengaruh interaksi antara model pembelajaran dan KAM siswa terhadap peningkatan KBK matematis siswa dapat disajikan pada Diagram 1 di bawah ini.

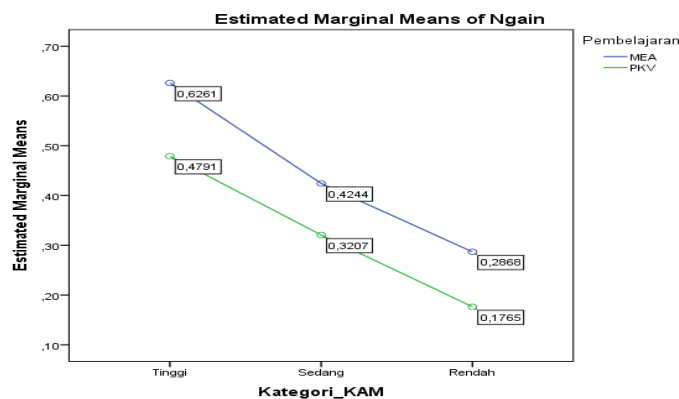


Diagram 1: Interaksi antara Faktor Pembelajaran dan KAM Siswa terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis

Dari Diagram 1 di atas, tampak bahwa grafik garis rerata peningkatan KBK matematis siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE berada di atas grafik garis rerata peningkatan KBK matematis siswa yang mendapatkan model PKV. Dari grafik garis memperlihatkan bahwa semua siswa kategori KAM tinggi, sedang, dan rendah yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE memperoleh peningkatan KBK matematis lebih tinggi daripada siswa yang mendapatkan model PKV. Meskipun demikian, selisih peningkatan KBK matematis

siswa antara model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dan model PKV pada ketiga kategori KAM adalah berbeda. Pada kategori KAM tinggi, selisih peningkatan KBK matematis antara siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dan siswa yang mendapatkan model PKV sebesar (0,147). Sedangkan kategori KAM sedang maupun KAM rendah, selisih KBK antara siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dan siswa yang mendapatkan model PKV berturut-turut sebesar (0,1037) dan (0,1103). Hal ini mengindikasikan bahwa model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE mempunyai pengaruh lebih besar terhadap peningkatan KBK matematis siswa dibandingkan dengan model PKV untuk setiap kategori KAM siswa.

Jika dilihat dari grafik garis rerata untuk kedua model pembelajaran, tampak bahwa siswa dengan kategori KAM tinggi lebih tinggi dari siswa dengan kategori KAM sedang maupun rendah, begitu pula untuk kategori KAM sedang terhadap kategori KAM rendah. Selain itu, nampak pula bahwa kedua grafik garis memiliki gradien positif, yang menunjukkan bahwa kedua model pembelajaran serta ketiga kategori KAM siswa memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan KBK matematis siswa. Jarak dari kedua grafik garis, nampak bahwa untuk setiap kategori KAM cenderung relatif berbeda dan tidak berpotongan. Hal ini berarti bahwa terdapat pengaruh interaksi yang signifikan terhadap peningkatan KBK matematis siswa berdasarkan model pembelajaran dan KAM siswa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaruh interaksi antara model pembelajaran dan KAM siswa menghasilkan perbedaan peningkatan yang cukup berarti terhadap peningkatan KBK matematis siswa. Implikasinya adalah ada kecenderungan bahwa model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE mempunyai pengaruh lebih besar terhadap peningkatan KBK matematis siswa, dibandingkan dengan model PKV untuk setiap kategori KAM. Fakta ini sejalan dengan hasil penelitian Fitriani [10], yang melaporkan bahwa penerapan pembelajaran MEA dapat berpengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan komunikasi dan kemampuan pemecahan masalah matematis siswa kelas VIII SMP.

3.4 Peningkatan Disposisi Matematis Siswa

Dari hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* diketahui bahwa data peningkatan disposisi matematis siswa baik dari kelas kontrol dan kategori KAM sedang pada level sekolah sedang tidak berdistribusi normal, sedangkan untuk kelas eksperimen, kategori KAM tinggi pada level sekolah tinggi, dan kategori KAM rendah semuanya berdistribusi normal pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Selanjutnya dari hasil uji homogenitas variansi dengan menggunakan uji Non Parametrik *Mann Whitney*, diketahui bahwa data peningkatan disposisi matematis siswa pada level sekolah sedang dengan kategori KAM rendah tidak berdistribusi normal, sedangkan siswa dengan kategori KAM tinggi dan rendah pada level sekolah tinggi berdistribusi normal pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Berikut disajikan data peningkatan disposisi matematis siswa berdasarkan model pembelajaran, level sekolah, dan katagori KAM siswa ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Peningkatan Disposisi Matematis Siswa berdasarkan Model Pembelajaran, Level Sekolah, dan Kategori KAM

Level Sekolah	KAM	Ukuran Statistik	Model Pembelajaran					
			MEA yang Dimodifikasi			PKV		
			Pretes	Postes	N-Gain	Pretes	Postes	N-Gain
Tinggi	Tinggi	<i>N</i>	8	8	8	7	7	7
		Rerata	87,88	104,75	0,31	87,71	94,29	0,111

	Sedang	SB	7,97	14,14	0,16	12,079	11,280	0,698
		N	25	25	25	24	24	24
		Rerata	86,48	98,68	0,21	81,38	94,17	0,197
	Rendah	SB	5,46	7,95	0,11	8,692	9,111	0,100
		N	7	7	7	7	7	7
		Rerata	86,00	102,86	0,29	81,86	90,57	0,135
	Sedang	SB	5,97	11,48	0,16	4,811	6,347	0,083
		Tinggi	N	7	7	8	8	8
			Rerata	89,57	101,14	0,22	85,63	97,63
			SB	10,75	14,57	0,14	5,502	6,948
		Sedang	N	23	23	23	23	23
			Rerata	87,48	97,17	0,17	87,52	97,61
			SB	8,56	10,45	0,18	6,052	7,584
		Rendah	N	10	10	9	9	9
			Rerata	86,40	96,90	0,29	83,00	96,00
			SB	5,32	9,89	0,10	13,528	10,137

Catatan: skor maksimal ideal 146; N (ukuran sampel); SB (simpangan baku)

Berdasarkan data pada Tabel 2 di atas, terlihat bahwa keunggulan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dibandingkan dengan model PKV terhadap peningkatan disposisi matematis siswa ditinjau dari kedua level sekolah dan setiap kategori KAM siswa. Keunggulan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE tersebut, semakin nyata ditinjau dari kategori KAM tinggi maupun rendah pada level sekolah tinggi memperoleh rerata peningkatan disposisi matematis berturut-turut sebesar (0,31) dan (0,29). Untuk model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, rerata peningkatan tertinggi disposisi matematis siswa dicapai pada indikator “*Mampu bertahan*” dengan aspek yang diukur meliputi: saya fokus mengerjakan soal yang hasilnya belum ditemukan, dan aspek mencoba lagi ketika saya belum dapat menyelesaikan soal dengan benar. Rerata peningkatan kedua aspek tersebut, jika ditinjau dari klasifikasi dari Meltzer [15], termasuk dalam kategori sedang.

Selanjutnya, siswa pada level sekolah tinggi dengan KAM tinggi yang mendapatkan model PKV memperoleh rerata peningkatan disposisi matematis sebesar (0,11), sebaliknya siswa pada level sekolah sedang dengan KAM sedang memperoleh rerata peningkatan disposisi matematis sebesar (0,17). Rerata peningkatan disposisi matematis siswa terendah dicapai pada indikator “*Bertanggungjawab dan berani mengambil resiko*” dengan aspek yang diukur meliputi: Saya menetapkan cara tanpa mempertimbangkan hasil yang dicapai, dan aspek Nilai yang saya peroleh tidak sebanding dengan hasil pekerjaan yang telah saya lakukan. Rerata peningkatan kedua aspek tersebut, jika dilihat dari rerata N-gain termasuk dalam kategori rendah. Dengan demikian, siswa yang mendapatkan model PKV lebih unggul dari siswa yang mendapatkan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE terhadap peningkatan disposisi matematis siswa. Temuan ini sebagaimana terlihat pada hasil uji beda lanjut atau *post hoc* dari One-Way ANOVA tentang pengaruh interaksi antara model pembelajaran, level sekolah, dan kategori KAM siswa terhadap N-gain disposisi matematis siswa. Stacey [22] mengatakan bahwa orang yang mengembangkan kapasitas di bidang tertentu cenderung dipengaruhi oleh kebiasaan berpikir dan disertai sikap produktif. Sikap produktif menurut pendapat Sumarmo [23] adalah sikap positif dan kebiasaan yang tumbuh untuk melihat matematika sebagai sesuatu yang logis, rasa percaya diri yang tumbuh dan kemampuan metakognisi yang tinggi.

3.5 Pengaruh Interaksi antara Faktor Pembelajaran dan KAM Siswa terhadap Peningkatan Disposisi Matematis Siswa

Hasil uji ANOVA dua jalur untuk pengaruh interaksi antara model pembelajaran dengan kemampuan awal matematis (KAM) siswa terhadap peningkatan disposisi matematis siswa disajikan pada Diagram 2 berikut.

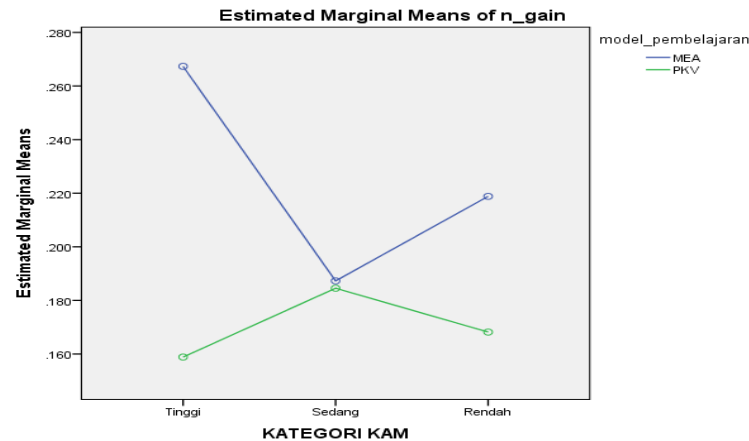


Diagram 2: Interaksi antara Model Pembelajaran dan KAM Siswa terhadap Peningkatan Disposisi Matematis Siswa

Dari Diagram 2 terlihat bahwa dari grafik garis rerata untuk model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE menunjukkan bahwa siswa kelas eksperimen dengan kategori KAM tinggi lebih tinggi dari siswa dengan kategori KAM sedang maupun rendah, dan begitu pula untuk kategori KAM sedang terhadap kategori KAM rendah. Selain itu, nampak grafik garis rerata untuk model PKV menunjukkan bahwa siswa kelas kontrol dengan kategori KAM tinggi lebih rendah daripada siswa dengan kategori KAM rendah terhadap peningkatan disposisi matematis siswa. Rerata kedua grafik garis memperlihatkan bahwa siswa pada kedua model pembelajaran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan disposisi matematis siswa.

Meskipun kedua grafik garis tidak berpotongan, tetapi memperlihatkan bahwa kedua model pembelajaran serta ketiga kategori KAM siswa memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan disposisi matematis siswa. Jarak dari kedua grafik garis, nampak bahwa untuk setiap kategori KAM cenderung relatif berbeda dan tidak berpotongan. Hal ini berarti bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi yang signifikan terhadap peningkatan disposisi matematis siswa berdasarkan model pembelajaran dan setiap kategori KAM siswa. Fakta ini mengindikasikan bahwa siswa pada kategori KAM tinggi cenderung memperoleh manfaat lebih besar dari model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE terhadap peningkatan disposisi matematis siswa dibandingkan dengan model PKV untuk kategori KAM sedang dan rendah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaruh interaksi antara model pembelajaran dan ketiga kategori KAM siswa menghasilkan perbedaan peningkatan disposisi matematis siswa yang cukup berarti, namun tidak terdapat interaksi secara signifikan antara kedua model pembelajaran dan kategori KAM siswa terhadap peningkatan disposisi matematis siswa. Temuan tersebut berlawanan dengan tinjauan teoritis dan temuan penelitian lainnya. Goldenberg, *et.al.* [12] mengatakan bahwa kebiasaan berpikir secara matematis memiliki kaitan erat dengan kesuksesan setiap peserta didik dalam belajar matematika. Siswa dengan disposisi matematis tinggi menunjukkan prestasi yang lebih tinggi dan ketekunan pada masalah yang sulit Cuoco [7].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, temuan, dan pembahasan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

- (1). Pembelajaran model MEA yang telah dikembangkan oleh Glass & Holyoak [Umar, 29] telah dimodifikasi oleh peneliti dengan disertai DE melalui tiga tahap, yaitu: (1) Analisis situasi didaktis yang dilakukan peneliti sebelum uji coba bahan ajar; (2) Analisis metapedadidaktik yang dilakukan peneliti pada saat uji coba bahan ajar; dan (3) Analisis retrospektif yang dilakukan setelah uji coba bahan ajar. Model pembelajaran MEA yang direformulasi dengan disertai DE, tetap berpedoman pada empat prinsip dari pembelajaran MEA, yaitu: prinsip sintaks, prinsip sistem sosial, prinsip *heuristic*, prinsip reaksi memilih strateginya sendiri, dan prinsip sistem pendukung. Aktivitas diawal pembelajaran MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE, guru mengajukan serangkaian pertanyaan untuk mengetahui sampai sejauh mana siswa telah menguasai konsep-konsep dasar matematika, yang dikaitkan dengan materi yang akan diajarkan. Pada akhir pembelajaran, guru memberi tugas kepada siswa untuk mempelajari sendiri dan membuat peta konsep materi yang akan diajarkan pada pertemuan berikutnya.
- (2). Peningkatan KBK matematis siswa yang mendapatkan implememtasi model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE lebih tinggi secara signifikan dari pada siswa yang mendapatkan model PKV. Meski demikian, tidak terdapat pengaruh interaksi antara model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dengan kategori KAM terhadap peningkatan disposisi matematis siswa.
- (3). KBK matematis siswa dapat ditingkatkan lebih optimal dengan menggunakan model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE dibandingkan dengan model PKV. Dengan kata lain, KBK matematis siswa yang perlu ditingkatkan adalah indikator "*siswa mampu memberikan penjelasan lanjut*", dan indikator "*siswa mampu menarik kesimpulan*". Dengan demikian diharapkan peneliti lain dapat melanjutkan penelitian ini dengan lebih diarahkan pada indikator KBK matematis yang belum berhasil dicapai oleh siswa.
- (4). Jika ditinjau dari ruang lingkup materi atau konsep-konsep matematika di SMP untuk kedua level sekolah (tinggi dan sedang) dapat direpresentasikan secara figuratif, dengan demikian model MEA yang dimodifikasi dengan disertai DE diduga kuat akan berpengaruh baik terhadap peningkatan KBK matematis siswa dan menumbuhkan disposisi matematis dengan setiap kategori KAM siswa.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini izinkan saya untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada: Prof. Dr. H. Didi Suryadi sebagai promotor; Prof. Jozua Sabandar, M.A. Ph.D sebagai copromotor; Prof. Turmudi, M.Sc., Ph.D sebagai anggota promotor; Dr. Sufyani, M.Ed sebagai Kaprodi S3 Pendidikan Matematika SPs UPI; dan Prof. Dr. M. Salman, A.N (ITB) sebagai penguji luar Perguruan Tinggi yang telah banyak membantu, mengarahkan, membimbing, dan menyempurnakan tulisan ini.

Daftar Pustaka

- [1] Al Sharadgah, T.A. Developing critical thinking skills through writing in an internet-based. *International Journal of Humanities and Social Science*. Vol 4. No. 1: 169-178.
- [2] Arikunto, S. *Dasar Dasar Evaluasi Pendidikan (Edisi 2)*. Jakarta: Bumi Aksara, 2012.

- [3] Artigue, M. "Didactical Design in Mathematics Education". Dalam *Nordic Research in Mathematics Education. Proceedings of NORMA 08*. [Online]. Tersedia: <https://is.is.ku.dk/kurser/blob>. [14 Agustus 2016].
- [4] Badan Standar Nasional Pendidikan. *Kurikulum 2013. Standar Kompetensi Inti Mata Pelajaran Matematika SMP/MTs*. Jakarta: BNSP, 2013,
- [5] Brousseau, G. *Theory of Didactical Situation in Mathematics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997,
- [6] Chamot, A.U. "Effective Instructional Practice Enhance Student Achievement" dalam *Forum* vol 26 May 2012,
- [7] Cuoco, AL., J. et al. *Habits of Mind*. An Organizing Principle For Mathematics Curricula. *Journal of Mathematical Behavior* 15, 375-402.
- [8] Duron, P., Limbach, B., & Waugh, W. Critical thinking framework for any discipline. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*. Vol. 17.No. 2, pp. 160-166.
- [9] Emprin, F. "A Didactic Engineering For Teachers Education Courses In Mathematics Using ICT". Dalam *Proceedings of CERME 6*. [Online]. Tersedia: ife.ens-lyon.fr/cerme6/wg7-25-emprin. diundu [23 Juni 2016].
- [10] Fitriani, A. *Peningkatan Kemampuan Komunikasi dan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMP Melalui Model Pembelajaran Means Ends Analysis*. Tesis pada PPs UPI Bandung: Diterbitkan pada *Journal Educators Digest, Universiti Sains Malaysia*. DP. Volume 12 No.1/2012,
- [11] Godino, J.D., Batanero, D., et al. Didactic Engineering As Design Based Research in Mathematics Education. [Online]. Tersedia: [www.ugres.org/Godino CERME 2013](http://www.ugres.org/Godino_CERME_2013) [2 September 2016].
- [12] Goldenberg, et.al. *Mathematical habits of mind and the language-learning brain: Algebra as a second language*. Paper presented at an AMS-MAA-MER Special Session on Mathematics and Education Reform, Joint Mathematics Meetings, Washington, DC. [Online] Tersedia: <http://www.math.utep.edu/Faculty/kienlim/hom.html> [7 Mei 2015].
- [13] Hamid, H. *Kemampuan Berpikir Kritis dan Self-Efficacy Matematis Mahasiswa melalui Model Rigorous Teaching and Learning (RTL) dengan Memanfaatkan Argumen Informal*. Laporan Hibah Disertasi Doktor. Diterbitkan pada *International Journal of Education and Research*. Vol. 4. No. 5: 495-503.
- [14] Kusumah, Y. *Konsep, Pengembangan, dan Implementasi Computer-Based Learning dalam Meningkatkan Kemampuan High-Order Mathematical Thinking*. Pidato Pengukuhan Guru Besar dalam bidang pendidikan Matematika. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2008,
- [15] Meltzer, D.E. *Addendum to: The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: a possible "hidden variable" in diagnostic pretest scores*. [online]. Tersedia: <http://www.physicseducation.net/gain.pdf>. [4 Mei 2015].
- [16] Noer, S. *Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis, Kreatif dan Reflektif Matematis Siswa SMP melalui Pembelajaran Berbasis Masalah*. Disertasi pada SPs UPI, 2010,
- [17] Paul, R., & Elder, L. *Ideas to Action: Using Critical Thinking to Foster Student Learning and Community Engagement*. *Journal of Developmental Education*. [Online] Tersedia: <https://louisville.edu/ideastoaction/files/final-report.pdf>. [27 Maret 2016].
- [18] Ruseffendi, E.T. *Pengantar Kepada Membantu Guru Mengembangkan Kompetensinya dalam Pengajaran Matematika untuk Meningkatkan CBSA*. (Edisi Revisi). Tarsito: Bandung, 2010,
- [19] Sabandar, J. "Thinking Classroom" dalam *Pembelajaran Matematika di Sekolah*. Diterbitkan oleh JICA FPMIPA UPI, Januari 2010.

- [20] Solihin. *Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Matematis Pada SMA Melalui Pembelajaran Berbasis Masalah*. *Pasundan Journal of Mathematics Education*, Vol. 1, No. 1: 61-72
- [21] Stacey, K. Mathematical and Scientific Literacy Around The World. *Journal of Science and mathematics Education in Southeast Asia 2010*, Vol. 33 No.1,1-16.
- [22] Stacey, K. *Mathematical Thinking: A Capabilities Approach to What is, How to Measure it, and Research Possibilities*. Makalah disajikan pada Konferensi Pendidikan Matematika ke V di Universitas Negeri Malang. [27-28 Juni 2013].
- [23] Sumarmo, U. *Advanced Mathematical Thinking dan Habits of Mind Mahasiswa* . SPs UPI Bandung: Tidak diterbitkan, 2012,
- [24] Sumarmo, U. *Berpikir dan Disposisi Matematika serta Pembelajarannya*. SPs UPI Bandung: Diterbitkan oleh JICA FPMIPA UPI, 2013,
- [25] Suparno, P. *Filsafat Konstruktivisme dalam Pendidikan*. Yogyakarta, 1997,
- [26] Suryadi, D. “*Didactical Design Research dalam Pengembangan Pembelajaran Matematika*”: Makalah disajikan pada Kongres Nasional Pendidikan Matematika ke-V. FPMIPA UM Malang [27-30 Juni 2013].
- [27] Sutawidjaja, A. Proses Berpikir Matematis, dan Implikasi dalam Pembelajaran Matematika. Makalah disajikan pada Kongres Nasional Pendidikan Matematika ke-V. FPMIPA UM Malang [27-30 Juni 2013].
- [28] Turmudi. Teachers, Perception Toward Mathematics Teaching Inovation in Indonesian Junior High School: Eksploratory Faktor Analysis. *Journal Mathematics Education*. Vol. 5, No. 1, pp 97 – 120.
- [29] Umar, W. *Model Means-Ends-Analysis dan Penerapannya dalam Pembelajaran Matematika*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Pendidikan Matematika, FKIP Muhammadiyah UHAMKA, 2011,
- [30] Umar, W. *Building Self Regulated Learning and Mathematical Thinking Culture In Welcoming The Implementation of Curriculum 2013*. Artikel Diterbitkan pada *International Journal of Education and Research*. Vol. 7. No. 2: 67-79.
- [31] Vygotsky, L. *Mind in Society: The Development of Higher Mental Processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978,

IDENTIFICATION OF MANADO'S PILWAKO AS THE CANDIDATE MAYOR TERRITORY POLITICAL POWER IN 2015 USING EM ALGORITHM WITH MODEL BASED SELECTION

WINSY WEKU¹, ALTIEN RINDENGAN²

¹Department of Mathematics, Sam Ratulangi University, Indonesia
Email: winsyweku@gmail.com,

²Department of Mathematics, Sam Ratulangi University, Indonesia
Email: altien@unsrat.ac.id

Abstract

PILWAKO is a special term and unique voting system residing in Indonesia followed by all levels of society that already have the conditions to follow the election. The problem is how to determine which areas can provide significant and measurable results to be analyzed, so that they can be used for next PILWAKO. In other words we are expected to determine a significant region or region that is still subject to change or an unstable tendency. A probabilistic clustering algorithm expectation maximization (EM) to clustering spatial dataset to identify the PILWAKO political area of the election of Manado Major in 2015. It implements parameterized Gaussian hierarchical clustering algorithms and the EM algorithm for parameterized Gaussian mixture models with the possible addition of a Poisson noise term. The result is that there are three clustered areas using EM algorithm. All three areas are well distributed. Among the clustered areas there are several areas that are uncertainty areas. This indicates that the region has a tendency to change in selecting candidates in the next Pilwako.

Key words : EM Algorithm , PILWAKO, Political Teritory

1. INTRODUCTION

The PILWAKO (*Pemilihan Walikota*/Mayor Election) process in Indonesia is a long journey that should accommodate the political interests and desires of the people, central and regional interests, as well as national and international interests [8]. The implementation of PILWAKO is conducted simultaneously intended to avoid fraudulent practices and candidates must follow the public. Unlike previous executions undertaken through an appointment mechanism by the authorities, PILWAKO is conducted to accommodate the community's desire to choose a more transparent and better known leader. This is intended to avoid rejection by the wider community who are not familiar with the hierarchical system.

Direct elections are the process of election of Provincial Head Governor namely election of Governor and Deputy Governor, Regency level that is election of Regent and Vice Regent and City Level that is election of Mayor and Vice Mayor which executed simultaneously or simultaneously concurrently directly and democratically by people, namely to exercise the sovereignty of the people. The government and the House of

Representatives have agreed that the pilwako/pilkada schedule will be simultaneously divided into three waves, namely in 2015, 2017, and 2018 and so on until the Regional Head Election simultaneously in 2027. In general, pilwako/pilkada simultaneously present as a means of strengthening in Indonesia. Far from the least there are three things that must be answered from the arrival of pilkada simultaneously; First, to create efficient and effective elections; Second, to strengthen the degree of representation between the community and the regional head; Third, creating effective and efficient regional governance.

2. THEORITICAL REVIEW

In this section will be presented some theoretically related to this research, such as clusterization and EM algorithm.

2.1. Clustering

Clustering is one way to describe the similarity of objects in large data groups that have certain characteristics. Clustering methods analyze and explore a dataset to associate objects in groups, such that the objects in each groups have common characteristics. These characteristics may be expressed in different ways: for example, one may describe the objects in a cluster as the population generated by a joint distribution, or as the set of objects that minimize the distances from the centroid of the group.

In some fields of science, especially statistics and optimization or operations research and other applied fields, the main problem is how to optimize by maximizing or minimizing a function along with its variables. As these optimization problems may assume several different types, each one with its own characteristics, many techniques have been developed to solve them. This techniques are very important in data mining and knowledge discovery area as it can be used as basis for most complex and powerful methods.

One of these techniques is the Maximum Likelihood and its main goal is to adjust a statistical model with a specific data set, estimating its unknown parameters so the function that can describe all the parameters in the dataset. In other words, the method will adjust some variables of a statistical model from a dataset or a known distribution, so the model can “describe” each data sample and estimate others.

It was realized that clustering can be based on probability models to cover the missing values. This provides insights into when the data should conform to the model and has led to the development of new clustering methods such as Expectation Maximization (EM) that is based on the principle of Maximum Likelihood of unobserved variables in finite mixture models.

In this paper we propose the use probabilistic based classification techniques for two datasets to identify the clustering area. We conducted extensive comparisons of the mentioned indices in conjunction with the Expectation-Maximization clustering algorithm on a number of widely used data sets, and make a simple analysis of the experimental results.

The EM algorithm can be used to match and group a data set based on the similarity of the observed objects. However, since we use spherical Gaussians, a variance scalar is used in place of the covariance matrix. The prior probability for each Gaussian is the fraction of points in the cluster defined by that Gaussian. These parameters can be initialized by randomly selecting means of the Gaussians, or by using the output of EM algorithm for initial centers. The algorithm converges on a locally optimal solution by

iteratively updating values for means and variances.

2.2. Gaussian Finite Mixture Models

Let $x = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ be a sample of n independent identically distributed observations. The distribution of every observation is specified by a probability density function through a finite mixture model of G components, which takes the following form [4]

$$f(x_i; \Psi) = \sum_{k=1}^G \pi_k f_k(x_i; \theta_k) \quad (1)$$

where $\Psi = \{\pi_1, \dots, \pi_{G-1}, \theta_1, \dots, \theta_G\}$ are the parameters of the mixture model, $f_k(x_i; \theta_k)$ is the k th component density for observation x_i with parameter vector θ_k , $(\pi_1, \dots, \pi_{G-1})$ are the mixing weights or probabilities (such that $\pi_k > 0$, $\sum_{k=1}^G \pi_k = 1$), and G is the number of mixture components.

Assuming that G is fixed, the mixture model parameters Ψ are usually unknown and must be estimated. The log-likelihood function corresponding to equation (1) is given by $\ell(\Psi; x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \log(f(x_i; \Psi))$. Direct maximisation of the log-likelihood function is complicated, so the maximum likelihood estimator (MLE) of a finite mixture model is usually obtained via the EM algorithm [2].

In the model-based approach to clustering, each component of a finite mixture density is usually associated with a group or cluster. Most applications assume that all component densities arise from the same parametric distribution family, although this need not be the case in general. A popular model is the Gaussian Mixture Model (GMM), which assumes a (multivariate) Gaussian distribution for each component, i.e. $f_k(x; \theta_k) \sim N(\mu_k, \Sigma_k)$. Thus, clusters are ellipsoidal, centered at the mean vector μ_k , and with other geometric features, such as volume, shape and orientation, determined by the covariance matrix Σ_k . Parsimonious parameterisations of the covariances matrices can be obtained by means of an eigen-decomposition of the form $\Sigma_k = \lambda_k D_k A_k D_k^T$, where λ_k is a scalar controlling the volume of the ellipsoid, A_k is a diagonal matrix specifying the shape of the density contours with $\det(A_k) = 1$, and D_k is an orthogonal matrix which determines the orientation of the corresponding ellipsoid [6][7]. In one dimension, there are just two models: E for equal variance and V for varying variance. In the multivariate setting, the volume, shape, and orientation of the covariances can be constrained to be equal or variable across groups.

2.3. Best Model

The model options available in the R package mclust are summarized in Table 1. In one dimension, there are just two models: E for equal variance and V for varying variance. In more than one dimension, the model identifiers encode geometric characteristics of the model. For example, EVI denotes a model in which the volumes of all clusters are equal (E), the shapes of the clusters may vary (V), and the orientation is the identity (I). Clusters in this model have diagonal covariances with orientation parallel to the coordinate axes. Parameters associated with characteristics designated by E or V are determined from the data. A ‘best’ model can be estimated by fitting models with differing parameterizations and/or.

Table 1: Parameterizations of the multivariate Gaussian mixture model available in mclust.

Identifier	Model	#Covariance parameters	Distribution
EII	λI	1	Spherical
VII	$\lambda_k I$	G	Spherical
EEI	λA	D	Diagonal
VEI	$\lambda_k A$	$G + (d-1)$	Diagonal
EVI	λA_k	$1 + G(d-1)$	Diagonal
VVI	$\lambda_k A_k$	Gd	Diagonal
EEE	$\lambda D A D^T$	$d(d+1)/2$	Ellipsoidal
EEV	$\lambda D_k A D_k^T$	$1+(d-1)+G[d(d-1)/2]$	Ellipsoidal
VEV	$\lambda_k D_k A D_k^T$	$G+(d-1)+G[d(d-1)/2]$	Ellipsoidal
VVV	$\lambda_k D_k A_k D_k^T$	$G[d(d+1)/2]$	Ellipsoidal

Model identifiers use three letters to encode code geometric characteristics: volume, shape, and orientation. E means equal and V means varying across components or clusters; I refers to the identity matrix in specifying shape or orientation and is a special case of E. In the column labeled ‘# Covariance parameters’, d denotes the dimension of the data, and G denotes the number of mixture components. The total number of parameters for each model can be obtained by adding Gd parameters for the means and $G - 1$ parameters for the mixing proportions.

2.4. EM Algorithm

The EM algorithm is an unsupervised clustering method, that is, doesn't require a training phase, based on mixture models. It follows an iterative approach, sub-optimal, which tries to find the parameters of the probability distribution that has the maximum likelihood of its attributes.

In general lines, the algorithm's input are the data set (x), the total number of clusters (M), the accepted error to converge (e) and the maximum number of iterations. For each iteration, first is executed the E-Step (E-xpectation), that estimates the probability of each point belongs to each cluster, followed by the M-step (M-aximization), that re-estimate the parameter vector of the probability distribution of each class. The algorithm finishes when the distribution parameters converges or reach the maximum number of iterations. [2]

The EM algorithm extends this basic approach to clustering in two important ways:

- Instead of assigning examples to clusters to maximize the differences in means for continuous variables, the EM clustering algorithm computes probabilities of cluster memberships based on one or more probability distributions. The goal of the clustering algorithm then is to maximize the overall probability or likelihood of the data, given the (final) clusters.
- Unlike the classic implementation of k-means clustering, the general EM algorithm can be applied to both continuous and categorical variables (note that the classic k-means algorithm can also be modified to accommodate categorical variables).

Initialization

Each class j , of M classes (or clusters), is constituted by a parameter vector (θ), composed by the mean (μ_j) and by the covariance matrix (P_j), which represents the features of the Gaussian probability distribution (Normal) used to characterize the observed and unobserved entities of the data set x.

$$\theta(t) = (\mu_j(t), P_j(t)), j = 1, \dots, M$$

On the initial instant ($t = 0$) the implementation can generate randomly the initial values of mean (μ_j) and of covariance matrix (P_j). The EM algorithm aims to approximate the parameter vector (θ) of the real distribution.

E-Step

This step is responsible to estimate the probability of each element belong to each cluster ($P(C_j|x_k)$). Each element is composed by an attribute vector (x_k). The relevance degree of the points of each cluster is given by the likelihood of each element attribute in comparison with the attributes of the other elements of cluster C_j .

$$P(C_j|x) = \frac{|\Sigma_j(t)|^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2} P_j(t)}}{\sum_{k=1}^M |\Sigma_j(t)|^{-\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2} P_k(t)}}$$

M-Step

This step is responsible to estimate the parameters of the probability distribution of each class for the next step. First is computed the mean (μ_j) of class j obtained through the mean of all points in function of the relevance degree of each point.

$$\mu_j(t+1) = \frac{\sum_{k=1}^N P(C_j|x_k) x_k}{\sum_{k=1}^N P(C_j|x_k)}$$

To compute the covariance matrix for the next iteration is applied the Bayes Theorem, which implies that $P(A|B) = P(B|A) * P(A) / P(B)$, based on the conditional probabilities of the class occurrence.

$$\Sigma_j(t+1) = \frac{\sum_{k=1}^N P(C_j|x_k) (x_k - \mu_j(t))(x_k - \mu_j(t))}{\sum_{k=1}^N P(C_j|x_k)}$$

The probability of occurrence of each class is computed through the mean of probabilities (C_j) in function of the relevance degree of each point from the class.

$$P_j(t+1) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P(C_j|x_k)$$

The attributes represents the parameter vector θ that characterize the probability distribution of each class that will be used in the next algorithm iteration.

3. RESULTS

This study includes geospatial analysis examples from real world: geo-demographic. Cluster size was chose based on model. As a computational tool was chose R. Spatial map data presentation were done by ArcView. The R package that will be used is the MCLUST-v5.1 developed by Chris Fraley and Adrian Raftery, available in CRAN repository.

Our example of geodemographic analysis was observed in practice, because the geodemographic data usually reduced to some administrative boundaries such as the municipalities in the example (Fig.1).

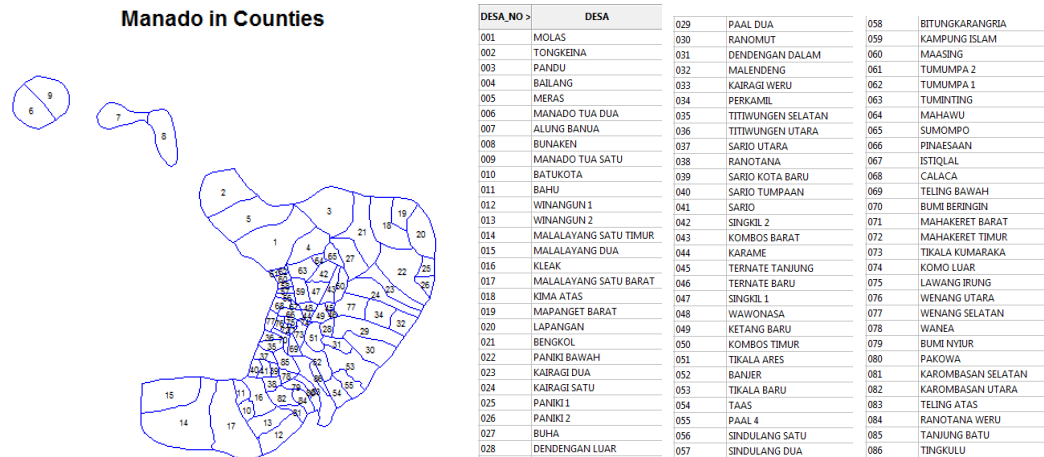


Figure 1. Administrative Boundaries of Manado

According to Figure 1, Manado City has 86 villages with 2 islands each with 2 villages separated from the mainland of Sulawesi. Every village that has voters in the General Election will be analyzed to see the existence of political positions and views on 3 Mayor candidates, where each Mayor candidate represents their respective parties.

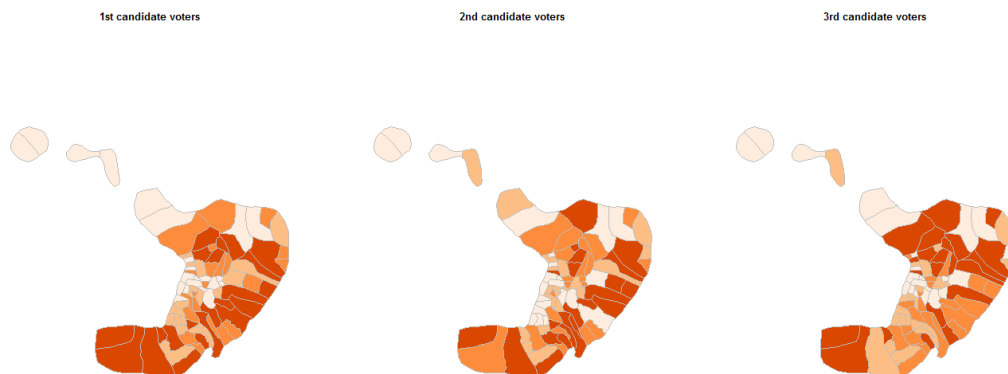


Figure 2. Regional State Voters In Manado On The Three Candidates

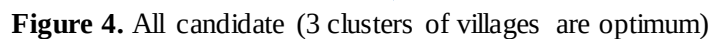
The first thing to do is to map each village on the basis of voters for all three candidates as in Figure 2. This means that we can see which villages have the highest electorate for each candidate.

In general it can be said that the two islands that appear to be separated from the mainland of Sulawesi (i.e. Bunaken and Bunaken mainland) have low participation rates not only for one candidate, but for all candidates. This indicates two things, the first reason is that the population on the two islands is very low, and the second reason is that the people in that place do not intend to choose the three candidates because they do not like them. The tendency for voters in Indonesia is that they will come to vote in the general election if the candidates are in accordance with the wishes of the people, otherwise if they do not match then the community will not come to vote. Perhaps this is the case for the occupation of the Bunaken and Bunaken islands as well as several other areas in Manado. Because based on existing data there are some areas having low population density when compared to other areas of high population density.

In the selection of models and the determination of the number of clusters, only the data matrix is provided, and the number of mixing components and the covariance parameterisation are selected using the Bayesian Information Criterion (BIC). A summary showing the top-three models and a plot of the BIC traces for all the models considered is

[illegible]

According to Figure 3, using the BIC VEE Model (ellipsoidal, equal shape and orientation), there are 3 clusters at 10th entropy. The villages are classified clinically into three groups. Based on tabel 1, the model is describe as follows $\lambda \mathbf{D}_k \mathbf{A} \mathbf{D}^T \tau_k$ and the covariance parameter is $\mathbf{1} + (\mathbf{d}-\mathbf{1}) + \mathbf{G}[\mathbf{d}(\mathbf{d}-\mathbf{1})/2]$ and its distribution is ellipsoidal.



Apparently not all regions choose to be in one particular cluster means that one village may be in another cluster. This is what we call an uncertain territory, where the region can be between two regions.

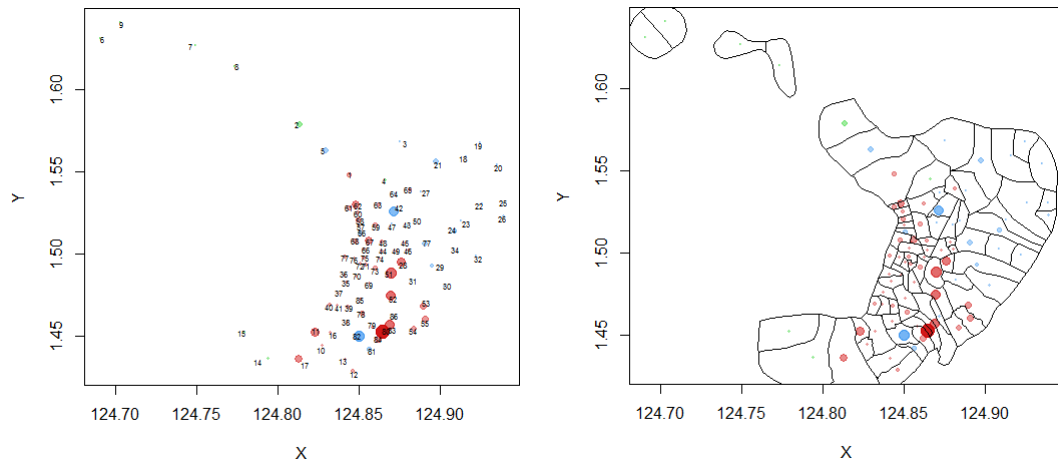


Figure 5. Uncertainty areas

Geo-politically we may say that the region is divided into two in choosing a candidate for mayor. This is clearly illustrated by the regions represented by the numbers 80, 82, 83, 26, 42, 11, 17, 54, 55, 53, 62, 5 and 61, respectively, as shown in Figure 5. This uncertain territory could have been noticed by the next mayor or party to "steal" the still-floating voters. Because these voters may divert their attention and voice to other candidates, this is made possible by spatial influences in which a particular region may be affected by other adjacent areas.

Voters who stand in two candidate positions have a tendency to move their desires or not even vote if their candidate loses. The possibility of becoming a swing voters is huge because of the disappointment they get.

General elections in Indonesia that allow for the election of the second round, can be used by the elected candidates forward to invite swing voters to join. For the case in Manado, voters who are in a floating region are very risky and potentially to be taken over much less by adding some campaign promises to advance the welfare of their people and territories.

Determination of uncertainty areas during the election period is very important and interesting to discuss as part of this research. Swing voters consisting of undecided voters and soft supporters have an important role in determining the victory of one of the candidates. The existence of tribe, religion and race determine the election result. Some cases involving these three things, because voters will choose candidates based on race, religion and race.

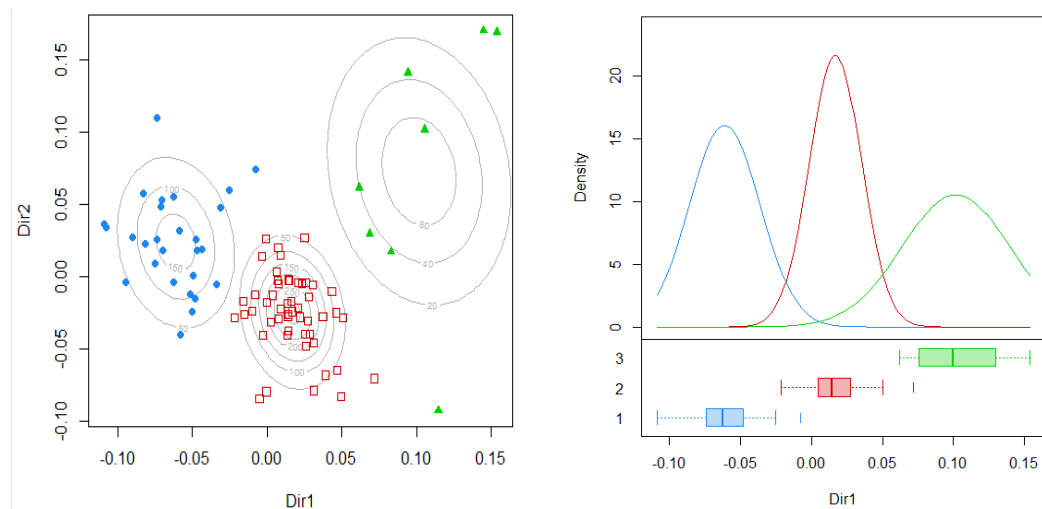


Figure 6. Dimension Reduction with countur and density

By reason of facilitating cluster analysis, dimension reduction is done without reducing the value of information. We can see in Figure 6 as the result of dimensional reduction showing the surface map and its density. There is one village as illustration as shown in the uncertainty map (Figure 5), and other areas that are also evident can be clearly seen in Figure 6. For politically reasoning, we may say these areas still have the possibility to change their political view to choose their next major.

4. CONCLUSION

The EM algorithm can be applied to determine which areas have similar political views in Manado. The application of this algorithm follows the selected model where through the model we can determine the cluster size is 3 clusters. Based on the VEE model, clusterization is made to classify any region that has similar political views in the city area of Manado. There are 3 different groups to classify the region, the first group amounted to 27 villages, the second group of 21 villages and the rest are in the third group of 8 villages. Following the size of the cluster, it can also be taken into account mixing probabilities. Each cluster group has different mixing probabilities, ie 0.2132314, 0.5562200 and 0.2305486, respectively. The second cluster group of 21 villages has the highest mixing probabilities, which means the villages are indeed closely related to each other and have a uniform political outlook.

There are some areas that are considered to be areas of uncertainty, meaning that at any time the territory may change at any time. There are 13 uncertain territories and they are 80, 82, 83, 26, 42, 11, 17, 54, 55, 53, 62, 5 and 61, respectively. These areas must be taken into account by political players so that they can be taken advantage of the uncertain nature of the voters because they can be influenced by others.

Acknowledgement

We are grateful to the Indonesian Ministry of Research and Higher Education who has helped finance and approve the research through Penelitian Produk Terapan (PPT).

5. REFERENCES

- [1]. G. J. McLachlan and T. Krishnan., 1996, The EM Algorithm and Extensions. Wiley-Interscience, 1 edition, November.
- [2]. P. Dempster, N. M. Laird, and D. B. Rubin., 1977, Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 39(1):138.
- [3]. Fraley and A. E. Raftery., 2007, Model-based Methods of Classification: Using the mclust Software in Chemometrics. *Journal of Statistical Software*. January, Volume 18, Issue 6. <http://www.jstatsoft.org/>
- [4]. L. Scrucca, M. Fop, T. B. Murphy and A. E. Raftery., 2016, mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models. *HHS Public Access. R J.* 8(1): 289–317. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5096736/pdf/nihms793803.pdf>
- [5]. McLachlan G, Peel D., 2000, *Finite Mixture Models*. Wiley, New York.
- [6]. Banfield J, Raftery AE., 1993, Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering. *Biometrics*. 49: 803–821.
- [7]. Celeux G, Govaert G., 1995, Gaussian parsimonious clustering models. *Pattern Recognition*. 28:781–793.
- [8]. Hutapea, A., 2015, *Dinamika Hukum Pemilihan Kepala Daerah di Indonesia, Jurnal Rechts Vinding*, vol. 4.

KAJIAN PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN STUDENT FACILITATOR AND EXPLAINING DAN GROUP INVESTIGATION DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA SISTIM PERSAMAAN LINEAR DUA PEUBAH(Suatu Penelitian di SMP Negeri 4 Tondano)

VIVIAN ELEONORA REGAR¹

¹Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Negeri Manado

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan di SMP Negeri 4 Tondano kelas VIII. Masalah dalam penelitian ini adalah rendahnya hasil belajar siswa. Salah satu materi matematika yang belum mencapai hasil yang diharapkan adalah materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel. Siswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan himpunan penyelesaian, terlebih pada soal cerita. Ada beberapa faktor yang menyebabkan belum tercapainya KKM yaitu 1) kurangnya penguasaan dasar –dasar matematika sehingga siswa sulit memahami materi pembelajaran. 2) penggunaan model pembelajaran yang kurang tepat atau tidak menarik. 3) siswa kurang percaya diri, 4) siswa kurang terampil dalam menyelesaikan masalah matematika. Belum menggunakan model pembelajaran yang inovatif adalah salah satu faktor penyebab. Model Pembelajaran *Group Investigation* (GI) dan *Student Facilitator and Explaining* (SFE) adalah upaya untuk membangkitkan semangat dan keaktifan siswa supaya lebih memahami materi yang diajarkan. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen, dengan perlakuan yang dicobakan adalah GI, SFE dan Konvensional. Sampel dilakukan secara acak. Dari 7 kelas yang ada diambil 3 kelas secara acak yaitu Kelas VIIIA, VIIIC dan VIIIE. Analisis data menggunakan ANOVA satu arah. Hasil yang diperoleh adalah hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional. Demikian pula hasil belajar siswa diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional, sedangkan hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* tidak berbeda dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*. Respon siswa dan guru sangat baik, demikian pula siswa sangat aktif ketika proses belajar mengajar.

Kata Kunci: *Group Investigation*, *Student Facilitator and Explaining*, Sistem Persamaan Linear Dua Peubah, Hasil Belajar

1. PENDAHULUAN

Matematika merupakan salah satu ilmu pengetahuan yang dapat menjadikan manusia untuk berfikir logis, teoritis, rasional, dan percaya diri. Oleh karena itu matematika perlu dipahami dan dikuasai oleh segenap warga negara sebagai sarana untuk memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari, sehingga mereka mampu bertahan dalam era globalisasi yang berteknologi maju di saat sekarang maupun yang akan datang. Seiring dengan Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini maka menuntut para pendidik untuk bekerja ekstra keras demi mencapai tujuan pembelajaran yang diharapkan.

Menurut Suyitno (2004) matematika memiliki empat ciri yang sangat penting dalam pembentukan sumber daya manusia yang berkualitas yakni (1) matematika memiliki objek kajian yang abstrak, (2) matematika mendasarkan diri pada kesepakatan-kesepakatan, (3) matematika sepenuhnya menggunakan pola pikir deduktif, dan (4) matematika dijiwai dengan kebenaran konsistensi. Oleh karena itu dalam pembelajaran perlu ada teknik tersendiri agar siswa mudah memahami materi matematika yang diajarkan guru. Berdasarkan pengalaman dan hasil-hasil penelitian bahwa hasil belajar atau nilai yang diperoleh siswa pada mata pelajaran matematika selama ini dirasa belum memenuhi hasil seperti yang diharapkan. Hasil belajar sebagai tujuan pembelajaran sangat tergantung pada proses pembelajaran, yaitu bagaimana memunculkan berbagai potensi yang dimiliki anak didik. Kualitas suatu pendidikan akan sangat ditentukan oleh kualitas pembelajaran. Dari sekian banyak unsur yang paling menentukan kualitas pembelajaran adalah metode pembelajaran yang digunakan.

Berdasarkan hasil wawancara melalui kegiatan observasi dengan guru matematika dan beberapa siswa di SMP Negeri 4 Tondano diperoleh informasi bahwa rata-rata hasil belajar siswa belum mencapai KKM (Kriteria Ketuntasan Minimum) yang ditetapkan oleh pihak sekolah yaitu 70. Salah satu materi matematika yang belum mencapai KKM adalah pada materi Sistem Persamaan Linear Dua Variabel para siswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan himpunan penyelesaian. Ada beberapa faktor yang menyebabkan belum tercapainya KKM yaitu 1) kurangnya penguasaan dasar-dasar matematika sehingga siswa sulit memahami materi pembelajaran. 2) penggunaan model pembelajaran yang kurang tepat atau tidak menarik. 3) siswa kurang percaya diri, 4) siswa kurang terampil dalam menyelesaikan masalah matematika.

Untuk mengatasi kendala pelaksanaan pembelajaran dan untuk meningkatkan pencapaian hasil belajar siswa, serta membangkitkan rasa percaya diri, maka perlu dicari jalan keluarnya. Seperti diketahui bahwa dalam model-model pembelajaran kooperatif seperti Jigsaw, NHT, TGT, *Groep Investigation*, STAD terbukti dapat meningkatkan hasil belajar. Hasil penelitian lain juga melaporkan bahwa dengan menggunakan model pembelajaran kooperatif siswa lebih aktif, termotivasi, dan minat untuk belajar matematika lebih tinggi.

Pembelajaran kooperatif merupakan pembelajaran yang telah lama dikenal, dimana pada saat itu guru mendorong para siswa untuk melakukan kerja sama dalam kegiatan-kegiatan tertentu seperti diskusi atau pengajaran oleh teman sebaya (*peer teaching*). Berdasarkan hal tersebut maka ingin dicobakan pada proses perkuliahan. Metode pembelajaran kooperatif yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Group Investigation* dan *Student Facilitator and Explaining* karena model ini dianggap baik untuk diterapkan dalam proses belajar mengajar. Penerapan metode *Group Investigation* bertujuan untuk meningkatkan keterampilan sikap ilmiah dan hasil belajar siswa dalam proses belajar mengajar. bahwa *Group Investigation* merupakan perencanaan pengaturan kelas yang umum dimana para mahasiswa bekerja dalam kelompok kecil menggunakan pertanyaan kooperatif, diskusi kelompok, serta perencanaan dan proyek kooperatif.

Model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan motivasi siswa dalam proses pembelajaran. Dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* dapat menciptakan suasana belajar yang menyenangkan dan mengesankan, memacu keberanian siswa untuk tampil di depan kelas, kebermanaknaan dalam pembelajaran, penanaman konsep yang melekat dari hasil penyimpulan, meningkatkan motivasi siswa dalam belajar, serta meningkatkan pemahaman dan daya ingat. Model pembelajaran ini diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah rendahnya hasil belajar siswa dan dengan penggunaan model pembelajaran bisa membantu guru untuk mengembangkan kreatifitas

mengajar yang bermanfaat terhadap hasil belajar mengajar. Seperti yang dilaporkan Nurhayati (2015) dalam penelitiannya pada materi bangun ruang terjadi peningkatan hasil belajar yang signifikan, juga terjadi kemampuan komunikasi matematis yang baik.

Melalui inovasi yang dilakukan dengan menggunakan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* dan *Group Investigation* diharapkan mampu merubah paradigma untuk memberikan suatu strategi yang berbeda dalam proses belajar mengajar di sekolah. Dipilihnya tipe pembelajaran *Group Investigation* dan *Student Facilitator and Explaining* dikarenakan upaya bahwa pembelajaran dengan tipe ini akan mendapatkan suatu pengalaman belajar yang lebih daripada tipe kooperatif lainnya. Karena pada tipe ini sangat kompleks yang dapat mewakili tipe-tipe kooperatif lainnya. Hasil penelitian Tsoi, et al. (2005), melaporkan bahwa *Group Investigation* dapat meningkatkan interaksi sosial. Munculnya interaksi sosial erat kaitannya dengan sikap ilmiah. Siswa yang memiliki sikap ingin tahu, terbuka, tekun, jujur, dan teliti akan membuka dirinya untuk berinteraksi sosial. Hal yang sama diharapkan dapat berlaku bagi siswa.

Mengingat pentingnya fenomena peningkatan hasil belajar siswa, sehingga peneliti merasa tertarik untuk mengkaji dampak positif kegiatan pembelajaran dengan menerapkan model *Student Facilitator and Explaining* dan *Group Investigation* yang dapat dijadikan suatu strategi pembelajaran untuk meningkatkan aktivitas belajar siswa, yang nantinya akan berdampak pada hasil belajarnya. Dari uraian tersebut, maka dirasakan perlu untuk mengadakan suatu penelitian ilmiah tentang penggunaan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* dan *Groep Investigasi* di SMP Negeri IV Tondano.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui keaktifan siswa setelah diajarkan menggunakan model *Student Facilitator and Explaining* dan *Group Investigation*, mengkaji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar kelompok mahasiswa yang proses perkuliahan menerapkan model *Student Facilitator and Explaining*, *Group Investigation* dan kelompok siswa yang proses pembelajarannya dilaksanakan secara konvensional dan untuk mengetahui respons siswa terhadap model *Student Facilitator and Explaining* dan *Group Investigation*.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini dikategorikan penelitian eksperimen. Dimana perlakuan yang dicobakan adalah model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*, *Groep Investigation* dan Konvensional. Sebelum pelaksanaan eksperimen kegiatan diawali dengan mengembangkan perangkat pembelajaran yaitu bahan ajar materi Sistem Persamaan Linear dua Variabel, silabus, RPP LKS, dan Soal ujian. Penelitian ini dilakukan di SMP Negeri 4 Tondano dan waktu penelitian, dilaksanakan pada bulan February sampai April 2017. Populasi adalah seluruh siswa Kelas VIII SMP Negeri 4 Tondano, yang terdaftar dalam tahun pelajaran 2016/2017 dengan jumlah 154 orang yang tersebar dalam 7 Kelas. Sampel diambil tiga kelas. Teknik Pengambilan sampel dilakukan secara acak sederhana dengan asumsi ke tujuh kelas mempunyai kemampuan matematika yang relative sama. Kelas yang terpilih untuk dikenakan perlakuan adalah VIIIC, VIIIE, dan VIIIA. Adapun variabel yang akan diteliti adalah hasil belajar setelah perlakuan diterapkan. Hasil belajar yang dimaksud adalah skor tes yang diperoleh siswa setelah perlakuan dicobakan. Instrumen penelitian terdiri dari tes hasil belajar, angket untuk siswa untuk menjangkau bagaimana respon siswa terhadap model pembelajaran yang diterapkan dalam proses belajar mengajar. Analisis data menggunakan analisis ragam (ANOVA) satu faktor.

3. HASIL

3.1 Deskripsi Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data skor prestasi belajar siswa setelah dikenakan perlakuan yaitu model pembelajaran: *Student Facilitator and Explaining*, *Groep Investigation* dan konvensional. Di bawah ini disajikan ringkasan data penelitian:

Tabel 1 Deskripsi Data Penelitian

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Group Investigation	22	77.5909	11.35429	55.00	95.00
Student Facilitator Explaining	22	74.7273	10.59731	55.00	98.00
Konvensional	22	51.3636	16.41586	10.00	80.00
Total	66	67.8939	17.46745	10.00	98.00

Dari Tabel 1, terlihat bahwa rata-rata hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model *Group Investigation* adalah 77.59 dengan standar deviasi 11.35, rata-rata hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model *Student Facilitator and Explaining* 74.73 dengan standar deviasi 10.59, sedangkan rata-rata hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model konvensional adalah 51.36 dengan standar deviasi 16.42. Sebelum dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan ANOVA 1 Arah terlebih dahulu dilakukan Uji Homogenitas Varians dan Uji Normalitas. Data yang digunakan adalah data sisaan/residual.

3.2 Uji Prasyarat

a. Uji Normalitas

Hasil uji normalitas data menggunakan uji Kolmogorof-Smirnov dengan bantuan program *Minitab*.. Hasil uji menunjukkan bahwa $KS = 0.1059$ dan $KS_{tab} = 0.294$ dan $P_{value} = 0,130$ dengan $\alpha = 0.05$. Karena $KS < KS_{tab}$ atau $P_{value} > \alpha = 0.05$ maka disimpulkan data berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Tabel 2 Hasil Uji Homogenitas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.881	2	63	.116

Berdasarkan hasil uji kesamaan varians dengan bantuan program SPSS 23 diperoleh hasil Levene test = 2.881 dengan nilai Sig = 0.116 dengan $\alpha = 0.05$. Karena $P_{value} > \alpha = 0.05$ dapat disimpulkan bahwa ketiga kelompok data memiliki varians yang homogen.

3.1 Uji Hipotesis

Langkah langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

Hipotesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (Model Pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*, *Groep Investigation* dan konvensional tidak berpengaruh terhadap hasil belajar siswa)

$H_1: \exists \mu_i \neq 0, i = 1,2,3$ (Ada Model Pembelajaran yang berpengaruh terhadap hasil belajar siswa)

Hasil Perhitungan analisis varians (ANOVA) disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Analisis Varians					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9107.485	2	4553.742	26.750	.000
Within Groups	10724.773	63	170.234		
Total	19832.258	65			

Hasil ANOVA di atas menunjukkan bahwa nilai Signifikan adalah 0.000 yang lebih kecil dari taraf nyata 0.05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak. Dengan demikian ada pengaruh perlakuan terhadap hasil belajar matematika pada materi Sistem Persamaan Linear dua Variabel dari siswa kelas VIII SMP negeri 4 Tondano.

Oleh karena hipotesis nol ditolak, maka perlu dilakukan uji lanjutan untuk melihat perlakuan mana saja yang berbeda. Dalam penelitian ini akan menggunakan uji lanjut Uji Beda Nyata Terkecil. Hasil Uji Lanjut disajikan dalam Tabel berikut:

Tabel 4 Hasil Uji Lanjut Beda Nyata Terkecil

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Group Investigation	Student Facilitator Explaining	2.86364	3.93394	.469
	Konvensional	26.22727*	3.93394	.000
Student Facilitator Explaining	Group Investigation	-2.86364	3.93394	.469
	Konvensional	23.36364*	3.93394	.000
Konvensional	Group Investigation	-26.22727*	3.93394	.000
	Student Facilitator Explaining	-23.36364*	3.93394	.000

*. The mean difference is significant at the 0.05 level

Tabel di atas memperlihatkan bahwa kelompok yang menunjukkan adanya perbedaan rata-rata hasil belajar siswa ditandai dengan tanda bintang "*". Kesimpulan yang dapat diambil adalah:

- Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional.
- Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional.
- Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* tidak berbeda dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*.

Berdasarkan hasil pengujian hipotesis diperoleh informasi bahwa siswa SMP negeri IV Tondano khususnya di kelas VIII, hasil belajar mereka pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional. Demikian pula hasil belajar siswa diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional, sedangkan hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* tidak berbeda dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*.

Hasil penelitian yang diuraikan di atas sejalan dengan pendapat (Trianto, 2007) bahwa Model Pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* adalah model pembelajaran yang memiliki makna dasar dalam proses belajar mengajar dengan menyajikan atau mendemonstrasikan materi di depan peserta didik lalu memberikan kesempatan kepada

peserta didik untuk menjelaskan kembali kepada teman-temannya. Salah satu kelebihanannya yaitu mengembangkan kemampuan siswa untuk menguji ide dan pemahamannya sendiri. Demikian pula model pembelajaran *Group Investigation*. Model *Group Investigation* dapat melatih siswa untuk menumbuhkan kemampuan berfikir mandiri. Keterlibatan siswa secara aktif dapat terlihat mulai dari tahap pertama sampai tahap akhir pembelajaran (Slavin, 2009)

Berdasarkan hasil observasi ternyata semua siswa sangat termotivasi dalam belajar serta menunjukkan keaktifan dalam proses belajar. 90% siswa merespon dengan baik terhadap kedua model pembelajaran tersebut. Hasil lembar observasi untuk guru, ternyata mereka juga memberikan respon yang sangat positif terhadap model pembelajaran yang dicobakan di sekolah mereka.

4 KESIMPULAN

1. Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional.
2. Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan menggunakan model konvensional.
3. Hasil belajar siswa pada materi persamaan Linear Dua Variabel yang diajarkan dengan model pembelajaran *Group Investigation* tidak berbeda dengan hasil belajar siswa yang diajarkan dengan model pembelajaran *Student Facilitator and Explaining*

Daftar Pustaka

- [1] Ahmad Ansori Mattjik Ir., M. Sc., Ph.D dan Made Sumertajaya Ir., M.Si. (2000). Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB. Edisi Kesatu, IPB PRESS, BOGOR.
- [2] Ahmadi, Abu dan Widodo Supriyono. 1991. Psikologi Belajar. Jakarta: Rineka Cipta.
- [3] Anita Lie. 2007. *Cooperative Learning*. Jakarta: PT Gramedia. Cet. Ke-5.
- [4] Arsyad, A. 2005. Media Pembelajaran. Jakarta: PT Grafindo Persada
- [5] Dimiyati dan Mudjiono (2009). Belajar dan Pembelajaran. Jakarta. Rineka Cipta
- [6] Djamaras, S.B dan Zain A. (2002). Strategi Belajar Mengajar. Jakarta. Rineka Cipta
- [7] Hamalik Oemar. (2003). Proses Belajar Mengajar. Jakarta. PT. Bumi Aksara.
- [8] Istikomah, H, Dkk. (2010). Penggunaan Model Pembelajaran *Group Investigation* untuk Menumbuhkan Sikap Ilmiah Siswa. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 6 (2010) 40-43. UNES ISSN: 1693-1246
- [9] Kiranawati. 2007. Metode Investigasi Kelompok (*Group Investigation*). <http://gurupkn.wordpress.com/2007/11/13/metode-investigasi-kelompok-group-investigation/>. (13 November 2016).
- [10] Montgomery Douglas C. (1991). Design and Analysis of Experiments, Third Edition, John Wiley & Sons.
- [11] Sudjana, Nana. 2001. Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar. Bandung: Remaja Rosda Karya.
- [12] Slavin, Robert. (2009). *Cooperative Learning*. Bandung. Nusa Media
- [13] Trianto, 2007. Model – model Pembelajaran Inovatif Berorientasi Konstruktivistik. Jakarta: Prestasi Pustaka Publisher
- [14] Tsoi, M.F., Goh N.K. & Lian SC. 2004. *Using Group Investigation for Chemistry In Teacher Education*. HKIEdAPFSLT.V. 5, [22 Agustus 2016]
- [15] Wahidmurni. 2010. Evaluasi Pembelajaran (Kompetensi dan Praktik). Yogyakarta : Nuha Litera

DINAMIKA GLUKOSA DAN INSULIN PADA TUBUH MANUSIA DENGAN MENGGUNAKAN ORAL MINIMAL MODEL TERMODIFIKASI

AGUS KARTONO¹, RAKHMAT FEBRIANA², ARDIAN ARIF SETIAWAN³
HERIYANTO SYAFUTRA⁴, SETYANTO TRI WAHYUDI⁵

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian
Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, email: akartono70@gmail.com

Abstrak

Model matematika merupakan alat yang menarik untuk mengetahui proses kerja suatu penyakit. Pada kasus diabetes tipe 2, banyak model matematika telah dikembangkan untuk lebih memahami mekanisme sistem pengaturan glukosa-insulin. Namun model yang paling terkenal adalah minimal model Bergman (MMB) yang berisi jumlah parameter sedikit tetapi mempunyai keakurasian yang baik dibandingkan model yang lainnya. Model MMB banyak digunakan dalam penelitian fisiologis untuk memperkirakan efektivitas glukosa (SG) dan sensitivitas insulin (SI) dari data tes toleransi glukosa intravena (IVGTT) selama periode tertentu. Namun tes IVGTT tidak mencerminkan kondisi tubuh dalam keadaan sehari-hari. Oleh karena itu, data tes toleransi glukosa oral (OGTT) digunakan untuk menggantikan data tes IVGTT. Pada penelitian ini, kami akan memodifikasi model MBB dengan oral Minimal Model (OMM) model untuk menjelaskan dinamika glukosa dan insulin pada tubuh manusia.

Kata Kunci: minimal model Bergman, efektivitas glukosa, sensitivitas insulin, oral Minimal Model.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya prevalensi penyakit di beberapa negara berkembang akibat peningkatan kemakmuran di negara bersangkutan, akhir-akhir ini banyak disoroti. Peningkatan perkapita dan perkembangan gaya hidup terutama di kota-kota besar menyebabkan peningkatan penyakit degeneratif, salah satunya adalah penyakit diabetes mellitus. Diabetes mellitus merupakan salah satu masalah kesehatan yang berdampak pada produktivitas dan dapat menurunkan sumber daya manusia. Penyakit ini tidak hanya berpengaruh secara individu tetapi juga pada sistem kesehatan suatu Negara [1].

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan 194 juta jiwa atau 5.1% dari 3.8 miliar penduduk dunia usia 20-79 tahun menderita diabetes mellitus pada tahun 2003 dan diperkirakan meningkat menjadi 333 juta jiwa pada tahun 2025. Di Indonesia, WHO memprediksi kenaikan penderita diabetes dari 8.4 juta pada tahun 2000 menjadi 21.3 juta penderita pada tahun 2030. Indonesia sendiri menempati urutan keempat peringkat dunia dengan jumlah diabetes terbanyak setelah India, Cina, dan Amerika Serikat [2]. Model matematika merupakan alat yang menarik untuk mengetahui proses kerja suatu penyakit. Dalam kasus diabetes mellitus, banyak model matematis telah dikembangkan untuk lebih memahami mekanisme sistem pengaturan insulin-glukosa. Namun model yang paling mencolok adalah *Minimal Model Bergman* yang berisi jumlah parameter yang sedikit dan banyak digunakan dalam pekerjaan penelitian fisiologis untuk memperkirakan efektivitas

glukosa (S_G) dan sensitivitas insulin (S_I) dari data tes toleransi glukosa intravena (IVGTT) selama periode tertentu. Namun tes IVGTT tidak mencerminkan kondisi tubuh dalam keadaan sehari-hari. Untuk itu, besar sekali keinginan untuk mempunyai metode yang bisa digunakan untuk mengukur S_I tubuh dalam keadaan normal, contohnya selama makan. Maka digunakanlah data tes toleransi glukosa oral (OGTT) untuk menggantikan data tes IVGTT.

Perkiraan S_I setelah gangguan oral sulit ditebak karena serapan glukosa tidak diketahui pada *Minimal Model Bergman*. Pada penelitian telah ditemukan model baru hasil modifikasi *Minimal Model Bergman* yang dapat digunakan untuk mengetahui serapan glukosa yaitu dengan *Oral Minimal Model* (OMM). Model ini mempunyai banyak keuntungan bila dibandingkan dengan model sebelumnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji lebih dalam mengenai metode OMM yang diterapkan pada data tes OGTT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Diabetes mellitus atau yang dikenal sebagai penyakit gula atau penyakit kencing manis adalah penyakit yang ditandai dengan konsentrasi gula tinggi dalam darah dan urin. Konsentrasi glukosa darah normal pada manusia berada dalam kisaran yang sempit yaitu 70-110 mg/dl. Faktor eksogen yang mempengaruhi tingkat konsentrasi glukosa darah termasuk asupan makanan, laju pencernaan, olahraga, dan status reproduksi. Hormon endokrin insulin pankreas dan glukagon bertanggung jawab untuk menjaga tingkat konsentrasi glukosa. Insulin dan glukagon yang masing-masing mengeluarkan sel β dan sel α , yang terdapat dalam pulau *Langerhans* yang tersebar di pankreas. Ketika tingkat konsentrasi glukosa darah tinggi, sel β melepaskan insulin untuk menurunkan konsentrasi glukosa darah dengan mendorong penyerapan kelebihan glukosa oleh hati dan sel-sel lain misalnya otot dan menghambat produksi glukosa hati. Ketika konsentrasi glukosa darah rendah, sel α melepaskan glukagon yang menghasilkan peningkatan konsentrasi glukosa darah dengan bertindak pada sel hati dan menyebabkan adanya pelepasan glukosa ke dalam darah. Jika tingkat konsentrasi glukosa seseorang selalu di luar jangkauan 70-110 mg/dl, orang ini dianggap memiliki masalah glukosa darah yang dikenal sebagai hiperglikemia atau hipoglikemia [3].

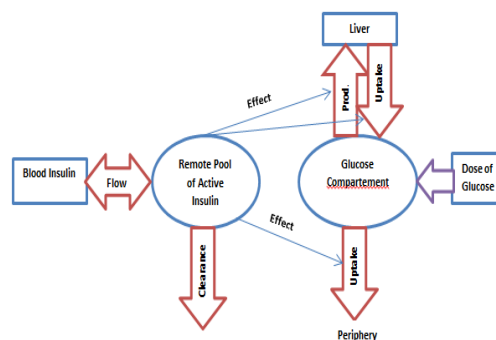
IVGTT merupakan suatu tes yang dilakukan untuk mengetahui glukosa darah pada seseorang. Prosedur tes IVGTT dimulai dengan sebuah injeksi glukosa melalui intravena yang terdiri dari 0.30 gram glukosa per kg berat tubuh. Lalu sampel darah diambil secara bertahap dalam jangka waktu 3 jam. Sampel darah ini kemudian akan dianalisis konsentrasi glukosa dan insulinnya.

Sementara itu, OGTT merupakan tes lain yang dapat dilakukan untuk mengetahui glukosa darah seseorang. Dalam tes ini subjek diharuskan untuk berpuasa dalam jangka waktu 8 jam. Setelah itu glukosa darah dan konsentrasi insulin diukur. Subjek kemudian mengkonsumsi glukosa secara oral dan dilakukan pengukuran baru konsentrasi glukosa darah dan konsentrasi insulin dalam jangka waktu 3 jam. Jumlah glukosa yang ditelan biasanya 75gram [4].

Untuk merepresentasikan penyakit diabetes mellitus, setiap orang dapat mendesain model yang rumit dengan banyak parameter untuk menjelaskan metabolisme glukosa-insulin. Akan tetapi dalam banyak kasus, sebuah model sederhana rasanya cukup untuk membuat analisis yang baik. Sebuah metode sederhana dengan beberapa parameter diperkenalkan oleh Ricard N. Bergman yang biasa disebut *Minimal Model Bergman*. *Minimal model Bergman* adalah satu model terpisah, dalam artian bahwa tubuh dideskripsikan sebagai ruang dengan konsentrasi dasar glukosa dan insulin. *Minimal model* sebenarnya

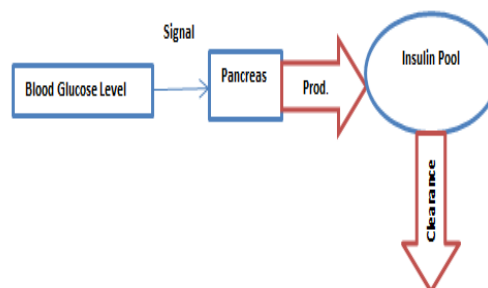
mengandung dua minimal model. Salah satunya menjelaskan kinetik glukosa (*Glucose Minimal Model*), bagaimana konsentrasi glukosa darah bereaksi terhadap konsentrasi insulin darah. Sedangkan model kedua menjelaskan kinetik insulin (*Insulin Minimal Model*), bagaimana konsentrasi insulin darah bereaksi terhadap glukosa darah. Dua model ini secara berturut-turut menerima data insulin dan glukosa sebagai masukan. Dua model ini lebih sering digunakan untuk menginterpretasikan tes IVGTT.

Glucose minimal model diibaratkan sebuah ruang yang terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah bagian yang menjelaskan keluaran dan serapan glukosa. Bagian kedua menjelaskan *delay* dalam insulin aktif yang merupakan sebuah interaktor pengontrol akibat adanya serapan glukosa oleh jaringan serta serapan dan produksi oleh liver. Model ini direpresentasikan bagaikan sebuah ruang/kompartemen seperti pada Gambar 1. Glukosa mengalir masuk dan keluar dalam kompartemen dalam keadaan setimbang menghasilkan konsentrasi basal G_b . Meskipun keadaan setimbang ini dapat berubah saat glukosa diinjeksikan, namun dengan menggunakan hukum kekekalan massa akan mungkin untuk menjelaskan apa yang terjadi dalam kompartemen ini secara matematika. Akumulasi bagian dari kompartemen glukosa dibedakan antara massa mula-mula dan akhir.



Gambar 1. Representasi *Glucose Minimal Model* [4].

Seperti halnya *glucose minimal model*, *insulin minimal model* juga berdasarkan pada kesetimbangan massa. Untuk orang normal, produksi glukosa dan keluaran insulin proporsional untuk konsentrasi insulin darah, apabila konsentrasi insulin di atas nilai konsentrasi basal keluaran akan meningkat, sedangkan apabila konsentrasi insulin di bawah konsentrasi basal produksi akan meningkat. Dengan konsentrasi glukosa yang tinggi pankreas bereaksi dengan mengeluarkan lebih banyak insulin pada keadaan ini. Model ini direpresentasikan bagaikan sebuah ruang/kompartemen seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi *Insulin Minimal Model* [4].

3. METODE PENELITIAN

Ada dua metode terpercaya untuk memprediksi S_I pada tes OGTT. Metode pertama, dengan mengkontruksi ulang nilai serapan glukosa setelah mungkin dengan *tracer method*. Untuk *tracer method* biasanya menggunakan *tracer-to-tracer clamp technique* dengan sebuah model kinetik glukosa dalam keadaan tidak tetap. Minimal dua perunut diperlukan dalam metode ini, salah satunya diberikan melalui pembuluh darah untuk menyuplai nilai serapan glukosa dan yang lainnya bersamaan dengan makanan. Metode ini termasuk mahal dan prosedurnya rumit, maka diperlukan upaya pendekatan alternatif yang mampu mengurangi biaya untuk mendukung penerapan tes oral untuk memperkirakan S_I . Untuk itu dimunculkan metode kedua yaitu dengan *non-tracer method* atau OMM [3]. OMM sebenarnya merupakan modifikasi dari *Minimal Model Bergman*. Namun perbedaan antara model ini dengan model Bergman yaitu pada tes yang dilakukan. Pada *Minimal Model Bergman* model diterapkan pada tes IVGTT, sedangkan pada OMM diterapkan pada tes OGTT. OMM dapat digunakan untuk memperkirakan S_I bersamaan dengan konsentrasi glukosa ($R_{a\text{ meal}}$) dari plasma glukosa dan konsentrasi insulin yang diukur setelah makan atau dengan menggunakan pengujian tes OGTT. Model dari pengujian ini diberikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{dG(t)}{dt} = -[p_1 + X(t)] G(t) + p_1 G_b + \frac{R_{a\text{ meal}}(t)}{V} \quad G_0 = G_b \quad (1)$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = -p_2(t) + p_3[I(t) - I_b], \quad X_0 = 0 \quad (2)$$

Deskripsi parametrik dari $R_{a\text{ meal}}$ yang diusulkan dalam fungsi linear dengan *break point* yang dikenal t_i dan amplitudo yang diketahui α_i [5]:

$$R_{a\text{ meal}}(t) = \begin{cases} \alpha_{i-1} + \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}(t - t_{i-1}) & ; t_{i-1} \leq t \leq t_i, i = 1 \dots 8 \\ 0 & ; \text{lainnya} \end{cases} \quad (3)$$

Indeks metabolik berdasarkan *Minimal Model* [5], yaitu :

1. S_I adalah sensitivitas insulin: kemampuan insulin untuk mempercepat hilangnya glukosa dari plasma ($S_I = \frac{p_3}{p_2}$).
2. S_G adalah efektivitas glukosa: kemampuan glukosa untuk menurunkan konsentrasi sendiri dalam plasma tanpa bantuan insulin ($S_G = p_1$).

Perumusan modifikasi *Minimal Model* dilakukan dengan mempertimbangkan masukan glukosa secara oral. Perumusan tersebut telah dikembangkan dalam penelitian sebelumnya. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan bagian baru yaitu $\frac{R_{a\text{ meal}}(t)}{V}$ dari OMM ke dalam persamaan (1) *Minimal Model Bergman*. Dimana bagian baru tersebut mewakili masukan glukosa secara oral. Namun dalam OMM hanya terdapat persamaan laju glukosa (1), sementara persamaan laju insulin tidak dicantumkan. Maka untuk melengkapi OMM, diambil laju persamaan insulin dari sumber lain [6], yaitu :

$$\frac{dI(t)}{dt} = \gamma(G(t) - G_b)t - k[I(t) - I_b], \quad \text{jika } G(t) > G_b, I(t_0) = I_0, \quad (4)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -k[I(t) - I_b], \quad \text{jika } G(t) < G_b, I(t_0) = I_0. \quad (5)$$

Program simulasi dari model minimal glukosa dan insulin yang diusulkan dibuat menggunakan *software Matlab R2008a*. Bahasa pemrograman *Matlab R2008a* diperlukan

untuk memudahkan perhitungan secara numerik dan juga memudahkan dalam pembuatan grafik solusi persamaan laju perubahan konsentrasi glukosa dan insulin dari model yang dibuat. Analisis numerik dilakukan karena model ini sulit untuk diselesaikan secara analitik. Model matematika pada penelitian ini merupakan persamaan diferensial biasa, maka metode numerik yang paling akurat ialah Runge Kutta orde 45 atau ode45. Program divalidasi dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari simulasi dengan eksperimen hingga didapatkan kurva yang fit. Analisa nilai koefisien deterministik (R^2) diperlukan untuk mengetahui korelasi antara data hasil pemodelan terhadap data hasil eksperimen yang di rumuskan sebagai:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

dengan nilai $\bar{y}$ didapatkan dari :

$$\bar{y} = \frac{\sum(y_i + \hat{y}_i)}{N} \quad (7)$$

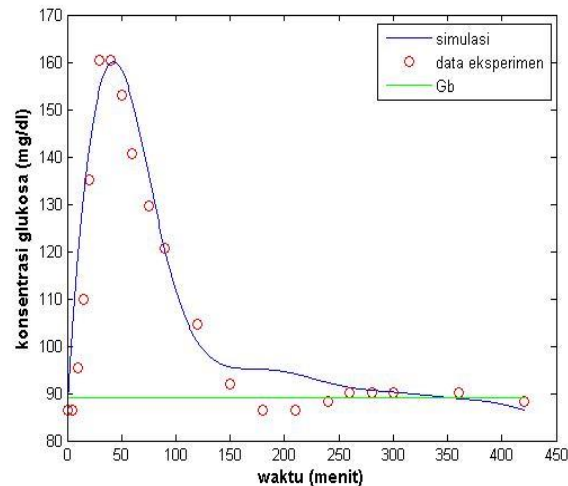
dimana y_i merupakan data hasil eksperimen, $\hat{y}_i$ merupakan data hasil pemodelan, N merupakan banyak data. Data eksperimen yang dipakai hanya data konsentrasi glukosa, sementara data konsentrasi insulin tidak disimulasikan.

4. HASIL

Dalam penelitian ini, solusi numerik diperoleh dengan cara mensubstitusikan nilai-nilai parameter ke persamaan (1)-(5) sehingga diperoleh grafik hubungan antara konsentrasi glukosa terhadap waktu t . Selanjutnya validasi model dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi dengan data eksperimen yang diperoleh dari jurnal. Dalam jurnal tersebut data diambil dari 88 subjek (46 laki-laki dan 42 perempuan; usia 58 tahun $\pm$ 2 tahun; berat badan 77 $\pm$ 2 kg) yang menerima tiga perunut yang dicampur dengan makanan yang mengandung glukosa. Makanan diberi label glukosa [^{13}C] (sebagai perunut I) untuk memisahkan glukosa eksogen dari glukosa endogen. Dua perunut tambahan yaitu glukosa [$6,6\text{-}^2\text{H}_2$] (sebagai perunut II) dan glukosa [$6\text{-}^3\text{H}$] (sebagai perunut III) yang merupakan infus melalui intravena yang meniru produksi glukosa endogen. Sampel darah diambil dalam waktu 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 260, 280, 300, 360, dan 420 menit.

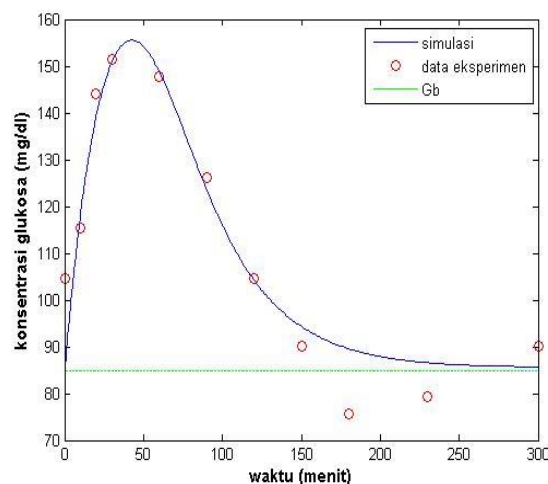
Hasil fit data ditunjukkan pada Gambar 3 dengan nilai R^2 sebesar 0.9358. Nilai R^2 yang mendekati satu menunjukkan bahwa hasil simulasi sudah dapat merepresentasikan profil glukosa dari data eksperimen dengan baik. Namun untuk memastikan kebenaran parameter-parameter yang didapatkan dari simulasi, parameter-parameter tersebut akan dibandingkan dengan hasil *tracer method* dari studi sebelumnya yang telah terbukti akurat untuk mengetahui parameter-parameter OMM.

Nilai S_I berdasarkan *non-tracer method* didapatkan sebesar $11.86 \times 10^{-4} \text{ dL.kg}^{-1}\text{menit}^{-1} (\mu\text{U/mL})^{-1}.\text{mL}$, sedangkan berdasarkan *tracer method* didapatkan sebesar $11.55 \times 10^{-4} \text{ dL.kg}^{-1}\text{menit}^{-1} (\mu\text{U/mL})^{-1}.\text{mL}$.



Gambar 3 Hasil simulasi OMM subjek normal Dalla Man C. $G_b = 89 \text{ mg/dL}$, $R^2 = 0.9358$.

Selanjutnya untuk mendeteksi subjek normal, pre-diabetes ataupun yang terkena penyakit diabetes tipe 2, data eksperimen tes OGTT diambil dari tesis [7]. Dalam tesis tersebut data diambil dari 150 subjek kulit putih yang terdaftar di Rumah Sakit Universitas Copenhagen, Denmark dan 120 subjek Jepang yang terdaftar di rumah Sakit Universitas Tokyo, Jepang. Untuk setiap subjek, tes OGTT dilakukan dengan memberikan 75 gram glukosa secara oral. Sampel plasma untuk pengukuran konsentrasi glukosa dan insulin diambil pada waktu 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, dan 300 menit relatif terhadap waktu setelah menelan glukosa [7].



Gambar 4 Hasil simulasi OMM subjek normal Denmark. $G_b = 85 \text{ mg/dl}$, $S_G = 0.046 \text{ menit}^{-1}$, $p_2 = 0.0013 \text{ menit}^{-1}$, $S_I = 28.56 \times 10^{-4} \text{ dl.kg}^{-1} \text{ menit}^{-1} (\mu\text{U/ml})^{-1} \cdot \text{ml}$, $R^2 = 0.9494$.

Hasil fit kurva data tes OGTT pertama menunjukkan hasil yang baik dengan R^2 sebesar 0.9494. Nilai G_b yang diperoleh dari simulasi sebesar 85 mg/dL. Bila nilai tersebut dicocokkan dengan G_b referensi, maka dapat diprediksikan bahwa set data tersebut sesuai dengan profil subjek dalam keadaan normal. Nilai S_I dari tes OGTT pertama didapatkan sebesar $28.56 \times 10^{-4} \text{ dl.kg}^{-1} \text{ menit}^{-1} (\mu\text{U/ml})^{-1} \cdot \text{ml}$. Dengan kata lain pada indeks ini pengaruh insulin sangat baik untuk mengkatalis berkurangnya konsentrasi glukosa yang tinggi dalam darah sehingga konsentrasinya dapat kembali normal. Selain itu didapatkan pula nilai S_G sebesar 0.046 menit^{-1} . Pada indeks ini kemampuan glukosa untuk meningkatkan laju pengurangan kadar glukosa dalam darah tanpa bantuan insulin sangat baik, ini terjadi ketika glukosa diserap dengan baik untuk menghasilkan energi tanpa bantuan insulin seperti pada otak dan sel darah merah.

5. KESIMPULAN

Profil metabolisme glukosa dalam tubuh dapat diketahui dengan melakukan simulasi model berdasarkan uji klinis. Banyak model yang diusulkan untuk memprediksi sensitivitas insulin dan efektivitas glukosa, namun model yang paling sederhana dan dapat mewakili metabolisme glukosa tersebut yaitu *Minimal Model Bergman*. Dengan melakukan modifikasi *Model Minimal Bergman* dengan mempertimbangkan masukan glukosa secara oral, dihasilkanlah model baru yaitu OMM. Model ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *Minimal Model Bergman*, yaitu OMM menggunakan data tes OGTT yang dapat merepresentasikan proses metabolisme glukosa tubuh dalam keadaan normal saat makan. Berbeda dengan *Minimal Model Bergman* yang menggunakan tes IVGTT dengan melakukan pengujian setelah injeksi glukosa melalui intravena. Selain itu, dalam simulasi OMM dapat diketahui nilai serapan yang masuk ke dalam tubuh. Nilai sensitivitas insulin dan efektivitas glukosa dapat diketahui dengan menggunakan kedua model tersebut, namun perbedaan distribusi volume glukosa menyebabkan sensitivitas insulin dari tes IVGTT lebih besar dibandingkan dengan tes OGTT. Untuk memprediksikan keadaan subjek normal, pre-diabetes dan yang terkena diabetes, digunakan parameter G_b yang dihasilkan dari simulasi OMM. Subjek yang terkena diabetes akan memiliki G_b yang paling tinggi. Sedangkan untuk memprediksikan tipe diabetesnya dilihat dari parameter S_I . Diabetes tipe 2 memiliki S_I yang paling kecil bila dibandingkan dengan subjek pre-diabetes dan subjek normal namun nilainya tidak sampai ke nol.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ditujukan kepada APBN/DIPA-IPB Tahun 2017 untuk Kegiatan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] Chiara Dalla Man et al. *Minimal model estimation of glucose absorption and insulin sensitivity from oral test: validation with a tracer method*. Am J Physiol Endocrinol Metab. 287: E637-E643, 2004.
- [2] Makroglou A, Li j, Kuang Y. *Mathematical models and software tools for the glucose-insulin regulatory system and diabetes: an overview*. Applied Numerical Mathematics. 56:559-573, 2006.
- [3] Esben FJ. *Modeling and Simulation of Glucose-Insulin Metabolism*. Tesis, Denmark: Technical University of Denmark, 2007.
- [4] Chiara Dalla Man et al. *Insulin sensitivity by oral glucose minimal models: validation against clamp*. Am J Physiol Endocrinol Metab. 289: E954-E959, 2005.
- [5] Agus Kartono. *Modified minimal model for effect of physical exercise on insulin sensitivity and glucose effectiveness in type 2 diabetes and healthy human*. Theory in Biosciences. Springer, 2013.
- [6] Masafumi Matsuda and Ralph A. DeFronzo. *Insulin Sensitivity Indices Obtained From Oral Glucose Tolerance Testing*. Diabetes Care. 22(9): 1462-1470, 1999.
- [7] Jonas Bech Møller. *Model Based Analysis of Ethnic Differences in Type 2 Diabetes*. Tesis, Denmark: Technical University of Denmark, 2012.

PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN PERUBAHAN FASA BARIUM FERIT ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) PASIR BESI BATANG SUKAM KABUPATEN SIJUNJUNG SUMATERA BARAT

ARIF BUDIMAN¹, DWI PURYANTI, MUHAMMAD RIZKI, HELFI SYUKRIANI

¹Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
arifbudiman@fmipa.unand.ac.id

Abstrak

Penelitian pengaruh temperatur sintering terhadap suseptibilitas magnetik dan perubahan fasa barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) pasir besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat telah dilakukan. Barium ferit dibuat dengan mencampurkan hematit hasil oksidasi magnetit pasir besi dan stronsium karbonat. Campuran tersebut kemudian dikalsinasi pada temperatur 800°C, dikompaksi dan disintering pada temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C. Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnetik dan XRD (*X-Ray Diffractometer*) digunakan untuk menentukan struktur sampel yang meliputi perubahan fasa, struktur dan ukuran kristal. Hasil menunjukkan bahwa sampel yang disintering memiliki nilai suseptibilitas magnetik berturut-turut sebesar $887,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $199,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, dan $156,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik menurun seiring dengan peningkatan temperatur sintering. Nilai suseptibilitas magnetik menurun seiring dengan peningkatan temperatur sintering. Pada ketiga sampel telah terbentuk fasa barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), tetapi masih terdapat fasa hematit (Fe_2O_3).

Kata Kunci: suseptibilitas magnetik, perubahan fasa, barium ferit, kalsinasi, dan sintering.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi alam yang melimpah dan beraneka ragam terutama dalam bidang pertambangan salah satunya adalah pasir besi. Sebaran pasir besi di Indonesia banyak dijumpai di daerah pesisir seperti di pesisir pantai Jawa, Sumatra, Sulawesi, Nusatenggara, dan Kepulauan Maluku (Prasetyo dan Mahardika [1]). Pasir besi juga banyak ditemukan di daerah sungai (Afdal dan Niarti [2]). Pasir besi tersebut saat ini banyak dimanfaatkan untuk bahan baku industri baja dan bahan baku industri semen dalam pembuatan beton. Dalam pasir besi terdapat kandungan mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Yulianto dan Bijaksana, [3]). Oleh karena itu pasir besi juga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan bahan-bahan magnet, salah satunya adalah magnet permanen.

Magnet permanen merupakan sebuah perangkat penyimpan energi. Energi ini terbentuk ketika bahan tersebut pertama kali dimagnetisasi dan energi tersebut akan terus menetap di dalamnya. Selain itu, energi dari magnet selalu tersedia untuk digunakan dan tidak

terkuras habis oleh penggunaan yang berulang jika diperlakukan dengan benar. Magnet permanen telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Magnet pada pengeras suara (*loudspeaker*) merupakan magnet yang sangat laku di pasaran karena digunakan pada radio, televisi, dan sistem suara lainnya. Magnet lainnya yang juga laku di pasaran adalah magnet pada motor kecil. Motor-motor tersebut biasanya digunakan pada mobil seperti untuk kipas angin, pengatur tempat duduk dan jendela, penyapu kaca mobil dan lain-lain. Magnet permanen yang digunakan pada motor yang sangat kecil yang biasanya terdapat pada komputer, *printer* dan *scanner* merupakan magnet yang berukuran kecil tetapi memiliki kualitas yang tinggi (Cullity dan Graham [4]).

Jenis-jenis magnet permanen yang banyak di produksi adalah magnet baja, alnico (Al-Ni-Co), dan magnet ferit. Magnet ferit merupakan magnet permanen yang banyak diproduksi karena bahan bakunya yang melimpah dan murah (Irasati dan Idayanti [5]). Bahan dasar pembuatan magnet ferit adalah hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang ditambah dengan zat aditif yaitu barium karbonat (BaCO_3) atau stronsium karbonat (SrCO_3). Campuran hematit dan barium karbonat menghasilkan barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dan campuran hematit dan stronsium karbonat menghasilkan stronsium ferit ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Keduanya memiliki sifat-sifat yang hampir sama (Cullity dan Graham [4]). Sintesis magnet ferit dapat dilakukan menggunakan beberapa metode seperti *sol gel*, kopresipitasi, pemaduan mekanik, metalurgi serbuk, dan *solid state reaction*.

Menurut data Badan Pertahanan Nasional Kabupaten Sijunjung (2015) bahwa Kabupaten Sijunjung memiliki potensi bahan galian dan mineral yang sangat banyak seperti besi, emas, andesit, pasir kuarsa, dan batu kapur. Emas diperkirakan terdapat di sepanjang sungai-sungai seperti Batang Ombilin, Batang Sukam dan Batang Palangki atau di sepanjang anak sungai lainnya (Refles [6]). Pada lokasi-lokasi yang memiliki kandungan emas ini, secara tradisional sudah sejak lama dieksploitasi oleh masyarakat dengan menggunakan cara dan teknis yang sangat sederhana yang dikenal dengan mendulang emas. Sisa pendulangan ini berupa pasir besi yang mengandung mineral magnetik yang tinggi (Siregar dan Budiman [7]).

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan pembuatan magnet permanen. Billah [8] melakukan karakterisasi struktur kristal dan sifat magnetik dari magnet stronsium ferit ($\text{SrO}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disintesis dari pasir besi Pantai Bayuran Jepara Jawa Tengah. Metode yang digunakan adalah metode metalurgi serbuk dengan menggunakan temperatur kalsinasi 1200°C selama 3,0 jam dan sintering 1250°C selama 1,0 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur kristal sampel bersesuaian dengan produk komersil (PT. NX Indonesia) tetapi sifat magnetik sampel tidak bersesuaian. Muljadi [9] melakukan sintesis dan menganalisis perubahan fasa dan sifat magnet barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dengan bahan baku produk Merck. Sintesis sampel menggunakan metode reaksi padatan dengan proses *mechanical alloying* dan disintering pada temperatur sintering 1200°C selama 10 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel adalah magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan fasa tunggal. Sampel memiliki medan koersivitas, magnetisasi saturasi, dan remanen berturut-turut adalah 1650 Oe, 63,21 emu/g dan 48,01 emu/g.

Pemanfaatan pasir besi dari Batang Sukam untuk pembuatan magnet permanen barium ferit sebelumnya telah dilakukan oleh Hayati dkk [10]. Sintesis barium ferit dilakukan dengan memvariasikan massa hematit dan barium karbonat kemudian di kalsinasi dan sintering pada temperatur masing-masing 1000°C selama 3 jam. Hasil penelitian menunjukan bahwa magnet barium ferit yang mempunyai nilai suseptibilitas tertinggi yaitu $549,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ disintesis dari persentase massa 20%. Dikarenakan sifat magnet berhubungan dengan temperatur maka akan dilakukan sintesis barium ferit dengan

menggunakan temperatur kalsinasi yang lebih rendah yaitu 800°C dan menggunakan variasi temperatur sintering yaitu 800°C, 900°C, dan 1000°C. Diharapkan hasil penelitian ini akan menghasilkan magnet permanen barium ferit dengan sifat kemagnetan yang lebih tinggi dari pada peneliti sebelumnya.

2. METODOLOGI

Adapun tahapan pada penelitian ini meliputi:

A. Pemisahan Mineral Magnetik Pasir Besi

Pasir besi dicuci menggunakan aquades sebanyak lima kali lalu dikeringkan di udara terbuka selama 24 jam dan dikeringkan kembali menggunakan *oven* dengan temperatur 40°C selama 4 menit. Pasir besi yang sudah kering kemudian dipisahkan menggunakan magnet permanen untuk memisahkan mineral magnetik dengan mineral non-magnetik lalu digerus sampai sampel dapat melewati ayakan ukuran 200 mesh dan dipisahkan kembali menggunakan magnet permanen hingga tidak ada mineral yang menempel pada magnet.

B. Sintesis Hematit

Serbuk magnetit (Fe_3O_4) yang diperoleh pada langkah sebelumnya diambil sebanyak 200 g lalu dioksidasi menggunakan *furnace* dengan temperatur 700°C ditahan selama 3 jam untuk memperoleh hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

C. Sintesis Barium Ferit

Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) hasil oksidasi sebanyak 16,00 g dicampur dengan barium karbonat (BaCO_3) sebanyak 4,00 g. Selanjutnya campuran kedua bahan tersebut digerus menggunakan lumpang dan alu selama 2,0 jam, lalu dikalsinasi pada temperatur 800°C dan ditahan selama 3,0 jam. Hasil kalsinasi digerus selama 1 jam kemudian dicampur dengan larutan PVA dan diaduk hingga rata lalu dibiarkan satu jam hingga terbentuk gumpalan kering. Gumpalan tersebut lalu digerus hingga berbentuk serbuk yang dapat melewati ayakan 200 mesh. Larutan PVA ini dibuat dari 2,0 g serbuk PVA yang dilarutkan dengan aquades 20 ml dan dipanaskan pada temperatur 100°C selama 1 jam sambil diaduk menggunakan *magnetik stirrer* hingga larutan menyatu dan menjadi gel. Hasil ayakan di atas diambil sebanyak 1,00 g, lalu dilakukan kompaksi menggunakan alat pencetak pelet untuk membentuk sampel menjadi silinder dengan diameter 1,24 cm dan ketebalan 0,5 cm. Sampel hasil kompaksi kemudian disintering dalam *furnace* pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C ditahan selama 3,0 jam.

D. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi meliputi karakterisasi suseptibilitas magnetik dan struktur sampel. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan menggunakan Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* dan *software Multisus*. Perhitungan dan pengolahan data nilai suseptibilitas menggunakan *software* MATLAB R2013a. Kemudian karakterisasi sampel untuk mengetahui perubahan fasa digunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*).

3 HASIL

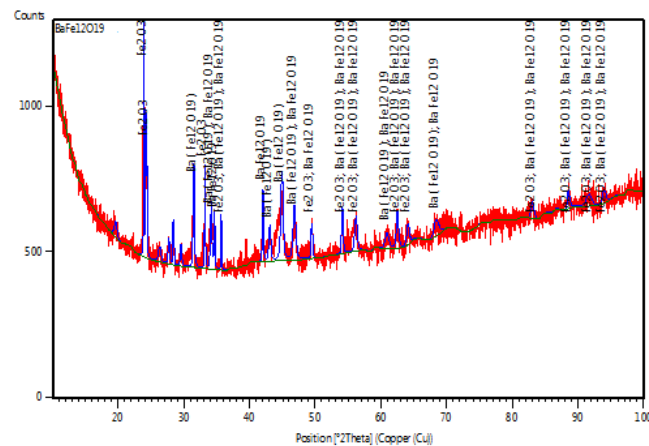
Hasil perhitungan nilai suseptibilitas magnetik sampel masing-masing variasi temperatur sintering dapat dilihat pada Tabel 1. Semakin tinggi temperatur sintering yang digunakan, nilai suseptibilitas magnetik sampel yang dihasilkan semakin menurun. Peningkatan temperatur pada bahan akan menyebabkan orientasi dipol magnetik bahan semakin acak (Zemansky dan Dittman [11]). Akibatnya saat bahan diberikan medan magnet luar, magnetisasi pada bahan sukar terjadi, sehingga menyebabkan nilai magnetisasi bahan

menjadi kecil. Kecilnya nilai magnetisasi bahan akan menyebabkan nilai suseptibilitas bahan menjadi kecil. Sampel yang dikalsinasi dan disintering masing-masing pada temperatur 800°C memiliki nilai suseptibilitas lebih besar dibandingkan dengan sampel yang dihasilkan oleh Hayati dkk [10].

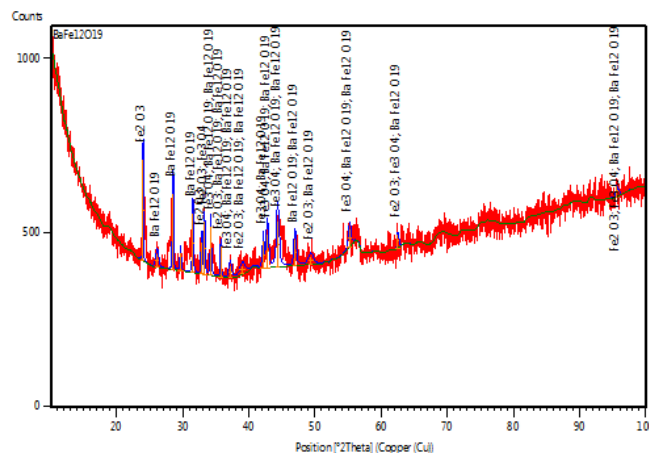
Difraktogram hasil uji XRD sampel dapat dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3. Berdasarkan difraktogram tersebut, pada ketiga sampel telah terbentuk fasa barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), tetapi masih terdapat fasa hematit (Fe_2O_3). Untuk sampel yang disintering pada temperatur 800°C dan 900°C fasa hematit (Fe_2O_3) lebih dominan dari pada fasa barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), sebaliknya untuk sampel yang disintering pada temperatur 1000°C. Masih terdapatnya fasa hematit (Fe_2O_3) pada sampel, hal ini menunjukkan bahwa hematit (Fe_2O_3) belum semua bereaksi dengan barium karbonat (BaCO_3) pada proses kalsinasi maupun sintering. Dari penelitian ini, untuk memperoleh sampel dengan fasa tunggal barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dibutuhkan temperatur kalsinasi maupun sintering di atas 1000°C.

Tabel 1. Nilai suseptibilitas magnetik sampel masing-masing variasi temperature sintering

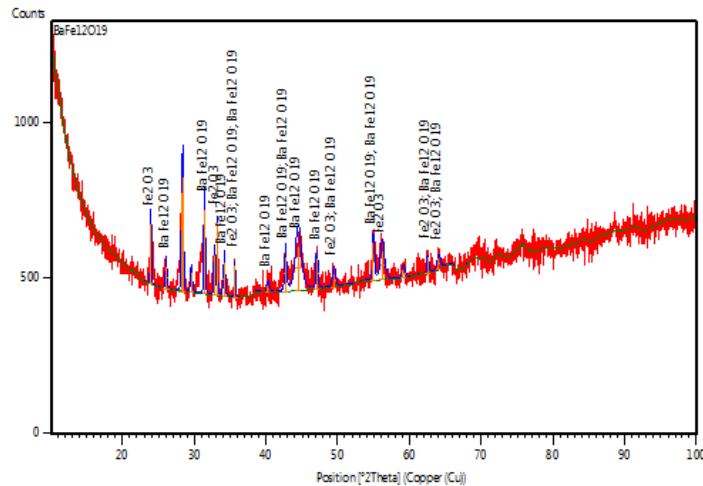
No	Variasi Temperatur Sintering (°C)	Nilai Suseptibilitas ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)
1	800	887,1
2	900	199,4
3	1000	156,9



Gambar 1. Difraktogram sampel yang disintering pada temperatur 800°C.



Gambar 2. Difraktogram sampel yang disintering pada temperatur 900°.



Gambar 3. Difraktogram sampel yang disintering pada temperatur 1000°C.

4 KESIMPULAN

Nilai suseptibilitas sampel yang disintering pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C berturut-turut adalah $887,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, $199,4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, dan $156,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai suseptibilitas magnetik menurun seiring dengan peningkatan temperatur sintering. Pada ketiga sampel telah terbentuk fasa barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), tetapi masih terdapat fasa hematit (Fe_2O_3).

Daftar Pustaka

- [1] Prasetyo, A. dan Mahardika, Kajian Magnetik (Fe_2O_3) Hasil Penumbuhan dengan Metode Presipitasi Berbahan Dasar Pasir Besi, *Tesis*, Central Library Institute Technology Bandung, Bandung, 2008.
- [2] Afdal, dan Niarti, L., Karakterisasi Sifat Magnet dan Kandungan Mineral Pasir Besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat, *Jurnal Ilmu Fisika*, Vol. 4, 2012.
- [3] Yulianto, A. dan Bijaksana, S., Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap. *Himpunan Fisika Indonesia. Jurnal Fisika HFI*. Vol. A5 No. 0527, 2002.
- [4] Cullity, D.B. dan Graham, D.C., *Introduction To Magnetic Materials*, Institute of Electrical And Electronics Engineers, Canada, 1971.
- [5] Irasati dan Idayanti., Aplikasi Magnet Permanen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan NdFeB pada Generator Magnet Permanen kecepatan Rendah Skala Kecil, *Jurnal Sains Material Indonesia*, Vol 11, No.1, Hal 38-41, LIPI, 2009.
- [6] Refles, Kegiatan Pertambangan Emas Rakyat dan Implikasinya Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat di Kenagarian Mudam Sakti Kecamatan IV Nagari Kabupaten Sijunjung, *Skripsi*, Program Studi Pembangunan Wilayah dan Pedesaan, Universitas Andalas, Sumatera Barat, 2012.
- [7] Siregar, S. dan Budiman, A., Penentuan Nilai Suseptibilitas Mineral Magnetik Pasir Besi Sisa Pendulangan Emas di Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat, *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol. 4, No. 4, Hal 344-349, FMIPA, UNAND, Padang, 2015.
- [8] Billah, A., Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit dengan culliityBahan Dasar Pasir Besi, *Skripsi*, FMIPA, UNNES, Semarang, 2006.

- [9] Muljadi, Analisis Struktur Kristal dan Sifat Magnetik Single Phase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Hasil Mechanical Alloying, *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, Pusat Penelitian Fisika LIPI-Serpong, 2011.
- [10] Hayati, R., Budiman, A., Puryanti, D, Karakterisasi Suseptibilitas Magnet Barium Ferit yang Disintesis dari Pasir Besi dan Barium Karbonat Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk, *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol. 5, No. 2, Hal 187-182, FMIPA, UNAND, Padang, 2016.
- [11] Zemansky, M. W., dan Dittman, R. H., *Kalor dan Termodinamika* (diterjemahkan oleh: The Houw Liong), ITB, Bandung, 2016.

RANCANG BUAT LAMPU HEMAT ENERGI BERBASIS LED DAN SEL SURYA SEBAGAI ALAT PENERANGAN

ARIFIN¹, JURITNO², DAHLANG TAHIR³, SYAMSIR DEWANG⁴

¹Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, arifinpide@gmail.com

²Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, innosains10@gmail.com

³Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, dtahir@fmipa.unhas.ac.id

⁴Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, dewang1163@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang rancang buat lampu hemat energi berbasis LED dan tenaga surya yang dapat digunakan sebagai lampu penerangan di rumah, taman, jalan, nelayan, kendaraan, industri dan sebagainya. Lampu hemat energi ini dibuat menggunakan LED jenis HP (*high power*) yang memiliki intensitas cahaya yang tinggi dengan jangkauan yang cukup jauh. Lampu ini menggunakan 40 LED dengan daya masing-masing 1 Watt dan 12 resistor yang dirangkai seri dan paralel. Sumber energi listrik diperoleh dari aki yang disambungkan dengan sel surya bertegangan 12 Volt. Pengukuran arus dan tegangan keluaran sel surya serta intensitas cahaya matahari diukur terhadap perubahan waktu mulai dari jam 7.00 sampai dengan 17.30. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar pula arus dan tegangan keluaran pada sel surya. Pengukuran intensitas cahaya pada lampu LED 40 Watt menunjukkan bahwa pada jarak 0 meter adalah 285,5 Klx dan pada jarak 2,65 meter adalah 103 lux. Jika dibandingkan dengan lampu *fluorescent* 40 watt dengan nilai intensitas cahaya pada jarak 0 meter adalah 20,56 Klx dan pada jarak 2,65 meter yaitu 27 lux. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lampu LED berdaya 40 watt memiliki intensitas cahaya lebih tinggi dibandingkan dengan lampu *fluorescent* 40 watt. Keunggulan dari lampu LED ini adalah hemat listrik, murah, tahan lama, ramah lingkungan dengan intensitas cahaya yang tinggi.

Kata kunci: Hemat energi, Lampu LED, dan sel surya.

1. PENDAHULUAN

Pemakaian energi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Menurut Muslich [1], peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5 % per tahun hingga tahun 2020. Pemakaian energi listrik yang sangat besar akan menjadi masalah di masa yang akan datang, jika ketersediaan energi listrik tidak sejalan dengan kebutuhan. Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang menangani ketersediaan energi listrik di Indonesia semakin sulit untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional oleh Yulianto [2] dan Solarex [3].

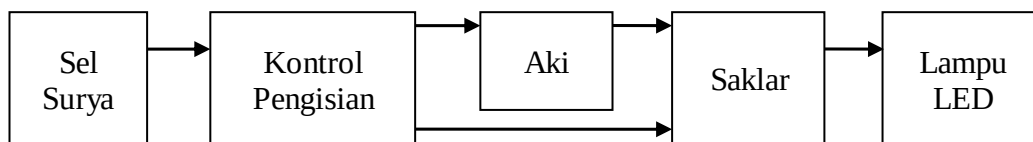
Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebaran penduduk yang tidak merata. Penyediaan listrik belum mencapai seluruh daerah, khususnya daerah-daerah terpencil. Pembangunan pembangkit listrik di daerah terpencil dinilai kurang efektif karena memerlukan anggaran yang besar dengan jumlah konsumen yang terbatas. Selain itu, kebutuhan listrik di daerah terpencil pun belum terlalu besar, oleh Riyadi [4]. Dalam rangka mendukung pertumbuhan tenaga listrik di Indonesia dan memenuhi kebutuhan listrik regional daerah terpencil, maka akan lebih efisien jika digunakan energi alternatif. Menurut Salman [5] dan Asy'ari dan Putra [6] bahwa penggunaan energi alternatif memiliki beberapa keuntungan di antaranya adalah tidak memerlukan anggaran yang

besar, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, ramah lingkungan dan mampu mengembangkan potensi sumber daya energi local

Pada saat ini, energi memegang peranan penting dalam pengembangan dan kemajuan hidup manusia. Menurut Widiatmoko [7] dalam tulisannya menyatakan bahwa pengelolaan energi secara tepat akan memberikan manfaat dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara umum, khususnya pada masyarakat daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik dari negara. Salah satu aspek penerapan energi tepat guna adalah dengan menggunakan lampu yang hemat energi. Lampu hemat energi yang sekarang beredar di masyarakat adalah jenis lampu *fluorescent* yang mengandung limbah mercury dalam bentuk uap dan bubuk yang terkonversi menjadi cahaya ultraviolet yang berbahaya untuk kesehatan, hal ini dikemukakan oleh Muslim dan Hafidz [8]. Oleh karena itu, dalam perkembangan lampu hemat energi ini akan mulai digantikan dengan lampu LED (*light emitting diode*) yang tidak mengandung mercury sehingga tidak berbahaya bagi kehidupan manusia. Daya listrik yang dibutuhkan oleh lampu LED lebih sedikit dibanding dengan lampu *fluorescent* dengan tingkat pencahayaan yang sama dengan harga yang relatif lebih murah serta umur penggunaan lebih lama, menurut Akella [9] dan Nayomi [10]. Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat lampu hemat energi yang terbuat dari LED dan menggunakan sel surya sebagai sumber energi listrik. Diharapkan lampu hemat energi ini dapat menghasilkan intensitas cahaya yang lebih tinggi, harga yang lebih murah dan umur pemakaian yang lama dibandingkan dengan lampu *fluorescent*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Panel sel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis monokristal silikon dengan luas permukaan 1 meter persegi. Panel surya ini memiliki V_{sc} dan I_{sc} sebesar 21,6 V dan 5,15 A, serta V_{mp} dan I_{mp} sebesar 17,3 V dan 4,63 A. Baterai atau aki yang digunakan adalah jenis aki *deep cycle battery* 12 volt dan 35 Ah DC yang tahan terhadap siklus pengosongan dan pengisian aki yang berulang. Sedangkan lampu yang digunakan yaitu jenis lampu LED *High Power* yang dirangkai dengan daya 40 watt menggunakan 40 LED berdaya 1 watt dan 14 buah resistor. Sel surya sebagai sumber energi aki dihubungkan dengan panel kontrol pengisian untuk aki dan lampu LED 40 watt. Panel kontrol berfungsi sebagai pusat sambungan ke beban dan mengatur sistem agar penggunaan listrik menjadi aman dan efektif. Lampu LED disambungkan dengan aki dan kontrol pengisian melalui saklar otomatis. Saklar ini berfungsi untuk mengatur sumber energi listrik lampu LED yaitu langsung dari ke kontrol pengisian jika ada matahari atau dari aki jika tidak ada cahaya matahari. Skema rangkaian penggunaan sel surya sebagai sumber energi listrik untuk lampu LED dan pengisian daya listrik pada aki/baterai ditampilkan seperti pada Gambar 1.



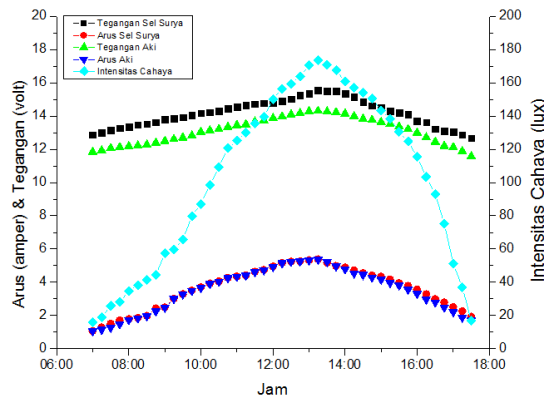
Gambar 1. Skema rangkaian penggunaan sel surya sebagai sumber energi listrik untuk lampu LED dan pengisian aki

Pengukuran intensitas cahaya matahari dan daya listrik (arus dan tegangan) yang masuk pada aki dilakukan pada siang hari mulai jam 7.00 sampai dengan jam 15.00 pada selang pengukuran setiap 15 menit. Pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan alat ukur luxmeter, sedangkan pengukuran arus dan tegangan listrik menggunakan multimeter. Untuk pengukuran pemakaian daya listrik aki serta pengukuran intensitas cahaya lampu LED dilakukan pada malam hari. Pengukuran intensitas cahaya lampu LED dan lampu *fluorescent* sebagai lampu pembanding menggunakan alat ukur luxmeter.

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perbandingan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu LED dan lampu *fluorescent* dengan daya lampu yang sama yaitu 40 watt.

3. HASIL

Data hasil pengukuran yang diperoleh yaitu intensitas cahaya matahari, arus dan tegangan listrik yang masuk pada aki kemudian diplot ke dalam grafik, seperti ditampilkan pada Gambar 2. Pada penelitian ini menggunakan lampu *fluorescent* sebagai lampu pembanding yaitu untuk mengetahui seberapa besar intensitas cahaya lampu LED dibandingkan dengan lampu *fluorescent*. Hasil pengukuran arus dan tegangan aki pada sel surya dan pengukuran intensitas cahaya matahari yang dilakukan pada setiap 15 menit selama 10 jam menggunakan multimeter dan lux meter yang ditampilkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan arus dan tegangan sel surya dan aki terhadap perubahan intensitas cahaya sel surya

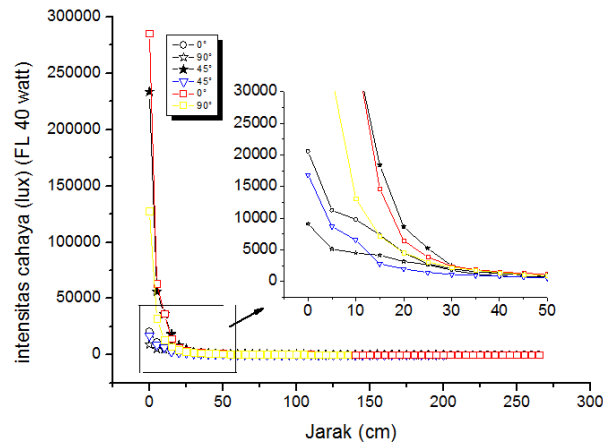
Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa perubahan arus dan tegangan aki berubah-ubah setiap saat seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya. Sedangkan daya listrik berupa arus dan tegangan yang masuk ke dalam aki pada pagi dan sore hari kurang maksimal, sedangkan pada siang hari sekitar jam 13.00 adalah maksimal. Hal ini disebabkan karena pengisian aki mengikuti perubahan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel sel surya. Semakin tinggi intensitas matahari yang diterima sel surya, maka semakin tinggi arus dan tegangan atau daya listrik yang dihasilkan.

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran intensitas cahaya lampu LED 40 watt pada jarak 0 meter adalah 285,5 Klux dan jarak 2,65 meter adalah 103 lux. Sedangkan pada lampu *fluorescent* 40 watt dengan nilai intensitas cahaya pada jarak 0 meter 20,56 Klux dan jarak 2,65 meter yaitu 27 lux. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lampu LED berdaya 40 watt memiliki intensitas cahaya lebih tinggi dibandingkan dengan lampu *fluorescent* 40 watt. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Slamet dan Budiono (2016) yang menyatakan bahwa intensitas cahaya lampu LED lebih tinggi dibandingkan dengan lampu TL dan daya listrik lampu LED lebih rendah dari lampu TL serta pemakaian energi listrik lampu LED lebih rendah dari lampu TL.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran intensitas cahaya matahari dan daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya dan akan tersimpan ke dalam aki. Intensitas cahaya matahari maksimum pada siang hari yaitu sekitar jam 13.00 sehingga arus dan tegangan listrik pada aki juga maksimum. Lampu LED yang dibuat berdaya 40 watt dan dapat menghasilkan intensitas cahaya lampu sebesar 285,5 Klux. Sedangkan intensitas lampu *fluorescent* pada daya yang sama menghasilkan intensitas cahaya lampu sebesar 20,56 Llux. Intensitas cahaya lampu LED lebih besar 14 kali dibandingkan

dengan lampu fluorescent. Keunggulan lain dari lampu LED adalah memiliki umur pemakaian yang lama dan konsumsi energi listrik yang sangat rendah.



Gambar 3. Grafik perbandingan intensitas cahaya lampu LED dan fluorescent 40 watt

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “Program IPTEKS bagi Masyarakat, Dana BOPTN UNHAS 2017” No. Kontrak 15159/UN4.3.2/LK.23/2017.

Daftar Pustaka

- [1] Muslich, M., Proyeksi kebutuhan listrik PLN tahun 2003-2020, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Indonesia, hal. 22 - 23, 2003.
- [2] Yulianto, B., Teknologi Sel Surya untuk Energi Masa Depan, *Science Publisher*, Teknik Fisika ITB, Bandung, 2008.
- [3] Solarex, *Everything You Always Wanted to Know About Solar Power*, Villawood Sydney, N.S.W. Australia, 1993.
- [4] Riyadi, A., *Clearinghouse Energi Terbarukan dan Konservasi Energi*, Publikasi Ilmiah, Surakarta, 2008.
- [5] Salman, R., Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan (*Solar Home System*). Teknik Elektro Unimed, Medan, vol. 4, no. 3, hal. 46-51, 2013.
- [6] Asy'ari, R. H. dan Putra, A. F. S., Pemanfaatan Sel surya dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal. *Jurnal Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. vol. 14, no. 01, hal. 33 - 39, 2014.
- [7] Widiatmoko, Y., Prototype Pemanfaatan *Solar Cell* Sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Taman. *EPRINTS*. Lumbung Pustaka, UNY, Yogyakarta, hal. 1-18, 2013.
- [8] Muslim, Hafidz, M., Rancang Bangun Lampu Hemat Energi Menggunakan Lampu LED. Universitas Pendidikan Indonesia, Thesis, 2010.
- [9] Akella, A. K., Sharma, M.P., Saini, R.P., *Optimum Utilization Of Renewable Energy Sources In A Remote Area*. Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology, Roorkee-247 667, India, hal. 894-908, 2005.
- [10] Nayomi, H., *Utilization Opportunities Of Led as A Source Of Illumination*. Fakultas Teknik, UI, 2013.
- [11] Slamet, P. Dan Budiono, G., Kajian Teknis Lampu LED Type Tabung Dibandingkan dengan Lampu TL”, *Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, vol. 01, no. 01, hal. 53-60, 2016.

DINAMIKA MEDAN SKALAR DALAM KOSMOLOGI

BANSAWANG BJ¹, TASRIEF SURUNGAN², AZWAR SUTIONO³

¹Laboratorium Fisika Teori Dan Komputasi Departemen Fisika FMIPA Unhas

Abstrak

Dalam tulisan ini akan diturunkan persamaan dinamika model kosmologi standar Friedman-Robertson-Walker (FRW) yang didasarkan pada persamaan Einstein dengan medan skalar Klein-Gordon ϕ berinteraksi dengan potensial $V(\phi)$ berbentuk eksponensial. Selanjutnya dianalisis pengaruh dari medan skalar untuk parameter kepadatan model dengan pendekatan sistem dinamik. Model ini akan digunakan untuk memeriksa kondisi alam semesta saat ini yang didominasi oleh energi gelap.

Kata kunci: Persamaan Einstein, medan skalar, kosmologi, energi gelap

1. PENDAHULUAN

Persamaan medan gravitasi kovarian dalam teori relativitas umum Einstein telah banyak memberikan bukti seperti apa yang telah diprediksi sejak seratus tahun yang lampau, seperti pembelokan cahaya dekat massa yang besar, perihelion maju planet Merkuri, penundaan gema radar dan yang paling terakhir dibuktikan adanya gelombang gravitasi. Beberapa implikasi dari solusi persamaan Einstein seperti adanya lubang hitam dan beberapa model kosmologi^{[1][2]}.

Model kosmologi standar Friedman-Robertson-Walker (FRW) juga didasarkan pada persamaan Einstein. Pada awalnya Einstein menambahkan suatu konstanta pada persamaannya **untuk menjaga alam semesta dalam keadaan statis**, (yang kemudian oleh Einstein disesali karena kenyataan observasi oleh Hubble menunjukkan alam semesta yang mengembang, sesuatu yang harusnya terlebih dulu bisa diramalkan oleh relativitas umum). Keberadaan konstanta kosmologi ini kembali mencuat akhir-akhir ini, dan mencapai puncak ketika terdeteksi keberadaan materi dan energi gelap. **Bahwa alam semesta mengembang lebih cepat dan semakin cepat pertama kali dilaporkan tahun 1998 oleh Riess, dkk dari hasil pengamatan Supernova Tipe Ia (SN Ia) dan Perlmutter dkk,^[3]** Gravitasi materi gelap cenderung memperlambat ekspansi kosmik, sementara energi gelap mendorong ke arah yang berlawanan dan semakin cepat. Menurut data Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP Jan 2010) bahwa komposisi alam semesta terdiri dari $(72.8 \pm 0.5) \%$ energi gelap (dark energy), $(22.7 \pm 1.4) \%$ materi gelap nonbaryonik (nonbaryonic dark matter), dan $(4.56 \pm 0.16) \%$ baryon. Terdapat dua bentuk energi gelap yang diusulkan adalah *konstanta kosmologi* (kepadatan energi tetap) dan *quintessence* (medan dinamis yang kepadatan energinya dapat berubah dalam ruang dan waktu). Mengukur persamaan keadaan dari energi gelap adalah salah satu usaha besar dalam observasi kosmologi.

1.1 Rapat Lagrangian Einstein-Hilbert dan Medan Skalar

Tinjau aksi dalam relativitas umum dapat diungkapkan dengan rapat Lagrangian Einstein-Hilbert dan medan skalar sebagai:

$$I = \int_{\Omega} d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{R}{2K} + L_{\phi} + L_m \right) d^4x \quad (1)$$

di mana L_m adalah rapat Lagrangian dari materi, $K = 8\pi G$ dan $L_G = R$ adalah rapat Lagrangian untuk medan gravitasi sedang R adalah kelengkungan skalar Ricci yang diungkapkan sebagai $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$ dengan $R_{\mu\nu}$ adalah tensor Ricci, yakni:

$$R_{\mu\nu} = \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\rho}}{\partial x^{\rho}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\rho}^{\rho}}{\partial x^{\nu}} + \Gamma_{\mu\nu}^{\sigma} \Gamma_{\rho\sigma}^{\rho} - \Gamma_{\mu\rho}^{\sigma} \Gamma_{\nu\sigma}^{\rho} \quad (2)$$

dengan

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\rho} = \frac{1}{2} g^{\rho\gamma} \Gamma_{\gamma\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\rho\gamma} \left[\frac{\partial g_{\mu\gamma}}{\partial x^{\nu}} + \frac{\partial g_{\nu\gamma}}{\partial x^{\mu}} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\gamma}} \right] \quad (3)$$

adalah lambang Christoffel dan L_{ϕ} adalah rapat Lagrangian medan skalar, yakni:

$$L_{\phi} = -\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_{\mu} \phi \partial_{\nu} \phi - V(\phi) \quad (4)$$

dengan potensial $V(\phi) = \frac{1}{2} m^2 \phi^2 - V_0 e^{-\lambda\phi}$

.Dengan melakukan variasi terhadap tensor metrik $g_{\mu\nu}$ terhadap integral aksi pada persamaan (1), maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \delta I &= \int_{\Omega} \left\{ \frac{1}{2K} (R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R) + \frac{\partial [\sqrt{-g} (L_M + L_{\phi})]}{\sqrt{-g} \partial g^{\mu\nu}} - \frac{\partial}{\sqrt{-g} \partial x^{\alpha}} \left[\frac{\partial (\sqrt{-g} (L_M + L_{\phi}))}{\partial g^{\mu\nu}_{,\alpha}} \right] \right\} \otimes \\ &\quad \sqrt{-g} \delta g^{\mu\nu} d^4x + \int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial x^{\alpha}} \left[\frac{\partial (\sqrt{-g} (L_M + L_{\phi}))}{\partial g^{\mu\nu}_{,\alpha}} \delta g^{\mu\nu} \right] \delta g^{\mu\nu} d^4x \\ &= \int_{\Omega} \left\{ \frac{1}{2K} (R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R) + \frac{\partial [\sqrt{-g} (L_M + L_{\phi})]}{\sqrt{-g} \partial g^{\mu\nu}} \right\} \sqrt{-g} \delta g^{\mu\nu} d^4x \end{aligned} \quad (5)$$

di mana medan yang berkaitan dengan integral Gauss dan turunan rapat Lagrangian terhadap $g^{\mu\nu}_{,\alpha}$ telah diambil sama dengan nol, diperoleh persamaan medan gravitasi, yakni:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu} \quad (6)$$

dengan tensor energi-momentum $T_{\mu\nu}$ adalah:

$$T_{\mu\nu} = (T_{\mu\nu}^{(m)} + T_{\mu\nu}^{(\phi)}) = -\frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\partial [\sqrt{-g} (L_M + L_{\phi})]}{\partial g^{\mu\nu}} \quad (7)$$

Untuk tensor energi-momentum medan skalar diberikan oleh persamaan berikut:

$$T_{\mu\nu}^{(\phi)} = \frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\partial[\sqrt{-g} L_\phi]}{\partial g^{\mu\nu}}$$

$$= \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi - g_{\mu\nu} \left[\frac{1}{2} (\partial_\alpha \phi \partial^\alpha \phi - m^2 \phi^2) - V_0 \exp(-\lambda \phi) \right] \quad (8)$$

Rapat Hamiltonian adalah komponen ke nol dari tensor energi-momentum, yakni:

$$H = T_{00}^{(\phi)} = \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 + \frac{1}{2} m^2 \phi^2 + V_0 \exp(-\lambda \phi) \quad (9)$$

Untuk komponen ruang:

$$T_{ii}^{(\phi)} = \partial_i \phi \partial_i \phi - g_{ii} \left[\frac{1}{2} (\partial_\alpha \phi \partial^\alpha \phi - m^2 \phi^2) - V_0 \exp(-\lambda \phi) \right] \quad (10)$$

Anggapan dasar dalam kosmologi bahwa materi alam semesta bersifat homogen dan isotrop sehingga sifat-sifat tensor metrik serupa di semua titik dalam ruang dan waktu. Ini hanya dapat dicapai bila materi memiliki massa jenis seragam di setiap titik dalam ruang-waktu yakni $\phi = \phi(t)$ dan $\phi \neq \phi(x)$, yang berarti $\nabla \phi = 0$. Diasumsikan pula bahwa efek medan skalar seperti fluida ideal dimana dapat diidentifikasi bahwa rapat energinya sama dengan rapat massa $T_{00} = \rho$ dan komponen ruang adalah sama dengan tekanan $T_{ii} = p$, sehingga:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} m^2 \phi^2 + V_0 \exp(-\lambda \phi) \\ p &= \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} m^2 \phi^2 - V_0 \exp(-\lambda \phi) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

1.2 Kosmologi Friedman-Robertson-Walker (FWR) Dengan Medan Skalar

Anggapan dasar dalam teori kosmologi Friedman-Robertson-Walker (FWR) bahwa materi alam semesta bersifat homogen dan isotrop. Dengan kehomogenan materi mempunyai pengaruh bahwa sifat-sifat tensor metrik serupa di semua titik dalam ruang dan waktu. Ini hanya dapat dicapai bila materi memiliki massa jenis seragam di setiap titik dalam ruang-waktu sedangkan kehomogenan terhadap waktu mempunyai dampak bahwa dalam proses dinamika materi, bagian-bagiannya haruslah bergerak secara seragam agar distribusinya juga tetap seragam. Atas dasar anggapan tersebut maka elemen garis FWR dalam ruang-waktu koordinat bola r, θ, ϕ, t , dinyatakan sebagai:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right] \quad (12)$$

dikenal sebagai metrik *Friedmann-Robertson-Walker* (FRW) dimana $R(t)$ tampak memainkan peranan sebagai jari-jari kelengkungan ruang dan k mempunyai nilai 1, 0 dan -1 yang menunjukkan masing-masing model alam tertutup, datar dan terbuka. Lambang Christoffel yang bersangkutan dengan persamaan (12) adalah:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{11}^0 &= c^{-1} R \dot{R} (1 - kr^2)^{-1}, & \Gamma_{22}^0 &= -c^{-1} r^2 R \dot{R}, & \Gamma_{33}^0 &= c^{-1} r^2 R \dot{R} \sin^2 \theta \\ \Gamma_{01}^1 &= \Gamma_{02}^2 = \Gamma_{03}^3 = -c^{-1} \dot{R} R^{-1}, & \Gamma_{11}^1 &= kr(1 - kr^2)^{-1}, & \Gamma_{22}^1 &= -r(1 - kr^2) \\ \Gamma_{33}^1 &= kr(1 - kr^2) \sin^2 \theta, & \Gamma_{12}^2 &= \Gamma_{13}^3 = r^{-1}, & \Gamma_{33}^2 &= -\sin \theta \cos \theta \\ \Gamma_{23}^3 &= \cot \theta \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Komponen-komponen tensor Ricci dengan catatan bahwa r tidak berdimensi ketika $R(t)$ mempunyai dimensi panjang, yakni:

$$\left. \begin{aligned} R_{00} &= -\ddot{R}R^{-1}, \\ R_{11} &= (R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2c^2k)(1 - kr^2)^{-1} \\ R_{22} &= r^2(R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2c^2k) \\ R_{33} &= r^2 \sin^2 \theta (R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2c^2k) \\ R &= g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} = -6(R\ddot{R} + \dot{R}^2 + c^2k)R^{-2} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Komponen ke nol persamaan Einstein dan dipilih model datar dalam FWR $k = 0$ adalah:

$$\left. \begin{aligned} R_{00} - \frac{1}{2}g_{00}R &= 8\pi G(T_{00}^{(\phi)} + T_{00}^{(m)}) \\ 3H^2 &= \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}m^2\phi^2 + V(\phi) + \rho_m + \rho_r \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Dengan $H = \frac{\dot{R}}{R}$ adalah konstanta Hubble. Data pengamatan astronomis telah memberi dukungan penentuan nilai tetapan Hubble meskipun masih tetap sulit ditentukan mengingat penetapan ukuran galaksi masih terlalu sulit ditetapkan. Penetapan mutakhir yang lebih teliti memberikan hasil tetapan Hubble yakni $H \cong 0,8 \times 10^{-8} / \text{tahun} = 0,25 \times 10^{-17} / \text{detik}$. Hubungan antara massa medan skalar dengan tetapan Hubble digunakan pendekatan sebagai [7]:

$$|m_\phi^2| \leq \frac{V_0}{M_{Pl}^2} \approx H_0^2 \text{ atau } |m_\phi| \leq H_0 \approx 10^{-33} \text{ eV}$$

Selanjutnya dari persamaan (15) didefinisikan variabel tanpa dimensi, yakni:

$$\left. \begin{aligned} 1 &= \frac{\dot{\phi}^2}{6H^2} + \frac{m^2\phi^2}{6H^2} + \frac{V(\phi)}{3H^2} + \frac{\rho_m}{3H^2} + \frac{\rho_r}{3H^2} \\ &= x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \frac{\rho_m}{3H^2} + x_4^2, \text{ dengan} \\ x_1 &\equiv \frac{\dot{\phi}}{\sqrt{6}H}, \quad x_2 \equiv \frac{m\phi}{\sqrt{6}H}, \quad x_3 \equiv \frac{\sqrt{V(\phi)}}{\sqrt{3}H}, \quad x_4 \equiv \frac{\rho_r}{\sqrt{3}H} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Dengan demikian parameter kerapatan memenuhi persamaan kendala dengan komponen-komponen sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_\phi + \Omega_m + \Omega_r &= 1 \\ \Omega_\phi &\equiv x_1^2 + x_2^2 + x_3^2, \quad \Omega_m \equiv \sqrt{\frac{\rho_m}{3H^2}}, \quad \Omega_r = x_4^2 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Selanjutnya dengan mendiferensialkan terhadap waktu persamaan (11) dan menggunakan turunan rapat massa materi dan rapat massa radiasi terhadap waktu dan hubungannya dengan konstanta Hubble (H) yakni $\dot{\rho}_m = -3H\rho_m$ dan $\dot{\rho}_r = -4H\rho_r$ maka akan diperoleh persamaan dinamika medan skalar:

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + m^2\phi + \frac{\partial V}{\partial \phi} = 0 \quad (18)$$

Demikian pula turunan terhadap waktu persamaan (15) dan mensubstitusi persamaan (18), maka diperoleh:

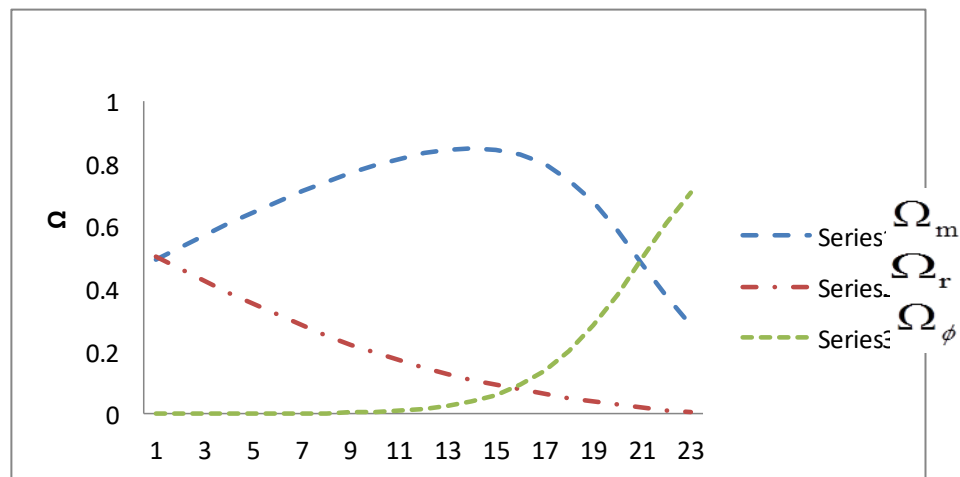
$$6\dot{H}H = -3H\dot{\phi}^2 + \dot{\rho}_m + \dot{\rho}_r \quad (19)$$

Dengan menggunakan persamaan Einstein komponen ke *nol* dan persamaan kosmologi Friedman-Walker-Robertson (FWR) akan dapat diturunkan persamaan autonom dari medan skalar, yakni:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dN} &= \frac{dx_1}{Hdt} = -3x_1 - \frac{m}{H}x_3 + \frac{3\lambda x_2^2}{\sqrt{6}} - x_1 \frac{\dot{H}}{H^2} \\ \frac{dx_2}{dN} &= -\frac{\sqrt{6}}{2}\lambda x_1 x_2 - x_2 \frac{\dot{H}}{H^2} \\ \frac{dx_3}{dN} &= \frac{m}{H}x_1 - x_3 \frac{\dot{H}}{H^2} \\ \frac{dx_4}{dN} &= -2x_4 - x_4 \frac{\dot{H}}{H^2} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Dan dari persamaan (19) dengan variabel tak berdimensi pada persamaan (16) akan diperoleh:

$$\frac{\dot{H}}{H^2} = \frac{3}{2} \left(-x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - \frac{1}{3}x_4^2 - 1 \right) \quad (21)$$



Gambar 1. Evolusi parameter kerapatan Ω_m , Ω_r , Ω_ϕ model medan skalar untuk

$$\lambda = 1, \quad \frac{m}{H} \approx 1 \text{ dengan } x_1 = 10^{-5}, x_2 = 10^{-2}, x_3 = 10^{-3} \text{ dan } x_4 = 0.71$$

Parameter kerapatan materi mencapai puncak dominasi pada saat $N = 13$ dengan $\Omega_m = 0.85$ dan kemudian turun hingga 0.28 pada saat $N = 22$ sedangkan parameter kerapatan medan skalar mulai naik pada saat $N = 16$ dan mendominasi pada saat $N = 22$ dengan $\Omega_\phi = 0.707$. Jika diasumsikan bahwa medan skalar merepresentasikan sebagai energi

gelap, maka evolusi medan skalar dalam model di atas dapat menunjukkan keadaan alam semesta saat ini dengan energi gelap mendominasi sekitar 71% dan selebihnya adalah materi dan radiasi.

2. KESIMPULAN

Data pengamatan astronomi dewasa ini menemukan bahwa hanya sekitar 5% materi alam semesta teramati dan adanya energi gelap (dark energy) sekitar 72 % dan materi gelap (nonbaryonic dark matter) sekitar 23%. Sedangkan dari model yang diajukan di atas pada masa sekarang dengan beranggapan bahwa medan skalar merepresentasikan sebagai energi gelap diperoleh 70,7%. Ini menunjukkan bahwa data pengamatan dengan model belum sepenuhnya bersesuaian. Dengan demikian pekerjaan ini akan dilanjutkan dengan persamaan Einstein dimodifikasi dengan model medan skalar-*Gauss-Bonnet*-vektor (SGV) untuk mengkaji implikasi dinamika pada kosmologi atas keberadaan materi gelap dan energi gelap.

Daftar Pustaka

- [1] Weinberg, S, 1972: *Gravitation and Cosmology*, John Wiley & Sons Inc., New York
- [2] Carmeli, M., *Classical Field: General Relativity and Gauge Theory*, John Wiley & Sons Inc., New York, (1982)
- [3] A. G. Riess, *et. al.*, Observational evidence from supernovae for accelerating universe and cosmology constan, *Astron J.* 116, 1009 (1998)
- [4] S.Perlmutter *et. al.*, *Nature* 391, 51 (1998).
- [5] M. Kowalski., *et. al.*, arXiv:0804.4142 (2008)
- [6] Carrol, S.M.,*et.al.*,*The Cosmology of generalized modified gravity models*, *Phys.Rev.D* (2005)
- [7] Amendola, L. and Tsujikawa, S., *Dark energy: Theory and Observations*, Cambridge Univ.Press, 2010
- [8] Sutiono, A., Bansawang, Suroso, A., Surungan, Tasrief., Zen, F.P., *Dynamical System of Gauss-Bonnet Model with Vector Field* , 2016
- [9] Matarrese, Sabino., *et al.*, *Dark matter and Dark Energy*, Springer, New York (2011).

PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER LISTRIK PADA RUMAH TAMBAK

BIDAYATUL ARMYNAH¹, SYAHIR MAHMUD²

Abstrak

Pada umumnya sebaran area tambak petani terletak di daerah pantai yang jauh dari perkampungan. Dalam suatu area tambak bisa terdiri dari beberapa pemilik tambak. Setiap pemilik tambak masing masing membangun rumah tambak yang saling berjauhan satu dengan lainnya. Topologi lokasi perumahan yang menyebar seperti itu merupakan suatu kendala tersendiri dan menyebabkan sulitnya untuk mendapatkan aliran listrik dari PLN. Oleh karena itu penerapan teknologi panel surya untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di lokasi tersebut merupakan solusi yang tepat. Panel Surya merupakan teknologi yang mengubah Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik. Kapasitas Panel Surya untuk Rumah Tambak yang dihasilkan dari Sel Surya yang merupakan Tujuan dari penelitian ini. Adapun metodenya adalah dengan cara menghitung kapasitas panel surya, diperlukan data beban yang akan disambungkan ke instalasi panel surya. Dalam hal ini diasumsikan bahwa untuk rumah tambak cukup menggunakan penerangan berdasarkan standar minimum yaitu sekitar 30 lux sampai 50 lux. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut cukup disediakan 5 titik cahaya dengan kapasitas 6 W dan satu buah charger HP dengan kapasitas 3,5 W. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sebagai sumber listrik berbasis tenaga surya untuk rumah tambak dipilih panel surya dengan kapasitas 80 Wp, battery dengan kapasitas 20 Ah, regulator dengan kapasitas 10Amper-12/24 Volt, dan Inverter dengan kapasitas 150 Watt.

Kata Kunci: panel surya , energy listrik, rumah tambak.

1. PENDAHULUAN

Masalah energi tampaknya akan tetap menjadi topik yang hangat diperbincangkan sepanjang peradaban umat manusia. Upaya mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai dibicarakan. Di masa yang akan datang, kebutuhan energi yang makin besar dan beragam tampaknya tidak bisa dihindari. Oleh sebab itu, pengkajian terhadap berbagai sumber energi baru tidak akan menjadi langkah yang sia-sia [1].

Energi dari bahan bakar seperti minyak bumi dan batu bara masih menjadi primadona di Indonesia sampai saat ini. Sebagian besar penduduk Indonesia masih bergantung pada bahan bakar ini. Namun, energi ini memiliki beberapa kelemahan seperti sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) dan dapat mencemarkan lingkungan. Energi ini juga akan habis jika pemakaiannya dilakukan secara terus menerus [2]. Energi lain selain minyak bumi dan batubara yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah energi angin, nuklir, gelombang, biogas, uap dan energi surya. Energi-energi tersebut sifatnya bersih, tidak berpolusi, aman dan persediaan yang tidak terbatas. Mengingat kebutuhan energi akhir-akhir ini sangat meningkat tajam, terutama dengan munculnya berbagai macam peralatan elektronika .

Disamping itu, kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau menyebabkan banyaknya daerah terpencil yang belum terjangkau listrik PLN. Oleh karena itu penggunaan teknologi sel Surya untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di daerah-daerah tersebut merupakan solusi yang tepat [5]

Dengan berlimpahnya potensi sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal dan masih ada sebagian wilayah Indonesia yang belum dijangkau jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Salah satu daerah tersebut adalah lokasi pertambakan, Pada umumnya sebaran area tambak petani terletak di daerah pantai yang jauh dari perkampungan. Dalam suatu area tambak bisa terdiri dari beberapa pemilik tambak. Setiap pemilik tambak masing masing membangun rumah tambak yang saling berjauhan satu dengan lainnya. Rumah tambak ini dimaksudkan sebagai rumah tinggal sementara selama masa proses penyemaian benih ikan, pemeliharaan hingga masa panen selesai. Topologi lokasi perumahan yang menyebar seperti itu merupakan suatu kendala tersendiri dan menyebabkan sulitnya untuk mendapatkan aliran listrik dari PLN.

Dengan adanya sumber listrik berbasis tenaga surya untuk rumah tambak akan mampu mengatasi masalah penerangan dan kebutuhan listrik lainnya selama dalam masa penyemaian benih hingga masa panen selesai. Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menghitung kebutuhan listrik Rumah Tambak.
2. Menghitung kapasitas panel surya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan listrik Rumah Tambak.
3. Menghitung kapasitas battery dan Regulator yang bersesuaian dengan kebutuhan listrik dan kapasitas Panel Surya.
4. Membuat gambar instalasi panel surya pada rumah Tambak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan energi merupakan indikator peningkatan kemakmuran masyarakat. Salah satu energi yang bisa dikembangkan adalah energi surya. Namun kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya fotovoltaik adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi.

Jika kita melihat tingkat konsumsi energi di seluruh dunia saat ini, penggunaan energi diprediksikan akan meningkat sebesar 70% antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. Kondisi tersebut bertolak belakang dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ke tahun. Sehingga kita dituntut untuk segera mencari sumber energi alternatif baru. Salah satu energi alternatif yang saat ini mulai dikembangkan adalah energi surya (energi matahari).[2]

2.1 Matahari

Matahari adalah sebuah bola gas yang memancarkan cahayanya sendiri. Bumi dan planet lainnya bergerak mengelilingi matahari yang berada di pusat tata surya. Bumi bergerak mengelilingi matahari dalam suatu orbit yang berbentuk elips (hampir berupa lingkaran). Pada titik terdekat pada tanggal 21 Desember bumi berjarak sekitar $1,45 \times 10^{11}$ m dari matahari, sementara pada titik terjauh (tanggal 22 Juni), bumi bergerak sekitar $1,54 \times 10^{11}$ m dari matahari. Waktu rata-rata matahari adalah waktu matahari setempat jika bumi

bergerak mengelilingi matahari dengan kecepatan konstan. Orbit yang bergerak elips menunjukkan bahwa bumi tidak bergerak dengan kecepatan konstan dan pada berbagai waktu, matahari timbul lebih cepat atau lebih lama dari pada waktu matahari rata-rata.[3]

2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu alat dari bahan semikonduktor yang memiliki sifat fotovoltaiik, yaitu dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung. Teknologi pembuatan *sel surya* (*solar cells*) umumnya menggunakan silikon. Hal ini disamping karena silikon merupakan bahan yang tersedia dalam jumlah besar ($\pm 25\%$ kerak bumi terdiri dari silikon), juga karena tingkat efisiensinya lebih tinggi dibandingkan bahan yang lain.

Melalui penggabungan bahan semikonduktor silikon tipe n dan tipe p, radiasi yang sampai ke permukaan sel dapat membangkitkan energi listrik dengan besar daya yang dihasilkan sel surya yaitu: [4]

$$P = V_{out} I_{out} \quad (1)$$

dengan:

V_{out} : Tegangan keluaran sel surya

I_{out} : Arus keluaran sel surya

2.3 Prinsip Kerja Sel Surya

Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik ini dapat terjadi karena pada dasarnya bahan utama penyusun sel surya adalah semikonduktor khususnya silikon. Sel surya pada dasarnya terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan sebuah dioda. Sederhananya, ketika cahaya matahari jatuh ke permukaan sel silikon, maka energi tersebut akan diserap oleh sel silikon. Hal ini berarti bahwa energi cahaya yang diserap telah ditransfer ke bahan semikonduktor. Energi yang tersimpan dalam semikonduktor ini, akan mengakibatkan elektron lepas dan mengalir dalam suatu arah tertentu. [2]

2.4 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi sel surya dapat dibagi menjadi dua, yaitu efisiensi sel surya komersil dan efisiensi sel surya skala laboratorium. Sel surya komersil yang sudah ada di pasaran memiliki efisiensi sekitar 12-15%. Sedangkan efisiensi sel surya skala laboratorium pada umumnya 1,5 hingga 2 kali efisiensi sel surya skala komersial. Hal ini disebabkan pada luas permukaan sel surya yang berbeda. Sel yang dipasarkan pada umumnya memiliki luas permukaan 100 cm^2 yang kemudian dirangkai menjadi modul surya yang terdiri atas 30-40 buah sel surya. Dengan semakin besarnya luas permukaan sel surya menyebabkan terdapat banyak efek negatif berupa resistansi rangkaian, cacat pada sel dan sebagainya.

2.5 Sistem Energi Fotovoltaiik

Untuk mengetahui jumlah dan ukuran panel yang diperlukan untuk memenuhi beban yang dibutuhkan, maka perlu diketahui kebutuhan energi dan karakteristik-karakteristik listrik beban sebagai berikut:

1. Arus dan tegangan maksimum
2. Membutuhkan tegangan yang tetap, yaitu 220 Volt.
3. Bekerja selama 8

Beban listrik yang menggunakan sistem energi fotovoltaiik, menghendaki adanya regulator tegangan, baterai sebagai penyimpan energi listrik dan inverter sebagai pengubah tegangan dari DC ke AC.[9]

2.6 Baterai

Baterai dapat menyimpan daya listrik yang nantinya dapat digunakan pada saat diperlukan. Jenis baterai yang paling cocok untuk aplikasi fotovoltaik adalah baterai yang tak bergerak (*stationary battery*), yang didesain untuk lokasi tetap serta pemakaian daya yang tidak teratur. Baterai yang tidak bergerak dapat menggunakan elektrolit seperti alkali (*Nickel-Cadmium*) atau asam (*Lead-Acid*). Baterai yang tidak bergerak memiliki ketahanan yang tinggi namun lebih mahal dan sulit untuk diperoleh daripada baterai timbal-asam. Di banyak kasus ketika sulit menemukan baterai yang tidak bergerak biasanya diganti dengan menggunakan baterai (aki) yang dirancang untuk mobil. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Disamping menyimpan daya, baterai bertimbal asam (*Lead-Acid*) juga dapat menyediakan daya seketika yang lebih kuat dibandingkan dengan apa yang dihasilkan oleh sekumpulan panel. Kapasitas penyimpanan sebuah baterai *lead-acid* dalam bentuk *Ampere-Hour* (Ah) maupun *Watt Hour* (Wh). Spesifikasi *Ampere Hour* menyatakan seberapa besar arus yang dapat diperoleh dari baterai tanpa memperhatikan tegangannya. Kapasitas dalam *Watt Hour* menyatakan seberapa besar energi yang dapat disimpan oleh baterai. Pihak pabrik cenderung mengkonversi baterai-baterainya dalam *Ampere Hour*, sehingga dalam penggunaan baterai sebagai penyimpan energi fotovoltaik.

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Tentunya, baterai akan mengeluarkan daya pada malam hari setiap kali sejumlah daya diperlukan. Baterai juga akan mengeluarkan daya ketika penyinaran tidak cukup untuk menutupi kebutuhan beban.[5]

2.7 Pemilihan Inverter

Inverter dapat mengubah arus DC dari baterai menjadi AC. Ada tiga faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih inverter adalah:

- a. Tipe gelombang yang dihasilkan
- b. Tegangan masukan
- c. Daya keluaran

Tipe gelombang yang dihasilkan oleh inverter sangat penting untuk diperhatikan terutama untuk beban AC. Pemilihan ukuran inverter yang baik, memungkinkan inverter tersebut mempunyai kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya tertinggi untuk waktu yang sangat singkat seperti ketika menghidupkan mesin. Pemilihan inverter diharapkan mempunyai regulasi yang baik, distorsi harmonik yang rendah, keandalan yang lebih baik dan efisiensi yang tinggi. Efisiensi inverter yang ada di pasaran berkisar antara 80 % sampai 95 %.[9]

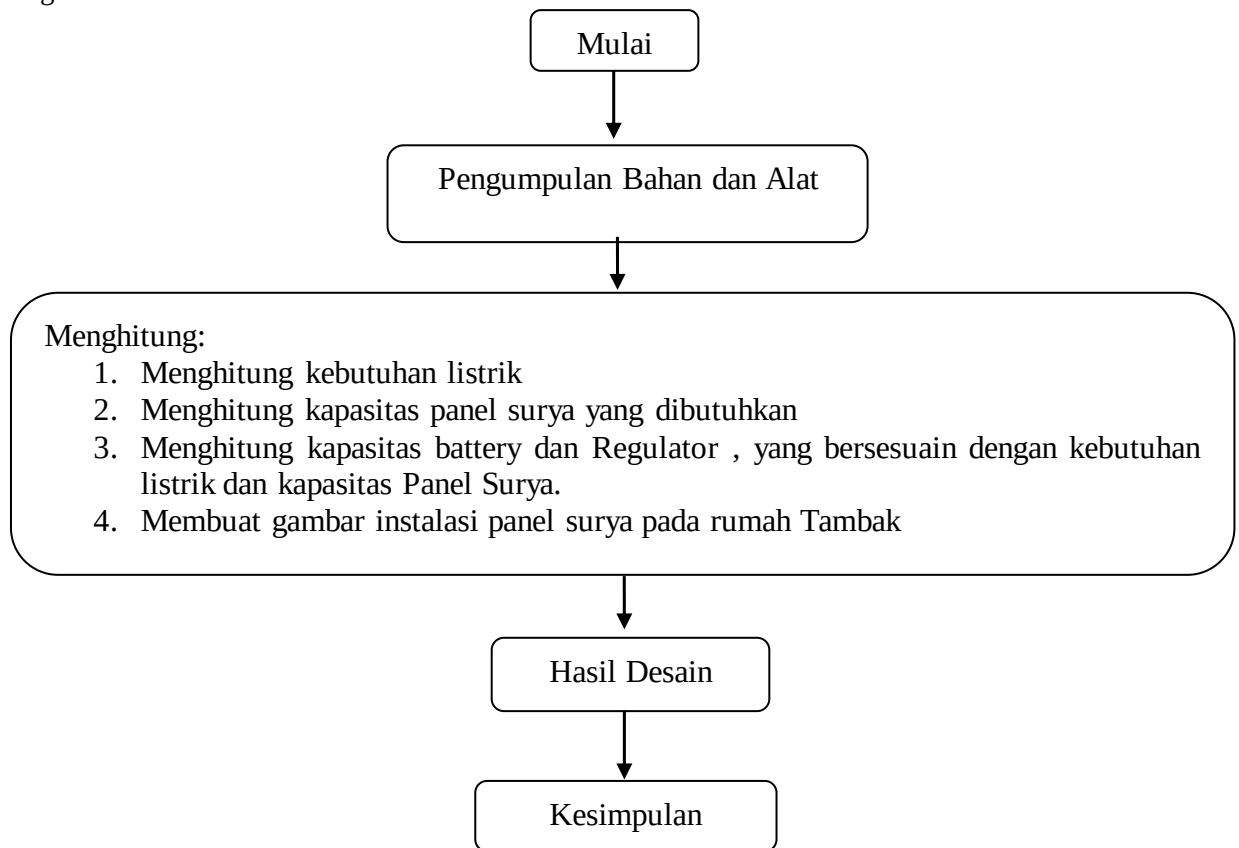
2.8 Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Satu buah Panel sel surya dengan kapasitas 80 Wattpeak (Wp) digunakan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik
- Satu buah Battery dengan kapasitas 20 Ah.
- Satu buah Regulator dengan kapasitas 10 Ampere- 12/24 Volt.

- Satu Inverter 150 Watt

Bagan Alir Penelitian:



3. HASIL

3.1 Analisis Kebutuhan Panel Surya

Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Untuk menentukan kapasitas panel surya diperlukan data beban yang akan disambungkan ke instalasi panel surya. Dalam hal ini diasumsikan bahwa untuk rumah tambak cukup menggunakan penerangan berdasarkan standar minimum yaitu sekitar 30 lux sampai 50 lux. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut cukup disediakan 5 titik cahaya dengan kapasitas 6 W dan satu buah charger HP dengan kapasitas 3,5 W. Dengan demikian total beban terpasang adalah 33,5 W dan besarnya kapasitas panel surya (P_{PS}) yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} P_{PS} &= \text{beban yang terpasang} \times 2,3 \text{ W}_p / \text{W} \\ &= 33,5 \text{ W} \times 2,31 \text{ Wp/W} \\ &= 77.385 \text{ Wp.} \end{aligned}$$

Untuk itu dipilih panel surya dengan kapasitas 80 Wp.

Perhitungan Kapasitas Battery

Realita kehidupan masyarakat petani tambak pada umumnya hanya membutuhkan penerangan hanya di awal malam saja, sehingga dapat diasumsikan bahwa waktu pemakaian listrik hanya berkisar antara 4 sampai 6 jam per malam. Dengan asumsi penggunaan lampu selama 6 jam maka, jumlah energi yang dibutuhkan adalah

$$E = \text{waktu pemakaian} \times \text{beban terpasang}$$

$$= 6 \text{ jam} \times 33.5 \text{ W} = 201 \text{ W-jam}$$

Dari kebutuhan energi tersebut dapat dihitung kapasitas battery adalah:

$$C_{\text{BATT}} = 201 \text{ W-jam} / 12 \text{ Volt}$$

$$= 16,75 \text{ Amper-jam biasa juga ditulis dalam satuan Amper hour (Ah)}$$

Untuk itu dipilih battery dengan kapasitas 20 Ah.

Penentuan Kapasitas Regulator

Berdasarkan perhitungan beban pada poin IV. 1.1 , besarnya arus puncak yang akan mengalir dari panel surya adalah :

$$I_{\text{PS}} = 80 \text{ Wp} / 12\text{V}$$

$$= 6,7 \text{ Amper}$$

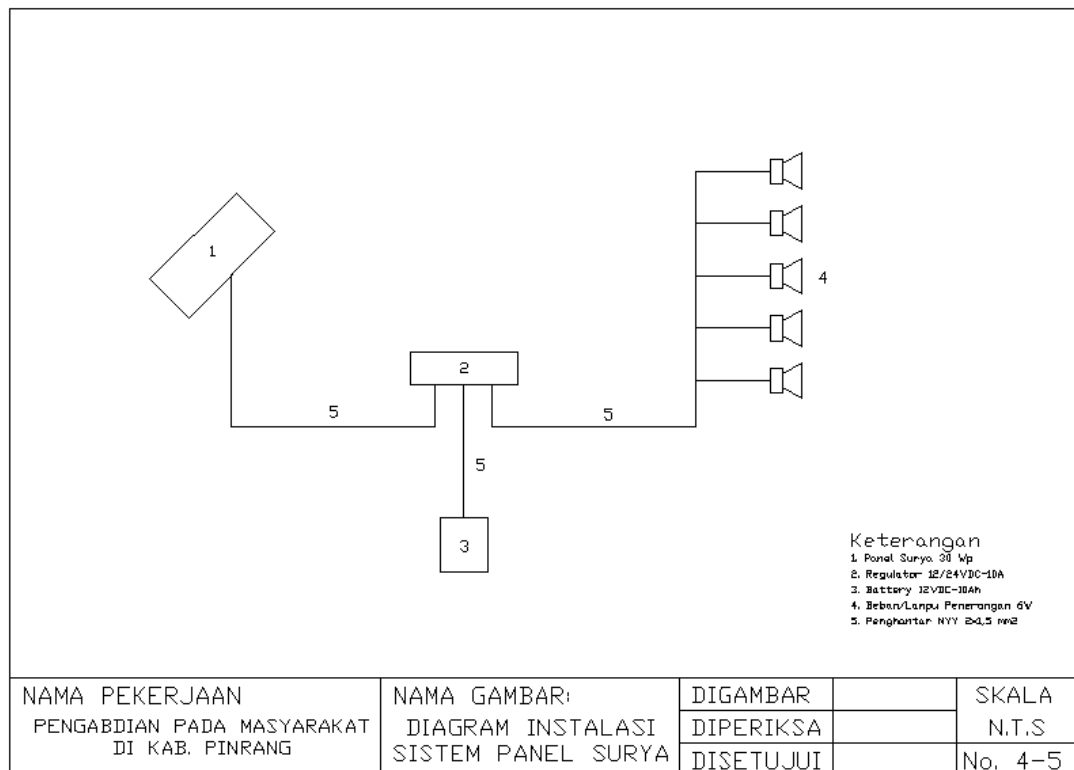
Dan besarnya arus beban adalah:

$$I_{\text{B}} = 33.5 \text{ W} / 12 \text{ Volt}$$

$$= 2,8 \text{ Amper}$$

Dari kedua perhitungan tersebut terlihat bahwa arus terbesar yang mengalir dalam sistem penerangan panel surya adalah 6,7 Amper. Dengan demikian dipilih regulator dengan kapasitas 10Amper-12/24 Volt sesuai standar rating yang tersedia.

3.2 Gambar Diagram Instalasi Sistem Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Rumah Tambak



3.3 Layout Instalasi Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Rumah Tambak

Daftar Pustaka

- [1] Wallery, W.W. 1996. *Teknologi Sel Surya : Perkembangan Dewasa Ini dan Yang Akan Datang*. ITB. Bandung <http://www.energi.lipi.go.id>. Di akses 12 Juni.
- [2] Iyang, dkk. 2008. *Pembangkit listrik tenaga surya*. EEPIS-ITS Surabaya. Di akses 3 april 2009.
- [3] Darmodjo & Kaligis. 2004. *Matahari Ilmu Alamiah Dasar*. Pusat Penerbitan Universitas Terbuka. Jakarta. <http://id.wikipedia.org/wiki/Matahari>. Diakses 8 oktober.
- [4] W. Sabon Yohanes. 2005. *Penentuan Efisiensi Kerja Panel Sel Surya*. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- [5] Anonim. *Wdw Pembangkit Daya surya- speedywiki.mht*. <http://opensource.telkomspeedy.com/wiki/index>. Diakses 8 september 2009.

KEMAMPUAN MAHASISWA MENDESKRIPSIKAN DAN MENGASOSIASI HUBUNGAN ANTAR KOMPONEN FISIS TANAH LONGSOR

DJELI TULANDI¹

¹ Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Manado, e-mail: d.tulandi@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk 1.) Mengetahui kemampuan kelompok mahasiswa dalam mendeskripsikan pengetahuan umum tanah longsor berdasarkan kondisi ril di lapangan. 2.) Mengetahui kemampuan mendeskripsikan dan mengasosiasi hubungan konteks-konsep peristiwa alam tanah longsor. Desain penelitian yang digunakan yaitu *treatment by subject*. Subjek dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa peserta kuliah Kajian Pembelajaran berbasis Lingkungan, semester IV Prodi pendidikan fisika. Subjek terdiri dari 3 kelas dengan jumlah mahasiswa 60 dan keseluruhan mahasiswa dibagi ke dalam 5 kelompok dan masing-masing kelompok terdiri dari 12 mahasiswa. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan 1.) Laporan tugas kelompok mahasiswa. Teknik analisis data menggunakan persentase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skor capaian yang diperoleh sangat bervariasi untuk setiap kelompok, dan menunjukkan ada peningkatan menurut evaluasi setelah perlakuan-2, dan perlakuan-3. Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa kemampuan mahasiswa meningkat dalam hal mendeskripsikan pengetahuan umum tanah longsor berdasarkan kondisi ril di lapangan. Ada peningkatan kemampuan mahasiswa dalam mendeskripsikan dan melakukan asosiasi hubungan konteks tanah longsor dengan konsep fisika terkait.

Kata Kunci: Tanah longsor, Kemampuan Mahasiswa, mengasosiasi dan mendeskripsikan
Tuliskan abstrak di sini.

1. PENDAHULUAN

Daerah yang mempunyai struktur tanah yang labil dan berada di lereng gunung dan tebing pada umumnya akan mudah longsor. Frekuensi gempa dan curah hujan yang relatif tinggi, angin puting beliung serta gelombang pasang yang pada musim angin barat, utara, dan selatan mengakibatkan setiap saat bisa terjadi bahaya tanah longsor, erosi permukaan dan bahaya banjir (Tugino, T., 2012). Bagi masyarakat yang tinggal di daerah yang rawan longsor hal ini merupakan masalah serius karena hampir setiap tahunnya daerah ini dilanda oleh bencana alam yang memporak-porandakan pemukiman warga, lahan pertanian, merusak berbagai fasilitas umum yang pada akhirnya bermuara pada kerugian material dan korban jiwa. Fakta-fakta bencana yang terjadi selama ini menunjukkan perlunya pengetahuan tentang tanah longsor sehingga bencana dapat diantisipasi.

Kesadaran dan pemahaman dari warga masyarakat dalam memelihara lingkungan hidup masih kurang (Darmawan.L., 2016). Masyarakat umumnya mempunyai anggapan bahwa lingkungan hidup akan selalu mampu memulihkan daya dukung dan kelestarian fungsinya. Hal ini menyebabkan masyarakat tidak ikut serta dalam menjaga lingkungan hidup dan yang makin diperparah lagi dengan berbagai permasalahan mendasar seperti kemiskinan dan keterbelakangan. Kearifan-kearifan lokal berupa petuah yang banyak kali diingatkan oleh orang tua masa dulu bahwa tidak boleh menebang pohon bambu dan pohon besar yang tumbuh di tepi pesisir sungai (tetapi harus menanamnya lebih banyak lagi), sudah mulai hilang dan perhatian dari masyarakat mulai berkurang. Warga masyarakat juga tidak dianjurkan untuk membuka lahan perkebunan didaerah pinggiran sungai guna menjaga kelestarian pohon bambu tersebut.

Tulandi (2016) dalam tulisannya menjelaskan bahwa pembelajaran fisika tidak lepas dari alam sekitar, beberapa kasus pada fisika tidak hanya dapat dijelaskan melalui persamaan atau rumus, tapi bisa dipahami dengan pemberian pengalaman langsung kepada mahasiswa untuk mempelajari hubungan sebab akibat antara faktor yang mempengaruhi atau mengendalikan fenomena fisis. Penguasaan mahasiswa terhadap hubungan faktor dengan fenomena serta kemampuan mendeskripsikan hubungan konteks dengan konsep akan memberikan penguatan dan penguasaan konsep fisika secara utuh (Silangen 2015). Prinsip pembelajaran menurut permen Nomor 103 tahun 2014 menjelaskan bahwa peserta didik difasilitasi untuk mencari tahu, peserta didik harus belajar dari berbagai sumber dan proses pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah. Popov (2008) menunjukkan bahwa siswa dapat dilatih untuk memahami konsep-konsep fisika melalui dunia nyata di sekitarnya. Siswa dapat belajar logika hukum-hukum fisika yang berlaku di alam.

Kompetensi lulusan siswa SMA meliputi pengetahuan, sikap dan ketrampilan. Dalam implementasi pembelajaran fisika ketiga ranah ini harus terintegrasi (permendikbud no.65 tahun 2013). Untuk mencapai kompetensi lulusan dimaksud dibutuhkan guru yang memiliki kompetensi yang mampu menerapkan strategi pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik materi, karakteristik siswa dan ketersediaan fasilitas baik fasilitas pembelajaran maupun fasilitas laboratorium(sekolah dan alam). Untuk mensikapi hal tersebut maka dibutuhkan guru fisika yang mampu berkreasi dan inovatif. Pembelajaran tematik merupakan suatu proses pembelajaran menggunakan tema-tema yang terkait dengan fenomena alam dan masyarakat yang tidak lepas dari kehidupan yang paling dekat dengan siswa. Tema-tema yang dapat diangkat sebagai bahan pembelajaran antara lain tema siklus air, tanah longsor, energi dll. Ketersediaan lingkungan alam seperti Air terjun dan danau Tondano sebagai laboratorium alam akan memudahkan guru menerapkan pembelajaran saintifik. Keterbatasan guru dalam hal merancang pembelajaran berbasis alam, rendahnya penguasaan model-model pembelajaran dengan pendekatan ilmiah mendorong peneliti untuk melakukan penelitian yang menganalisis kemampuan calon guru(mahasiswa). Hasil survei menunjukkan bahwa siswa tidak terbiasa dengan pembelajaran kooperatif dan berinteraksi dalam kelompok kecil yang melakukan proses Sains (Tumangkeng, pada tahun 2013; Rende, 2013). Instruksi dari belajar interaksi dalam kelompok kecil sangat penting dalam pengembangan pembelajaran berbasis kegiatan siswa. Berdasarkan hasil penelitian, Institut Fisika Amerika juga menunjukkan bahwa kelompok kecil belajar kolaboratif adalah perintah yang paling meyakinkan bagi lingkungan belajar (Heller et al., 1992).

Metode yang digunakan dalam pembelajaran tematik bermacam-macam agar siswa tidak merasa bosan seperti; karya wisata, tanya jawab, eksperimen, pemberian tugas, demonstrasi, pemecahan masalah, diskusi kelompok, dan pengamatan. Penilaian dalam

pembelajaran tematik tidak hanya ditekankan pada segi kognitif tetapi juga pada psikomotor dan afektif.

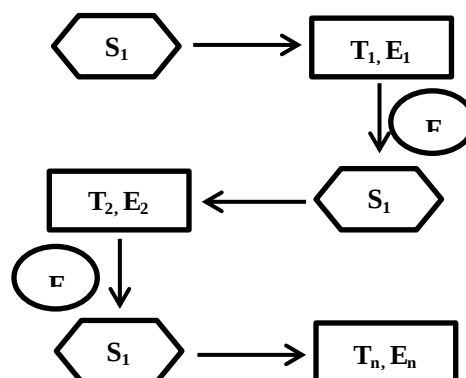
2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Rancangan dalam penelitian ini yaitu metode analisis deskriptif dengan tujuan menganalisis dan mendeskripsikan kemampuan kelompok mahasiswa dalam merumuskan prosedur pengukuran dan prosedur perhitungan serta analisis untuk menghasilkan rumusan konsep dari fakta/fenomena. Desain penelitian ini yaitu penelitian sama subjek (*Treatment by Subject Design*), dengan tujuan melihat kemampuan kelompok mahasiswa dalam pemahaman materi tugas dan mengerjakan tugas khususnya pada proses merumuskan prosedur pengukuran dan prosedur perhitungan serta analisis untuk menghasilkan rumusan konsep dari fakta/fenomena. Skema rancangan penelitian sama subjek (*Treatment by Subject Design*) (Dimitrov dan Rumrill dalam Solang, 2015).

2.2 Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa peserta kuliah Pembelajaran Fisika berbasis lingkungan(PFBL), semester 4 jurusan fisika, prodi pendidikan fisika, FMIPA, UNIMA, tahun akademik 2016/2017



Gambar .1 Rancangan Penelitian

2.3 Prosedur Penelitian

- (1) Membagikan format isian/format pengamatan.
- (2) Memberikan arahan kepada tiap kelompok mahasiswa peserta kuliah KFS 2 dalam mengerjakan tugas format 5.
- (3) Pemberian tugas awal (merumuskan prosedur pengukuran dan analisis untuk menghasilkan rumusan konsep dari fakta/fenomena).
- (4) Pemberian perlakuan 1 dan pemberian masukan untuk memperbaiki tugas.
- (5). Evaluasi capaian 1 (pemahaman mahasiswa mengenai capaian mengerjakan tugas)
- (6). Pemberian perlakuan 2 dan pemberian masukan untuk memperbaiki tugas.
- (7). Evaluasi capaian 2 (pemahaman mahasiswa mengenai capaian mengerjakan tugas)
- (8). Dan seterusnya, jika masih ada kelompok mahasiswa yang melakukan perbaikan.

2.4 Teknik Analisis Data

Menurut Sugiono (2014), analisis data adalah proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi, dengan cara mengorganisasikan data ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari, dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri maupun orang lain.

Teknik analisis data penelitian ini yaitu:

Untuk mencari persentasi data maka digunakan persamaan :

$$\% \text{ Capaian tugas} = \frac{\text{Hasil yang dicapai}}{\text{Nilai maksimal}} \times 100\% \quad (\text{Supardi, 2015})$$

Tabel 1. Kriteria keberhasilan belajar kelompok

Skor Persentasi	Kriteria Keberhasilan
<60%	Kurang baik
>60% - 75%	Cukup
>76% - 99%	Baik
100%	Sangat baik

3. HASIL

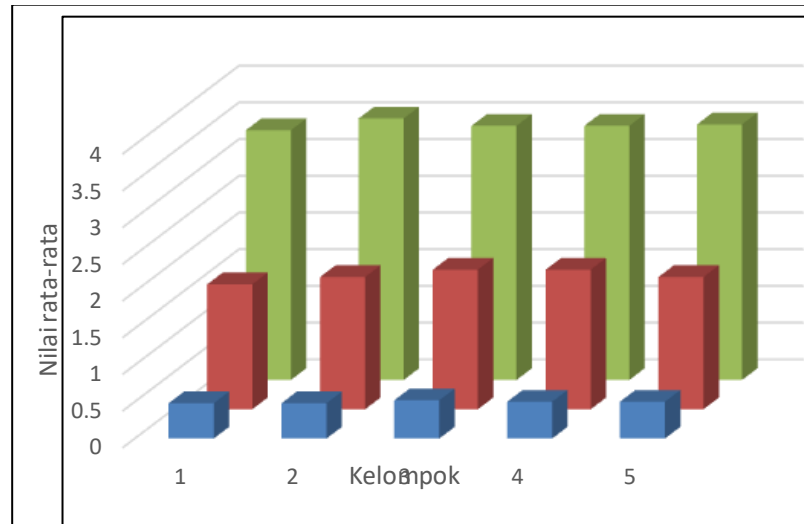
3.1 Hasil Pengamatan di Kelas

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap I dilakukan di dikelas melalui kegiatan diskusi, dan tanya jawab untuk mahasiswa semester IV prodi pendidikan fisika yang ambil mata kuliah pembelajaran fisika berbasis lingkungan semester genap 2016/2017. Jumlah mahasiswa seluruhnya 60 orang, dibagi dalam 5 kelompok yang masing-masing kelompok ada 12 anggota. Kepada mahasiswa diberi tugas berimajinasi/membayangkan tentang Danau Tondano, dan mengisi format pengamatan. Yang diinginkan dari diskusi ini adalah untuk melihat kemampuan mahasiswa mengidentifikasi dan mendeskripsikan fenomena yang kemungkinan ada di danau Tondano, seperti adanya ombak, ada perahu bergerak di atas permukaan air, ada tanaman enceng gondok dll. Hasil diskusi dan pekerjaan mahasiswa ini ditabulasi dalam tabel berikut.

Tabel 2. nilai rata-rata setiap kelompok untuk mendeskripsikan tugas

uraian Tugas	Nilai rata-rata Kelompok-1			Nilai rata-rata Kelompok-2			Nilai rata-rata Kelompok-3			Nilai rata-rata Kelompok-4			Nilai rata-rata Kelompok-5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
UT-1	0,4	1,5	3	0,4	1,5	3,5	0,4	2	3	0,4	2	3	0,4	1,5	3
UT-2	0,5	1,5	3,5	0,5	1,5	3,5	0,5	1,5	3,5	0,6	1,5	3,5	0,5	2	3,6
UT-3	0,5	1,5	3,5	0,5	2	3,5	0,6	2	3,5	0,5	2	3,5	0,6	1,5	3,5
UT-4	0,6	2	3,5	0,6	2	3,8	0,6	2	3,8	0,6	2	3,8	0,6	2	3,8
UT-5	0,4	2	3,5	0,4	2	3,5	0,5	2	3,5	0,4	2	3,5	0,4	2	3,5
rata-rata	0,48	1,7	3,4	0,48	1,8	3,56	0,52	1,9	3,46	0,5	1,9	3,46	0,5	1,8	3,48
% capaian	12	42,5	85	12	45	89	13	47,5	86,5	12,5	47,5	86,5	12,5	45	87

Tabel 2 di atas menginformasikan bahwa pada treadmen-1 umumnya mahasiswa mendapat nilai kurang, karena ketika di kelas siswa diminta mengisi format tugas dan umumnya belum siap, dalam arti belum membaca materi dan kurangnya pengalaman. Sementara itu gambar 1 dibawah memberi informasi bahwa rata-rata capaian siswa meningkat setelah treadment -1.



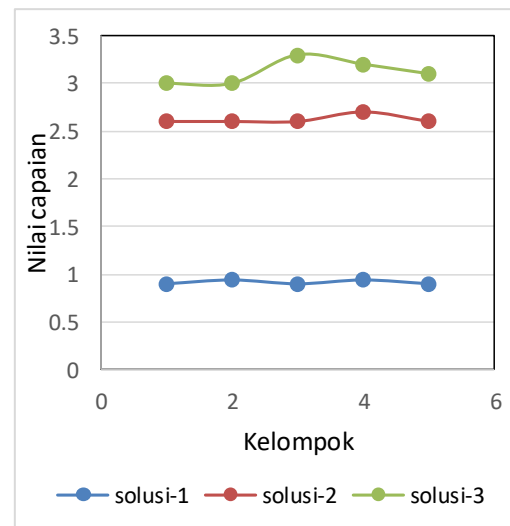
Gambar 1. rata-rata capaian

3.2 Hasil Pengamatan di Lapangan

Mahasiswa dibawah kesuatu lokasi pengamatan tanah longsor yakni di salah satu titik longsor di daerah jalan raya Tondano- Kamangta/koka. Dengan membawa format dan setelah ada pembekalan dan latihan, mahasiswa diminta mengidentifikasi penyebab tanah longsor dan upaya-upaya pencegahan terjadinya tanah longsor. Kurang lebih satu jam dilakukan pengamatan, dan hasil pengamatan dan anlisis ditampilkan dalam gambar berikut



Gambar 2. Suasana pengambilan data dilapangan



Gambar 3. Grafik nilai capaian kelompok

Selain pengetahuan umum yang perlu diketahui mahasiswa, juga hubungan konteks dan konsep yang perlu dideskripsikan. Berikut ini tabel data tentang rata-rata capaian kelompok mahasiswa untuk deskripsi konteks-konsep. Komponen fenomena yang dideskripsikan antara lain terkait konsep energi, gravitasi, tumbukan, gerak di bidang miring, getaran dan konsep adhesi-kohesi

Tabel 3. Rata-rata % capaian kelompok untuk Setiap treadmen

Kelompok	rata-rata % capaian kelompok untuk setiap treadmen		
	I	II	III
kelompok-1	17,88	55,75	84,63
kelompok-2	20,75	59,50	84,38
kelompok-3	27,00	64,50	90,50
kelompok-4	20,75	59,50	85,13
kelompok-5	27,00	55,75	84,63

3.3 Pembahasan

Kegiatan pada tahap-1 yang merupakan simulasi pengisian format, sangat membantu mahasiswa mendapatkan pengalaman berimajinasi tentang alam khususnya alam Danau Tondano. Kepada mahasiswa diberi 4 pertanyaan dan meminta mahasiswa menjawabnya dan ternyata pada perlakuan I, jawaban setiap kelompok mahasiswa belum memadai/belum sesuai harapan. Hal ini disebabkan karena pengetahuan mahasiswa tentang danau Tondano masih kurang karena kurang membaca referensi terkait Danau Tondano. Ketika setelah pekerjaan mahasiswa diperiksa dan diberi saran –saran (treadmen-2), setelah dikerjakan ternyata hasil kerja kelompok mengalami peningkatan. Bahkan setelah treadmen-3 jawaban setiap kelompok sudah baik.

Proses pengamatan dan mendeskripsikan tugas lebih banyak dikerjakan oleh kelompok. Belajar kelompok dengan tujuan untuk memecahkan permasalahan yang ada. Tujuan dari belajar kelompok adalah untuk mengembangkan cara berpikir kritis dalam memecahkan masalah, mengembangkan kemampuan bersosialisasi dan komunikasi, meninggikan rasa percaya diri terhadap kemampuannya sendiri. Selain itu, belajar kelompok juga bertujuan agar siswa dapat memahami dan menghargai orang lain.

Pada tahap-2 dimana pengamatan dilakukan pada fenomena tanah. Mahasiswa diperhadapkan dengan fenomena alam yang baru (bukan lagi fenomena danau) dan kepada mahasiswa diminta mendeskripsikan 3 hal.(1). Terkait pengetahuan umum tanah longsor, (2) mendeskripsikan pengetahuan umum tanah longsor berdasarkan kondisi ril dilapangan,(3) mendeskripsikan konteks-konsep. Pada perlakuan I dimana setiap kelompok mahasiswa menjawab/mendeskripsikan pertanyaan yang diajukan melalui format, ternyata jawabannya juga belum memadai sebagaimana data yang ditunjukkan pada gambar 42. Dan 4.3. Walaupun mahasiswa sudah mendapat pengalaman di tahap-1, namun karena ini masalah/fenomena yang baru sehingga jawaban kelompok belum meyakinkan karena memang hanya diberi waktu singkat untuk menjawab pertanyaan. Peningkatan mulai nampak setelah treadmen-2 dan treadmen-3. Dengan memberi masukan(treadmen perbaikan terhadap tugas, mahasiswa dapat memperbaiki

kekurangannya dan seterusnya pada pertemuan III mahasiswa mendapat hasil yang semakin baik. Hal ini menunjukkan bahwa saran-saran dan arahan yang diberikan saat pembimbingan pada setiap pertemuan berjalan lancar. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tulandi, D.2016.

Hal yang menarik disini bahwa kerjasama tim sudah baik, saling menghargai pendapat orang lain tergambar dari kekompakan mereka berdiskusi. Beberapa kelompok sudah mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritisnya. Seperti jawaban yang mereka tulis. Ketika hujan deras maka air meresap ke tanah, tanah menjadi basah dan akan menjadi lumpur ketika hujan turun agak lama dan kondisi seperti itu gaya kohesi dimana gaya tarik antar molekul sejenis menjadi lemah, tanah yang tadinya menyatu menjadi butir-butir tanah dan mudah bergerak kebawah jika tanah berada dilereng.

Jika didaerah tersebut tidak ada tumbuhan-tumbuhan berupa kayu besar, atau rumpun bambu, atau pohon enaw dan pohon lainnya maka akan mempercepat terjadinya longsor, demikian halnya jika ada bebatuan namun tidak tersusun dengan pola saling menopang dari dasar sampai ke puncak lereng ditambah dengan struktur tanah yang tidak padat, kondisi ini juga akan mempercepat terjadinya longsor. Kelompok mahasiswa juga sudah mampu menjelaskan hubungan asosiasi konteks dan konsep. Dengan melakukan eksperimen sederhana seperti benda jatuh, gerak benda pada papan luncur, dan energi yang ditimbulkan tanah longsor akan besar jika tanah bergerak dengan material dalam jumlah besar dan pada lokasi yang relatif tinggi. Pengalaman-pengalaman yang di alami mahasiswa dalam mengkaji perilaku alam penting baginya dalam mempertajam komepetensinya sebagai calon guru fisika, karena ilmu fisika dibutuhkan untuk mempelajari perilaku alam dalam berbagai bentuk gejala (Linuwih. S, 2014). Deskripsi tentang penyebab tanah longsor yang sudah dirumuskan sendiri oleh setiap kelompok akan meningkatkan kualitas belajar. Hal ini sejalan dengan pendapat dari Marnita, 2013 yang mengatakan bahwa fakta ilmiah maupun konsep yang ditemukan sendiri oleh mahasiswa akan lebih bertahan lama dalam memorinya dibandingkan dengan materi yang di suguhkan oleh pengajarnya. Melalui model pembelajaran dengan pemberian tugas berulang disertai evaluasi secara kontinu akan nampak peran guru sebagai fasilitator, pembimbing dan konsultan, guru/dosen sebagai kawan belajar. Pada bagian ini diuraikan hasil-hasil yang diperoleh. Rumus yang t diacu, sebaiknya diberi nomor. Bukti lemma dan teorema dapat diberikan sesuai dengan aturan yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasannya, maka kesimpulan penelitian ini dapat dikemukakan sebagai berikut. Melalui tahapan aktivitas oleh kelompok mahasiswa, mereka mampu mendeskripsikan pengetahuan umum tanah longsor berdasarkan kondisi ril dilapangan. Kelompok mahasiswa mampu mendeskripsikan dan melakukan asosiasi hubungan konteks tanah longsor dengan konsep fisika terkait.

Daftar Pustaka

- [1] Darmawan, L., Weldi, R. 2016. Analisis tingkat partisipasi masyarakat dalam mengelola lingkungan berbasis masyarakat. *UEU-Undergraduate*-8171-jurnal
- [2] Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). *Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group verses individual problem solving and Part 2: Designing problems and structuring groups*. American Journal of Physics, 60(7).

- [3] Linuwih , A. 2010. Latar Belakang Konsepsi Paralel Mahasiswa Pendidikan Fisika dalam Materi Dinamika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 6 (1): 69-73. ISSN: 1693-1246. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 10 (2): 158-162. P-ISSN: 1693-1246 E-ISSN: 2355-3812.
- [4] Marnita, 2013. Peningkatan Keterampilan Proses Sains Melalui Pembelajaran Kontekstual Pada Mahasiswa Semester I Materi Dinamika. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*: 9 (2) 43-52, ISSN: 1693-1246.
- [5] Medellu, Ch. (2013). The survey on the teacher readiness to design and implement the learning derived from the surrounding environment. Physics Department, Manado State University. *International Education Studies*; Vol. 8, No. 4; 2015 ISSN 1913-9020 E-ISSN 1913-9039 Published by Canadian Center of Science and Education
- [6] Peraturan menteri pendidikan dan kebudayaan Republik indonesia Nomor 103 tahun 2014.
- [7] Popov, O. (2008). *Developing Outdoor Physics Project Using Activity Theory Framework*. Retrieved from <http://www.divaportal.org/smash/get/diva2:318676/FULLTEXT01.pdf>
- [8] Solang, Jonathan. 2015. *Efektivitas Pembelajaran Fisika Berbasis Masalah Menggunakan Simulasi/Animasi Dalam Meningkatkan Hasil Belajar Siswa*. [Skripsi]. Tondano, Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Manado.
- [9] Sugyono. 2014. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: PT. Alfabeta.
- [10] Supardi. 2015. *Penilaian Autentik Pembelajaran Afektif, Kognitif dan Psikomotor*. Jakarta: Rajagrafindo Persada. ISBN: 978-979-769-886-7.
- [11] Tulandi,D. 2016. *The Evaluation of Students' Procedural Knowledge Ability and Identifying, Analyzing, Classifying the Subject Matters of High School Physics Textbook in Tiered Task -1*, IRA-International Journal of Education & Multidisciplinary Studies ISSN 2455–2526; Vol.05, Issue 02 (2016) Pg. no. 58-65
- [12] Tugino Thok., 2012. Peristiwa Alam Beserta Dampaknya. Media belajar. <http://www.medibelajar.cf>
- [13] Tulandi,D.,2017.Efektivitas Bimbingan Tugas Mahasiswa dalam Melakukan Asosiasi Fenomena Fisis dan Merumuskan Model Matematika Sederhana pada Mata Kuliah Kajian Fisika II. *JPPPF - Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika Volume 3 Nomor 1*, Juni 2017.

PENGARUH PENAMBAHAN *POLYETHYLENE GLYCOL* (PEG) TERHADAP SIFAT MAGNETIK DAN SIFAT LISTRIK MAGHEMIT (γ -Fe₂O₃) YANG DISINTESIS DARI MAGNETIT BATUAN BESI

DWI PURYANTI*, MUHAMMAD IKHSAN, ARIF BUDIMAN

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas, Padang
Kampus Limau Manis, Pauh Padang 25163
*dwipuryanti@yahoo.co.id

Abstrak

Sintesis magnetit dari biji besi Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok Sumatera Barat telah dilakukan dengan metode kopresipitasi. Selanjutnya dari magnetit tersebut disintesis maghemit tanpa dan dengan penambahan PEG melalui oksidasi pada temperatur 400 °C selama 3 jam. Variasi PEG yang digunakan yaitu sampel tanpa penambahan PEG, sampel dengan penambahan PEG-2000, PEG-4000, dan PEG-6000. Maghemit yang dihasilkan dikarakterisasi sifat magnetik menggunakan VSM, dan sifat listrik menggunakan LCR-meter. Karakterisasi sifat magnetik menggunakan VSM menghasilkan nilai koersivitas berturut-turut yaitu 250 Oe, 193 Oe, 203 Oe, 178 Oe. Karakterisasi sifat listrik menggunakan LCR-meter menghasilkan nilai resistivitas berturut-turut 25786,2 Ω m, 11362,9 Ω m, 11648,1 Ω m, 6769,6 Ω m. Hasil karakterisasi sifat magnetik dan sifat listrik menunjukkan bahwa penambahan PEG mengurangi nilai koersivitas dan resistivitas maghemit.

Kata Kunci: Maghemit, PEG, VSM, LCR-meter, resistivitas

1. PENDAHULUAN

Mineral magnetik termasuk mineral yang penting dalam aplikasi pada banyak industri listrik dan elektronik. Mineral-mineral tersebut diantaranya adalah magnetit (Fe₃O₄), hematit (α -Fe₂O₃), dan maghemit (γ -Fe₂O₃). Magnetit yang berwarna hitam banyak digunakan sebagai tinta kering (*toner*) pada mesin *photo-copy* dan printer laser, Yulianto dkk [1]. Hematit yang berwarna merah sering digunakan sebagai zat warna. Maghemit digunakan dalam bidang media perekam magnetik, teknologi nanopartikel yaitu pada pengobatan sel kanker secara *hyperthermia*, Yulianti dkk [2].

Mineral-mineral magnetik tersebut dapat merupakan bahan buatan atau bahan alami. Bahan buatan merupakan bahan yang disintesis terlebih dahulu melalui pencampuran beberapa bahan kimia dengan metoda tertentu sehingga dapat menghasilkan mineral dengan tingkat kemurnian, dan keseragaman bentuk dan ukuran partikel yang tinggi. Proses ini memerlukan waktu yang cukup lama dan memerlukan biaya yang cukup besar, sehingga menyebabkan harganya mahal. Sebaliknya, bahan magnetik alami sudah

terbentuk secara alami dan dapat ditemukan pada batuan-batuan yang ada di permukaan bumi. Bahan alami ini dapat diperoleh dengan mudah dan biaya yang murah, tetapi tingkat kemurniannya dan keseragaman bentuk dan ukuran partikel yang tidak terjamin.

Metoda-metoda yang dapat digunakan untuk mensintesis mineral magnetik yaitu, metoda sol-gel, metoda *solidstate*, dan metoda kopresipitasi. Metoda sol-gel memiliki kelemahan pada reaksi dari bentuk sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) ke gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol), karena banyak faktor yang harus diperhatikan saat proses hidrolisis dan kondensasi. Faktor-faktor tersebut antara lain pH, jumlah air yang digunakan, serta kondisi pengeringan. Metode *solidstate* memiliki kelemahan pada suhu pemanasan sangat tinggi dan sulit untuk mengatur homogenitas. Pada penelitian ini kita menggunakan metode kopresipitasi. Metode ini memiliki kelebihan yaitu suhu kalsinasi yang rendah, West [3]. Untuk memperoleh bentuk dan ukuran partikel yang lebih seragam, biasanya ke dalam mineral magnetik yang disintesis ditambahkan *Polyethylene Glycol* (PEG).

Keberadaan maghemit di alam sangat kecil dibandingkan dengan magnetit. Penambahan oksigen (oksidasi) pada magnetik akan mengubah magnetit menjadi maghemit dan hematit bergantung pada temperatur yang digunakan, Yulianto dkk [4]. Oksidasi magnetit menjadi maghemit merupakan reaksi topotaktis yakni transformasi fasa tanpa disertai perubahan struktur kristal. Artinya magnetit dan maghemit memiliki struktur kristal yang sama, Cornell & Schwertmann [5].

Maghemit yang dihasilkan dari oksidasi magnetit ditandai dengan perubahan warna dari hitam menjadi coklat kemerahan, Yulianto dkk [1]. Beberapa penelitian sudah berhasil mensintesis magnetit menjadi maghemit. Nengsi [6] telah berhasil mensintesis maghemit dari magnetit yang dioksidasi pada temperatur 400 °C dengan variasi waktu oksidasi 1,0 jam, 5,0 jam, 10 jam, dan 15 jam. Menurut Lepp [7], perubahan magnetit menjadi maghemit dimulai pada suhu 200 °C dan mencapai puncaknya pada suhu 400 °C.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis maghemit dari magnetit yang ditambahkan dengan PEG-2000, PEG-4000, PEG-6000, dan satu sampel tanpa penambahan PEG yang dioksidasi pada temperatur 400 °C selama 3,0 jam. Mineral magnetik yang digunakan berasal dari batuan besi yang diperoleh dari Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok Sumatera Barat. Mineral magnetit dari batuan besi tersebut diperoleh dengan menggunakan metoda kopresipitasi. Selanjutnya, dilakukan karakterisasi sifat magnetik dan listrik dari maghemit yang dihasilkan. Karakterisasi sifat magnetik ditentukan dari hasil pengukuran menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dan sifat listrik ditentukan dari hasil pengukuran menggunakan LCR-meter.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Destruksi Bijih Besi

Sampel bijih besi yang diperoleh dari daerah Surian kabupaten Solok diolah menjadi serbuk besi dengan mesin *grinding* di daerah Lubuak Silasia Kabupaten Solok Sumatera Barat. Serbuk besi tersebut diayak dengan menggunakan ayakan yang berukuran 200 mesh. Selanjutnya magnet permanen digunakan untuk memisahkan mineral magnetik dengan mineral nonmagnetik.

2.2 Sintesis Magnetit (Fe_3O_4)

Sintesis magnetit (Fe_3O_4) dilakukan dengan cara mengambil 10 g sampel mineral

magnetik yang telah dipisahkan lalu dicuci dengan aquades, lalu ditambahkan HCl, dipanaskan pada suhu 90 °C dan diaduk selama 60 menit dengan *magnetic stirrer*. Hasil pengadukan di tuangkan ke dalam gelas yang di tutup dengan kertas saring, dan biarkan menetes sampai cairan habis. Larutan yang terhasil ditambahkan dengan NH₄OH dan didiamkan selama 30 menit sehingga terjadi pengendapan. Hasil pengendapan dicuci dengan aquades sampai bersih kemudian ditambahkan PEG yang sudah dicairkan dan dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit.

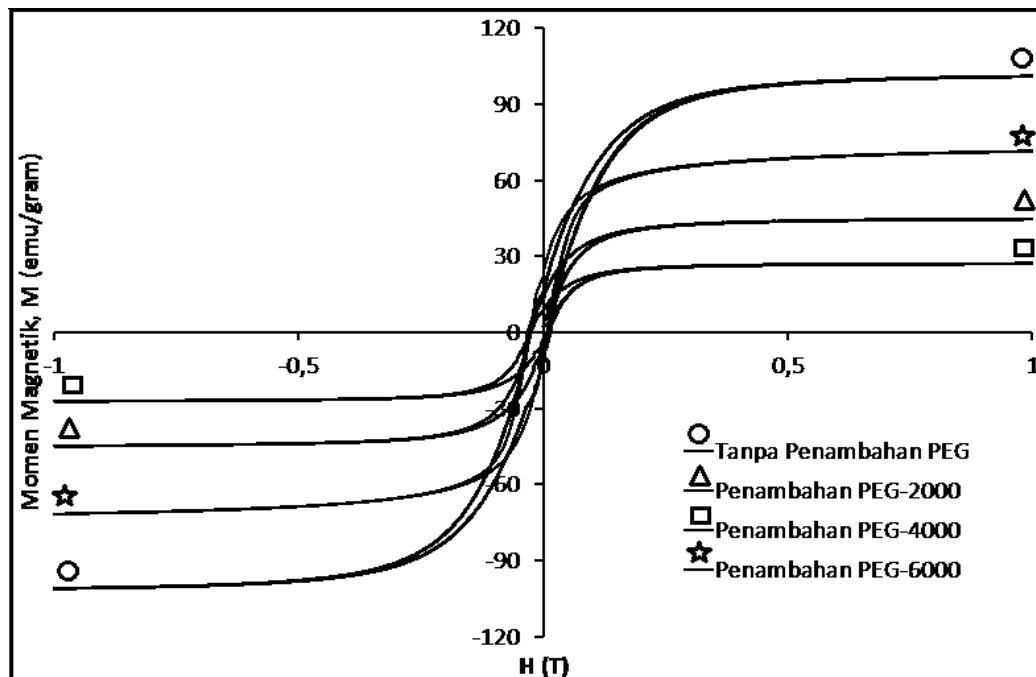
2.3 Sintesis Maghemit (γ -Fe₂O₃)

Magnetit (Fe₃O₄) yang telah didapatkan dipanaskan pada suhu 400 °C menggunakan *furnace* selama 3 jam untuk pengeringan. Setelah itu sampel yang sudah kering di keluarkan dari *furnace*, dan dilakukan karakterisasi.

3. HASIL

3.1 Karakterisasi Sifat Magnetik

Perbandingan antara sifat-sifat magnetik maghemit tanpa penambahan PEG dan dengan variasi penambahan beberapa jenis PEG dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa magnetisasi maghemit berkurang seiring dengan penambahan PEG. Dari Tabel 1, terlihat bahwa sampel tanpa penambahan PEG memiliki nilai medan koersivitas (H_C) yang lebih besar dari keseluruhan sampel dengan penambahan PEG. Hal ini dikarenakan pengaruh ukuran partikel sampel dengan penambahan PEG lebih kecil dibandingkan ukuran sampel tanpa penambahan PEG, karena PEG berfungsi sebagai templet sehingga mencegah penggumpalan partikel, sesuai dengan hasil uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang telah dilakukan oleh Andani [8]. Nilai-nilai hasil perhitungan sifat magnetik maghemit tanpa penambahan PEG dan dengan variasi penambahan PEG diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 1 Perbandingan antara sifat-sifat magnetik maghemit tanpa penambahan PEG dan dengan variasi penambahan PEG

Tabel 1 Sifat Magnetik Maghemit Tanpa Penambahan PEG dan dengan Variasi Penambahan PEG

No.	Sampel	M_S (emu/g)	M_R (emu/g)	H_C (Oe)
1	Maghemit tanpa PEG	98,8	19,1	250
2	Maghemit dengan PEG-2000	44,7	12,9	193
3	Maghemit dengan PEG-4000	27,1	8,16	203
4	Maghemit dengan PEG-6000	71,4	22,4	178

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa sampel maghemit yang ditambahkan PEG-2000 memiliki medan koersivitas (H_C) yang lebih kecil dibandingkan sampel maghemit yang ditambahkan PEG-4000, tetapi lebih besar dibandingkan sampel maghemit yang ditambahkan PEG-6000. Hasil ini berbanding lurus dengan diameter partikel dari hasil uji menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang telah dilakukan Nursa [9] yang dapat dilihat pada Tabel 2. Hal ini juga sesuai dengan hasil yang dikemukakan Pauzan, dkk. [10] bahwa nilai medan koersivitas (H_C) berbanding lurus dengan diameter partikel magnetit (Fe_3O_4), ini juga akan berlaku pada maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) karena sama-sama memiliki sifat ferimagnetik.

Tabel 2 Ukuran kristal sampel tanpa penambahan dan dengan penambahan PEG yang didapatkan oleh Andani [8] dan Nursa [9]

. No.	Sampel	Ukuran Partikel (nm)
1.	Maghemit tanpa penambahan PEG	217,00
2.	Maghemit dengan PEG 2000	67,75
3.	Maghemit dengan PEG 4000	86,50
4.	Maghemit dengan PEG 6000	60,75

Ukuran partikel yang semakin kecil akan mengakibatkan terjadi penurunan energi barrier (energi anisotropi) pada partikel tersebut. Oleh karena itu, medan koersivitas (H_C) yang dimiliki akan semakin kecil, karena energi barrier semakin berkurang sehingga medan yang diperlukan semakin kecil untuk membuat magnetisasinya nol, Pauzan dkk [10].

Nilai Magnetisasi saturasi (M_S) dan magnetisasi remanen (M_R) dipengaruhi oleh kehadiran fasa pengotor hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang merupakan partikel anti-ferromagnetik. Kehadiran fasa hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) merupakan hal yang wajar terjadi karena pada prinsipnya partikel magnetit (Fe_3O_4) akan cepat mengalami oksidasi, Pauzan dkk [10].

3.2 Karakterisasi Sifat Listrik

Karakterisasi sifat listrik (resistivitas) didapatkan dari pengukuran resistansi dengan menggunakan alat LCR-meter model TH-2820. Dengan menggunakan persamaan $\rho = R \cdot A/L$, maka hasil resistivitas listrik (ρ) berhasil didapatkan. Hasil pengukuran resistansi hingga didapatkan nilai resistivitas listrik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Resistivitas Maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Tanpa Penambahan PEG dan dengan Variasi Penambahan PEG

No.	Sampel	r(mm)	A(mm ²)	L(mm)	R(k Ω)	$\rho(\Omega\text{m})$
1	Maghemit tanpa PEG	6,375	127,72	9,5	1917,9	25786,2
2	Maghemit dengan PEG-2000	6,375	127,72	8	866,3	11362,9
3	Maghemit dengan PEG-4000	6,375	127,72	9,5	731,6	11648,1
4	Maghemit dengan PEG-6000	6,375	127,72	6,5	344,5	6769,6

Dari Tabel 3 terlihat bahwa nilai resistivitas listrik (ρ) maghemit tanpa penambahan PEG berkisar antara $2,57862 \times 10^4 \Omega\text{m}$, nilai resistivitas listrik (ρ) maghemit dengan penambahan PEG-2000 berkisar antara $1,13629 \times 10^4$, nilai resistivitas listrik (ρ) maghemit dengan penambahan PEG-4000 berkisar antara $1,16819 \times 10^4 \Omega\text{m}$, nilai resistivitas listrik (ρ) maghemit dengan penambahan PEG-6000 berkisar antara $6,7696 \times 10^3 \Omega\text{m}$. Dari keseluruhan sampel yang diukur terlihat bahwa nilai resistivitas listrik (ρ) berada pada rentang semikonduktor.

Pada Tabel 3 juga terlihat bahwa ukuran partikel berbanding lurus dengan dengan nilai resistivitas listrik (ρ) yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin kecilnya ukuran partikel maka terjadi penurunan energi barrier pada partikel tersebut, sehingga kemampuan untuk menghambat arus listrik pun menurun.

4. KESIMPULAN

Sifat-sifat magnetik maghemit berkurang seiring dengan penambahan PEG, dimana kenaikan nilai medan koersivitas (H_C) berbanding lurus dengan diameter partikel. Resistivitas Maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) tanpa penambahan PEG dan dengan variasi penambahan PEG berada pada rentang semikonduktor. Ukuran partikel berbanding lurus dengan dengan nilai resistivitas listrik (ρ) yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin kecilnya ukuran partikel maka terjadi penurunan energi barrier pada partikel tersebut, sehingga kemampuan untuk menghambat arus listrik pun menurun.

Daftar Pustaka

- [1] Yulianto, A., Bijaksana, S. & Loeksmanto, W. 2002. Karakteristik Magnetik Dari Pasir Besi Cilacap. *Jurnal fisika, Himpunan Fisika Indonesia, Suplemen prosiding*, Hal A5-05 27.
- [2] Yulianti, E., Sudaryanto., Yulizar, Y., 2007, Pengaruh Formulasi Emulsi Terhadap Hasil Enkapsulasi Nanopartikel Magnetik Fe_3O_4 dengan Poly (Lactic Acid). *Jurnal sains materi indonesia*.
- [3] West, A.R., 1984, *Solid State Chemistry and Its Application*, John Wiley & Sons chichester, New York.
- [4] Yulianto, A., Bijaksana S., Loeksmanto, W., Kurnia, D., 2003, Produksi Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Pasir Besi : Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan, *Jurnal Fisika*, Univesitas Negeri Malang.
- [5] Cornell, R.M & Schwertmann, U., 2003, *The iron oxides*. Weinheim : Willey-VCH

Verlag GmbH & co.KgA.

- [6] Nengsi, S.W., 2016, Karakterisasi Struktur Kristal Dan Sifat Magnetik Maghemit (γ - Fe_2O_3) Yang Dioksidasi dari Magnetit (Fe_3O_4) dari Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat dengan Variasi Waktu Oksidasi, *Skripsi* Fakultas MIPA Universitas Andalas, Padang.
- [7] Lepp, H., 1998, Stages In The Oxidation Of Magnetite. *The American mineralogist*. Vol.42
- [8] Andani, D., 2015, Pengaruh PEG-2000 Terhadap Ukuran Partikel Fe_3O_4 yang Disintesis Dengan Metode Kopresipitasi, *Skripsi* Fakultas MIPA Universitas Andalas, Padang.
- [9] Nursa, I., 2016, Pengaruh Poli Etilen Glikol terhadap Ukuran Partikel Magnetit (Fe_3O_4) yang Disintesis dengan Menggunakan Metode Kopresipitasi, *Skripsi* Fakultas MIPA Universitas Andalas, Padang.
- [10] Pauzan, M., Kato, T., Iwata, S., Suharyadi, E., 2013, Pengaruh Ukuran Butir dan Struktur Kristal terhadap Sifat Kemagnetan pada Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4), *Prosiding, Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY*.

PENERAPAN SISTEM SENSOR SERAT OPTIK UNTUK PENGUKURAN FREKUENSI GETARAN MESIN SEPEDA MOTOR

Harmadi¹⁾, Nadia Yudia Putri²⁾, Wildian³⁾

¹⁾Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang
email: harmadi@fmipa.unand.ac.id, Kampus Limau Manis, Padang 25163

²⁾Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang

³⁾Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang

Abstrak

Penerapan sistem sensor serat optik untuk pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor telah dilakukan. Sistem sensor terdiri dari pemancar cahaya berupa LD merah ($\lambda = 580$ nm), serat optik moda jamak step indek dari bahan PPMA (*Polymethyl Metacrylate*), dan rangkaian penerima berupa fotodetektor OPT 101. Sumber getaran berasal dari mesin sepeda motor dengan variasi kecepatan speedometer. Hasil karakterisasi sensor serat optik memperlihatkan bahwa sensitivitas tertinggi berada dalam rentang jarak 1 mm, maka ditetapkan sebagai acuan agar pengukuran frekuensi getaran dapat optimal. Keluaran sensor yang dihasilkan kemudian diproses dengan mikrokontroler Arduino Uno dan hasil pengukuran frekuensi getaran ditampilkan pada LCD. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, memperlihatkan sistem sensor serat optik dapat diterapkan untuk mengukur frekuensi getaran mesin sepeda motor dengan variasi kecepatan 0 km/jam, 10 km/jam, dan 20 km/jam, dengan tingkat ketepatan rata-rata 90 %.

Kata Kunci: sensor, serat optik, getaran, mesin, sepeda motor

1. PENDAHULUAN

Berbagai macam instrumen yang berkaitan dengan pengukuran dan pengontrolan telah dikembangkan untuk pengamatan maupun pengendalian getaran. Getaran merupakan fenomena yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan. Setiap obyek yang bergetar akan memberikan informasi tertentu sesuai dengan getaran yang dihasilkan. Getaran dalam pengaplikasiannya merupakan sifat fisis yang harus terukur dan terpantau. Pengukuran dan pengontrolan getaran yang banyak dilakukan, bersifat kontak langsung. Pengukuran dan pengontrolan secara kontak banyak menimbulkan kelemahan-kelemahan. Lingkungan yang bersuhu tinggi, posisi obyek yang sulit dijangkau dan kondisi tak ideal lainnya membuat metode pengukuran dan pengontrolan secara kontak langsung tidak dapat dilakukan. Pengukuran dan pengontrolan getaran menggunakan serat optik merupakan salah satu jenis penelitian yang dipakai untuk mengatasi kendala tersebut. Pengukuran getaran menggunakan serat optik merupakan jenis penelitian yang terbaru untuk mengukur getaran. Serat optik pada masa kini telah dikembangkan menjadi sebuah sensor untuk mengindra berbagai jenis besaran fisika [1].

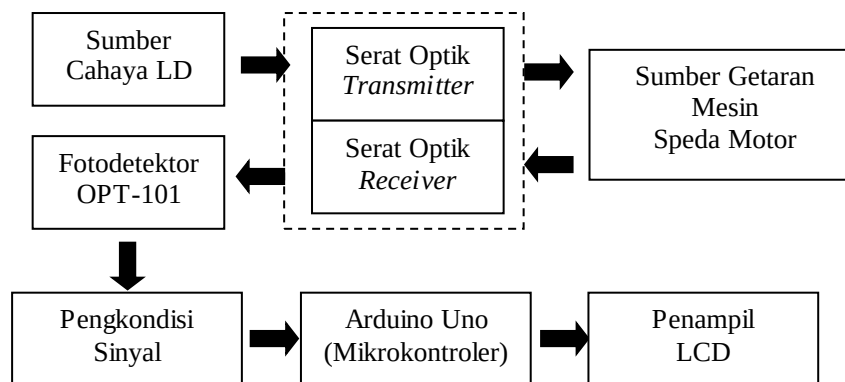
Getaran pada umumnya terjadi pada mesin-mesin di bidang industri. Getaran yang terjadi pada mesin-mesin di bidang industri tidak boleh melebihi standar yang telah ditetapkan. Kondisi mesin tidak baik jika melebihi standar dan perlu diperbaiki sedini mungkin sehingga proses-proses dalam bidang industri dapat bekerja secara optimal [2]. Getaran yang dihasilkan dari suatu peralatan mesin biasa disebut sebagai getaran mekanis. Salah satu mesin yang menimbulkan getaran dan sering digunakan masyarakat Indonesia adalah sepeda motor. Sebuah sepeda motor memiliki bagian terpenting yaitu meliputi rangka, mesin, roda, injeksi bahan bakar, dan sistem transmisi [3]. Pengukuran dan identifikasi

terhadap getaran mekanis pada sepeda motor perlu dilakukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of the art*

Getaran dapat diinterpretasikan melalui frekuensi. Pengukuran frekuensi getaran dengan menggunakan serat optik telah dikembangkan antara lain oleh Wang [4] memanfaatkan rugi daya akibat pergeseran mikro, Jafari dan Golnabi [5] melihat efek dari posisi serat optik pada pengukuran pergeseran mikro, kemudian Binua, Pilaia, dan Chandrasekaran [6] menggunakan pergeseran mikro sebagai awal untuk mengukur frekuensi. Serta Bayu, Harmadi, dan Wildian [7] melakukan analisis pergeseran mikro dengan menggunakan sensor serat optik FD 620-10 yang diterapkan pada pengukuran getaran. Serat optik dikembangkan menjadi sebuah sensor untuk mengindra berbagai jenis besaran fisika. Pengukuran dan pengontrolan frekuensi getaran menggunakan sistem sensor serat optik ekstrinsik, dimana proses pengindraan terjadi di luar serat optik.

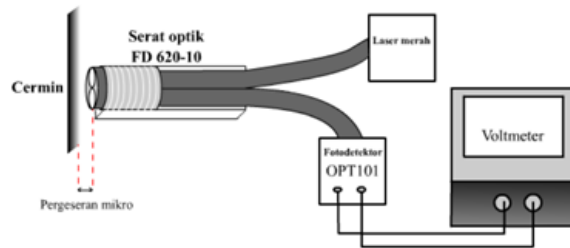


Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Pengukuran frekuensi getaran sepeda motor dilakukan dengan cara menggandengkan dua buah kabel serat optik yang digunakan sebagai transmitter dan receiver. Transmitter digunakan untuk mengirimkan sinyal dalam bentuk cahaya. Receiver digunakan untuk mengirimkan sinyal hasil pengindraan terhadap obyek sumber getaran mesin sepeda motor kepada fotodetektor. Sinyal cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik transmitter akan dipantulkan oleh sumber getaran mesin sepeda motor dan ditransmisikan kembali oleh serat optik receiver kepada fotodetektor. Fotodetektor akan mengubah Intensitas cahaya yang diterimanya menjadi besaran listrik berupa tegangan analog. Tegangan analog dari fotodetektor terlebih dahulu dikondisikan dengan komparator Op-Amp. Setelah mikrokontroler Arduino memproses sinyal maka kemudian ditampilkan dengan menggunakan LCD. Secara skematik kerangka konseptual penelitian sistem pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor dengan menggunakan sensor serat optik yang dikembangkan, diperlihatkan seperti pada Gambar 1.

2.2 Pergeseran mikro

Pergeseran mikro merupakan karakteristik awal untuk pengembangan disain dan fabrikasi sensor serat optik untuk sistem pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor. Serat optik yang digunakan diambil dari jenis serat optik FD 620-10 dan tidak dilakukan modifikasi. Serat optik terdiri dari dua baris yang digabungkan oleh konektor dengan masing-masing fungsi yaitu sebagai trasmitter dan receiver, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.

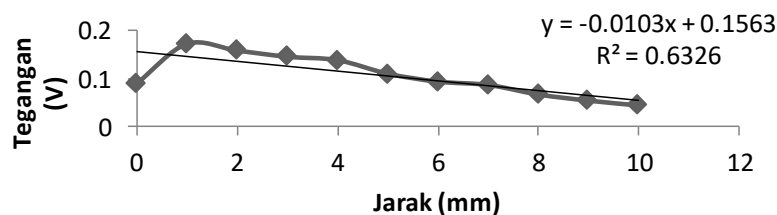


Gambar 2. Pengujian pergeseran mikro sensor serat optik
(Sumber: Saputro, Harmadi, dan Wildian, 2012)

Serat optik mengindra pergeseran cermin (titik yang dapat memantul dari mesin sepeda motor) berdasarkan pantulan cahaya. Cahaya dari laser dioda dipandu menggunakan serat optik (transmitter) menuju cermin pemantul. Cermin pada penelitian ini dapat digeser dan memiliki ukuran penggeseran dalam orde milimeter. Cermin berfungsi sebagai pemantul cahaya dan obyek getaran mesin sepeda motor yang diukur posisinya. Perubahan posisi menyebabkan arah cahaya yang dipantulkan akan berubah. Perubahan arah pantulan cahaya menyebabkan intensitas cahaya yang dipandu ke dalam serat optik (receiver) akan mengalami perubahan. Perubahan intensitas cahaya yang dipandu oleh serat optik (receiver) akan diubah menjadi tegangan DC oleh fotodetektor. Tegangan yang berubah akan menjadi acuan dalam menentukan perubahan posisi dari cermin dan menyatakan pergeseran mikro.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

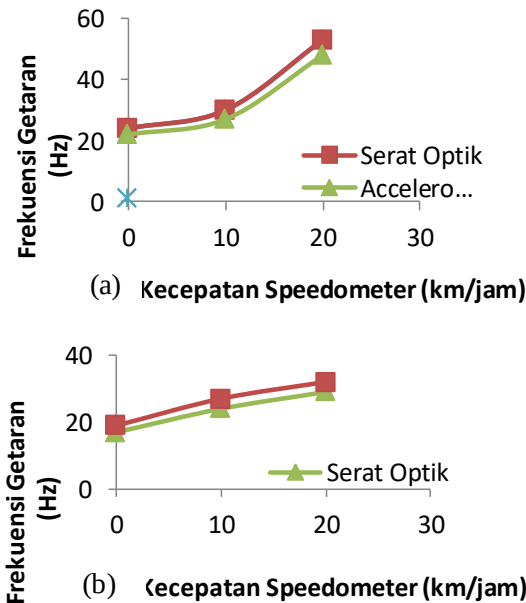
Nilai pergeseran mikro sensor serat optik yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk kurva grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara jarak dan tegangan yang dihasilkan pada pergeseran mikro pengukuran getaran mesin sepeda motor

Berdasarkan kurva grafik pada Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa perubahan posisi jarak pergeseran mikro obyek titik pantul cahaya dari mesin sepeda motor dengan ujung sensor serat optik mempengaruhi tegangan keluaran dari fotodetektor. Pada jarak 0 mm sampai 1 mm menunjukkan kecenderungan (trend) grafik meningkat, sedangkan pada jarak 2 mm sampai 10 mm menunjukkan kecenderungan grafik menurun. Nilai pergeseran mikro yang dapat dipakai adalah berada pada jarak 1 mm. Hasil karakterisasi ini akan ditetapkan dimana sensor serat optik diletakkan untuk mengukur frekuensi getaran mesin sepeda motor, yaitu di tempat yang memiliki sensitifitas tertinggi atau perubahan nilai yang paling signifikan, yang pada penelitian ini terletak pada jarak 1 mm. Jarak ini merupakan jarak ideal untuk pengukuran frekuensi. Agar pengukuran frekuensi dapat bekerja optimal, maka peneliti menetapkan jarak 1mm sebagai acuan untuk pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor.

Hasil pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor yang dilakukan pada dua kondisi mesin yang berbeda, yaitu mesin sepeda motor yang kurang baik dan baik (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4).



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor terhadap kecepatan *speedometer*, pada (a) mesin sepeda motor yang kurang baik, dan (b) mesin sepeda motor baik

Kecepatan diatur dengan menggunakan variasi *speedometer* 0 km/jam sampai dengan 20 km/jam dan untuk membandingkan hasil pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor maka digunakan sensor *accelerometer*. Data yang diperoleh antara pengukuran dengan menggunakan sensor serat optik dibandingkan dengan sensor *accelerometer* tidak jauh berbeda. Error rata-rata yang diperoleh 10 %, sehingga sensor serat optik dapat digunakan untuk pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor.

Frekuensi getaran pada mesin sepeda motor yang kurang baik memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan mesin sepeda motor yang baik. Frekuensi getaran dari mesin sepeda motor meningkat seiring menurunnya kondisi dari mesin tersebut, hal ini disebabkan karena mesin sepeda motor mengalami kerusakan yang mempengaruhi amplitudo dari getaran mesinnya. Semakin parah kerusakan yang dialami mesin sepeda motor maka semakin besar pula frekuensi yang dihasilkan oleh mesin tersebut karena semakin besar getaran yang dihasilkan oleh kondisi sepeda motor yang mengalami kerusakan. Pengukuran *accelerometer* memiliki keterbatasan yang disebabkan karena *accelerometer* kontak langsung dengan media yang akan diukur. Akibatnya pengukuran yang dilakukan di atas kecepatan 20 km/jam tidak bisa dilakukan karena kondisi mesin akan panas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengukuran dan analisis penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan. Sistem sensor serat optik dapat diterapkan untuk pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor dengan keakuratan rata-rata 90 %. Nilai sensitifitas pergeseran mikro yang diperoleh pada jarak 1 mm, dengan rentang pengukuran dari 0

mm sampai dengan 10 mm. Mesin sepeda motor yang kurang baik memiliki frekuensi getaran yang tinggi dibandingkan dengan mesin sepeda motor yang baik. Hasil pengukuran frekuensi getaran mesin sepeda motor dapat dilakukan secara *real time* dengan tampilan langsung pada LCD.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terselenggara oleh Hibah Penelitian Pengembangan Sains Dasar Dan Matematika (PSDM) dengan Skim Riset Dasar yang diberikan oleh FMIPA Universitas Andalas Padang.

DaftarPustaka

- [1] Udd, E., *Fiber Optic Sensors : An introduction for engineers and scientist*. John Wiley and Sons, 1991.
- [2] Apresia, M., *Sistem Sensor Vibrasi di PLTG Pauh Limo, Praktek KerjaLapangan*, Universitas Andalas, Padang, 2006.
- [3] Risa, A.R., *Sistem Identifikasi Kondisi Sepeda Motor dengan Algoritma Fast Fourier Transform serta Bantuan Android dan Google Maps*, Universitas Andalas, Padang, 2016.
- [4] Wang, P., A Fiber-Optic Voltage Sensor Based On Macrobending Structure. *Optics & Laser Technology*, Volume 43, Issue 5, Pages 922–925, 2011.
- [5] Jafari, R., Golnabi H., Fiber position effects on the operation of opto-pair fiber displacement sensors. *Optics & Laser Technology*, Volume 43, Issue 4, Pages 814–819, 2011.
- [6] Binua, S., Pillaia V.P., Chandrasekaran N., Fiber Optic Displacement Sensor For The Measurement Of Amplitude And Frequency Of Vibration, *Optics & Laser Technology*, Volume 39, Issue 8, Pages 1537–1543, 2007.
- [7] Saputro, B.H., Harmadi, Wildian, Analisis Pergeseran Mikro Menggunakan Sensor Serat Optik FD 620-10, *Jurnal Ilmu Fisika*, Volume 4, No. 1, Pages 36-39, 2012.

DESAIN DAN FABRIKASI SISTEM AKUISISI DATA UNTUK MENGUKUR KADAR KARBON DIOKSIDA, KELEMBABAN DAN TEMPERATUR DI LAHAN GAMBUT

IWAN SUGRIWAN ^{1*}, FAJAR SUKARNO ¹, ARFAN EKO FAHRUDIN ¹

¹Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Ahmad Yani KM 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714, *Email : iwansugriwan@unlam.ac.id

Abstrak

Penelitian mengenai desain dan fabrikasi sistem akuisisi data dikembangkan untuk pengukuran kadar gas karbondioksida, kelembaban dan temperatur pada permukaan lahan gambut. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan prototipe alat ukur karbondioksida (CO₂-meter) menggunakan modul sensor TGS4160 dan kelembaban dan temperatur menggunakan modul sensor SHT11. Modul sensor TGS4160 dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan yang mengaplikasikan op-amp OP-07. Sinyal keluaran dari rangkaian pengikut tegangan dihubungkan ke mikrokontroler ATmega8535 melalui port A.0. Sinyal keluaran dari SHT11 berupa digital serial dihubungkan dengan port B.0 dan B.1 mikrokontroler ATmega8535 melalui two wire interface. Modul mikrokontroler ATmega8535 adalah unit pengolah yang memproses ambil data sensor, menghitung persamaan karakteristik sensor dan mengantarmuka hasil pengukuran ke komponen peraga (liquid crystal displays, LCD) dan komputer pribadi (personal computer, PC). Data hasil pengukuran kadar karbon dioksida, kelembaban dan temperatur dapat dimonitor pada layar PC/laptop yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman visual Delphi 7.0. Perangkat sistem akuisi juga mampu mengukur serta menampilkan hasil pengukuran secara waktu nyata dan data hasil pengukuran dapat disimpan *xlsx.

Kata Kunci: tuliskan kata kunci dari makalah, minimal 5 kata

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut seluas 20,6 juta hektar yang mencakup sekitar 10,8% dari luas daratan Indonesia [1]. Lahan gambut mengemisikan gas karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) yang berkontribusi besar terhadap terjadinya efek rumah kaca. Dibanding kedua gas lainnya, CO₂ adalah penyumbang emisi terbesar [2], dan disebut sebagai gas terpenting yang menyebabkan efek rumah kaca [3]. Dengan demikian, pengukuran kadar gas CO₂ di lahan gambut sangat relevan untuk dilakukan.

Tujuan pengukuran konsentrasi gas CO₂ di lahan gambut adalah untuk memantau kadar emisi gas CO₂ yang dilepas ke atmosfer. Hasil pengukuran ini dapat digunakan untuk pengelolaan lahan pertanian pada lahan gambut dan mengetahui potensi bencana kebakaran lahan gambut [4]. Pada pengukuran CO₂, terdapat parameter atmosfer lain yang memengaruhinya yaitu kelembaban dan temperatur. Instrument yang digunakan untuk pengukuran gas CO₂ adalah menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Metode

pengukurannya adalah gas terperangkap dalam sebuah chamber dan sampel gas diambil dengan menggunakan jarum suntik yang selanjutnya dianalisa di laboratorium [5]. Sedangkan pengukuran temperatur menggunakan termometer yang dipasang pada chamber di mana peningkatan temperatur menyebabkan kenaikan emisi gas CO₂ [6]. Baik metode pengukuran gas CO₂ dan temperatur, keduanya tidak dapat dilakukan secara langsung, tidak dalam waktu nyata dan tentu memerlukan biaya dan sumber daya.

Pengukuran kadar CO₂ pada permukaan lahan gambut berbasis sensor telah dilakukan oleh Sugriwan dkk (2016). Pada penelitian ini, kadar karbon dioksida diindera oleh modul sensor TGS4160 yang ditanam dalam sebuah *closed-chamber measurement*. Hasilnya adalah kadar CO₂ yang diemisikan dari lahan gambut dapat diukur secara langsung, dalam waktu nyata dan hasil pengukuran dapat diakuisisi melalui sebuah personal komputer, dan hasil pengukuran dapat disimpan dalam format excel [7]. Namun demikian, pada sistem ini belum melibatkan parameter atmosfer yaitu kelembaban dan temperatur.

Penelitian ini akan mengembangkan sistem pengukuran CO₂, kelembaban dan temperatur di lahan gambut. Sensor CO₂ menggunakan modul TGS4160 dan kelembaban dan temperatur menggunakan SHT11. Modul sensor TGS4160 dihubungkan dengan port A mikrokontroler ATmega8535 melalui pengkondisi sinyal berupa pengikut tegangan (*voltage follower*), sedangkan SHT11 akan dihubungkan dengan port B ATmega8535 dengan prosedur *two wire interface*. ATmega8535 diantarmuka dengan LCD 16x2 karakter untuk menampilkan nilai CO₂ dalam ppm, relatif humidity (RH) dalam % dan temperatur dalam derajat celsius. Hasil pengukuran juga ditampilkan dalam monitor personal komputer (PC)/laptop yang hasil pengukuran ketiga parameter akan disimpan dalam format excel. Mikrokontroler ATmega8535 diprogram dengan basic compiler untuk ambil data dan menghitung persamaan karakteristik sensor TGS4160, prosedur *two wire interface* sensor SHT11, konfigurasi LCD 16x2 dan mengirim data ke personal komputer. Antarmuka antara ATmega8535 dengan PC dikembangkan dengan bahasa Delphi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gambut merupakan lahan basah spesifik yang dibentuk sebagai akumulasi peluruhan tidak sempurna dari material organik yang membentuk lapisan-lapisan gambut. Gambut juga merupakan areal antara terestrial dan lahan basah yang selalu tergenang air. Kedalaman lahan gambut dapat berkisar antara 30 cm sampai dengan 40 cm [8]. Ekosistem lahan gambut dicirikan oleh adanya akumulasi material organik yang berlangsung dalam rentang waktu yang lama dan laju dekomposisi yang rendah [9].

Lahan gambut adalah tempat dengan cadangan karbon (C) yang besar baik di permukaan atau di bawah permukaan. Karbon di permukaan jika teroksidasi akan berubah menjadi CO₂. Produksi CO₂ disebabkan oleh beberapa hal, antara lain deforestasi hutan, kebakaran lahan dan pemanfaatan gambut menjadi lahan pertanian di mana memerlukan drainase dengan kedalaman lebih dari 30 cm. [10]. Emisi CO₂ ke udara selain dipengaruhi oleh deforestasi hutan, kebakaran lahan dan alih fungsi lahan gambut menjadi lahan pertanian, juga dipengaruhi oleh parameter iklim yaitu suhu, kelembaban udara, curah hujan dan distribusi curah hujan [11].

2.1 Perangkat Keras Akuisisi

Perangkat keras akuisisi data untuk mengukur kadar karbondioksida, kelembaban dan temperatur di lahan gambut terdiri dari rangkaian catu daya, modul sensor karbon

dioksida TGS4160, modul sensor kelembaban dan temperatur SHT11, rangkaian pengikut tegangan, mikrokontroler ATmega8535, LCD karakter 16x2 dan rangkaian antarmuka ke komputer. Listrik yang dihasilkan dari perusahaan adalah berupa listrik bolak-balik (*alternating current*, AC), namun pada umumnya perlengkapan elektronik memerlukan arus listrik searah (*direct current*, DC) untuk beroperasi. Sedangkan catu daya (*power supply*) menyediakan tegangan dan arus yang sesuai untuk alat-alat elektronik yaitu arus DC [12].

Sensor adalah devices elektronik yang bekerja untuk merespon berbagai input parameter fisis dan mengubahnya menjadi sinyal listrik [13]. Sensor TGS4160 adalah sensor buatan Figaro yang dirancang khusus untuk mendeteksi gas karbondioksida. Sensor TGS4160 mengalami pengembangan oleh Figaro, dengan menjadi sebuah modul berbasis sensor TGS4160 yaitu CDM4160. Tegangan keluaran dari modul ini berbanding lurus dengan kadar gas CO₂ yang diindera oleh modul ini [14]. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi nilai kelembaban dan temperatur di udara yaitu menggunakan sensor SHT11 yang merupakan sensor dari pabrikan Sensirion. Sensor ini dapat digunakan sebagai alat pengindera kelembaban dan temperatur dalam aplikasi pengendali kelembaban dan suhu ruangan maupun aplikasi pemantau kelembaban relatif dan suhu ruangan dan lain-lain [15]

Pengkondisi sinyal memiliki beberapa fungsi penting, salah satunya adalah penguatan [16]. Penguatan sinyal menggunakan rangkaian terintegrasi atau *integrated circuit* (IC) op-amp (operational amplifiers) [17]. Dalam penelitian ini, pengkondisi sinyal keluaran sensor yang digunakan adalah jenis pengikut tegangan. Penguatan pada rangkaian pengikut tegangan adalah bernilai 1 [18].

ATmega8535 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit berdaya rendah yang berbasis mikrokontroler AVR (Alf and Vegard's Risc processor) dengan arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computing). Mikrokontroler ATmega8535 memiliki 8 kanal 10-bit ADC internal sehingga tidak memerlukan perangkat tambahan untuk mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital [19].

Liquid Crystal Display (LCD) tidak seperti penampil yang menggunakan 7-segment LED (Light Emitting Diode) yang hanya mampu untuk menampilkan angka-angka, tetapi LCD juga mampu menampilkan huruf, kata dan simbol. Salah satu variasi bentuk dan ukuran yang umum adalah 16x2 karakter (16 kolom, 2 baris, 32 karakter) dan 16 pin. Akses pin yang tersedia mempunyai delapan jalur hubungan data, tiga jalur catu daya dan pada modul LCD dengan fasilitas cahaya latar terdapat dua jalur catu untuk cahaya latar sehingga mereka dapat ditampilkan dalam kondisi cahaya yang kecil [20].

Komunikasi serial yang umum digunakan untuk prosesor yaitu register geser 8 bit dan UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) [21]. Komunikasi serial antara mikrokontroler dan PC (Personal Computer) sering digunakan untuk akuisisi data [22]. Perangkat yang umum digunakan sebagai komunikasi serial yaitu Standar RS-232 yang merupakan perangkat yang dikembangkan oleh Electronic Industri Association (EIA/TIA).

Konektor komunikasi serial pada umumnya menggunakan DB9 pin [23]. Modul Parallax Serial to USB Converter merupakan modul yang menggunakan konektor DB9 pin untuk komunikasi RS-232. Modul ini juga merupakan modul konverter serial antara UART dan USB yaitu Parallax Serial to USB Converter [24].

2.2 Perangkat Lunak Sistem Akuisisi Data

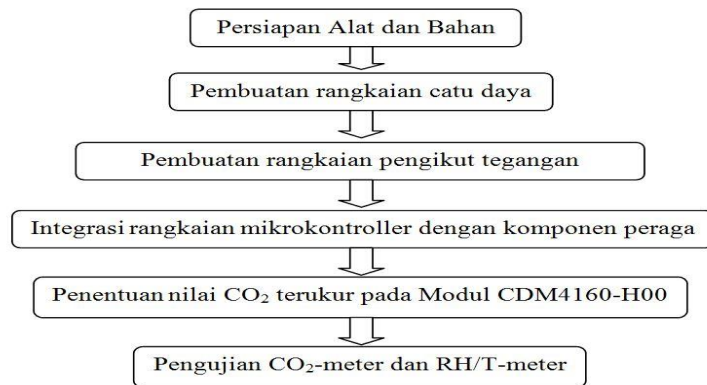
Perangkat lunak sistem akuisisi terdiri dari dua program aplikasi yaitu *basic compiler* (BASCOS) dan Delphi. BASCOS digunakan untuk memprogram mikrokontroler ATmega8535 dan Delphi digunakan untuk memprogram tampilan antarmuka di layar PC. Pada mikrokontroler ATmega8535, BASCOS memprogram untuk mengambil data sensor dari TGS4160 dan SHT11, menghitung persamaan karakteristik dari kedua sensor, mengirim hasil pengukuran ke penampil LCD 16x2 karakter dan mengirim hasil pengukuran ke layar monitor PC/laptop. Bahasa BASCOS menggunakan bahasa basic yaitu bahasa pemrograman yang berada diantara bahasa tingkat rendah dengan bahasa tingkat tinggi [25]. Bahasa yang digunakan dalam Delphi adalah pascal. Dalam aplikasi sistem akuisisi data, Delphi dapat mengkomunikasikan antara perangkat periferal, misalnya mikrokontroler, dengan komputer melalui koneksi serial [26].

3 MATERIAL DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan utama yaitu meliputi pembuatan perangkat keras, perangkat lunak, dan sistem antarmuka yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat. Perangkat keras yang dibuat meliputi rangkaian catu daya, pembuatan rangkaian pengikut tegangan, dan pembuatan sistem antarmuka (interface). Pembuatan perangkat lunak meliputi program ambil data dari sensor, program konversi tegangan sensor analog menjadi digital, untuk proses antarmuka program yang dibuat adalah program menampilkan data pada Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 menggunakan Basic Compiler (BASCOS) AVR dan akuisisi data hasil pengukuran pada PC (Personal Computer) menggunakan Delphi 7.0.

Pengujian rangkaian sensor dan kelembaban dan temperatur dilakukan di lapangan selama 3 hari dengan hari pertama dan kedua masing-masing selama 2 jam, sedangkan hari ketiga selama 19 menit. Pada hari pertama dan hari kedua pengujian dilakukan di Desa Tegal Arum Kecamatan Landasan Ulin Banjarbaru pada Lokasi 1 dan Lokasi 2. Pada hari ketiga pengujian dilakukan bersama pihak BALITTRA (Balai Penelitian Pertanian Tanaman Rawa) Banjarbaru Kalimantan Selatan yang dilaksanakan pukul 08.00 hingga 09.00 WITA dan bertempat di Kebun Percobaan (KP) Blandean desa Tanjung Harapan kecamatan Alalak kabupaten Barito Koala yang selanjutnya disebut Lokasi 3.

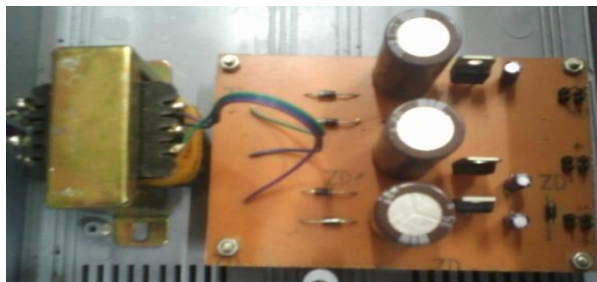
Alat digunakan dalam penelitian ini terdiri atas laptop yang telah dilengkapi dengan perangkat lunak basic compiler dan Delphi 7.0 yang digunakan untuk membuat program antarmuka dan untuk akuisisi data. Peralatan dan bahan lainnya yaitu solder, penyedot timah, multimeter, timah, komponen rangkaian catu daya, komponen rangkaian pengikut tegangan, Modul CDM4160-H00 sebagai sensor kadar gas karbondioksida, Modul SHT11 sebagai sensor kelembaban dan temperatur, Modul Mikrokontroler ATmega8535 dan LCD karakter 16x2, serta chamber untuk memerangkap gas lahan gambut. Tahapan proses penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan proses penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi perangkat keras yang telah dibuat adalah rangkaian catu daya yang memiliki tiga tegangan keluaran +4,98 V, +11,95 V, dan -12,23 V. Tegangan +4,98 volt digunakan untuk memberi tegangan pada modul sensor CDM4160-H00, modul sensor SHT11, dan modul mikrokontroler ATmega8535. Tegangan keluaran +11,95 V dan -12,23 volt diaplikasikan untuk memberi tegangan split pada IC OP-07 sebagai voltage follower. Gambar 2 berikut adalah rangkaian catu daya yang telah direalisasikan.



Gambar 2. Realisasi rangkaian catu daya

Voltage follower (rangkaiannya pengikut tegangan) dibuat dengan cara menghubungkan kaki nomor 2 (masukkan membalik) dengan kaki nomor 6 (output) pada IC OP-07, sedangkan kaki nomor 3 (masukkan tak membalik) adalah input sinyal yang dalam hal ini adalah keluaran dari modul sensor CDM4160-H00. Tegangan -12,23 volt dihubungkan dengan kaki nomor 4 (-V) dan tegangan +11,95 V dihubungkan dengan kaki nomor 7 (+V). Gambar 3 adalah rangkaian pengikut tegangan yang telah direalisasikan



Gambar 3. Realisasi rangkaian pengikut tegangan

Modul mikrokontroller ATmega8535 dikonfigurasi dengan LCD 16x2 karakter seperti pada Gambar 4. Kaskade antara kaki-kaki mikrokontroller ATmega8535 dengan LCD 16x2 karakter ditunjukkan pada Tabel 1. Mode yang digunakan adalah mode 4 bit di mana kaki-kaki LCD dihubungkan dengan port-C mikrokontroller ATmega8535. Program aplikasi dengan *basic compiler* yang telah ditulis diunduh kode program mikrokontroller ATmega8535, sehingga mikrokontroller dapat melakukan proses pengambilan data sensor karbon dioksida dari CDM4160-H00 dan kelembaban dan temperatur dari sensor SHT11. Sensor CDM4160-H00 dihubungkan dengan port-A.0 mikrokontroller ATmega8535, sedangkan SHT11 dihubungkan dengan port-B.0 dan B.1 ATmega8535. Port-B.0 untuk kaki DATA dalam SHT11, dan port-B.1 untuk kaki SCK di SHT11. Proses pengambilan data pada CDM4160-H00 melalui proses pengubahan analog ke digital, mengingat pada port-A telah terpasang secara internal 10 bit *analog to digital conversion*. Data kelembaban dan temperatur dari SHT11 pada dasarnya diambil secara bergantian dengan konfigurasi diagram pewaktuan yang telah ditunjukkan pada data sheet SHT11. Gambar 4 berikut adalah realisasi antara mikrokontroller ATmega8535 dengan rangkaian sensor dan LCD.



Gambar 4. Realisasi mikrokontroller ATmega8535 dengan rangkaian sensor dan LCD

Tabel 1. Kaskade pin ATmega8535 dan LCD 16x2 karakter

Pin LCD 16x2	Pin Modul Mikrokontroller ATmega8535
15 (Vcc) 16 (Ground)	Port A Vcc Ground
3 (Ground)	Port B Ground
2 (Vcc) 1 (Ground) 4 (RS) 6 (E) 11 (Data 4) 12 (Data 5) 13 (Data 6) 14 (Data 7)	Port C Vcc Ground C0 C1 C2 C3 C4 C5
5 (Ground)	Port D Ground

ALAT UKUR KADAR GAS KARBONDIOKSIDA, KELEMBABAN DAN TEMPERATUR PADA PERMUKAAN LAHAN GAMBUT

Gas Karbondioksida (ppm)

243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40
252.08
243.40
243.40

Temperatur (Celcius)

31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4
31.4

Kelembaban (%)

60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1
60.1

Setting Port

Buka

Button Save and Reset

Simpan

16:13:18

16:14:20

00:01:02

Button Start

Mulai

Hapus

Button Close

Tutup

Berhenti

MONITORING KADAR GAS KARBONDIOKSIDA

MONITORING TEMPERATUR DAN KELEMBABAN

Perangkat sistem akuisisi diintegrasikan ke dalam sebuah sistem alat ukur yang terdiri closed chamber measurement, perangkat keras akuisisi, perangkat lunak, dan personal komputer. Integrasi sistem ini ditunjukkan pada Gambar 6. *Closed-chamber measurement*, telah terpasang modul sensor CDM4160 dan SHT11, adalah chamber untuk memerangkap gas. Masukkan sensor dihubungkan dengan perangkat akuisisi yang ditempatkan pada sebuah kotak. Pada blok alat ukur terpasang LCD 16x2 karakter membentuk sistem alat ukur karbon dioksida dan kelembaban dan temperatur. Sistem alat ukur ini dihubungkan dengan laptop membentuk satu sistem akuisisi data. Pengujian alat ukur kadar gas CO₂, kelembaban dan temperatur dilakukan di Desa Tegal Arum Lokasi 1 dan Lokasi 2. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan chamber yang telah diintegrasikan dengan alat ukur dan laptop pada lahan gambut. Kadar gas CO₂, kelembaban dan temperatur yang terukur ditampilkan pada komponen peraga LCD 16x2 dan juga pada laptop. Data kadar gas CO₂, kelembaban dan temperatur akan tercatat secara waktu nyata yaitu data tercatat per detik dan data tersebut juga dapat disimpan dalam format *.xlsx.



Gambar 6. Integrasi perangkat akuisi di lahan gambut.

Pengambilan data karbon dioksida, kelembaban dan temperatur dilakukan secara otomatis oleh sensor yang telah diletakkan di dalam chamber. Waktu pengambilan data dilakukan selama 2 jam. Lokasi yang digunakan sebagai tempat pengambilan untuk adalah di Lokasi 1 dan untuk pengambilan data kedua di Lokasi 2 yang bertempat di Desa Tegal Arum Kelurahan Syamsyudin Noor Kecamatan Landasan Ulin Banjarbaru. Sedangkan pengambilan data ketiga dilakukan di Lokasi 3 yaitu di KP Blandean kabupaten Batola. Data hasil pengukuran ditunjukkan dalam grafik seperti pada Gambar 7.

Gambar 7. Grafik hasil pengukuran CO₂, RH dan T

Sistem akuisi yang telah diimplementasikan di lahan gambut telah berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari sistem yang mampu mengambil data secara langsung, real time dan terus-menerus dan hasil dari pengukuran dapat ditampilkan dan disimpan dalam komputer pribadi. Namun demikian, sistem ini masih memiliki kekurangan yaitu hasil pengukuran karbon dioksida perlu dibandingkan dengan alat ukur standar seperti gas chromatografi atau infra red gas analyzer (IRGA).

5 KESIMPULAN

1. Sistem akuisi data telah mampu mengukur gas karbondioksida, kelembaban dan temperatur secara langsung, real time dan terus-menerus.
2. Data hasil pengukuran dapat dipantau melalui LCD dan personal komputer. Perangkat lunak sistem akuisisi yang dibangun dengan Delphi 7.0 mampu mengukur serta menampilkan hasil pengukuran secara real time (waktu nyata) dan data yang telah ukur dapat disimpan dengan format *xlsx.
3. Sistem akuisi ini telah diujicoba pada lahan gambut di Kelurahan Tegal Arum Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan.

6 UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui skema penelitian desentralisasi Universitas Lambung Mangkurat dengan Skim Penelitian Produk Terapan Tahun 2017.

Daftar Pustaka

- [1] Wetlands International. 2015. Peatlands
<http://indonesia.wetlands.org/Kegiatankami/Gambut/tabid/2838/language/en-US/Default.aspx> (diakses tanggal 28 Januari 2015).
- [2] Danevčič, T., I. Mandic-Mulec, B. Stres, D. Stopar & J. Hacin. 2010. Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from Southern European peatlands. *Soil Biology and Chemistry* 42 : 1437-1446
- [3] Widyati, Enny. 2011. Kajian Optimasi Pengelolaan Lahan Gambut dan Isu Perubahan Iklim. *Tekno Hutan Tanaman* 4 (2) : 57-68
- [4] Ikhsan, Muhammad. 2014. Sistem Pengukuran Kadar Karbondioksida pada Lahan Gambut Menggunakan Sensor TGS4160 Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. Skripsi. Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
- [5] Hadi, A., K. Inubushi, Y. Furukawa, E. Purnomo, M. Rasmadi & H. Tsuruta. 2005. Greenhouse Gas Emissions from Tropical Peatlands of Kalimantan, Indonesia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 73–80
- [6] Berglund Ö., K. Nerglund & L. Klemetsson. 2010. A Lysimeter Study on the Effect of Temperatur on CO₂ Emission from Cultivated Peat Soils. *Geoderma* 154 (3-4) : 211-218
- [7] Sugriwan, I., Rahmattullah, A., Soesanto, O., Harnawan, A. 2015. Desain dan Fabrikasi Alat Ukur Kadar Gas Metana (CH₄) Pada Lahan Gambut Menggunakan Sensor TGS2611 Berbasis ATmega8535. *Jurnal Neutrino* Vol. 8, No. 1. Oktober 2015. UIN Maliki Malang
- [8] Sugriwan, I. Soesanto, O., 2017. Development of TGS2611 methane sensor and SHT11 humidity and Temperature sensor for measuring greenhouse gas on peatlands in south kalimantan, Indonesia. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 853 (2017) 012006 doi :10.1088/1742-6596/853/1/012006.
- [9] Najiyati, S., Lili Muslihat & I Nyoman N. Suryadiputra. 2005. Panduan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.
- [10] Murdiyarso, D., Upik Rosalina, Kurniatun Hairiah, Lili Muslihat, I N.N. Suryadiputra & Adi Jaya. 2004. Petunjuk Lapangan : Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetland International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.
- [11] Agus, F. & I. G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- [12] Balittanah. 2011. Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- [13] Gibiliso, Stan. 2002. Teach Yourself Electricity and Electronics Third Edition. McGraw-Hill. New York.

- [14] Fraden, Jacob. 2010. Handbook of Modern Sensors Fourth Edition. Springer. California.
- [15] Figaro. 2006. CDM4160 – Pre-calibrated module for carbon dioxide. Datasheet
- [16] Sensirion. 2011. Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Tempertaur Sensor IC. Datasheet
- [17] Deshpande, N. P. 2007. Electronis Devices and Circuits. Tata McGraw-Hill. New Delhi
- [18] Floyd, Thomas L. 2005. Electronic Devices Conventional Current Version Seventh Edition. Pearson Prentice Hall. United States of America.
- [19] Terrel, David L. 1996. OP AMPS : Design, Application & Troubleshooting. Butterworth-Heinemann. United States of America.
- [20] Atmel. 2006. 8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash. Datasheet.
- [21] Soebhakti, Hendawan. 2007. Basic AVR Microcontroller Tutorial. Teknik Elektro Politeknik Batam. Batam.
- [22] Khairurrijal, M. 2005. Mikrokontroler MCS-51. Departemen Fisika ITB. Bandung.
- [23] Najmurrokhman, Asep & Tedi Muslim. 2011. Perancangan Prototipe Sistem Pengaturan Lampu dan Pintu Gerbang menggunakan SMS (Short Message Service) Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. Jurnal Tekno Insentif Kopwil 4, 5 (1) : 1-13
- [24] Dallas Semiconductor. 1998. Application Note 3 : Fundamentals of RS-232 Serial Communcation. <http://www.paccontrol.com/download/RS232.pdf> (diakses tanggal 23 Agustus 2014).
- [25] Parallax, Inc. 2012. Parallax USB to Serial Converter (RS-232). Datasheet.
- [26] Iswanto. 2009. Belajar Sendiri Mikrokontroler AT90S2313 dengan Basic Compiler. Penerbit Andi : Yogyakarta

APLIKASI METODE GEOLISTRIK, GEOMAGNET DAN CITRA SATELIT UNTUK MENGETAHUI POTENSI AIR TANAH DI PULAU PURA, ALOR

JEHUNIAS L. TANESIB¹, JOHNSON TARIGAN², FIDELIS SUN
DAWI³, FELIX K.A. DURTO⁴

¹Jurusan Fisika FST UNDANA, jehunias@staf.undana.ac.id

²Jurusan Fisika FST UNDANA, jon76tarigan@staf.undana.ac.id

³Jurusan Fisika FST UNDANA, fidelisdawi@gmail.com

⁴Jurusan Fisika FST UNDANA, fekasyahdur14@gmail.com

Abstract

Telah dilakukan penelitian dengan *metode geolistrik, metode geomagnet dan analisis citra satelit* untuk mengetahui potensi air tanah di desa Pura Timur dan Kelurahan Pura Kabupaten Alor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan potensi air (akuifer) berdasarkan interpretasi jenis batuan, kedalaman serta ketebalan batuan dan juga analisis citra satelit untuk mengetahui gambaran topografi lokasi serta Daerah Aliran Sungai (DAS). Dari hasil penelitian ini diperoleh pola perlapisan batuan dengan jenis akuifer di Kelurahan Pura yaitu breksi vulkanik, breksi tufaan, batupasir vulkanik dan batugamping koral sedangkan jenis akuifer di desa Pura timur yaitu breksi vulkanik, breksi tufaan, batuan tuff bersisipan batugamping koral, batuan tuff pasir dan batupasir vulkanik. Analisis citra satelit untuk masing-masing lokasi diperoleh peta *analytical hill shading, slope, flow accumulation dan wetness index*. Berdasarkan hasil interpretasi dengan metode geolistrik dan geomagnet diperoleh jenis dan ketebalan lapisan batuan akuifer pada kedalaman 5 m sampai kedalaman 68 m dan 60 m sampai 150 m. Analisis citra satelit diperoleh daerah potensi air berada di sekitar DAS pada jarak 15 m sampai 25 m dari garis pantai.

Kata kunci: Pulau Pura, Geolistrik, geomagnet, Parameter Terrain, Resistivitas, Suseptibilitas

1. PENDAHULUAN

Kehidupan manusia akan menjadi lebih baik jika pemenuhan kebutuhannya terpenuhi, salah satunya adalah kebutuhan akan air bersih yang merupakan penopang utama kehidupan. Semua orang selalu berlomba-lomba untuk mencari air bersih yang layak untuk dikonsumsi, karena ketersediaan air permukaan mulai berkurang dan kualitasnya pun kurang baik. Air tanah merupakan salah satu sumber pemenuhan kebutuhan yang baik. Menurut Soemarto [4] air tanah merupakan air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Lapisan yang terdapat di bawah permukaan bumi sangat mempengaruhi tingkat keberadaan dan kualitas air tanah, semakin massif suatu batuan maka keterdapatannya air tanah semakin kecil.

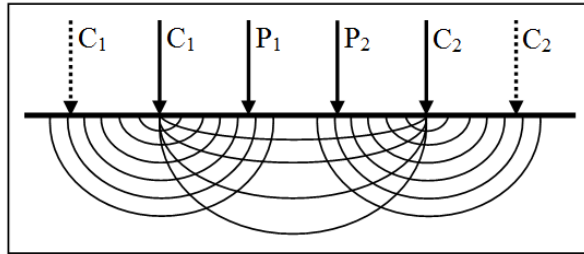
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Metode Geolistrik, Metode Geomagnet dan Analisis Citra Satelit. Metode ini digunakan karena disesuaikan dengan kebutuhan untuk menentukan titik keberadaan air yang tepat, kedalaman sekaligus sebaran lapisan batuan dan potensi sumber air galian yang ada di daerah penelitian.

Pemanfaatan air bersih oleh penduduk sekitar hanya diperoleh pada musim penghujan dan sumur-sumur di sekitar daerah patahan, daerah aliran sungai dan dekat pantai. Namun air pada semua sumur yang ada rata-rata mengandung kadar garam dengan tingkat keasinan yang berbeda-beda. Menurut warga setempat, air tersebut digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Untuk mengurangi rasa asin saat diminum sebelum dimasak air sumur dicampur dengan air hujan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dua Titik Arus Yang Berlawanan Polaritasnya Di Permukaan Bumi

Gambar arah penjalaran arus dengan dua titik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model arus listrik dua titik di permukaan bumi

(Reynolds, [3])

Beda potensial yang terdapat antara P_1 dan P_2 yang diakibatkan oleh injeksi arus pada C_1 dan C_2 (Gambar 1) adalah :

$$\Delta V = V(P_1) - V(P_2) \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] - \left[\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right]$$

Keterangan:

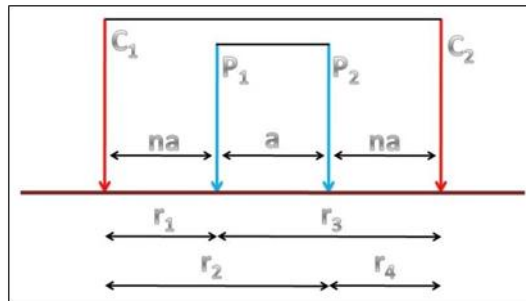
r_1 = jarak C_1 ke P_1

r_2 = jarak C_2 ke P_1

r_3 = jarak C_1 ke P_2

r_4 = jarak C_2 ke P_2

Untuk peletakan elektroda arus dan potensial dipermukaan bumi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model dua elektroda arus dan dua elektroda potensial

Menurut Gambar 2.2. beda potensial yang terjadi antara P_1P_2 yang diakibatkan oleh injeksi arus pada C_1C_2 adalah:

$$\Delta V = V_m - V_n = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{c_1p_1} - \frac{1}{c_2p_2} \right) - \left(\frac{1}{c_1p_1} - \frac{1}{c_2p_2} \right) \right]$$

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{c_1 p_1} - \frac{1}{c_2 p_2} \right) - \left(\frac{1}{c_1 p_1} - \frac{1}{c_2 p_2} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I}$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Dengan $K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{c_1 p_1} - \frac{1}{c_2 p_2} \right) - \left(\frac{1}{c_1 p_1} - \frac{1}{c_2 p_2} \right) \right]^{-1}$

K merupakan suatu faktor geometri yang bergantung pada konfigurasi (elektroda potensial dan elektroda arus) yang digunakan untuk menghitung resistivitas semu.

2.2 Resistivitas semu

Jika bumi diasumsikan bersifat homogen isotropik, Akibatnya resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung pada spasi elektroda. Pada kenyataannya, bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan ρ yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa harga resistivitas seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, dan harga ρ ini bukan harga ρ yang sebenarnya. Harga ρ hasil pengukuran adalah harga resistivitas semu ρ_s . Besar ρ_s tergantung pada faktor geometri yaitu susunan elektroda yang digunakan, nilai resistivitas semu ini dirumuskan dengan persamaan:

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Maka, nilai faktor geometrik untuk bentangan elektroda yang menggunakan konfigurasi Schlumberger yaitu

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right)}$$

$$K = n(n+1)\pi a \quad (4)$$

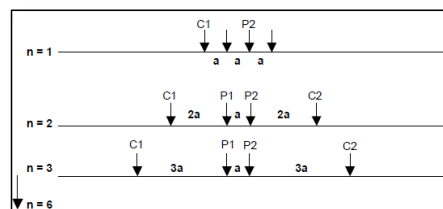
Keterangan :

MN = a (spasi elektroda potensial)

AM = NB = n.a

MB = AN = (n + 1).a

Kombinasi jarak elektroda dapat diperhatikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Kombinasi Elektroda Konfigurasi Schlumberger

Pada Gambar 3. diperoleh bahwa kombinasi dari jarak AB/2, jarak MN/2, besarnya arus listrik yang dialirkan serta tegangan listrik yang terjadi akan didapat suatu harga tahanan jenis semu ('Apparent Resistivity'). Interpretasi dari pengukuran ini bisa dilakukan dengan asumsi bahwa:

- 1) Di bawah permukaan tanah terdapat sejumlah lapisan batuan dengan ketebalan terbatas.
- 2) Lapisan batuan di bawah permukaan dalam posisi horisontal.

- 3) Setiap lapisan batuan mempunyai sifat homogen (jenis litologi sama) dan secara kelistrikan isotropik (diukur dari berbagai arah akan memberikan harga yang sama).

2.3 Suseptibilitas batuan

Tingkat suatu benda magnetik untuk mampu dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan (k) yang dituliskan sebagai:

$$\vec{I} = k\vec{H} \quad (5)$$

Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang dipergunakan dalam metode magnetik. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik.

2.4 Anomali medan magnetik

Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survei magnetik disebut anomali magnetik. Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat dari magnetisasi medan utama.

Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan dari keduanya, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi, maka anomalinnya bertambah besar, demikian pula sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnet kurang dari 25% medan magnet utama bumi (Telford, et al [5]).

Adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan dalam medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai:

$$\vec{H}_T = \vec{H}_M + \vec{H}_A \quad (6)$$

Dengan $\vec{H}_T$ = medan magnet total bumi

$\vec{H}_M$ = medan magnetik utama bumi

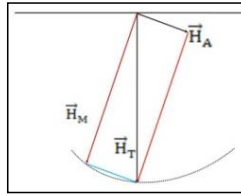
$\vec{H}_A$ = medan anomali magnetik

Bila besar $\vec{H}_A \ll \vec{H}_M$ dan arah $\vec{H}_A$ hampir sama dengan arah $\vec{H}_T$ maka anomali magnetik totalnya adalah:

$$\vec{H}_A = \Delta\vec{H} = \vec{H}_T - \vec{H}_M \quad (7)$$

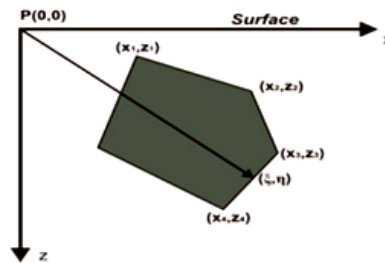
Penyebab bentuk medan anomali yang ditimbulkan oleh benda bergantung pada (Grant & West, [2]):

- Inklinasi medan magnet bumi di sekitar benda sebagai sumber anomali
- Geometri benda tersebut
- Kecenderungan arah dipol-dipol magnet di dalam benda
- Orientasi arah dipol-dipol magnet benda sumber anomali terhadap arah medan magnet bumi.



Gambar 4. Vektor yang menggambarkan medan anomali ($\vec{H}_A$), medan utama ($\vec{H}_M$) dan magnet total ($\vec{H}_T$)

2.5 Pemodelan Kedepan Dua Dimensi



Gambar 5. Model 2D benda poligon

Pemodelan ke depan adalah pembuatan model melalui pendekatan berdasarkan intuisi geologi, berdasarkan medan magnet pengamatan, medan magnet teori (IGRF, *International Geomagnetic Reference Field*), medan magnet harian; dapat dilakukan interpretasi (analisis) berupa pemodelan bawah permukaan. Dalam interpretasi geofisika dicari suatu model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Dengan demikian, model tersebut dianggap mewakili kondisi bawah permukaan.

Pemodelan ke depan (*forward modelling*) data magnetik dilakukan dengan membuat benda anomali dengan geometri dan harga kemagnetan tertentu. Untuk memperoleh data kesesuaian antara data teoritis (respon model) dengan data lapangan dapat dilakukan dengan proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah harga parameter model (Deniyatno, [1]).

3 HASIL

3.1 Kelurahan Pura

3.1.1 Sampel Sumur

Berdasarkan hasil pengamatan di Kelurahan Pura tidak ditemukan sumber mata air alami. Meskipun sumber mata air tidak ada, namun terdapat beberapa sumur galian warga. Oleh karena itu, pengamatan geohidrologi dilakukan pada sumur-sumur galian dengan melakukan pengukuran muka air tanah. Data-data yang diperoleh berupa data kedalaman sumur dan data kualitas air. Jumlah sumur yang di survei sebanyak 8 titik dengan kedalaman antara 6 hingga 11 m dengan rata-rata 5 m. Untuk mengetahui kualitas air sumur, parameter yang diamati adalah rasa, bau dan warna. Secara keseluruhan kualitas air sumur sangat rendah karena berasa asin dan sedikit berkeruh. Selengkapnya ditampilkan pada Tabel 4.1 dibawah ini.

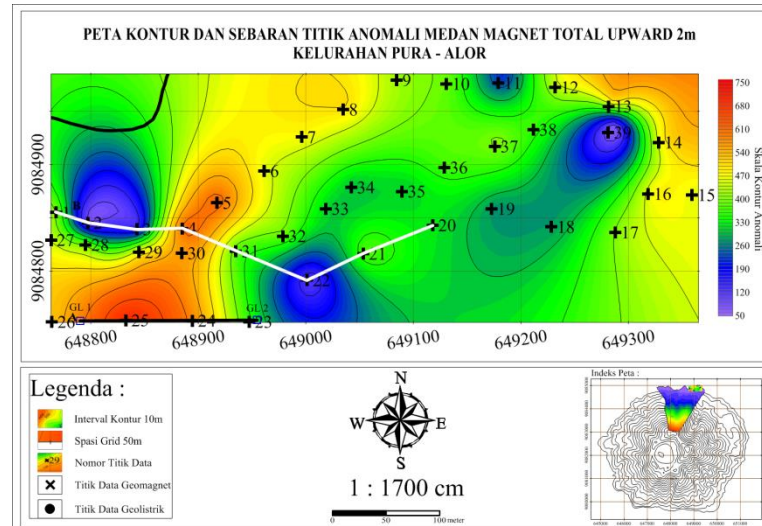
kedalaman yaitu lempung, breksi vulkanik, batugamping, batuan tuff, lempung lanau dan lempung. Besarnya rentangan nilai resistivitas batuan sebagai berikut lempung dan batugamping memiliki nilai resistivitas $1 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$, breksi vulkanik memiliki nilai resistivitas $53 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$, batuan tuff memiliki nilai resistivitas $200 \Omega\text{m} - 870 \Omega\text{m}$, lempung lanau memiliki nilai resistivitas $3 \Omega\text{m} - 13 \Omega\text{m}$, dan lempung memiliki nilai resistivitas $0.8 \Omega\text{m} - 3 \Omega\text{m}$. Pada Tabel 4.6 dapat dilihat nilai resistivitas, penampang kedalaman, jenis batuan, dan interpretasi akuifer.

Tabel 2. Tabel nilai resistivitas, jenis batuan dan interpretasi akuifer

Kelurahan Pura					
Lapisan	d (m)	h (m)	$\rho (\Omega\text{m})$	Lithologi	Kelulusan air
1	3.75	3.75	98.7	Lempung, Breksi	Akuifer
2	11.4	7.66	64	Gamping	
3	18.8	7.36	163	Breksi Vulkanik	Akuifer
4	29.6	10.8	236	Batuan Tuff	Tidak lulus air
5	92.5	62.9	4.58	Lempung Lanau	Tidak lulus air
6	120	27.2	1.15	Lempung	
7	± 131	± 11	1	Lempung	

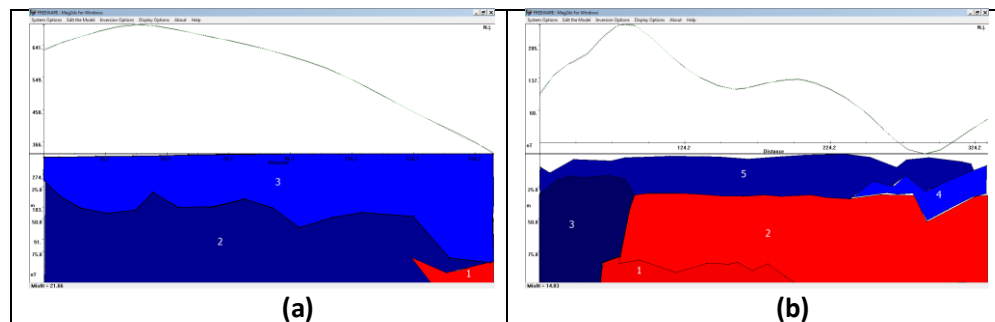
3.1.3 Geomagnet

Proses pengukuran data magnetik yang terukur di lapangan berupa data posisi (lintang, bujur), waktu, variasi harian dan anomali medan magnet. Parameter-parameter tersebut selanjutnya dilakukan koreksi-koreksi dengan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) dan koreksi variasi harian untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total. Selanjutnya dilakukan kontinuitas ke atas (*upward continuation operation*) pada nilai anomali medan magnet total. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan anomali lokal dari benda magnetik yang tidak diperlukan saat pengukuran berlangsung sehingga diperoleh nilai anomali yang bersih. Hasil kontinuitas yang konstan digunakan sebagai peta dasar dan rujukan untuk melakukan pemodelan 2D. Pemodelan 2D yang dipakai untuk menginterpretasi lapisan bawah permukaan dilakukan dengan membuat sayatan berupa garis yang menyinggung titik pengukuran. Hasil kontinuitas ke atas garis sayatan yang dibuat sebanyak 2 sayatan (S_a dan S_b). Sayatan pertama (S_a) adalah sayatan pada garis lurus dengan titik koordinat A (648790.021, 9084753.422) dan A' (648954.7154, 9084754.139) yang melewati beberapa titik pengukuran yaitu titik 23, 24 dan 25. Sayatan kedua (S_b) adalah sayatan dengan garis yang dibentuk oleh beberapa titik pengukuran yaitu titik 1, 2, 3, 4, 20, 21, 22 dan 31 seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta anomali magnet dan sayatan magnetik

Data-data dari hasil sayatan inilah yang kemudian akan digunakan untuk melakukan pemodelan. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan program *Mag2DC for windows* untuk melakukan pemodelan dimana pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan 2 dimensi yaitu dengan menggunakan metode *trial and error*. Pemodelan ini dilakukan dengan memasukkan nilai inklinasi -32.5310 , deklinasi 1.6831 , kedalaman 150 m, nilai suseptibilitas batuan dan mineral (tabel pada telfrod 1990) dan nilai $IGRF = 44258$ nT. Hasil pemodelan seperti pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. (a) Hasil pemodelan sayatan A (b) Hasil pemodelan sayatan B

Hasil pemodelan 2D pada Gambar 8(a) dibuat dengan kedalaman 150 m dan panjang lintasan 165 m. Nilai error yang diperoleh sebesar 21.66% dan nilai korelasi 0.99982 sedangkan hasil pemodelan pada Gambar 8(b) dibuat dengan panjang lintasan 333 m dan kedalaman 150 m memiliki nilai error sebesar 14.83 serta nilai korelasi 0.99985 . Berikut detail hasil interpretasi sayatan A dan sayatan B pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Berdasarkan tabel di atas, jenis batuan yang diduga berpotensi sebagai akuifer adalah batuan breksi vulkanik. Jenis batuan ini merupakan batuan dengan tingkat porositas sedang dan ukuran butir yang dapat menyimpan dan meluluskan air.

Pada Sayatan A-A' keberadaan akuifer terdapat di bagian barat dan timur sayatan di kedalaman 39 m sampai 150 m. Sayatan B-B' memiliki kedalaman akuifer dari 31 m sampai 150 m. Ditemukan juga lempung di kedalaman 0 m sampai kedalaman 37 m. Porositas dan ukuran butir lempung sangat kecil untuk meloloskan air. kemungkinan-kemungkinan untuk meloloskan air adalah keterdapatannya patahan dan mengalami pelapukan.

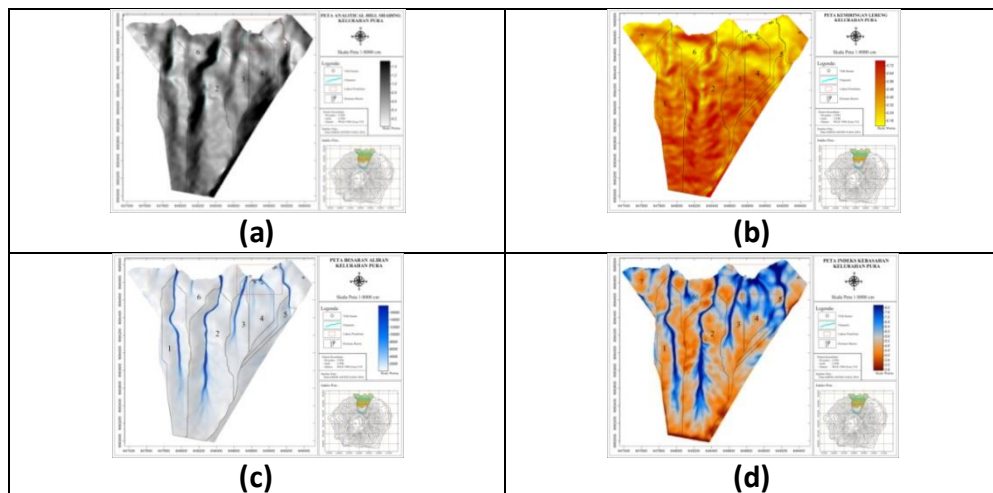
Tabel 3. Tabel nilai suseptibilitas dan lithologi pada sayatan A

Body Sayatan	k (SI)	d ± (m)	h ± (m)	r ± (m)	Lithologi	Kelulusan Air
3A	0.000013	0-37.5	39	0-146.7	Lempung	Tidak Lulus Air
2A	0.082056	39-150	111	0-140.2	Breksi vulkanik & Tuff	Akuifer Tertekan
1A	0.377654	95-150	50	140.3-164.7	Basalt	Tidak Lulus Air

Tabel 4. Tabel nilai susceptibilitas dan lithologi pada sayatan B

Body Sayatan	k (SI)	h ± (m)	d ± (m)	r ± (m)	Lithologi	Kelulusan Air
5B	0.000955	8-28 m	34	0-322	Batupasir Vulkanik & Batugamping	Akuifer
4B	-0.0505	18-51	33	270-321	Lempung & Kuarsa	Tidak Lulus Air
3B	0.011193	24-150	126	0-90	Breksi Tufaan	Akuifer
2B	0.071942	31-150	124	90-333	Breksi vulkanik & Tuff	Akuifer
1B	0.070098	70-150	80	62-170	Breksi vulkanik & Tuff	Akuifer

3.1.4 Analisis Citra Satelit



Gambar 9. (a) Anallitical Hill Shading (b) Slope (c) Flow Accumulation (d) Wetness Index

Peta *analytical hill shading* Pada Gambar 9 (a) merupakan peta sebaran perbukitan dengan skala hitam sampai putih ditunjukkan dengan nilai 0 sampai 1,5 radian. Nilai radian yang kecil (putih) menunjukkan kenaikan suatu perbukitan sedangkan nilai radian semakin besar (semakin gelap) menunjukkan penurunan suatu perbukitan.

Lokasi penelitian yang ditunjukkan dengan tanda persegi panjang berwarna merah tidak terdapat banyak perbukitan terjal, sehingga memungkinkan daerah tangkapan air hujan menjadi lebih luas dibanding daerah lain. Kelurahan Pura terletak di bagian utara kaki gunung Maru, oleh sebab itu kemiringan lereng sangat mempengaruhi kondisi wilayah ini terutama pada ketersediaan air. Keadaan lereng yang sangat curam mempengaruhi laju dan jumlah aliran air hujan. Pada Gambar 4.6 ditampilkan peta letak Kelurahan Pura yang berkaitan dengan kondisi kemiringan lereng gunung Maru.

Pada Gambar 9 (b) di atas warna kuning menunjukkan daerah dengan tingkat kemiringan rendah dan warna orange merupakan daerah dengan tingkat kemiringan yang tinggi. Secara Kelurahan Pura memiliki keadaan topografi yang curam hal ini terlihat dengan banyaknya sebaran warna orange hampir diseluruh Kelurahan Pura. Lain halnya dengan lokasi penelitian, keadaan topografi di sini cenderung landai yang ditandai dengan warna kuning pada peta. Selain itu pada lokasi penelitian ini tampak dibatasi oleh lereng terjal pada bagian selatan yang menyebabkan terbentuknya aliran air yang cenderung bergerak ke arah utara yang tepat melewati lokasi penelitian. Berdasarkan gambaran kondisi topografi yang landai dan didukung dengan adanya aliran air yang melewati daerah penelitian ini, maka sangat memungkinkan terjadinya akumulasi air pada wilayah tersebut.

Selanjutnya untuk analisis *catchment area* atau *flow accumulation* Gambar 9 (c) menunjukkan besarnya aliran pada daerah tangkapan air dari 0 sampai 16000 dimana semakin besar nilainya maka semakin tinggi aliran air. Selain itu, *flow accumulation* juga dapat memberikan gambaran jelas dari mana lokasi sumber aliran air tersebut berasal. Hal ini berkaitan dengan cara menentukan potensi sumber air baku yang berasal dari DAS yang bersumber pada kawah gunung Maru.

Pada lokasi penelitian ini terlihat bahwa Kelurahan Pura dilewati tiga buah DAS pada drainase 3, 4 dan 5. DAS ini menunjukkan daerah dengan potensi ketersediaan air baku yang sangat baik. Selanjutnya DAS 1 dan DAS 2 juga berpotensi sebagai ketersediaan air baku yang baik karena hulu dari DAS ini tidak berasal dari kawah gunung Maru. Pada Gambar 4.8 merupakan peta yang menunjukkan indeks kebasahan daerah penelitian. Daerah dengan tingkat kebasahan tinggi ditandai oleh warna biru sebaliknya daerah yang memiliki tingkat kebasahan rendah ditandai dengan warna cokelat.

Pada Gambar 9 (d) terlihat daerah dengan indeks kebasahan tinggi, banyak terakumulasi pada lokasi penelitian dibanding daerah lain. Keadaan ini menggambarkan bahwa pada lokasi penelitian memiliki potensi ketersediaan air yang lebih banyak.

3.1.5 Pembahasan

Berikut, hasil interpretasi geolistrik memperlihatkan jenis akuifer berupa lempung bersisipan batugamping dengan nilai resistivitas $98.7 \Omega\text{m}$ pada lapisan pertama sampai kedalaman 3.75 m yang merupakan batuan penutup, batugamping dengan nilai resistivitas $64 \Omega\text{m}$ pada lapisan kedua sampai kedalaman 11.4 m, batuan breksi vulkanik dengan nilai resistivitas $163 \Omega\text{m}$ pada lapisan ketiga sampai kedalaman 18.8 m. Kedalaman akuifer berdasarkan hasil interpretasi geolistrik berada pada kedalaman 5 m sampai 18 m.

Selanjutnya, hasil interpretasi geomagnet memperlihatkan jenis batuan lempung dengan nilai suscetibilitas 0.000013 sebagai lapisan penutup sedangkan jenis akuifer berupa batupasir vulkanik dan batugamping dengan nilai susceptibilitas 0.000955 yang berada pada kedalaman ± 8 m sampai ± 28 m, batuan breksi vulkanik dengan nilai susceptibilitas 0.70098-0.082056 dengan kedalaman ± 30 m sampai ± 150 m dan brksi tuffaan dengan nilai susceptibilitas 0.011193 pada kedalaman ± 24 - ± 150 m. Kedalaman akuifer berdasarkan

hasil interpretasi geomagnet berada pada kedalaman 8 m sampai 28 m.

Analisis yang dilakukan berupa bentuk lahan, kemiringan lereng, besar akumulasi aliran dan indeks kebasahan serta saluran drainase. Berdasarkan data hasil analisis topografi lokasi penelitian berada pada daerah yang landai ditunjukkan dengan nilai ± 0.2 sampai ± 0.7 dengan tingkat kemiringan lereng antara ± 0 sampai ± 0.24 . Selanjutnya hasil akumulasi aliran air terdapat tiga aliran air, salah satu aliran memiliki nilai sampai skala ± 16000 sedangkan dua diantaranya dengan skala ± 4000 sampai ± 12000 , beberapa sebaran aliran skala yang rendah yang berada di tengah lokasi penelitian. Kemudian untuk indeks kebasahan, terlihat bahwa sebagian besar lokasi penelitian memiliki indeks kebasahan yang tersebar secara merata dengan skala kebasahan ± 6.4 sampai 10. Pada lokasi penelitian juga terdapat tiga saluran drainase yang menjadi jalur aliran air.

Secara keseluruhan, rata-rata posisi sumur hampir seluruhnya sangat dekat dengan garis pantai pada jarak 3-8 m dan keterdapatan air pada kedalaman 4 m sampai 8 m (sumur 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8) dengan kualitas air yang belum memenuhi syarat sebagai air baku (Tabel 1) karena masih asin dan keruh, sedangkan sumur 5 berada pada jarak 11 m dari garis pantai dengan keterdapatan air pada kedalaman 10 m serta kualitas air yang cukup baik.

3.2 Pura Timur

3.2.1 Sampel Sumur

Desa Pura Timur data sumur yang diamati berupa data kedalaman dan kualitas air sumur. Jumlah sumur yang disurvei sebanyak 6 titik sumur pada kedalaman 4 m hingga 10 m dengan rata-rata kedalaman 8 m. Berdasarkan hasil survei tidak ditemukan sumur dengan kualitas air yang baik. Kualitas sumur sangat rendah karena berasa asin dan berkeruh. Berikut adalah tabel potensi sumur gali di desa Pura Timur.

Tabel 5. Tabel potensi sumur gali milik warga di desa Pura Timur

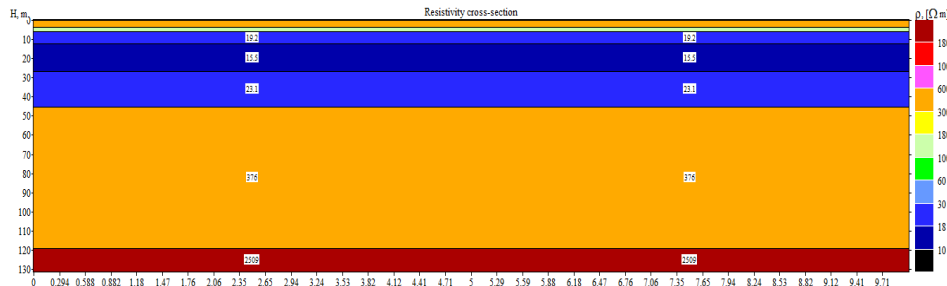
Nama	Bujur	Lintang	Keterangan
Sumur 1	124.3733	-8.29095	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 9 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari
Sumur 2	124.37092	-8.28642	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 8 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari
Sumur 3	124.37135	-8.28684	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 6 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari
Sumur 4	124.37328	-8.28963	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 4 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari
Sumur 5	124.37492	-8.2937	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 8 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari
Sumur 6	124.37572	-8.2948	Asin, keruh, terlindung, kedalaman 7 m, digunakan untuk keperluan sehari-hari

3.2.2 Geolistrik

Survei geolistrik di desa Pura Timur diukur dengan konfigurasi Schlumberger. panjang lintasan yaitu 200 m dengan spasi elektroda 5 m. Data yang diperoleh berupa data beda potensial, arus dan hambatan. Posisi titik ukur geolistrik adalah G1 (124.3743, -8.2933) dan G2 (124.37357, -8.2917) dapat dilihat pada peta geohidrologi desa Pura Timur. Hasil pengolahan data geolistrik dapat dilihat pada Gambar 10.

Hasil analisis terhadap nilai resistivitas pada Gambar di atas berkisar antara $15.5 \Omega\text{m}$ – $2509 \Omega\text{m}$, pada lintasan ini diduga memiliki 5 jenis batuan yaitu Batu Tuff, Batugamping,

Breksi Vulkanik, Batuan Pasir dan Batuan Lava. Batuan Tuff memiliki nilai resistivitas 200 Ωm - 870 Ωm , Batu Gamping memiliki nilai resistivitas 50 Ωm -200 Ωm , Breksi Vulkanik memiliki nilai resistivitas 53 Ωm - 200 Ωm , Batuan Pasir memiliki nilai resistivitas 13 Ωm – 53 Ωm , dan Batuan Lava memiliki nilai resistivitas 870 Ωm - 2509 Ωm . Tabel 6 berikut ini merupakan detail interpretasi akuifer berdasarkan litologi dan nilai resistivitas pada setiap perlapisan batuan.



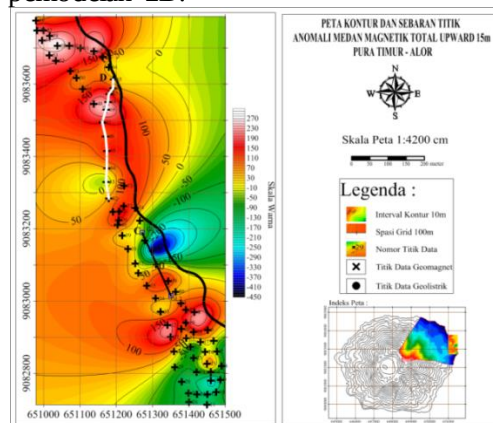
Gambar 10 Hasil pengolahan data

Tabel 6. Tabel nilai resistivitas, jenis batuan dan interpretasi akuifer

Lapisan	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Lithologi	Kelulusan Air
1	3.75	3.75	356	Batuan Tuff, Gamping	Tidak lulus air
2	5.85	2.1	122	Breksi Vulkanik	Akuifer
3	12.3	6.48	19.2	Batuan Pasir	
4	26.7	14.4	15.5	Batuan Pasir	Akuifer
5	45.5	18.8	23.1	Batuan Pasir	
6	119	73.5	376	Batuan Tuff	Tidak lulus air
7	±131	±12	2509	Batuan Lava	Tidak lulus air

3.2.3 Geomagnet

Hasil pengukuran geomagnetik diperoleh nilai anomali 43250 nT-44750 nT dan (-950) nT-500 nT, nilai anomali rendah ditunjukkan dengan nilai 43250 nT-43700 nT dan (-950) nT-(-450) nT, anomali sedang 43701 nT-44100 nT dan (-451) nT-(-100) nT dan anomali tinggi 44101 nT-44700 nT dan 401 nT-500 nT. Nilai anomali medan magnet total selanjutnya dilakukan operasi kontinuasi keatas, berdasarkan hasil kontinuasi dibuat garis sayatan untuk melakukan pemodelan 2D.

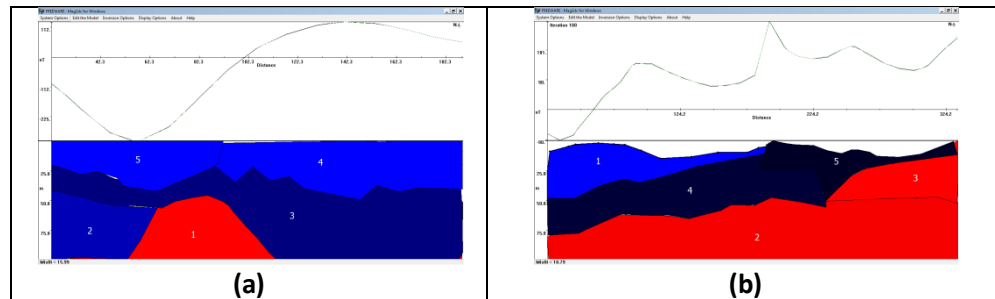


Gambar 11 Peta sayatan desa Pura Timur

Garis sayatan yang dibuat sebanyak 2 sayatan (Sc dan Sd). Sayatan pertama (Sc) adalah

sayatan dengan garis lurus dengan titik koordinat C(651271.3242, 9083188.883) dan C'(651350.5162, 9083015.171) yang melewati beberapa titik pengukuran yaitu titik 76, 77 dan 78. Sayatan kedua (Sd) adalah sayatan dengan garis yang dibentuk oleh beberapa titik pengukuran yaitu titik 42, 43, 44, 45, 46, 47, 65, 66, 67, 68 dan 69 seperti pada Gambar 11 di atas.

Data-data sayatan ini digunakan untuk melakukan pemodelan dengan memasukan nilai inklinasi -32.5604, deklinasi 1.6856, kedalaman 150 m, nilai suseptibilitas batuan dan mineral dan nilai IGRF= 44265.1 nT. Hasil pemodelan setiap lintasan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Hasil pemodelan sayatan C (b) Hasil pemodelan sayatan D

Pemodelan pada sayatan C ini dibuat dengan kedalaman 150 m dan panjang lintasan 165 m. Nilai error yang diperoleh sebesar 21.66 % dan nilai korelasi 0.99982 (Gambar 12 (a)). Selanjutnya pada Gambar 12 (b) dibuat dengan panjang lintasan 333 m dan kedalaman 150 m memiliki nilai error sebesar 18.79 serta nilai korelasi 0.99975. Berikut detail hasil pemodelan pada Tabel 7 dan tabel 8.

Tabel 7. Tabel nilai susceptibilitas dan lithologi pada sayatan C

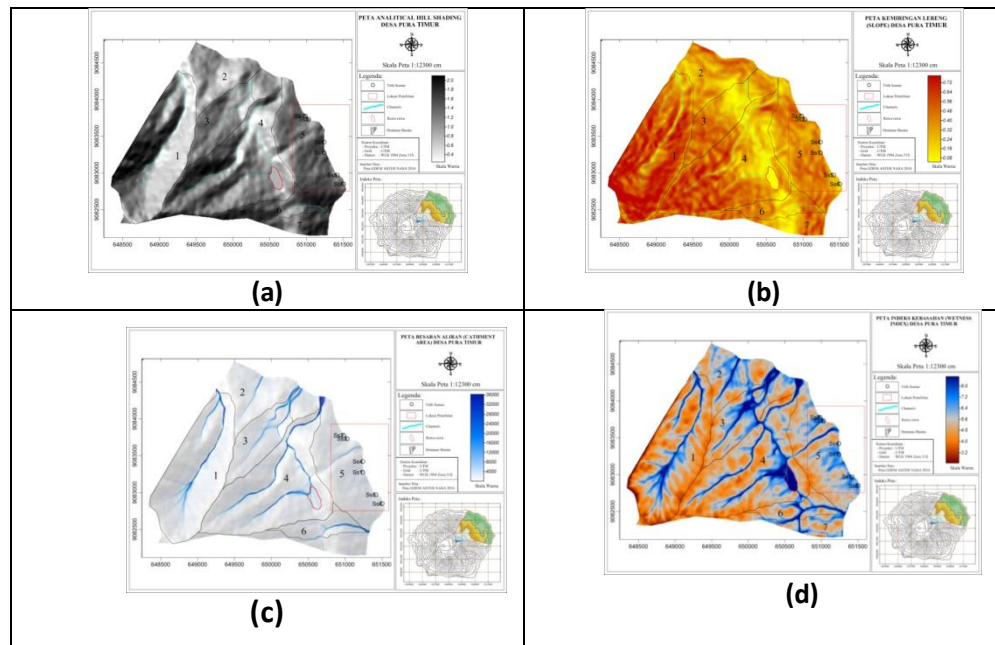
Body Sayatan	k	d ± (m)	h ± (m)	r ± (m)	Litologi	Kelulusan Air
5C	0.000004	0-42	42	0-91	Lempung	Tidak Lulus Air
4C	0.000002	0-49	49	92-189	Lempung	Tidak Lulus Air
3C	0.032732	19-60, 19-150	40, 130	0-188	Batupasir vulkanik	Akuifer
2C	0.018611	37-150	113	0-65	Breksi Tufaan	Akuifer
1C	0.129530	40-150	110	24-202	Basalt	Tidak Lulus Air

Tabel 8. Tabel nilai susceptibilitas dan lithologi pada sayatan D

Body Sayatan	k (SI)	d ± (m)	h ± (m)	r ± (m)	Litologi	Kelulusan Air
1D	0.013649	1-49	48	0-179	Lempung & Kuarsa	Tidak Lulus Air
2D	0.031863	65-150	85	0-332	Batupasir vulkanik	Akuifer
3D	0.032549	20-90	70	231-332	Batupasir vulkanik	Akuifer
4D	0.004389	11-68	67	0-234	Tuff pasiran	Akuifer
5D	0.005974	11-49	38	182-332	Tuff pasiran	Akuifer

Dari tabel di atas, jenis batuan yang diduga berpotensi sebagai akuifer adalah Breksi tuffaan, batupasir vulkanik serta tuff pasiran. Sayatan C memiliki kedalaman akuifer di bagian barat dan timur dari 19 m sampai 150 m. Ditemukan juga lempung di kedalaman 0 m sampai kedalaman 49 m. Sayatan D-D' memiliki kedalaman akuifer dari 65 m sampai 150 m, pada sayatan ini pula ditemukan lapisan lempung di kedalaman 0 m sampai 10 m. Porositas dan ukuran butir dari lempung sangat kecil sehingga cara untuk meloloskan air adalah melalui patahan dan mengalami pelapukan.

3.2.4 Analisis Citra Satelit



Gambar 13. (a) Anallitical Hill Shading (b) Slope (c) Flow Accumulation (d) Wetness Index

Seperti terlihat pada Gambar 13 (a) diatas, desa Pura Timur memiliki sebaran perbukitan dengan nilai 0.2 radian sampai 2.0 radian. Hal ini menunjukkan bahwa nilai radian yang kecil merupakan kenaikan sampai titik tertinggi pada suatu perbukitan sedangkan nilai radian yang lebih besar ditandai dengan warna yang semakin gelap merupakan penurunan suatu perbukitan, nomor yang ditunjukkan dari 1-7 merupakan nomor drainase basins. Peta diatas juga memperlihatkan gambaran rawa-rawa yang lokasinya pada drainase ke-4.

Gambar 13 (b) diatas, desa Pura Timur memiliki keadaan topografi yang sebagian besar curam. Besarnya kemiringan lereng antara 0.01 sampai 1.0 yang banyak terdapat di bagian barat desa. Sedangkan daerah didekat pantai memiliki kemiringan lereng sedang antara 0.2 sampai 0.5. Keadaan topografi yang cenderung landai terdapat di bagian barat lokasi penelitian ditandai dengan warna kuning pada peta yang tersebar dari arah selatan kearah utara. Daerah yang ditandai garis merah pada drainase ke-4 merupakan daerah tangkapan air berupa rawa-rawa.

Selanjutnya, analisis besarnya aliran pada daerah tangkapan air di desa Pura Timur. Nilai besaran yang semakin tinggi menunjukkan daerah tangkapan air semakin baik. Peta *catchment area* ditampilkan pada Gambar 13 (c). Pada lokasi penelitian ini terlihat bahwa Kelurahan Pura dilewati satu buah DAS dengan skala ± 4000 sampai ± 8000 yang menunjukkan bahwa potensi adanya akumulasi aliran di daerah ini sangat kecil. Pada desa

ini besarnya aliran air terlihat pada drainase ke-4. Arah aliran air cenderung kearah utara karena elevasi di bagian utara lebih rendah. Gambar 13 (d) terlihat daerah dengan indeks kebasahan rendah sampai tinggi. Akumulasi indeks kebasahan ini juga terlihat mengarah melewati daerah penelitian. Indeks kebasahan di desa ini lebih mengarah ke bagian utara, sedangkan di lokasi penelitian dengan indeks kebasahan 7,2.

3.2.5 Pembahasan

Hasil interpretasi geolistrik memperlihatkan jenis akuifer berupa batuan breksi vulkanik bersisipan batugamping dengan nilai resistivitas 122 Ω m pada lapisan kedua sampai kedalaman 5.85 m, batupasir dengan nilai resistivitas 15.5-23.1 Ω m pada lapisan ketiga, keempat dan kelima sampai kedalaman 45.5 m. Kedalaman akuifer berdasarkan hasil interpretasi geolistrik berada pada kedalaman 5 m sampai 45 m.

Selanjutnya, hasil interpretasi geomagnet memperlihatkan jenis batuan lempung dan sisipan butiran kuarsa dengan nilai suscetibilitas (-0.013649-0.000004) sebagai lapisan penutup sedangkan jenis akuifer berupa breksi tufaan dengan nilai susceptibilitas 0.018611 yang berada pada kedalaman ± 37 m sampai ± 150 m, batupasir vulkanik dengan nilai susceptibilitas 0.031863-0.032549 dengan kedalaman ± 20 m sampai ± 150 m. Kedalaman akuifer berdasarkan hasil interpretasi geomagnet berada pada kedalaman 20 m sampai kedalaman 150 m.

Analisis topografi yang dilakukan berupa bentuk lahan atau daerah perbukitan, kemiringan lereng, besar akumulasi aliran dan indeks kebasahan serta saluran drainase. Berdasarkan data hasil analisis topografi lokasi penelitian berada pada daerah yang landai ditunjukkan dengan nilai ± 0 sampai ± 1.2 ditandai tingkat kemiringan lereng antara ± 0 sampai ± 0.4 . Selanjutnya hasil akumulasi aliran air terdapat satu aliran memiliki nilai sampai skala nilai ± 5000 sampai ± 13000 , terlihat beberapa sebaran aliran skala tinggi yang berada di bagian utara lokasi penelitian. Kemudian dengan melihat indeks kebasahan, terlihat bahwa sebagian besar lokasi penelitian memiliki indeks kebasahan yang tersebar secara merata dengan skala kebasahan ± 6.0 sampai 10. Pada lokasi penelitian juga terdapat tiga saluran drainase yang menjadi jalur aliran air.

Secara keseluruhan, rata-rata posisi sumur hampir seluruhnya sangat dekat dengan garis pantai pada jarak 3-8 m dan keterdapatn air pada kedalaman 4 m sampai 9 m dengan kualitas air yang belum memenuhi syarat sebagai air baku (Tabel 4.1) karena masih asin dan keruh.

4 KESIMPULAN

4.1 Kelurahan Pura

1. Hasil interpretasi dengan metode geolistrik mendapatkan jenis batuan lempung dan batugamping pada kedalaman 0 m sampai 3.75 m dengan ketebalan 3.75 m, batugamping pada kedalaman 3,75 m sampai 11.4 m dengan ketebalan 7.66 m, batuan breksi vulkanik pada kedalaman 11.4 m sampai 18.8 m dengan ketebalan 7.36 m, batuan tuff pada kedalaman 18.8 m sampai 29.6 m dengan ketebalan 10.8 m, lempung lanau pada kedalaman 29.6 m sampai 92.5 m dengan ketebalan 62.9 m dan lempung pada kedalaman 92.5 m sampai 131 m dengan kedalaman 38.2 m. Selanjutnya, hasil interpretasi dengan metode geomagnet mendapatkan jenis batuan lempung pada kedalaman 0 m sampai 37.5 m, batupasir dan batugamping pada kedalaman 8 m sampai 28 m, lempung dan kuarsa pada kedalaman 18 m sampai 51 m, batuan breksi tufaan pada kedalaman 24 m sampai 51 m, batuan breksi dan tuff pada kedalaman 31 m sampai 150 m dan basalt pada kedalaman 95 m sampai 150 m.

2. Kedalaman dan ketebalan akuifer yang diperoleh dengan metode geolistrik yaitu pada kedalaman 0 m sampai 18.8 m dengan ketebalan 18.8 m. Sedangkan kedalaman dan ketebalan akuifer yang diperoleh dengan metode geomagnet yaitu pada kedalaman 8 m sampai 28 m dengan ketebalan 20 m dan pada kedalaman 24 m sampai 150 m dengan ketebalan 126 m.
3. Berdasarkan analisis citra satelit daerah yang memiliki potensi air tanah yaitu daerah di sekitar DAS dengan jarak 15 m sampai 25 m dari garis pantai dengan kedalaman 18 m sampai 28 m dan 24 m sampai 150 m.

4.2 Desa Pura Timur

1. Hasil interpretasi metode geolistrik diperoleh jenis batuan tuff dan batugamping pada kedalaman 0 m sampai 3.75 m dengan ketebalan 3.75 m, batuan breksi vulkanik dan batugamping pada kedalaman 3.75 m sampai 5.85 m dengan ketebalan 2.1 m, batupasir pada kedalaman 5.85 m sampai 45.5 m dengan ketebalan 39.68 m, batuan tuff pada kedalaman 45.5 m sampai 119 m dengan ketebalan 73.5 m, batuan lava pada kedalaman 119 m sampai 131 m dengan ketebalan 12 m. Sedangkan hasil yang diperoleh dengan metode geomagnet berupa lempung pada kedalaman 0 m sampai 49, lempung dan kuarsa pada kedalaman 1 m sampai 49 m, batuan tuff pasir pada kedalaman 11 m sampai 68 m, batupasir vulkanik 20 m sampai 150 m, batuan breksi tufaan pada kedalaman 37 m sampai 150 m dan batuan basalt pada kedalaman 40 sampai 150 m.
2. Kedalaman dan ketebalan akuifer berdasarkan metode geolistrik yaitu pada kedalaman 5.85 m sampai 45.5 m dengan ketebalan 41.78 m. Sedangkan kedalaman dan ketebalan akuifer yang diperoleh dengan metode geomagnet pada kedalaman 11 m sampai 68 m dan 60 m sampai 150 m
3. Daerah yang berpotensi keterdapatan air tanah yang baik adalah daerah di sekitar DAS dengan jarak 15 m sampai 25 m dari garis pantai pada kedalaman 11 m sampai 68 m dan 60 m sampai 150 m.

DaftarPustaka

- [1] Deniyatno., 2010, Pemodelan Ke Depan (Forward Modelling) 2 Dimensi Data Magnetik Untuk Identifikasi Bijih Besi Di Lokasi X, Provinsi Sumatera Barat, *Jurnal Aplikasi Fisika*, 2, 6, [http://118.97.35.230/fakultas/jaf-fmipa/2_JAF-agustus_10_\(deniyatno\).pdf](http://118.97.35.230/fakultas/jaf-fmipa/2_JAF-agustus_10_(deniyatno).pdf), diakses tanggal 12 agustus 2016
- [2] Grant, F.S. & West, G.F., 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Reynolds, J. M., 1998. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Willey and Sons.
- [4] Soemarto., 1986. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- [5] Telford, W, Geldart, L, Sheriff, R., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, London.

PENYELIDIKAN GEOKIMIA PANAS BUMI LAU SIDEBUK-DEBUK KABUPATEN KARO SUMATERA UTARA

JULIPER NAINGGOLAN¹, CRISTIN SITEPU²

¹Department of Physics, University of HKBP Nommensen
Jl. Sutomo No. 4a Medan, Indonesia

Abstrak

This study aims to look at the potential of geothermal energy in Lau-debuk Sidebuk with geochemical investigations. This investigation also measurements in addition to direct measurements performed in chemical laboratories. Measurement and sampling conducted at four points with different height positions measured by the Global Positioning System (GPS). The fourth position of the sample point is at about N coordinates: 30 13 '624 "and E: 980 30' 590" with a height of 1372 m above sea level. The average surface temperature is 479,37⁰ C and the acidic pH of about 6.45 with 1888 micro electrical conductivity / cm. Results of chemical analysis, chart analysis and temperature measurement with Triliner Geothermometer obtained approximately 479.370⁰ C reservoir temperature and classified sulfate type water. With gradient decreased 30⁰ C per km then the depths of the reservoir is estimated to 141 km from the surface. Above results illustrate that the hot springs-debuk Sidebuk Lau has great potential as an alternative energy source, but it is necessary to study the geoelectric and geologic.

Keywords: Lau Sidebuk-debuk, Temperature Reservoir, Geochemistry

1. PENDAHULUAN

Estimasi potensial energi panas bumi didasarkan pada kajian ilmu geologi, geofisika dan teknik reservoir . Kajian geologi lebih ditekankan pada sistem vulkanis, struktur geologi, umur batuan, jenis dan tipe batuan ubahan dalam kaitannya dengan sistem panas bumi. Kajian geokimia ditekankan pada tipe dan tingkat kemurnian air, asal mula air panas, model hidrologi dan sistem fluidanya. Kajian geofisika menghasilkan parameter fisis batuan dan struktur bawah permukaan dari sistem panas bumi. Kajian teknik reservoir menghasilkan fase teknik yang mendefinisikan klasifikasi cadangan termasuk sifat fisis batuan dan fluida serta pemindahan fluida dari reservoir.

Beberapa penyelidik terdahulu melakukan penyelidikan tentang panas bumi adalah Delita. Yang menjadi lokasi penelitiannya adalah daerah panas bumi Sipoholon, Tapanuli Utara. Hasil perhitungan suhu reservoir panas bumi Sipoholon dengan menggunakan persamaan geotermometer empiris berkisar 230 - 280⁰ C [1]. Berdasarkan penelitian sebelumnya suhu reservoir panas bumi Sipoholon dengan menggunakan persamaan geotermometer diperoleh kisaran temperatur antara 143 – 230⁰ C. Cara eksplorasi sistem geotermometer juga telah dilaksanakan oleh Cristina. Penelitian ini dilaksanakan di daerah Dolok Marawa pada tahun 2010. Geotermometer yang sesuai dengan persyaratan fisis dan kimia menunjukkan bahwa daerah Dolok Marawa memiliki suhu reservoir sekitar $\pm 187^0$ C [2].

Geothermal dapat juga dimaknai sebagai energi panas yang terbentuk secara alami dibawah permukaan bumi. Kerak bumi (*crust*), yang merupakan lapisan terluar yang keras/padat berupa batu, mampu menahan aliran panas yang berasal dari bawah permukaan bumi. Sementara mantel bumi (*mantle*) merupakan lapisan yang semi-cair atau batuan yang meleleh atau sedang mengalami perubahan fisik akibat pengaruh tekanan dan temperatur tinggi disekitarnya. Sedangkan bagian luar dari inti bumi (*outer core*) berbentuk liquid. Akhirnya, lapisan terdalam dari inti bumi (*inner core*) berwujud padat.

Jauh dibawah permukaan bumi terdapat panas yang sangat tinggi sehingga semua batuan dan benda berubah menjadi cair. Batuan cair yang bersuhu tinggi tersebut dinamakan "magma". Semenjak terjadinya bumi, magma tersebut selalu memanasi kerak bumi yang merupakan bagian terluar dari bumi sampai kedalaman 15 km (jari-jari bumi : 6371 km). Kerak tersebut mengandung air yang ikut terpanasi. Apabila air tersebut dapat tembus atau muncul kepermukaan bumi dan bebas dari tekanan yang disebabkan oleh kedalamannya, maka akan berubah menjadi uap panas, kubangan lumpur panas ataupun sebagian mata air panas [3].

Sistem panas bumi dalam mencakup sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistim dimana air yang terpanaskan terkumpul. Sistem panas memiliki syarat sebagai berikut :

1. Adanya peresapan air tanah dalam (air meteorik).
2. Adanya sumber panas berupa "kantong magma, baik sisa dari gunung api maupun terobosan magma dikedalaman (*stock*).
3. Adanya susunan batuan, yang terdiri dari batuan tudung kedap air uap, batuan sarang yang tembus air uap dan batuan kedap sebagai penghantar panas.
4. Adanya gejala struktur, umumnya patahan yang menjebak bagi tersebarnya manifestasi panas bumi dipermukaan.

Keseluruhan parameter diatas bekerja saling terkait membentuk sistem panas bumi. Batuan panas akan berfungsi sebagai sumber pemanas air yang dapat berwujud tubuh terobosan granit. Pada umumnya sumber panas bumi terdapat di jalur gunung api, maka sebagai sumber panas adalah magma atau batuan yang telah mengalami radiasi panas dari magma.

Terjadinya sumber energi panas bumi di Indonesia serta karakteristiknya dijelaskan oleh Hazuardi sebagai berikut. Ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia. Tumbukan antara lempeng India-Australia di sebelah selatan dan lempeng Eurasia di sebelah utara mengasilkan zona penunjaman (subduksi) di kedalaman 160 - 210 km di bawah Pulau Jawa-Nusatenggara dan di kedalaman sekitar 100 km di bawah Pulau Sumatera [4].

Petrucchi Ralph H membedakan sistem panas bumi menjadi tiga yaitu rendah ($< 125^{\circ}\text{C}$), sedang ($125^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}$) dan tinggi ($> 225^{\circ}\text{C}$) [5]. Yang paling baik untuk digunakan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik adalah yang masuk kategori *high temperature*. Namun dengan perkembangan teknologi, sumber panas bumi dengan kategori *low temperature* juga dapat digunakan asalkan suhunya melebihi 50°C .

Metode geokimia dalam kegiatan eksplorasi panas bumi, dimaksudkan untuk mengetahui jenis manifestasi, dan karakteristik kimia dari manifestasi dan perkiraan temperatur bawah permukaan. Distribusi anomali senyawa kimia secara lateral seperti pH, Hg tanah dan CO_2 udara tanah pada daerah penyelidikan. Analisa kimia panas bumi dari contoh

tanah, air panas, air dingin, dan gas untuk dianalisis kandungan seperti pH, daya hantar listrik, SiO_2 , Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Li, NH_4 , B, Cl, SO_4 , HCO_3 , As, F, Hg, CO, CH_4 , H_2 , O_2 , N_2 , NH_3 , SO_2 , CO_2 , H_2S dan HCl dengan metode titrimetri dan kromatografi dan menggunakan peralatan mercury Analyzer (AAS), Gas Chromatography dan peralatan lainnya. Pengolahan data berupa plotting data pada diagram segi tiga: klasifikasi air panas Cl - SO_4 - HCO_3 , kandungan relatif Na/1000, K/100, $\sqrt{\text{Mg}}$, Cl/100-Li-B/4 hasil analisis pH, Hg, dan CO_2 serta pembuatan peta distribusinya. Pendugaan temperatur bawah permukaan berdasarkan perhitungan Geothermometri.

Geothermometer memungkinkan temperature dari fluida reservoir dapat diperkirakan. Hal ini penting untuk mengevaluasi sistem panas bumi yang baru dan mengamati sistem hidrologinya. Pada tahap ini, geothermometer berdasarkan daya larutan daripada mineral (silika) serta reaksi pergantian antara Na – K : Na – K – Ca dan lain – lain. Geothermometer larutan berdasarkan temperature equilibrium fluida mineral dan 5 dasar asumsi [5] yaitu :

- Konsentrasi daripada elemen – elemen atau unsur – unsur yang akan digunakan dalam geothermometer harus dikontrol oleh temperature fluida mineral tersebut,
- Kelimpahan mineral – mineral atau unsur – unsur larutan dalam fluida yang akan bereaksi dengan cepat,
- Reaksi yang mencapai kesetimbangan dalam fluida,
- Adanya kecepatan aliran kepermukaan tanpa re-equilibrium setelah fluida meninggalkan reservoir,
- Tidak ada pencampuran .

Sehingga dapat dikatakan bahwa geothermometer larutan sangat tergantung pada kecepatan reaksi harus cukup cepat dalam membentuk suatu sistem kesetimbangan. Untuk memastikan komposisi reservoir tertahan oleh air serta kecepatannya tidak boleh membentuk sistem kesetimbangan baru pada saat fluida bergerak kepermukaan. Geothermometer larutan yang digunakan terdiri dari :

A. Geothermometer Na-K

Geothermometer dengan perbandingan Na/K memberikan indikasi temperatur yang tinggi di bawah permukaan dengan melihat elemen sodium dan potassium. Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung temperatur dari perbandingan Na – K, dengan rentang suhu (180-350), adalah sebagai berikut [7] :

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{1390}{[\log(\text{Na} / \text{K}) + 1.750]} - 273$$

B. Geothermometer Na-K-Ca

Terbentuk sebagai hasil dari reaksi pertukaran dengan Na-K-Ca pada temperature rendah. Perbandingan Na-K-Ca akan representatif dan kondisi terakhir reaksi sebelum keluar dari reservoir.

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{1647}{\log(\text{Na} / \text{K}) + \beta [\log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2.06]} + 2.47$$

Dengan , $\beta = 4/3$ untuk $t < 100^{\circ}\text{C}$ dan $\beta = 1/3$ untuk $t > 100^{\circ}\text{C}$

C. Geothermometer SiO_2

Suhu reservoir yang diperkirakan dari pengukuran konsentrasi silika dengan suhu yang diukur secara langsung dengan metode fisika ternyata cocok untuk air panas bumi suhu tinggi (180 – 260) $^{\circ}\text{C}$. Truesdell menyatakan bahwa suhu reservoir dapat diperkirakan

dari konsentrasi silica (mg/kg) dengan menganggap air jenuh dengan kuarsa, adiabatic, pendinginan isoentalpi [2]. Rumus yang menyatakan hubungan konsentrasi silica dengan suhu adalah :

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{1533,5}{5,768 - \text{Log}[\text{SiO}_2]} - 273$$

Tipe dari fluida dapat ditentukan berdasarkan kandungan unsur kimia yang paling dominan dijumpai di dalam air panas tersebut serta proses – proses fisika yang terjadi. Berikut ini adalah beberapa tipe fluida dari air panas [2] yaitu : klorida, sulfat dan bikarbonat. Pada bagian ini hendaknya digambarkan latar belakang serta deskripsi permasalahan yang akan dipaparkan dalam makalah ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Lau Sidebuk – debuk, desa Semangat gunung, Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Bahan dan alat yang digunakan adalah : alat yang dipergunakan dalam penyelidikan geokimia yang meliputi : Analisis kandungan seperti pH, kadar Hg dan CO_2 , SiO_2 , Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Li, NH_4 , B, Cl, SO_4 , HCO_3 , As, F, Hg, CO, CH_4 , H_2 , O_2 , N_2 , NH_3 , SO_2 , CO_2 , H_2S dan HCl dengan metode titrimetri menggunakan peralatan mercury Analyzer (AAS), Gas Chromatography dan peralatan lainnya. Dengan menggunakan rumus geothermometer larutan akan ditentukan suhu reservoir. Demikian juga tipe air dapat ditentukan dengan diagram segitiga Cl- SO_4 - HCO_3 .

3. HASIL

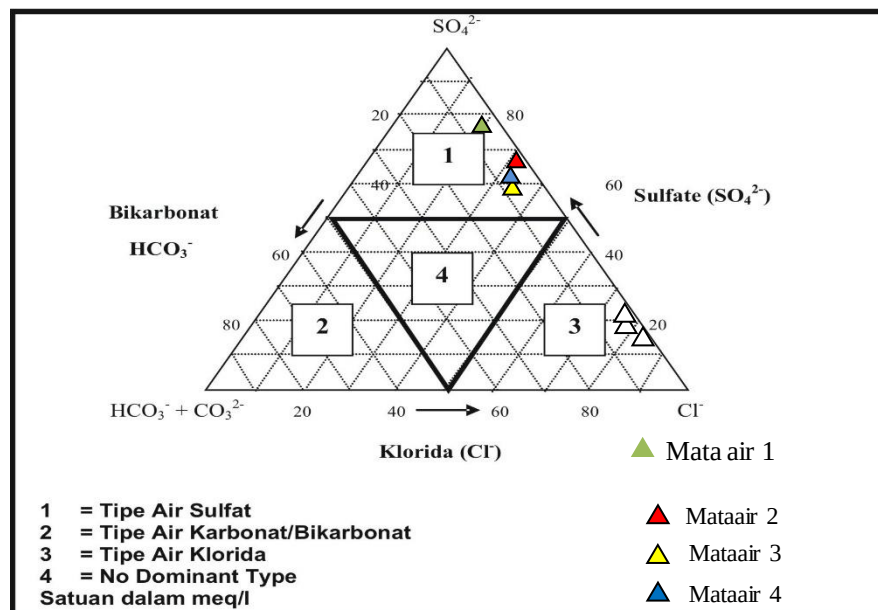
Penelitian ini dilaksanakan di daerah Lau Sidebukdebuk dengan empat titik yang berjarak sekitar 300 meter satu dengan lainnya yaitu mataair 1, mataair 2, mataair 3 dan mataair 4. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran dengan menggunakan *global Position System (GPS)*, termometer, kertas lakmus serta pH meter didapatkan hasil sebagai berikut:

No	Parameter	Mataair			
		1	2	3	4
1	Warna	Jernih	Jernih	Jernih	Jernih
2	Bau	Sulfur	Sulfur	Sulfur	Sulfur
3	Rasa	Asam	Asam	Asam	Asam
4	Suhu Permukaan	47 ⁰ C	54 ⁰ C	50 ⁰ C	49 ⁰ C
5	Ph	6,5	6,3	6,5	6,4
6	Ketinggian (dpl)	1372 m	1395 m	1365 m	1351 m
7	Posisi	N:3 ⁰ 13'624" E:98 ⁰ 30'590"	N:3 ⁰ 13'462" E:98 ⁰ 30'818"	N:3 ⁰ 13'261" E:98 ⁰ 30'952"	N:3 ⁰ 13'256" E:98 ⁰ 30'984"

Analisa Geokimia sangat membantu dalam mendapatkan informasi mengenai kondisi dari pada reservoir dalam penentuan karakteristik panas bumi pada daerah penelitian. Analisis kimia dilakukan Badan pengkajian Kebijakan Iklim Dan Mutu Industri Balai Riset Dan Standarisasi Industri Medan, BTKL PPM dan Sucofindo. Hasil analisis kimia untuk keempat mata air terdapat pada tabel berikut.

No	Parameter	Satuan	Mataair			
			1	2	3	4
1.	Kalium(K)	mg/l	23,5	23,9	29,0	23,7
2.	Kalsium(Ca^{+2})	mg/l	93,9	81,8	91,1	75,0
3.	Natrium(Na)	mg/l	30,2	31,6	32,6	31,0
4.	Air Raksa	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
5.	Klorida (Cl)	mg/l	90,3	130	177	127
6.	Silika (SiO_2)	mg/l	3,8	26,4	19,9	20,4
7.	Sulfat (SO_4^{-2})	mg/l	978	775	765	677
8.	Magnesium (Mg)	mg/l	659	595	645	498
9.	Bikarbonat (HCO_3^-)	Mg/l	26,46	20,50	39,69	45,57
10.	Elektric Konduktivty	Mikro/cm	1508	2070	1888	1640

Dalam penentuan tipe air panas berdasarkan analisa geokimia mataair panas daerah penelitian menggunakan klasifikasi diagram Trilinier berdasarkan kandungan relatif anion klorida, sulfat dan bikarbonat [8]. Dari diagram disimpulkan tipe air panas termasuk dalam tipe sulfat seperti terlihat pada diagram berikut.



Berdasarkan perhitungan suhu reservoir yang menggunakan tiga persamaan geothermometer emperis diatas dan konsentarsi hasil pengukuran pada tabel diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

No	Sampel	$T(\text{SiO}_2)^0\text{C}$	$T(\text{Na-K})^0\text{C}$	$T(\text{Na-K-Ca})^0\text{C}$
1	Mataair 1	22,47	474,59	531,11
2	Mataair 2	79,67	469,65	531,83
3	Mataair 3	69,98	498,72	543,62
4	Mataair 4	75,91	474,51	533,24
Rata – rata		62,01	479,37	534,95

Berdasarkan data diatas, nilai yang paling mendekati untuk suhu reservoir adalah $479,37^0\text{C}$. Jika gradien penurunan suhu adalah 3^0C tiap km, suhu permukaan sekitar 54^0C dan suhu reservoir $479,37^0\text{C}$ maka diperkirakan kedalaman reservoir dari permukaan adalah 141 km.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perhitungan suhu dengan geothermometer maka perhitungan geothermometer Na-K yang paling mendekati. Suhu reservoir air panas Sidebuk-debuk sekitar 479,37⁰ C tergolong air panas suhu tinggi.
2. Suhu permukaan antara 47⁰C – 54⁰C, pH antara 6,3 – 6,5 bersifat asam.
3. Kedalaman reservoir dari permukaan dengan menganggap pendinginan terjadi 3⁰ per km adalah sekitar 141 km.
4. Berdasarkan analisa diagram Trilinier, mataair panas sidebuk debu tergolong tipe air sulfat.

Daftar Pustaka

- [1] Delita, (2008), Perhitungan Suhu Reservoir Daerah Panas Bumi Sipoholon, Tapanuli Utara menggunakan Persamaan Geothermometer Empiris, Skripsi, FMIPA, Unimed, Medan.1
- [2] Situmorang, Cristina (2010), Perhitungan Suhu Reservoir Panas Bumi Rianiate Kecamatan Pangururan Menggunakan Persamaan Geothermometer Empiris, Skripsi, FMIPA, Unimed, Medan.
- [3] Miryani, S. N, (1992), *Teknik Panas Bumi*: <http://www.dim.esdm.go.id/> Diakses Tanggal 2 Juni 2010, Jam 09.39 WIB
- [4] Hazuardi.,(1992), *Pengantar Eksplorasi Panas Bumi*, PPT MIGAS(Pusat Tenaga Perminyakan dan Gas Bumi),Cepu.
- [5] Ralph, P.H., (1985), Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern, Suminar Achmadi, Ph.D. (penerjemah), Edisi keempat, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- [6] Ellis, A. J., dan Mahon, W. A. J., (1977), *Chemistry and Geothermal System*, Academic Press. Inc, Orlando.
- [7] Giggenbach,W.F, and Goguel, 1988, *Methods for the collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas samples*, Petone New Zealand.
- [8] Dendi Surya Kusuma dkk, (2005), *Prospek Panas Bumi di Daerah Ranau, Lampung dan Sumatera selatan*, Subdik Panas Bumi.

DEPOSISI LAPISAN TIPIS OPAL MENGUNAKAN *CAPILARY DEPOSITION* *METHOD*

MULDARISNUR¹, FRANK MARLOW²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, muldarisnur@fmipa.unand.ac.id

²Max-Planck-Institut für Kohlenforschung Mülheim, Germany, marlow@mpi-muelheim.mpg.de

Abstrak

Kristal fotonik dipercaya akan menjadi tulang punggung sistem telekomunikasi masa depan. Kristal fotonik tiga dimensi sulit difabrikasi menggunakan teknik litografi karena mahal, lambat, dan sulitnya *alignment* antar lapisan. Hal ini mendorong banyak peneliti untuk memanfaatkan kecenderungan alamiah nanopartikel koloid membentuk struktur kristal *fcc* yang dikenal sebagai opal. Karena bersifat spontan, *self-assembly* nanopartikel koloid tidak sepenuhnya dapat dikontrol. Penulis mengusulkan penggunaan metode yang dinamakan *the capillary deposition method* karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode-metode yang telah terlebih dahulu dikembangkan. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai ukuran partikel dan menghasilkan opal dengan kualitas sangat baik. Disamping itu, ketebalan lapisan tipis opal dapat dikontrol dengan mengatur ketebalan *spacer* pembentuk sel kapiler. Kualitas opal yang dihasilkan terlihat dari tingginya intensitas dan kecilnya *full-width at half of maximum* dari spektrum absorbansi. Keteraturan susunan partikel koloid terlihat dari gambar yang diperoleh dengan menggunakan *scanning electron microscopy*.

Kata kunci: *opal, kristal fotonik, self-assembly, capillary deposition method, spectroscopy*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan *bandwidth* dan laju pengiriman informasi yang tinggi telah mendorong dikembangkan sistem telekomunikasi berbasis serat optik yang dilengkapi teknik *multiplexing* [1]. Disamping *bandwidth* dan laju transmisi yang tinggi, sistem komunikasi optik juga memiliki *loss* rendah dan tingkat keamanan lebih tinggi karena tidak adanya interferensi elektromagnetik. Sistem komunikasi optik sekarang ini masih bergantung pada komponen elektronik untuk melakukan penguatan dan pengarahan sinyal. Sinyal (informasi) optik diubah ke sinyal elektronik untuk dikuatkan sebelum diubah kembali menjadi sinyal optik. Sayangnya, komponen elektronik ini lambat, mahal, dan tidak dapat bekerja pada frekuensi tinggi sehingga menimbulkan apa yang disebut dengan „*electronic bottleneck*“ [2]. Hal ini mendorong maraknya penelitian tentang pengolahan sinyal secara optik sepenuhnya.

Integrasi dan miniaturisasi berbagai devais optik berbasis pemantulan internal total seperti pada pandu gelombang konvensional sulit direalisasikan karena adanya difraksi. Kristal fotonik dipercaya merupakan kandidat ideal untuk realisasi pemrosesan informasi secara optik seutuhnya dan pembuatan devais optik dimana sumber cahaya, pemanduan,

penguatan, pendeteksian dan pengolahan sinyal terintegrasi pada satu substrat [3]. Kristal fotonik merupakan struktur buatan dari bahan dielektrik dengan indeks bias berbeda yang tersusun secara periodik dalam arah satu, dua dan tiga dimensi dan dengan periodisitas sebanding dengan panjang gelombang cahaya. Struktur periodik menunjukkan terbentuknya celah pita optik yang memungkinkan untuk mengontrol emisi, pemanduan dan lokalisasi cahaya.

Devais optik berbasis kristal fotonik satu dan dua dimensi mudah difabrikasi dan sudah tersedia secara komersial. Kontrol sepenuhnya terhadap cahaya hanya dapat dilakukan dengan kristal fotonik tiga dimensi yang sayangnya sulit difabrikasi bahkan dengan menggunakan teknik litografi yang sangat sukses dalam industri semikonduktor. Teknik litografi memiliki beberapa kelemahan diantaranya mahal, lambat dan *alignment* antar lapisan sulit dilakukan.

Self-assembly merupakan pendekatan yang banyak dipilih karena mudah dilakukan dan murah. Partikel koloid cenderung membentuk kristal dengan struktur *face centered cubic* (fcc) yang dikenal sebagai opal ketika konsentrasinya cukup tinggi. Karena terbentuk secara spontan, opal biasanya mengandung cacat dengan jumlah dan jenisnya sulit diketahui secara pasti [4]. Banyak metode deposisi opal telah dikembangkan untuk mengontrol proses *self-assembly* [5]. Metode-metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode-metode tersebut pada umumnya, (1) hanya dapat digunakan untuk partikel dengan ukuran dan jenis tertentu, (2) proses deposisi lambat, (3) ketebalan lapisan opal yang terbentuk tidak homogen dan tidak dapat dikontrol, (4) proses kristalisasi dan penguapan pelarut terjadi bersamaan, atau (5) menghasilkan opal dengan orientasi domain tidak teratur.

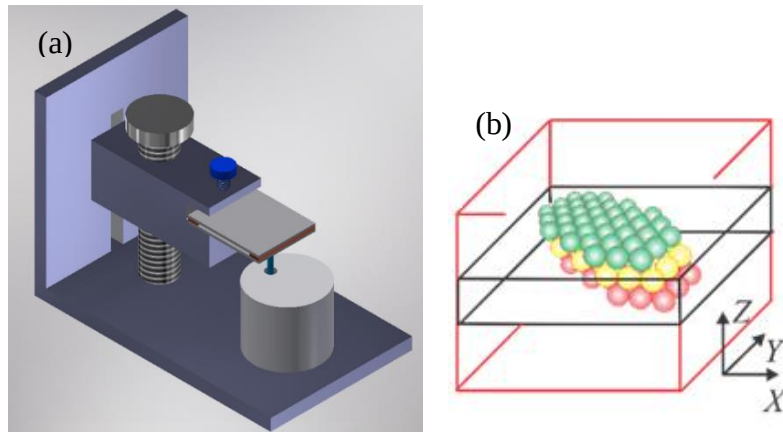
Dalam makalah ini dilaporkan deposisi opal menggunakan *capillary deposition method* (CDM). Metode CDM sangat cocok digunakan untuk menghasilkan opal dengan kualitas tinggi dengan ketebalan lapisan yang dapat dikontrol dan dapat digunakan untuk berbagai ukuran partikel koloid. Kualitas opal yang dihasilkan terlihat dari gambar *scanning electron microscopy* (SEM) dan spektrum absorbansi yang menunjukkan puncak Bragg yang tajam.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lapisan tipis opal dideposisi menggunakan metode CDM. Opal ditumbuhkan dari suspensi koloid *polystyrene* 0,5% berat yang dilarutkan terlebih dahulu dengan aquabides dari suspensi induk 10% berat (Microparticles GmbH). Sebelum digunakan untuk deposisi opal, suspensi 0,5% berat diultrasonikasi selama 10 menit menggunakan *ultrasonic bath* untuk memastikan homogenitasnya. *Polystyrene* yang digunakan berdiameter 266 nm, 448 nm, dan 920 nm. Deposisi lapisan tipis opal dilakukan di dalam ruangan yang kelembaban (RH) dan suhunya dikontrol pada $35 \pm 1,5\%$ dan 23 ± 1 °C.

Dalam metode CDM, lapisan tipis opal ditumbuhkan diantara dua substrat kaca yang di-*sandwich* satu sama lain membentuk sel kapiler planar [6]. Kedua substrat dipisahkan oleh *spacer* dari bahan polimer yang memiliki fungsi ganda, yaitu: (1) menentukan ketebalan lapisan tipis opal yang dihasilkan, dan (2) berperan dalam menghasilkan gaya kapiler pada suspensi koloid agar mengisi sel planar. Ketebalan opal dalam penelitian ini dijaga konstan yaitu 25 μm . Sel planar dihubungkan dengan kontainer berisi suspensi koloid menggunakan tabung kapiler dengan diameter dalam 0,5 mm. Suspensi koloid diangkut ke dalam sel planar akibat adanya gaya kapiler di dalam tabung dan kemudian menyebar akibat adanya evaporasi pada bagian sel yang terbuka (lihat Gambar 1a). Penguapan pelarut pada bagian sel yang terbuka mengakibatkan aglomerasi yang

mengarah pada pembentukan kristal pada bagian meniskus. Proses kristalisasi berlanjut hingga seluruh bagian sel terisi opal. Proses deposisi berakhir setelah pelarut yang mengisi ruang interstisial antara partikel menguap. Setelah penguapan selesai, opal akan menunjukkan adanya intensitas refleksi yang kuat dengan warna bergantung pada sudut datang cahaya. Hal ini dikenal sebagai *opalescent*.



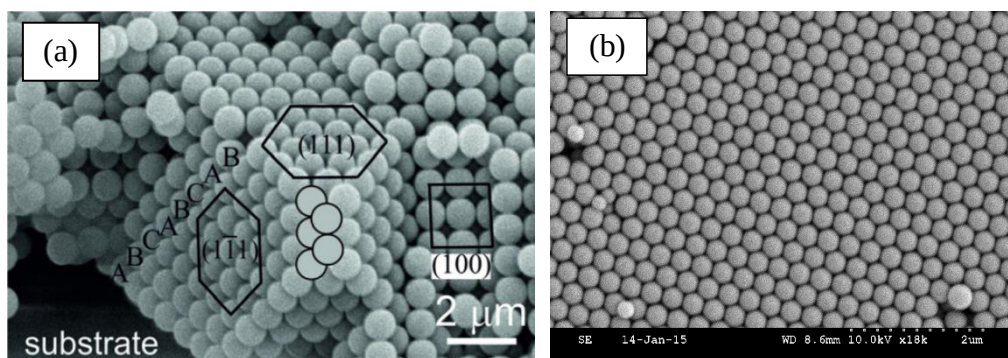
Gambar 1. (a) *Setup* metode CDM [6]. Sel kapiler planar dibuat dengan men-*sandwich* dua substrat kaca dengan dipisahkan oleh *spacer* dari bahan polimer dengan ketebalan tertentu. Suspensi koloid mengisi sel melewati tabung kapiler. (b) Skema susunan partikel dalam sel kapiler.

Morfologi lapisan tipis opal yang dideposisi di karakterisasi dengan menggunakan SEM, sedangkan derajat kristalinitasnya diukur menggunakan spektroskopi UV/Vis-NIR. Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang 400 – 2500 nm, resolusi panjang gelombang 1 nm, dan laju *scanning* 600 nm/menit. Keteraturan susunan partikel mengakibatkan cahaya akan terdifraksi ketika panjang gelombangnya sama dengan konstanta kisi kristal *fcc* yang dimiliki oleh opal. Dalam penelitian ini, cahaya dari sumber tegak lurus terhadap permukaan lapisan tipis opal.

3. HASIL

Hasil karakterisasi struktur morfologi permukaan dan derajat kristalinitas lapisan tipis opal dipaparkan pada sub bagian berikut.

3.1 Struktur dan Morfologi Lapisan Tipis Opal

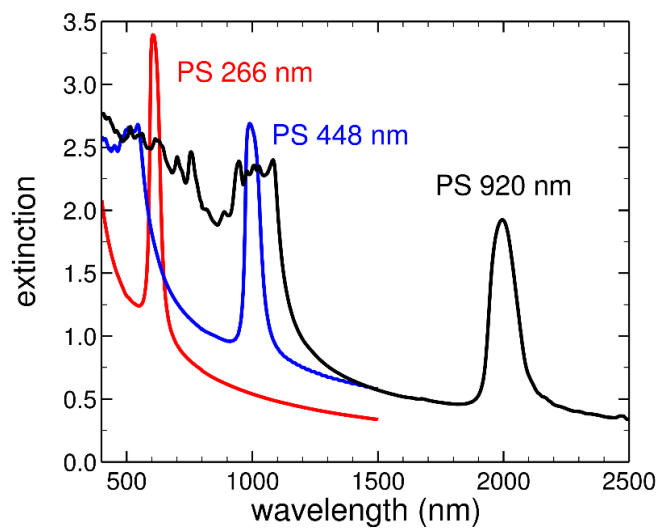


Gambar 2. Struktur dan morofologi lapisan tipis opal. (a) Struktur bagian tengah lapisan opal [7]. (b) Morfologi permukaan opal.

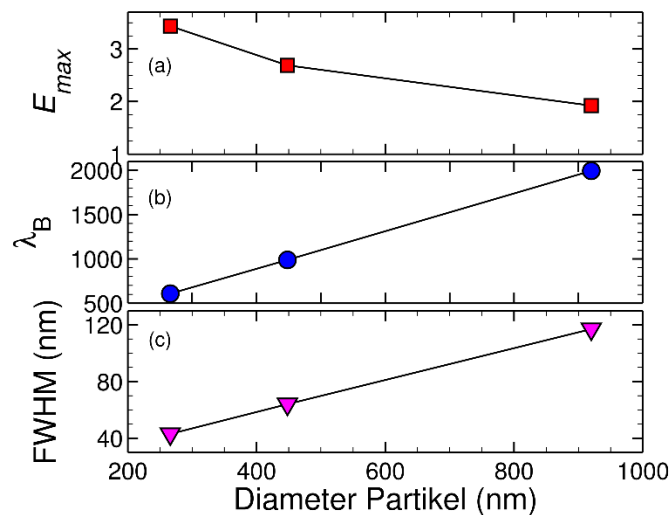
Hasil SEM lapisan tipis opal ditampilkan pada Gambar 2. Opal terdiri dari lapisan-lapisan dengan urutan lapisan (*stacking sequence*) ABCABC... yang bersesuaian dengan struktur fcc. Setiap lapisan opal terdiri dari partikel koloid yang tersusun dengan simetri heksagonal. Terbentuknya kristal fcc terbukti dari terksposnya permukaan kristal (111), ($\bar{1}\bar{1}1$), dan (100) ketika opal di-*cleave* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2(a).

3.2 Spektrum Absorbansi

Spektrum absorbansi (*extinction*, $-\log T$) diperlihatkan pada Gambar 3. Puncak Bragg yang tajam dan *background* yang rendah menunjukkan kualitas lapisan opal yang dideposisi. Puncak Bragg muncul pada panjang gelombang berbeda bergantung pada diameter partikel koloid yang digunakan untuk deposisi opal. Disamping panjang gelombang Bragg yang berbeda, intensitas dan lebar puncak Bragg juga bergantung ukuran partikel yang digunakan.



Gambar 3. Spektrum absorbansi lapisan tipis opal dari partikel *polystyrene* dengan diameter 266 nm (merah), 448 nm (biru), dan 920 nm (hitam).



Gambar 4. (a) Maksimum absorbansi, (b) panjang gelombang Bragg, dan (c) FWHM puncak Bragg sebagai fungsi diameter partikel *polystyrene*.

4. HASIL

4.1 Struktur dan Morfologi Lapisan Tipis Opal

Diamatinya bidang heksagonal pada sudut tajam ($\sim 70.5^\circ$) pada Gambar 2(a) merupakan indikasi kuat bahwa lapisan opal memiliki struktur kristal *fcc*. Lima partikel ditambahkan pada gambar ini untuk menunjukkan perpotongan bidang kristal. Kristal *hexagonal close-packed* (hcp) hanya memiliki satu bidang *close-packed* (yaitu bidang basal). Urutan lapisan bidang heksagonal ABCABC... diperlihatkan pada Gambar (2). Opal yang dideposisi pada substrat padat cenderung memiliki orientasi kristal tertentu dimana bidang (111) selalu sejajar dengan permukaan substrat. Orientasi ini disebabkan oleh kecenderungan partikel koloid untuk membentuk monolayer *close-packed* pada substrat. Orientasi bidang (111) sejajar substrat juga teramati pada opal yang dideposisi dengan metode lain [8,9].

Investigasi lebih lanjut menunjukkan bahwa opal yang dideposisi menggunakan metode CDM memiliki orientasi tambahan yaitu arah penumbuhan kristal sejajar dengan kisi kristal. Dalam penentuan arah penumbuhan kristal ini, orientasi sampel sudah ditandai sebelum karakterisasi dengan menggunakan SEM. Orientasi sekunder ini cukup mengejutkan karena opal dipercaya terbentuk karena struktur kristal lebih mungkin secara termodinamik ketika fraksi pengisian partikel cukup tinggi. Kristalisasi dipercaya terjadi secara isotropik sehingga tidak ada orientasi spesifik opal. Kecenderungan penumbuhan opal yang deposisi dengan metode CDM dalam arah $[1\bar{1}1]$ kemungkinan besar diakibatkan oleh aliran suspensi di dalam sel planar yang mengarah ke bagian sel yang terbuka.

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa opal yang dihasilkan memiliki derajat kristalinitas sangat baik dan dengan konsentrasi cacat titik sangat rendah. Cacat lain seperti dislokasi dan domain juga tidak terlihat pada gambar SEM. Derajat kristalinitas opal secara keseluruhan dapat dilihat dari spektrum absorpsi.

4.2 Puncak Bragg

Puncak Bragg bergeser ke arah panjang gelombang panjang (*red shift*) dengan makin besarnya diameter partikel. Di luar puncak Bragg, terlihat *background* dari spektra dengan nilai yang cukup rendah. Penurunan nilai absorpsi maksimum tidak dapat dikaitkan dengan jumlah lapisan opal yang berbeda karena ketebalan semua sampel sudah dapat dianggap mendekati tak hingga, ketebalan sudah tidak lagi mempengaruhi sifat optik bahan. Penurunan ini dapat dijelaskan akibat meningkatnya *background* dengan panjang gelombang.

Panjang gelombang Bragg merupakan parameter penting untuk aplikasi kristal fotonik. Puncak Bragg yang merupakan manifestasi celah pita optik hendaknya dapat dikontrol supaya berada pada rentang frekuensi atau panjang gelombang tertentu yang diinginkan, misalnya saluran komunikasi 1500 nm atau spektrum emisi *quantum dot*. Karena persamaan Maxwell yang mendeskripsikan sifat optik kristal fotonik bersifat invarian, maka panjang gelombang Bragg dapat dikontrol dengan memvariasikan ukuran partikel koloid yang digunakan. Gambar 4(b) menunjukkan hubungan linier antara panjang gelombang Bragg dengan diameter partikel koloid yang digunakan.

Puncak Bragg (FWHM) melebar secara linier dengan diameter partikel. Pelebaran puncak Bragg diakibatkan karena untuk ketebalan opal yang sama, jumlah lapisan pada opal yang dibuat dengan partikel yang lebih besar menjadi lebih sedikit. Jumlah lapisan

mempengaruhi lebar celah pita optik sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis [7].

5. KESIMPULAN

Opal dengan kualitas tinggi dari berbagai ukuran partikel dapat dihasilkan dengan metode CDM. Kualitas opal yang dideposisi terlihat dari gambar SEM dan spektrum absorbansi. Gambar SEM menunjukkan bahwa opal yang dideposisi berupa kristal *fcc* dengan orientasi bidang (111) sejajar substrat dan arah penumbuhan kristal sejajar $[1\bar{1}1]$. Konsentrasi cacat titik yang sangat rendah. Spektrum absorbansi menunjukkan bahwa semua sampel opal memiliki puncak Bragg yang tajam (intensitas tinggi dan FWHM rendah). Metode CDM bisa digunakan untuk rentang diameter partikel yang lebar sehingga memudahkan untuk mengontrol posisi puncak Bragg sesuai dengan aplikasi yang diinginkan.

Daftar Pustaka

- [1] Saleh, B. E. A., Teich, C. M., *Fundamentals of Photonics*, Wiley, New York, **1991**.
- [2] Green, P. E., *Fiber to the Home: The New Empowerment*, Wiley-Interscience, **2006**.
- [3] Joannopoulos, J. D., Johnson, S. G., J.N.Winn, Meade, R. D., *Photonic Crystals Molding the Flow of Light*, Princeton University Press, New Jersey, **2008**.
- [4] Marlow, F., Muldarisnur, M., Sharifi, P., Zabel, H., Interpretation of Small-Angle Diffraction Experiments on Opal-like Photonic Crystals, *Phys. Rev. B* **2011**, *84*, 073401.
- [5] Marlow, F., Muldarisnur, M., Sharifi, P., Brinkmann, R., Mendive, C., Opals: Status and Prospects, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2009**, *48*, 6212-6233.
- [6] Muldarisnur, M., Marlow, F., Opal Films Made by the Capillary Deposition Method: Crystal Orientation and Defects, *J. Phys. Chem. C* **2011**, *115*, 414-418.
- [7] Muldarisnur, Opal based photonic crystals: structure, formation, and optical properties, Dissertation, Ruhr University Bochum **2012**.
- [8] Jiang, P., Bertone, J. F., Hwang, K. S., Colvin, V. L., Single-Crystal Colloidal Multilayers of Controlled Thickness, *Chem. Mater.* **1999**, *11*, 2132-2140.
- [9] Fudouzi, H., Novel Coating Method for Artificial Opal Films and Its Process Analysis, *Colloids Surf., A* **2007**, *311*, 11-15.

ANALISIS KAPASITAS BENCANA GEMPABUMI DI KOTA PALU

RUSYDI H¹, RUSTAN EFFENDI², MUHAMMAD BASIR CYIO³
RAHMAWATI⁴

¹ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Tadulako, Palu, rusydiutd@gmail.com

² Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako,
Palu, rst_efendi@yahoo.com

³ Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Palu,
basircyio@yahoo.com

⁴ Program Studi Pendidikan Geografi, Jurusan Ilmu Pengetahuan Sosial, Fakultas
Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako, thywa_03@yahoo.com

Abstrak

Kota Palu merupakan daerah rawan bencana gempa bumi sehingga pembangunan kapasitas dalam tanggap darurat bencana gempabumi menjadi prioritas utama dalam hal pengurangan resiko bencana gempabumi. Penelitian ini bertujuan: *Pertama*, mengkaji kapasitas kelembagaan (pemerintah, swasta dan LSM), sumberdaya manusia dan keuangan dalam hal tanggap darurat bencana gempa bumi. *Kedua*, menentukan zona kapasitas bencana gempabumi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *overlay weighted sum* dan metode kuantitatif deskriptif. Dari hasil penelitian menunjukkan dari delapan kecamatan di wilayah kota palu, berada pada zona dengan tingkat kapasitas sedang. Adapun hubungan kerjasama antar lembaga belum terjalin dengan baik, sehingga belum diperoleh hasil diskusi yang dapat di sosialisasikan ke masyarakat. Sedangkan tingkat sumber daya manusia terkait pengetahuan tanggap darurat bencana tidak merata, serta dana cadangan tanggap darurat yang tidak rutin dianggarkan akibat keterbatasan dana.

Kata kunci: Kapasitas, Gempabumi, SIG

1. PENDAHULUAN

Bencana alam gempabumi sering terjadi di Kota Palu, karena wilayah ini dilalui oleh sesar aktif Palu-Koro. Kerugian akibat bencana gempabumi meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk yang cukup cepat dan meningkatnya permukiman di daerah rawan bencana gempabumi. Data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Palu (2012) mencatat bahwa tidak kurang dari 5 kali dalam sehari terjadi gempa-gempa kecil (≤ 3 Mw) di Lembah Palu termasuk Kota Palu. Catatan sejarah gempabumi sejak tahun 1927, memperlihatkan bahwa telah terjadi 8 (tujuh) kali peristiwa gempabumi merusak di Lembah Palu. Kedelapan gempa tersebut menimbulkan korban jiwa tidak kurang dari 250 orang dan kerusakan harta benda. Gempabumi terkini yang terjadi di Lembah Palu Sulawesi Tengah 18 Februari 2012 menimbulkan korban jiwa dan kerusakan yang cukup besar. Korban yang dilaporkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), 5 orang meninggal, 27 luka berat, dan 667 orang luka ringan. Sebanyak 527 unit rumah mengalami kerusakan total, 311 unit unit rumah rusak

sedang dan 788 unit rusak ringan. Uraian di atas menunjukkan bahwa wilayah Lembah Palu khususnya Kota Palu sangat berisiko dari ancaman bencana gempabumi, sehingga penataan dan pengelolaan wilayah perlu memperhatikan hal ini.

Kondisi Kota Palu yang rentan akan ancaman gempabumi ini, seharusnya sebanding dengan kemampuan kapasitas masyarakat untuk bertahan dan tetap tinggal di lokasi tersebut. Kapasitas adalah kemampuan daerah dan masyarakat untuk melakukan pengurangan ancaman dan potensi kerugian akibat bencana secara terstruktur, terencana dan terpadu (Perka BNPB, 2012). Merujuk dari pengertian tersebut maka, peningkatan kapasitas melalui upaya perencanaan yang memadai merupakan langkah yang mendasar dalam upaya pengurangan resiko bencana (Wagner et al, 2014; Seara et al, 2016). Untuk melihat kapasitas adaptasi dapat dilihat dari level household, komunitas dan level kota (Smit and Pilifosova, 2003; Kumalasari, N.R, 2014). Hal ini sejalan dengan panduan penilaian kapasitas yang telah dikeluarkan oleh BNPB dimana penilaian kapasitas dapat dilihat dari 4 aspek yaitu, pemerintah daerah, perusahaan swasta, tokoh masyarakat dan lembaga swadaya masyarakat (LSM). Perhitungan kapasitas menggunakan Indeks Kapasitas yang dihitung berdasarkan indikator dalam *Hyogo Framework for Actions* (Kerangka Aksi Hyogo-HFA). Hasil penilaian ini selanjutnya menjadi rujukan dalam pengurangan resiko bencana gempabumi. Oleh karena itu terdapat dua tujuan dalam penelitian ini yaitu *pertama*, menentukan zona kapasitas bencana gempabumi. *Kedua*, mengkaji kapasitas kelembagaan (pemerintah, Swasta dan LSM), sumberdaya manusia dan keuangan dalam hal tanggap darurat bencana gempa bumi di Kota Palu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bencana alam merupakan kejadian yang tidak ingin dialami oleh siapapun, dan kejadiannya sangat sulit dihindari. Sebagaimana fungsi dari resiko bencana, yaitu $\text{resiko} = V \times H / C$, mengurangi hazard (H) sangat sulit dilakukan. Mengurangi vulnerability (V) juga merupakan upaya yang tidak mudah dilakukan dan memerlukan upaya jangka panjang. Salah satu upaya yang dalam jangka pendek bisa mengurangi resiko bencana adalah dengan meningkatkan kapasitas masyarakat (C).

Kapasitas adalah kemampuan daerah dan masyarakat untuk melakukan pengurangan ancaman dan potensi kerugian akibat bencana secara terstruktur, terencana dan terpadu (Perka BNPB, 2012). Berdasarkan Walker (2003) menunjukkan bahwa penilaian kapasitas adaptasi bergantung pada Sumberdaya ekonomi (financial), ketersediaan teknologi, kemampuan individu/pelaku adaptasi, pengelolaan, dan kinerja. Kapasitas adaptasi tersebut dapat dilakukan pada tingkat individu maupun kelompok sosial untuk merespon, mengatasi, memulihkan, dan beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang terjadi (Kelly dan Adger, dalam Engle, 2011).

Pengurangan resiko bencana dengan cara peningkatan kapasitas masyarakat haruslah merujuk pada kapasitas daerah dengan melihat kepada tatanan pada skala internasional. Pada skala internasional, Kerangka Aksi Hyogo (selanjutnya disebut KAH) dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dasar pembangunan kapasitas. KAH mengidentifikasi kebutuhan dan cara membangun komunitas yang tangguh dengan (1) Mengintegrasikan pencegahan bencana, mitigasi, kesiapsiagaan, dan Perspektif pengurangan kerentanan ke dalam pengembangan kebijakan berkelanjutan, 2) meningkatkan kapasitas daerah (institusi dan Mekanisme) untuk membangun ketahanan terhadap bahaya; dan (3) menggabungkan Pengurangan risiko ke dalam perancangan dan pelaksanaan kesiapan tanggap darurat, respon, pemulihan, dan program rekonstruksi (Susan, L.C et al 2008).

Indeks Kapasitas dihitung berdasarkan indikator dalam Hyogo Framework for Actions (Kerangka Aksi Hyogo-HFA). HFA yang disepakati oleh lebih dari 160 negara di dunia terdiri dari 5 Prioritas program pengurangan risiko bencana. Pencapaian prioritas-prioritas pengurangan risiko bencana ini diukur dengan 22 indikator pencapaian.

Prioritas program pengurangan risiko bencana HFA dan indikator pencapaiannya adalah :

1. Memastikan bahwa pengurangan risiko bencana menjadi sebuah prioritas nasional dan lokal dengan dasar kelembagaan yang kuat untuk pelaksanaannya, dengan indikator pencapaian : a. Kerangka hukum dan kebijakan nasional/lokal untuk pengurangan risiko bencana telah ada dengan tanggungjawab eksplisit ditetapkan untuk semua jenjang pemerintahan b. Tersedianya sumberdaya yang dialokasikan khusus untuk kegiatan pengurangan risiko bencana di semua tingkat pemerintahan c. Terjalannya partisipasi dan desentralisasi komunitas melalui pembagian kewenangan dan sumber daya pada tingkat lokal d. Berfungsinya forum/jaringan daerah khusus untuk pengurangan risiko bencana
2. Tersedianya Kajian Risiko Bencana Daerah berdasarkan data bahaya dan kerentanan untuk meliputi risiko untuk sektor-sektor utama daerah; dengan indikator : a. Tersedianya Kajian Risiko Bencana Daerah berdasarkan data bahaya dan kerentanan untuk meliputi risiko untuk sektor-sektor utama daerah b. Tersedianya sistem-sistem yang siap untuk memantau, mengarsip dan menyebarluaskan data potensi bencana dan kerentanan-kerentanan utama c. Tersedianya sistem peringatan dini yang siap beroperasi untuk skala besar dengan jangkauan yang luas ke seluruh lapisan masyarakat d. Kajian Risiko Daerah Mempertimbangkan Risiko-Risiko Lintas Batas Guna Menggalang Kerjasama Antar Daerah Untuk Pengurangan Risiko
3. Terwujudnya penggunaan pengetahuan, inovasi dan pendidikan untuk membangun ketahanan dan budaya aman dari bencana di semua tingkat; dengan indikator : a. Tersedianya informasi yang relevan mengenai bencana dan dapat diakses di semua tingkat oleh seluruh pemangku kepentingan (melalui jejaring, pengembangan sistem untuk berbagi informasi, dst) b. Kurikulum sekolah, materi pendidikan dan pelatihan yang relevan mencakup konsep-konsep dan praktik-praktik mengenai pengurangan risiko bencana dan pemulihan c. Tersedianya metode riset untuk kajian risiko multi bencana serta analisis manfaatbiaya (*cost benefit analysis*) yang selalu dikembangkan berdasarkan kualitas hasil riset d. Diterapkannya strategi untuk membangun kesadaran seluruh komunitas dalam melaksanakan praktik budaya tahan bencana yang mampu menjangkau masyarakat secara luas baik di perkotaan maupun pedesaan.
4. Mengurangi faktor-faktor risiko dasar; dengan indikator : a. Pengurangan risiko bencana merupakan salah satu tujuan dari kebijakan-kebijakan dan rencana-rencana yang berhubungan dengan lingkungan hidup, termasuk untuk pengelolaan sumber daya alam, tata guna lahan dan adaptasi terhadap perubahan iklim b. Rencana-rencana dan kebijakan-kebijakan pembangunan sosial dilaksanakan untuk mengurangi kerentanan penduduk yang paling berisiko terkena dampak bahaya c. Rencana-rencana dan kebijakan-kebijakan sektoral di bidang ekonomi dan produksi telah dilaksanakan untuk mengurangi kerentanan kegiatan-kegiatan ekonomi d. Perencanaan dan pengelolaan pemukiman manusia memuat unsur-unsur pengurangan risiko bencana termasuk pemberlakuan syarat dan izin mendirikan bangunan untuk keselamatan dan kesehatan umum (*enforcement of building codes*) e. Langkah-langkah pengurangan risiko bencana dipadukan ke dalam proses-proses rehabilitasi dan pemulihan pascabencana f. Siap sedianya prosedur-prosedur untuk menilai dampak-dampak risiko bencana atau proyek-proyek pembangunan besar, terutama infrastruktur.
5. Memperkuat kesiapsiagaan terhadap bencana demi respon yang efektif di semua tingkat, dengan indikator : a. Tersedianya kebijakan, kapasitas teknis kelembagaan

serta mekanisme penanganan darurat bencana yang kuat dengan perspektif pengurangan risiko bencana dalam pelaksanaannya b. Tersedianya rencana kontinjensi bencana yang berpotensi terjadi yang siap di semua jenjang pemerintahan, latihan reguler diadakan untuk menguji dan mengembangkan program-program tanggap darurat bencana c. Tersedianya cadangan finansial dan logistik serta mekanisme antisipasi yang siap untuk mendukung upaya penanganan darurat yang efektif dan pemulihan pasca bencana d. Tersedianya prosedur yang relevan untuk melakukan tinjauan pasca bencana terhadap pertukaran informasi yang relevan selama masa tanggap darurat.

2.1 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Secara umum pengertian SIG adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, sumberdaya manusia dan data yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Oswald dan Astrini, 2012).

Data dan Informasi spasial merupakan bahan dasar dalam SIG. Data ataupun realitas di dunia/alam akan diolah menjadi suatu informasi yang terangkum dalam suatu sistem berbasis keruangan dengan tujuan-tujuan tertentu. Sebagian besar data yang akan ditangani dalam SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (attribute). Ada dua format data yang dikenali oleh SIG, yaitu data vektor dan data raster. Data vektor merupakan bentuk bumi yang direpresentasikan ke dalam kumpulan titik, garis, dan polygon. Data raster adalah dihasilkan dari sistem Penginderaan Jauh. Pada data raster, obyek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan pixel (*picture element*).

Sumber data SIG dapat diperoleh dari berbagai bentuk seperti, peta analog yaitu peta dalam bentuk analog. Data pengukuran lapangan yang dihasilkan berdasarkan teknik perhitungan tersendiri, pada umumnya data ini merupakan sumber data atribut contohnya: batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas persil, batas hak perusahaan hutan.

Penggunaan SIG dalam pengurangan resiko bencana dimulai dari pembuatan Basis data, inventarisasi, overlay SIG menggunakan Teknik *overlay weighted sum* dan analisis kapasitas sebagai rujukan pengambilan keputusan. SIG dapat digunakan dalam penentuan wilayah yang paling rentan terhadap bencana sehingga menjadi prioritas utama dalam melakukan tindakan mitigasi (Rais dan Risma, F.A, 2010).

3. HASIL

Hasil identifikasi dilapangan pada tiap level, dijabarkan sebagai berikut:

➤ Level 1

Kapasitas daerah dalam pengurangan risiko bencana sangat bergantung pada komitmen pemerintah daerah. Salah satu bukti komitmen daerah Kota Palu dalam mengurangi risiko bencana adalah dengan tersedianya peraturan daerah atau peraturan kepala daerah tentang penanggulangan bencana (Perda Kota Palu Nomor 5 tahun 2011 tentang penyelenggaraan penanggulangan bencana) yang diterjemahkan dalam perencanaan wilayah dan diadaptasikan pada aturan lain terkait. Berdasarkan hasil peninjauan ke masyarakat dari jenjang pemerintahan hingga pemuda

masyarakat diketahui bahwa sekitar 50% dari masyarakat yang ada di 6 kecamatan di Kota Palu telah mengetahui adanya peraturan daerah tentang penanggulangan bencana, sedangkan 2 kecamatan lainnya yaitu kecamatan mantikulore dan taweli, sebagian besar masyarakatnya belum pernah mendapatkan atau mengetahui adanya perda tersebut.

Upaya pengurangan risiko bencana membutuhkan peran serta aktif dari seluruh lapisan komunitas. Untuk menjamin keberlanjutan komitmen seluruh lapisan komunitas, peran-peran tersebut telah diatur dalam peraturan daerah secara tertulis khususnya mengenai mekanisme dan tanggung jawab masing-masing peran. Dari hasil peninjauan lapangan, sekitar 52% masyarakat tidak mengetahui apakah perda yang ada sudah berjalan sesuai dengan mekanisme yang telah ditentukan, hal ini disebabkan peran dan tanggung jawab, seluruh sektor komunitas, swasta dan seluruh pemangku tidak terlaksana secara aktif.

Tabel 1. Tingkat pengetahuan masyarakat penanggulangan bencana

Komponen Kapasitas Level 1	Bobot (%)							
	Palu Timur	Palu Barat	Palu Selatan	Palu Utara	Mantikulore	Tatanga	Ulujadi	Taweli
Pengetahuan terkait perda penanggulangan bencana	50	53	51	55	20	52	55	10
Pengetahuan terkait peran aktif setiap lapisan komunitas	47	48	48	46	46	48	49	45

Sumber : Data Primer, 2016

Kebijakan daerah yang disusun berdasarkan aturan daerah tentang penanggulangan bencana membutuhkan forum yang terdiri dari berbagai pemangku kepentingan. Forum ini diisi oleh berbagai insitutsi pemangku kepentingan yang telah mendapat delegasi tugas pengurangan risiko bencana oleh daerah dalam peraturan daerah. Hasil identifikasi diperoleh bahwa forum-forum yang ada telah melakukan diskusi-diskusi informal antar kelompok walaupun banyak masyarakat diluar forum tersebut yang belum mengetahui hasil dari diskusi yang telah dilakukan, sehingga belum menghasilkan pencapaian yang berarti untuk pengurangan risiko bencana.

➤ Level 2

Kebijakan pengurangan risiko bencana membutuhkan kajian risiko terhadap bencana-bencana yang berpotensi di suatu daerah. Tanpa kajian terlebih dahulu, besar kemungkinan kebijakan yang diterapkan tidak efektif. Kajian risiko bencana ini disusun berdasarkan pengetahuan ilmiah, sejarah dan pengetahuan lokal. Untuk kajian ilmiah mengenai resiko bencana gempabumi di Kota Palu masih sangat minim, peta ancaman yang dihasilkan masih dibuat berdasarkan posisi/letak sesar. Oleh sebab itu, penelitian ini akan menyempurnakan kembali peta ancaman gempabumi yang telah ada berdasarkan data PGA, sehingga akan diperoleh kajian resiko yang lebih akurat. Selain itu, pemahaman di tingkat masyarakat masih sangat minim terkait wilayah mana saja yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi. Hal ini terkait dengan informasi yang sangat minim dari peta ancaman gempabumi yang telah ada.

Sistem peringatan dini terkait bencana gempabumi di Kota Palu telah tersosialisasi dengan baik di tingkat masyarakat. Sosialisasi mengenai system peringatan dini sebagian besar diperoleh masyarakat dari kegiatan yang dilakukan oleh akademisi dan perusahaan swasta (media elektronik nasional) sedangkan pada tingkat LSM dan pemerintah daerah masih kurang dilakukan sosialisasi. Pada tingkat akademisi, telah banyak dilakukan pelatihan-pelatihan terkait kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana yang dilakukan disekolah-sekolah mulai dari jenjang sekolah dasar hingga sekolah menengah atas. Untuk tingkat LSM, terdapat pelatihan dilakukan pada beberapa lingkup organisasi kepemudaan (karang taruna) dan dasawisma tetapi tidak menyebar secara merata di semua kelurahan. Pada tingkat pemerintah daerah, hampir sebagian besar responden tidak pernah mengikuti ataupun melihat sosialisasi dari pemerintah daerah terkait bencana gempabumi. Walaupun peran pemda dan LSM dirasa cukup kurang tapi tingkat pemahaman masyarakat sangat tinggi mengenai system peringatan dini berkat peran aktif akademisi dan pihak swasta, sehingga menunjukkan tingkat kesiapan masyarakat yang cukup baik apabila terjadi bencana gempabumi.

Tabel 2. Tingkat pengetahuan masyarakat terkait system peringatan dini

Komponen Kapasitas Level 2	Bobot (%)							
	Palu Timur	Palu Barat	Palu Selatan	Palu Utara	Mantikulore	Tatanga	Ulujadi	Taweli
Pengetahuan terkait system peringatan dini	85	80	80	88	76	82	84	72

Sumber : Data Primer, 2016

Bencana tidak mematuhi wilayah administrasi pemerintahan. Oleh karenanya dibutuhkan kerjasama dengan pemerintahan daerah tetangga dalam mengurangi risiko bencana yang melingkupi daerah-daerah perbatasan. Kerjasama yang dilaksanakan dalam bentuk kerjasama untuk penyebaran sistem peringatan dini. Dokumen kajian resiko bencana yang dihasilkan oleh pemerintah belum dapat diakses oleh setiap pemangku kepentingan.

➤ Level 3

Pembangunan kapasitas dan budaya aman disuatu daerah amat bergantung kepada ketersediaan data dan informasi yang telah diolah sedemikian rupa sehingga dimengerti oleh seluruh lapisan masyarakat. Data terapan yang aplikatif disajikan dalam sistem informasi yang efektif sehingga selalu dapat diakses oleh masyarakat. Untuk data kejadian gempabumi, hampir sebagian besar masyarakat masyarakat tidak mengetahui cara mengakses data kejadian gempabumi.

Keberlanjutan Pembangunan kapasitas dan budaya aman disuatu daerah secara terus menerus amat bergantung kepada pendidikan dan pengetahuan. Oleh karenanya pengurangan risiko bencana gempabumi telah diajarkan di lembaga pendidikan formal, tidak hanya diberikan dalam tingkatan teori, tapi juga dalam bentuk pelatihan pelatihan yang diberikan oleh kalangan akademisi. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan 80% anak sekolah telah mengetahui tindakan yang harus dilakukan apabila peristiwa gempabumi terjadi. Semakin banyak masyarakat yang memahami tentang kesiapsiagaan bencana maka semakin kecil jumlah korban jiwa.

Salah satu indikator keberhasilan upaya pengurangan risiko bencana daerah dapat dilihat dari rendahnya biaya pemulihan setelah bencana terjadi. Metode

pengurangan biaya pemulihan dilakukan berdasarkan riset-riset yang dilaksanakan oleh para ahli dan akademisi. Riset tersebut ditujukan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan internal komunitas ahli dan akademisi semata, namun harus mampu diterapkan hingga tingkat rumah tangga. Dalam hal ini, belum ada riset yang dilakukan di Kota Palu untuk menghasilkan sebuah metode yang dapat menurunkan rasio pemakaian dana dalam pemulihan bencana.

Tabel 3. Tingkat pengetahuan masyarakat terkait data dan system informasi

Komponen Kapasitas Level 2	Bobot (%)							
	Palu Timur	Palu Barat	Palu Selatan	Palu Utara	Mantikulore	Tatanga	Ulujadi	Taweli
Pengetahuan terkait akses data kejadian gempa	40	30	45	30	42	45	35	10
Pelatihan terkait kesiapsiagaan bencana di sekolah	80	70	75	85	88	70	75	70

Sumber : Data Primer, 2016

Penerapan strategi untuk membangun kesadaran seluruh komunitas dalam melaksanakan praktik budaya tahan bencana yang mampu menjangkau masyarakat secara luas baik di perkotaan maupun pedesaan, dapat dilakukan dengan slogan dan moto serta bentuk publikasi lainnya. Untuk kota palu belum memiliki media permanent (baik media cetak, elektronik, billboard, poster atau event/acara terorganisir yang tetap ada), dalam mempublikasikan pembangunan kesadaran masyarakat untuk melakukan praktik pengurangan risiko bencana.

➤ Level 4

Pengurangan risiko bencana merupakan salah satu tujuan dari kebijakan-kebijakan dan rencana-rencana yang berhubungan dengan lingkungan hidup, termasuk untuk pengelolaan sumber daya alam, tata guna lahan dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Beberapa perencanaan dan tata kelola daerah terkait lingkungan hidup dan pengelolaan sumberdaya alam amat mempengaruhi tingkat risiko daerah. Pengaruh tersebut yang terbesar adalah kepada jumlah masyarakat yang berpotensi terkena bencana serta kemampuan masyarakat untuk kembali pulih setelah bencana. Dalam pengurangan resiko bencana gempabumi pemerintah maupun komunitas masyarakat belum memiliki kebijakan tentang pengelolaan lingkungan hidup yang terintegrasi secara proporsional dengan pengurangan resiko bencana gempabumi.

Sektor ekonomi dan produksi merupakan salah satu kekuatan yang dapat dimanfaatkan dalam upaya pengurangan risiko bencana. Namun sektor produksi belum mengembangkan upaya-upaya untuk pengurangan risiko bencana. Pada kenyataannya arah kebijakan sektor produksi dan ekonomi dapat turut serta dalam pengurangan risiko bencana khususnya pada saat tanggap darurat dan pemulihan setelah bencana.

Pengelolaan area pemukiman perlu dilaksanakan dengan mempertimbangkan keamanan penghuni dari risiko bencana yang mungkin timbul. Oleh karenanya dibutuhkan standar tertentu untuk mengelola kawasan hunian aman bagi masyarakat mulai dari pemilihan lahan hingga proses pembangunan serta dinamika kehidupan dalam hunian tersebut. Untuk Kota Palu rencana tata ruang wilayah telah

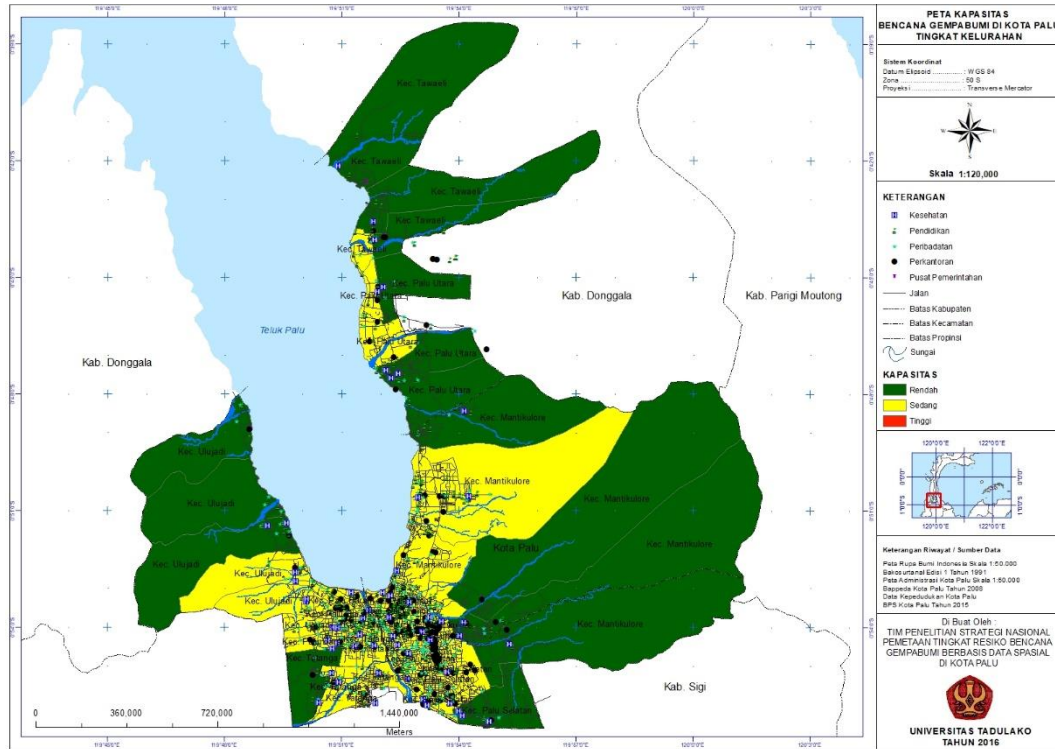
mendukung upaya pengurangan resiko bencana dengan memperhatikan tata guna lahan.

➤ **Level 5**

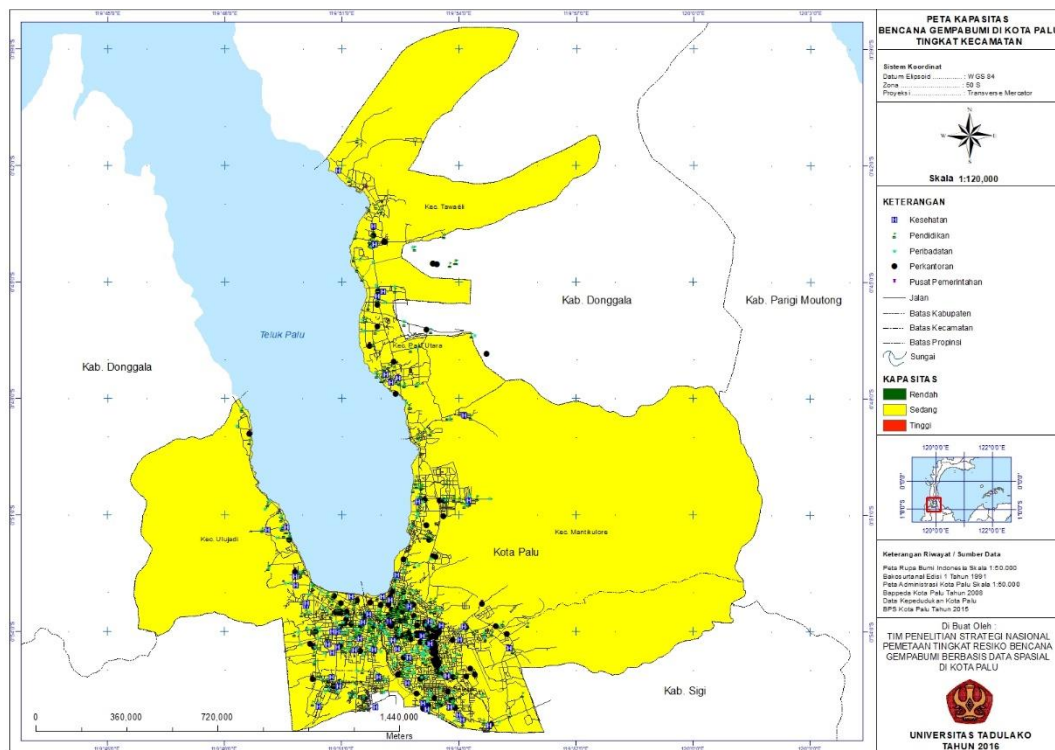
Upaya penanganan darurat bencana membutuhkan berbagai kebijakan dan kapasitas dalam pelaksanaannya. Tanpa ada lembaga yang memadai untuk membangun dan melaksanakannya, upaya penanganan darurat bencana tidak akan berjalan efektif dalam menekan dampak negatif bencana. Oleh karenanya, BNPB Kota Palu telah didukung relawan dalam melakukan praktik penanganan darurat bencana, dimana sistem komando tanggap darurat bencana telah terstruktur dalam sebuah prosedur tanggap bencana. Para personil perangkat darurat juga diberikan pelatihan-pelatihan kemampuan teknis dalam hal penanggulangan bencana. Sehingga diharapkan dapat efektif menekan jumlah korban yang timbul.

Pelaksanaan upaya penanganan darurat bencana membutuhkan usaha luar biasa yang membutuhkan anggaran dan kebutuhan lainnya dalam skala besar untuk melaksanakan pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan kelompok rentan serta pembangunan fasilitas kritis yang rusak setelah dilaksanakan kajian cepat dan pencarian pertolongan korban yang ada. Kota Palu telah memiliki cadangan anggaran yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dasar dan melindungi kelompok rentan saat terjadi darurat bencana.

Hasil identifikasi dilapangan kemudian dioverlay sehingga menghasilkan peta kapasitas bencana gempabumi. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa wilayah-wilayah yang ada di kota palu masih memerlukan peningkatan kapasitas adaptasi untuk masyarakat dalam hal kesiapsiagaan bencana gempabumi. Dari sampel yang diambil, hampir sebagian besar masyarakat memiliki tingkat kapasitas adaptasi sedang, wilayah ini berada pada wilayah padat penduduk yang memiliki sarana dan prasarana pendidikan yang baik (Gambar 1 dan 2). Untuk itu diperlukan peningkatan dan pemerataan kapasitas adaptasi pada tingkat masyarakat baik pada wilayah padat penduduk maupun tidak padat penduduk.



Gambar 1. Peta Kapasitas Bencana Gempabumi di Kota Palu Tingkat Kelurahan



Gambar 1. Peta Kapasitas Bencana Gempabumi di Kota Palu Tingkat Kecamatan

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian menunjukkan dari delapan kecamatan di wilayah kota palu, terdapat delapan kecamatan berada pada zona dengan tingkat kapasitas sedang. Adapun hubungan kerjasama antar lembaga belum terjalin dengan baik, sehingga belum diperoleh hasil diskusi yang dapat di sosialisasikan ke masyarakat. Sedangkan tingkat sumber daya

manusia terkait pengetahuan tanggap darurat bencana tidak merata, serta dana cadangan tanggap darurat yang tidak rutin dianggarkan akibat keterbatasan dana

Daftar Pustaka

- [1] Engle, Nathan. 2011. "Adaptive Capacity and Its Assessment". *Global Environmental Change*. Vol 21, 647-656.
- [2] Kumalasari, N.R. 2014. Kapasitas Adaptasi terhadap Kerentanan dan Bencana Perubahan Iklim di Tambak Lorok Kelurahan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. Vol. 10, 476-487.
- [3] Oswald, P. dan Astrini, R. 2012, "*Tutorial Quantum GIS Tingkat Dasar versi 1.8.0 Lisboa*" <http://bappeda.ntbprov.go.id/data-dan-informasi/edukasi/modulequantum-gis-dasar/> (akses tgl 15 Desember 2014)
- [4] PERKA BNPB No 3, 2012. Panduan Penilaian Kapasitas Daerah dalam Penanggulangan Bencana. BNPB
- [5] Rais dan Risma, F. A., 2010. Analisis Sistem Manajemen Resiko Bencana dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kec. Polobangkeng Utara Kab. Takalar). *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*. Vol. 7. 43-53
- [6] Siera, T., Patricia, M.C., Lisa, L.C. 2016. Perceived Adaptive Capacity and Natural Disasters: A Fisheries Case Study. *Global Environmental Change*. Vol 38. 49-57
- [7] Susan, L.C., Lindsey, B., Melissa, B., Christopher, B., Ijah, E., Eric, T., Jennifer, W. 2008. *Global Environmental Change*. Vol 18, 647-656.
- [8] Wagner, M., Netra, C., Melanie, S. 2014. Adaptive Capacity in Light of Hurricane Sandy: The Need For Policy Engagement. *Appl. Geogr.* Vol 50, 15-23.

PENGARUH ASPEK METEOROLOGI TERHADAP PRODUKSI GARAM AIR PAYAU DI DESA LOSARANG, KABUPATEN INDRAMAYU

SANDY H.S. HERHO¹, GISMA A. FIRDAUS², PLATO M. SIREGAR³

Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi
Bandung, Email: sandyherho@meteo.itb.ac.id

Abstrak

Desa Losarang merupakan desa yang terletak di sebelah utara Kabupaten Indramayu, merupakan wilayah utama yang memproduksi garam air payau di Kabupaten Indramayu. Permasalahan utama produksi garam terletak pada curah hujan yang berpengaruh terhadap proses penguapan air payau menjadi garam. Masa potensial produksi garam air payau hingga menghasilkan kristal garam dipengaruhi oleh parameter – parameter meteorologi, seperti curah hujan, evaporasi, perawanan, dan angin permukaan. Untuk menghasilkan produksi yang efektif dan efisien, dibutuhkan penentuan masa potensial produksi garam. Untuk menentukan masa potensial produksi garam digunakan metode dasarian dari BMKG. Sementara untuk memperoleh nilai evaporasi badan air payau pada tambak digunakan perhitungan dengan Metode Penman. Hasil yang didapatkan menunjukkan potensi produksi garam pada Desa Losarang yang mewakili Kabupaten Indramayu optimal pada musim kering, yaitu dari dasarian ke 14 hingga dasarian ke 30 (17 dasarian) yang menghasilkan nilai rata-rata produksi tahunan adalah sebesar 51.000 ton. Produksi ini akan bervariasi antara 48.000 ton/tahun – 84.000 ton/tahun selama periode tahun 1998 - 2013. Keragaman ini muncul disebabkan oleh variabilitas dasarian kering setiap tahunnya. Keragaman potensi produksi garam di Desa Losarang secara klimatologi diakibatkan oleh fenomena MJO, ENSO, dan QBO di samping aspek musonal.

Kata Kunci: produksi garam air payau, metode dasarian, curah hujan, angin permukaan, evaporasi, perawanan

1. PENDAHULUAN

Garam merupakan salah satu komoditas strategis dalam kehidupan sehari-hari yang penggunaannya cukup luas (Aligori, 2013). Proses produksi garam, dapat dilakukan dengan berbagai teknik, antara lain produksi garam air laut; produksi garam air payau; dan penambangan pada perbukitan garam. Penelitian ini hanya berfokus pada produksi garam air payau.

Lahan penggaraman di Indonesia terpusat di wilayah pesisir yang berpotensi sebagai lahan produksi garam. Provinsi Jawa Barat sebagai wilayah unggulan penyumbang produksi garam nasional, memiliki tiga kabupaten utama dalam produksi garam, yaitu Kabupaten Cirebon, Kabupaten Indramayu, dan Kabupaten

Karawang (KKP, 2015). Wilayah kajian dalam penelitian ini adalah Kabupaten Indramayu. Lahan penggaraman di Indramayu dilakukan oleh petani garam rakyat yang memperoleh program Pemberdayaan Usaha Garam Rakyat (PUGAR) (Widiarto dkk., 2013).

Kondisi cuaca merupakan salah satu penentu keberhasilan target produksi garam (Korovessis dan Lekkas, 2006). Kecepatan angin dan laju evaporasi yang tinggi, serta curah hujan yang rendah mendukung produksi garam air payau. Target produksi garam sering tidak tercapai disebabkan karena beberapa hal yang salah satunya adalah keterlambatan dalam mengawali dan mengakhiri masa produksi garam. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan waktu produksi garam dengan meninjau kecepatan dan arah angin, laju evaporasi, dan curah hujan sebagai langkah optimasi produksi garam di Indramayu.

Zuhud (2014) telah mengkaji pengaruh laju evaporasi dan curah hujan terhadap produksi garam di lahan penggaraman PT. Garam Sumenep. Metode yang digunakan adalah Pendekatan Penman untuk laju evaporasi, *Multiple Linear Regression* sebagai analisis antar parameter cuaca dengan hasil produksi garam, dan analisis temporal untuk melihat pengaruh dari *timeseries* faktor cuaca. Diketahui bahwa hasil korelasi dan koefisien determinasi laju evaporasi dan curah hujan terhadap produksi garam bernilai kecil. Meskipun demikian, melalui analisis temporal dari tahun 2008-2012 terdapat keterkaitan antara faktor cuaca terhadap produksi garam. Hasil dari korelasi dan koefisien determinasi yang bernilai kecil, diduga akibat rendahnya pengaruh iklim di wilayah Madura.

Wilayah kajian penelitian ini adalah lahan penggaraman air payau di Desa Losarang, Kabupaten Indramayu pada koordinat 6°23'54.9600" LS dan 108°08'48.8400" BT, dengan luas total wilayah lahan produksi sebesar 300 Ha. Untuk menghasilkan garam berkualitas serta produksi yang efektif dan efisien, maka perlu adanya penentuan masa produksi garam dan uji salinitas air payau. Merujuk pada Zuhud (2014) dalam optimalisasi produksi garam, perlu dilakukan pertimbangan dari aspek cuaca. Penelitian ini memperhitungkan parameter – parameter meteorologi seperti, curah hujan; evaporasi; perawanan; angin; dan *Outgoing Longwave Radiation* (OLR).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan masa potensial produksi garam, menguji salinitas air payau, mengetahui pengaruh meteorologi terhadap masa produksi. Kemudian dari masa produksi yang diperoleh, dilakukan penaksiran produksi garam.

2. METODE

Metode pertama yang digunakan adalah penentuan musim produksi potensial garam ditinjau dari aspek - aspek meteorologi yang menggunakan analisis dasarian (per sepuluh harian) (BMKG, 2015) menggunakan data curah hujan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (Huffman dkk., 2017) pada enam titik di sekitar wilayah kajian; data OLR hasil pengamatan satelit *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dengan resolusi spasial $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ (Liebmann dan Smith, 1996) di wilayah kajian; dan profil perawanan dari data reanalisis ERA-Interim di wilayah kajian dengan resolusi spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Dee dkk., 2011). Seluruh data ini diambil pada

tahun 1998 – 2013, yang kemudian disesuaikan dengan data *Multivariate ENSO (El Niño Southern Oscillation) Index* (MEI) yang didapatkan melalui pengamatan bulanan dari satelit NOAA (Wolter dkk., 2011), dan parameter – parameter meteorologi lainnya.

Metode berikutnya adalah perhitungan evaporasi untuk produksi garam dengan menggunakan metode Penman (Akridge, 2008). Perhitungan Penman menggunakan data kecepatan angin pada ketinggian 10 meter, tekanan uap air permukaan, dan tekanan uap air permukaan yang diperoleh dari perhitungan temperatur dan tekanan atmosfer. Data – data tersebut diperoleh dari data reanalisis ERA-Interim di wilayah kajian dengan resolusi spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (Dee dkk., 2011). Perhitungan Penman menggunakan persamaan (1) sampai (3) di bawah ini.

$$E = C(e_o - e_a) \quad (1)$$

$$C = (0,44 + 0,073 u) \times (1,465 - 0,00073 p) \quad (2)$$

$$R_h = \frac{e_a}{e_o} \quad (3)$$

di mana

E : evaporasi (mm/hari),

u : kecepatan angin rata – rata (km/jam) pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah,

e_o : tekanan uap air pada permukaan air yang merupakan fungsi temperatur (Pa)

e_a = tekanan uap air di permukaan air (Pa)

C = angka tetapan yang dihitung dengan persamaan Rohwer

P = tekanan atmosfer (mmHg)

R_h = kelembaban (%)

Kemudian, dilakukan taksiran produksi garam per tahun di Desa Losarang selama tahun 1998 – 2013 berdasarkan masa potensial produksi garam yang diketahui melalui analisis data meteorologi sebelumnya. Hasil taksiran tersebut dibandingkan secara kualitatif dengan hasil produksi garam per tahun di Kabupaten Indramayu (Bappeda Kab. Indramayu, 2016) dari tahun 2002 – 2013, dengan asumsi sebagian besar pasokan garam berasal dari Desa Losarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Masa Potensial Produksi Garam

Produksi garam air payau dilakukan pada musim kering guna memaksimalkan proses penguapan dalam pembentukan kristal garam. Menurut pendapat Zuhud (2014), dibutuhkan setidaknya lima stasiun pengukur curah hujan di sekitar wilayah kajian dan satu stasiun di wilayah kajian untuk menentukan awal musim hujan. Dipilih lima buah titik yang terletak di sekitar wilayah kajian (Bulak pada koordinat $6^{\circ} 28' 35.89''$ LS, $108^{\circ} 19' 0.49''$ BT; Cikedung pada koordinat $6^{\circ} 31' 39.3600''$ LS, $108^{\circ} 10' 42.2400''$ BT; Cidempet pada koordinat $6^{\circ} 21' 15.8400''$ LS, $108^{\circ} 14' 47.7600''$ BT; Lohbener pada koordinat $6^{\circ} 24' 00.0000''$ LS, $108^{\circ} 16' 58.4400''$ BT; dan Gabuswetan pada koordinat $6^{\circ} 25' 47.6400''$ LS, $108^{\circ} 03' 35.6400''$ BT), dan satu titik pada wilayah kajian di Losarang pada koordinat $6^{\circ} 23' 54.9600''$ LS, $108^{\circ} 08' 48.8400''$ BT. Curah hujan pada setiap titik pengamatan ini diperoleh dari data satelit TRMM, untuk kemudian diolah menjadi komposit dasarian dari tahun 1998 hingga tahun 2013.

Hasil komposit dasarian ini ditampilkan pada Gambar 1. Sesuai dengan pendapat Kung

dan Sharif (1980) yang menyatakan bahwa awal musim kering terjadi bersamaan dengan akhir musim basah. Maka melalui data curah hujan komposit dasarian pada keenam titik tersebut, dapat disimpulkan bahwa musim kering terjadi dasarian ke 14 hingga dasarian ke 30, atau pada pertengahan bulan Mei hingga akhir bulan Oktober. Pada masa inilah yang merupakan masa potensial produksi garam.

3.2 Perhitungan Evaporasi

Dengan menggunakan perhitungan Penman terhadap data kelembapan permukaan, didapatkan nilai evaporasi di wilayah kajian. Hasil perhitungan ini kemudian dikompositkan untuk setiap dasarian pada tahun 1998 – 2013. Grafik komposit evaporasi ini dapat dilihat pada Gambar 2. Tampak bahwa nilai evaporasi di wilayah kajian cukup besar dengan nilai tertinggi 11,7986 m/10 hari dan nilai terendahnya 8,4328 m/10 hari. Nilai rendah justru terjadi pada dasarian di musim kering, sementara nilai tinggi pada musim basah.

3.3 Keterkaitan Antar Parameter Cuaca di Wilayah Kajian

Beberapa variabel cuaca dianggap mempunyai pengaruh terhadap produksi garam. Misalnya, dalam penentuan masa produksi, digunakan variabel curah hujan (BMKG, 2005). Adapun variabel cuaca lainnya, yaitu OLR dan tutupan awan digunakan untuk perhitungan nilai evaporasi badan air dalam selang masa produksi. Data yang digunakan adalah komposit dasarian. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 3.

Pada titik pengamatan Losarang, nilai rata – rata komposit curah hujan sebesar 59 mm/10 hari, nilai maksimum dan minimum masing – masing sebesar 157 mm/10 hari dan 4 mm/10 hari. Pada Gambar 3 (a) dapat dilihat, bahwa curah hujan dan OLR di titik observasi Losarang memiliki pola yang berlawanan. Nilai OLR yang tinggi di musim kering mengindikasikan rendahnya tutupan awan dan curah hujan pada waktu tersebut. Hal ini juga menunjukkan bahwa nilai perawanan berbanding terbalik dengan OLR, yang artinya pada saat OLR bernilai rendah, terdapat awan konvektif yang kuat sehingga mampu menghasilkan hujan lebat.

Gambar 3 menunjukkan bahwa keenam titik observasi tersebut mempunyai keterkaitan antar parameter cuaca yang mirip sebagai konsekuensi kedekatan geografis. Curah hujan di keenam titik observasi tersebut, cenderung memiliki tren yang sama dengan perawanan, dan berbanding terbalik dengan OLR. Tren yang berbanding terbalik antara OLR dan curah hujan sesuai dengan definisi OLR yang merupakan radiasi gelombang pendek matahari yang diserap dan dipantulkan kembali ke angkasa oleh benda hitam di permukaan bumi dalam bentuk gelombang pendek. Gelombang pendek inilah yang kemudian ditangkap oleh satelit tipe *sun-synchronous* pada ketinggian 935 km (Liebmann dan Smith, 1996). Maka, terdapat perbedaan pembacaan satelit terhadap OLR yang dipancarkan oleh objek permukaan bumi, dengan OLR yang dipancarkan oleh partikel – partikel awan. Gelombang pendek dari objek – objek pada permukaan bumi memiliki temperatur yang lebih tinggi, serta jalur transmisi radiasi yang lebih panjang, sehingga OLR dari objek permukaan bumi memiliki nilai yang lebih besar dari OLR partikel awan (Liebmann dan Smith, 1996). Konsekuensinya adalah jika OLR suatu wilayah bernilai tinggi, maka cuaca wilayah tersebut cerah, sebaliknya jika OLR bernilai rendah, maka wilayah tersebut memiliki tutupan awan yang cukup banyak, sehingga berpotensi menghasilkan curah hujan yang tinggi. Pendapat Liebmann dan Smith (1996) ini terbukti terjadi pada enam titik observasi dalam penelitian ini.

3.4 Analisis Pergeseran Masa Produksi Garam dari tahun 1998 – 2013

Pada wilayah kajian, diketahui bahwa terdapat 17 dasarian yang potensial untuk memproduksi garam, yaitu dasarian ke 14, hingga dasarian ke 30. Tetapi terdapat tahun – tahun tertentu, di mana terjadi perubahan durasi musim basah dan kering. Gejala tersebut dapat terjadi akibat fenomena meteorologi pada skala yang lebih besar (BMKG, 2005). Tabel 1 menjelaskan bagaimana perubahan durasi tersebut mempengaruhi waktu potensial produksi garam di Desa Losarang yang dikaji sepanjang tahun 1998 – 2013.

3.5 Keterkaitan Antara ENSO dan Parameter Cuaca di Wilayah Kajian

Pada Gambar 4 dapat dilihat, bahwa curah hujan di Losarang bernilai di bawah rata – rata ketika terjadi fenomena El Niño, dan bernilai di atas rata – rata ketika terjadi fenomena La Niña. Nilai curah hujan berbanding lurus dengan besar tutupan awan, dan berbanding terbalik terhadap OLR. Evaporasi mengalami peningkatan pada saat curah hujan maksimum menuju curah hujan minimum, dan pada saat curah hujan minimum menuju curah hujan maksimum. Hal ini sesuai dengan persamaan (1), hingga persamaan (3) yang menjelaskan bahwa ketika hujan turun, kondisi tanah tidak langsung jenuh, sehingga dibutuhkan temperatur yang memadai untuk menyesuaikan kejenuhan . Ketika kondisi tanah mencapai titik jenuh, terjadi proses adiabatik jenuh yang menyebabkan kelembapan di permukaan berlangsung dalam durasi panjang. Kelembapan yang tinggi menyebabkan evaporasi yang tinggi, sehingga pada saat curah hujan maksimum, terjadi evaporasi yang besar (Korovessis dan Lekas, 2006).

3.6 Kesesuaian Parameter – Parameter Meteorologi Terhadap Masa Produksi Garam

Menurut BMKG (2015), proses produksi garam air payau dapat terjadi jika curah hujan kurang dari 50 mm/10 hari. Maka, masa produksi potensial garam di Losarang dalam satu tahun terjadi pada dasarian ke 14 – 30 (Gambar 5). Akan tetapi, jika terjadi pergeseran musim basah dan kering, maka nilai rata – rata dasarian setiap tahunnya dapat berubah. Sebagai contoh, pada tahun 1998, hanya terdapat tujuh dasarian (dasarian ke 22 – 28) yang potensial untuk produksi garam sebagai akibat dari fenomena La Niña kuat. Di tahun 2000 – 2001 terdapat pola dua tahunan di dasarian 16 – 17 dimana terdapat curah hujan yang tinggi, hal ini diakibatkan fenomena La Niña kategori kuat. Hal serupa terjadi pada tahun 2006 – 2007 di dasarian ke 15 – 16. Tahun 2010 terjadi musim basah yang panjang hingga memasuki dasarian produksi garam. Puncaknya yaitu pada dasarian ke 27 – 28 di mana terjadi *wet spell*, yaitu curah hujan tinggi di musim kering.

Pada Gambar 6, kontur biru menunjukkan terdapat aktifitas perawanan aktif, dalam hal ini awan konvektif. Dapat dilihat bahwa OLR bernilai tinggi pada masa produksi. Seperti yang ditunjukkan oleh garis putih, terdapat fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO) pada dasarian ke 1 – 6 dan dasarian ke 7 – 12, atau masing-masingnya sepanjang enam dasarian. Fenomena MJO terjadi dari tahun 1998 – 2002. Selain MJO yang terjadi pada bulan basah, terdapat juga MJO di bulan kering. Pada tahun 1998 di dasarian ke 18 – 24 terjadi MJO yang sefase dengan El Niño. Pada tahun 2001 di dasarian 16 – 19 terjadi MJO yang sefase La Niña. Pada tahun 2010 di dasarian ke 15 – 18 terjadi MJO yang sefase La Niña. Kemudian terlihat juga fenomena penyimpangan 2 – 3 tahunan dari dasarian ke 16 – 17 di tahun 1998 hingga dasarian ke 1 – 4 di tahun 2013. Fenomena ini dapat diidentifikasi sebagai *Quasi-Biennial Oscillation* (QBO). OLR bernilai rendah sepanjang tahun 2010 yang juga berbanding terbalik dengan nilai curah hujan yang justru tinggi. Rendahnya nilai OLR sepanjang tahun 2010 dengan nilai di bawah 235 watt/m², meskipun bernilai rendah di musim yang semestinya basah, fenomena ini bisa diidentifikasi sebagai *wet spell*, sesuai pendapat Robertson dkk. (2008). *Wet Spell* di

tahun 2010 dapat disebabkan oleh MJO yang terjadi sefase dengan La Niña.

Dapat dilihat pada Gambar 7, tutupan awan pada masa produksi, yaitu dasarian 1998 – 2013 bernilai rendah dengan kategori yang bervariasi, dari kategori *cloudless* atau tanpa awan hingga *partly cloudy* atau berawan sebagian. Secara umum di masa produksi didominasi oleh tutupan awan dengan kategori berawan sebagian. Sementara di luar masa produksi, yaitu dasarian ke 1 – 14 dan 30 – 36, tutupan awan sangat besar dengan kategori *cloudy* atau berawan hingga *overcast* atau tutupan penuh. Di tahun 1998, tutupan awan sepanjang masa produksi berkategori *partly cloudy* atau berawan sebagian. Sementara di tahun 1999 – 2000 di dasarian ke 22 – 27 terdapat tutupan awan kategori tanpa awan dan cerah. Sepanjang masa produksi tahun 2001 didominasi oleh tutupan awan kategori berawan sebagian. Di tahun 2002 – 2004 pada dasarian ke 14 – 24 terdapat tutupan awan dengan kategori tanpa awan dan cerah. Di tahun 2005 – 2007 pada dasarian ke 21 – 29 terdapat tutupan awan dengan kategori tanpa awan dan cerah. Di tahun 2007 – 2009 pada dasarian ke 17 – 20 terdapat tutupan awan dengan kategori tanpa awan dan cerah. Di sepanjang masa produksi tahun 2010 didominasi tutupan awan dengan kategori berawan sebagian. Tetapi terdapat beberapa pengecualian di beberapa dasarian, yaitu di dasarian ke 16 – 17 dan 19 – 20 terdapat tutupan awan kategori berawan, dan di dasarian ke 25 – 28 terdapat tutupan awan dengan kategori tutupan penuh. Sepanjang masa produksi tahun 2011 – 2013 didominasi awan kategori berawan sebagian, tetapi di dasarian ke 21 – 26 terdapat perawanan dengan kategori cerah dan tanpa awan.

Sementara di dasarian di luar masa produksi, terdapat tutupan awan kategori berawan dan tutupan penuh. Tetapi di sepanjang tahun 1998 – 2013 di dasarian ke 10 – 14 di dominasi oleh tutupan awan kategori berawan sebagian. Sementara di dasarian ke 30 – 36 tutupan awan kategori tutupan penuh sangat mendominasi, dengan pengecualian di dasarian ke 30 – 32 pada tahun 2004 – 2007 terdapat tutupan awan dengan kategori berawan sebagian. Secara umum, di masa produksi didominasi tutupan awan dengan tipe tanpa awan, cerah, dan berawan sebagian, sementara di luar masa produksi didominasi tutupan awan kategori berawan dan tutupan penuh.

Dapat dilihat pada Gambar 8, bahwa fenomena ENSO tidak terikat pada waktu tertentu. Di tahun 1998 terdapat aktivitas El Niño kuat yang setelahnya, yaitu bulan September terjadi La Niña kuat hingga tahun 2000 bulan April. Tahun 2002 indeks El Niño bernilai besar hingga tahun 2005 bulan Oktober. Setelahnya berganti La Niña lemah hingga tahun 2006 bulan April. Kemudian dapat dilihat bahwa dari tahun 2007 bulan Agustus hingga tahun 2013 terdapat fenomena El Niño dan La Niña kuat berubah secara periodik dari tahun ke tahun selama 8 – 10 bulan berturut – turut. Untuk tahun 2010, tampak pada Gambar 6 dapat terlihat bahwa terdapat fenomena *wet spell* yang bermakna terjadi hujan sepanjang tahun. Pada Gambar 6, OLR bernilai rendah sepanjang tahun 2010. Tampak pada Gambar 7, perawanan bernilai tinggi sepanjang tahun 2010. Artinya terdapat perawanan konvektif kuat yang menyebabkan hujan di sepanjang tahun 2010. Sementara di Gambar 8 dapat dilihat bahwa di tahun 2010, La Niña baru terjadi di bulan ke-6, tidak terjadi sepanjang tahun. Artinya fenomena La Niña baru terjadi di pertengahan tahun 2010, tetapi terdapat dampak yang lebih awal di Desa Losarang yang berupa hujan dari awal tahun.

Maka, disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang kuat dari parameter meteorologi global terhadap masa produksi garam, yaitu ENSO. Hal tersebut dapat menunjukkan bagaimana pengaruh ENSO terhadap masa produksi dan terhadap variabel cuaca yang lain.

3.7 Taksiran Produksi Garam Air Payau di Losarang dari Tahun 1998 hingga 2013

Berdasarkan data Bappeda Kab. Indramayu (2016), petani garam di Losarang mampu memproduksi 10 ton garam setiap dasarian dengan luas lahan produksi 1 Ha. Luas ladang penggaraman di Losarang sendiri sebesar 300 Ha (Bappeda Kab. Indramayu, 2016). Dengan mengasumsikan luas lahan penggaraman yang tetap, dan tidak adanya faktor – faktor lain yang menghambat produksi garam, maka taksiran rata – rata produksi potensial garam di Losarang dalam setahun adalah:

Produksi dalam satu tahun = 17 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 51.000 ton/tahun

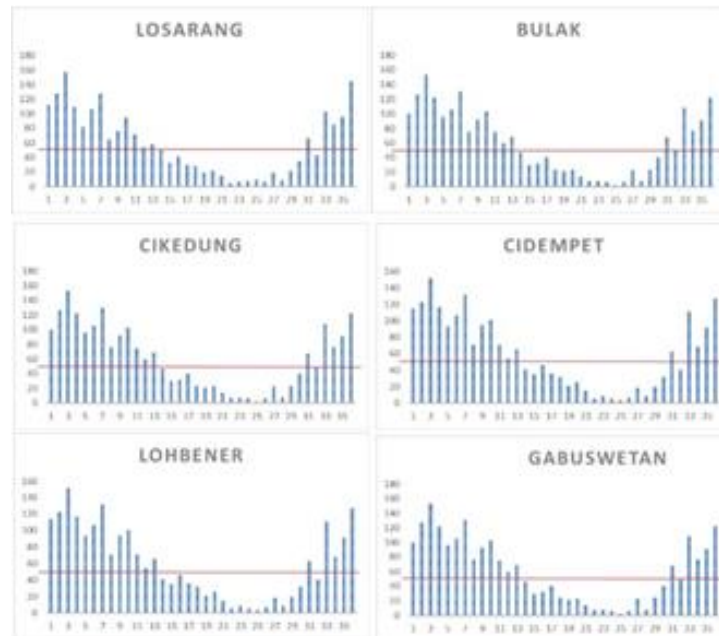
Karena terjadi pergeseran musim pada setiap, tahunnya akibat pengaruh sistem cuaca yang lebih luas, maka taksiran produksi potensial garam tahunan selama tahun 1998 – 2013 adalah:

- Taksiran produksi tahun 1998 (dominan musim basah) :
Produksi = 7 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 21.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 1999 (dominan musim kering) :
Produksi = 22 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 66.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2000 (dominan musim basah) :
Produksi = 16 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 48.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2001 (dominan musim kering) :
Produksi = 24 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 72.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2002 (dominan musim kering) :
Produksi = 20 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 60.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2003 (dominan musim kering) :
Produksi = 20 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 60.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2004 (dominan musim kering) :
Produksi = 22 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 66.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2005 (dominan musim kering) :
Produksi = 21 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 63.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2006 (dominan musim kering) :
Produksi = 21 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 63000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2007 (dominan musim basah) :
Produksi = 16 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 48.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2008 (dominan musim kering) :
Produksi = 23 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 69.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2009 (dominan musim kering) :
Produksi = 28 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 84.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2010 (dominan musim basah) :
Produksi = 0 dasaharian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 0 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2011 (dominan musim basah) :
Produksi = 18 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 48.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2012 (dominan musim basah) :
Produksi = 17 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 51.000 ton/tahun
- Taksiran produksi tahun 2013 (dominan musim basah) :
Produksi = 18 dasarian $\times$ 10 ton $\times$ 300 Ha = 54.000 ton/tahun

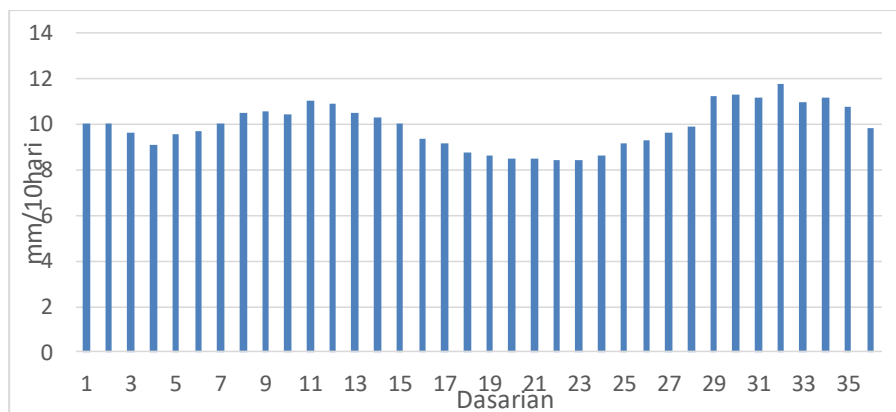
Hasil taksiran berdasarkan parameter – parameter meteorologi ini kemudian dengan data produksi garam di Kabupaten Indramayu (Gambar 9). Secara kualitatif, taksiran produksi garam air payau berdasarkan parameter – parameter meteorologi di Losarang pada tahun 2002 – 2009 berbanding lurus dengan produksi riil di Kabupaten Indramayu. Namun, semenjak tahun 2010 terjadi perbedaan yang cukup signifikan antara taksiran produksi garam dengan data produksi riil. Pada tahun 2010, taksiran mengindikasikan tidak ada produksi garam sama sekali, karena diakibatkan musim basah sepanjang tahun, namun data riil justru memperlihatkan terjadi sedikit peningkatan produksi garam dibandingkan

tahun 2009. Pada tahun 2011 dan 2012, taksiran menunjukkan penurunan produksi dibandingkan tahun 2009, namun data produksi justru memperlihatkan peningkatan drastis. Di tahun 2013, hasil taksiran dan data riil memperlihatkan kecenderungan yang sama. Perbedaan antara hasil taksiran berdasarkan aspek meteorologi dengan produksi riil menunjukkan bahwa produksi garam air payau di Losarang bukan hanya dipengaruhi oleh faktor – faktor tersebut, melainkan oleh banyak faktor seperti jumlah tenaga kerja, alihfungsi lahan, dll.

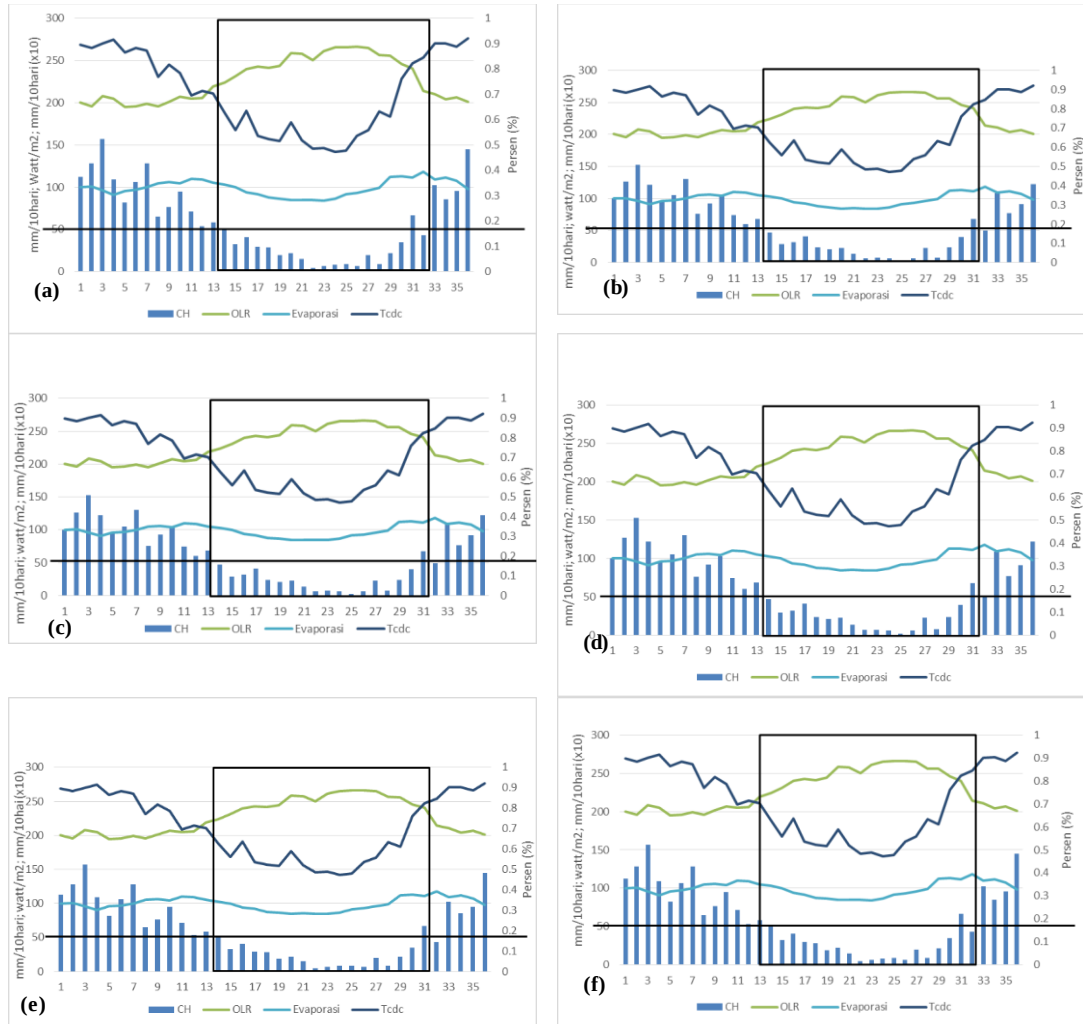
4. GAMBAR DAN TABEL



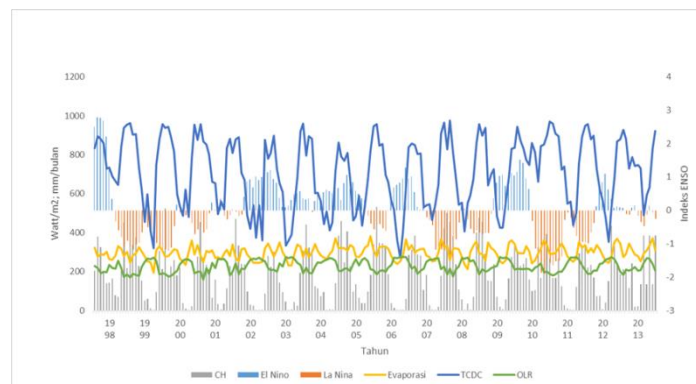
Gambar 1. Data komposit curah hujan dasarian dari 1998-2013 di keenam titik observasi. Garis merah menyatakan ambang batas musim.



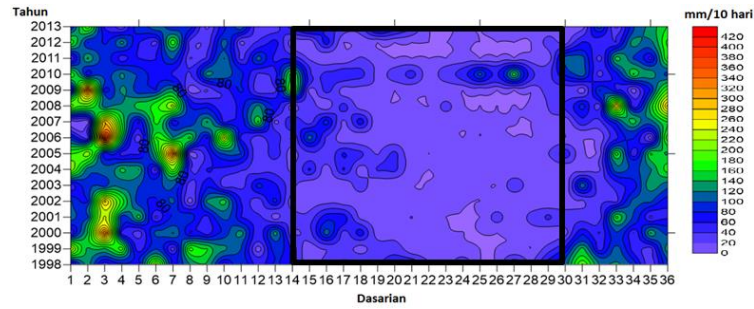
Gambar 2. Komposit evaporasi dasarian tahun 1998-2013 di Desa Losarang.



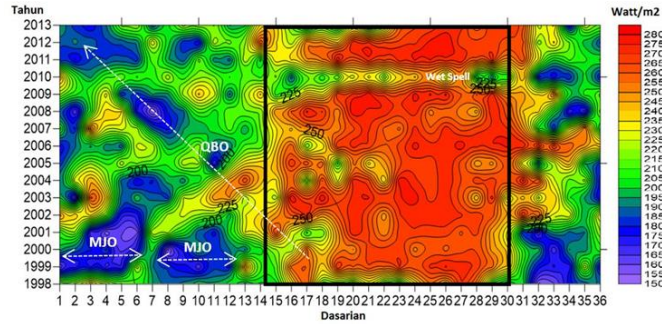
Gambar 3. Keterkaitan antar parameter – parameter meteorologi di titik observasi : (a).Losarang, (b).Bulak, (c). Gabuswetan, (d). Cikeding, (e). Lohbener, dan (d). Cidempet.



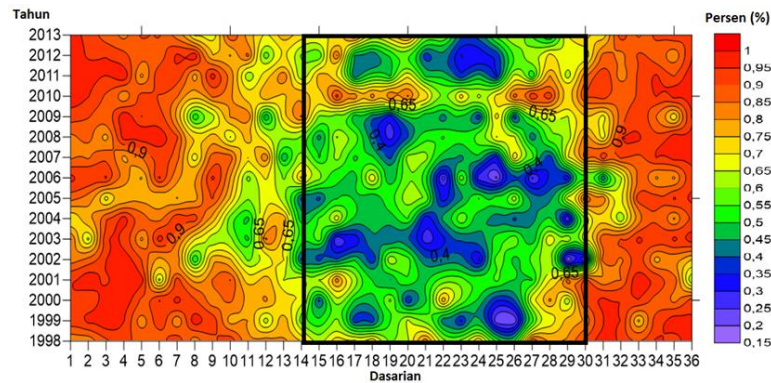
Gambar 4. Kaitan ENSO dengan parameter - parameter meteorologi di Losarang



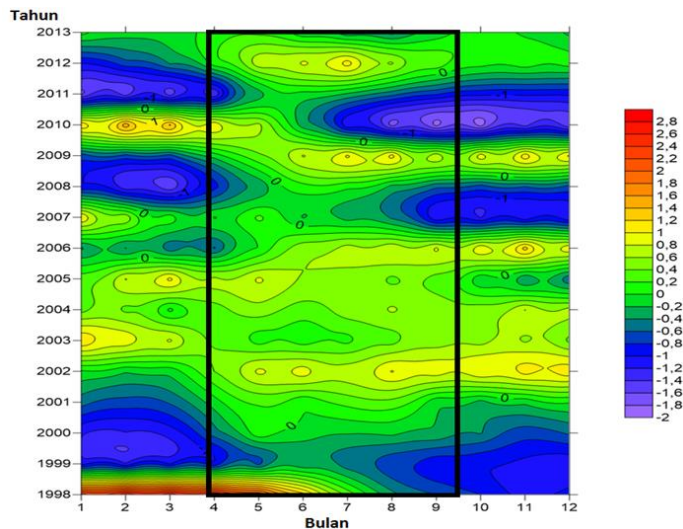
Gambar 5. Curah Hujan setiap dasarian di Desa Losarang pada tahun 1998 – 2013.



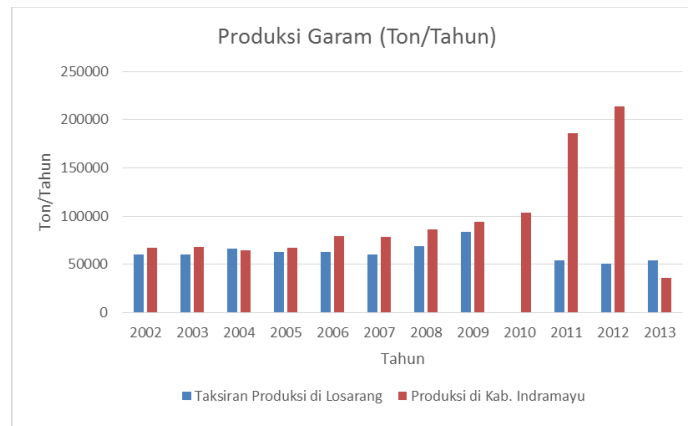
Gambar 6. OLR setiap dasarian di Desa Losarang pada tahun 1998 – 2013.



Gambar.7 Tutupan Awan setiap dasarian di Desa Losarang pada tahun 1998 – 2013.



Gambar 8. MEI bulanan pada tahun 1998 – 2013



Gambar 9. Perbandingan taksiran dan produksi riil garam air payau.

Tabel 1. Masa potensial produksi garam di Losarang tahun 1998 – 2013.

Tahun	Dasarian (mm/2hari)																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1998	34	130	42	74	71	234	71	119	136	46	103	51	84	55	0	39	51	52	37	60	67	25	7	45	0	1	68	16	79	105	206	119	127	97	23	98	
1999	245	135	135	199	43	99	26	190	161	175	101	4	96	55	2	23	22	7	28	31	1	0	8	3	0	1	3	0	31	64	149	45	113	49	30	134	
2000	42	140	341	47	27	309	119	57	47	88	152	42	153	17	31	114	28	77	9	17	12	7	1	0	0	0	3	8	4	8	79	38	99	39	149	95	
2001	117	91	244	84	153	34	41	99	51	108	19	44	3	39	26	73	12	4	11	31	5	0	0	0	0	34	0	35	43	36	34	26	149	47	36	17	
2002	105	77	200	175	86	75	109	5	135	152	58	25	88	2	7	12	7	10	5	12	4	0	2	1	0	1	0	0	0	2	15	38	33	109	124	96	
2003	44	95	86	108	101	95	107	36	77	35	30	89	64	36	3	9	2	35	0	0	0	0	1	3	1	3	0	40	11	14	0	121	24	48	54	138	104
2004	221	107	112	149	141	32	208	41	62	56	41	26	32	36	65	6	63	3	43	47	5	0	0	1	3	1	3	1	0	1	8	16	116	96	117	172	
2005	179	220	61	49	57	140	351	3	51	101	100	24	55	6	35	22	64	48	18	48	0	21	6	12	18	0	20	16	20	60	4	5	175	39	165	135	
2006	89	26	413	141	23	283	121	167	57	250	50	24	54	17	115	35	0	1	4	8	1	3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	3	54	82	6	197	
2007	8	3	301	126	57	170	63	81	143	53	64	105	11	68	26	93	12	79	1	10	16	0	2	2	2	1	1	0	19	0	38	32	87	154	110	139	
2008	213	182	105	113	154	175	151	77	75	42	70	126	75	1	30	1	50	6	0	1	2	0	33	1	0	0	1	0	3	21	45	89	23	183	39	148	148
2009	31	257	67	128	82	80	132	3	14	44	86	121	81	107	0	51	7	18	16	0	4	0	0	0	6	0	0	33	26	3	102	38	5	81	189		
2010	184	43	94	125	88	74	17	38	132	118	87	36	49	177	43	48	50	14	32	54	9	40	55	111	57	159	50	32	84	116	29	71	124	137	90		
2011	32	144	91	46	60	60	105	38	43	121	30	124	53	54	16	3	0	24	11	0	0	0	0	3	0	2	1	5	3	113	112	30	153	98	51	183	
2012	75	188	54	25	99	114	81	91	13	76	118	20	29	72	113	50	33	34	117	76	50	0	0	0	0	0	0	0	11	10	8	112	13	48	117	161	
2013	112	128	157	109	82	106	128	65	76	95	71	53	58	50	33	41	30	28	19	22	15	4	6	8	9	7	19	9	22	35	67	43	102	85	95	145	
Referensi																																					

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan, bahwa:

1. Masa potensial produksi garam terjadi pada musim kering. Di Indramayu, khususnya Desa Losarang musim kering terjadi pada dasarian ke 14 hingga dasarian ke 30 atau pada pertengahan bulan Mei hingga akhir bulan Oktober.
2. Didapat taksiran produksi garam yang dikaitkan dengan data produksi garam Kabupaten Indramayu. Hasil taksiran berbanding lurus dengan data produksi di tahun 2002 – 2009, dan 2013. Tetapi tidak berhubungan pada tahun 2010 – 2012.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat dana hibah penelitian Laboratorium Analisis Meteorologi ITB.

Daftar Pustaka

- [1] Akridge, D.G. 2008. Methods for calculating brine evaporation rates during salt production. *J.Archeol.Sci.*, 35, 1453 – 1462.
- [2] Aligori, A. 2013. Efisiensi Produksi Usaha Garam Rakyat di Kabupaten Indramayu [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- [3] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2005. Prototip Informasi Cuaca dan Iklim Untuk Tambak Garam. BMKG, Jakarta.

- [4] Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Indramayu (Bappeda Kab. Indramayu). 2016. Data Produksi Garam Kabupaten Indramayu. Bappeda Kab. Indramayu, 2016.
- [5] Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, dan M., Gee. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597.
- [6] Huffman, G., Adler, R., Bolvin, D., Gu, G., Nelkin, E., Bowman, K., Hong, Y., Stocker, E., dan Wolff, D. 2017. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeorol.*, 8, 38 – 55.
- [7] Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). 2015. Analisis Produksi Garam Indonesia. KKP, Jakarta.
- [8] Korovessis, N.A. dan Lekkas, T.D. 2006. Comparison of Solar Saltworks with saline coastal wetlands. Dalam Lekkas, T.D. dan Korovessis (ed.): *Proceedings of 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks, 20 – 22 Oktober 2006, Kepulauan Santorini*. Global Nest, Athena, Yunani, 52 - 61.
- [9] Kung, E.C. dan Sharif, T.A. 1980. Regression Forecasting of the Onset of the Indian Summer Monsoon with Antecedent Upper Air Conditions. *J.Appl.Meteorol.*, 19, 370 -380.
- [10] Liebmann, B. dan Smith, C.A. 1996. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. *Bull.Am.Meteorol.Soc.*, 77, 1275-1277.
- [11] Robertson, A.W., Moron, V., dan Swarinoto. Y. 2008. Seasonal predictability of daily rainfall statistics over Indramayu district, Indonesia. *Int.J.Climatol.*, 29, 1449 – 1462.
- [12] Widiarto, S.B., Hubeis, M., dan Sumantadinata, K. 2013. Efektivitas Program Pemberdayaan Usaha Garam Rakyat di Desa Losarang, Indramayu. *Manajemen IKM*, 8(2), 144 – 154.
- [13] Wolter, K. dan Timlin, M.S. 2011. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Intl. J. Climatol.*, 31, 1074 – 1087.
- [14] Zuhud, A. Analisis Pengaruh Laju Evaporasi dan Curah Hujan Terhadap Produksi Garam di Lahan Penggaraman PT Garam (Persero) Sumenep [skripsi]. Bandung: Program Studi Meteorologi ITB.

RANCANG BANGUN SISTEM TELEMETRI PENDETEKSIAN DINI TSUNAMI BERDASARKAN LAJU SURUT AIR LAUT

WILDIAN¹, NINI FIRMAWATI², TANIA MAYANG SARI³

¹Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, wildian_unand@yahoo.com

²Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, firmawatinini@gmail.com

³Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, taniamayangsari57@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan rancang-bangun sistem telemetri nirkabel untuk pendeteksian dini *tsunami* berdasarkan laju surut air laut. Sistem sensor terdiri dari dua detektor level permukaan air laut. Masing-masing detektor terdiri dari sebuah LED dan sebuah fotodioda yang terpisah secara horizontal sejauh 15 mm. Kedua detektor terpisah secara vertikal sejauh 150 mm. Nilai laju surut air laut diperoleh dari nilai jarak antardetektor dibagi dengan waktu yang diperlukan permukaan air laut untuk turun dari posisi teratas ke posisi terbawahnya. Perhitungan dilakukan secara otomatis pada unit pemroses di mikrokontroler dan hasilnya dikirim ke stasiun penerima dengan menggunakan modul *transceiver* nRF24L01+. Data ditampilkan pada *personal computer* menggunakan LabVIEW. Sistem akan mengaktifkan alarm (*buzzer*) pada stasiun penerima ketika penurunan permukaan air laut mencapai laju 0,66667 mm/s (laju minimum penurunan permukaan air laut yang menyebabkan *tsunami* di Bali) yang digunakan sebagai acuan. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur laju penurunan permukaan air dengan kesalahan relatif maksimum 1,94 %. Pengujian di lapangan memperlihatkan bahwa data dapat ditransmisikan sejauh 1000 m (jika tanpa penghalang) dan 400 m (jika di lokasi terdapat penghalang). Laju surut air laut yang terukur pada saat pengujian di kawasan pantai Padang, Sumatera Barat, adalah 0,080 mm/s (normal).

Kata Kunci: detektor, laju surut air, *tsunami*, *transceiver* nRF24L01+, LabVIEW

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang paling berisiko terhadap ancaman bencana tsunami dibandingkan 265 negara lainnya yang disurvei UN-ISDR. Menurut Badan PBB yang mengawasi penerapan strategi internasional untuk pengurangan risiko bencana itu, di Indonesia terdapat sekitar 5,4 juta penduduk yang berpotensi terdampak tsunami [1].

Wilayah yang berpotensi terdampak tsunami di Indonesia antara lain adalah pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa, pantai selatan Bali, pantai selatan NTB, pantai utara NTT, Sulawesi, Maluku, Papua Utara, dan Kalimantan Selatan Bagian Timur. Ancaman tsunami terhadap wilayah-wilayah tersebut memang tidak dapat dihindari, namun dampaknya dapat diminimalisir. Hal ini sangat bergantung pada kesiapan pemerintah dan

masyarakat dalam mengantisipasinya. Banyaknya korban jiwa pada peristiwa *tsunami* yang terjadi di Aceh pada 26 Desember 2004, antara lain disebabkan karena minimnya jumlah alat pendeteksi tsunami yang tersedia, tidak bekerjanya secara efektif sistem peringatan dini yang ada, dan rendahnya pengetahuan masyarakat tentang bahaya *tsunami*. Sistem peringatan dini tsunami yang ada saat ini (seperti *Tide Gauge* dan *Dart Buoys*) umumnya harus ditempatkan di tengah laut. Hal ini sangat berisiko terhadap kerusakan akibat badai atau pencurian oleh manusia.

Salah satu gejala awal terjadinya *tsunami* adalah surutnya air laut di kawasan pantai secara mendadak. Laju surut air laut ini sangat cepat dibandingkan laju surut biasa. Pada gejala awal tsunami, jarak surut air laut menjauhi pantai dapat mencapai 800 meter; sedangkan pada pasang surut biasa, surutnya hanya sekitar 15 meter. Selain itu, selang waktu terjadinya *tsunami* setelah surut air laut adalah sekitar 30 menit, sedangkan surut biasa memerlukan waktu beberapa jam [2].

Laju surut air dapat dideteksi dengan menggunakan sistem sensor yang terdiri dari sepasang LED dan fotodioda berbasis mikrokontroler [3]. Alat ini belum memperhitungkan pengaruh gelombang permukaan air laut terhadap hasil pembacaan sensor. Untuk mengatasi masalah tersebut maka detektor ditempatkan di dalam tabung [4]. Pada sistem detektor yang dirancang Putra, data ketinggian permukaan air hanya ditampilkan pada LCD dan tidak tersimpan secara otomatis di memori agar dapat digunakan lebih lanjut. Selain itu, koneksi antara mikrokontroler dan alat penampil masih menggunakan kabel konduktor sehingga sulit untuk dikirim ke lokasi yang jauh dari pantai. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis merancang suatu sistem telemetri pendeteksian dini tsunami berdasarkan laju surut laut.

Dalam penelitian ini digunakan dua modul *transceiver* nRF24L01+ : yang satu sebagai pengirim data dari lokasi dimana sistem pemancar ditempatkan dan yang lain sebagai penerima data di lokasi pusat penerimaan data. *Transceiver* nRF24L01+ digunakan karena *transceiver* ini memiliki kelebihan dalam hal pengiriman data secara kontinu dibandingkan Xbee Pro. *Transceiver* ini memiliki *round time trip* (RTT) tercepat 0,003 s sedangkan Xbee Pro hanya 0,036 s. Jangkauan (*range*) nRF24L01+ juga lebih unggul karena dapat menjangkau jarak hingga 1 km [5], sementara Xbee Pro hanya sekitar 12 m [6].

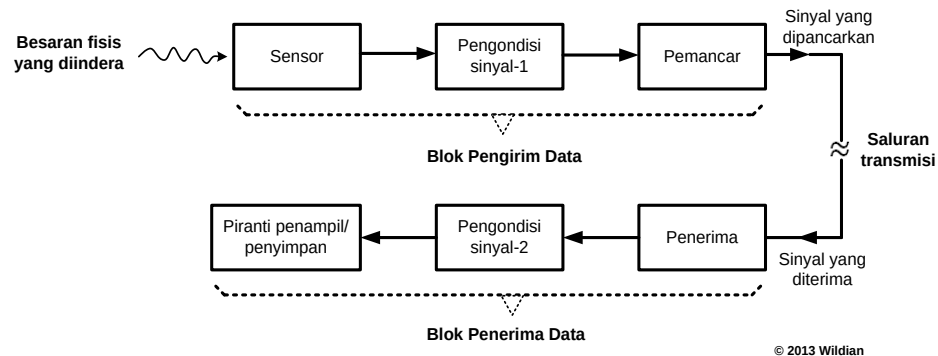
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Telemetri

Telemetri adalah proses pengukuran parameter suatu objek (benda, ruang, kondisi alam) yang hasil pengukurannya dikirimkan ke tempat lain melalui proses pengiriman data baik dengan menggunakan kabel maupun tanpa menggunakan kabel. Sistem telemetri dibangun meliputi dua lokasi/ tempat yang berbeda. Oleh sebab itu, dalam setiap sistem telemetri selalu terdapat dua blok sistem (yaitu blok pengirim dan blok penerima data hasil pengukuran) dan sebuah saluran penghubung yang disebut saluran transmisi. Diagram blok sistem telemetri sederhana dengan satu-saluran (*single-channel*) diperlihatkan pada Gambar 2.1.

Blok pengirim data terdiri atas rangkaian sensor, rangkaian pengondisi sinyal, dan rangkaian pemancar (*transmitter*). Rangkaian sensor berfungsi mengindera besaran fisis yang hendak diukur seperti jarak, temperatur, cahaya, kelembaban, dan lain sebagainya. Sinyal keluaran dari sensor kemudian dikondisikan oleh rangkaian pengondisi sinyal (seperti penguat, penapis, dan lain sebagainya) agar dapat diproses lebih lanjut oleh

rangkaian berikutnya (dalam hal ini: rangkaian pemancar). Selanjutnya, sinyal yang telah dikondisikan itu dikirim oleh rangkaian pemancar dengan menggunakan sinyal pembawa yang sesuai ke rangkaian penerima (yang berada di blok penerima data) melalui saluran transmisi.



Gambar 2.1 Diagram blok sistem pengukuran dengan metode telemetri [7].

Pengukuran jarak jauh tanpa kabel dikenal dengan istilah telemetri nirkabel (*wireless telemetry*). Transmisi sinyal tanpa kabel menggunakan pemancar sebagai media penyebaran sinyal informasi yang termulasi pada gelombang elektromagnetik.

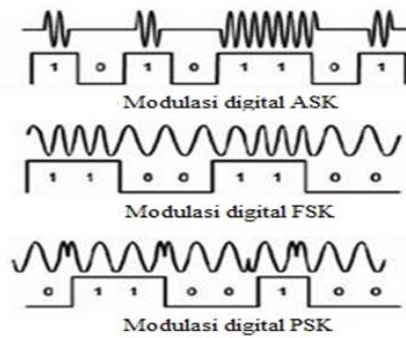
2.2 Modulasi dan Demodulasi

Modulasi didefinisikan sebagai proses dimana beberapa karakteristik dari pembawa diubah-ubah berdasarkan gelombang pemodulasinya. Ada dua macam yaitu modulasi analog dan modulasi digital [8]. Modulasi analog adalah suatu proses perubahan karakteristik atau proses pengkodean dari sinyal analog ke dalam sinyal analog. Modulasi analog ada 3 jenis, yaitu *amplitudo modulation* (AM), *frequency modulation* (FM) dan *phase modulation* (PM).

Modulasi digital adalah suatu proses perubahan karakteristik atau proses pengkodean dari sinyal analog ke dalam sinyal digital. modulasi digital terbagi atas 4 yaitu *amplitude shift keying* (ASK), *frequency shift keying* (FSK), dan *phase shift keying* (PSK) [9]. Modulasi digital ask akan mengubah bentuk sinyal pembawa menjadi ada atau tidak adanya gelombang, jika sinyal informasinya bernilai *high* maka dihasilkan modulasi berupa gelombang dengan amplitudo tertentu. jika sinyal informasi bernilai *low*, maka tidak dihasilkan gelombang dengan artian amplitudonya nol.

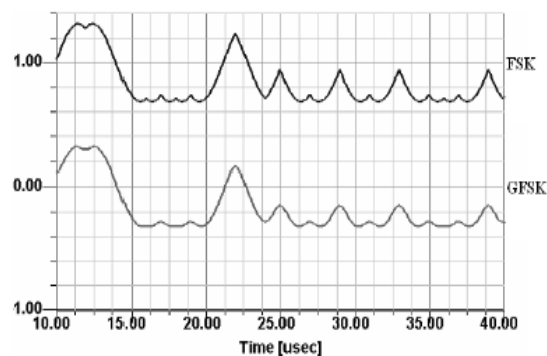
Modulasi digital fsk adalah modulasi yang akan mengubah bentuk sinyal pembawa menjadi gelombang yang terkunci pada dua frekuensi, yaitu rapatan dan regangan. rapatan berarti gelombang memiliki frekuensi lebih tinggi, sedangkan regangan berarti gelombang yang memiliki frekuensi lebih rendah. Frekuensi yang lebih rendah dinyatakan dengan frekuensi *space*, sedangkan frekuensi yang lebih tinggi dinyatakan dengan frekuensi *mark*. perubahan frekuensi dari sinyal termulasi timbul dari perubahan logika sinyal informasi.

Modulasi PSK adalah modulasi yang akan mengubah fasa dari gelombang artinya sinyal informasi akan mengubah fasa gelombang tergantung dari logika *high* dan *low*-nya sinyal informasi. Gambar 2.2 menggambarkan sinyal pembawa yang berupa sinyal sinusoidal akan diubah-ubah sesuai dengan teknik modulasi digital yang digunakan.



Gambar 2.2 Sinyal-sinyal modulasi digital [10].

Modulasi GFSK pada dasarnya merupakan pengembangan dari modulasi FSK. Sebelum sinyal informasi masuk ke modulator fsk, sinyal akan melewati sebuah *pulse-shape* filter yang disebut *gaussian low-pass filter* untuk membuat denyut sinyal menjadi lebih halus sehingga membatasi lebar spektrumnya. *Pulse-shape* filter digunakan untuk memenuhi persyaratan dalam sistem telemetry nirkabel yang salah satunya adalah untuk menghasilkan *bandlimited channel* [11]. Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan antara sinyal keluaran dari teknik modulasi FSK dan GFSK.



Gambar 2.3 Sinyal modulasi FSK dan GFSK

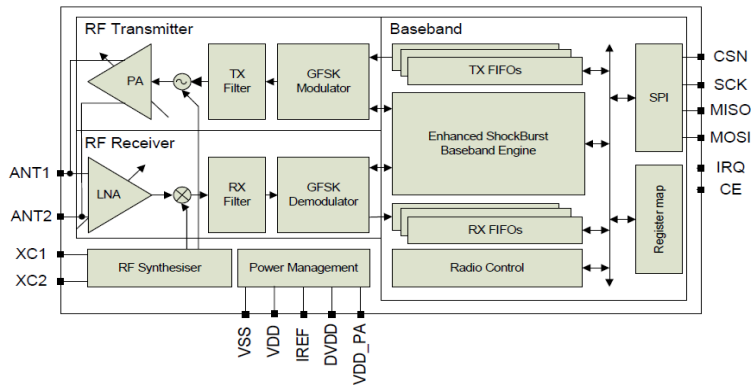
(sumber: Sulaeman, 2011)

Demodulasi adalah proses memulihkan sinyal audio dari gelombang termodulasi [12]. Sinyal yang dipulihkan adalah sinyal informasi yang pisahkan dari sinyal pembawa. Demodulasi terjadi pada unit penerima dimana sinyal informasi yang telah terpisah dari sinyal pembawa ini memiliki parameter fisis yang sama seperti sinyal informasi pada unit pemancar.

2.3 Modul nRF24l01+

Modul nRF24l01+ adalah sebuah modul komunikasi jarak jauh yang memanfaatkan pita gelombang RF 2,4 GHz ism (*industrial, scientific and medical*). Modul ini menggunakan antarmuka *serial peripheral interface* (spi) untuk berkomunikasi.

Modul nRF24l01+ merupakan *transceiver* yang terdiri dari frekuensi *synthesizer* yang terintegrasi, *power amplifier*, osilator kristal, modulator, demodulator, dan *enhanced shockburst protocol engine*. *Transceiver* ini dapat mencapai jarak komunikasi sejauh 1000 m [5]. Diagram blok *transceiver* nRF24L01+ diperlihatkan pada Gambar 2.4.



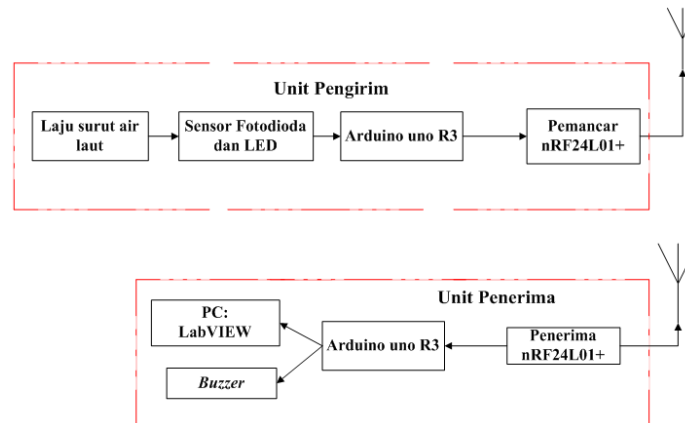
Gambar 2.4 Diagram blok transceiver nRF24L01+

(Sumber: Nordic semiconductor, 2008)

3. METODE PENELITIAN

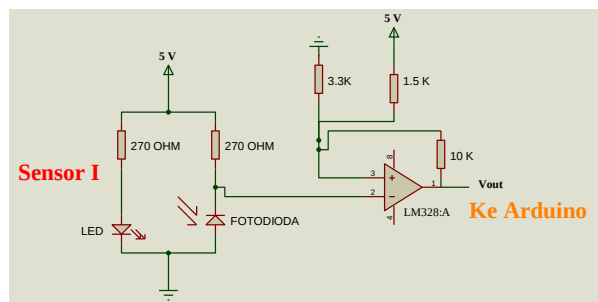
3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dirancang seperti pada Gambar 3.1.



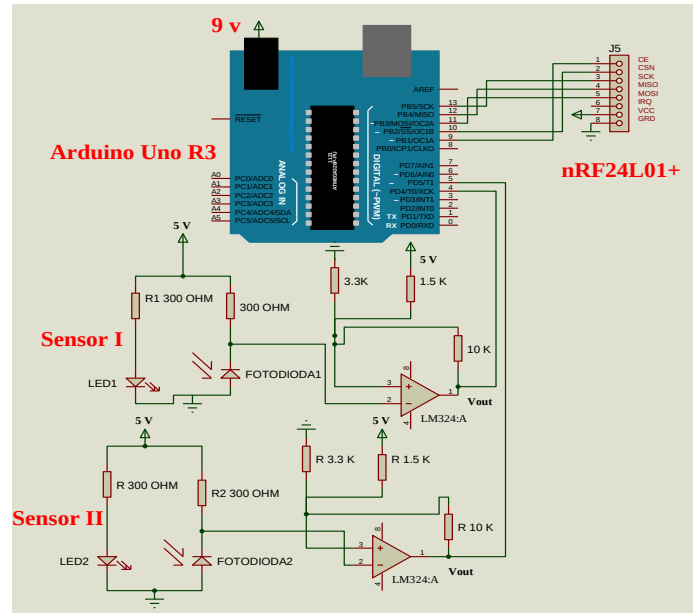
Gambar 3.1. Digram Blok Sistem

Komponen-komponen yang digunakan dalam pembuatan rangkaian sistem sensor level permukaan air laut adalah fotodioda (2 buah), LED (2 buah), resistor 270 Ω (2 buah). Skematik rangkaiannya diperlihatkan pada Gambar 3.2.



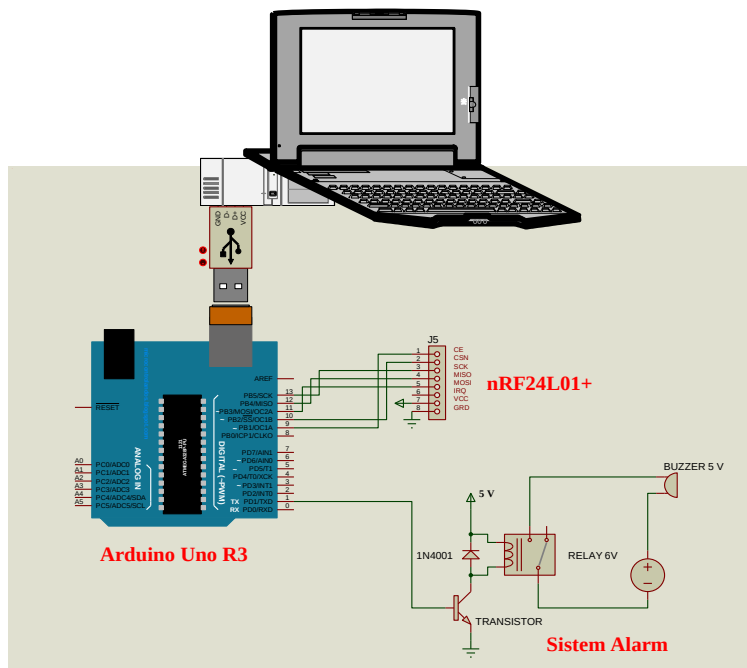
Gambar 3.2. Rangkaian sistem sensor level permukaan air laut

Rangkaian perangkat keras unit *transmitter* dirancang seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian unit transmitter

Rangkaian unit receiver terlihat seperti pada Gambar 3.4.

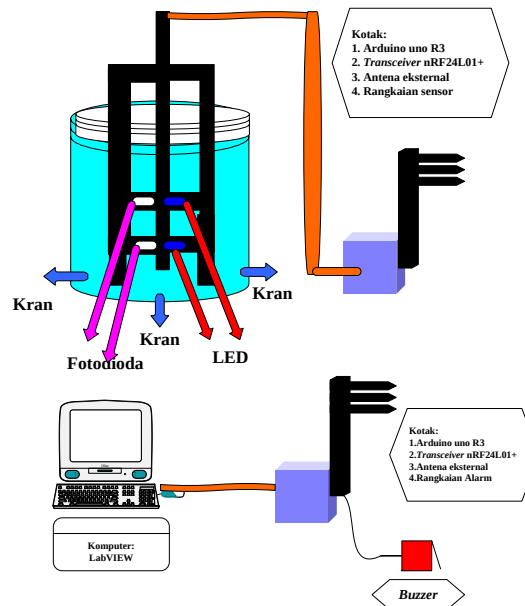


Gambar 3.4 Rangkaian unit receiver

3.2 Cara Kerja Alat

Dua buah sensor dipasang secara vertikal pada jarak 150 mm, dengan jarak antara LED dan fotodiada adalah 15 mm. Bekerja berdasarkan medium yang melewati sensor tersebut, yaitu udara dan air. Ketika medium pada sensor I adalah udara, maka timer pada Arduino akan aktif dan mulai mencacah waktu. Timer akan berhenti mencacah ketika medium pada sensor II adalah air sehingga didapatkan perubahan waktu (Δt). Data

waktu surut yang terdeteksi oleh sensor akan dikirim ke unit *receiver*. Laju surut yang diperoleh akan diproses kembali untuk menentukan apakah laju surut normal atau terindikasi *tsunami*. Data akan tampil dan tersimpan dalam *personal computer* menggunakan program LabVIEW. *Buzzer* akan aktif jika laju surut rata-rata air laut berindikasi *tsunami* (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Skema bentuk fisik alat secara keseluruhan pada unit pemancar dan unit penerima skala labor simulasi laju surut tsunami.

4. HASIL

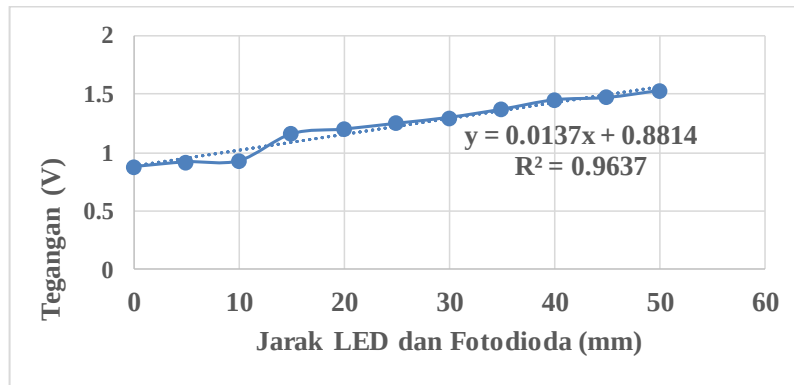
4.1 Hasil Karakterisasi Sensor Fotodioda

Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui apakah sensor dapat berguna dengan baik. Nilai tegangan keluaran dari sensor dengan variasi jarak tertentu dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang menunjukkan hasil karakterisasi sensor fotodioda yang divariasikan dengan beberapa jarak tertentu. Data yang diperoleh nilai tegangan keluaran sensor yang paling stabil adalah pada jarak 15 mm dan 40 mm, penulis menggunakan jarak 15 mm untuk jarak antara sensor fotodioda dan LED karena *output* sensor stabil dan jarak tidak terlalu besar sehingga bisa disesuaikan dengan diameter pipa PVC.

Tabel 4.1 Karakterisasi sensor fotodioda

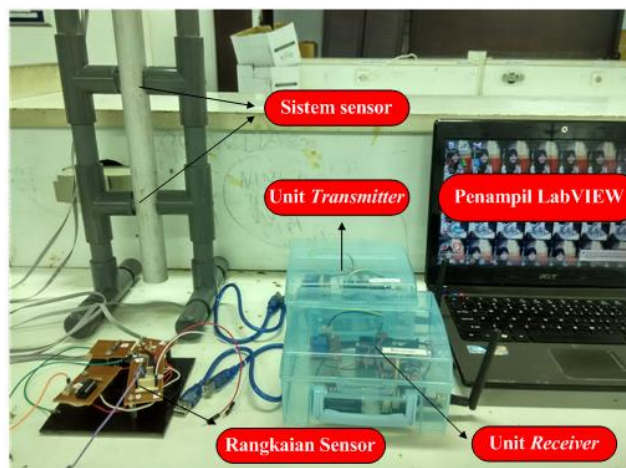
No.	Jarak (mm)	Tegangan (V)	Kuat Cahaya (Lux)	Keterangan
1	0.0	0.88	659	Tidak stabil
2	5	0.92	459	Tidak stabil
3	10	0.93	444	Hampir stabil
4	15	1.16	293	Stabil
5	20	1.20	254	Tidak stabil
6	25	1.25	233	Tidak stabil
7	30	1.30	207	Tidak stabil
8	35	1.37	203	Tidak stabil
9	40	1.45	139	Stabil
10	45	1.47	131	Tidak stabil
11	50	1.53	129	Hampir stabil

Data pengukuran dari Tabel 4.1 dapat diplot dalam bentuk grafik tegangan terhadap jarak seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Karakterisasi sensor fotodioda

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan karakterisasi dari sensor fotodioda. Grafik memperlihatkan hubungan antara jarak antara fotodioda dan LED dengan nilai tegangan keluaran sensor. Jarak LED dan fotodioda yang semakin jauh akan menghasilkan nilai tegangan yang semakin besar. Artinya, semakin gelap maka nilai tegangan akan semakin besar dapat dilihat dari grafik bahwa nilai menunjukkan skala linear. Sensitivitas sensor fotodioda adalah 0,0137 V/mm dengan arti tiap kenaikan jarak 1 mm mengakibatkan kenaikan tegangan sebesar 0,0137 V. Nilai 0,8814 merupakan nilai *offset* yang menyatakan bahwa nilai awal sensor pada saat jarak bernilai nol. Nilai koefesien korelasinya $R^2 = 0,9637$. Rangkaian keseluruhan alat yang sudah dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.2 Bentuk fisik alat secara keseluruhan.

Tabel 4.2 Pengujian transceiver tanpa penghalang

No	Jarak Pengiriman (m)	Kode Unit Transmitter	Kode Unit Receiver	Status
1	100	212	212	Terkirim
2	200	212	212	Terkirim
3	300	212	212	Terkirim
4	400	212	212	Terkirim
5	500	212	212	Terkirim
6	600	212	212	Terkirim
7	700	212	212	Terkirim

8	800	212	212	Terkirim
9	900	212	212	Terkirim
10	1000	212	212	Terkirim
11	1100	212	212	Tidak Terkirim

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa *transceiver* nRF24L01+ dapat mengirim data dari unit *transmitter* ke unit *receiver* tanpa penghalang dengan jarak 1000 m.

4.2 Pengujian *Transceiver* Dengan Penghalang

Pengujian dilakukan dengan adanya beberapa penghalang seperti pohon dan tikungan jalan yang dilakukan di Universitas Andalas Padang dari bundaran Pusat Kegiatan Mahasiswa (PKM) sampai ke halte Lapangan Futsal. Pengambilan data dapat dilihat seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengambilan data *transceiver* dengan penghalang

Pengiriman data dari unit *transmitter* ke unit *receiver* dengan penghalang dapat ditempuh dengan jarak maksimal 400 m. Pohon, tikungan jalan, mempengaruhi pengiriman data *transceiver*, sehingga jarak kirimnya lebih kecil dibandingkan tanpa penghalang.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Alat yang dirancang dapat berfungsi dengan baik. Hasil ini dibuktikan dengan % *error* maksimal laju surut sebesar 2,02 %. Perbedaan nilai laju surut sensor dengan manual adalah karena adanya perbedaan ketika mengukur waktu.
2. Persen *error* maksimal waktu surut air laut adalah 1,94 %, perbedaan nilai waktu surut sensor dengan *stopwatch* karena tidak sama ketika memulai *stopwatch* dengan membuka kran.
3. Jarak fotodioda dan LED yang efektif dan stabil adalah sebesar 15 mm.
4. Penggunaan sensor fotodioda yang dirancang untuk penggunaan dalam mendeteksi surut berfungsi dengan baik. Hasil ini dibuktikan dengan nilai regresi sebesar 0,9637.
5. Jarak antara sensor I dan sensor II adalah 150 mm agar air tidak menggantung di antara sensor I dan sensor II, maka diambil pada skala pasang minimal dan surut maksimal.
6. Sistem telemetri nirkabel menggunakan *transceiver* nRF24L01+ memiliki jarak pengiriman maksimal tanpa penghalang 1000 m. Pengiriman maksimal dengan penghalang 400 m, serta pengiriman maksimal ketika hujan dan berpenghalang adalah 328 m.

5.2 Saran

Untuk mengembangkan alat ini selanjutnya penulis menyarankan agar:

1. Sistem telemetry menambahkan unit *repeater* agar jarak pengiriman data bisa menjadi lebih jauh.
2. Penyimpan data yang tersimpan dalam PC dapat diteruskan dalam bentuk SMS atau update di internet supaya lebih mudah untuk diakses dan bisa menjadi referensi bagi yang membutuhkan.
3. Program untuk mendeteksi laju surut sulit sehingga hasil yang sudah dibaca oleh sensor harus direset ulang di unit *transmitter* agar sensor bisa mendeteksi lagi. Jika tidak direset setelah pengambilan data pertama maka ketika pengambilan data selanjutnya tidak akan terdeteksi, sehingga perlu dilakukan pembelajaran lebih dalam mengenai program ini.

Daftar Pustaka

- [1] BNPB, *Potensi dan Ancaman Bencana*, www.bnpb.go.id, 2014, diakses pada Oktober 2016.
- [2] Nelson, S. A., *Tsunami, Natural Disasters*, EENS 204, Jurnal, Tulane University, 2016.
- [3] Syukri, F., *Rancang Bangun Pendeteksi Gejala Awal Tsunami Berdasarkan Laju Surut Air Laut, Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang, 2009.
- [4] Putra, A. S., 2011, Pengembangan Rancang Bangun Sistem Detektor Gejala Awal Tsunami Berbasis Mikrokontroler AT89S51 Dengan Sensor Fototransistor, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang.
- [5] Docfoc, 2016, 2,4G nRF24L01 Wireless Module w / PA and LNA, <http://www.docfoc.com/datasheet-wir020>, di akses Agustus 2016.
- [6] Yuliza, Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller, *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, Vol 4. No 1, Universitas Mercu Buana, hal 53-68, 2013.
- [7] Wildian, *Sistem Instrumentasi*, bahan ajar sistem instrumentasi, Jurusan Fisika Universitas Andalas, Padang, 2013.
- [8] Ariyus, D., *Komunikasi Data*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [9] Sulaeman, P. F., Perancangan Sistem Telemetry Sensor Kompas pada Accelerometer pada Payload Roket, 2011, <http://alumni.unikom.ac.id>, diakses Oktober 2016.
- [10] Saputra, S., dan Wildian, Rancang Bangun Sistem Telemetry Nirkabel Untuk Peringatan Dini Banjir Dengan Modulasi Digital FSK modulasi Frekuensi, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 4, No. 1, Universitas Andalas, Padang, 2014.
- [11] Svedek, Tomislav, Marijan H., T. Matic, In situ Measurement of Soil Moisture; A Comparison of Technique, *Journal of Hydrology*, 293, University of Newcastle, hal 85-99, 2009.
- [12] Mehta, V. K. dan Mehta, R., *Principles of electronics*, S.Chand, New Delhi, 2008.

EKSTRAK KULIT BUAH KAKAO SEBAGAI ADITIF PADA SINTESIS LAPISAN KUPRUM (Cu)

DAHYUNIR DAHLAN¹, NURRY PUTRI TISSOS¹, YULI YETRI²

¹ Physics Department Faculty of Mathematic and Natural Science, Andalas University,
Padang, 25163, Indonesia

E-mail: dahyunir@yahoo.com, nurrypuitissos@gmail.com

² Padang State Politechnic, Kampus Limau Manis
Padang, 25163, Indonesia

E-mail: yuliyetrietri@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan sintesis lapisan kuprum (Cu) menggunakan larutan aditif ekstrak kulit buah kakao. Lapisan dihasilkan melalui metoda elektrodposisi, dengan variasi tegangan, waktu dan konsentrasi larutan. 0,05 M CuSO₄ digunakan sebagai larutan elektrolit, 0,05M H₃BO₃ digunakan sebagai larutan penyangga. Sementara konsentrasi larutan ekstrak kulit buah kakao didalam larutan adalah 0; 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5 % volume. Karakterisasi menggunakan mikroskop optik menunjukkan bahwa permukaan lapisan hasil elektrodposisi 3V selama 30 menit terlihat paling halus. Sampel dengan ukuran paling seragam dengan lapisan yang merata terjadi pada sampel dengan konsentrasi 1 %. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah kakao membuat partikel dan dan permukaan lapisan lebih halus.

Kata Kunci: elektrodposisi, ekstrak kulit buah kakao, lapisan tipis, korosi

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan yang berbasiskan logam sangat banyak digunakan baik sebagai bahan konstruksi, rangka kendaraan, Berger [1], kesehatan maupun sebagai bahan untuk tujuan dekoratif, Pakdel [2]. Bahan logam pada umumnya sangat mudah berkarat seiring dengan waktu dan tempat penggunaannya. Hal ini tentunya akan menurunkan fungsi dari bahan itu sendiri. Salah satu cara yang banyak dilakukan untuk memperbaiki sifat logam adalah dengan cara melapisi permukaan logam tersebut. Beberapa pelapisan pada logam misalnya pelapisan dengan cat, pelapisan menggunakan pelapis polimer atau melapisi dengan bahan logam lainnya dan pelapisan menggunakan lapisan tipis kuprum, Dahlan [3]. Pelapisan dilakukan untuk beberapa tujuan, antara lain agar bahan logam yang terlapisi tahan akan serangan korosi (karat), anti bakteri, Pavlatou [4] tahan terhadap goresan atau berpenampilan licin dan menarik.

Selain dengan melapisi dengan lapisan tipis, penambahan inhibitor korosi juga merupakan salah satu tindakan preventif paling efektif dalam pencegahan korosi. Penggunaan inhibitor korosi mengalami kemajuan yang signifikan dalam perkembangan teknologi sejak tahun 1950. Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit, Pavanisam [5]. Namun penggunaan inhibitor sebagai upaya pencegahan korosi memiliki kelemahan, diantara kelemahan yang paling mendasar adalah banyak komponen inhibitor yang merupakan komponen beracun, maka inhibitor

yang terbuat dari bahan alami menjadi jawaban dari permasalahan ini. Pada penelitian ini dilakukan proses pelapisan menggunakan aditif ekstrak kulit buah kakao sebagai campuran larutan elektrodeposisi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Elektrodeposisi

Elektrodeposisi adalah suatu proses pelapisan suatu logam atau senyawa logam dari larutan elektrolit pada elektroda dengan bantuan arus listrik searah. Komponen utama pada proses elektrodeposisi terdiri dari sumber arus searah (DC), larutan elektrolit dan elektroda. Elektroda terdiri dari anoda dan katoda, pada anoda terjadi proses oksidasi dan pada katoda terjadi proses reduksi.

Metode elektrodeposisi merupakan suatu metode pengendapan spesies kimia pada substrat atau logam lain secara elektrolisis. Elektrodeposisi merupakan teknik yang paling kompetitif dikarenakan pengaturan ketebalan lapisan yang mudah, metodenya sederhana, mudah dikontrol, biaya murah dan cocok untuk berbagai aplikasi, Dahlan [3].

2.2 Inhibitor Korosi

Sejauh ini penggunaan inhibitor korosi merupakan salah satu upaya yang efektif untuk mencegah terjadinya korosi. Inhibitor adalah zat kimia yang digunakan untuk mengendalikan proses korosi yang terjadi di lingkungan udara maupun lingkungan elektrolit. Apabila inhibitor ditambahkan ke dalam lingkungan korosif, maka laju serangan zat agresif akan berlangsung sampai tingkat tertentu, Bahri [6]. Biasanya inhibitor digunakan untuk melindungi permukaan logam dengan membentuk sebuah lapisan korosi. Inhibitor sering bekerja dengan menyerap dirinya pada permukaan logam, dan mencegah permukaan terkorosi lebih cepat dengan membentuk sebuah lapisan pelindung, Das [7].

2.3 Inhibitor Organik dari Ekstrak Kulit Buah Kakao

Umumnya, inhibitor yang sering digunakan adalah inhibitor anorganik, akan tetapi penggunaan ini kurang efektif dan memberikan dampak yang negatif karena inhibitor ini beracun dan tidak ramah lingkungan, untuk itu sangat memungkinkan menggunakan inhibitor organik yang berasal dari alam, karena tidak beracun dan ramah lingkungan, Yetri [8]. Kemampuan sebuah senyawa bahan alam ini berfungsi sebagai inhibitor sangat bergantung pada kemampuannya untuk membentuk sebuah lapisan pelindung dan atau adsorpsi alami pada permukaan logam, Mayanglambam, [9].

3. METODOLOGI

Baja karbon berbentuk plat dipotong dengan ukuran 1x2 cm kemudian dicuci sampai bersih. Permukaan baja dihaluskan dengan kertas amplas ukuran 600, 1000 dan 1500 mesh hingga permukaannya benar-benar halus dan terakhir permukaan dihaluskan dengan amplas 2000 mesh. Untuk membersihkan kotoran seperti minyak, lemak, dan karat yang menempel pada permukaan baja, baja direndam dalam alkohol pada suhu ruang selama 1-3 menit, dibilas dengan aquades hingga bersih dan dikeringkan dalam oven. Terakhir baja tersebut disimpan di dalam desikator.

Kulit buah kakao dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dirajang hingga berukuran tipis-tipis, dikering anginkan selama 14 hari. Setelah kering, digerinda hingga menjadi serbuk. Serbuk kering kemudian dimaserasi dengan menggunakan

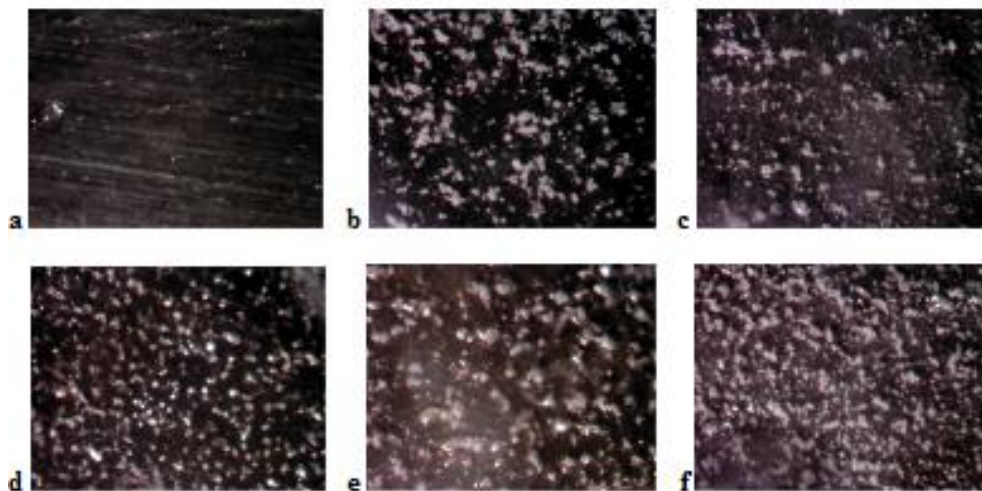
metanol 70% selama lima hari. Maserasi dilakukan berulang-ulang dan setelah itu disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil saringan berupa filtrat dipekatkan dengan *Vacuum Rotary Evaporator*. Selanjutnya ekstrak yang telah dibuat tersebut digunakan sebagai inhibitor.

Lapisan Cu-O disintesis dengan metode elektrodposisi pada tegangan 1, 2, 3, 4 dan 5 volt selama 30 menit. Larutan elektrolit digunakan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan 0,05M H_3BO_3 dengan variasi konsentrasi larutan ekstrak kulit buah kakao 0; 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5 % volume, sebagai larutan inhibitor. Morfologi lapisan hasil elektrodposisi dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik, mikroskop elektron (SEM), dan difraksi sinar-X (XRD).

4. HASIL

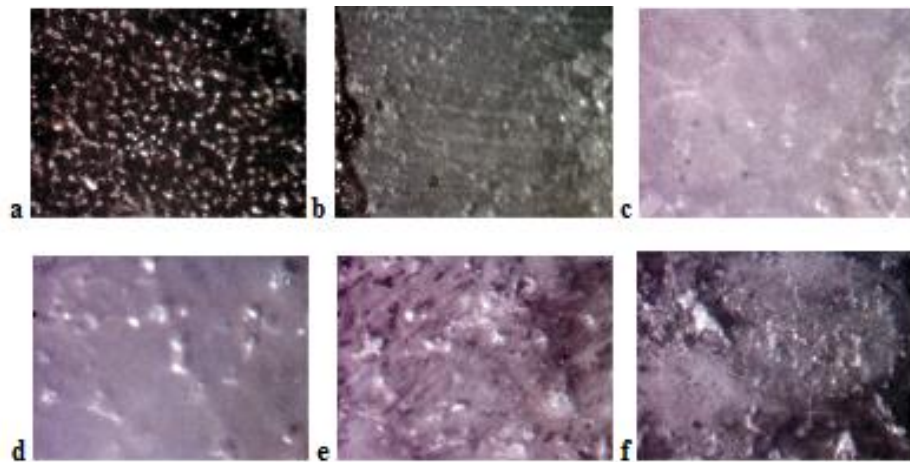
Dari proses elektrodposisi yang telah dilakukan diatas plat baja, didapatkan lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil mikroskop optik digital dilakukan dengan perbesaran 1000 kali. Gambar 1a menunjukkan permukaan plat baja sebelum dilakukannya peoses elektrodposisi. Tampak bahwa permukaannya tidak terlapisi, yang terlihat hanya garis-garis bekas goresan ampelas.

Apabila tegangan 1Volt dilakukan pada proses elektrodposisi (Gambar 1b) maka terbentuk lapisan Cu diatas pelat baja, namun partikel masih berkelompok dengan ukuran yang berbeda serta belum menutupi seluruh permikaan pelat baja. Ketika tegangan dinaikkan menjadi 2 Volt (Gambar 1c), ukuran partikel Cu sudah hampir seragam namun belum menutupi seluruh permukaan baja. Penggunaan tegangan 3 Volt, menghasilkan ukuran partikel yang hampir sama dan hampir menutupi seluruh permukaan pelat baja, seperti ditunjukkan padaa Gambar 1d. Penggunaan tegangan yang lebih besar pada proses elektrodposisi yaitu 4 dan 5 Volt menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar, namun ukurannya tidak sama, dan terlihat lebih menumpuk serta ketebalannya tidak sama. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 1e dan gambar 1f. Dari sini dapat kita katakan bahwa proses terbaik dari ekperimen yang kita lakukan untuk menghasilkan lapisan Cu diatas pelat baja adalah menggunakan tegangan 3 Volt selama 30 menit. Untuk selanjutnya pada penelitian ini proses elektrodposisi dilakukan pada 3 Volt selama 30 menit.



Gambar 1. Lapisan hasil proses elektrodposisi 0.5 M CuSO_4 selama 30 menit diatas pelat baja menggunakan tegangan: a. tanpa elektrodposisi (pelat baja), b. 1V, c. 2V,

d. 3V e. 4V, f. 5V. (perbesaran 1000 X)

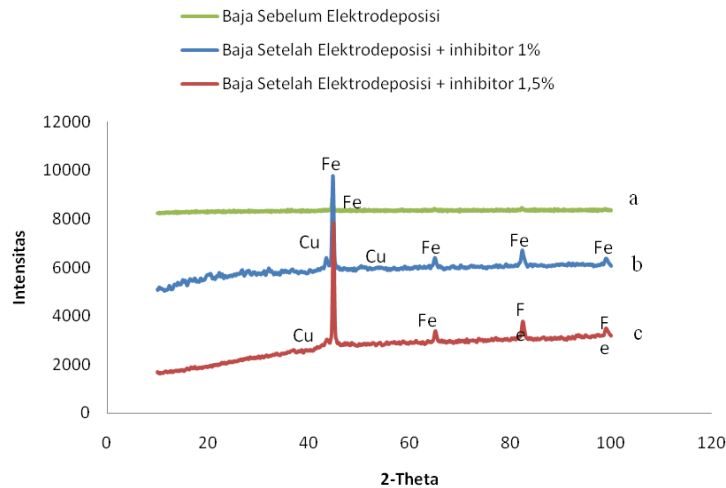


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak kulit buah kakao pada larutan 0.5 M CuSO_4 pada proses elektrodposisi menggunakan tegangan 3 Volt selama 30 menit; **a.** tanpa inhibitor, **b.** 0.5%, **c.** 1%, **d.** 1,5%, **e.** 2% dan **f.** 2.5% volume.

Pengaruh penambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao pada larutan CuSO_4 untuk menghasilkan lapisan Cu diatas plat baja ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2a menunjukkan lapisan yang dihasilkan tanpa inhibitor. Sementara Gambar 2b adalah lapisan yang dihasilkan dengan penambahan 0.5% volume inhibitor ekstrak kulit buah pada larutan CuSO_4 . Tampak bahwa penambahan inhibitor membuat permukaan lapisan lebih halus namun ada bagian yang belum tertutupi. Ketika 1% volume inhibitor ditambahkan, tampak bahwa permukaan lapisan lebih halus serta menutupi seluruh permukaan lapisan (gambar 2c). Apabila persentase volume inhibitor ditingkatkan menjadi 1,5% terlihat bahwa permukaan lapisan menjadi kasar kembali karena ketebalan lapisan inhibitor menjadi menipis, meskipun masih menutupi lapisan Cu (Gambar 2d). Jika konsentrasi inhibitor ditingkatkan lagi maka permukaan lapisan terlihat semakin kasar. Permukaan lapisan malah tampak semakin tidak terlapisi inhibitor lagi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2e dan Gambar 2f penambahan 2% dan 2.5% volume berturut turut membuat permukaan semakin kasar. Lapisan Cu butirannya semakin besar dan inhibitor tampak menjadi menggumpal dan mengendap pada larutan sisa CuSO_4 . Dari peristiwa ini dapat diketahui bahwa inhibitor pada konsentras tertentu (1% volume) membuat permukaan semakin halus dan melindungi lapisan yang Cu. Tetapi ketika konsentrasinya semakin besar maka inhibitor malah membuat permukaan lapisan semakin kasar. Hal ini dikarenakan konsentrasi inhibitor yang tinggi membuat larutan menjadi semakin pekat, selanjutnya berubah menjadi endapan.

Gambar 3 menunjukkan pola difraksi sinar-X (XRD) dari lapisan yang telah dihasilkan. Tampak bahwa pada sampel plat baja yang tidak dielektrodposisi (Gambar 3a), hanya terdapat unsur Fe. Ketika dielektrodposisi menggunakan larutan CuSO_4 maka dihasilkan lapisan Cu diatas plat Fe, sehingga unsur yang terdeteksi pada diagram XRD adalah unsur Fe dan juga Cu (Gambar 3b). Apabila larutan inhibitor ditambahkan saat proses elektrodposisi maka dihasilkan unsur-unsur yang sama seperti sampel yang tanpa penambahan inhibitor. Yang membedakan diantara keduanya adalah tinggi dan lebar puncak dari pola difraksi yang dihasilkan. Hal ini berarti ukuran dan morfologi lapisan yang dihasilkan adalah berbeda. Lapisan yang dihasilkan dengan penambahan inhibitor partikelnya lebih kecil dan permukaan yang dihasilkan lebih halus. Kehalusan permukaan ini tentu akan berpengaruh pula terhadap sifat korosi dari lapisan tersebut. Untuk uji korosi dan uji sifat lainnya akan kami diskusikan pada hasil penelitian kami

selanjutnya.



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X dari lapisan Cu yang dihasilkan dari elektrodeposisi:

- Tanpa elektrodeposisi (hanya plat baja),
- Elektrodeposisi hanya menggunakan Larutan CuSO_4 ,
- Elektrodeposisi CuSO_4 menggunakan tambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao,

5. KESIMPULAN

- Dari penelitian ini didapatkan bahwa elektrodeposisi 0.5 M CuSO_4 diatas pelat baja menghasilkan partikel Cu yang lebih kecil dan merata terjadi pada tegangan 3V.
- Penambahan 1% volume inhibitor ekstrak kulit buah kakao menghasilkan permukaan yang paling halus dan tesebar merata diatas permukaan lapisan.
- Dari data pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa lapisan yang terbentuk diatas pelat baja adalah lapisan Cu, sementara penambahan inhibitor ekstrak kulit buah kakao membuat permukaan lapisan Cu lebih halus

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada **Penelitian Pengembangan Sains Dasar dan Matematika** (SKIM Riset Dasar), Universitas Andalas 2017. Penelitian ini merupakan bagian awal dari penelitian tersebut.

DaftarPustaka

- [1] Berger, D. M. and Wint, R. F. 1984. *New Concepts for Coating Protection of Steel Structures*, ASTM Special Technical Publication 841; American Society for Testing and Materials.
- [2] Pakdel, E., Walid A. D., Wang, X. 2013. *Self-cleaning and superhydrophilic wool by $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ nanocomposite*. Applied Surface Science 275 (2013) 397– 402.
- [3] Dahlan, D. 2009 *Electrodeposition of Cu_2O Particles by Using Electrolyte Solution Containing Glucopone as Surfactant*. Jurnal Ilmu Fisika (JIF), Vol 1(2), pp. 18-20.
- [4] Pavlatou, E., Chrysagis, K. 2016. *Novel Self-cleaning, antibacterial coatings, preventing disease transmission on everyday touched surfaces*. Project website address: <http://selfcleanproject.com/>.

- [5] Pavanisam, 2003, Corrosion Inhibitors, Ottawa, Canada.
- [6] Bahri, 2007, Penghambatan Korosi Baja Beton dalam Larutan Garam dan Asam dengan Menggunakan Campuran Senyawa Butilamina dan Oktilamina, *Jurnal Gradien*, Vol. 3, No. 1.
- [7] Das, Ghanshyam, 2014, Inhibiting Effects of Organic Inhibitor on Corrosion of Steel in 3.5% Brine Solution, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research*, Vol. 3, No. 3.
- [8] Yetri, Yuli, 2016, Corrosion Behavior of Environmental Friendly Inhibitor of *Theobroma cocoa* Peels Extract for Mild Steel in NaCl 1.5 M, *EnvironmentAsia* 9(1).
- [9] Mayanglambam *et al*, 2011, *Musa Paradisiaca* Extract as A Green Inhibitor for Corrosion of Mild Steel in 0.5 M Sulphuric Acid Solution, *Portugaliae Electrochimica Acta*, Vol. 29, No. 6.

COMPARISON OF TWO MODELS PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) ON MALUKU NORTH AREA

TATI ZERA¹, M. NAFIAN², ILMAN LUTHFI H³, LUSTY NUR A⁴

^{1,2,3,4}Prodi Fisika – FST UIN Syarif Hidayatullah
Jln. Ir. H. Juanda No. 95, Ciputat, Jakarta

Abstract

The Maluku region, which consists of Halmahera Island and a number of other small islands, has a unique tectonic condition, since it is formed through three major Eurasian, Pacific, and Indo-Australian encounters. This condition causes high tectonic activity and characterized by a number of earthquake events in the area. These earthquakes accumulation cause Ground Motion which one of its parameters is Ground Acceleration or Peak Ground Acceleration (PGA). This paper discusses the comparison the mapping of two models of PGA, McGuire and Esteva for the Maluku region. These models were made based on earthquake catalog from 1965 – 2015. The variables of earthquakes are the $M_s \geq 5$ SR and hypocenter ≤ 80 km with location $2^{\circ}\text{N} - 3^{\circ}\text{S}$ and $(127 - 130)^{\circ}\text{E}$. The Esteva method resulting 150 gal in PGA at $2^{\circ}\text{N}, 127^{\circ}\text{E}$, and the minimum value of PGA is 1.24 gal at $3^{\circ}\text{S}, 130^{\circ}\text{E}$. The McGuire method resulting 280 gal in PGA at $2^{\circ}\text{N}, 127^{\circ}\text{E}$, and the minimum value of PGA is 12.1 gal at $3^{\circ}\text{S}, 130^{\circ}\text{E}$. This results show that the PGA value by Esteva method including V with shock rate occurs strong earthquake and potential damage to light. Using the McGuire method give the maximum value of 280 gal is also including V level of shock rate occurs very strong earthquake and moderate damage potential. Therefore, the very high value is in the area of Halmahera to the quarterly mountain islands.

Keyword: Peak Ground Acceleration (PGA), McGuire, Esteva

1. INTRODUCTION

North Maluku is one of the islands in Indonesia. The heterogeneous characteristics of the region with hundreds of islands make this province different (unique) from other regions. Natural conditions dominated by the oceans should be a strength or local potential (local specific) for regional development based on local wisdom. The land in North Maluku shows different characteristics, ranging from northern Morotai to Sulawesi in the south. This difference is due to climatic factors (rainfall and temperature) are high. In addition, what distinguishes soil properties is the type of rock / parent material and the slope of the slope that correlates with the effective depth of rooting and vegetation on the ground where it develops. In addition to climate and vegetation, the geological complex of North Maluku province is closely related to the distribution of soil properties. Geological conditions coupled with the process of weathering and washing at varying temperatures and rainfall conditions. So the soil in North Maluku region is in a varied development and depth with good drainage, fine soil texture, relatively low fertility. In hilly areas up to steep to very steep mountains with rare vegetation cover, relatively also affect surface erosion. [1] It is therefore common to find soils with shallow-to-medium solum depths

with mild and moderate developmental levels. Based on the map of land acceleration in Indonesia shows the island of North Maluku has a high enough value so that potentially greater damage in case of earthquake can be seen in Figure 1.

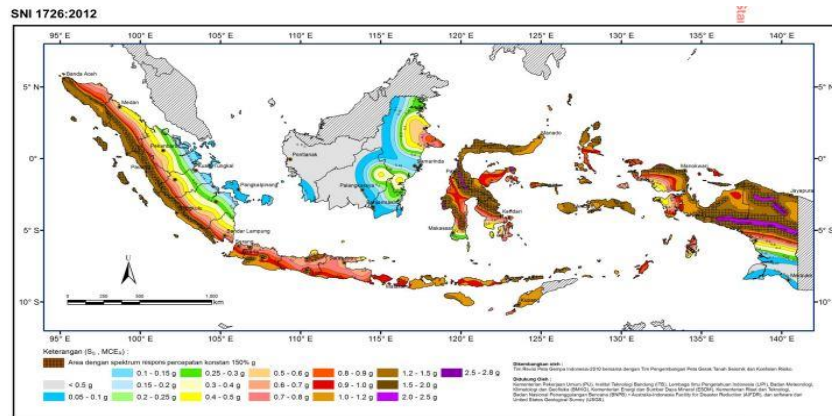


Figure 1. Map of Indonesian Earthquakes (SNI:1726-2012)

Source : http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Therefore, we are interested to do research to know the maximum horizontal acceleration value of ground motion caused by earthquake. By knowing the value of the spread of the two methods that we will compare later to be able to know the value of PGA that we can predict how much disaster will be inflicted.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Geography of North Maluku

Geographically, North Maluku Province is located at 3° North Latitude to 3° South Latitude and 124° to 129° East Longitude. This region is crossed by the equator, precisely in Central Halmahera, which gives an important effect on the warming of sea water moving from the Indonesian Ocean to the Pacific. The boundaries surrounding North Maluku are all sea. The east is bordered by the Halmahera Sea. West side with Maluku Sea. To the north there is the Pacific Ocean, and the south by the Seram Sea. [2]

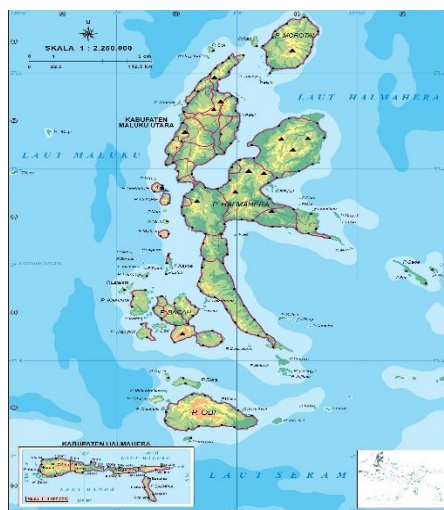


Figure 2. Geographical Location of North Mal

2.2. Tectonics and Geology of North Maluku

The tectonic area is affected by subduction of the Philippine plate in the north to the east, the Sorong and Sula fault in the south, and the double subduction of the Maluku Sea plate to the west (The 2010 Earthquake Revision Team). This area is also on the outskirts of the active plate. This can be demonstrated in the presence of tectonic earthquakes that have occurred. Based on data taken from NOAA, the tectonic earthquake center that occurs in this area is located on the seabed. Especially the area located on the coast of North Halmahera Coast, because it is directly opposite the Pacific plate. This region is also included in the activities of the Pacific Ring of Fire, causing this area vulnerable to the tsunami. [4]

The geological characteristics of the islands of North Maluku are composed of sedimentary rocks, metamorphic rocks and igneous rocks with an almost uniform spread in each island cluster. This is influenced by the age classification of the island that formed 50-70 million years ago, in the Neogene to Paleocene period. This characteristic is also influenced by the location of Maluku Utara between the Indo-Australian, Pacific, Philippine and Banda Sea plates, thus providing the spreading of several volcanoes that are still or are no longer active. [5]

The Halmahera islands are divided into 3 parts: East Mandala Halmahera, West Halmahera Mandala and Quaternary Volcanoes.[6]

a. Mandala of East Halmahera

The East Halmahera Mandala includes the Northeast arm, the Southeast Arms and several small islands to the east of Halmahera Island. This mandatory morphology consists of steep mountain slopes and deep river incision, and some karstic morphology. The morphology of steep mountains is a reflection of hard rock, the type of rock in the mountains is ultramafic rock. Karst morphology is present in limestone areas. Morphology with relatively low hills and gentle slopes is a reflection of sedimentary rock

b. Mandala of West Halmahera

Mandala of West Halmahera covers the North and South Arm of Halmahera. The morphology of this mandala includes sedimentary rock hills, in the Neogen-aged baugamping area with karst morphologin and in some places a rough morphology is a reflection of ancient Oligo-Miocene volcanic rock.

c. Arc of Quaternary Volcanoes

The Mandala includes small islands to the west of Halmahera Island. These small rows of islands form a Quaternary archipelago volcano arches, most of which are still active cone volcanoes

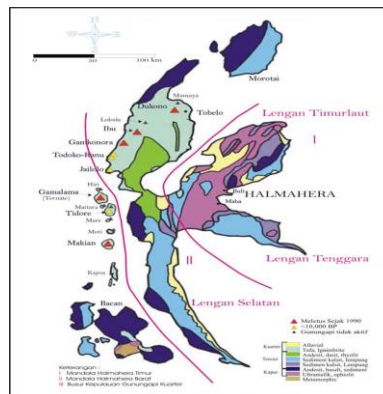


Figure 3. Halmahera Island Physiography is divided into 3 parts: East Mandala Halmahera, West Halmahera Mandala and Quaternary Mountain Volcano Volume

2.3. Peak Ground Acceleration (PGA)

Acceleration of earthquake waves reaching the surface of the earth is also called the acceleration of the ground, a disturbance that needs to be studied for every earthquake, then selected maximum ground acceleration or Peak Ground Acceleration (PGA) to be mapped to provide insight into the most severe effects a site has ever experienced. The primary effect of earthquakes is the destruction of the structures of buildings, such as public housing, high rise buildings, public facilities, monuments, bridges and other infrastructure, resulting from the vibrations it generates. Broadly speaking, the extent of damage that may occur depends on the strength and quality of the building, the geological and geotectonic conditions of the building site, and the acceleration of the land at the building site due to the vibration of an earthquake. Factors that are the source of damage are expressed in the ground acceleration parameter. So that PGA data due to earthquake vibration at a location becomes important to describe the level of earthquake risk in a particular location. The greater the value of PGA ever occurring somewhere, the greater the risk of earthquakes that may occur. [1]

Hypocenter (R) Formula :

$$R = \sqrt{(X_h - X_s)^2 + (Y_h - Y_s)^2 + (Z_h - Z_s)^2} \text{ (km)} \quad (1)$$

Earthquake energy (magnitude) is a quantity of earthquake that states the amount of energy released by an earthquake (explosion) at its center. In the process of calculating the acceleration of the ground on the surface, the surface wave magnitude (M_s) is converted to the magnitude of the body (M_b). The amount of M_b value is converted in the following way.

$$M_s = 1,59 M_b - 3,97 \quad (2)$$

$$M_s = \left(\frac{M_w}{1,1}\right) - 0,64 \quad (3)$$

Where, M_s is Surface wave, M_b is body wave. M_w is moment magnitude [8].

The [United States Geological Survey](#) developed an Instrumental Intensity scale, which maps peak ground acceleration and peak ground velocity on an intensity scale similar to the felt [Mercalli scale](#). These values are used to create shake maps by seismologists around the world.

Table 1. Mercalli Scale of Peak Ground Acceleration (PGA)

Instrumental Intensity	Acceleration (g)	Velocity (cm/s)	Perceived Shaking	Potential Damage
I	< 0,0017	< 0,1	Not Felt	None
II – III	0,0017 – 0,014	0,1 – 1,1	Weak	None
IV	0,014 – 0,039	1,1 – 3,4	Light	None
V	0,039 – 0,092	3,4 – 8,1	Moderate	Very Light
VI	0,092 – 0,18	8,1 – 16	Strong	Light
VII	0,18 – 0,34	16 – 31	Very Strong	Moderate
VIII	0,34 – 0,65	31 – 60	Severe	Moderate to Heavy
IX	0,65 – 1,24	60 – 116	Violent	Heavy
X+	>1,24	>116	Extreme	Very Heavy

(Wikipedia, 2017) [5]

Attenuation of Ground Motion is the process or formulation of ground movement caused by the earthquake (acceleration, velocity, deviation) or the intensity of the earthquake that continues to shrink to its distance from the earthquake source. Mathematically, the attenuation of ground motion is a relationship between the earthquake parameters

(acceleration, velocity, deviation, intensity, or earthquake magnitude) with the distance to the location of the earthquake recorder (the distance of the epicenter, hypocenter, the shortest distance). The influencing factors of the ground motion are the earthquake magnitude and the distance to the site, Earthquake Source Mechanisms (Shallow crustal and subduction Earthquake) and site conditions.[9]

This research was conducted to test the two models of acceleration of ground motion attenuation of the first generation (Esteva and Mc Guire) for North Maluku region located.

Esteva, (1970) formula's :

$$Y = 1230.e^{0.8M} (R + 25)^{-2} \quad (4)$$

Mc Guire, (1977) formula's :

$$PGA_M = 472.10^{0.278.M}(R + 25)^{-1.301} \quad (5)$$

3. RESEARCH METHOD

The step by step of this research methods is showed in Figure 3. The flowchart conducting PGA research in two models, the Donovan and McGuire. The historical earthquakes catalog is obtained from the USGS in periods Januari, 1st 1965 – December 31st, 2015 with location in 2°N – 3°S and (127 - 130)°E. Magnitude of earthquake, $M_s \geq 5$ SR and hypocentre ≤ 80 km. We get 299 event of earthquakes

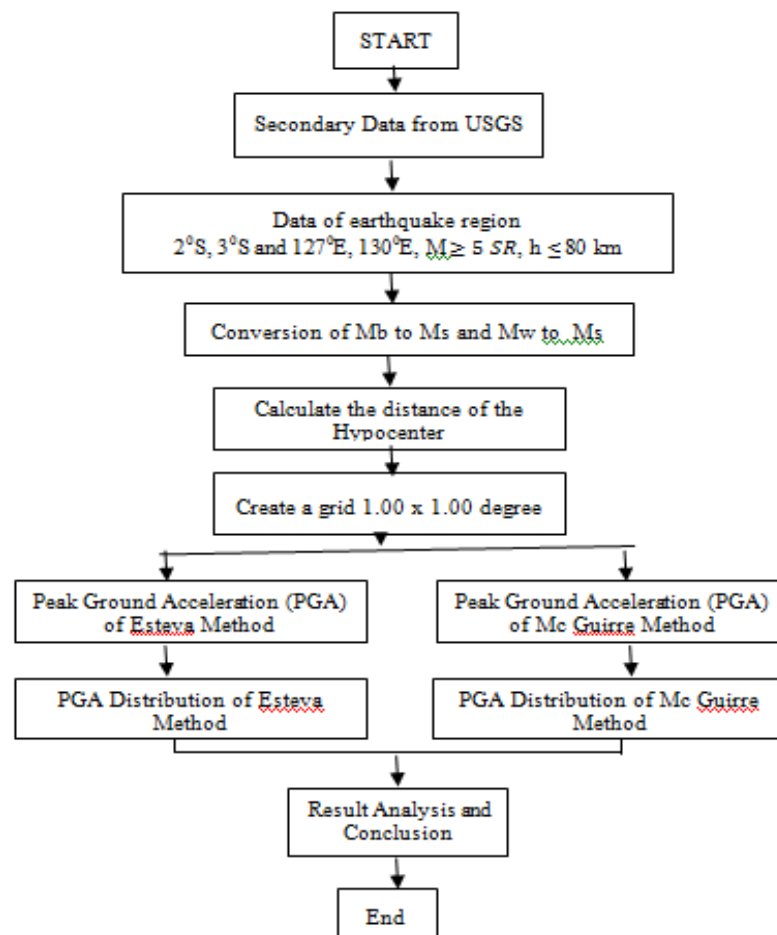


Figure 4. Flowchart of Research method

4. RESULT AND ANALYSIS

The calculation of the data result PGA value with both method of Esteva and McGuire then interpreted using Surfer 9 and ArcGis 10.2 software so that can be seen distribution map which have happened in range 1965 - 2015 with magnitude ≥ 5 and hypocenter ≤ 80 km in Java region

Figure 6 shows the distribution of peak ground acceleration (PGA) values by using the Esteva method resulting in maximum land acceleration of 150 gal at $2^{\circ}\text{S}, 127^{\circ}\text{E}$, and the lowest minimum ground acceleration of 1.24 gal at $3^{\circ}\text{S}, 130^{\circ}\text{E}$.

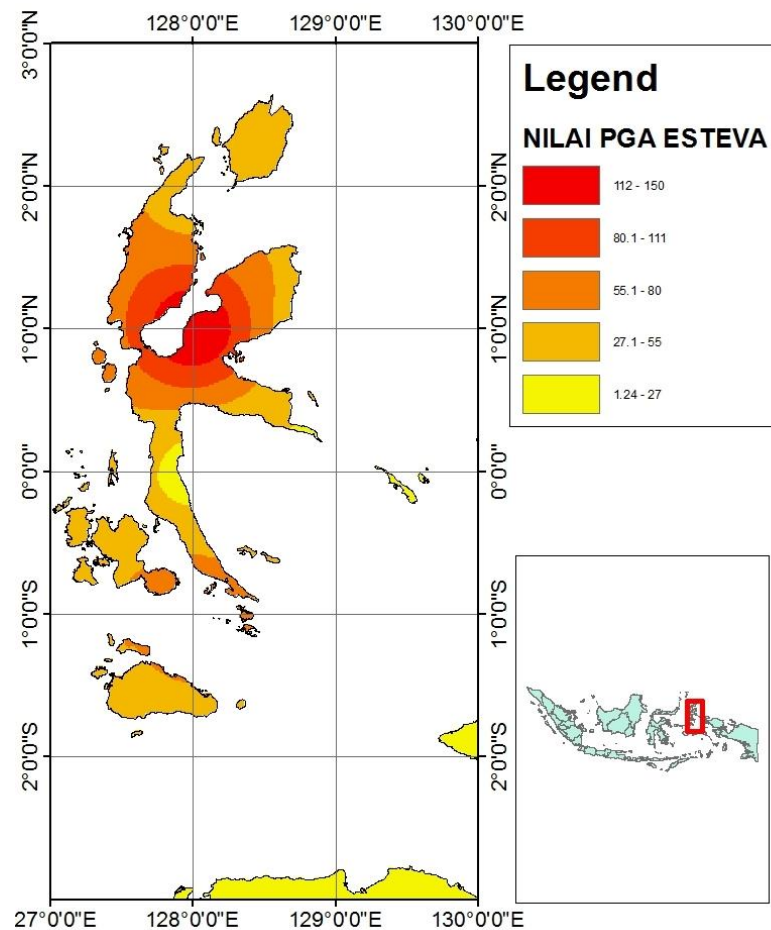


Figure 5. Distribution of Peak Ground Acceleration by Esteva

Figure 7 shows the distribution of peak ground acceleration (PGA) values by using the McGuire method resulting in maximum land acceleration of 280 gal at coordinates of $2^{\circ}\text{S}, 127^{\circ}\text{E}$, and the lowest minimum ground acceleration of 12.1 gal at coordinates of $3^{\circ}\text{S}, 130^{\circ}\text{E}$.

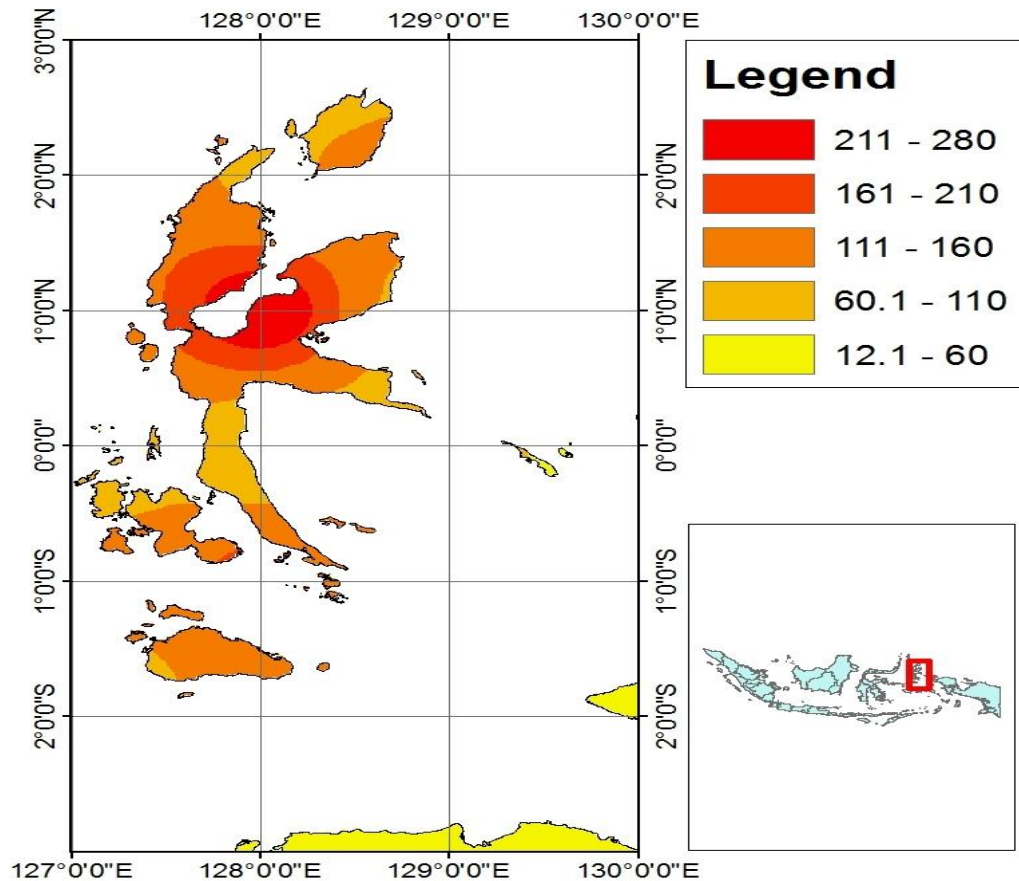


Figure. 6 Distribution of Peak Ground Acceleration by McGuire

From the results obtained using the maximum value of Esteva method that is 150 gal including class VI with shock rate occurs strong earthquake and potential damage to light. While using the McGuire method the maximum value of 280 gal including class VI with the shock rate occurs very strong earthquake and moderate damage potential. Therefore, the very high value is in the area of Halmahera to the quarterly mountain islands.

The values are quite varied and shows the value of PGA in the North Maluku region seen from the map of its spreading of the western part of Maluku has a PGA value tends to be high compared to the eastern part of Halmahera because in western Halmahera is very close to the subduction region. The results of this research will be compared with The Indonesian National Standard of earthquake map on 2012 which is the results obtained from both methods do not get a significant difference value and get the maximum Peak Ground Acceleration value in accordance with the history of the earthquake on the North Maluku island.

3. CONCLUSION

The distribution of peak ground acceleration result with The Esteva method resulting in maximum land acceleration of 150 gal at coordinates of $2^{\circ}\text{NL} - 127^{\circ}\text{EL}$, and the

lowest minimum ground acceleration of 1.24 gal at coordinates of 3° SL - 130° EL and the McGuire method resulting in maximum land acceleration of 280 gal at coordinates of 2° NL - 127° EL, and the lowest minimum ground acceleration of 12.1 gal at coordinates of 3° SL - 130° EL. From the results obtained using the maximum value of Esteva method that is 150 gal including class VI with shock rate occurs strong earthquake and potential damage to light. While using the McGuire method the maximum value of 280 gal including class VI with the shock rate occurs very strong earthquake and moderate damage potential. Therefore, the very high value is in the area of Halmahera to the quarterly mountain islands.

4. REFERENCES

- [1] Guntur Pasau dan Adey Tanauma, **Pemodelan Sumber Gempa Di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi**, <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/JIS/article/view/208> Vol. 11 No.2 (2011), e-ISSN:2540-9840, p-ISSN : 1412-3770
- [2] Kementrian Negara Lingkungan Hidup – Deputi Bidang Pembinaan Sarana Teknis dan Peningkatan Kapasitas, **Laporan Akhir Analisis Potensi Rawan Bencana Alam di Papua dan Maluku (Tanah Longsor, Banjir, Gempa Bumi dan Tsunami)**, 2007.
- [3] Ryandi Bachruddin Yusuf & Bagus Jaya Santosa, **Persebaran Hiposenter Maluku Selatan Menggunakan Metode Double Difference**, Jurnal Sains Dan Seni Its Vol. 5 No. 2 (2016) 2337-3520.
- [4] National Geophysical Data Center – NOAA, **Historis kejadian Tsunami tahun 1700 - 2007**,
- [5] Amarullah, D. dan Tobing, R.L., **Inventarisasi Batubara Marginal Daerah Obi Utara Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara**, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Kementrian Energi dan sumber Daya Mineral, 2005.
- [6] Apandi, T dan Sudana, D., 1980. **Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara**. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi. Jakarta.
- [7] Widodo, P. **Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan**. Pustaka Pelajar, Yogyakarta, Oktober 2012. 330 p ISBN : 978-602-229-110-7
- [8] Suharno. **Nilai Percepatan Maksimum Gerakan Tanah Daerah Jawa Bagian Barat**. Jurnal Sains dan Teknologi, Desember 2006. Vol 12, No. 3, Hal :167 – 172.
- [9] Tati Z, et all, **Comparison Among the Three Peak Ground Acceleration Models in Bengkulu Province, Indonesia**, IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG) e-ISSN: 2321-0990, p-ISSN: 2321-0982. Volume 4, Issue 4 Ver. I (Jul. - Aug. 2016), PP 00-00

STRUKTUR MIKRO ENDAPAN SINTER SEKITAR MATA AIR PANAS DI SOLOK DAN SOLOK SELATAN, SUMATERA BARAT

ARDIAN PUTRA, DARMA YULIA INANDA, AFDAL FAJRI SALIM, FANI
BUSPA

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, 25163, Padang
email: ardhee@fmipa.unand.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan kajian struktur mikro endapan sinter yang dihasilkan pada mata air panas di Solok dan Solok Selatan, Sumatera Barat. Berdasarkan pengujian kandungan endapan sinter menggunakan *X-Ray Fluorescence*, endapan sinter di Solok Selatan didominasi oleh 88% silika, sedangkan 2 sampel sinter di Solok memiliki kandungan terbesar yang didominasi silika dan karbonat dan 1 sampel sinter mengandung 54,28% sinter silika. Kandungan material lain terdapat dalam jumlah yang kecil, seperti aluminium, besi dan fosfor. Struktur silika non kristalin hingga hingga struktur silika yang mulai mengalami kristalisasi dihasilkan menggunakan uji *X-Ray Diffraction*.

Kata Kunci: endapan sinter, mata air panas, struktur mikro, Sumatera Barat

PENDAHULUAN

Endapan sinter adalah batuan sedimen yang terbentuk dari proses alterasi mineral pada sistem geotermal di sekitar mata air panas. Pembentukan endapan sinter dikontrol oleh konsentrasi mineral yang berada di *reservoir* panas bumi. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan tipe mata air panas. Berdasarkan tipe mata air panas endapan sinter terbagi atas sinter silika dan sinter karbonat. Endapan sinter dapat digunakan sebagai indikator suhu bawah *reservoir*, dimana sinter silika mengindikasikan *reservoir* bersuhu tinggi dan sinter karbonat mengindikasikan *reservoir* bersuhu sedang. Sinter silika terdapat di mata air panas alkali klorida sedangkan sinter karbonat terdapat di mata air panas bikarbonat.

Untuk menganalisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif digunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Prinsip kerja metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedang analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar

Karakter sinter lain yang diperlukan adalah dengan melihat struktur kristalinitas sampel menggunakan metode *X-Ray Diffraction*. Sampel sinter silika dalam suatu bahan dapat dikategorikan menjadi sampel non kristalin atau silika yang sudah memasuki kristalisasi.

Setiap endapan sinter memiliki sifat fisis dan karakteristik yang menyediakan informasi tertentu, seperti tortuositas dan faktor sementasi. Faktor sementasi adalah salah satu parameter utama yang menentukan keakuratan perhitungan air jenuh untuk memperkirakan karakteristik *reservoir* dan kekuatan dari batuan *reservoir* (Archie, 1942). Tortuositas batuan merupakan perbandingan panjang ruang pori yang terhubung membentuk jalur yang dialiri fluida dari sisi ke sisi terhadap panjang endapan sinter (Palciauskas, 1994). Tortuositas berkaitan erat dengan porositas karena keduanya menggambarkan pori batuan.

Berdasarkan hukum Archie (1942) nilai tortuositas dan factor sementasi dapat diperoleh dari hubungan empiris antara resistivitas listrik jenuh air dan porositas endapan sinter. Porositas menggambarkan potensi endapan sinter untuk menyimpan cairan seperti minyak, gas dan air [7]. Resistivitas listrik berkaitan dengan sifat-sifat endapan sinter panas yang ada di bawah permukaan bumi seperti salinitas, permeabilitas, temperatur, dan perubahan mineral.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang sifat fisis endapan sinter telah dilakukan oleh Rimstidt [5], Saez, dkk. [6], dan Putri dan Putra [3]. Pengukuran densitas silika oleh Rimstidt [5] pada wilayah Boewawe Nevada menghasilkan nilai resistivitas endapan sinter sebesar 1,33 yang mengindikasikan bahwa ruang kosong pada endapan sinter mencapai 50%. Nugroho dan Putra [2] melakukan pengujian resistivitas silika jenuh air di Kecamatan Pauh Duo Kabupaten Solok Selatan dan mendapatkan nilai resistivitas 7,06 - 9,74 Ωm dan resistivitas air 57,06 - 58,52 Ωm .

Saez, dkk. [6], meneliti porositas endapan sinter di wilayah El Tatio, Atacama dan menemukan bahwa porositas nya 25% - 50%. Putra dan Putri [4] telah melakukan analisis pengaruh temperatur pemanasan terhadap tortuositas dan faktor sementasi sinter silika di Kabupaten Solok Selatan, penulis menunjukan bahwa hubungan nilai faktor resistivitas dan porositas endapan sinter akan mendapatkan nilai sementasi dan tortuositas endapan sinter. Perubahan temperatur endapan sinter dari 175 °C - 300 °C menaikkan nilai tortuositas dari 6,92 menjadi 48,89 dan menurunkan nilai faktor sementasi dari 1,67 menjadi 1,08.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis nilai tortuositas dan faktor sementasi dari beberapa endapan sinter di mata air panas dari Sampel endapan sinter silika diambil di mata air panas Sapan Maluluang Kabupaten Solok Selatan sedangkan sampel endapan sinter karbonat di mata air panas Bonjol Kabupaten Pasaman dan mata air panas Sumani Kabupaten Solok. Berdasarkan Hukum Archie, tortuositas dan faktor sementasi dihitung berdasarkan perhitungan resistivitas dan porositas endapan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat dan mengidentifikasi struktur pori berdasarkan hasil XRF dan XRD pada endapan sinter di mata air panas Sapan Maluluang di Kabupaten Solok Selatan, mata air panas di Kabupaten Solok. Sistem panas bumi memerlukan material yang mampu memiliki koneksi antar pori yang baik untuk memudahkan aliran fluida. Mata air panas sebagai salah satu manifestasi panas bumi di permukaan sering membawa material berupa silika atau karbonat yang di sekitarnya sudah membentuk sinter. Kajian sifat dan struktur pori berdasarkan nilai tortuositas, faktor sementasi dan bentuk sebaran pori pada endapan sinter ini diperlukan untuk mengidentifikasi kemampuan dasar material ini untuk mengalirkan fluida.

HASIL

Hasil dari pengujian XRF sinter silika di Solok Selatan dilihat pada Tabel 1. Dari beberapa titik yang diuji, hasilnya menunjukkan bahwa di daerah tersebut terdapat mineral yang sangat didominasi oleh silika hingga mencapai 87,42 % dan 89,33 %. Mineral lain yang terkandung dalam sinter hanya berada dalam jumlah kandungan di bawah 5 %. Terkandungnya silika (SiO_2) pada sinter tersebut diasumsikan sebagai hasil adanya aktivitas bawah permukaan yang mengandung banyak silika dan terbawa hingga ke permukaan. Berdasarkan stratigrafi Solok Selatan, daerah ini merupakan daerah vulkano aktif yang memungkinkan terdapatnya sistem reservoir panas bumi. Kandungan Fe dan Al sebagai penyusun batuan andesit merupakan pendominasi terbentuknya silika di sumber air panas Sapan Maluluang [8].

Tabel 1 Hasil XRF sinter di Solok Selatan

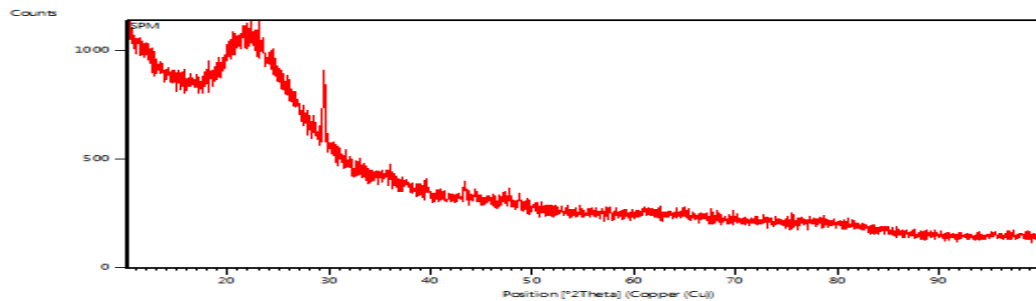
Kandungan	Sampel A	Sampel B
SiO_2	87,42%	89,33%
Al_2O_3	6,10%	1,70%
P_2O_5	3,68%	3,65%
Cl	1,11%	0,41%
K_2O	0,35%	0,22%
CaO	1,09%	0,74%
Ti	0,02%	0,03%
Mn	0,01%	0,01%
Fe_2O_3	0,22%	0,62%
Ag	0,29%	0,37%
MgO	0,00%	2,47%

Tabel 2 memperlihatkan perbedaan karakter dihasilkan oleh sinter silika di sekitar mata air panas Kabupaten Solok. Uji XRF dilakukan terhadap tiga buah sampel yang dihasilkan dari 3 mata air panas, yang diberi label APBK, APGR dan APBG. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa mayoritas sampel masih didominasi oleh silika, namun pada mata air APBK dan APBG memiliki komponen CaO yang hampir seimbang dengan SiO_2 . Hal yang berbeda dihasilkan oleh mata air panas APGR, dimana 54,28% sinter mengandung silika dan diikuti oleh 17,48 % Fe_2O_3 dan 18,70 % Al_2O_3 . Dari ketiga sampel sinter pada mata air panas tersebut, APGR dikelompokkan sebagai sinter silika, sedangkan APBK dan APBG merupakan gabungan antara sinter silika dan sinter karbonat. Keberadaan jenis sinter pada sampel ini mengindikasikan perbedaan karakter sistem bawah permukaan di kedua daerah tersebut.

Tabel 2 Hasil XRF sinter di Solok

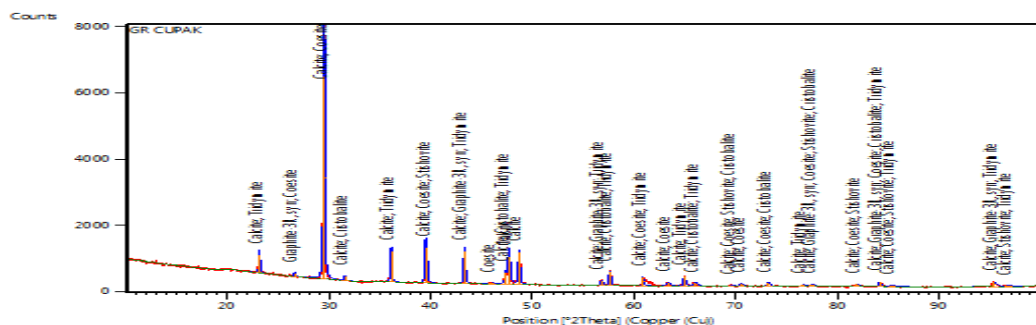
Mineral	Jumlah		
	APBK	APGR	APBG
SiO_2	35,76%	54,28%	44,56%
CaO	45,66%	3,33%	45,96%
Fe_2O_3	7,10%	17,48%	0,22%
Al_2O_3	5,60%	18,70%	2,28%
P_2O_5	2,85%	3,37%	3,55%

Gambar 1 dan Gambar 2 memperlihatkan hasil XRD dari endapan sinter yang dihasilkan oleh mata air panas yang berada di Solok Selatan dan Solok. Gambar tersebut ter jelas memperlihatkan bahwa di Solok Selatan (Gambar 1) masih memperlihatkan struktur silika amorf, yang terindikasi masih berada dalam struktur opal A. Hal ini juga sesuai dengan hasil XRF, bahwa material umum yang terkandung dalam sampel ini adalah silika, yang cenderung bersifat amorf. Hal ini menunjukkan bahwa sinter silika pada mata air panas Sapan Malulung masih muda [1]. Pada posisi sekitar 29° , terdapat puncak difraksi dengan spasi- d *peak* atau *hump* sebesar $3,03 \text{ \AA}$. Berdasarkan data ICCD, puncak tersebut adalah *calcite*.



Gambar 1 Hasil XRD sinter di Solok Selatan

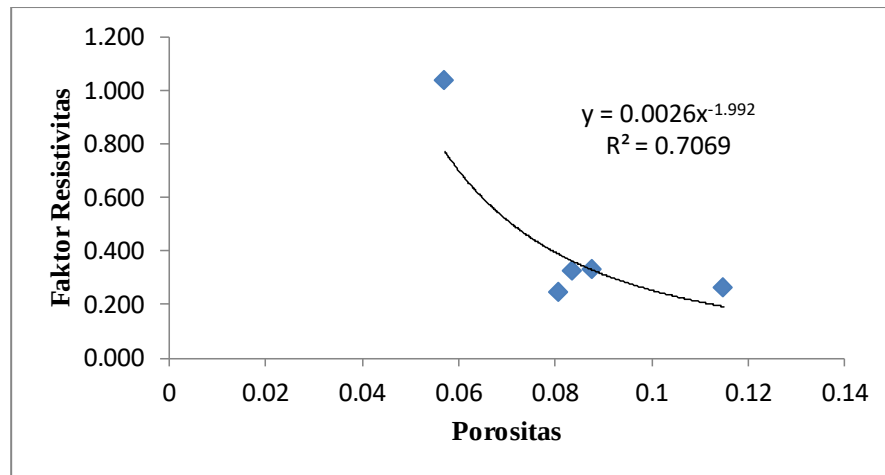
Sinter silika yang diambil dari Solok (Gambar 2) menunjukkan pola XRD yang memperlihatkan puncak difraksi yang lebih tajam dan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel pada Gambar 1. Pola kristal yang dihasilkan adalah opal-CT, dimana terjadinya struktur kristal yang berlapis teratur yaitunya *trydimite* dan *cristobalite*. Parakristalin opal-CT mengindiskan sinter silika memiliki usia dengan rentang 50 sampai 40 ribu tahun (Herdianita, 2000). Berdasarkan data ICCD, puncak tersebut muncul pada posisi $43,28^\circ$ dan $65,95^\circ$ Posisi tersebut juga menunjukkan penurunan posisi spasi- d puncak atau *hump* utama dari $2,09$ ke $1,41 \text{ \AA}$. Selain *trydimite* dan *cristobalite* juga terdapat fase mineral lain yaitunya *calcite* dan *graphite*.



Gambar 2 Hasil XRD sinter di Solok

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara faktor resistivitas dan faktor sementasi sampel sinter karbonat di Kabupaten Solok. Pada sampel ini, nilai m atau sementasi sampel mencapai 1,99. Nilai sementasi ini hampir sesuai dengan nilai yang ditetapkan oleh Hukum Archie yaitu bernilai 2. Nilai tortuositas yang didapatkan sebesar 0,002, nilai yang didapatkan ini berbeda jauh dengan nilai tortuositas yang ditetapkan dalam hokum Archie (1942) yaitu mendekati 1. Nilai sementasi yang didapatkan pada sampel ini hampir sama dengan wilayah el Tatio Atacama. Pada wilayah Atacama nilai sementasi dan tortuositas sinter silika

bernilai 2,16 [6]. Namun nilai tortuositas yang didapatkan berbeda dengan nilai yang diperoleh oleh Saez, hal ini karena mineral pembentuk endapan sinter yang dijadikan sebagai sampel berbeda dengan mineral endapan sinter yang diuji oleh Saez [6] di Wilayah el Tatio Atacama.



Gambar 3 Tortuositas dan faktor sementasi sampel

6. KESIMPULAN

Terdapat perbedaan struktur dan karakteristik endapan sinter di Kabupaten Solok Selatan dan Kabupaten Solok, yang masing-masing didominasi oleh silika dan karbonat, berturut-turut. Perbedaan ini juga memperlihatkan indikasi perbedaan karakteristik sistem bawah permukaan yang dimiliki kedua daerah tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Herdianita, N.R., Browne, P.R.L., Rodgers, K.A., Campbell, K.A., Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter, *Mineralium Deposita* **35**: 48-62, 2000.
- [2] Nugroho, E.B. dan Putra, A., Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Resistivitas Listrik Teras Silika di Sekitar Mata Air Panas Kec.Alam Pauh Duo, Kab.Solok Selatan, *Jurnal Fisika Unand* **4**, No 4, 2015.
- [3] Putra, A., Putri, T.D., Salim, A.F., Rhomar, Z., Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Tortuositas dan Faktor Sementasi Sinter Silika Mata Air Panas, *Prosiding Seminar Nasional Fisika UNS Solo*, 2016.
- [4] Qin, Z., Pan, H., Ma, H., Konate, A.A., dan Hou, M., Fast Prediction of Archie's Cementation Exponent, *Journal of Natural Gas Science and Engineering I* **34**, Elsevier, 291-297, 2016.
- [5] Rimstidt, J, D dan David R. Cole., *Geothermal Mineralization I*, Departement of Geological Science, Virginia, 1982.
- [6] Saez, C., Munoz,, Physical and hydraulic properties of modern sinter deposits: El Tatio Atacama, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **256**, 156-158, 2016.
- [7] Schön, J.H., 2011, *Physical Propoerties of Rocks*, Elsevier Ltd, Netherlands.
- [8] Yuliandini, A. dan Putra, A., Pengaruh Formasi Batuan Terhadap Karakteristik Hidrokimia Lima Sumber Mata Air Panas Di Daerah Sapan, Pinang Awan, Kecamatan Alam Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*, **2**, No 4, 2013.

PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BATA RINGAN BERBAHAN PASIR LIMBAH TAMBANG INTAN dan ABU TERBANG BATUBARA

Ninis Hadi Haryanti¹⁾, Henry Wardhana²⁾

¹FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat (Unlam), Banjarmasin
email: ninishadiharyanti@gmail.com

²FTeknik, Universitas Lambung Mangkurat (Unlam), Banjarmasin
email: henry.wardhana.ir@gmail.com

Abstrak

Pada kegiatan penambangan intan diperoleh juga limbah, yaitu pasir dan kerikil. Ukuran butir pasir limbah tambang intan didapatkan distribusi partikel-partikel yang merata, lebih kecil dan rapat, dengan ukuran yang bervariasi. Bila dilihat dari bentuk butiran pasir, pasir tersebut termasuk dalam butir pasir sebagian bersudut. Pasir tersebut sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal.

Jumlah limbah abu terbang dari PLTU Asam asam adalah 120 ton per hari atau 43.200 ton per tahun. Abu terbang tersebut mempunyai kandungan silika relatif tinggi (74,2% SiO₂), kandungan CaO sebesar 2,4%. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh komposisi campuran pasir limbah tambang intan abu terbang batubara sebagai bahan pembuatan bata ringan ditinjau dari sifat mekaniknya. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif melalui pendekatan eksperimen dalam bentuk uji material. Hasil uji kuat tekan bata ringan masih memenuhi syarat SNI 03-0349-1989, yaitu 21 kg/cm² untuk tingkat mutu IV bata beton pejal. Kuat Tekan paling besar pada bata ringan B dengan rerata Kuat Tekan 26,46 kg/cm² (2,65 MPa). Bata ringan tersebut dengan komposisi abu terbang 50% dan tanpa penggunaan limbah tambang intan.

Komposisi campuran pasir limbah tambang intan dan abu dasar batubara memberikan pengaruh yang nyata atau berarti (signifikan) terhadap kuat tekan bata ringan. Komposisi campuran bata ringan H dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal pasir limbah tambang intan (15,00%) dengan pemanfaatan abu terbang batu bara sebesar 35%. Komposisi campuran bata ringan A (abu terbang 57,14%) dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal limbah abu terbang batu bara dan tanpa penggunaan pasir limbah tambang intan serta mengurangi penggunaan semen.

Kata Kunci: Bata Ringan, Pasir Limbah Tambang Intan, Abu Terbang Batubara

1. PENDAHULUAN

Material dengan jenisnya yang bermacam-macam telah menjadi bagian dari peradaban manusia sejak dahulu. Manusia memerlukan material untuk dapat menghasilkan sesuatu yang dapat difungsikan untuk membantu berbagai macam aktivitas manusia. Perkembangan teknologi material sangat mendukung dalam perkembangan teknologi pada bidang konstruksi. Semakin banyaknya penelitian yang dilakukan oleh para ilmuwan dan ahli teknologi selama ini maka semakin banyak orang yang dapat membuat produk-produk yang lebih baik. Menurut sejarah, kemajuan dan perkembangan dari kehidupan manusia ternyata berkaitan dengan kemampuan untuk membuat dan merekayasa material untuk memenuhi kebutuhan hidup.

Pada kegiatan penambangan intan diperoleh juga limbah, yaitu pasir dan kerikil. Pasir tersebut sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal. Hasil penelitian pada morfologi dan ukuran butir pasir limbah tambang intan yang telah dilakukan didapatkan distribusi partikel-partikel lebih kecil dan rapat, dengan distribusi partikel yang merata, dengan ukuran partikel yang bervariasi. Bila dilihat dari bentuk butiran pasir, pasir limbah tambang intan tersebut termasuk dalam butir pasir sebagian bersudut (Sub Angular Grain). Dari hasil analisis spectrum EDX, di dapatkan unsur-unsur yang terkandung yaitu C, O, Al, Si, Ti, Fe, Cu, Zr. Berat jenis pasir limbah tambang intan sebesar 2,69 dan termasuk ke dalam jenis agregat normal yaitu berkisar antara 2,40-2,70. Hasil uji berat volume pasir sebesar 1,41 g/cm³ (Haryanti, N.H) [1], rata-rata berat volume tersebut termasuk dalam agregat normal yang nilainya berkisar 1,2 gr/cm³-1,6 gr/cm³ (Tjokrodimuljo) [2].

Abu terbang batu bara yang dihasilkan dari pembakaran batu bara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Asam-Asam jumlahnya cukup besar sehingga menyulitkan dalam pembuangannya. Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu, di mana sekitar 10-20% adalah abu dasar dan sekitar 80-90% abu terbang dari total abu yang dihasilkan. (<http://www.mountain-plain.org>) [3]. Jumlah limbah abu terbang dari PLTU Asam asam unit 1 sampai dengan unit 4 adalah 120 ton per hari atau 3.600 ton per bulan atau 43.200 ton per tahun.

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Abu terbang PLTU Asam-asam mempunyai kandungan CaO sebesar 2,4%, sehingga abu ini merupakan abu terbang yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan semen. Dari penelitian yang sudah dilakukan, di dapatkan hasil kandungan silika relatif tinggi (74,2% SiO₂) sedangkan alumina tidak terlalu tinggi (5,7% Al₂O₃), dan Fe₂O₃ sekitar 14,4% , kandungan logam alkali (2,4% CaO dan 2,03% MgO) , kandungan mineral besi (14,4% Fe₂O₃). (Haryanti, N.H) [4]. Jika limbah abu ini tidak ditangani akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Bata ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan daripada beton pada umumnya. Pada umumnya berat bata ringan berkisar antara 600 – 1600 kg/m³. Menurut Tjokrodimuljo [2], beton disebut ringan apabila beratnya kurang dari 1800 kg/m³. Karena itu keunggulan bata ringan utamanya ada pada berat, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi akan dapat secara signifikan mengurangi berat bangunan itu sendiri.

Penggunaan bata ringan untuk dinding gedung bangunan sudah banyak dipakai pada saat ini. Beberapa gedung tinggi hingga perumahan dan pergudangan sudah menggunakan bata ringan untuk dindingnya. Bata ringan dipilih, karena di samping ringan, juga dinilai lebih kuat, presisi lebih tinggi, dan efisien bila dibanding bata merah maupun batako. Diproduksinya bata ringan di Indonesia ini terdorong dengan biaya material dan jasa pembangunannya yang melonjak cepat beberapa tahun belakangan ini. Bata ringan ini dipilih sebagai material alternatif yang diyakini mampu menjawab semua tantangan dan kebutuhan tersebut.

Sejalan dengan perkembangan pembangunan di Kalimantan Selatan, kebutuhan bahan bangunan khususnya bata ringan juga semakin meningkat. Sementara itu, pasir limbah tambang intan serta limbah abu terbang batubara yang dibuang oleh PLTU Asam-asam sebenarnya mempunyai potensi untuk digunakan sebagai campuran bahan bangunan tersebut. Dengan banyaknya kedua limbah tersebut serta kebutuhan bata ringan, kondisi ini memberikan upaya penelitian yaitu bagaimanakah pengaruh komposisi campuran pasir limbah tambang intan dan abu terbang batubara terhadap sifat mekanik (kuat tekan) bata ringan?.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada wilayah kota Banjarbaru terdapat kegiatan penambangan intan rakyat terutama di Daerah Cempaka. Sudah puluhan tahun yang lalu masyarakat Cempaka bergantung hidupnya dari hasil pendulangan intan secara turun-menurun. Sebagian bekerja menjadi pendulang sebagai pekerjaan sampingan selain sebagai petani, tetapi tidak sedikit menjadikannya sebagai pekerjaan tetap. Pada saat penambangan intan tersebut diperoleh juga limbah. Limbah tambang intan (tailing) merupakan mineral ikutan berupa pasir dan kerikil.

Menurut peraturan SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya atau tingkat ukuran butir, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- 1). Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
- 2). Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
- 3). Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah
- 4). Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
- 5). Gradasinya harus memenuhi syarat. Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4,8 mm. Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm.

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. Abu terbang sebagai limbah PLTU berbahan bakar batu bara dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3). Namun penelitian toksitas abu terbang secara menyeluruh pemanfaatan abu terbang untuk kehidupan makhluk hidup dengan pendekatan secara biologi menyimpulkan bahwa abu terbang relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup (Wardani) [5]. Keseluruhan uji hayati contoh abu batubara dari PLTU Asam terhadap kutu air, ikan mas, dan mencit memberikan hasil bahwa bahan-bahan uji tersebut relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup. (Khaerunisa, H.) [6].

Komposisi abu terbang dalam campuran pembuatan bahan bangunan dipakai sekitar 20% (Pelaihari) [7]. Abu terbang dimanfaatkan sebagai pengganti semen Portland, batu bata, beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah (Wardani) [5]. Abu terbang dapat digunakan sebagai filler karena ukuran partikel yang sangat lembut sehingga dapat sebagai pengisi rongga dan sebagai pengikat antar agregat. Abu terbang biasanya banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozolanik. (Aziz) [8].

Genowefa Zapotoczna et. al [9] meneliti tentang karakteristik beton ringan aerasi AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) di Polandia. Penelitian yang dilakukan antara lain berat jenis dan kuat tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil besarnya berat jenis 300 sampai dengan 750 kg/m³ dengan kuat tekan sekitar 1,5 s.d 5 MPa.

Haryanti, N.H [10] meneliti Limbah Abu Terbang Batubara PLTU Asam-asam Sebagai Bahan Campuran Bata Ringan. Dari hasil pengujian kuat tekan bata ringan yang dihasilkan masih memenuhi syarat SNI 03-0349-1989. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya berat jenis 780 sampai dengan 1210 kg/m³ dengan kuat tekan sekitar 2,12 s.d 3,92 MPa.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif melalui pendekatan eksperimen dalam bentuk uji material. Parameter yang dicari dalam penelitian ini adalah kuat tekan yang merupakan sifat mekanik bata ringan. Penelitian dilakukan di laboratorium struktur & bahan teknik sipil Fakultas Teknik Unlam Banjarbaru Kalimantan Selatan. Bahan yang dipakai adalah abu terbang dari PLTU Asam, pasir, semen, air, foam, polimer, hardener. Adapun alat-alat yang digunakan antara lain mesin pembuat busa, cetakan beton, UTM (*Universal Testing Machine*), timbangan, ayakan/saringan. Bata ringan yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Mix disain pembuatan dengan berat bata ringan sebesar 900 kg/m³. Komposisi bahan campuran dalam pembuatan bata ringan sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Campuran Bata Ringan

No.	Bata Ringan	Abu Terbang Batubara (%)	Semen PCC (%)	Pasir Limbah Tambang intan (%)
1.	A	57,14	42,86	0
2.	B	50,00	50,00	0
3.	H	35,00	50,00	15,00
4.	I	37,50	50,00	12,50
5.	J	40,00	50,00	10,00

3. HASIL

Karakteristik mekanik yang diuji dalam penelitian ini adalah kuat tekan bata ringan. Dalam penelitian ini dibuat 5 bata ringan dengan masing-masing dilakukan 5 kali benda uji. Hasil pengujian kuat tekan bata ringan dengan 5 sampel seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dalam kg/cm^2 dan MPa

Bata Ringan	Kuat Tekan (kg/cm^2)						Kuat Tekan (MPa)					
	1	2	3	4	5	rerata	1	2	3	4	5	rerata
A	25,12	28,99	25,40	23,74	23,56	25,36	2,51	2,90	2,54	2,37	2,36	2,54
B	28,99	24,13	22,73	28,89	27,56	26,46	2,90	2,41	2,27	2,89	2,76	2,65
H	27,05	25,40	25,25	26,67	22,67	25,41	2,71	2,54	2,53	2,67	2,27	2,54
I	24,15	22,22	23,23	24,00	23,56	23,43	2,42	2,22	2,32	2,40	2,36	2,34
J	25,12	24,76	27,27	25,78	24,89	24,89	2,51	2,48	2,73	2,58	2,49	2,56

Sumber: Hasil Uji di Laboratorium Bahan dan Konstruksi FT Unlam

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa hasil rata-rata kuat tekan bata ringan tersebut masih memenuhi syarat SNI 03-0349-1989, yaitu 21 kg/cm^2 untuk tingkat mutu IV bata beton pejal. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa rata-rata Kuat Tekan yang paling besar pada bata ringan B dengan Kuat Tekan $26,46 \text{ kg/cm}^2$ (2,65 MPa). Bata tersebut dengan komposisi semen dan abu terbang masing-masing 50%.

Berdasarkan analisis Anova, komposisi campuran pasir limbah tambang intan dan abu terbang batu bara memberikan pengaruh yang nyata atau berarti (signifikan) terhadap kuat tekan bata ringan. Berdasarkan analisis Duncan:

- Pemilihan komposisi campuran bata ringan A, B, H, I dan J tersebut sama saja.
- Apabila komposisi campuran pada bata ringan J yang dipilih, maka penambahan penggunaan prosentase abu terbang dan pengurangan prosentase pasir limbah tambang intan akan memberikan nilai kuat tekan bata ringan yang maksimal. Pada komposisi campuran ini pemanfaatan limbah abu terbang batu bara secara optimal (40,00%).
- Komposisi campuran bata ringan H dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal pasir limbah tambang intan (15,00%).
- Komposisi campuran bata ringan A (abu terbang 57,14%) dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal limbah abu terbang batu bara dan tanpa penggunaan pasir serta mengurangi penggunaan semen.
- Komposisi campuran bata ringan I (abu terbang sebanyak 37,50% dan semen sebanyak 50,00% serta pasir limbah tambang intan sebanyak 12,50%) akan menurunkan nilai kuat tekan bata ringan.
- Pemilihan komposisi campuran bata ringan B akan memberikan nilai kuat tekan bata ringan yang maksimal. Pada komposisi B prosentase penggunaan abu terbang sama dengan semen (50,00%).

4. GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Komposisi Campuran Bata Ringan

No.	Bata Ringan	Abu Terbang Batubara (%)	Semen PCC (%)	Pasir Limbah Tambang intan (%)
1.	A	57,14	42,86	0
2.	B	50,00	50,00	0
3.	H	35,00	50,00	15,00
4.	I	37,50	50,00	12,50
5.	J	40,00	50,00	10,00

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan dalam kg/cm² dan MPa

Bata Ringan	Kuat Tekan (kg/cm ²)						Kuat Tekan (MPa)					
	1	2	3	4	5	rerata	1	2	3	4	5	rerata
A	25,12	28,99	25,40	23,74	23,56	25,36	2,51	2,90	2,54	2,37	2,36	2,54
B	28,99	24,13	22,73	28,89	27,56	26,46	2,90	2,41	2,27	2,89	2,76	2,65
H	27,05	25,40	25,25	26,67	22,67	25,41	2,71	2,54	2,53	2,67	2,27	2,54
I	24,15	22,22	23,23	24,00	23,56	23,43	2,42	2,22	2,32	2,40	2,36	2,34
J	25,12	24,76	27,27	25,78	24,89	24,89	2,51	2,48	2,73	2,58	2,49	2,56

Sumber: Hasil Uji di Laboratorium Bahan dan Konstruksi FT Unlam

5. KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh hasil uji Kuat Tekan bata ringan masih memenuhi syarat SNI 03-0349-1989, yaitu 21 kg/cm² untuk tingkat mutu IV bata beton pejal. Kuat Tekan paling besar pada bata ringan B dengan rerata Kuat Tekan 26,46 kg/cm² (2,65 MPa). Bata ringan tersebut dengan komposisi abu terbang batu bara dan semen masing-masing 50% serta tanpa penggunaan limbah tambang intan.

Komposisi campuran pasir limbah tambang intan dan abu dasar batubara memberikan pengaruh yang nyata atau berarti (signifikan) terhadap kuat tekan bata ringan. Komposisi campuran bata ringan H dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal pasir limbah tambang intan (15,00%) dengan pemanfaatan abu terbang batu bara sebesar 35%. Komposisi campuran bata ringan A (abu terbang 57,14%) dipilih apabila akan memanfaatkan secara maksimal limbah abu terbang batu bara dan tanpa penggunaan pasir limbah tambang intan serta mengurangi penggunaan semen.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada tim yang telah membantu dalam pelaksanaan uji penelitian ini, yaitu saudara Adi Rahmadi, Mardani, Isur.

Daftar Pustaka

- [1] Haryanti, N.H, Karakterisasi Limbah Tambang Intan Sebagai Bahan Bata Ringan, Prosiding Nasional, Simposium Fisika Nasional XXVIII (SFN 2015), Universitas Halu Oleo, 2015.
- [2] Tjokrodimulyo, K, Teknologi beton, Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta, 2007.
- [3] <http://www.mountain-plain.org>, 2006
- [4] Haryanti, N.H, Karakterisasi Fly Ash (Abu Terbang) PLTU Asam Asam Kalimantan Selatan Sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan, Jurnal Flux, 2013.
- [5] Wardani, Sri Prabandiyani Retno, Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan, Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 2008.
- [6] Khaerunisa, H, Toksisitas Abu Terbang dan Abu Dasar Limbah PLTU Batubara Yang Berada di Sumatra dan Kalimantan Secara Biologi, Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara, 2012.
- [7] Pelaihari, Flay Ash sebagai Substitusi Semen, Puslitbang Teknologi Mineral dalam Batubara, 2007.
- [8] Aziz.,M; Ardha.,N., Karakterisasi abu terbang PLTU Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori cor, Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, no.36, Tahun 14, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, ISSN 0854-7890, 2006.
- [9] Genowefa Zapotoczna, et. al., Autoclaved Aerated Concrete Properties on the basis of current research results conducted by ICiMB - Research and Development Center for Cellular Concrete Industry CEBET and Building Research Institute. Handbook for AAC producers and users. Magazine of Concrete Producers Association. 5 Interantional Conference of Autoclaved Aerated Concrete, 2011.
- [10] Haryanti, N.H, Limbah FlyAsh (Abu Terbang) Batubara PLTU Asam-asam Sebagai Bahan Campuran Bata Ringan, Prosiding Nasional ISSN: 1411- 4771 Simposium Fisika Nasional XXVII (SFN 2014) Universitas Udayana Bali, 2014.
- [11]. Acosta, Dafi, Pemanfaatan Fly Ash(Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor, 2009.
- [12]. Aggarwal, Vanita dkk, Concrete Durability Through High Volume Fly Ash Cocrete (HVFC) a Literature review. International Journal of Engineering Science and Techgies vol 2, 2010.
- [13]. ASTM C618-94a, Standart Test methods for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as A Mineral Amixture in Porland Cement Concrete, USA, 1994.
- [14]. Aziz., Muchtar, Ngurah Ardha. 2006. Percobaan Pendahuluan Pembuatan Refraktori Cor dari Abu Terbang Suralaya. www.tekmira.esdm.go.id. Di akses pada tanggal 27 Februari 2011.
- [15]. Chandra, Toksisitas Abu terbang Dan Abu Dasar Limbah PLTU Batubara, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, @tekmira.esdm.go.id, 2005.
- [16]. CoalFlyAsh://<http://www.tfhr.gov/hnr20/ready/waste/cfa51.htm>

- [17]. Cripwell, J.B, *Pulveriszed – Fuel Ash : Understanding The Material*, National Seminar The use of PFA in construction, Concrete Technology Unit, Department of Civil Eengineering, University of Dundee, 1992.
- [18]. Haryanti, N.H, *Pemanfaatan Pasir Limbah Tambang Intan Cempaka Banjarbaru Sebagai Bahan Campuran Produksi Bata Ringan*, 2012.
- [19]. Khairunisa, *Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara*, Jurnal Ilmiah, 2007.
- [20]. Setiawan, Bambang., *Kebijakan Umum Pemanfaatan Batu Bara dan Rancangan Undang - undang Mineral dan Batu Bara*, Jakarta, 2005.

ASAM PROTOKATEKUAT DARI EKSTRAK ETIL ASETAT BIJI HONJE (*Etlingera elatior*) DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDANNYA

DEDE SUKANDAR^{1*}, SITI NURBAYTI², TARSO RUDIANA³,
IBNU UMARUDIN UMEDI⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta,
sukandarkimia@uinjkt.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui struktur senyawa fenolik yang memiliki aktivitas antioksidan hasil isolasi dari ekstrak etil asetat biji honje (*E. elatior*). Isolasi senyawa fenolik dilakukan dengan metode maserasi dan fraksinasi dengan kromatografi kolom. Uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) dan penentuan struktur senyawa menggunakan spektroskopi UV-Vis, FTIR, NMR dan MS. Isolat yang diperoleh berupa *gum* kuning sebanyak 18 mg dari 3 kg sampel. Hasil uji aktivitas antioksidan menunjukkan isolat dari ekstrak etik asetat memiliki aktivitas yang sangat kuat dengan IC_{50} 1,32 μ g/mL. Hasil analisa dengan spektroskopi UV-Vis, FTIR, NMR dan MS menunjukkan isolat sesuai dengan rumus molekul $C_7H_6O_4$ yang dikenal dengan asam protokatekuat (asam 3,4-dihidroksi benzoat).

Kata Kunci: antioksidan, DPPH, fenolik, honje (*Etlingera elatior*)

1. PENDAHULUAN

Honje atau kecombrang (*E. elatior*) sejak lama dikenal dan dimanfaatkan oleh manusia secara tradisional sebagai bahan pencita rasa makanan di berbagai negara (Mikail, 2010). Berdasarkan literatur, bunga *E. elatior* digunakan untuk mencegah penuaan dini dan juga menghilangkan dahak dan batuk (Sukandar *et al.*, 2011). Bunga *E. elatior* juga mengandung senyawa-senyawa alkaloid, saponin, tannin, fenolik, flavonoid, triterpenoid, steroid, glikosida dan minyak atsiri (Naufalin *et al.*, 2005). Berdasarkan analisis *Liquid Chromatography Mass Spectrometry* (LCMS) diketahui bahwa fraksi dari ekstrak etil asetat biji *E. elatior* memiliki toksisitas tinggi terhadap sel kanker leukemia P-388 (IC_{50} 19,210 μ g/mL) yang diduga mengandung senyawa fenolik, yaitu flavonoid (resveratrol, lapachol, apigenin, krisin termetilasi, 6,2'-dihidroksiflavanon, 3-hidroksi-3,4'-dimetoksiflavanon dan 4'-hidroksi-5,7-dimetoksiflavanon) (Rusanti *et al.*, 2017).

Senyawa fenolik termasuk ke dalam golongan antioksidan primer, yaitu antioksidan yang mampu menangkap radikal bebas (Pokorny, 2007). Salah satu penyebab penyakit kanker adalah radikal bebas yang menyerang sel tubuh manusia. Radikal bebas diduga merupakan penyebab kerusakan sel yang mendasari timbulnya penyakit kanker termasuk kanker payudara (Risky and Suyatno, 2014). Senyawa yang dapat menunda, menghambat atau mencegah oksidasi bahan atau senyawa yang mudah teroksidasi oleh radikal bebas dan mengurangi stres oksidatif adalah antioksidan (Dai and Mumper, 2010). Antioksidan telah terbukti bermanfaat dalam pencegahan sel kanker (Chaudhary, 2015).

Berdasarkan data di atas, penelitian tentang isolasi dan elusidasi struktur senyawa fenolik pada ekstrak etil asetat biji *E. elatior* dan uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) belum pernah dilakukan. Hal inilah yang mendasari perlunya dilakukan penelitian tentang isolasi dan elusidasi struktur senyawa fenolik pada ekstrak etil asetat biji *E. elatior* yang pada penelitian sebelumnya memiliki aktivitas sitotoksik tetapi juga dapat berpotensi sebagai antioksidan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Alat yang digunakan adalah alat penghalus (*grinding mill*), alat-alat gelas, botol vial, kuvet, timbangan analitik, penangas air listrik, kertas saring, plat kaca, pisau *cutter*, *chamber*, dan kromatografi kolom gravitasi. Peralatan lain yang digunakan adalah *rotary evaporator* Heidolph2, pompa vakum, lampu ultraviolet (UV) dengan λ 254 dan 366 nm, pipa kapiler, Spektrofotometer UV-Vis Perkin Elmer Lambda 25, FTIR Shimadzu Prestige 21, MS Waters TQD-ESI-MS/MS dan NMR JEOL JNMECA 500 yang beroperasi pada 500 MHz (^1H) dan 125 MHz (^{13}C).

Bahan yang digunakan adalah biji *E. elatior* yang berasal dari Desa Cintaratu Kecamatan Parigi Kabupaten Pangandaran. Beberapa pelarut yang digunakan antara lain metanol, etil asetat, *n*-heksan, kloroform, dan aseton yang berkualitas teknis terdestilasi, metanol-*d* (CD_3OD), FeCl_3 , silika gel G 60 (70-230 mesh) Merck, kromatografi lapis tipis (KLT) menggunakan alumunium berlapis Si-gel Kieselgel 60 F₂₅₄ 0.25 mm (Merck) dan larutan DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Merck).

2.2 Rancangan Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi ekstraksi dengan cara maserasi, uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH *free radical scavenger*, uji senyawa fenolik menggunakan metode pereaksi penampak noda FeCl_3 , serta elusidasi struktur senyawa fenolik menggunakan instrumen UV-VIS, FTIR, NMR dan MS.

2.3 Ekstraksi

Biji *E. elatior* kering sebanyak 3 kg dihaluskan menggunakan *grinding mill*. Sampel yang sudah halus dimaserasi secara bertahap dimulai dengan pelarut *n*-heksana, setelah selesai dilanjutkan dengan pelarut etil asetat dan terakhir metanol selama masing-masing 1 x 24 jam. Filtrat *n*-heksana, etil asetat dan metanol biji *E. elatior* kemudian diuapkan dengan *vaccum rotary evaporator* pada suhu 50 °C sehingga diperoleh ekstrak etil asetat kasar, dihitung massanya dan diuji aktivitas antioksidannya.

2.4 Isolasi

Ekstrak etil asetat yang positif mengandung senyawa fenolik setelah disemprot dengan pereaksi penampak noda FeCl_3 5% dalam metanol dan menghasilkan noda berwarna biru kehitaman diisolasi dengan menggunakan metode kromatografi.

Ekstrak etil asetat (30 g) difraksinasi menggunakan kromatografi kolom. Sampel dielusi setiap 100 mL dengan perbandingan gradien kedua campuran pelarut yang dimulai dengan *n*-heksan:etil asetat (10:0) sampai (0:10) dan etil asetat:metanol (10:0) sampai (0:10). Analisis dengan KLT menghasilkan 11 fraksi [F1 (1,663 g), F2 (0,308 g), F3 (0,099 g), F4 (0,104 g), F5 (0,880 g), F6 (0,499 g), F7 (1,004 g), F8 (5,723 g), F9 (3,394 g), F10 (10,754 g) dan F11 (4,541 g)]. Selanjutnya fraksi F5 yang positif mengandung senyawa fenolik sebanyak 0,808 g dilakukan pemisahan lebih lanjut dengan kromatografi kolom menggunakan eluen *n*-heksan:etil asetat. Hasil analisis KLT menghasilkan 8 fraksi [A (38,4 mg), B (52,4 mg), C (76,1 mg), D (46 mg), E (185 mg), F (36,5 mg), G (30,8 mg) dan H (51,6 mg)]. Tahapan selanjutnya permurnian fraksi E dengan cara KLT

preparatif dan dielusi menggunakan eluen kloroform:aseton (8:2). Hasil KLT preparatif kemudian diuji kemurnian menggunakan KLT 2 dimensi dengan eluen pertama yaitu kloroform:aseton:asam asetat (8:1,75:0,25) dan eluen kedua yaitu kloroform:aseton:asam asetat (7:2,75:0,25) dan dihasilkan isolat I (18 mg) berwarna kuning.

2.5 Karakterisasi

Elusidasi struktur senyawa isolat I menggunakan data spektrum UV, FTIR, ^1H NMR, ^{13}C NMR dan MS serta isolat I diuji kembali aktivitas antioksidannya.

2.6 Uji Aktivitas Antioksidan

Ekstrak sebanyak 10 mg dilarutkan dan dibuat larutan sampel dengan konsentrasi 1.000, 640, 320, 160, 80, 40, 20, 10 dan 5 ppm. Pada uji aktivitas antioksidan isolat, sebanyak 1 mg isolat dilarutkan dan dibuat larutan sampel dengan konsentrasi 5; 2,5; 1,25; 0,625; 0,3125 dan 0,156 ppm. Kemudian larutan sampel masing-masing konsentrasi sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 2 mL DPPH 0,002 %. Larutan sampel divorteks sampai homogen dan diinkubasi selama 30 menit dalam ruang gelap. Nilai absorbansi larutan sampel ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 512-520 nm. Dilakukan pengujian sebanyak dua kali (duplo). Sebagai larutan blanko digunakan 2 mL metanol dan 2 mL DPPH 0,002 %. Selanjutnya ditentukan nilai persentase inhibisi yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Inhibisi} = \frac{A_{\text{blanko}} - A_{\text{sampel}}}{A_{\text{sampel}}} \times 100$$

Nilai IC_{50} ditentukan menggunakan persamaan regresi linier $y = ax + b$, dimana y adalah % inhibisi yang bernilai 50, a (*slope*) dan b (*intercept*) didapat dari persamaan kurva regresi dimana % inhibisi sebagai sumbu y dan konsentrasi sampel sebagai sumbu x serta x adalah konsentrasi sampel yang akan ditentukan nilai IC_{50} nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat biji *E. elatior* memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} yaitu 99,36 $\mu\text{g/mL}$. Menurut Mardawati *et al.* (2008), suatu senyawa dikatakan sebagai antioksidan sangat kuat jika nilai IC_{50} kurang dari 50 $\mu\text{g/mL}$, kuat untuk IC_{50} bernilai 50-100 $\mu\text{g/mL}$, sedang jika IC_{50} bernilai 100-150 $\mu\text{g/mL}$, dan lemah jika IC_{50} adalah 151-200 $\mu\text{g/mL}$. Setelah dilakukan tahap isolasi dan didapatkan isolat I (18 mg), kemudian dilakukan tahap elusidasi struktur menggunakan spektroskopi UV, FTIR, ^1H NMR, ^{13}C NMR dan MS.

Hasil analisa spektroskopi UV-Vis isolat I pada panjang gelombang 200-400 nm menunjukkan adanya 2 serapan pada panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) 293 nm (pita I) ($-\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{C}-$) dan 256 nm (pita II) ($-\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$). Analisis UV-Vis juga dilakukan menggunakan pereaksi geser yaitu penambahan NaOH dan $\text{NaOAc}+\text{H}_3\text{BO}_3$. Pada penambahan NaOH terjadi pergeseran batokromik pada pita I (+8) dan pita II (+19) yang menandakan isolat I mempunyai gugus hidroksi pada cincin aromatik (Mudjirahmini and Ersam, 2007). Pereaksi geser berikutnya yaitu menggunakan $\text{NaOAc}+\text{H}_3\text{BO}_3$. Adanya $\text{NaOAc}+\text{H}_3\text{BO}_3$ akan membentuk kompleks dengan gugus orto dihidroksi pada semua posisi atom C. Adanya pergeseran batokromik lebih kecil dari 12 nm pada pita I (+4) hasil isolat I menunjukkan adanya gugus orto dihidroksi.

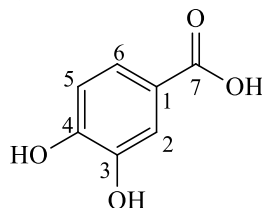
Analisa dengan FTIR menunjukkan adanya vibrasi dari gugus fungsi O-H ($3.394,72 \text{ cm}^{-1}$), C=O ($1.724,36 \text{ cm}^{-1}$), C=C aromatik ($1.579,70 \text{ cm}^{-1}$), C-O ($1.124,50 \text{ cm}^{-1}$); C-H aromatik (945,12; 896,90; dan $783,10 \text{ cm}^{-1}$).

Analisa dengan ^1H NMR menunjukkan adanya 3 sinyal proton aromatik pada δ_{H} 6,77 (1H, *d*, $J=8.4$ Hz); 7,38 (1H, *dd*, $J=1.9$, 8.4 Hz) dan 7,43 (1H, *d*, $J=1.9$ Hz) ppm. Sinyal proton *double doublet* pada δ_{H} 7,38 (1H, *dd*, $J=1.9$, 8.4 Hz) mengindikasikan proton ini mempunyai kopling orto dengan proton pada δ_{H} 6,77 (1H, *d*, $J=8.4$ Hz) dan kopling meta dengan sinyal proton pada δ_{H} 7,43 (1H, *d*, $J=1.9$ Hz). Analisa dengan ^{13}C NMR menunjukkan adanya 7 sinyal karbon aromatik *sp*² diantaranya 3 sinyal karbon tersier pada δ_{C} 115,6; 117,8; 123,6 ppm, 3 sinyal karbon kuartener pada δ_{C} 121,9; 145,9; 150,7 dan 1 sinyal karbon karbonil pada δ_{C} 170,6 ppm (Tabel 1).

Tabel 3. Data NMR untuk isolat I (500 MHz untuk ^1H dan 125 MHz untuk ^{13}C pada CD_3OD)

Senyawa isolat I		
Posisi	δ_{H} (multiplisitas, Hz)	δ_{C} ppm ppm <i>J</i>
1	-	121,9
2	7,43 (1H, <i>d</i> , 1,9)	115,6
3	-	145,9
4	-	150,7
5	6,77 (1H, <i>d</i> , 8,4)	117,8
6	7,38 (1H, <i>dd</i> , 1,9; 8,4)	123,6
7	-	170,6

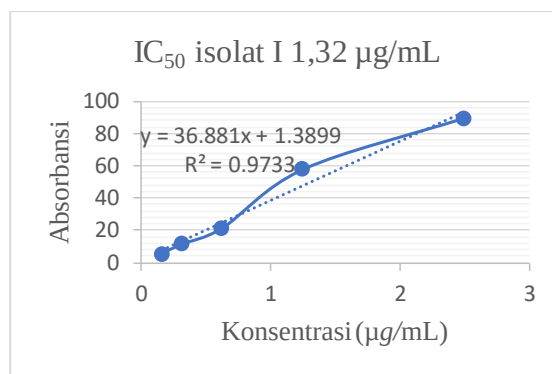
Hasil interpretasi berdasarkan data spektrum ^1H NMR dan ^{13}C NMR isolat I dibandingkan dengan senyawa pembanding hasil ekstrak MeOH tanaman *Bistorta manshuriensis* (Chang *et al.*, 2009), maka struktur senyawa isolat I yang disarankan adalah asam protokatekuat (asam 3,4-dihidroksi benzoat) dengan rumus molekul $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_4$.



Gambar 6. Struktur senyawa asam protokatekuat isolat I

Analisa dengan MS menunjukkan isolat mempunyai massa $m/z = 155,09$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ sesuai rumus molekul $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_4$ yang dikenal dengan asam protokatekuat (asam 3,4-dihidroksi benzoat).

Hasil uji aktivitas antioksidan isolat I yang diduga asam protokatekuat mempunyai nilai IC_{50} sebesar 1,32 $\mu\text{g/mL}$. Aktivitas antioksidan isolat I lebih kuat dibandingkan dengan ekstrak kasar etil asetatnya sebesar 99,36 $\mu\text{g/mL}$. Hal ini dikarenakan sampel ekstrak kasar yang diuji masih terdapat senyawa-senyawa pengotor yang dapat menghalangi aktivitas antioksidan dari senyawa murninya.



Gambar 7. Nilai IC₅₀ isolat I ekstrak etil asetat biji *E. elatior*

Asam protokatekuat mempunyai aktivitas antioksidan dan antiinflamasi. Penelitian yang dilakukan Liu *et al.* (2002) menunjukkan asam protokatekuat yang diekstrak dari *Hibiscus sabdariffa* memiliki aktivitas antitoksik. Senyawa ini memiliki efek pada sel kanker lambung dalam penelitian *in vitro* dan *in vivo* (Lin *et al.*, 2007). Senyawa ini juga mampu melawan sel HL-60 leukimia, sel HSG 1 (Babich *et al.*, 2002) dan tumor pada kulit tikus (Nakamura *et al.*, 2000). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa asam protokatekuat mempunyai aktivitas biologis salah satunya antioksidan. Hal ini terbukti bahwa senyawa asam protokatekuat yang telah diisolasi dari ekstrak etil asetat biji *E. elatior* mempunyai aktivitas antioksidan yang sangat kuat dengan nilai IC₅₀ sebesar 1,32 µg/mL.

4. KESIMPULAN

Senyawa asam protokatekuat hasil isolasi dari ekstrak etil asetat biji *E. elatior* memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC₅₀ sebesar 1,32 µg/mL yang menandakan bahwa senyawa ini mempunyai aktivitas antioksidan yang sangat kuat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LP2M melalui dana hibah penelitian pengembangan ilmu pengetahuan (Sains) yang telah memberikan bantuan dana pada penelitian ini. Ketua PLT yang telah memfasilitasi sarana dan prasarana laboratorium. Terimakasih kepada Dr. Sofa Fajriah, M.Si di LIPI Serpong untuk pengukuran NMR. Harold di Lab Farmakokinetik UNPAD untuk pengukuran ESI-MS/MS. Erizal di BATAN PAIR Pasar Jumat untuk pengukuran FTIR.

Daftar Pustaka

- [1] Babich H, Sedletcaia A, Kenigsberg B. 2002. [In vitro cytotoxicity of protocatechuic acid to cultured human cells from oral tissue: involvement in oxidative stress](#). *Pharmacol. Toxicol.* 91 (5): 245–253.
- [2] Chang SW, Kim KH, Lee IK, Choi SU, Ryu SY, Lee KR. 2009. Phytochemical constituents of *Bistorta manshuriensis*. *Natural Product Sciences*. 15(4): 234-240.
- [3] Chaudhary S. 2015. Evaluation of antioxidant and anticancer activity of extract and fractions of *Nardostachys jatamansi* DC in breast carcinoma. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 15:50. DOI: 10.1186/s12906-015-0563-1.
- [4] Dai J, Mumper RJ. 2010. Plant Phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*. 15(10): 7313-7352.
- [5] Lin HH, Chen JH, Huang CC, Wang CJ. 2007. Apoptotic effect of 3,4-dihydroxybenzoic acid on human gastric carcinoma cells involving JNK/p38 MAPK signaling activation. *International Journal of Cancer*. 120 (11): 2306–2316.

- [6] Liu CL, Wang JM, Chu CY, Cheng MT, Tseng TH. 2002. In vivo protective effect of protocatechuic acid on tert-butyl hydroperoxide-induced rat hepatotoxicity. *Food Chem Toxicol.* 40 (5): 635–41.
- [7] Mardawati E, Achyar CS, Marta MDH. 2008. Kajian aktivitas antioksidan ekstrak kulit manggis (*Garcinia mangostana* L) dalam rangka pemanfaatan limbah kulit manggis di Kecamatan Puspahiang Kabupaten Tasikmalaya. *Abstrak.* Bandung (ID): Universitas Padjajaran.
- [8] Mikail HG. 2010. Phytochemical screening, elemental analysis and acute toxicity of aqueous extract of *Allium sativum* L. bulbs in experimental rabbits. *Journal of Medicinal Plants Research.* 4(4):322-6.
- [9] Mudjirahmini D, Ersam T. 2007. Turunan 4-fenilkumarin dari fraksi polar ekstrak etil asetat pada batang *Garcinia Balca* Miq. *Akta Kimindo.* 3(1): 55-60.
- [10] Nakamura Y, Torikai K, Ohto Y, Murakami A, Tanaka T, Ohigashi H. 2000. [A simple phenolic antioxidant protocatechuic acid enhances tumor promotion and oxidative stress in female ICR mouse skin: dose-and timing-dependent enhancement and involvement of bioactivation by tyrosinase.](#) *Carcinogenesis.* 21 (10): 1899–1907.
- [11] Naufalin R, Jenie BSL, Kusnandar F, Sudarwanto M, Rukmini H. 2005. Aktivitas antibakteri ekstrak bunga kecombrang terhadap bakteri patogen dan perusak pangan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan.* 16(2): 119-125.
- [12] Pokorny J. 2007. Are the natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidants. *Journal of Lipid Science and Technology.* 109: 629 – 642.
- [13] Risky TA, Suyatno. 2014. Aktivitas antioksidan dan antikanker ekstrak metanol tumbuhan paku *Adiantum philippensis* L. *Jurnal UNESA Chem.* 3(1): 89-95.
- [14] Rusanti A, Sukandar D, Rudiana T, Adawiah. 2017. Profil fraksi sitotoksik terhadap sel murine leukemia P-388 dari ekstrak biji honje (*Etlingera elatior*). *Jurnal Kimia Valensi.* 3(1): 79-87.
- [15] Sukandar D, Radiastuti N, Muawanah A, Hudaya A. 2011. Antioxidant activity from water extract of kecombrang flower (*Etlingera elatior*). *Jurnal Kimia Valensi.* 2(2): 393–398.

BIOETHANOL PRODUCTION FROM HYDROLYZED CORNCOB BY CELLULASE ENZYME OF *Bacillus cereus*

ELIDA MARDIAH¹, RICO SAPUTRA², ARMAINI³

^{1,2,3}Biochemistry Laboratory, Department Of Chemistry, Faculty Of Mathematics And
Natural
Sciences, Andalas University, Padang - 25163, Indonesia, Elidamardiah@gmail.com

Abstract

Concorb is a waste that contains lignocellulose and could be used for bioethanol production. The production of bioethanol from hydrolyzed corncobs by cellulase enzymes of *Bacillus cereus* has been investigated. This study aims to determine the effect of enzyme volume, hydrolysis time to produce the maximum amount of glucose and fermentation efficiency to produce ethanol. Before hydrolyzed corncob that has been mashed and sieved to the size of 425 μm pretreated with 0,2 M KOH. Glucose then fermented by *Sacharomyces cerevisiae*. Bioethanol was purified by distillation method and the concentration was determined by using gas chromatography mass spectroscopy (GC-MS). The process of hydrolysis obtained the highest glucose concentration when 6 mL enzyme and 90 minute of hydrolysis time was used and gave value of 398.54 mg/L. Fermentation is carried out for 48 hours. The fermentation efficiency and ethanol concentration were 29.55 % and 18.62 % precisely.

Keywords : *Bacillus cereus*, bioethanol, cellulase enzyme, hydrolysis

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat mengakibatkan menipisnya ketersediaan minyak bumi sebagai sumber energi. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil juga mengakibatkan pemanasan global. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi yang terbarukan lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar nabati yang digunakan sebagai alternatif pengganti minyak bumi yaitu bioetanol [1]. Limbah pertanian berupa selulosa dan hemiselulosa merupakan masalah penting di Indonesia, hal ini disebabkan kandungan material selulosa yang melimpah namun sulit didegradasi. Salah satu dari limbah tersebut adalah tongkol jagung. Umumnya limbah hasil pertanian ini hanya digunakan untuk kompos dan pakan ternak. Pemanfaatan limbah hasil pertanian ini akan menanggulangi masalah pencemaran [2,3].

Hemiselulosa dan selulosa pada tongkol jagung dapat dihidrolisis difermentasi menjadi bioetanol. Untuk mendapatkan bioetanol, tongkol jagung dihidrolisis menggunakan enzim selulase yang diproduksi dari *Bacillus cereus* termofilik. Penggunaan bakteri termofilik mempunyai keuntungan, yaitu mampu menghasilkan enzim yang stabil pada suhu tinggi. Glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis, difermentasi menjadi etanol oleh *Saccaromyces cerevisiae* [4,5]

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan kimia dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tongkol jagung, KOH, bakteri *Bacillus cereus*, NH_4SO_4 , carboxymethyl cellulose (CMC), reagen Folin ciocalteu, medium potato dextrose agar (PDA), medium yeast pepton agar (YPD), reagen dinitrosalicylic acid (DNS). Peralatan yang digunakan Spektrofotometer UV-Vis (GENESYS 20), Khromatografi Gas (GC-2010 SHIMADZU), Water bath shaker, Sentrifus, Magnetic stirrer, dan peralatan gelas lainnya.

2.2. Isolasi dan Pemurnian enzim selulase

Biakan *Bacillus cereus* yang telah diremajakan, diambil dengan jarum ose, dimasukkan kedalam 100 mL medium fermentasi yang berisi 2 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 2g KH_2PO_4 , 2 g urea 0,3 g CaCl_2 , 0,3 g NaCl 0,1 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 mg $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1,4 mg CoCl_2 , 1,2 mg CMC, 1,5 g pepton. Setelah di-shaker selama 48 jam pada suhu 50°C , dipisahkan sel dan supernatan dengan sentrifus, supernatan yang diperoleh merupakan crude enzim. Pemurnian enzim selulase dilakukan dengan cara mengendapkannya dengan amonium sulfat. Supernatan ditambahkan amonium sulfat dengan tingkat kejenuhan (0-60%), (60-80%). Proses pengendapan ini berlangsung pada suhu 4°C , didiamkan selama semalam dan di-sentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit, endapan yang didapat ditambahkan 10 mL buffer sitrat pH 5. Hitung aktifitas crude enzim dan enzim selulase yang telah diendapkan dengan amonium sulfat [6].

2.3 Penentuan aktivitas enzim selulase

Aktivitas enzim ditentukan dengan menggunakan metoda filter paper assay (FPU assay). Kedalam tabung reaksi dimasukkan 1 mL 0,05 M buffer sitrat pH 5, ditambahkan 0,5 mL enzim. Pada suhu 50°C ditambahkan satu kertas saring whatman no 1 yang telah dipotong kecil-kecil hingga menyerupai bubuk, diaduk dan diinkubasi selama 60 menit pada 50°C . Setelah diinkubasi ditambahkan 3 mL reagen DNS, dikocok hingga homogen, panaskan dalam air mendidih selama 5 menit kemudian dinginkan, ditambahkan 10 mL aquades, aduk hingga homogen, didiamkan selama 20 menit dan diukur serapan pada panjang gelombang 540 nm. Kadar protein enzim ditentukan dengan metoda Lowry menggunakan reagen Folin Ciocalteu [6].

2.4 Pretreatment Tongkol Jagung

Tongkol jagung dipotong menjadi potongan-potongan kecil, dijemur dan dihaluskan dengan gerinda, diayak dengan ayakan ukuran $425\ \mu\text{m}$ sehingga menjadi bubuk halus dengan ukuran yang sama. Sampel 25 g direndam di dalam 100 mL KOH 0,2 M pada suhu kamar selama 24 jam dan di-autoklaf. Sampel yang telah di-autoklaf, disaring, dicuci dengan aquades sampai jernih, sampai didapatkan pH netral dan dikeringkan pada suhu 105°C . Pretreatment ini bertujuan untuk memutus atau merusak ikatan lignin yang melapisi hemiselulosa dan selulosa, sehingga memudahkan kerja enzim untuk menguraikan selulosa menjadi glukosa [7,8].

2.5 Hidrolisis Selulosa Tongkol Jagung

Subtrat hasil pretreatment sebanyak 0,5 g ditambahkan 1 mL buffer sitrat dan selulase dari bakteri *Bacillus cereus* dengan variasi volume enzim sebanyak 3 mL, 6 mL, 9 mL, dan 12 mL. Campuran tersebut diinkubasi selama 60 menit pada 50°C kemudian dilakukan penyaringan. Hidrolisat hasil penyaringan dianalisis untuk menentukan jumlah gula pereduksi dengan menggunakan metoda DNS, yaitu dengan menambahkan 3 mL larutan DNS dalam 1 mL sampel, dididihkan selama 5 menit, kemudian dinginkan pada suhu kamar sehingga menghasilkan warna jingga kemerahan, diukur absorbansi dengan spektrofotometer pada panjang 540 nm. Pada hidrolisis ini juga dilakukan variasi lama

waktu 30,60,90,120 dan 150 menit.

2.6. Persiapan Inokulum Ragi *Sacharomyces cerevisiae*

Sacharomyces cerevisiae diperoleh dengan mengisolasi dari fermipan dengan pengenceran 10^{-8} yang ditumbuhkan pada media PDA. *Sacharomyces cerevisiae* yang telah diisolasi dipindahkan ke media agar miring dan diinkubasi selama 48 jam. *Sacharomyces cerevisiae* sebanyak 3 jarum ose diinokulasikan dari agar miring ke dalam 100 mL medium Yeast Peptone Dextrose (YPD) yang berisi glukosa, 2 g pepton, dan 1 g ekstrak ragi, lalu diinkubasi pada suhu kamar dengan shaker 130 rpm selama 48 jam.

2.7 Produksi Bioetanol

Sebanyak 10 g tongkol jagung yang telah dipretreatment, ditambah 10 mL buffer sitrat pH 5 dan 120 mL crude enzim, diinkubasi selama 90 menit pada 50°C , kemudian disaring. Sebanyak 1 mL supernatan diambil untuk diukur kadar glukosa awal yang dihasilkan dengan metoda DNS. Kedalam supernatant ditambahkan 10% inokulum *Sacharomyces cerevisiae*, 1 g ekstrak ragi dan 2 g pepton, diinkubasi selama 48 jam pada suhu kamar. Hasil fermentasi disaring dan 1 mL supernatan diambil untuk diukur kadar glukosa akhir dengan metoda DNS. Supernatan sisa didestilasi. Destilat dikumpulkan untuk analisis etanol dengan kromatografi gas. [8]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemurnian dan Penentuan Aktivitas Spesifik Enzim Selulase

Penambahan garam amonium sulfat merupakan proses awal dalam pemurnian enzim, yang bertujuan untuk memisahkan protein enzim dari protein-protein lain, serta untuk meningkatkan aktifitas enzim. Aktifitas enzim ini akan meningkat karena menurunnya jumlah protein yang menghalangi sisi aktif enzim untuk berikatan dengan substrat. Penambahan amonium sulfat berpengaruh terhadap protein yang terendapkan selama proses fraksinasi. Ion-ion garam amonium sulfat akan berkompetisi dengan protein untuk menarik molekul air. Ion-ion garam memiliki kelarutan lebih besar dibandingkan dengan protein sehingga ion garam akan menarik molekul air dari protein enzim. Protein-protein enzim ini akan berinteraksi membentuk gumpalan dan mengendap. Proses ini berlangsung pada suhu 4°C agar protein tidak mengalami denaturasi. Berikut adalah table kadar protein, aktifitas yang di dapat setelah diendapkan dengan amonium sulfat

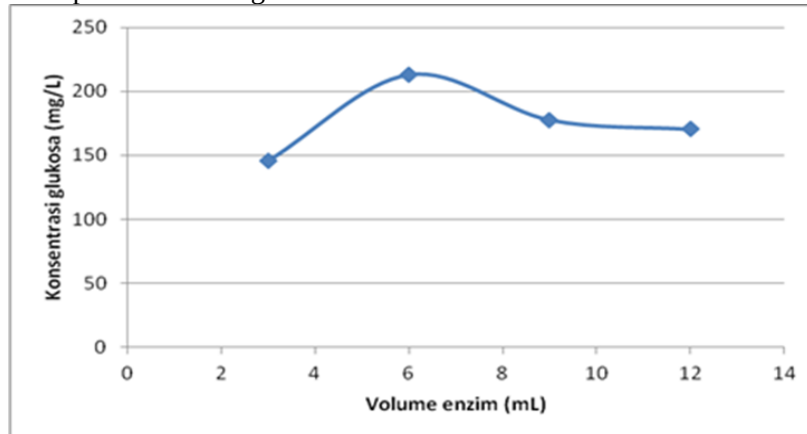
Tabel 1. Nilai kadar protein, aktifitas selulase, dan aktifitas spesifik selulase

Tahapan	Kadar Protein (mg/mL)	Aktifitas Selulase (U/mL)	Aktifitas Spesifik (u/mg)
Crude Enzim	0,792	0,1556	0,1460
Fraksi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (0-60 %)	0,647	0,3379	0,5223
Fraksi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (60-80 %)	0,541	0,5082	0,9394

Dari data diatas dapat dilihat bahwa dengan semakin besarnya persen kejenuhan amonium sulfat maka kadar protein akan semakin menurun, yang semula 0,792 mg/mL menjadi 0,647 mg/mL, dan 0,541 mg/mL, hal ini dikarenakan pada crude enzim masih terdapat banyak pengotor dan protein selain protein enzim selulase, sehingga pada saat pengukuran dengan spektrofotometer UV-VIS didapatkan kadar protein yang tinggi pada crude enzim. Setelah diendapkan dengan amonium sulfat, kadar protein yang didapatkan lebih kecil bila dibandingkan dengan crude enzim, karena protein sudah terpisah dengan pengotornya. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa fraksi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (60-80%) mengandung enzim selulase yang lebih murni, sudah terpisah dari protein yang lain, dapat dilihat dari aktifitas spesifiknya yang tinggi.

3.2 Pengaruh Volume Enzim Terhadap Kadar Glukosa

Banyaknya volume enzim akan mempengaruhi kecepatan hidrolisis sehingga meningkatkan konsentrasi glukosa yang didapat. Untuk mengetahui kemampuan enzim selulase dari *Bacillus cereus* mendegradasi selulosa dari tongkol jagung menjadi glukosa maka ditentukan konsentrasi glukosa hasil hidrolisis dengan volume enzim yang bervariasi yaitu 3,6,9,12 mL. Konsentrasi glukosa optimum terdapat pada volume enzim 6mL. Hal ini dapat dilihat dari gambar 2.

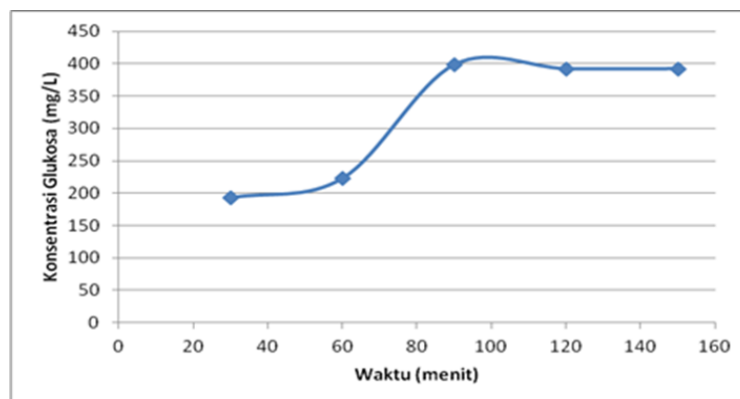


Gambar 2. Pengaruh Volume enzim terhadap kadar glukosa pada suhu 50°C dan lama hidrolisis 60 menit.

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan variasi volume enzim 3 mL dan 6 mL konsentrasi glukosa yang dihasilkan meningkat. Peningkatan konsentrasi enzim akan meningkatkan kecepatan reaksi enzimatik. Dapat dikatakan bahwa kecepatan reaksi enzimatik (v) berbanding lurus dengan konsentrasi enzim [E]. Makin besar konsentrasi enzim, reaksi makin cepat sedangkan pada volume 9 mL dan 12 mL konsentrasi glukosa yang dihasilkan semakin menurun. Pada volume 6 mL seluruh enzim sudah berada dalam bentuk kompleks E-S dengan substrat. Penambahan volume enzim tidak menambah jumlah

kompleks E-S karena enzim yang digunakan belum sempurna kemurniannya, kelebihan volume enzim akan mengganggu interaksi substrat dengan bagian aktif sehingga konsentrasi glukosa menurun.

3.3 Pengaruh Lama Hidrolisis Terhadap Kadar Glukosa



Gambar 3 Pengaruh lama hidrolisis terhadap kadar glukosa pada suhu 50°C dan volume enzim 6 mL

Variasi lama hidrolisis ini dilakukan untuk mengetahui waktu optimum yang diperlukan oleh enzim untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Dari gambar 3 diatas dapat dilihat bahwa dengan variasi lama hidrolisis dari 30,60, hingga 90 menit kadar glukosa yang dihasilkan semakin meningkat, karena pada waktu 90 menit enzim telah jenuh dengan substrat Dalam suatu reaksi enzimatik, enzim akan mengikat substrat membentuk kompleks enzim-substrat [ES], kemudian kompleks ini akan terurai menjadi [E] dan produk [P]. Makin banyak kompleks [ES] terbentuk, makin cepat reaksi berlangsung sampai batas kejenuhan [ES]. Dalam keadaan itu seluruh enzim sudah berada dalam bentuk kompleks E-S. Semakin lama waktu hidrolisis tidak menambah jumlah kompleks E-S, konsentrasi glukosa tertinggi adalah 398,55 mg/L untuk lama hidrolisis 90 menit.

3.4. Produksi Bioetanol

Tabel 2. Efisiensi produksi bioethanol

Perlakuan	48 Jam
Glukosa awal (mg/L)	692,18
Glukosa Akhir (mg/mL)	487,63
Glukosa terpakai (mg/mL)	204,54
Efisiensi fermentasi bioetanol (%)	29,55
Konsentrasi etanol (%)	18,62

Glukosa terpakai didapatkan dengan cara mengurangi glukosa awal dengan glukosa akhir dari fermentasi. Glukosa terpakai merupakan glukosa yang dipakai oleh *Sacharomyces cerevisiae* untuk diubah menjadi bioetanol. Selama hidrolisis akan terjadi perubahan selulosa menjadi glukosa oleh enzim selulase dari *Bacillus cereus*. Glukosa yang terbentuk akan berubah menjadi etanol dengan bantuan *Sacharomyces cerevisiae*. Pada penelitian ini, efisiensi yang didapatkan 29,55%, konsentrasi etanol yang didapatkan yaitu 18,62%, hal ini karena glukosa hasil fermentasi enzim selulase tidak sepenuhnya diubah menjadi etanol oleh *Sacharomyces cerevisiae*. Glukosa juga digunakan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan *Sacharomyces cerevisiae*. Enzim selulase yang berasal dari sumber mikroorganisme yang berbeda mempunyai kemampuan untuk menghasilkan glukosa yang berbeda pula. Hal ini akan mempengaruhi konsentrasi etanol yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa enzim selulase dari *Bacillus cereus* termofilik mempunyai aktifitas spesifik yang paling tinggi pada fraksi amonium sulfat 60-80% yaitu 0,9394 U/mg. Enzim mempunyai kemampuan menghidrolisis selulosa pada tongkol jagung menjadi glukosa. Konsentrasi glukosa optimum didapatkan 398,5454 mg/L pada volume enzim 6 mL dan lama hidrolisis 90 menit. Konsentrasi etanol yang didapatkan dari hasil fermentasi selama 48 jam yaitu 18,62% dengan efisiensi fermentasi 29,55%

Daftar Pustaka

- [1] Kumar,M.R: Production of cellulase enzyme by *Trichoderma reesei* Cef 19 and its Application in the production of bioethanol. Pakistan Journal of biological Science 2014, 1-5.
- [2] Gautam R, Sharma. J: Optimization,purification of cellulose produced from *Bacillus subtilis*. Inaquosorum under solid state fermentation and its application in denim industry. International journal of science and research (IJSR) 2014,(3):1759.
- [3] Perez J.J Munoz-Dorado, T. Rubia D.L and Martinez J: Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview.Int.Microbial 2002,(5):53-63.

- [4] Chen M, Xia L., Xue P; Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate . Journal of International Biodeterioration and Biodegradation 2007, (59) :85-89
- [5] Ahmad R.F: pembuatan bioetanol dari limbah tongkol jagung dengan variasi konsentrasi asam klorida dan waktu fermentasi. Jurnal Teknik Kimia 2013, 1(19):61.
- [6] Ghose. T.K: Measurement Of Cellulase Activities. International Union Of Pure and Applied Chemistry, 1987 .2 (59) , 257-268
- [7] Zuo Z., Tian S., Chen Z., Li J : Soaking pretreatment of corn stover for bioethanol production followed by an aerobic digestion process, Journal of biochem biotechnol, 2012, 167 ,2088-2102
- [8] Zakpaa HD, Mak-Mensah EE, Johnson F S: Production of bioethanol from corncob using *Aspergillus niger* and *Sacharomyces cerevisiae* in simultaneous saccharification and fermentation. African journal

OPTIMASI EKSTRAKSI ANTIOKSIDAN DALAM TUMBUHAN MENIRAN (*Phyllanthus niruri*) MENGUNAKAN ULTRASONIK DAN PENENTUAN KADAR DENGAN METODE DPPH

INDRAWATI¹, REFILDA², MUHAMMAD ARIF³

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas,
loan_indrawati@yahoo.com

Abstrak

Tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) secara tradisional telah dimanfaatkan dalam mengobati berbagai penyakit. Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi antioksidan dalam tumbuhan meniran dengan metode ultrasonik dan menentukan kandungan antioksidan dengan metode 1,1 difenil-2-pikrihidrazil (DPPH). Ekstraksi konvensional umumnya memerlukan waktu yang lama dan suhu yang tinggi yang dapat merusak senyawa antioksidan, sehingga digunakan metode ekstraksi yang lebih efisien salah satunya menggunakan gelombang ultrasonik. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan pada berbagai parameter diperoleh kondisi optimum pengekstraksian yaitu menggunakan 10 mL pelarut etanol, berat sampel uji 1,0 g, waktu pengekstraksian 40 menit dan kondisi sampel kering. Kandungan antioksidan sebagai asam galat dalam tumbuhan meniran yang diukur dengan kondisi optimum adalah 2,9951 mg/g DW. Validasi metode yang telah dilakukan menunjukkan linearitas (r) -0,997, nilai LoD 1,1150 mg/L; nilai LoQ 3,834 mg/L; SDR 0,9006 %; rasio Horwitz 0,4452; dan perolehan kembali sebesar 90,59 %. Berdasarkan nilai ini dapat disimpulkan bahwa metode pengekstraksian dengan ultrasonik dan penentuan kandungan antioksidan dalam sampel tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) baik untuk diterapkan.

Kata kunci: *Phyllanthus niruri*, Antioksidan, Asam Galat, Ultrasonik, DPPH

1. PENDAHULUAN

Senyawa antioksidan merupakan substansi yang diperlukan tubuh untuk menetralkan radikal bebas dan mencegah kerusakan yang ditimbulkan oleh radikal bebas terhadap sel normal, protein, dan lemak. Senyawa ini memiliki struktur molekul yang dapat memberikan elektronnya kepada molekul radikal bebas tanpa terganggu sama sekali fungsinya dan dapat memutus reaksi berantai [1].

Golongan flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan meliputi flavon, flavonol, isoflavon, katekin, dan kalkon. Sementara turunan asam sinamat meliputi asam kafeat, asam ferulat, asam klorogenat, dan lain-lain. Berdasarkan penelitian yang telah dilaporkan, beberapa senyawa golongan asam karboksilat seperti asam sitrat, asam nikotinat, asam salisilat, dan asetil salisilat memiliki aktivitas anti radikal yang cukup tinggi dan pada umumnya berperan dalam mereduksi radikal hidroksil dan hidrogen peroksida [2].

Salah satu metoda yang digunakan dalam penentuan antioksidan adalah metoda 1,1-difenil-2-pikrihidrazil (DPPH). Metoda DPPH biasanya digunakan sebagai substrat untuk

menguji aktivitas antioksidan beberapa senyawa antioksidan [2]. Uji peredaman warna radikal bebas DPPH merupakan uji untuk menentukan aktivitas antioksidan dalam sampel yang akan diujikan dengan melihat kemampuannya dalam menangkal radikal sintetik dalam pelarut organik polar seperti metanol atau etanol pada suhu kamar. Perubahan warna yang akan terjadi adalah perubahan dari larutan yang berwarna ungu menjadi berwarna kuning [3]. Dengan uji menggunakan radikal DPPH, penangkapan radikal DPPH oleh suatu senyawa antioksidan diikuti dengan mengamati penurunan absorbansi pada $\lambda = 517$ nm yang terjadi karena reduksi radikal tersebut oleh antioksidan atau bereaksi dengan spesies radikal lain.

Tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) sangat mudah ditemukan disekitar perkarangan rumah. Tumbuhan ini tumbuh liar di tempat terbuka pada tanah gembur dan berpasir. Selain itu, tumbuhan meniran juga mengandung senyawa flavonoid yang berfungsi sebagai antioksidan. Tumbuhan ini dijadikan obat antibiotik, hepatitis, gangguan saluran pencernaan, kencing manis dan lainnya [4-5].

Penentuan kandungan antioksidan di dalam tanaman sudah banyak dilakukan. Untuk penarikan antioksidan dari tanaman biasanya digunakan metoda ekstraksi maserasi dan sokletasi. Metoda tersebut menggunakan sampel dan pelarut yang cukup banyak. Metoda ultrasonik merupakan suatu metoda yang digunakan untuk memecah senyawa atau sel untuk pemeriksaan lebih lanjut. Getaran ultrasonik memiliki efek yang sangat kuat pada larutan sehingga menyebabkan pecahnya molekul dan putusnya sel [6], metoda ini menggunakan reagen yang sedikit serta tidak membutuhkan waktu yang lama dalam proses pengekstraksian dibandingkan maserasi dan sokletasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan optimasi ekstraksi antioksidan dalam tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) menggunakan ultrasonik dan penentuan kadar dengan metode DPPH, dengan variabel pengaruh pelarut, berat sampel, waktu kontak, kondisi sampel, dan validasi metode meliputi linearitas, LoD, LoQ, presisi, dan perolehan kembali. Tujuan Penelitian adalah menentukan kondisi optimum pengekstraksian antioksidan dari tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) dengan metode ultrasonik serta mempelajari pengaruh pelarut, waktu kontak, berat sampel, dan kondisi sampel dan menentukan kandungan total antioksidan dalam sampel tumbuhan meniran dihitung sebagai asam galat serta melakukan validasi metoda meliputi linearitas, LoD, LoQ, presisi, dan perolehan kembali.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Ultrasonic CD-4800 50 Hz, Spectronic 20D+, timbangan analitik Kern ABJ, Oven LDO-150N, botol vial berwarna gelap dan alat-alat gelas umum yang digunakan di laboratorium.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*), akuades, metanol, etanol, 1,1-difenil-2-pikrihidrazil (DPPH), asam galat, kertas saring, dan aluminium foil.

2.2 Prosedur Kerja

Preparasi sampel

Sampel tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) diambil dari lingkungan sekitar kelurahan Bandar Buat kecamatan Lubuk Kilangan. Tumbuhan meniran beserta akarnya dibersihkan dengan air dan ditiriskan sampai kering. Sampel segar ditimbang sebanyak 1,25 kg lalu dirajang dan dikering anginkan.

Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Asam Galat dengan Metode DPPH

Ke dalam botol vial berwarna coklat dipipet masing-masing 2 mL larutan standar asam galat (0, 1, 3, 5, dan 7) mg/L dan masing-masing larutan ditambahkan DPPH 0,1 mM sebanyak 4 mL, kemudian didiamkan selama 30 menit. Absorbannya diukur pada panjang gelombang 517 nm.

Penentuan Kondisi Optimum Pengekstraksian Antioksidan dengan Menggunakan Metode Ultrasonik**Pengaruh jenis pelarut yang digunakan untuk pengekstraksian terhadap kandungan antioksidan dalam tumbuhan meniran**

Sampel sebanyak 1,0 g ditambahkan dengan 10 mL akuades dan dilakukan ultrasonik selama 8 menit. Ekstrak yang dihasilkan diencerkan 100 kali, dipipet 2 mL dan ditambahkan 4mL DPPH 0,1 mM, kemudian didiamkan selama 30 menit. Absorbannya diukur pada panjang gelombang 517 nm. Hal yang sama dilakukan untuk pelarut metanol dan etanol.

Pengaruh berat sampel yang digunakan untuk pengekstraksian terhadap kandungan antioksidan dalam tumbuhan meniran

Sampel seberat 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 g masing-masing ditambahkan dengan 10 mL etanol dan dilakukan ultrasonik selama 8 menit. Ekstrak yang dihasilkan diencerkan 100 kali dan total antioksidannya diukur menggunakan metode DPPH.

Pengaruh waktu pengadukan ultrasonik terhadap kandungan antioksidan dari tumbuhan meniran

Sampel seberat 1,0 g ditambahkan 10 mL etanol dan dilakukan ultrasonik selama 8, 16, 24, 32, 40, 80, 120, 160 menit. Ekstrak yang dihasilkan diencerkan 100 kali dan total antioksidannya diukur menggunakan metode DPPH.

Validasi Metode**Linearitas**

Untuk menentukan linearitas, dibuat standar dengan 5 konsentrasi yang berbeda. Hasil pengukuran dibuat kurva yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan absorbansi.

LoD dan LoQ

Batas deteksi dihitung dari 3 kali simpangan baku kurva kalibrasi dibagi tiga slope persamaan linier.

$$\text{LoD} = \frac{3 \times S_y/x}{B}$$

Batas kuantitasi dihitung dari 10 kali simpangan baku kurva kalibrasi dibagi slope persamaan garis linear.

$$\text{LoQ} = \frac{10 \times S_y/x}{B}$$

Presisi

Ke dalam 5 botol vial berwarna gelap dipipet 2 mL ekstrak sampel tumbuhan meniran yang sudah diencerkan 100 kali. Kemudian ditambahkan larutan DPPH sebanyak 4 mL dan didiamkan selama 30 menit dalam ruangan gelap dan diukur absorbannya. Persen presisi ditentukan dengan melihat nilai Standar Deviasi Relatif (SDR). Data yang didapat dilakukan uji data terpencil (outlier) terlebih dahulu, selanjutnya ditentukan penyimpangan pada setiap titik data dari rata-rata yang dihitung menggunakan nilai dari rata-rata. Nilai SDR dihitung dengan membagi nilai SD yang diperoleh dengan nilai rata-rata.

$$SDR = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \%$$

Rasio Horwitz (HORRAT)

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai SDR dari hasil pengujian dengan nilai SDR Horwitz yang bernilai $2^{1-0,5\log C}$. Suatu metode analisa mempunyai nilai presisi yang valid jika SDR dari hasil metode DPPH lebih kecil dari SDR Horwitz atau HORRAT ≤ 2 . Kriteria penerimaan presisi suatu metode ditetapkan berdasarkan nilai rasio Horwitz (HORRAT).

$$HORRAT (r) = \frac{SDR}{PRSDR}$$

Dimana, PRSDR adalah standar deviasi relatif Horwitz ($H = 2^{1-0,5\log C}$) dengan C adalah fraksi konsentrasi dan SDR adalah simpangan baku relatif repeatabilitas.

Perolehan kembali (% recovery)

Persen perolehan kembali metoda analisa dinyatakan dalam rumus:

$$\% \text{ recovery} = \frac{[\text{sampel} + \text{standar}] - [\text{sampel}]}{[\text{standar}]}$$

Dimana:

[sampel + standar] = ekstrak sampel yang sudah diencerkan 100 kali dipipet 2 mL ke dalam botol vial gelap, ditambahkan 4 mL larutan DPPH 0,1 mM dan 2 mL larutan asam galat 5 mg/L kemudian didiamkan selama 30 menit. Absorbannya diukur dengan Spectronic 20D+ pada panjang gelombang 517 nm.

3.HASIL

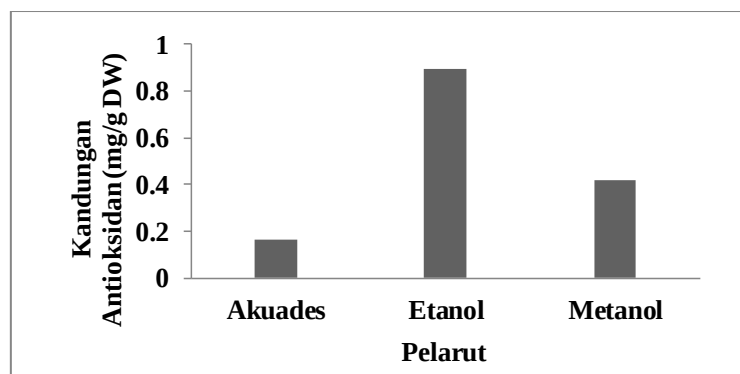
3.1 Persen Kadar Air dalam Sampel Tumbuhan Meniran

Persen kadar air dalam sampel ditentukan untuk mengetahui berat kering dari tumbuhan meniran. Sampel dipanaskan pada suhu 105°C untuk menguapkan molekul air yang terikat pada sampel. Persen kadar air dalam tumbuhan meniran segar dan tumbuhan meniran kering angin berturut-turut, yaitu 92,64 % dan 10,82 %. Tingginya kadar air dari tumbuhan meniran ini dikarenakan tumbuhan meniran tumbuh di daerah yang lembab dan tersebar di seluruh Indonesia.

3.2 Pengaruh Pelarut Pengekstrak terhadap Kandungan Antioksidan pada Sampel Tumbuhan Meniran

Nilai kandungan antioksidan tertinggi dalam ekstrak etanol yaitu 0,8946 mg/g DW (Gambar 1). Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperoleh informasi bahwa kandungan tumbuhan meniran terdiri dari senyawa triterpenoid, alkaloid, tanin, asam fenolat, dan flavonoid. Kadar total flavonoid dalam tumbuhan meniran yang diperoleh dari penelitian sebelumnya berkisar 0,24 % - 0,67 % [7].

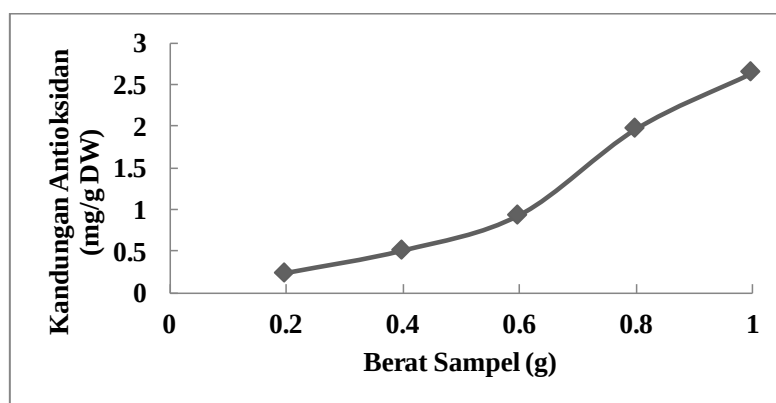
Tingkat kepolaran akuades lebih tinggi dibandingkan dengan etanol dan metanol, namun kandungan antioksidan ekstrak etanol tumbuhan meniran lebih besar dari ekstrak akuades dan metanol. Hal ini disebabkan karena antioksidan yang terkandung dalam asam galat larut dalam pelarut etanol, sedangkan asam askorbat larut dalam pelarut akuades. Penentuan kandungan antioksidan lainnya dari ekstrak tumbuhan suruhan dengan variasi pelarut akuades, etanol, dan metanol juga telah dilaporkan. Diperoleh kandungan antioksidan tertinggi pada pelarut akuades yaitu 10,6374 mg/g DW [8]. Dari kedua penelitian tersebut, dapat dianalisa bahwa kondisi lingkungan sampel dan pelarut yang digunakan mempengaruhi kandungan antioksidan tumbuhan.



Gambar 1. Diagram hubungan pelarut pengekstrak dengan kandungan antioksidan dalam sampel tumbuhan meniran

3.3. Pengaruh Berat Sampel Tumbuhan Meniran yang Diekstrak terhadap Kandungan Antioksidannya

Pada Gambar 2, berbagai variasi berat sampel tumbuhan meniran yang diekstrak diperoleh kandungan antioksidan terbesar pada berat sampel 1,0 g yaitu 2,6383 mg/g DW.

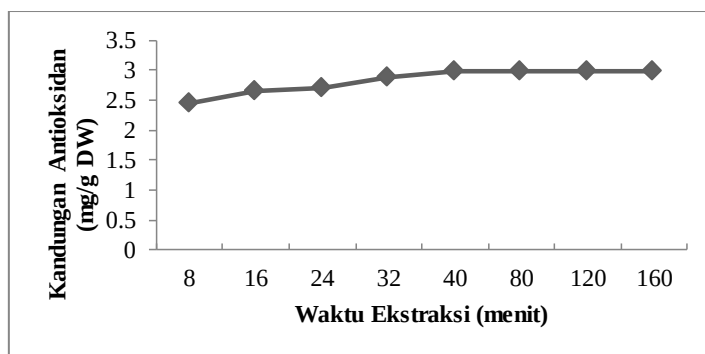


Gambar 2. Grafik antara berat sampel yang diekstrak dengan 10 mL pelarut etanol selama 8 menit pengestrasian dengan kandungan kandungan antioksidan dalam tumbuhan meniran.

Dalam pengekstraksian menggunakan ultrasonik dengan perbandingan berat sampel dan volume pelarut sangat menentukan, dimana pada berat sampel 1,0 g kandungan mengalami kenaikan karena semakin besar konsentrasi sampel yang diberikan maka nilai kandungan antioksidannya juga akan semakin bertambah.

3.4 Pengaruh Waktu Pengekstraksian terhadap Kandungan Antioksidan Sampel Tumbuhan Meniran

Pengaruh waktu pengekstrasian terhadap kandungan antioksidan sampel tumbuhan meniran dapat dilihat pada Gambar 3. Semakin lama waktu ekstraksi maka kandungan antioksidan akan meningkat. Ekstraksi selama 40 menit memberikan waktu yang cukup banyak bagi pelarut untuk menembus dinding sel dan menarik keluar senyawa-senyawa yang terkandung dalam bahan [9]. Kandungan antioksidan tertinggi yang didapatkan yaitu 2,9951 mg/g.



Gambar 3. Grafik hubungan kandungan antioksidan dalam tumbuhan meniran, 1,0 g sampel kering angin dengan 10 mL pelarut etanol terhadap waktu ultrasonik.

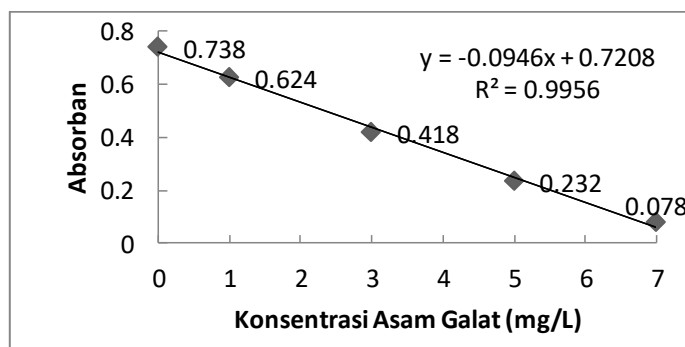
Pada menit ke-40 sampai menit ke-160 kandungan antioksidan yang diperoleh relatif sama, dimana menunjukkan penambahan waktu tidak memberikan konsentrasi yang nyata dengan lama ekstraksi terhadap proses ekstraksi saat larutan menjadi jenuh [10-11]. Tidak adanya penurunan nilai antioksidan dari menit ke-40 menandakan bahwa antioksidan tumbuhan meniran tidak terdegradasi sampai waktu pengekstraksian 160 menit.

3.5 Validasi Metode

Linearitas

Hubungan linear antara konsentrasi larutan standar asam galat dengan nilai absorban yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4. Dari kurva kalibrasi standar asam galat diperoleh nilai koefisien korelasinya mendekati 1 ~ 0,997 dengan persamaan regresi $y = -0,094x + 0,720$.

Nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 atau lebih besar dari 0,99 membuktikan bahwa uji antioksidan dengan metode DPPH mempunyai linearitas yang baik. Korelasi yang diperoleh adalah korelasi negatif, dimana menunjukkan semakin besar konsentrasi larutan standar maka nilai absorban yang diperoleh semakin kecil.



Gambar 4. Grafik Hubungan konsentrasi larutan standar asam galat terhadap absorban.

LoD (batas deteksi) dan LoQ (batas kuantitasi)

Nilai LoD dan LoQ dihitung secara statistik melalui garis linear dari kurva kalibrasi, nilai LoD diperoleh sebesar 1,1150 mg/L, sedangkan nilai LoQ diperoleh sebesar 3,8341 mg/L

Presisi

Persen presisi ditentukan dengan melihat nilai standar deviasi relatif (SDR). Nilai SDR disyaratkan bernilai $< 5\%$. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai SDR

dengan nilai SDR Horwitz yang bernilai $2^{1-0,5\log C}$. Suatu metode analisa mempunyai nilai presisi yang valid jika SDR dari hasil metode DPPH lebih kecil dari SDR Horwitz atau $\text{HORRAT} \leq 2$. Nilai SDR dan nilai HORRAT yang diperoleh berturut-turut, 0,9006 % dan 0,4452. Pada hasil penelitian dengan menggunakan metode DPPH menunjukkan hasil valid dalam pengujian antioksidan.

Perolehan kembali (% recovery)

Persen perolehan kembali didapatkan dari 5 kali percobaan dapat dilihat pada Tabel1, dapat disimpulkan bahwa akurasi metode analisis yang dilakukan tinggi karena memenuhi syarat % recovery yaitu sebesar 80 %-120 %.

Tabel 1 Nilai persen recovery

Percobaan	% Recovery
1	90,36 %
2	88,09 %
3	92,68 %
4	90,36 %
5	91,46 %
$\bar{x} = 90,59 \%$	

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang optimasi ekstraksi antioksidan dalam tumbuhan meniran (*Phyllanthus niruri*) menggunakan ultrasonik dan penentuan kadarnya dengan metode DPPH telah dilakukan. Kondisi optimum diperoleh pada pengekstraksian 10 mL pelarut etanol, berat sampel 1,0 g, waktu pengekstraksian 40 menit, kondisi sampel kering angin dan kandungan antioksidan sebesar 2,9951 mg/g DW.

Dengan menggunakan kondisi optimum diperoleh hasil validasi metode menunjukkan nilai linearitas (r) sebesar -0,997, nilai LoD 1,1150 mg/L, nilai LoQ 3,8341 mg/L, presisi (nilai SDR 0,9006 % dan nilai rasio Horwitz 0,4452), perolehan kembali yang diperoleh sebesar 90,59 %. Dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan valid untuk pengujian antioksidan dalam sampel uji.

Daftar Pustaka

- [1]. Halliwell, B.; Gutteridge, J.M.C.; Oxford University Press.: *Free Radikal In Biology And Medicine*, New York, 2000.
- [2]. Kumaran, A.; Karunakaran, R.J.: Antioxidant and free radical scavenging activity of aqous extractof *Coleus aromaticus*, *J. Food Sci* 2006, 97, 109-114.
- [3]. Pauly, g.: *Cosmetic, Dermatologycal And Pharmaceutical Use Of An Exctract Of Terminalla Catappa*, United State Patent Application 2001, No. 200100022665.
- [4]. Ahmeda, A.; Ismail, Z.; Gabriel, A.: *Antioxidants Properties of Phyllanthus niruri Extracts*. Malaysian Journal of Science 2005. 24(1). 195-200.
- [5]. Dalimarta, S.: Atlas Tumbuhan Obat Indonesia. Trubus, Agriwidya: Bogor, 2000.
- [6]. Mason, T.J.: Introduction, Chemistry with Ultrasound. Edited by T.J Mason. Elsevier Applied Science. London, 1990.
- [7]. Krisyanella.; Nana Susilawati.; Harizul Rivai: Pembuatan dan Karakterisasi Serta Penentuan Kadar Flavonoid dari Ekstrak Kering Herba Meniran (*Phyllanthus niruri L.*) Padang, 2013, Vol. 5, No. 1.

- [8]. De Abreu, N.; Mazzafera, P.: Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasillenne Choisy*. *Plant Physiol. Biochem* 2005, 43:241-248.
- [9]. Nyoman, C.S.: Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Kandungan Total Flavonoid dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Matoa. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana: Bali; 2015.
- [10]. Vika, S.F.: Optimasi Ekstraksi Antioksidan dalam tumbuhan suruhan (*Peperomia pellucida* L. Kunth) menggunakan ultrasonik dan penentuan kadarnya menggunakan metode DPPH. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas: Padang, 2016.
- [11]. Oancea, S.; Grosu, C.; Ketney, O.; Stoia, M.: Conventional and Ultrasound Assisted Extraction of Anthocyanins from Blackberry and Sweet Cherry Cultivars. *Acta Chim. Slov* 2013,60(2):383-389.

ANALISA KANDUNGAN KLOROFIL A PADA BEBERAPA POSISI ANAK DAUN PADA DAUN TANAMAN AREN

JULIUS PONTOH¹, LYDIA PRISKILA KAMAGI²

^{1,2}Program Studi Kimia FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado,
pontohjulius@yahoo.com, kamagilydiapriskila@gmail.com

Abstrak

Tanaman aren merupakan salah satu penghasil gula bagi kehidupan manusia, khususnya di daerah tropis Asia bagian Selatan dan Tenggara. Tanaman ini diketahui sebagai tanaman penghasil gula tertinggi per satuan luas lahan dan per satuan waktu. Kemampuan tanaman aren menghasilkan gula sangat berhubungan dengan kandungan klorofil pada bagian daun sebagai tempat sintesa karbohidrat. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan metode analisa klorofil pada daun dan menentukan posisi anak daun yang paling tinggi kandungan klorofilnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan klorofil tertinggi terdapat pada anak daun sebelah kiri pelepah daun dan pada bagian atas daun tanaman. Kandungan klorofil a dari daun tanaman aren bervariasi dari 22,75 sampai 39,19 ug/ml, 1,531 sampai 2,556 ug/g atau 633,5 sampai 1091 $\mu\text{mol/m}^2$. Kandungan klorofil a tertinggi terdapat pada anak daun dengan posisi tengah dan kiri dari daun. Kandungan klorofil a pada berbagai posisi dalam satu anak daun tidak terdapat perbedaan.

Kata kunci: Aren, Klorofil, Metode Analisa

1. PENDAHULUAN

Tanaman aren merupakan salah satu tanaman tropik yang mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Berbagai bagian tanaman seperti daun, batang, buah dan bunga banyak digunakan untuk berbagai aspek kehidupan manusia. Daun dapat digunakan untuk atap bangunan, sapu lidi atau jaring penangkap ikan. Batang luar digunakan untuk bahan bangunan, mebel atau saluran air sedangkan batang dalam digunakan untuk sumber makanan dalam bentuk pati aren. Buah digunakan untuk makanan kolang kaling. Tandan bunga jantan disadap untuk memperoleh nira yang kaya akan sukrosa untuk bahan pembuat gula aren, minuman penyegar atau difermentasi menjadi minuman beralkohol.

Nira aren sebagai sumber gula atau sukrosa merupakan produk tanaman aren yang paling tinggi nilai ekonominya. Kandungan gula dalam nira aren bervariasi dari 11 sampai 17 persent. Tanaman aren merupakan tanaman penghasil gula tertinggi (25 ton) per satuan luas dan per satuan waktu diantara berbagai tanaman yang diketahui pada saat ini (Pontoh dan Smits, 2015). Kemampuan memproduksi gula tanaman aren lebih tinggi dari tanaman tebu 11 ton/ha/than) maupun tanaman bit (12 ton/ha/thn).

Hasil pengamatan dilapang menunjukkan bahwa produksi gula tanaman aren sangat bervariasi dari satu tanaman ke tanaman yang lain (10 sampai 30 ton per ha per tahun). Hal ini diduga disebabkan oleh cara penyiapan bunga sebelum dipanen dan keadaan tanaman itu sendiri. Untuk itu informasi tentang keadaan tanaman dan potensinya untuk menghasilkan gula sangat dibutuhkan. Bila potensi tersebut dapat diketahui lebih awal

maka akan mempermudah pemilihan tanaman yang akan disadap. Manatar, et al. (2012) menggunakan pendekatan pengukuran kandungan pati dalam empulur batang sebagai indikator mengetahui potensi tanaman untuk menghasilkan gula, tetapi menghadapi kenyataan kemungkinan matinya tanaman karena dilukai sewaktu mengambil contoh pati.

Kemampuan tanaman untuk menghasilkan tentunya sangat berhubungan erat dengan proses fotosintesa. Semakin tinggi proses fotosintesa semakin tinggi kemampuan menghasilkan nira atau gula oleh tanaman tersebut. Telah diketahui bahwa klorofil sangat berperan dalam proses fotosintesa. Dengan demikian maka kandungan klorofil mungkin dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan produksi nira atau gula oleh tanaman aren.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Biokimia dan Pangan, Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian ini dilakukan mulai pada bulan April sampai bulan Mei tahun 2017.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, neraca analitik, alat sentrifugasi, lumpang dan alu, lemari pendingin, *cool box*, aluminium foil, gunting, *one hole punch*, alat pengukur panjang, dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-Vis 1800).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun tanaman aren dewasa yang diambil dari Kota Tomohon. Daun untuk sampel diambil dari daun pada posisi ditengah tajuk (daun ke 12 dari bawah dari total 21 daun) pada satu tanaman aren. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar klorofil a dan klorofil b (Sigma Aldrich), methanol PA(Merck), tissue, akuades, dan kantong plastik untuk menyimpan sampel.

2.3 Penyiapan sampel

Daun tanaman aren diambil dalam bentuk anak daun pada berbagai posisi yaitu anak daun pada posisi ujung, atas, tengah dan bawah, masing masing pada sisi kiri dan kanan daun. Selanjutnya pada setiap anak daun diambil sampelnya pada posisi ujung, tengah dan pangkal. Pada setiap posisi diambil sebanyak 10 sampai 11 potongan berbentuk lingkaran dengan memotong menggunakan *one hole punch* sehingga mencapai berat sekitar 100 mg.

Potongan daun dikumpul, ditimbang kemudian dimasukkan kedalam lumpang dan ditambahkan 2 ml metanol. Sampel digerus sampai hancur, kemudian dipindahkan ke dalam silinder ukur (10 ml). Sampel yang tersisa didalam lumpang dibilas sebanyak tiga kali berturut turut dengan 1.5 ml metanol. Hasil bilasan dikumpulkan ke dalam silinder ukur. Selanjutnya volume ekstrak dijadikan 8 ml dengan menambahkan metanol. Sampel dipindahkan kedalam tabung sentrifugasi kemudian disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 2500 rpm. Sebanyak 1 ml ekstrak sentrifugasi dimasukan ke dalam silinder ukur dan ditambahkan 4 ml pelarut metanol untuk pengenceran sampel sehingga dapat dibaca oleh spektrofotometer.

2.4 Pembuatan kurva standard

Klorofil a standard sebanyak 1 mg dilarutkan kedalam 25 ml metanol menjadi larutan baku. Selanjutnya dibuat beberapa larutan dengan konsentrasi masing masing 1,25, 2,5, 5,0 dan 10 µg/ml. Absorbant larutan standard dibaca pada spektrofotometer pada panjang gelombang 665 nm. Hasil pembacaan pada spektrofotometer dibuat kurva standard

dengan menggunakan program excel.

Kandungan klorofil a dalam daun aren dihitung sebagai mg/ml ekstrak dengan menggunakan kurva standard. Selanjutnya kandungan klorofil dihitung sebagai mg/g sampel dan $\mu\text{mole}/\text{m}^2$ luas permukaan daun.

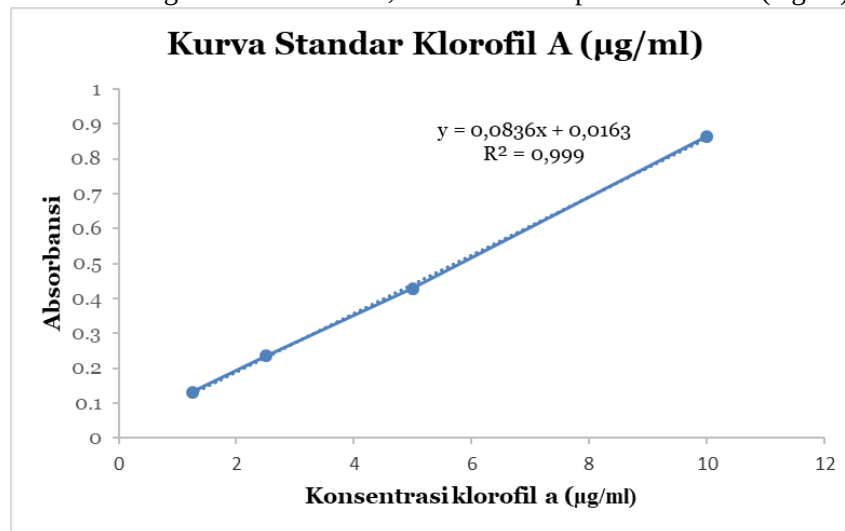
2.5 Rancangan Percobaan dan Analisa Data

Penelitian ini dirancang menurut rancangan acak lengkap dengan tiga faktor yaitu posisi anak daun pada daun ujung, atas, tengah dan bawah, posisi anak daun dari tulang daun yaitu kiri dan kanan dan posisi pengambilan sampel pada anak daun yaitu atas, tengah dan bawah. Analisa dilakukan dengan tiga kali ulangan setiap kombinasi perlakuan. Data dianalisa dengan menggunakan program SPSS.

3. HASIL

3.1 Kurva standard klorofil A

Kurva standard klorofil a dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kurva standard yang diperoleh mempunyai nilai r^2 yang mendekati 1. Hal ini menunjukkan kedekatan hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi. Selanjutnya terlihat bahwa kemiringan sudut adalah 0,0836 absorbansi per konsentrasi (mg/ml).



Gambar 1. Kurva standard klorofil a

3.2 Kandungan Klorofil A dalam Daun Aren

Kandungan klorofil a dalam daun aren dapat dinyatakan dalam satuan $\mu\text{g}/\text{ml}$, $\mu\text{g}/\text{g}$ dan $\mu\text{mole}/\text{m}^2$ (Tabel 1, 2 dan 3). Dari tabel ini terlihat bahwa kandungan klorofil a bervariasi dari 22,75 sampai 39,18 $\mu\text{g}/\text{ml}$ dan 633,5 sampai 1091 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Nilai ini lebih besar dari pada tanaman spinach yaitu 310,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ (Porra, et al. 1989) atau hampir sama dengan pada berbagai tanaman obat yaitu 27,5 sampai 39,4 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (Rajalakshmi dan Banu, 2015), sekalipun peneliti terakhir ini menggunakan pelarut yang lebih sedikit sekitar setengah dari yang telah digunakan pada penelitian ini. Namun demikian nilai ini tidak dapat dibandingkan dengan kandungan klorofil pada tanaman kelapa sawit seperti yang dilaporkan oleh Mustafa, et al. (2015) yaitu 0,18 sampai 0,33 mg/ml atau sekitar 180 sampai 330 $\mu\text{g}/\text{ml}$, yaitu sampai 10 kali lebih tinggi. Hal ini mungkin disebabkan oleh karena terjadi perbedaan perhitungan konsentrasi klorofil. Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk membandingkan kandungan klorofil dari tanaman aren dan kelapa sawit yang termasuk pada keluarga yang sama (*Palmae*).

Hasil analisa statistik menunjukkan bahwa klorofil pada daun sebelah kiri mempunyai kandungan klorofil yang lebih tinggi dari yang sebelah kanan. Hal ini mungkin disebabkan posisi anak daun pada sebelah kiri lebih tertapar pada cahaya matahari.

Hasil analisa statistik kandungan klorofil pada anak daun yang terletak pada atas dan ujung daun mempunyai kandungan klorofil yang lebih tinggi dari pada anak daun yang terletak pada bagian bawah dan pengah. Hal ini mungkin juga disebabkan oleh posisi anak daun pada ujung maupun atas lebih terpapar terhadap cahaya matahari.

Tabel 1. Konsentrasi Klorofil A ($\mu\text{g/ml}$)

Posisi Sampel Pada Anak Daun	Posisi Anak Daun Pada Daun	Posisi Anak Daun Pada Tulang Daun	
		Kiri	Kanan
PANGKAL	BAWAH	29,61	22,75
	TENGAH	33,93	33,73
	ATAS	32,16	34,17
	UJUNG	33,51	29,87
TENGAH	BAWAH	28,27	26,28
	TENGAH	33,93	27,12
	ATAS	39,18	31,06
	UJUNG	31,52	31,18
UJUNG	BAWAH	30,76	28,79
	TENGAH	31,90	25,78
	ATAS	37,48	32,22
	UJUNG	30,36	30,19

Tabel 2. Konsentrasi Klorofil A ($\mu\text{g/g}$)

Posisi Sampel Pada Anak Daun	Posisi Anak Daun Pada Daun	Posisi Anak Daun Pada Tulang Daun	
		Kiri	Kanan
PANGKAL	BAWAH	1,746	1,531
	TENGAH	1,981	2,104
	ATAS	1,944	1,882
	UJUNG	1,908	2,556
TENGAH	BAWAH	2,075	1,873
	TENGAH	2,397	1,845
	ATAS	2,311	1,898
	UJUNG	1,945	1,858
UJUNG	BAWAH	2,321	2,172
	TENGAH	2,258	1,951
	ATAS	1,650	2,290
	UJUNG	2,132	1,856

Tabel 3. Konsentrasi Klorofil A (μ mole/ m^2)

Posisi Sampel Pada Anak Daun	Posisi Anak Daun Pada Daun	Posisi Anak Daun Pada Tulang Daun	
		Kiri	Kanan
PANGKAL	BAWAH	824,5	633,5
	TENGAH	944,9	939,4
	ATAS	895,5	951,6
	UJUNG	933,3	831,7
TENGAH	BAWAH	787,3	731,8
	TENGAH	944,9	755,1
	ATAS	1090,9	865,0
	UJUNG	877,8	868,3
UJUNG	BAWAH	778,8	728,8
	TENGAH	807,6	652,6
	ATAS	1044	897,2
	UJUNG	845,6	840,6

Bila dibandingkan antara konsentrasi kandungan klorofil dalam unit satuan berat dan luas permukaan daun (Tabel 2 dan 3). Terlihat bahwa kandungan klorofil pada satuan luas terdapat pada anak daun di posisi atas sedangkan kandungan klorofil per satuan berat terdapat pada bawah dan tengah. Hal ini disebabkan oleh karena ketebalan daun tanaman aren pada posisi bawah dan tengah lebih tipis dari pada posisi atas dan ujung.

4. KESIMPULAN

Kandungan klorofil a dari daun tanaman aren bervariasi dari 22,75 sampai 39,19 μ g/ml, 1,531 sampai 2,556 μ g/g atau 633,5 sampai 1091 μ mol/ m^2 . Kandungan klorofil a tertinggi terdapat pada anak daun dengan posisi tengah dan kiri dari daun. Kandungan klorofil a pada berbagai posisi dalam satu anak daun tidak terdapat perbedaan.

Daftar Pustaka

- [1] Manatar, J.E., J. Pontoh, dan M.R.J. Runtuwene. 2012. Analisis Kandungan Pati dalam Batang Tanaman Aren (*Arenga pinnata*). Jurnal Ilmiah Sains. 12:89-92.
- [2] Mustafa, N., N. Ya'acob, Z.A. Latif dan A. L. Yusof. 2015. Quantification of oil palm tree leaf pigment (chlorophyll a) concentration based on their age. Jurnal Teknologi 75. 11. 129-134.
- [3] Pontoh, J., dan W.T.M. Smits. 2015. Some Aspects of Carbohydrate Physiology in Sugar Palm (*Arenga pinnata* Merr.). IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 8-II:13-20.
- [4] Porra, R.J., W.A. Thompson dan P.E. Kriedemann. 1989. Detrmination of accurate extinction coefficients and stimultanous equations for assaying chlorophyll a and b extracted with four different solvents: verification of concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Biochimica et Biophysica Acta 975:384-394.
- [5] Rajalakshmi, K. dan N. Banu. 2015. Extraction and Estimation of Chlorophyll from medicinal plants. International Journal of Science and Research 4. 11. 209-212.

UJI TOKSISITAS DAN AKTIFITAS ANTIOKSIDAN PADA BERBAGAI EKSTRAK RUMPUT LAUT *EUCHEUMA SPINOSUM* DARI PERAIRAN SULAWESI UTARA.

LENA DAMONGILALA¹, FITJE LOSUNG², DEFNI WEWENGKANG³

^{1,2}Fakultas Perikanan Universitas Sam Ratulangi

³FMIPA Universitas Sam Ratulangi

Abstrak

Uji toksisitas dan Aktivitas Antioksidan dilakukan terhadap fraksi ekstrak rumput laut *Eucheuma spinosum*. Sampel rumput laut (RL) diambil dari perairan laut pulau Nain Sulawesi Utara. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan informasi konsentrasi aktifitas toksik ekstrak rumput laut *E. spinosum* terhadap larva *Artemia salina* L. dan untuk mengetahui seberapa besar aktifitas senyawa antioksidan yang terkandung. Ekstraksi dilakukan berulang kali dengan pelarut metanol konsentrasi berbeda. Maserat kemudian dipekatkan dengan *rotary evaporator* hingga diperoleh ekstrak kasar. Tahap lanjut dilakukan partisi dengan n-heksan, etil asetat, butanol, dan air. Uji toksisitas dilakukan dengan menggunakan metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT). Masing-masing ekstrak diuji toksisitasnya terhadap larva *Artemia salina* L. Uji toksisitas dilakukan dengan konsentrasi 1.000, 500, 250, 125, 62,5, 31,2, dan 15,62 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi ekstrak butanol memiliki toksisitas tertinggi di antara berbagai fraksi ekstrak. Nilai LC_{50} terkecil, yaitu 127,99 ppm, ditunjukkan oleh larva udang *A. salina* pada konsentrasi 1.000 ppm dengan tingkat kematian 87%. Pengujian aktifitas antioksidan dilakukan dengan metode *1,1-Difenil-2-pikrilhidrasil* (DPPH) kuantitatif dilakukan terhadap ekstrak metanol RL segar pada konsentrasi berbeda (60, 70, dan 80%), dipandu dengan prosedur Chew *et al* (2008) yang sedikit dimodifikasi. Hasil pengujian didapatkan aktifitas antioksidan *E. spinosum* segar dengan nilai DPPH tertinggi untuk ketiga konsentrasi pelarut metanol, yaitu ekstrak metanol 60 %, yaitu sebesar $75,27 \pm 0,29$. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas senyawa antioksidan pada RL *E. spinosum* segar tersebut memiliki aktifitas tertinggi diantara perlakuan. Pengujian kualitatif antioksidan dilanjutkan pada hasil uji kuantitatif tertinggi, yaitu Ekstrak metanol 60% *E. spinosum*, dipandu dengan mencelupkan dalam larutan DPPH menggunakan metode kromatografi lapis tipis bioautografi. Berdasarkan hasil pengujian antioksidan kualitatif, spot noda senyawa ini berubah dari warna ungu menjadi kuning (Wang, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki aktifitas antioksidan. Hasil uji IC_{50} aktifitas antioksidan tiap fraksi masing-masing yaitu : fraksi Metanol-air sebesar 5290,71; n-heksan = 3312,65; etil asetat = 395,26; butanol = 2315,78; dan fraksi air = 3984,43. Dari uji antioksidan ke 5 fraksi dimaksud didapatkan Nilai IC_{50} tertinggi pada fraksi etil asetat sebesar 395,26 ppm.

Kata kunci: uji toksisitas, LC_{50} , aktifitas antioksidan, rumput laut *Eucheuma spinosum*

1. PENDAHULUAN

Perairan Sulawesi Utara memiliki keanekaragaman hayati yang kaya senyawa bioaktif. Rumput laut (RL) *Eucheuma cottonii* dan *E. spinosum* adalah jenis yang sudah dibudidayakan sejak tahun 1990-an di Pulau Nain, Sulawesi Utara. Luas areal budidaya rumput laut di Sulawesi Utara diperkirakan sebesar 13.500 ha (Mudeng, 2007). Kekayaan alam ini

belum dieksplorasi secara sempurna. Kandungan senyawa bioaktif pada bahan alam, memiliki aktifitas farmakologi dalam sistem metabolisme makhluk hidup. Aktifitas farmakologi tersebut meliputi : antikanker, antimalaria, antidiabetes, antioksidan, dan sebagainya.

Rumput laut *E. spinosum* merupakan produk perikanan yang dimanfaatkan sebagai bahan makanan dan obat-obatan, karena kaya akan senyawa-senyawa bioaktif misalnya : vitamin, mineral, serat pangan, dan antioksidan, polifenol, karotenoid, dan flavonoid (Ganesan, *et al.*, 2008; Chew, *et al.*, 2008; Shahidi, 2009). Mineral penting yang terkandung dalam rumput laut berguna untuk metabolisme tubuh, misalnya: iodium, kalsium, dan selenium. Vitamin penting bagi diet manusia ialah : vitamin A, B, asam folat (B9), C, dan E (Matanjun, *et al.*, 2009). Rumput laut sangat lambat mengalami kerusakan karena selnya memiliki mekanisme antioksidatif dan senyawa antioksidan (Shanab, 2007; Cornish, and Garbary, 2010). Senyawa dimaksud termasuk golongan metabolit sekunder yang sangat diperlukan tubuh karena kemampuannya untuk menangkal radikal bebas. Radikal bebas adalah sumber penyebab dari berbagai jenis penyakit degeneratif. Komponen metabolit sekunder memiliki aktivitas yang berbeda-beda dalam menangkal bermacam-macam penyakit. Selama ini penelitian terhadap rumput laut masih sangat terbatas, hanya terhadap karagenan dan pigmen baik untuk industri maupun bahan ekspor. Dalam upaya memanfaatkan kandungan senyawa rumput laut, dibutuhkan metode tertentu untuk mendapatkannya.

Antioksidan merupakan suatu senyawa yang mampu memberikan satu elektron kepada radikal bebas sehingga bersifat netral (Winarsi, 2007). Bahan pangan yang menjadi sumber antioksidan alami misalnya: rempah-rempah, dedaunan, teh, kakao, biji-bijian, buah-buahan, sayuran, dan alga/rumput laut (Hernani, 2006). Beberapa jenis antioksidan ditemukan pada alga laut mengandung β dan γ -karoten, vitamin E, dan golongan fenol misalnya lanosol, lanterol, candisin, dan tetrabromo fenol. Senyawa-senyawa ini diketahui berpotensi sebagai antioksidan (Keijito dan Kanjihiro, 1989; Matsukawa *et al.*, 1997).

Penelitian tentang uji sitotoksik dan aktifitas antioksidan telah banyak dilakukan. Dilaporkan bahwa pada famili alga hijau dan alga coklat yang diambil dari perairan Pulau Seribu dan alga merah dari Jawa Tengah mengandung aktifitas antioksidan (Suryaningrum *dkk.*, 2006; Santoso, 2010). *Padina antilatifurum* (alga coklat) mempunyai antioksidan dan total fenol tertinggi dibandingkan dengan *Euclima cottonii* dan *Caulerpa racemosa* yang diambil dari perairan Malaysia (Chew, *et al.*, 2008).

Pengujian aktifitas antioksidan dapat dilakukan dengan berbagai metode ekstraksi dan isolasi senyawa. Untuk ekstraksi senyawa antioksidan pada alga laut yang umum digunakan yaitu cara maserasi menggunakan berbagai pelarut organik seperti metanol, etanol, etil asetat, dan sebagainya (Suryaningrum *dkk.*, 2006; Kumar, *et al.*, 2008; Anonim, 2011). Pemilihan pelarut metanol dalam proses ini, karena metanol merupakan golongan alkohol dengan rumus molekul paling sederhana dan sebagai pelarut yang umum (serbaguna) digunakan dalam ekstraksi senyawa polar, semi polar, dan non-polar. Selain itu, variasi konsentrasi metanol sangat berpengaruh karena yang terekstraksi sekaligus berpengaruh terhadap aktifitas antioksidan (Chew *et al.*, 2008). Dengan demikian, aktifitas antioksidan yang diperoleh melalui ekstraksi dengan cara maserasi diharapkan mendapatkan data kemampuan menghambat rumput laut dari konsentrasi pelarut metanol terbaik. Selanjutnya, melakukan fraksinasi/partisi dengan beberapa jenis pelarut pada ekstrak alga laut terbaik/terpilih untuk memperoleh fraksi pelarut dengan aktifitas senyawa antioksidan tertinggi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tahap ekstraksi dengan metanol, diikuti tahap pemisahan dengan metode fraksinasi bertingkat, dan pemurnian menggunakan metode kromatografi kolom (KK) dan kromatografi lapis tipis (KLT) pada berbagai pelarut. Pengujian toksisitas dilakukan dengan metode *BSLT* (Meyer, 1982). Metode ini digunakan untuk memantau adanya aktivitas toksik dari suatu ekstrak tanaman secara kuantitatif dan kualitatif.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, perlu ditelaah lebih lanjut kemampuan menghambat toksisitas dan aktifitas senyawa antioksidan berbagai ekstrak rumput laut *E. spinosum* yang dibudidayakan pada lokasi perairan pesisir pulau Nain, Sulawesi Utara.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku utama penelitian ialah rumput laut *Eucheuma Spinosum*. Bahan kimia yang digunakan terdiri dari Metanol, Heksan, Etilasetat, Butanol, Aseton, silika Gel 60 diameter 0,063-0,200 mm, silika gel 60 F₂₅₄, silika gel 60 RP-18 F_{254s}, Silika Gel ODS (*Octadecylsilyl*) diameter 100-200 mesh, H₂ SO₄ 10% dalam etanol, dan CD₃OD, serta satu set zat kimia untuk uji toksisitas.

Alat yang digunakan antara lain : Botol berpenutup untuk maserasi, *rotary vacuum evaporator* (Buchi Switzerland, R 2000), Timbangan digital (denver M-310), *freeze dryer*, Cabinet dryer, Spectrofotometer UV, lampu UV dengan panjang gelombang 254 nm dan 365 nm, autoclave, sentrifuge, peralatan gelas, Vacuum, plat KLT, dan Kolom kromatografi.

2.2 Metode

Persiapan ekstrak sampel dilakukan dengan metode ekstraksi cara maserasi. Tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penyiapan sampel rumput laut *Eucheuma spinosum* dengan cara dicuci pada air mengalir dan ditiriskan. Kemudian dipotong-potong kecil ± 1 cm, lalu ditimbang untuk maserasi dengan pelarut metanol (MeOH) konsentrasi 60,70, dan 80%. Sampel untuk maserasi sebanyak 7 Kg direndam dalam wadah botol berpenutup selama 3 x 24 jam sampai cairan tidak berwarna. Hasil ekstraksi (maserat) dipekatkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50°C. Kemudian pelarut yang tersisa diuapkan menggunakan oven pada suhu 50°C sampai diperoleh ekstrak kering dan diperoleh Ekstrak MeOH 60% dari *E. spinosum*. Banyaknya massa maserat (M) dipisahkan menggunakan kromatografi kolom dengan silika G₆₀ (*n*-heksana-EtOAc *stepwise*). Tahap selanjutnya adalah partisi senyawa dengan *n*-heksan, etil asetat, butanol, dan air.

2. Pengujian toksisitas. Uji ini dilakukan dengan metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT) menggunakan larva udang *A. salina* sebagai bioassay. Metode BSLT dipilih sebagai pemandu bioaktivitas karena metodenya cepat, sederhana dan efektif. Metode ini digunakan untuk memantau adanya aktivitas toksik dari suatu ekstrak tanaman. Tahapan pengujian diawali dengan pembuatan Ekstrak uji, yaitu ekstrak sampel disiapkan melalui proses evaporasi. Selanjutnya disiapkan larutan induk dengan konsentrasi 2000 ppm dengan melarutkan 20 mg sampel dengan air laut sampai volume 10mL. Sampel dengan konsentrasi 1000; 500; 250; 125; 62,5; 31,2 ; dan 15,6 ppm dibuat dari pengenceran larutan induk (Meyer 1982). Tahap berikut adalah menetasakan larva udang, yaitu sebanyak 10 mg telur udang *A. salina* ditambahkan 100 mL air laut yang telah disaring. Kemudian diberi pencahayaan lampu TL selama 48 jam sampai telur udang menetas sempurna dan siap diujicobakan. Tahap akhir adalah dilakukan uji toksisitas terhadap

larva udang, yaitu masing-masing sampel dipipet sebanyak 100 μ L lalu diletakkan dalam mikropate. Kemudian ditambah 100 μ L air laut yang berisi 15 larva udang pada setiap sampel sehingga volume sampel menjadi setengahnya (1000; 500; 250; 125; 62,5; 31,2; dan 15,6 ppm). 3. Pengujian aktifitas antioksidan digunakan uji DPPH secara kualitatif. Uji DPPH ini dilakukan dengan cara mencelupkan pelat KLT yang telah ditotolkan ekstrak hasil pemisahan kromatografi kolom. Pelat KLT yang telah dicelupkan dalam larutan DPPH kemudian dikeringkan dan dibiarkan selama 12 jam dalam ruang gelap. Selanjutnya diperiksa perubahan yang terjadi pada lampu UV dengan panjang gelombang 254 nm dan 365 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ekstraksi Sampel

Rumput laut *E. spinosum* yang didapat dari perairan Pulau Nain, dipotong kecil-kecil dan diperoleh sebanyak 7 Kg. Pemotongan sampel dilakukan agar dapat memperbesar luas permukaan dan memecah dinding sel sampel sehingga senyawa-senyawa kimia yang terkandung di dalamnya dapat terekstraksi secara maksimal.

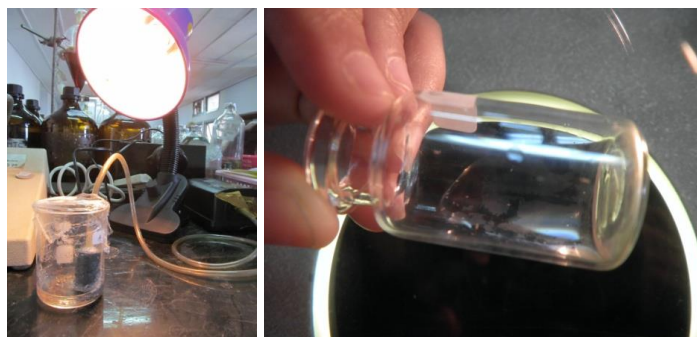
Sampel yang telah dipotong kecil-kecil kemudian diekstraksi dengan cara maserasi dengan pelarut metanol selama 3x24 jam pada suhu ruang dengan pelarut metanol 60% (Damongilala, 2014). Pengekstraksian dilakukan untuk memaksimalkan ekstraksi sampel karena dengan jangka waktu tersebut filtrat metanol sudah berkurang warnanya, artinya pelarut maksimal dalam mengambil senyawa-senyawa dalam sampel. Penggunaan metanol dalam proses maserasi dikarenakan metanol dapat melarutkan senyawa-senyawa polar dan nonpolar sehingga sangat baik untuk mengekstrak kandungan metabolit sekunder dalam tanaman (Cordell, 1981). Adapun pemilihan teknik maserasi sebagai metode ekstraksi dikarenakan senyawa-senyawa yang akan diisolasi belum diketahui karakteristik senyawanya, sehingga penggunaan ekstraksi bersuhu tinggi seperti sokletasi dihindari untuk mencegah terdekomposisi atau rusaknya senyawa-senyawa yang tidak tahan panas. Namun, maserasi memiliki kekurangan, yaitu prosesnya memerlukan waktu yang cukup lama dan pelarut yang lebih banyak bila dibandingkan dengan metode sokletasi.

Maserat kemudian disaring dan dipekatkan menggunakan *rotatory evaporator* pada tekanan rendah dan suhu 50°C sehingga diperoleh ekstrak pekat metanol sebanyak 226,4 g. Teknik penguapan pelarut dengan evaporator ini dilakukan untuk mendapatkan ekstrak pekat dengan cepat dan efisien. Evaporator dilengkapi pompa vakum atau *aspirator*, sehingga tekanan dalam sistem menjadi rendah. Pada tekanan yang rendah, titik didih suatu senyawa menjadi lebih rendah, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan pelarut menjadi lebih cepat. Penggunaan suhu 50°C bertujuan untuk mencegah dekomposisi senyawa yang terkandung dalam ekstrak.

Ekstrak pekat metanol 60% dilarutkan dalam akuades dan dipartisi dalam corong pisah dengan menggunakan pelarut berturut-turut : *n*-heksan, etil asetat, dan butanol. Diawali dengan pelarut *n*-heksan sehingga didapatkan fraksi *n*-heksana dan fraksi air. Fraksi air dipartisi kembali menggunakan etil asetat sehingga dihasilkan fraksi etil asetat dan fraksi air. Fraksi air lalu dipartisi kembali dengan *n*-butanol sehingga diperoleh fraksi *n*-butanol dan fraksi air. Penggunaan metode partisi dengan berbagai pelarut dengan tingkat kepolaran yang berbeda-beda dalam isolasi senyawa bertujuan untuk memisahkan senyawa-senyawa berdasarkan tingkat kepolarannya (Harbone, 1978). Fraksi-fraksi hasil partisi (*n*-heksana, etil asetat, dan butanol, dan air) diuapkan pelarutnya dengan menggunakan *rotary evaporator*. Ekstrak sampel siap digunakan untuk pengujian yang ditentukan.

3.2 Uji Toksisitas Metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)

Uji toksisitas metode BSLT dilakukan mengacu pada Meyer *et al.*, (1982). Metode BSLT dipilih sebagai pemandu bioaktivitas karena metodenya cepat, sederhana dan efektif. Metode ini digunakan untuk memantau adanya aktivitas toksik dari suatu ekstrak tanaman. Larva udang (*A. salina*) merupakan hewan avertebrata yang sangat sensitif dengan lingkungan sekitarnya, sehingga sangat cocok sebagai hewan uji toksik. Selain itu, permukaan kulit *A. salina* yang sangat tipis sehingga mudah dimasuki oleh zat-zat tertentu. Senyawa yang bersifat toksik akan masuk ke dalam tubuh *A. salina* melalui kulitnya, karena kulitnya yang begitu halus dan berfungsi sebagai alat pernapasannya. Sebagai panduan untuk tahapan selanjutnya, maka dilakukan uji toksisitas terhadap fraksi ekstrak *n*-heksana, etil asetat, butanol, dan ekstrak methanol 60%, sehingga diketahui ekstrak mana yang mengandung senyawa aktif yang kemudian akan diberi perlakuan pada tahap selanjutnya. Perlakuan awal *Artemia salina* sesaat sebelum dilakukan proses penetasan, terlebih dahulu kista *A. salina* direndam dalam air tawar selama 15-30 menit untuk menghilangkan bau kaleng dan membersihkan kotoran yang menempel pada kista *A. salina*. Sebanyak 0,25 gram kista *A. salina* dimasukkan dalam 500 mL air laut dengan suhu penetasan $\pm 25-30^{\circ}\text{C}$ dan pH 7-8. Selama proses penetasan dilakukan penyinaran menggunakan lampu TL 40 Watt selama 48 jam. Setelah 48 jam kista *A. salina* akan menetas menjadi nauplii instar III/IV serta siap untuk digunakan menjadi hewan uji (Suparno, 2012). Perlakuan Hewan Uji Perlakuan hewan uji dilakukan dengan mengambil 15 ekor larva *A. salina* dengan menggunakan pipet pasteur dan dimasukkan dalam tabung appendorf yang telah berisi larutan ekstrak *E. spinosum* terbaik pada uji aktivitas antioksidan (etil asetat) dengan konsentrasi uji 1000, 500, 250, 125 dan 62,5, 32,6, 15,62 ppm dengan konsentrasi metanol 2 %. Penggunaan konsentrasi mengacu pada Suryono dan Yudiati (2011). Kontrol negatif yang digunakan adalah metanol konsentrasi 6, 4, 2 dan 1 % dengan tiga kali pengulangan. Pengamatan dilakukan setelah 1, 3, 6, 12, 18, 24 dan 36 jam dengan menggunakan lup. Penentuan selang waktu didasarkan pada konsentrasi lethal suatu zat, apakah bersifat letal akut atau letal kronik. Penentuan nilai LC_{50} dilakukan menggunakan persamaan regresi linier yang diolah menggunakan software M.S. Excel 2007. Selain itu juga, pada penelusuran literatur didapatkan informasi tentang korelasi aktivitas toksik terhadap larva udang (*A. salina*) dengan beberapa aktivitas farmakologi lainnya seperti antibakteri, antijamur, antikanker dan beberapa aktivitas lainnya (Babajide *et al.*, 2008). Berdasarkan penelitian hasil uji toksisitas terhadap ekstrak, etil asetat dan butanol buah *E. spinosum* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar1. Pengujian Toksisitas

Pengujian toksisitas rumput laut dengan metode BSLT dilakukan hanya terhadap fraksi aktif antioksidan ekstrak RL *E. spinosum* yaitu fraksi etil asetat dan fraksi butanol. Data hasil uji toksisitas diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran nilai LC₅₀ dengan metode BSLT terhadap fraksi aktif antioksidan ekstrak RL *E.spinosum*

Jenis sampel	Ulangan	Konsentrasi (ppm)							Nilai LC ₅₀ (ppm)
		1000	500	250	125	62.5	31.25	15.625	
Etil-asetat	1	15	13	8	10	12	3	x	23415.78
	2	15	12	8	7	7	4	4	
	3	15	12	7	7	7	5	4	
Buta-nol	1	4	5	6	4	3	3	3	127.99
	2	4	3	6	4	3	3	3	
	3	5	6	5	5	2	3	1	

Hasil uji toksisitas yang dilakukan terhadap fraksi ekstrak rumput laut *E. spinosum* dengan metode BSLT menunjukkan nilai LC₅₀ masing-masing 79452.47 ppm untuk fraksi etil asetat dan 127.99 ppm untuk butanol. Perbedaan nilai LC₅₀ ekstrak uji dari masing-masing fraksi ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini berarti bahwa nilai LC₅₀ paling kecil pada setiap fraksi diperoleh dari fraksi etil asetat. Menurut Meyer *et.al.*, (1982), konsentrasi minimum yang dapat menimbulkan kematian 50% larva udang setelah masa inkubasi 24 jam adalah sebesar 1000 µg /ml. Sedangkan ekstrak uji hanya membutuhkan dosis sejumlah 0,16 - 11,83 µg /ml untuk dapat menimbulkan kematian 50% larva udang setelah masa inkubasi 24 jam. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terhadap ekstrak kasar kulit biji dan daging buah mahkota dewa yang menunjukkan nilai LC₅₀ berkisar antara 0,16 -11,83 µg /ml, jauh dari 12 µg /ml untuk dapat menimbulkan kematian di bawah batas aktivitas biologi dari larva udang *A. salina* L. dimana senyawa kimia memiliki potensi bioaktivitas bila mempunyai LC₅₀ relatif kecil atau kurang dari 1.000 ppm (Vivi Lisdawati, dkk., 2006). Semakin kecil nilai LC₅₀ menunjukkan bahwa senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak tersebut semakin kuat. Selanjutnya Uji toksisitas dilakukan dengan menggunakan metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT) terhadap sampel daun tumbuhan sumber pakan orangutan yang diambil dari Hutan Lindung Gunung Beratus diekstraksi dengan methanol berulang kali. Sampel kemudian dipekatkan dengan *rotary evaporator* hingga diperoleh ekstrak kasar. Masing-masing ekstrak diuji toksisitasnya terhadap larva *Artemia salina* L. Uji toksisitas dilakukan dengan konsentrasi 1.000 ppm, 500 ppm, 250 ppm, 125 ppm, 62,5 ppm, 31,2 ppm, dan 15,6 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak *D. rugosa* memiliki toksisitas tertinggi di antara ekstrak perlakuan. Nilai LC₅₀ terkecil, yaitu 125,57 ppm, ditunjukkan oleh *A. salina* pada konsentrasi 1.000 ppm dengan tingkat kematian 87% (Tri Atmoko dan Amir Ma'ruf, 2009). Fraksi etil asetat menunjukkan aktivitas yang baik dengan mortalitas larva udang baik pada konsentrasi 1000 ppm maupun pada konsentrasi 300 ppm masing-masing sebesar 90 dan 58%. Fraksi aktif lain menunjukkan aktivitas dengan persentase mortalitas yang lebih rendah dan untuk fraksi *n*-heksana memiliki nilai yang rendah untuk konsentrasi 300 ppm (Eti Apriyanti, 2011).

3.3. Pengujian Antioksidan metode Diphenilpicryhidrazil (DPPH)

Pengujian DPPH kuantitatif dilakukan terhadap ekstrak metanol sampel segar *E. spinosum* pada konsentrasi berbeda (60, 70, dan 80%) dipandu dengan prosedur Chew *et al* (2008; Damongilala, 2014) yang sedikit dimodifikasi, berdasarkan kemampuan antioksidan dalam sampel untuk mereduksi radikal bebas dengan DPPH. Hasil pengujian kuantitatif didapatkan pada aktifitas antioksidan *E. spinosum* segar menghasilkan nilai DPPH tertinggi untuk ketiga konsentrasi pelarut metanol, dihasilkan paling tinggi pada konsentrasi metanol 60 %, yaitu sebesar $75,27 \pm 0,29$. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas senyawa antioksidan pada alga *E. spinosum* segar memiliki aktifitas tertinggi diantara perlakuan konsentrasi pelarut. Hasil terbaik dari ke-3 perlakuan konsentrasi pelarut metanol 60% (Ekstrak metanol 60%) dilakukan fraksinasi dengan berbagai pelarut

yaitu pelarut n-heksan, etil asetat, butanol, dan air. Pengujian aktifitas antioksidan IC_{50} dilakukan terhadap ke-5 perlakuan tersebut.

Pengujian DPPH kualitatif antioksidan dilakukan terhadap hasil uji kuantitatif tertinggi, yaitu rumput laut *E.spinosum* segar dipandu dengan mencelupkan dalam larutan DPPH menggunakan metode kromatografi lapis tipis bioautografi (Wang *et.al.*, 2012).

Tabel 2. Hasil uji DPPH dari ekstrak sampel RL *Eucheuma spinosum*

No.	Jenis Ekstrak	Nilai IC_{50}
1	Ekstrak Metanol 60%	3894,43
2	Fraksi n-Heksan	3312,65
3	Fraksi Etil asetat	2315,78
4	Fraksi Butanol	395,26
5	Fraksi Air	5290,71

Data Uji Aktifitas Antioksidan dengan DPPH IC_{50} sudah dilakukan terhadap sampel ekstrak metanol 60%, fraksi heksan, etil asetat, butanol, dan fraksi air yang dipandu dengan metode DPPH. IC_{50} masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Aktifitas antioksidan menggunakan radikal bebas DPPH dengan nilai IC_{50} menunjukkan bahwa fraksi butanol yang paling aktif dari antara ke lima sampel yang diuji, diikuti berturut-turut oleh ekstrak etil asetat, fraksi heksan, fraksi methanol 60%, dan fraksi air. Dan fraksi butanol menunjukkan nilai IC_{50} terkecil sebesar 395,26. Hal ini kemungkinan senyawa-senyawa yang mempunyai aktifitas antioksidan lebih larut pada pelarut butanol. Bila nilai IC_{50} kecil berarti sampel tersebut memiliki aktifitas antioksidan besar (Meyer, 2012; Harbone, 1987). Hal ini ditunjang dengan penelitian terhadap Rumput laut coklat yang memiliki potensi sebagai antioksidan alami menggunakan *Turbinaria conoides* dan *Sargassum cristaefolium* yang diekstraksi menggunakan metanol dilakukan untuk mengetahui golongan pigmen dan aktivitas peredaman radikal bebas DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl). Aktivitas peredaman radikal bebas DPPH mengikuti metode Blois (1958) yang digunakan oleh Vijayabaskar dan Shiyamala (2012). Hasil analisis spektrofotometer ekstrak *T. conoides* dan *S. cristaefolium*. Ekstrak *T. conoides* menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi dengan nilai $IC_{50} = 220$ ppm dan *S. cristaefolium* memiliki nilai $IC_{50} = 1603$ ppm namun keduanya masih tergolong agen antioksidan lemah diantara nilai $IC_{50} > 200$ ppm (Rohimat, dkk., 2014).

Hasil penelitian Damongilala (2014), diperoleh data analisis penghambatan radikal bebas DPPH terhadap sampel rumput laut *E. spinosum* sp. dalam bentuk segar dan kering, dengan perlakuan berbagai konsentrasi pelarut metanol, menunjukkan bahwa semua kondisi ekstrak sampel terdapat perbedaan nilai DPPH ($p \leq 0,05\%$) dimana konsentrasi pelarut metanol *E. spinosum* segar memiliki nilai DPPH tertinggi diantara perlakuan kondisi sampel kering dan segar, yaitu sebesar $75,27 \pm 0,29\%$ pada konsentrasi pelarut metanol 60%. Hal ini kemungkinan karena kemampuan menangkal radikal DPPH dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi ekstrak. Tetapi rumput laut *E. spinosum* pada penelitian lainnya mempunyai aktivitas penangkal radikal bebas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan antioksidan sintetik yaitu vitamin C (Bina Lolita, dkk., 2015). Selanjutnya, penelitian dengan cara maserasi (m) dilakukan terhadap RL kering (147,6 g) diperoleh massa ekstrak kental sebanyak $m=4,18$ g, sedangkan dengan cara sokletasi (s) terhadap RL kering (147,8 g) diperoleh massa ekstrak kental sebanyak $s=5,18$ g. Ekstrak metanol hasil sokletasi lebih banyak dibandingkan dengan maserasi. Untuk mengetahui komponen senyawa dalam kedua ekstrak tersebut, dilakukan pemisahan menggunakan kromatografi kolom fase normal dengan pelarut *n-hexan-etilasetat* gradient 10%. Diperoleh dugaan hasil bahwa fraksi yang mengandung senyawa antioksidan adalah

fraksi *m-13* dan fraksi *s-8 s/d s-14*. Fraksi-fraksi ini memberikan warna kuning ketika dicelupkan ke dalam larutan DPPH (Damongilala, 2016). Selain itu, aktivitas antioksidan ditemukan paling kuat pada ekstrak fraksi etanol alga olahan dengan nilai IC_{50} 333,66 $\mu\text{g/mL}$, alga segar 418,32 $\mu\text{g/mL}$ dan alga kering 472,14 $\mu\text{g/mL}$, dapat disimpulkan bahwa fraksi etanol alga olahan dapat dimanfaatkan sebagai sumber antioksidan alami. Pelarut yang digunakan yaitu etanol merupakan pelarut polar yang sesuai untuk senyawa antioksidan karena diduga aman untuk bahan pangan.

Hasil pengujian antioksidan dengan DPPH kuantitatif terhadap ekstrak metanol *E. spinosum* (Damongilala, 2014) didapatkan senyawa murni berbentuk cairan kuning sebanyak 177 mg memiliki nilai R_f 0,7 menggunakan pelarut metanol-air (7:3). Berdasarkan hasil pengujian antioksidan DPPH kualitatif menggunakan kromatografi lapis tipis bioautografi, spot noda senyawa ini berubah dari warna ungu menjadi kuning. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa ini memiliki aktifitas antioksidan. Radikal bebas merupakan molekul yang sangat reaktif dan tidak stabil karena mempunyai satu elektron atau lebih yang tidak berpasangan. Senyawa 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (DPPH) adalah radikal yang bersifat stabil dan beraktifitas dengan mendonorkan elektron bebas pada suatu molekul yang memiliki radikal bebas, sehingga molekul tersebut tidak reaktif. Mekanisme penangkapan radikal DPPH oleh antioksidan yaitu berupa donasi proton kepada radikal. Oleh karena itu, senyawa yang memungkinkan mendonasikan protonnya memiliki aktifitas penangkapan radikal yang kuat (Kumar *et al.*, 2008; Ganesan *et al.*, 2008). Donasi proton menyebabkan radikal DPPH yang berwarna ungu menjadi senyawa non-radikal yang tidak berwarna. Dengan demikian, aktifitas penangkapan radikal dapat dihitung dari peluruhan radikal DPPH. Kadar radikal DPPH tersisa, diukur dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 517 nm (Kumar *et al.*, 2008; Chew *et al.*, 2008).

4. KESIMPULAN

Rumput laut *E. spinosum* yang diekstraksi dengan pelarut metanol 60% melalui Uji toksisitas terhadap fraksi yang aktif diperoleh Nilai LC_{50} terkecil pada fraksi butanol yaitu 127,99 ppm. Secara umum *E. spinosum* mengandung senyawa kimia yang memiliki nilai toksisitas LC_{50} sangat toksik kategori kronik terdapat pada fraksi butanol. Sedangkan aktifitas antioksidan pada fraksi butanol dengan nilai IC_{50} sebesar 395,26 ppm

Daftar Pustaka

- [1] Albuntana A., Yasman., Wardhana W. 2011. Uji toksisitas ekstrak empat jenis teripang suku Holothuriidae dari Kep. Penjaliran Timur, Kep Seribu, Jakarta menggunakan brine shrimp lethality test (BSLT). 72 hal. Anandhan, S. dan Kumari S. 2011.
- [2] Bina Lohita Sari, Nurulia Susanti, Sutanto. 2015. *Skrining Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Fraksi Etanol Alga Merah Eucheuma spinosum*. Pharm Sci Res ISSN 2407-2354, April 2015 (Vol. 2 No. 1)
- [3] Chew, Y.L., Y.Y. Lim, M. Omar, K.S. Khoo. 2008. Antioxidant activity of Three edible seaweeds from two areas in South East Asia. LWT 41 (2008) : 1067 – 1072.
- [4] Cornish, M.L. and Garbary, D.J. (2010). Antioxidants from macroalgae: Potential applications in human health and nutrition. *Algae* , 25, 155–171
- [5] Damongilala, L.J. 2014. Karakteristik Senyawa Antioksidan dri Perairan Pulau Nain Sulawesi Utara. Disertasi. 2014. Brawijaya Malang.
- [6] Damongilala, L.J. 2014. Ekstraksi Senyawa Antioksidan Alga *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma spinosum* Dari Perairan Sulawesi Utara Dengan Menggunakan Pelarut Metanol. Penelitian Disertasi Doktor. Dikti-Unsrat. Manado.
- [7] Damongilala L.J., V. Dotulong, S. Timbowo. 2016. Aktifitas Antioksidan dan Uji Fitokimia Ekstrak Rumput Laut *Eucheuma spinosum* dari Perairan Sulawesi Utara. Draft jurnal MPHPI 2017. Program Studi Teknologi Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi
- [8] Eti Apriyanti., 2011. Taxifolin-3-O- α -Arabinopiranosida dan Quersetin 3-O-Glukosa dari Tumbuhan Buah Merah yang Beraktivitas Meningkatkan Ekspresi DR5. Skripsi. F-MIPA Jurusan Kimia UNPAD. Padjadjaran.
- [9] Harborne. J. B. 1987. Metode Fitokimia edisi ke-2. Bandung: Institut Teknologi Bandung. 243 hal.
- [10] Heru Kurniawan Alamsyah, Ita Widowati dan Agus Sabdono. Aktivitas Antibakteri Ekstrak Rumput Laut *Sargassum cinereum* (J.G. Agardh) Dari Perairan Pulau Panjang Jepara Terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus epidermidis*. Journal Of Marine Research. Volume 3, Nomor 2, Tahun 2014, Halaman 69-78
- [11] Matanjun, P., Suhaila Mohamed, Noordin M. Musthapa, and K. Muhammad. 2009. Nutrient Content of Tropical Edible Seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillefera*, and *Sargassum polycystum*. J. Appl. Phycol 21:75-80.
- [12] Matanjun, P.; Mohamed, S.; Mustapha, N.M.; Muhammad, K.; Ming, C.H. (2008). Antioxidant activities and phenolics content of eight species of seaweeds from north Borneo. *Journal of Applied Phycology*, 20, 367–373
- [13] Meyer, B.N, Ferrigi, N.R, Putnam, J.E, Jacobsen, L.B. Nicols, D.E. and Mc. Laughlin, J.L., 1982. Brine Shrimp, A. convenient General Bioassays for Active Plant Constituent, Journal of Medicinal Plant Research (45):31-34.
- [14] Rohimat, Ita Widowati, Agus Trianto. 2014. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol Rumput Laut Coklat (*Turbinaria conoides* dan *Sargassum cristaefolium*) yang Dikoleksi Dari Pantai Rancabuaya Garut Jawa Barat. Journal Of Marine Research, Volume 3, Nomor 3, Tahun 2014, Halaman 304-313.
- [15] Suryono, dan Yudhiati E. 2011. Toksisitas Ekstrak Metanol *Spirulina* sp. terhadap nauplii *Artemia* sp. Buletin Oseanografi Marina. Volume: 1. hal : 1-6.
- [16] Sonia, G.A.S., Lipton, A.P., Raj R. Paul., 2009. Lethal concentration of methanol extract of sponges to the brine shrimp, *Artemia salina*. 1-4 hal.
- [17] Tri Atmoko dan/and Amir Ma'ruf. 2009. Uji Toksisitas dan Skrining Fitokimia Ekstrak Tumbuhan Sumber Pakan Orangutan Terhadap Larva *Artemia salina* L. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, Vol. VI No. 1 : 37-45, 2009
- [18] Juliantina, F., Dewa A.C., Bunga, N., Titis, N., Endrawati, T.B. 2010. Screening Potensi Antibakteri pada Beberapa Spesies Rumput Laut terhadap Bakteri Patogen pada Udang Windu. BIOMA, 62 – 67

- [19] Vivi Lisdawati, Sumali wiryowidagdo, L.Broto S. Kardono. 2006. *Brine Shrimp Lethality Test* (BSLT) dari Berbagai Fraksi Ekstrak Daging Buah Dan Kulit Biji Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*). *Bul. Penel. Kesehatan*, Vol. 34, No. 3, 2006:111 - 118
- [20] Wang J., Young-De Yue, F. Tang and Jia Sun. 2012. TLC Screening for Antioxidant Activity of Extract from Fifteen Bamboo Species and Identification of Antioxidant Flavone Glycosides from Leaves of *Bambusa*. *Textilis McClure. Molecules*. ISSN 1420-3049. www.mdpi.com/journal/molecules. Vol. 17:12297-12311.

SPONS (Porifera) SEBAGAI BIOAKUMULATOR LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

LYDIA MELAWATY¹, AKBAR TAHIR²

¹Program Studi Teknik Kimia Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar,
lydia.sarungallo@ukipaulus.ac.id

²Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin Makassar

Abstrak

Spons merupakan hewan invertebrata laut yang hidup pada ekosistem terumbu karang. Biota laut ini merupakan hewan *filter feeder* yang mencari makanan dengan mengisap dan menyaring air melalui sel cambuk dan memompakan air keluar melalui oskulum. Habitat spons yang hidup melekat pada terumbu karang menyebabkan hewan ini sulit untuk bergerak. Hal tersebut mengakibatkan spons dapat digunakan sebagai bioakumulator logam berat dalam lingkungan perairan. Spesies spons yang digunakan ada 3 jenis yaitu : *Xestospongia*, *Clathria reindwardtii*, dan *Clathria sp.* Logam berat timbal dalam spons dianalisis menggunakan alat ICP-OES. Kemampuan spons dalam mengakumulasi logam berat tergantung pada spesies dimana *Clathria reindwardtii* dan *Xestospongia* di pulau Samalona mengakumulasi logam berat Pb masing-masing 11,6 mg/kg dan 1,2 mg/kg.

Kata kunci : spons, bioakumulator, logam berat, ICP-OES

1. PENDAHULUAN

Sumber pencemaran dapat dibagi menjadi dua yaitu sumber alami dan sumber aktivitas manusia. Pencemaran bersumber dari alam seperti pengikisan batuan, hujan, dan tanah longsor. Pencemaran lebih banyak bersumber dari aktivitas manusia daripada proses alam. Kegiatan-kegiatan manusia yang menghasilkan limbah seperti limbah rumah tangga, limbah industri, kegiatan transportasi serta kegiatan pertanian dapat menjadi sumber pencemaran. Meningkatnya jumlah populasi manusia juga berdampak pada bertambahnya jumlah limbah domestik dan limbah industri yang dibuang ke lingkungan. Hal ini berkaitan dengan peningkatan kebutuhan seperti pangan, bahan bakar, pemukiman dan kebutuhan dasar yang lain, sehingga akan meningkatkan limbah domestik dan limbah industri [1]. Meningkatnya jumlah limbah domestik dan limbah industri yang masuk ke dalam perairan, mengakibatkan terjadinya perubahan kualitas perairan.

Perairan yang sering menerima bahan pencemar dan sebagai tempat penampungan akhir cemaran adalah laut, karena sungai-sungai bermuara di laut [2]. Salah satu bahan pencemar yang cukup mengkhawatirkan yang terjadi adalah logam berat seperti Pb. Keberadaan logam berat dalam perairan akan sulit mengalami degradasi bahkan logam tersebut akan terabsorpsi ke dalam tubuh organisme. Logam berat Pb merupakan logam berat yang berbahaya dan dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernafasan dan pencernaan. Logam berat Pb biasa digunakan dalam campuran cat, pestisida serta campuran dalam bahan bakar kendaraan [3].

Pencemaran logam berat di perairan Kepulauan Spermonde dapat membahayakan

kehidupan organisme yang memberikan efek secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Sifat logam berat yang utama adalah sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi di lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai, kedua dapat terakumulasi dalam organisme termasuk spons, dan ketiga mudah terakumulasi dalam sedimen sehingga konsentrasi logam selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam kolom air.

Bioakumulasi polutan yang bersifat persisten dapat dikaji secara kuantitatif dengan menggunakan spons sebagai biomonitor. Hal ini didasarkan pada kemampuan spons sebagai *filter feeder* yang dapat menyaring air sebanyak 100-1200 mL per jam setiap gramnya. Dilaporkan pula bahwa komunitas spons dapat hidup pada tempat yang sama dan mengakumulasi polutan dalam jangka waktu yang lama [4].

Lokasi pengambilan sampel di perairan pulau Samalona dan Barang Lompo Kepulauan Spermonde. Spons jenis *Xestospongia*, *Clathria reinwardtii* dan *Clathria sp.* diambil dengan melakukan penyelaman pada kedalaman 10 – 30 meter menggunakan SCUBA diving set. Sampel spons dicuci dengan air panas dan deterjen, kemudian direndam dalam air, selanjutnya direndam dalam aseton kemudian dikeringkan dan dihaluskan dengan menggunakan lumpang porselin.

Sampel kering spons ditimbang dengan teliti sebanyak 0,5 g dalam gelas kimia, lalu ditambahkan 5 ml asam nitrat dan dipanaskan pada suhu 150°C selama 2 jam. Setelah didinginkan pada suhu kamar, sampel dimasukkan dalam labu takar 25 ml dan volumenya dicukupkan dengan aquabidest serta dikocok hingga homogen. Larutan disaring menggunakan kertas Whatman dan siap dianalisis dengan ICP-OES.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Spons merupakan invertebrata sesil yang telah hidup sejak jaman *Precambrian* 700 juta tahun yang lalu dan merupakan organisme pembentuk karang pada masa *Palaeozoic* dan *Mesozoic*. Spons dapat hidup pada habitat air tawar maupun air laut serta tersebar mulai dari habitat iklim dingin Antartika hingga iklim tropis. Meskipun diklasifikasikan sebagai metazoan primitif dan sederhana, spons mempunyai sistem seluler yang canggih, proses reproduksi dan perkembangan yang kompleks, perilaku *feeding* yang beragam, kemampuan memproduksi metabolit sekunder dengan jalur biosintesis yang rumit, serta memiliki jaringan komunikasi seluler dan hubungan simbiosis yang erat dengan organisme lain [5]. Logam berat dan buangan kimia yang bersifat *nonbiodegradable* seperti senyawa organoklorin (limbah pestisida), organotin (limbah cat *antifouling*), dan hidrokarbon polisiklikaromatis (limbah minyak dan gas) merupakan jenis-jenis kontaminan yang bersifat persisten dalam lingkungan perairan [6]. Keberadaan kontaminan tersebut apabila melebihi ambang batas dapat bersifat toksik terhadap organisme laut dan berdampak buruk terhadap kualitas ekosistem [7].

Penelitian terhadap spons sebagai bioindikator pencemaran logam berat cukup beragam, di antaranya penelitian terhadap polutan timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada spons *Crambe crambe* [8], *Phorbis tenacior* dan *Dysidea avara* [9]; cadmium (Cd) pada *Halichondria panacea* [10]; dan arsen (As), besi (Fe), mangan (Mn) serta nikel (Ni) pada *Haliclona tenuiremosa* [4].

Jenis spons yang mampu mengakumulasi logam Cu paling tinggi (48,30 mg/kg berat kering) dan Fe (233,50 mg/kg berat kering) adalah *Clathria reinwardtii* yang berasal dari pulau Kodingareng Lompo dan Lae-Lae. Kemampuan spesies *Clathria reinwardtii* mengakumulasi logam Cu, lima kali lebih besar dibandingkan spesies *Callyspongia*

aerizusa pada lokasi yang sama. Hal ini juga terlihat pada lokasi di pulau Lae-Lae dan Barrang Lompo [11, 12]. Variasi konsentrasi logam berat antar spesies dapat mencerminkan ketidaksamaan fisiologi pemompaan berbagai spesies seperti volume ruang choanosit [9].

Konsentrasi logam berat Cu yang tinggi dalam spons pada zona III menunjukkan bahwa logam berat Cu yang berasal dari daratan dan masuk ke dalam lingkungan laut melalui kanal dan sungai disebarkan sebagai akibat dinamika laut, diabsorpsi oleh biota air yang ada di dalamnya. Bahan pencemar yang masuk ke dalam laut akan mengalami pengenceran dan penyebaran akibat adukan atau turbulensi arus laut, akan mengalami pemekatan karena proses biologi. Sumber pencemaran logam berat Cu juga berasal dari cat *antifouling* yang digunakan pada perahu nelayan.

Konsentrasi logam Zn dalam spons di Kepulauan Spermonde memperlihatkan spesies yang mampu mengakumulasi logam Zn (99,30 mg/kg berat kering) paling tinggi adalah *Callyspongia aerizusa* yang berasal dari pulau Kodingareng Lompo [12].

3. HASIL

Invertebrata sesil merupakan organisme yang ideal sebagai bioindikator karena: kemampuan beradaptasi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan akibat rendahnya mobilitas, sehingga kelimpahannya atau absensinya memberikan gambaran mengenai kondisi ekologis secara umum, komposisi dan struktur komunitasnya tidak terpengaruh oleh adanya migrasi dan perpindahan lokal, dalam upayanya mempertahankan diri terhadap predasi, spons menghasilkan ‘senjata’ kimiawi di mana proses biosintesisnya lebih banyak dipengaruhi kondisi fisik lingkungan dibandingkan interaksi ekologis antara jenisnya sendiri [13].

4. GAMBAR DAN TABEL

Hasil pengukuran parameter fisika kimia perairan pada tiga zona pengambilan sampel dapat dilihat pada tabel 1.

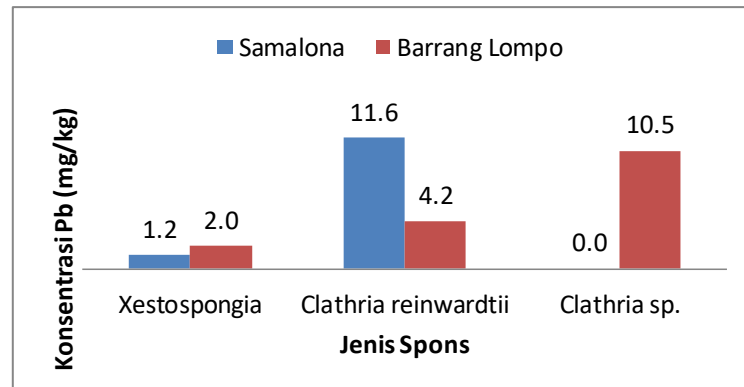
Tabel 1. Kondisi Perairan Tempat Pengambilan Sponge:

Kondisi	Samalona	Barrang Lompo
Suhu (°C)	29	28,6
Salinitas (°/oo)	34	31
pH	6,8	7

Parameter fisika kimia (Tabel 1) telah memenuhi persyaratan untuk pertumbuhan sponge. Suhu optimal untuk pertumbuhan sponge adalah 25 – 29°C. Bioakumulasi bergantung pada suhu dimana konsentrasi logam terakumulasi meningkat dengan bertambahnya suhu. Pengaruh suhu diperkirakan melibatkan mekanisme pengangkutan ion pada permukaan membran. Salinitas perairan untuk ketiga pulau juga memenuhi syarat pertumbuhan sponge yaitu 29 – 36 ‰. Secara umum, konsentrasi logam biotik meningkat dengan menurunnya kadar garam. Kadar garam yang berbeda dapat menyebabkan kecepatan penyerapan logam yang berbeda disebabkan oleh perubahan fisiologi di dalam makhluk hidup itu sendiri seperti kecepatan minum atau kecepatan filtrasi air. pH lingkungan perairan yang memenuhi persyaratan pertumbuhan sponge berkisar 6 – 8 dan berpengaruh pada proses pembentukan spesies baru logam dalam air. Pengaruh pH juga bergantung pada jenis logam [14].

Hasil Analisis Logam Berat Pb dalam Spons menggunakan ICP-OES:

Data analisis logam berat Pb menggunakan ICP-OES dapat dilihat pada Gambar 1. Partikel logam yang ada di udara, karena adanya hujan dapat menjadi sumber logam dalam perairan. Logam yang berasal dari aktifitas manusia dapat berupa buangan industri ataupun buangan dari limbah rumah tangga dan juga disebabkan oleh lumpur saluran air kotor, limbah peleburan logam, daur ulang, timbal yang mengandung produk manufaktur (bensin, cat, tinta cetak, pipa air utama, tembikar timbal-mengkilap, kaleng timah solder, casing baterai, dll) juga berkontribusi terhadap beban timbal. Kelarutan logam-logam berat dalam badan air dikontrol oleh derajat keasaman air, jenis dan juga konsentrasi logam serta keadaan komponen mineral [15].



Gambar 1. Grafik konsentrasi Pb dalam spons (Porifera)

Logam-logam berat yang terlarut pada badan perairan dengan konsentrasi tertentu dapat berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh satu jenis logam berat terhadap semua biota perairan tidak sama, tetapi kehancuran dari satu kelompok dapat menjadikan terputusnya satu mata rantai kehidupan. Pada tingkat lanjutnya, keadaan tersebut tentu saja dapat menghancurkan satu tatanan ekosistem perairan [16].

Pulau Samalona dan Barrang Lompo terletak pada zona II Kepulauan Spermonde dengan jarak terdekat dari pantai kota Makassar sekitar 5 km. Hal ini mengakibatkan tingginya konsentrasi logam Pb yang terakumulasi dalam spons jenis *Clathria reinwardtii* di pulau Samalona yaitu 11,6 mg/kg dan *Clathria sp.* di pulau Barrang Lompo sebesar 10,5 mg/kg. Kedua spesies spons ini juga mempunyai kemampuan yang besar dalam mengakumulasi logam Cu, Zn, dan Mn di lingkungan perairan [17].

Spons jenis *Xestospongia* memiliki kemampuan yang rendah dalam mengakumulasi logam berat. Hal ini terlihat pada hasil analisis untuk logam Pb, Cu, Zn, dan Mn [17]. Tetapi *Xestospongia* dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator peningkatan temperatur air laut akibat efek perubahan iklim berdasarkan overekspresi protein HSP70 [18].

5. KESIMPULAN

Jenis spons yang dapat digunakan sebagai bioakumulator logam berat Pb adalah *Clathria reinwardtii* dan *Clathria sp.* Sedangkan jenis *Xestospongia* mempunyai kemampuan yang rendah sebagai bioakumulator logam berat Pb.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

- Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah memberikan bantuan dana Penelitian Pasca Doktor.
- Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UKI-Paulus Makassar

Daftar Pustaka

- [1] Wardhana. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [2] Hutagalung, H.P. 1991. *Pencemaran Laut oleh Logam Berat. Puslitbang Oseanologi. Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. LIPI. Jakarta.
- [3] Darmono. 1995. *Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta.
- [4] Rao, J. V., Srikanth, K., Pallela, R., and Rao, T. G. 2008. The use of marine sponge, *Haliclona tenuiramosa* as bioindicator to monitor heavy metal pollution in the coasts of Gulf of Mannar, India. *Environmental Monitoring and Assessment*: 1–9.
- [5] Webster, N. S. 2007. Sponge disease: a global threat ? *Environmental Microbiology* 9 (6): 1363–1375.
- [6] Smith, T. and Hughes, J.A. 2008. A review of indicators and identification of gaps: Deep-sea habitats. *Research & Consultancy Report No. 45*. National Oceanography Centre, Southampton, pp. 1–72.
- [7] Goh, B. 2008. Research on ecotoxicology and applications in Singapore: description of the sponge aggregation assay. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry-Biological Response to Chemical Pollutants*: 17–29.
- [8] Cebrian, E., Mart, R., Uriz, M.J., and Turon, X. 2003. Sublethal effects of contamination on The Mediterranean sponge *Crambe crambe*: Metal accumulation and biological responses. *Marine Pollution Bulletin* 46: 10.
- [9] Cebrian, E., Uriz, M., and Turon, X. 2007. Sponges as biomonitors of heavy metals in spatial and temporal surveys in Northwestern Mediterranean: Multispecies Comparison. *Environmental Toxicology* 26 (11): 2430–2439.
- [10] Olesen, T. M. E. and Weeks, J. M. 1994. Accumulation of Cd by the marine sponge *Halichondria panacea* Pallas: effects upon filtration rate and its relevance for biomonitoring. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 52: 722–728.
- [11] Melawaty, L., Noor, A., Harlim, T., dan Voogd, N. de. 2012. Distribusi Logam Essensial Cu dalam Sponge (Porifera) di Kepulauan Spermonde. *Marina Chimica Acta*.13 (2) : 27 – 32
- [12] Melawaty, L., Noor, A., Harlim, T., dan Voogd, N. de. 2014. Essential Metal Zn in Sponge *Callyspongia aerizusa* from Spermonde Archipelago. *Advances in Biological Chemistry* :86 – 90.
- [13] Alcolado, P. M. 2007. Reading the code of coral reef sponge community composition and structure for environmental bio-monitoring: some experiences from Cuba. *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*: 3–10.

- [14] Connell, D. W. 1990. *Bioakumulasi Senyawaan Xenobiotik*. Terjemahan oleh Yanti R. H. Koestoer. Jakarta. UI-Press.
- [15] Casas, J. S. and Sordo, J. 2006. *Lead, Chemistry, Analytical Aspects, Environmental Impact And Health Effects*. Galicia, Spain: Departamento de Quimica Inorganica Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago Compostela.
- [16] Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- [17] Melawaty, L., Noor, A., dan Voogd, N. de. 2012. *The Bioaccumulation of Essentials Metals Cu, Zn, and Mn of Sponge Found in Spermonde Archipelago*. Poster disajikan dalam International Conference of The Indonesian Chemical Society, Brawijaya University, 4 September 2012.
- [18] Lopez Lopez-Legentil, S., Song, B., Mc Murray, S.E., and Pawlik, J.R. 2008. Bleaching and Stress in coral reef ecosystems: HSP70 expression by the giant barrel sponge *Xestospongia muta*. *Molecular Ecology* 17: 1840–1849.

SENYAWA METABOLIT SEKUNDER DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN FRAKSI ETIL ASETAT UMBI SUWEG (*AMORPHOPHALLUS PAEONIIFOLIUS*)

NANIK S. AMINAH¹, ELMA FITRIANA², ALFINDA N. KRISTANTI³

^{1,3}Departement Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, nanik-s-a@fst.unair.ac.id

²Mahasiswa Program studi Magister Kimia, Departement Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengisolasi senyawa metabolit sekunder dan uji aktivitas antioksidan dari ekstrak etil asetat umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*). Penelitian ini diawali dengan mengekstrak serbuk umbi suweg dengan pelarut etil asetat, kemudian dilakukan teknik pemisahan kromatografi kolom yang menghasilkan beberapa fraksi. Selanjutnya fraksi yang dihasilkan diuji kemurnian dengan menggunakan tiga sistem eluen yang berbeda dan menghasilkan 1 spot. Senyawa murni hasil isolasi kemudian dianalisis spektrofotometri, meliputi spektroskopi UV-Vis, IR dan NMR untuk mengetahui struktur molekulnya. Uji aktivitas antioksidan menggunakan metode spektroskopi UV-Vis dengan menggunakan pereaksi DPPH. Senyawa yang telah berhasil disolasi dari ekstrak etil asetat umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) merupakan senyawa fenolik yaitu asam 3,4-dihidroksibenzoat. Aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat umbi suweg diketahui memiliki nilai IC₅₀ sebesar 103,77 ppm artinya ekstrak etil asetat umbi suweg berpotensi aktif sebagai antioksidan.

Kata kunci: Isolasi, Identifikasi, Senyawa Fenolik, Umbi Suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*), DPPH, Antioksidan.

1. PENDAHULUAN

Saat ini permasalahan yang terjadi di alam semakin banyak, salah satunya disebabkan oleh global warming. Akibat dari global warming ini mengakibatkan menipisnya lapisan ozon sehingga paparan radikal bebas juga meningkat. Adanya paparan sinar matahari, polusi udara dari asap rokok, kendaraan bermotor dan limbah industri serta konsumsi makanan yang tidak sehat memicu terbentuknya radikal bebas.

Antioksidan merupakan senyawa yang dapat menghambat spesies oksigen reaktif, spesies nitrogen reaktif dan radikal bebas lainnya sehingga mampu mencegah kerusakan pada sel normal, protein, dan lemak yang akhirnya mencegah penyakit-penyakit degeneratif. Antioksidan memiliki struktur molekul yang dapat memberikan elektron (donor elektron) kepada molekul radikal bebas. Studi epidemiologi menunjukkan bahwa beberapa tanaman dan buah-buahan terbukti bermanfaat melindungi tubuh manusia terhadap bahaya radikal bebas (Rohman dan Riyanto, 2006). Hal ini dikarenakan potensi antioksidan yang terdapat dalam tanaman dan buah-buahan tersebut seperti karoten, flavonoid, dan komponen fenolik lain (Teow *et al.*, 2006), dan juga vitamin C dan E (Windono, 2001).

Salah satu tumbuhan di Indonesia yang mempunyai potensi sebagai antioksidan adalah genus *Amorphophallus*. Berdasarkan studi literatur yang telah dilaporkan sebelumnya terdapat senyawa metabolit sekunder pada genus *Amorphophallus* yaitu flavonoid, fenol, kumarin, terpenoid, sterol, tannin, steroid, dan alkaloid (Harborne, 1984; Shilpi *et al.*, 2005; Nataraj *et al.*, 2009; Yadu dan Ajoy, 2010). Selain itu genus *Amorphophallus* juga telah dilaporkan memiliki aktivitas biologis seperti antioksidan, antiprotease, analgesik, antibakteri, antifungi, sitotoksik, antiinflamasi, athelmintik, dan hepatoprotektif (Pratibha *et al.*, 1995, Shilpi *et al.*, 2005; Angayarkanni *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2007, 2008b; Ramalingam *et al.*, 2010; Angayarkanni *et al.*, 2010; Shastri *et al.*, 2010; Surendra *et al.*, 2011. Pada artikel ini dilaporkan hasil isolasi senyawa metabolit sekunder dari ekstrak etil asetat umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) serta hasil uji aktivitas antioksidannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) yang berasal dari Desa Tanjung Puro, Kecamatan Ngadirojo, Kecamatan Lorok, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Umbi dicuci bersih menggunakan air. Setelah itu umbi dikeringkan dengan cara diangin-anginkan tanpa dikenai sinar matahari.

Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelarut berkualitas teknis yaitu metanol, etil asetat, dan n-heksana yang telah didestilasi. Disamping itu juga digunakan pelarut berkualitas pro analisis (p.a.) seperti kloroform dan aseton untuk proses pemisahan, dan pemurnian senyawa.

2.2 Alat-alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: bejana maserasi, corong pisah, gelas *chamber*, kolom kromatografi, lampu UV, *rotary vacuum evaporator*, kromatotron, dan seperangkat alat destilasi. Untuk keperluan analisis dan identifikasi senyawa digunakan spektrofotometer UV-VIS Shimadzu 1800, FT-IR Shimadzu tipe IRTracer-100, dan instrumen NMR BRUKER 600 MHz.

2.3 Isolasi dan pemisahan senyawa metabolit sekunder

Umbi Suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) dicuci bersih, dikeringkan dan dihaluskan menjadi serbuk kasar. Serbuk yang diperoleh diekstraksi sebanyak tiga kali dengan metode maserasi menggunakan pelarut metanol selama kurang lebih 3 x 24 jam. Kemudian diuapkan dengan menggunakan *rotary vacuum evaporator* hingga didapatkan ekstrak kental metanol. Ekstrak metanol yang diperoleh, dilarutkan kembali dalam metanol dan diekstraksi cair-cair dengan n-heksana sebanyak tiga kali. Kedua fraksi tersebut dipisahkan dan diambil ekstrak metanolnya untuk dilakukan ekstraksi cair-cair dengan pelarut etil asetat dan tambahan aquades. Ekstrak etil asetat yang diperoleh dari proses tiga kali ekstraksi, diuapkan dengan *rotary vacuum evaporator* dan ditimbang untuk mengetahui rendemennya.

Proses pemisahan dan pemurnian terhadap ekstrak etil asetat dilakukan dengan menggunakan teknik kromatografi kolom gravitasi menggunakan silika gel merek 7733 ukuran 0,2-0,5 nm dan eluen campuran n-heksana dan etil asetat dengan perbandingan 7:3. Hasil pemisahan dengan menggunakan kromatografi kolom dianalisis dengan kromatografi lapis tipis (KLT). Fraksi dengan noda yang sama digabung untuk mendapatkan fraksi-fraksi utama. Selanjutnya gabungan fraksi yang diperoleh, dilakukan proses pemurnian menggunakan sephadex LH 20. Metode sephadex LH 20 merupakan

pemisahan oleh filtrate gel yang pemisahannya berdasarkan ukuran molekul. Senyawa hasil isoalsi diuji kemurniannya menggunakan tiga sistem eluen yang berbeda. Selanjutnya senyawa hasil isolasi diidentifikasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, FT-IR, 1D dan 2D NMR untuk menentukan struktur molekulnya. Lalu dilakukan pula uji aktivitas antioksidan pada ekstrak etil asetat yang diperoleh.

2.4 Uji Aktivitas Antioksidan dengan Metode DPPH

Dilakukan uji aktivitas antioksidan dengan pereaksi DPPH (1,1-difenil-1-pikrilhidrazil) pada ekstrak etil asetat umbi Suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) dengan prosedur uji DPPH sebagai berikut :

2.5 Pembuatan larutan buffer asetat pH 5,5

Larutan buffer yang digunakan merupakan buffer asetat pH 5,5. Larutan ini dibuat dengan mencampurkan 50 ml CH_3COONa 0,2 M ke dalam larutan CH_3COOH sampai harga pH 5,5. pH meter yang digunakan dikalibrasi terlebih dahulu. Pembuatan larutan DPPH 5×10^{-4} M

Larutan DPPH dengan konsentrasi 5×10^{-4} M dapat dibuat dengan menimbang 10 mg DPPH dilarutkan dalam 10 ml metanol kemudian diambil 2 ml dan dilarutkan dalam metanol 10 ml.

2.6 Pembuatan larutan uji :

Dibuat larutan uji dari ekstrak etil asetat dengan konsentrasi 500 ppm. Untuk membuat larutan induk 500 ppm, ekstrak etil asetat sebanyak 5 mg dilarutkan dan diencerkan dalam metanol pada labu ukur 10 ml. Kemudian dari larutan tersebut, dibuat larutan uji dengan variasi konsentrasi 10, 25, 50, 125, 250 ppm. Selanjutnya dari masing-masing hasil pengenceran diambil 1000 μL untuk larutan uji, ke dalam masing-masing tabung ditambahkan buffer asetat pH 5,5 sebanyak 1000 μL dan 500 μL 5×10^{-4} M DPPH. Campuran dikocok menggunakan vortex dalam ruang gelap dan ditunggu selama 30 menit kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 517$ nm. Untuk menjaga agar sampel tidak terpapar cahaya, maka tabung reaksi dibungkus dengan aluminium foil dan penambahan DPPH dilakukan di ruang gelap. Sebagai kontrol digunakan asam askorbat (vitamin C) dan setiap pengukuran dilakukan duplo.

Aktivitas antioksidan dihitung sebagai presentase peredaman (inhibisi) radikal DPPH dengan rumus berikut :

$$\% \text{ inhibisi} = 1 - \frac{\text{Absorbansi sampel}}{\text{Absorbansi kontrol}} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

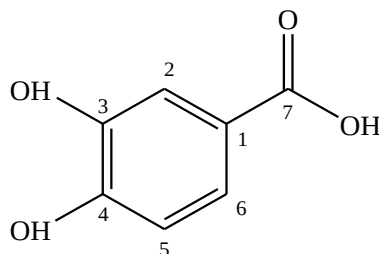
Senyawa hasil isolasi berupa padatan berwarna coklat sebanyak 18,6 mg. Spektrum UV berupa pita serapan pada λ_{maks} 255 dan 292 nm, spektrum IR menunjukkan serapan pada bilangan gelombang 2966,52; 2924,09; 2854,65; 1701,22; 1465,90; 1456,26; 1290,38; 1033,85 cm^{-1} , dan NMR juga menunjukkan beberapa sinyal proton dan karbon. Sinyal proton masing-masing terdapat pada geseran kimia δ_{H} : 6,79; 7,41; 7,43 ppm dan sinyal karbon masing-masing terdapat pada geseran kimia δ_{C} : 115,8; 117,7; 123,9; 123,2; 146,1; 151,5; 170,3 ppm.

Analisis spektrum UV-Vis memberikan λ_{maks} : 255 nm ($\log \varepsilon = 3,9$) dan 292 nm ($\log \varepsilon = 3,7$). Harga λ_{maks} ini mengalami pergeseran pada penambahan pereaksi geser NaOH sebesar (18) nm dan (3) nm. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa hasil isolasi diduga merupakan senyawa fenolik.

Berdasarkan data HMBC menunjukkan bahwa suatu proton metin (CH) pada δ_H 7,43 ppm berkorelasi dengan karbon 123,9; 146,1; 151,5; 170,3 ppm. Dan dari data HSQC, tidak ada proton yang berikatan satu ikatan dengan karbon 123,2; 146,1; 151,5; 170,3 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa jenis karbon-karbon ini merupakan suatu karbon kuartener. Selain itu dilihat dari data COSY posisi proton yang berdekatan yaitu pada posisi δ_H 6,79 terlihat memiliki hubungan dengan proton 7,43 yang terletak berdekatan pada cincin aromatik, proton-proton ini yang menyusun kerangka aromatik sehingga dari fragmen-fragmen tersebut dapat diperoleh suatu struktur asam 3,4-dihidroksibenzoat seperti yang terlihat pada Gambar 2. Senyawa tersebut telah dilaporkan sebelumnya (Niwa *et al.*, 2002) dan berhasil diisolasi dari *Amorphophallus konjac*. Sedangkan dari spesies *Amorphophallus paeoniifolius* masih belum pernah dilaporkan sebelumnya.

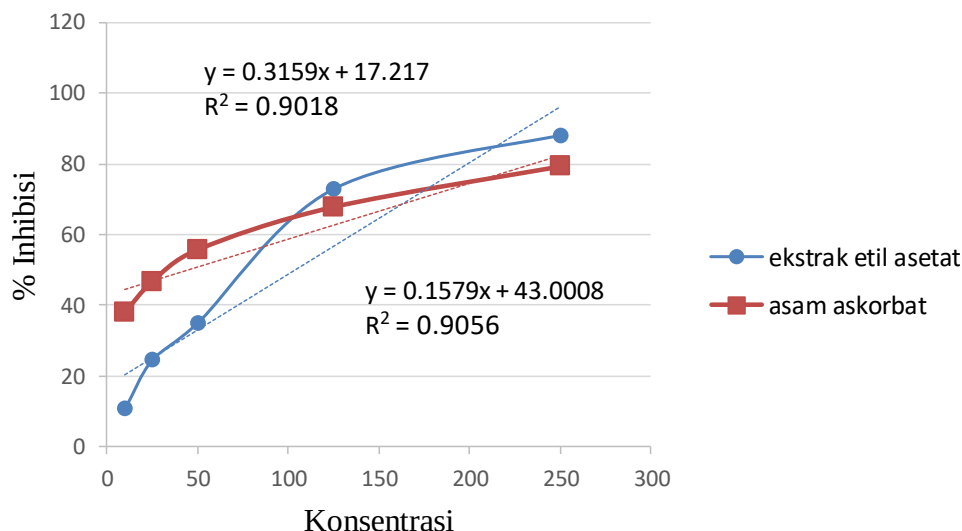
No. C	δ_H (ppm) (multiplisitas, J Hz)	δ_C (ppm)	COSY	HSQC	HMBC
1	-	123,2	-	-	-
2	7,43 (m)	117,6	-	C-2	C-3; C-4; C-6; C-7
3	-	146,1	-	-	-
4	-	151,5	-	-	-
5	6,79 (d, $J = 8,1$ Hz)	115,8	H-6	C-5	C-1; C-4; C-7
6	7,41 (d, $J = 2,1$ Hz)	123,8	H-5	C-6	C-2; C-3; C-4; C-7
7	-	170,3	-	-	-

Tabel 1 Data spektrum ^1H dan ^{13}C -NMR (Metanol, 600 MHz) yang dilengkapi dengan COSY, HSQC, HMBC.



Gambar 2 Struktur molekul senyawa hasil isolasi (asam 3,4-dihidroksibenzoat)

Pengukuran aktivitas antioksidan dilakukan terhadap ekstrak etil asetat *Amorphophallus paeoniifolius* karena senyawa fenolik yang dihasilkan dari hasil isolasi memiliki massa yang kecil yaitu 18,6 mg. Uji aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat menggunakan metode DPPH atau peredaman radikal bebas 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil karena metode ini sederhana, praktis, efektif, dan mudah untuk penapisan aktivitas penangkapan radikal beberapa senyawa. Uji aktivitas antioksidan menggunakan metanol sebagai pelarut, asam askorbat (vitamin C) sebagai kontrol positif, dan buffer asetat untuk penyangga pH. Data kurva % inhibisi DPPH dari ekstrak etil asetat umbi *Amorphophallus paeoniifolius* dengan vitamin C (asam askorbat) sebagai kontrol positif dapat dilihat pada gambar 3. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa daya hambat IC_{50} ekstrak etil asetat dari umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) adalah 103,77 ppm sedangkan IC_{50} asam askorbat adalah 44,28 ppm. Hasil uji ekstrak etil asetat dari umbi suweg menunjukkan aktivitas antioksidan yang baik terhadap DPPH karena syarat suatu ekstrak dapat dikatakan memiliki aktivitas antioksidan yaitu memiliki nilai IC_{50} kurang dari 1000 ppm. Sedangkan untuk suatu senyawa murni dikatakan memiliki aktivitas antioksidan jika memiliki nilai IC_{50} maksimal 100 ppm (Molyneux, 2004).



Gambar 3 merupakan kurva % inhibisi DPPH dari ekstrak etil asetat dengan asam askorbat sebagai kontrol positif.

4. KESIMPULAN

1. Senyawa fenolik asam 3,4-dihidroksibenzoat telah berhasil disolasi dari ekstrak etil asetat umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*).
2. Hasil uji aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat dari umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) menggunakan metode DPPH, diperoleh harga IC_{50} sebesar 103,77 ppm, artinya ekstrak etil asetat dari umbi suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) berpotensi sebagai antioksidan.

Daftar Pustaka

- [1] Achmad, S, 1986, *Kimia Organik Bahan Alam*, Jakarta : Universitas Terbuka.
- [2] Akbar, H. Rizki. 2010. *Isolasi dan Identifikasi Golongan Flavonoid Daun Dandang Gendis (Clinacanthus nutans) Berpotensi Sebagai Antioksidan*. Skripsi. Departemen Kimia, Fakultas MIPA. Institut Pertanian Bogor.
- [3] Angayarkanni J, *et al.*, 2010, Antioxidant potential of *Amorphophallus paeoniifolius* in relation to their phenolic content, *Pharmaceutical Biology* 48 (6), 659-665.
- [4] Backer, C. A. and R. C. Bakhuizen van den Brink, Jr. 1968, *Flora of Java (Spermatophytes Only)*, Vol. III, Noordhoff, Groningen, Netherlands : N.V.P.
- [5] Chua, M, *et al.*, 2010, Traditional uses and potential health of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br., *Journal of Ethnopharmacology* 128 : 268-278
- [6] Breitmaier, E, 2002, *Structure Elucidation by NMR in Organic Chemistry: Practical Guide*, John Wiley & Son, LTD, Chichester,. Hal: 11-67.
- [7] Halliwell, B dan Gutteridge, J.M.C, 2000, *Free Radical in Biology and Medicine*, Newyork : Oxford Universitas Press.
- [8] Harborne JB. 1984. *A guide to modern techniques of plant analysis*. In: *Phytochemical Methods* (2nd Edn), London : Chapman and Hall, 288pp.
- [9] Harshavardhan *et al.*, 2013, Anti-diabetic of Elephant-foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius* (Densst.) Nicolson) in Streptozotocin-induced Diabetic Rats, *International Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 1-6.
- [10] Hetterscheid, W. and S. Ittenbach, 1996, *Everything you always wanted to know about Amorphophallus, but were afraid to stick your nose into*, *Aroideana*, 19: 7-131.

- [11] Huang C *et al.*, 2005, Identification of an Antifungal Chitinase from a Potential Biocontrol Agent *Bacillus cereus*, *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 38 : 82-88.
- [12] Hardwood, L.M., *et al.*, 1999, *Experimental Organic Chemistry*, Berlin : Iowa State University Press.
- [13] Noorhajati, H, 2014, Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulita Batang Trengguli *Cassia fistuladengan* DPPH, *Journal Science Technoogy*, 5 (1), 467-471.
- [14] Jansen, P. C. M. C., *et al.*, 1996, *Amorphophallus Blume ex Decne*, In: Flach, M. and Rumawas, F. (eds), Plant Resources of South-East Asia No. 9. Plants Yieldin.
- [15] Karadeniz F *et al.*, 2005, Antioxidant activity of selected fruits and vegetables grown in Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Forest* 89: 297-303.
- [16] Khan A, *et al*, 2007, Antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of tuberous roots of *Amorphophallus campanulatus*, *Turkish Journal of Biology* 31, 167-172.
- [17] Khan A, *et al.*, 2008b, Antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of 3,5-diasetiltambulin isolated from *Amorphophallus campanulatus* Blume ex. Decne. *DARU* 16(4), 239-244.
- [18] Khan A, *et al.*, 2009, Antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of salviasperanol isolated of *Amorphophallus campanulatus*, *Turkish Journal of Biology* 47 (12), 1187-1191.
- [19] Kikuzaki, H *et al.*, 2002, Antioxidants Properties Ferulic Acid and Its Related Compound, *Journal Agriculture Food Chemistry*, 50, 2161-2168.
- [20] Lenny S, 2006, *Senyawa Flavonoid, Fenil propanoida dan Alkaloida*, Medan : Fak. MIPA.USU.
- [21] Molyneux, P., 2004, The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl-hydrazil (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity, *J. Sci. Technol.*, 26 (2), 211-219.
- [22] Nataraj HN, *et al.*, 2009, In vitro quantification of flavonoids and phenolic content of Suran, *International Journal of Chemitech Research*, 1(4), 1063-1067.
- [23] Niwa, T., *et al.*, 2000, cis-N-(p-Coumaroyl)serotonin from Konnyaku, *Amorphophallus konjac* K. Koch. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 64, 2269–2271.
- [24] Niwa, T., *et al*, 2001, Antioxidative properties of phenolic antioxidants isolated from corn steep liquor, *Journal Agriculture Food Chemistry*, 49, 177–182.
- [25] Pramavita, N. J. 2006, *Pengaruh Pemberian Ekstrak Meniran (Phyllanthus sp.) Terhadap Gambaran Mikroskopik Paru Tikus Wistar yang Diinduksi Karbon Tetraklorida*, UNDIP.
- [26] Pratibha S, *et al.*, 1995, Enzyme inhibitors in tuber crops and their thermal stability, *Plant Foods for Human Nutrition* 48, 247-257.
- [27] Ramalingam R, *et al.*, 2010, Phytochemical and anthelmintic evaluation of corn *Amorphophallus campanulatus*, *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(2), 1-9.
- [28] Robinson, T., 1995, *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*, Edisi VI, Bandung:Diterjemahkan oleh Kosasih Padmawinata, ITB, Hal 191-216.
- [29] Rohman, A. dan Riyanto, S., 2005, Daya antioksidan ekstrak etanol Daun Kemuning (*Murraya paniculata* (L) Jack) secara in vitro, *Majalah Farmasi Indonesia*, 16(3), 136 – 140.
- [30] Sastrohamidjojo, Hardjono. 2001. *Dasar-dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada (UGM)
- [31] Shastri RA, *et al.*, 2010, Isolation and characterization of secondary metabolite from *Amorphophallus paeoniifolius* for hepatoprotective activity. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 1(4), 429-437.
- [32] Shilpi JA, *et al.*, 2005, Analgesic activity of *Amorphophallus campanulatus* tuber, *Fitoterapia*, 76, 367-369.
- [33] Sibuea, P, 2003, *Antioksidan Untuk Mencegah Penuaan Dini*, Yogyakarta : Sinar Harapan.

- [34] Surendra KS, *et al.*, 2011, Hepatoprotective and antioxidant effect of *Amorphophallus campanulatus* against acetaminophen induced hepatotoxicity in rats, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, 3(2), 202-205.
- [35] Teow, *et al.*, 2006, Antioksidant activities, phenolic and b-cerotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours, *Food Chemistry*, 103, 829-838.
- [36] Windono, T., *et al.*, 2001, Uji Peredam Radikal Bebas terhadap 1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl (DPPH) dari Ekstrak Kulit Buah dan Biji Anggur (*Vitis vinifera* L.), Probolinggo Biru dan Bali : Artocarpus, 1, 34-43.
- [37] Yadu ND, Ajoy KG, 2010, Pharmacognostic evaluation and phytochemical analysis of the tuber of *Amorphophallus paeoniifolius*. *International Journal of Pharma Research and Development* 2(9), 44-49.
- [38] Zou, Y., Lu, Y., Wei, D., 2004, Antioxidant Activity of Flavonoid-Rich Extract of *Hypericum perforatum* L., In Vitro, *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 52, 5032-5039.
- [39] Setyowati, D dan Ulfen, I. 2007. Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Alumunium Oleh Asam Humat. *Akta kimindo*, 2 No. 2, 85-92.
- [40] Uhrikova. D. 2007. *Manual for laboratory practice in physical chemistry for student of pharmacy*. Hal: 1-5 .Department of Physical Chemistry, Comenius University, Bratislava Slovak.
- [41] Valic M and Deepatana A. 2006. Adsorption of Metals from Metal-Organic Complexes Derived from Bioleaching of Nickel Laterite Ores. *Engineering Conferences International Art*, 4, 1-14.
- [42] Wang Shaobin and Terdkiatburana. 2007. Single and co-adsorption of heavy metals and humic acid on fly ash. Australia; *Journal of Hazardous Materials* 146, 22, 1-6.
- [43] Yong R and Cynthia A. 2006. Humic acid preparation, properties and interactions with metals lead and cadmium. Canada; *Journal of Engineering Geology*, 85, 26–32.

PERFORMANCE ELEKTRODA KAPASITOR ELEKTROKIMIA BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN ASAM POSPAT (H_3PO_4) SEBAGAI ELEKTROLIT

OLLY NORITA TETRA¹, HERMANSYAH AZIZ², ADMIN ALIF³ DAN RIDY ELPIKA⁴

¹Jurusan kimia FMIPA Universitas Andalas Kampus Limau Manis Padang 25163

Abstrak

Karbon dari limbah cangkang kelapa sawit telah digunakan sebagai bahan elektroda kapasitor elektrokimia dengan perlakuan sokletasi dan aktivasi dengan NaOH. Perlakuan sokletasi memberikan proses preparasi menjadi lebih mudah dan memperbesar luas permukaan karbon 133 kali lebih besar dengan nilai kapasitansi meningkat dari 0,198 μF menjadi 7,770 μF . Karbon yang diaktivasi NaOH setelah perlakuan sokletasi menghasilkan luas permukaan spesifik paling besar yaitu 243,085 m^2/g dengan nilai kapasitansi maksimum 41,543 μF dan nilai konduktivitas sebesar $1,877 \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ menggunakan elektrolit H_3PO_4 sebesar 0,4 N.

Kata kunci: kapasitor elektrokimia, sokletasi, aktivasi, elektrolit cangkang kelapa sawit

1. PENDAHULUAN

Sel kapasitor elektrokimia atau *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC) berbahan dasar karbon menjadi perhatian utama saat ini karena kemampuannya dalam menyimpan energy yang tinggi dibanding dengan baterai atau kapasitor konvensional. Berbagai penelitian pemanfaatan karbon dari biomassa sebagai bahan elektroda kapasitor elektrokimia telah banyak dilaporkan seperti pemanfaatan limbah biji karet [1], sekam padi [2], limbah keramik yang didoping dengan TiO_2/C [3], dan nanokomposir resin dari getah damar [4].

Teknologi penyimpanan energy dengan daya yang tinggi dan pemakaian dalam durasi yang lama menjadikan sel kapasitor elektrokimia menjadi lebih penting karena peranan dari pori konduktor dari elektrodanya seperti karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi dan dapat terakumulasi muatannya pada lapis rangkap listrik di permukaan antarmuka elektroda dan elektrolit via gaya elektrostatis. [5] Sel kapasitor elektrokimia dapat menyediakan energi spesifik dikarenakan oleh nilai kapasitansi spesifik yang tinggi berdasarkan luas permukaan yang besar dari material mesopori penyusun elektroda. Penggunaan karbon cangkang kelapa sawit sebelumnya telah pernah dilakukan dan dilaporkan bahwa nilai kapasitansi yang masih rendah dan sulitnya dalam preparasi karena kandungan lemak yang masih tinggi pada cangkang kelapa sawit. [6] Semakin luas permukaan elektroda, maka semakin banyak muatan listrik yang dapat tersimpan pada permukaan elektroda sel kapasitor elektrokimia. Pemakaian karbon yang merupakan material berpori sebagai elektroda telah banyak dimodifikasi dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kapasitansinya. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan peningkatan nilai kapasitansi dan konduktivitas dari elektroda kapasitor elektrokimia dengan melakukan aktivasi dan sokletasi terhadap karbon cangkang kelapa sawit.

Elektroda dari bahan karbon cangkang kelapa sawit diaktivasi dengan menggunakan aktivator NaOH. Proses aktivasi tersebut dapat meningkatkan kemampuan dari elektroda untuk menyimpan muatan dengan memperluas permukaan spesifik dan volume pori dari karbon cangkang kelapa sawit. Perlakuan sokletasi dilakukan untuk menarik minyak yang terkandung pada cangkang kelapa sawit yang akan digunakan sebagai karbon aktif untuk elektroda kapasitor elektrokimia, sehingga akan memudahkan dalam proses preparasi dan meningkatkan nilai kapasitansi dan sifat listrik dari elektroda kapasitor elektrokimia berbahan dasar karbon cangkang kelapa sawit. Selain itu juga untuk mempelajari pemanfaatan karbon limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda sel kapasitor elektrokimia yang ramah lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kertas batang padi, cangkang kelapa sawit (diambil dari PT. AMP Plantation di Kabupaten Agam Sumatera Barat), NaOH, n-heksana, HCl, H₃PO₄ (Merck), PVA (*Polivinil Alkohol*) (Bratachem), lem stick JOYKO, aluminium foil, ampelas, dan akuades.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *hot plate* (IKA' C-MAG HS 4), *oven*, *furnace*, plat tembaga, kaca, kabel buaya, neraca analitis (Mettler PM4000), ayakan, pH meter, lumpang, alu, dan peralatan gelas laboratorium lainnya.

Peralatan instrumen yang digunakan adalah *charger* (*Handphone* Nokia 5 V), LCRMeter (SANWA LCR700), Multimeter (SANWA CD800a).

2.2 Prosedur Kerja

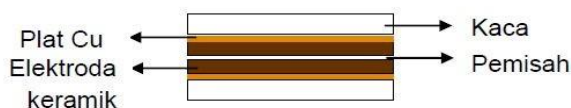
Proses Sokletasi dan Aktivasi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit dicuci, dikeringkan, dan kemudian direduksi ukurannya dengan grinder sampai lebih halus kemudian dilakukan proses sokletasi dengan pelarut n-heksana selama ± 5 jam. Cangkang kelapa sawit yang telah disokletasi lalu di *furnance* pada suhu 400°C selama 3 jam. Setelah proses karbonisasi selesai, karbon cangkang kelapa sawit dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 45 μm , 63 μm dan 90 μm . Selanjutnya karbon disiapkan untuk proses aktivasi.

dengan menambahkan NaOH 10 M yang digunakan sebagai zat pengaktivasi, dengan perbandingan masa karbon dan NaOH 1 : 4, Karbon direndam dengan NaOH, diaduk hingga NaOH merata dan didiamkan selama ± 4 jam. Kemudian karbon di *furnance* pada suhu 400° C selama 4 jam dan dilanjutkan dengan pencucian menambahkan HCl 0,1 M sampai pH dari karbon aktif netral sampai pH 7, dan dilanjutkan pencucian dengan akuades. Kemudian karbon dipanaskan pada suhu $\pm 105^\circ \text{C}$.

Perakitan Plat Elektroda Sel Kapasitor Elektrokimia

Tembaga dibersihkan dengan amplas dan juga kaca dibersihkan agar tidak ada pengotor yang menempel. Kertas batang padi dipotong dengan berbagai ukuran sebanyak 2 buah untuk masing-masing ukuran. Kertas batang padi tersebut ditimbang dan dicatat massanya. Rangkaian superkapasitor plat disusun seperti Gambar 1, dimana kertas batang padi yang telah dilapisi karbon (plat elektroda) disusun seperti *sandwich* dan pada bagian tengah diletakkan *separator* (PVA). Kedua plat elektroda diapit lempengan tembaga dan dilakukan perlakuan yang sama untuk variasi ukuran partikel, variasi luas permukaan kertas karbon, dan variasi konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄.



Gambar 1. Rangkaian Sel Kapasitor Elektrokimia Metoda Plat / Sandwich

Pengukuran Sifat Listrik dari Rangkaian Superkapasitor

Rangkaian superkapasitor dilakukan variasi waktu pengisian 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit, dan 60 menit, variasi larutan elektrolit, dan variasi ukuran plat elektroda. Pengukuran sifat listrik dilakukan dengan menggunakan LCR-Meter dan Multimeter. Pada pengukuran akan didapatkan nilai kapasitansi (C), nilai induktansi (L), nilai resistansi (R), tegangan (v), dan arus (i).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1 Performance Karbon Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Elektroda**

Struktur karbon dari cangkang kelapa sawit adalah amorf [3] dan berdasarkan analisis BET yang dilakukan dengan menggunakan alat *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan volume dari pori karbon cangkang kelapa sawit. didapatkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil BET luas permukaan spesifik karbon cangkang kelapa sawit pada suhu pembakaran 400°C.

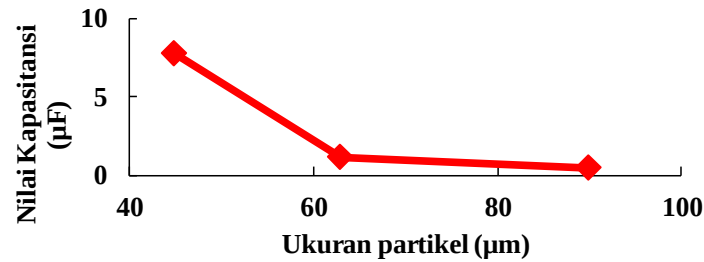
Ukuran partikel 45 μm	Luas permukaan spesifik (m^2/g)	Kapasitansi (μF)
Perlakuan tanpa sokletasi tanpa aktivasi	1,829	0,198
Perlakuan aktivasi tanpa sokletasi	43,792	3,191
Perlakuan sokletasi yang diaktivasi	243,085	7,770

Perlakuan aktivasi meningkatkan luas permukaan spesifik yang awalnya adalah 1.829 m^2/g menjadi 43,792 m^2/g sedangkan dengan ditambah dengan perlakuan sokletasi dapat meningkatkan nilai kapasitansinya menjadi 243,085 m^2/g . Pengaruh aktivasi dengan perlakuan sokletasi dapat meningkatkan luas permukaan 133 kali lebih besar dibandingkan yang tidak diaktivasi dan tanpa sokletasi. Begitu juga dengan nilai kapasitansi, dimana nilai kapasitansi yang diaktivasi NaOH dengan perlakuan sokletasi meningkat 39 kali lebih besar. Meningkatnya nilai kapasitansi akibat perlakuan aktivasi NaOH juga pernah diteliti. Nilai kapasitansi pada karbon dari sampel sekam padi meningkat 12,3% dibandingkan tanpa aktivasi [7]

Berdasarkan hasil ini maka karbon dari cangkang kelapa sawit yang diaktivasi NaOH dengan perlakuan sokletasi ini dapat meningkatkan kapasitansi sehingga digunakan sebagai bahan elektroda sel kapasitor elektrokimia

3.2 Pengaruh Ukuran Partikel Karbon Cangkang Kelapa Sawit terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda r

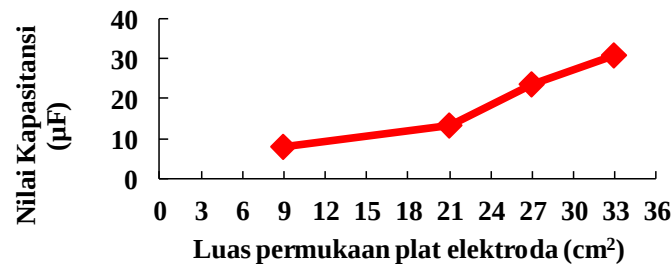
Ukuran partikel yang semakin kecil dapat meningkatkan nilai kapasitansi pada superkapasitor. Pada Gambar 2 memperlihatkan pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kapasitansi. Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel pada suatu elektroda, maka semakin besar nilai kapasitansi. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran partikel akan memperbesar luas permukaan karbon tersebut, maka semakin besar kemampuan elektroda tersebut untuk menyimpan muatan [7]. Ukuran partikel karbon yang semakin kecil membuat luas permukaan karbon menjadi besar yang nantinya akan menyediakan tempat untuk penyimpanan muatan pada pembentukan lapis rangkap listrik pada permukaan elektroda tersebut. Ukuran partikel karbon 45 μm adalah ukuran partikel yang maksimum, sehingga untuk penelitian selanjutnya digunakan karbon cangkang kelapa sawit yang telah disokletasi dan diaktivasi untuk mempelajari sifat listriknya.



Gambar 2. Pengaruh ukuran partikel karbon cangkang kelapa sawit terhadap nilai kapasitansi dengan menggunakan elektrolit H_3PO_4 0,3 N, ukuran plat $3 \times 3 \text{ cm}^2$, dan waktu pengisian 15 menit.

3.3 Pengaruh Luas Permukaan Plat Elektroda terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda

Luas permukaan elektroda yang besar dapat meningkatkan nilai kapasitansi pada superkapasitor, semakin besar luas permukaan elektroda, maka semakin besar nilai kapasitansi.

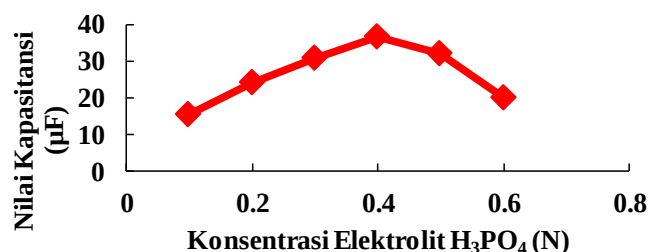


Gambar 3. Pengaruh luas permukaan elektroda terhadap nilai kapasitansi dengan menggunakan elektrolit H_3PO_4 0,3 N, ukuran partikel 45 µm, dan waktu pengisian 15 menit.

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi semakin meningkat dengan meningkatnya ukuran plat pada elektroda sel kapasitor elektrokimia sampai pada $3 \times 11 \text{ cm}^2$ dengan nilai kapasitansi 30,75 µF. Hal ini disebabkan semakin besar luas ukuran plat, maka akan semakin banyak muatan yang tersimpan di antarmuka lapis rangkap listrik. Nilai kapasitansi meningkat dengan ukuran plat yang semakin luas karena karbon yang semakin banyak akan meningkatkan kemampuannya dalam menyimpan muatan pada elektroda superkapasitor [8]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ukuran plat $3 \times 11 \text{ cm}^2$ dengan ukuran partikel karbon 45 µm yang digunakan untuk perlakuan elektroda superkapasitor selanjutnya.

3.4 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit H_3PO_4 terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda

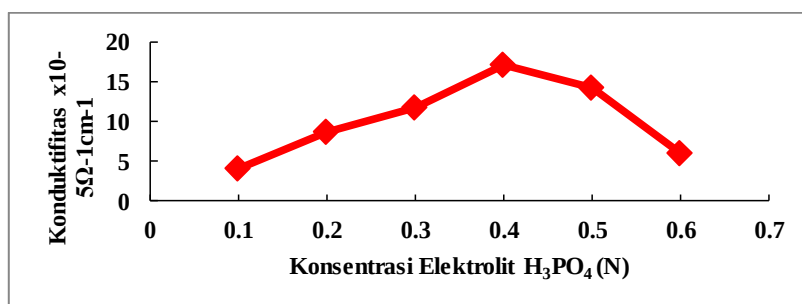
Larutan elektrolit berfungsi sebagai sumber muatan yang akan dialirkan ke masing-masing elektroda. Elektrolit yang biasa digunakan bisa asam, basa atau garam. Pada penelitian ini digunakan larutan H_3PO_4 sebagai elektrolit. Nilai kapasitansi tertinggi ditunjukkan pada ukuran $3 \times 11 \text{ cm}^2$ dengan ukuran partikel 45 µm, waktu pengisian 15 menit, dan larutan elektrolit H_3PO_4 0,4 N yaitu sebesar 36,636 µF. Pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap nilai kapasitansi dilakukan dengan mengukur variasi konsentrasi dari 0,1 – 0,6 N. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat LCR-Meter.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap nilai kapasitansi dari elektroda pada superkapasitor dengan ukuran partikel 45 µm, ukuran plat 3 x 11 cm², dan waktu pengisian 15 menit.

Semakin tinggi konsentrasi elektrolit H₃PO₄, maka semakin tinggi nilai kapasitansi superkapasitor tersebut hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. dan setelah melebihi konsentrasi elektrolit 0,4 N nilai kapasitansi menjadi menurun. Hal ini disebabkan karena larutan elektrolit yang semakin asam akan merusak pori karbon pada kertas batang padi sehingga kemampuannya dalam menyimpan muatan akan semakin berkurang. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit, maka ion-ion elektrolit akan menumpuk pada antar muka elektroda dan pemisah pada saat dilakukan pengisian (*charge*). Jumlah ion yang terlalu banyak akan mengganggu proses pengosongan (*discharge*) karena banyaknya ion yang terkumpul tersebut membuat ion - ion atau muatan sulit untuk kembali ke posisi awalnya sehingga akan mengganggu kepolaran (polarisasi) ion elektrolit H₃PO₄. Hal ini dibuktikan dari nilai resistivitas yang kecil pada konsentrasi elektrolit H₃PO₄ 0,4 N yaitu 27,363 Ω.

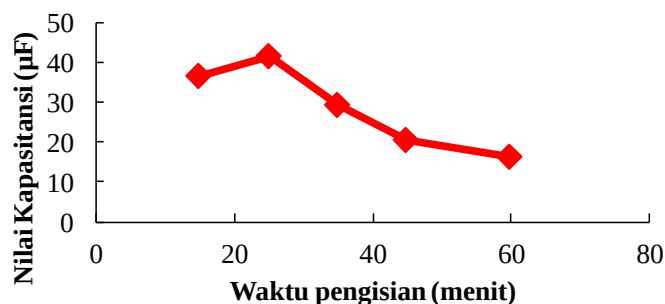
3.5 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit H₃PO₄ terhadap Konduktivitas dari Elektroda



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ terhadap nilai konduktivitas dari elektroda sel kapasitor elektrokimia dengan ukuran partikel 45 µm, ukuran plat 3 x 11 cm², dan waktu pengisian 15 menit.

Pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa konduktivitas meningkat hingga pada konsentrasi larutan elektrolit 0,4 N yaitu $1,716 \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, kemudian mengalami penurunan setelah konsentrasi larutan elektrolit 0,4 N sebesar $1,424 \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Hal ini terjadi karena semakin besar kapasitansi, maka semakin besar nilai konduktivitas hal ini berhubungan dengan nilai kapasitansi dimana semakin kecil nilai resistansi, maka semakin besar nilai kapasitansi. Jika nilai kapasitansi semakin besar, maka semakin banyak electron yang mengalir dan meningkatkan nilai konduktivitas.

3.6 Pengaruh Waktu Pengisian pada Elektroda terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda



Gambar 6. Pengaruh waktu pengisian pada elektroda terhadap nilai kapasitansi dari elektroda menggunakan elektrolit H_3PO_4 0,4 N dengan ukuran partikel 45 μm dan ukuran plat 3 x 11 cm^2 .

Gambar 6, menunjukkan bahwa nilai kapasitansi semakin meningkat dengan meningkatnya waktu pengisian hingga mencapai maksimum waktu pengisian/*(charge)* pada 25 menit sebesar 41,543 μF , kemudian menurun pada waktu setelah 25 menit menjadi 29,376 μF . Hal ini disebabkan karena gugus fungsi pada permukaan karbon diaktifkan saat proses pengaktifasian membuat semua muatan pada *separator* saat dilakukan pengisian (*charge*) menjadi cepat bergerak membentuk lapisan rangkap listrik pada permukaan elektroda, sehingga waktu yang dibutuhkan pada saat pengisian elektroda superkapasitor relatif singkat [9]. Waktu pengisian yang melebihi 25 menit membuat lapis rangkap listrik pada kedua permukaan elektroda menjadi rusak karena adanya arus yang terus mengalir.

3.7 Hubungan Kapasitansi, Muatan, dan Jumlah Elektron Sel Kapasitor Elektrokimia

Tabel 2. Data penentuan muatan dan jumlah elektron terhadap nilai kapasitansi pada sel kapasitor elektrokimia

Konsentrasi Elektrolit H_3PO_4 (N)	Kapasitansi (μF)	Muatan (C)	Jumlah electron (e^-)
0,1	15,236	1,475	$0,917 \times 10^{15}$
0,2	24,333	2,356	$1,465 \times 10^{15}$
0,3	30,75	2,977	$1,851 \times 10^{15}$
0,4	36,626	3,547	$2,205 \times 10^{15}$
0,5	32,053	3,104	$1,930 \times 10^{15}$
0,6	19,97	1,933	$1,202 \times 10^{15}$

Tabel 2, menunjukkan bahwa semakin besar kapasitansi, maka semakin besar pula muatan yang tersimpan dan elektron yang mengalir dari larutan elektrolit ke elektroda juga semakin banyak. Kapasitansi akan meningkat apabila jumlah muatan besar, muatan yang besar memberikan jumlah elektron yang besar pula pada superkapasitor. Elektroda kapasitor elektrokimia lebih banyak menyimpan muatan pada konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,4 N.

4. KESIMPULAN

Karbon dari limbah cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor dengan perlakuan sokletasi dan aktivasi dengan NaOH. Pengaruh perlakuan sokletasi memberikan proses preparasi menjadi lebih mudah dan membuat resistansi pada elektroda superkapasitor menjadi 27,363 Ω , muatan dan jumlah elektron meningkat sebesar 3,547 Coulomb dan $2,205 \times 10^{15}$ elektron. Pengaruh perlakuan sokletasi ini juga memperbesar luas permukaan karbon 133 kali lebih besar dan nilai kapasitansi meningkat 39 kali lebih besar (7,770 μF) dari pada yang tidak disokletasi (0,198 μF). Karbon yang diaktivasi NaOH setelah perlakuan sokletasi menghasilkan luas permukaan spesifik paling besar yaitu 243,085 m^2/g dengan nilai kapasitansi maksimum 41,543 μF dan nilai konduktivitas sebesar $1,877 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}^{-1}$.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas Padang atas program Bantuan Seminar Nasional 2017 yang telah mendanai kegiatan seminar ini.

Daftar Pustaka

- [1] Olly, N.T., Admin, A., dan Gesti. U., Pemanfaatan Limbah Tempurung Biji Karet Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor, *Laporan Penelitian Dosen Muda*, Universitas Andalas, Padang 2015
- [2] Le Van, K. Thuy Luong Thi, T. Activated carbon derived from rice husk by NaOH activation and its application in supercapasitor, *J. of progress in natural science*, 24(2014), 191-198.
- [3] Olly, N.T., Emriadi., Admin, A., Hermansyah. A., Hanif. W., 2016, *Der Pharma Chemica*, 8(17):26-30
- [4] Emriadi, Muttaqin, A., Alif, A., Norita Tetra, 2014, Pemanfaatan Nanokomposir Resin dari Getah Damar untuk Bahan Superkapasitor yang Ramah Lingkungan, *Laporan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi*, Universitas Andalas, Padang
- [5] L. L. Zhang and X. S. Zhao, *Chem. Soc. Rev.* 38(2009)2520
- [6] Hermansyah, Aziz., Olly, N.T., Admin, A., Syukri., and Wahyu, R., 2016, *Der Pharma Chemica*, 8(15):227-232
- [7] Barmawi, I., Taer, E., Umar A. I., 2011, *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, 11:1-5.
- [8] Hermansyah, Aziz., Olly N.T., Syukri., Admin. Alif., and Wahyu Ramadhan., Utilization of Porous Carbon From Waste Palm Kernel Shells on Carbon Paper as a Supercapacitors Electrode Material, International Conference on Biomass 2016 : 10-11th October 2016, Bogor, Indonesia
- [9] Yantika, R. Pengaruh Elektrolit H₂SO₄ terhadap Sifat Listrik Elektroda Campuran Zeolit dari Bottom Ash dan Resin Damar sebagai Superkapasitor, *Skripsi*, FMIPA, Universitas Andalas, 2014.

KAJIAN PENGARUH RASIO ATOM Ce/Ni PREKURSOR TERHADAP KARAKTER KATALIS Ni-Ce/ZAAEF

Theo Da Cunha¹⁾, Kasimir Sarifudin²⁾, Yantus A.B. Neolaka²⁾

¹Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana,
chemistryinside_undana@yahoo.com

²Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas nusa Cendana,
cheminside09@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan kajian pengaruh rasio atom Ce/Ni precursor terhadap karakter katalis Ni-Ce/ZAAEF. Zeolit Alam Ende-Flores diaktivasi dengan perlakuan HF, HCl dan NH₄Cl, menghasilkan Zeolit Alam Aktif Ende-Flores (ZAAEF). Katalis Ni-Ce/ZAAEF disintesis menggunakan metode ko-impregnasi menggunakan Ni(NO₃)₂·6H₂O dan (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O sebagai precursor dengan rasio atom Ce/Ni berbeda, dilanjutkan dengan kalsinasi, oksidasi dan reduksi. Keasaman katalis ditentukan menggunakan metode gravimetri absorpsi uap basa piridin, kristalinitas diidentifikasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), penentuan kandungan logam Ni dan Ce menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS), morfologi katalis dipelajari menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM) dan luas permukaan spesifik, volume total pori, rerata jejari pori dianalisis dengan Surface Area Analyzer menggunakan metode BET dan BJH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keasaman, struktur kristal, kandungan logam Ni dan Ce, morfologi, luas permukaan spesifik, volume total pori dan rerata jejari pori dipengaruhi oleh rasio atom Ce/Ni precursor katalis. Katalis Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF mempunyai keasaman lebih tinggi dibandingkan katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF. Meningkatnya rasio atom Ce/Ni menyebabkan menurunnya kandungan logam total Ni dan Ce dan luas permukaan spesifik, sedangkan volume total pori dan rerata diameter pori cenderung meningkat.

Kata Kunci: Ni-Ce/ZAAEF, rasio atom Ce/Ni, karakter katalis, koimpregnasi.

1. PENDAHULUAN

Katalisator yang banyak digunakan dalam industri-industri kimia dan petrokimia adalah logam-logam transisi seperti Pt, Pd, Ni, Fe, Cr, Rh dan lain-lain, logam-logam tersebut sangat berperan dalam sistem reaksi *hydrocracking* atau hidrogenolisis fraksi-fraksi dengan berat molekul besar (Augustin, 1990). Selama berlangsungnya proses reaksi dapat terjadi penggumpalan komponen aktif logam, akibatnya umur katalis menjadi lebih pendek dan reaksi menjadi tidak efektif. Untuk mengatasi masalah ini, logam-logam tersebut diimbangkan pada bahan pendukung seperti silika-alumina, alumina, karbon aktif atau zeolit (Weitkamp and Puppe, 1999).

Biasanya pada industri minyak bumi yang melibatkan proses *hydrocracking*, menggunakan katalis bimetal (logam ganda). Katalis bimetal yang sering digunakan adalah Ni-Mo/ γ -alumina atau Co-Mo/ γ -alumina sebagai katalis pada proses *hydrocracking* fraksi berat minyak bumi (Hatanaka, et al., 1997; Bartholday and

Anderson, 2000; Benito and Martinez, 1996), demikian pula katalis Pd-Mo/HY-zeolit (Nomura, et al., 1997) dan Ni-Pd/HY-zeolit (Nomura, et al., 1999). Katalis-katalis tersebut dibuat menggunakan pengemban sintetis yang harganya mahal, sehingga perlu dikembangkan penggunaan pengemban yang bersumber dari alam seperti zeolit alam.

Salah satu faktor penting dalam teknologi pengembangan katalis logam-pengemban adalah jenis dan sifat pengemban yang digunakan. Bahan yang paling sering digunakan sebagai pengemban katalis logam adalah alumina dan zeolit sintetis, sedangkan zeolit alam sejauh ini belum banyak dikembangkan. Zeolit dapat diperoleh dari alam secara langsung yang disebut dengan zeolit alam, atau dibuat melalui proses industri berupa zeolit sintetis. Menurut laporan akhir pemetaan makro bahan galian golongan C (Dinas Pertambangan dan Energi NTT, 1993), di kabupaten Ende propinsi NTT terdapat kandungan zeolit alam yang melimpah, lebih dari 5 juta ton, dengan komponen utama zeolit jenis mordenit.

Zeolit jenis mordenit mempunyai struktur unit 5-1 dari TO_4 berikatan satu sama lain membentuk deretan rantai yang saling bergabung membentuk dua kanal utama, yang satu membentuk jendela yang dibatasi oleh 12 oksigen satunya lagi membentuk jendela dengan batas 8 oksigen yang dikenal dengan nama cincin 12 (S12R) dan 8 (S8R). Mordenit mempunyai ukuran pori sekitar 7 Å, sehingga cukup besar untuk dimasuki suatu senyawa berukuran sama.

Penggunaan zeolit alam secara langsung tanpa melalui modifikasi atau aktivasi melalui perlakuan-perlakuan tertentu, sangat tidak efektif. Proses aktivasi dengan perlakuan asam seperti HCl dapat meningkatkan keasaman mordenit (Sawa, et al., 1990), dan menghilangkan pengotor dari kerangka zeolit alam (Trisunaryanti, et al., 1996). Setiawan (2002), melakukan aktivasi zeolit alam dengan perlakuan HF 1%, diperoleh hasil bahwa perlakuan tersebut mempengaruhi rasio Si/Al. Perlakuan yang diberikan pada zeolit alam diharapkan memperbaiki sifat dan struktur, tidak menimbulkan kerusakan pada sistem kerangka utama zeolit sehingga struktur kristal zeolit tetap terjaga. Pengaruh impregnasi logam Ni dan Mo ke dalam zeolit alam Ende-Flores sejauh ini belum pernah dilakukan, sehingga perlu adanya kajian pengaruh impregnasi dan rasio atom logam Ce/Ni ke dalam zeolit alam dipandang perlu, mengingat pengembangan zeolit alam lebih lanjut sebagai pendukung katalis melibatkan proses impregnasi logam yang akan berfungsi sebagai komponen aktif. Hasil penelitian Sarifudin, (2009) menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan HF, HCl, NH_4Cl , pada proses modifikasi zeolit alam Ende-Flores (ZAEF) terjadi peningkatan kristalinitas sampai 165,57%.

Kinerja katalis dalam mengkatalisis suatu proses sangat spesifik, tergantung pada karakter katalis itu sendiri. Karakter dan aktivitas katalis logam dapat dipengaruhi oleh jenis dan komposisi pengemban yang digunakan, metode preparasi katalis, jenis dan komposisi logam atau penambahan logam lain yang secara katalitik tidak aktif (misalnya Ce, Mo, W) pada permukaan katalis (Braunstein dan Rose, 1988). Logam semacam itu disebut *promoter*. Pengembanan lebih dari satu jenis logam memberi pengaruh pada efektifitas dalam pencapaian konversi yang diinginkan, hal ini disebabkan karena katalis logam tidak cukup menyediakan situs asam dan luas permukaan yang sesuai pada saat proses katalitik suatu fraksi hidrokarbon. Di samping itu, logam bimetal akan saling mendukung kinerja katalis yang bersangkutan (Satterfield, 1990). Logam-logam seperti Pd, Ni, Mo dan Ce merupakan unsur transisi yang memiliki orbital *d* yang masih kosong yang berfungsi sebagai situs asam Lewis. Situs ini berperan dalam proses rekasi hydrocracking (Augustin, 1990; Gates, et al., 1989).

Rasio dan jumlah logam yang terembanan baik pada pengemban tunggal maupun pengemban campuran sangat berpengaruh pada karakter dan aktivitas katalis.

Trisunaryanti dan kawan-kawan (2003) mempelajari pengaruh nisbah Ni/Mo terhadap karakter dan aktivitas katalis Mo-Ni/ γ -Al₂O₃ pada proses hidrroengkah fraksi aspalten dari aspal Buton, diperoleh hasil bahwa karakter dan aktivitas katalis terkait dengan nisbah Ni/Mo. Purwono dan kawan-kawan (2003) mempelajari pengaruh rasio Ni/Mo terhadap karakter katalis dalam hidrroengkah aspalten dari aspal Buton, data penelitian ini menunjukkan bahwa rasio Ni/Mo berbeda menghasilkan karakter dan aktivitas katalis yang berbeda. Hasil penelitian Sarifudin (2004), menunjukkan bahwa rasio dan urutan pendispersian logam Ni dan Mo pada γ -Al₂O₃ mempengaruhi karakter dan aktivitas katalis yang dihasilkan pada proses *hydrocracking* fraksi aspalten dari aspal Buton.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dipaparkan di atas belum pernah mengkaji sintesis katalis logam bimetal Ni-Ce yang terembankan pada zeolit alam Ende-Flores dan kajian pengaruh rasio atom Ce/Ni terhadap karakter katalis yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, peneliti mengkaji keterkaitan antara rasio atom logam Ce/Ni senyawa precursor terhadap karakter keasaman, jumlah logam terimpregnasi, struktur kristal, morfologi, luas permukaan spesifik, volume total pori dan rerata jejari pori.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan-peralatan gelas, seperangkat peralatan refluks untuk proses impregnasi, pengaduk magnetik (*stirer*), oven vacum, neraca analitik untuk penimbangan sampel, thermometer digital, pengayak 140-200 mesh, lumpang porselin dan penggerus, *furnace* kolom dan *thermocontrol* untuk aktivasi katalis, kertas saring whatman 42, *hot plate stirrer*, pompa air, reaktor kalsinasi, oksidasi dan reduksi untuk aktivasi katalis, corong *buchner*, pompa vakum, desikator, *gas flow meter*, AAS (Parkin Elmer 3110), XRD-6000 X-Ray Diffractometer, *Transmission Electron Microscopy* Jem-1400 (TEM) dan *Surface Area Analyzer* NOVA-1200.

2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Zeolit alam Ende-Flores, NH₄Cl (Merck), HF (Merck), HCl (Merck), Ni(NO₃)₂·9H₂O (Merck), CeSO₄·4H₂O (Merck), air bebas ion (*deionized water*), Piridin (Merck), glass wool, gas nitrogen (*samator gas*), gas hidrogen (*Samator gas*) dan gas oksigen (*Samator gas*).

2.3 Aktivasi Zeolit Alam Ende-Flores (ZAEF)

Zeolit Alam Ende Flores-NTT yang telah digerus dan diayak dengan lolos pengayak 140-200 mesh direndam dalam air bebas ion sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam, disaring dan endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada temperatur 120 °C selama 6 jam. Sebanyak 100 g zeolit yang telah dicuci dan kering direndam dalam 1 L larutan HF 1 % selama 30 menit sambil diaduk dengan pengaduk magnet, kemudian dicuci dengan air bebas ion dan dikeringkan dalam oven vacum pada temperatur 90 °C selama 2 jam. Sampel ini direndam dalam 1 L larutan HCl 6 N selama 30 menit pada temperatur 50 °C sambil diaduk dengan pengaduk magnet, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion Cl⁻, dikeringkan pada temperatur 90 °C selama 2 jam dalam oven vacuum, selanjutnya sampel zeolit tersebut direndam dalam 1 L larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 60 °C selama 6 jam sambil diaduk, kemudian disaring, dicuci sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, dikeringkan dalam oven vacuum pada 90 °C selama 2 jam. Proses tersebut menghasilkan Zeolit Alam Aktif Ende-Flores (ZAAEF).

2.4 Sintesis Katalis Ni-Ce/ZAAEF

Sampel ZAAEF direndam dalam larutan nikel nitrat dan cerium sulfat, kemudian direfluks pada 60 °C selama 6 jam, disaring, dikeringkan dalam oven vakum 90 °C selama

2 jam, diperoleh sampel Ni-Ce/ZAAEF. Jumlah logam Ni dan Ce yang diimpregnasi sebanyak 5% dari massa ZAAEF. Komposisi rasio atom Ce/Ni precursor divariasi 0, 0,3; 0,6; dan 1, diperoleh masing-masing berturut-turut katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF, Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF. Masing-masing sampel katalis tersebut dimasukkan ke dalam reaktor, dikalsinasi pada ± 515 °C sambil dialiri gas nitrogen selama 2 jam, dilanjutkan dengan oksidasi sambil dialiri gas oksigen selama 2 jam pada temperatur ± 515 °C dan reduksi dengan gas hidrogen pada temperatur ± 515 °C selama 2 jam. Proses ini menghasilkan katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF, Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF.

2.5 Karakterisasi Padatan

Kandungan Logam Ni dan Ce dalam katalis dianalisis menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS) Shimadzu AA-6650, sejumlah 0,1 g sampel masing-masing katalis dimasukkan ke dalam krus teflon, ditambahkan larutan aqua regia, sambil dipanaskan pada penangas pasir. Ditambahkan 3 tetes larutan HF 1% (v/v), hingga larut sempurna. Larutan diencerkan kemudian dilakukan analisis logam Ni dan Ce menggunakan AAS. Keasaman katalis secara kuantitatif ditentukan dengan metode gravimetri gas piridin teradsorpsi.

$$K_{kat} = \frac{(W_2 - W_1)1000}{(W_1 - W_0)M_b} \quad (1)$$

W_0 = berat krus porselin kosong, W_1 = berat krus porselin dan katalis setelah dipanaskan pada suhu 120 °C selama 1 jam, W_2 = berat krus porselin setelah proses adsorpsi gas piridin dalam ruang vakum selama 48 jam, M_b = berat molekul basa piridin, K_{kat} = keasaman katalis (mmol basa/gram). Morfologi katalis dianalisis menggunakan *Transmission Electron Microscopy (TEM)*. Analisis kekeristalan padatan katalis menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD Shimadzu- 6000) menggunakan radiasi CuK α pada panjang gelombang $\lambda = 1,541$ Å, tegangan 40 kV dan arus 30 mA dengan rentang sudut $2\theta = 3-80^\circ$. Untuk menentukan ukuran partikel (*grain size*), berdasarkan data hasil XRD menggunakan persamaan Scherrer (Cullity, 1978):

$$t = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

Dimana: t = diameter grain, β = FWHM (rad), θ = sudut Bragg. *Isoterm adsorption* nitrogen diamati dengan menggunakan suatu instrument Quantachrome Corporation (Nova-1200). Hal yang perlu dilakukan sebelum analisis ini adalah sampel (masing-masing sebanyak 0,5 gram) divakum selama 2 jam pada 150 °C. Selanjutnya gas N₂ dialirkan dan diadsorpsi pada temperatur sangat rendah (77 K) dalam tekanan vakum. Luas permukaan material yang dianalisa (sampel) diukur dari jumlah molekul yang terdeposit (teradsorpsi) di monolayer. Luas permukaan spesifik (SBET), volume total pori dan jejari pori dihitung dengan persamaan BET.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Katalis Ni-Ce/ZAAEF

Sintesis katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan variasi rasio atom precursor Ce/Ni yang telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode *coimpregnation*, yaitu ZAAEF direndam dalam larutan precursor Ni dan Ce sambil diaduk selama 6 jam, kemudian disaring, dikeringkan, kalsinasi, oksidasi dan reduksi. Metode *coimpregnation* sering dilakukan untuk mendispersikan katalis logam bimetal pada suatu pengemban, seperti pada sintesis katalis Pt-Ce/Zeolite (Triyono dan Trisunaryanti, 2008) dan sintesis Ni-Mo/Zeolit Alam (Kadarwati, dkk., 2010). Katalis padatan yang dihasilkan dikalsinasi agar logam dapat terdistribusi secara merata pada permukaan ZAAEF dan rasio Si/Al pada permukaan ZAAEF lebih tinggi dibandingkan dalam badan ZAAEF sehingga dapat

meningkatkan keasaman. Oksidasi dilakukan agar logam yang terimpregnasi dikonversi menjadi oksida sehingga komponen nonlogam yang tidak diharapkan terimpregnasi dapat dilepaskan. Gas NO_2 dan uap air terbawa keluar oleh aliran gas oksigen. Proses reduksi dilakukan untuk mengkonversi oksida logam menjadi logam (Montesinos-Castellanos dan Zepeda, 2008).

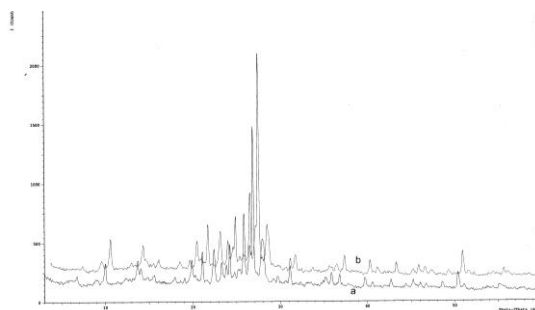
3.2 Kandungan Logam dan Keasaman Katalis

Hasil penentuan kandungan logam Ni dan Ce yang terimpregnasi menunjukkan bahwa jumlah logam Ni dan Ce yang terimpregnasi lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah logam dalam larutan precursor. Jumlah masing-masing logam Ni dan Ce yang terimpregnasi meningkat dengan meningkatnya jumlah logam precursor, tetapi total logam yang terimpregnasi menurun karena peluang logam Ce untuk terimpregnasi pada pengemban katalis lebih kecil dibandingkan dengan Ni, hal ini diduga akibat perbedaan ukuran logam Ni lebih kecil dibandingkan Ce, sehingga logam Ni lebih mudah untuk masuk ke dalam pori-pori zeolit. Berdasarkan tabel 1, terlihat bahwa keasaman ZAEF meningkat setelah proses aktivasi untuk menghasilkan ZAAEF, keasaman semakin meningkat setelah logam Ni dan Ce terimpregnasi pada ZAAEF. Masuknya logam Ce ke dalam ZAAEF semakin meningkatkan keasaman, tetapi pada perbandingan atom precursor Ce: Ni = 1:1 pada katalis Ni-Ce/ZAAEF, keasaman katalis menurun, hal ini diduga akibat semakin banyaknya atom Ce yang terimpregnasi menyebabkan menumpuknya partikel logam dan tidak menciptakan situs asam baru dan mengakibatkan tertutupnya sebagian situs asam.

Tabel 1. Jumlah logam Ni dan Ce dalam larutan precursor dan terimpregnasi serta keasaman katalis

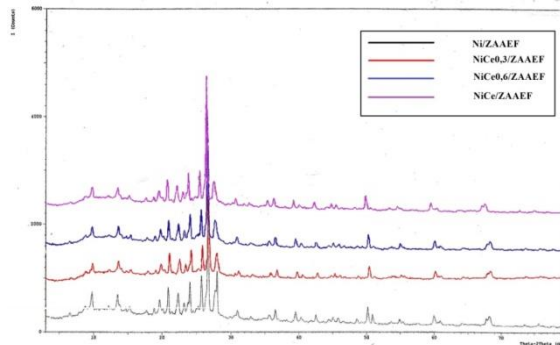
No	Bahan	Logam Ni (wt%)		Logam Ce (wt%)		Total Ni dan Ce (wt%) Terimpregnasi	Keasaman (mmol/g)
		Prekursor	Terimpregnasi	Prekursor	Terimpregnasi		
1	ZAEF	-	0,0045	-	-	0,0045	0,0372
2	ZAAEF	-	0,0046	-	-	0,0046	0,0488
3	Ni/ZAAEF	5,00	0,2822	-	-	0,2822	0,0598
4	Ni-Ce _{0,3} /ZAAEF	2,92	0,1535	2,08	0,0208	0,1743	0,0748
5	Ni-Ce _{0,6} /ZAAEF	2,06	0,1238	2,94	0,0255	0,1493	0,0860
6	Ni-Ce/ZAAEF	1,48	0,1029	3,52	0,0310	0,1339	0,0747

3.3 Struktur Kristal



Gambar 1. Difraktogram (a) ZAEF dan (b) ZAAEF

Hasil analisis X-Ray zeolit alam dan zeolit alam aktif menunjukkan bahwa perlakuan HF, HCl dan NH_4Cl untuk memodifikasi zeolit alam, meningkatkan tingkat kekristalan zeolit alam Ende-Flores, seperti terlihat pada difraktogram gambar 1. Difraktogram hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa kristalinitas zeolit alam Ende-Flores meningkat setelah proses modifikasi dan setelah impregnasi logam Ni dan Ce ke dalam ZAAEF. Pada rasio Ce/Ni berbeda, kristalinitas bahan berbeda, terjadi pergeseran harga 2θ dan perubahan nilai d yang mengindikasikan tidak terjadinya pembentukan fasa baru selama modifikasi dan pengaruh pengembunan logam Ni dan Ce.



Gambar 2. Difraktogram padatan katalis

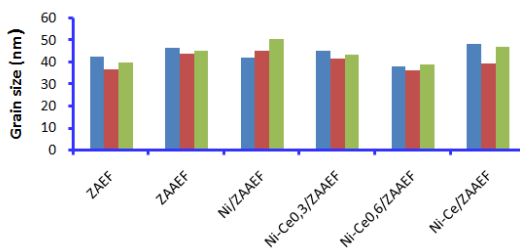
Dari perbandingan difraktogram pada gambar 1 terlihat bahwa pada ZAEF terdapat puncak-puncak spesifik dan 2θ yang bersesuaian dengan data difraktogram mordenit yaitu pada $2\theta = 26,7588^\circ$ ($d = 3,32889 \text{ \AA}$), $25,7403^\circ$ ($d = 3,45826 \text{ \AA}$) dan $24,1287^\circ$ ($d = 3,68547 \text{ \AA}$). Selain tiga puncak tertinggi juga terlihat adanya puncak-puncak spesifik lain yang merupakan puncak dari mordenit pada ZAEF yaitu pada $2\theta = 6,61^\circ$; $13,53^\circ$; $19,74^\circ$; $20,98^\circ$; $27,9^\circ$; $36,67^\circ$. Sedangkan puncak khas untuk mordenit terdapat pada tiga puncak tertinggi yaitu pada $2\theta = 6,51^\circ$; $25,63^\circ$ dan $27,67^\circ$. Pola difraktogram XRD yang khas untuk zeolit jenis mordenit terletak pada sudut 2θ utama yaitu $13,26^\circ$ dan $27,6^\circ$ (Treacy dan Higgins, 2001).

Dari gambar 1 dan 2 terlihat adanya kemiripan difraktogram ZAEF, ZAAEF, Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF, Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF, dan Ni-Ce/ZAAEF, tiga puncak tertinggi selalu muncul pada keenam bahan dan memiliki harga 2θ dan d yang hampir sama. Kemiripan pola difraktogram ini menunjukkan bahwa perlakuan asam, garam, kalsinasi pada suhu $\pm 500^\circ\text{C}$ dan pengembunan logam Ni dan Ce pada ZAEF tidak mengubah struktur kristal ZAEF. Berdasarkan data difraktogram tersebut terlihat bahwa baik ZAAEF maupun katalis memiliki kristalinitas yang baik dengan intensitas total tertinggi ditunjukkan oleh ZAAEF, disusul Ni/ZAAEF. Puncak - puncak yang dimiliki oleh ZAAEF lebih rapat, dengan *base line* lebih rata dan intensitas puncak lebih tinggi dibandingkan ZAEF. *Base line* yang rata menunjukkan jumlah fasa impuritas yang bersifat amorfus sangat minim atau kemurnian kristal tinggi. Apabila terdapat fasa amorfus sebagai impuritas, maka *base line* dari puncak -puncak pada difraktogram tidak rata, membentuk lengkungan (bukit) (Trisunaryanti, dkk., 2012)

Tidak terbentuknya puncak-puncak baru yang signifikan menunjukkan bahwa selama proses sintesis katalis tidak membentuk fasa baru yang mempunyai struktur kristal berbeda dan Zeolit alam asal Ende-Flores mempunyai stabilitas struktur kerangka yang cukup tinggi. Pergeseran puncak-puncak utama yang terlihat dari pergeseran harga 2θ dan d , menunjukkan adanya interaksi antara logam Ni-Ce dengan ZAAEF.

Hasil perhitungan grain size menggunakan persamaan Scherrer menunjukkan bahwa rasio

atom Ce/Ni dalam katalis Ni-Ce/ZAAEF menghasilkan padatan katalis dengan *grain size* berbeda. Secara umum *grain size* padatan berdasarkan data tiga puncak dengan intensitas tertinggi pada masing-masing difraktogram seperti terlihat pada gambar 3 menunjukkan bahwa proses modifikasi zeolit alam menyebabkan meningkatnya *grain size* yang diduga karena hilangnya partikel-partikel pengotor yang berukuran kecil.

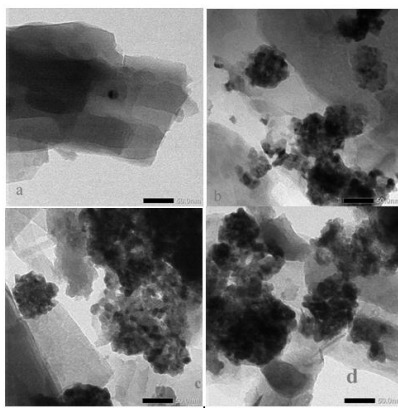


Gambar 3. *Grain size* untuk masing-masing bahan padatan berdasarkan data difraktogram tiga puncak tertinggi.

Setelah logam Ni terimpregnasi pada ZAAEF menyebabkan *grain size* meningkat, yang diduga karena masuknya logam Ni ke dalam pori-pori zeolit, tetapi ketika jumlah logam Ni berkurang dan penambahan logam Ce yang ukuran atomnya lebih besar dibandingkan Ni menyebabkan logam Ce hanya ada di permukaan sehingga *grain size* menurun. Penambahan logam Ce yang lebih banyak dan Ni relatif sedikit, seperti pada katalis Ni-Ce/ZAAEF menyebabkan *grain size* lebih tinggi dari Ni-Ce_{0.6}/ZAAEF karena semakin menumpuknya logam Ce di permukaan Zeolit, hal ini juga dapat terlihat dari menurunnya keasaman permukaan katalis seperti pada tabel 1.

3.5 Morfologi Katalis

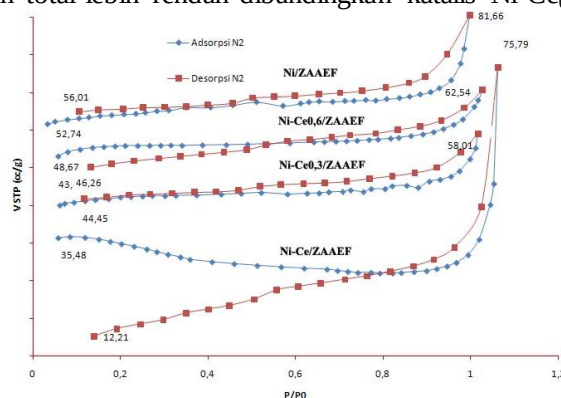
Hasil analisis analisis logam menunjukkan bahwa apabila rasio atom Ce meningkat, jumlah atom Ce yang terimpregnasi meningkat. Hasil analisis morfologi menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM) terlihat adanya agregat partikel logam di permukaan ZAAEF dan tidak merata. Jumlah atom Ce yang terlalu banyak menyebabkan ukuran partikel/agregat logam di permukaan ZAAEF meningkat, pembentukan inti agregat partikel baru kurang. Hal tersebut mendukung data XRD yaitu apabila jumlah atom Ce terlalu banyak, perbandingan Ce/Ni dalam precursor 1,0 meningkatnya *grain size*. Selain itu morfologi katalis yang ditunjukkan pada gambar 4 mendukung data keasaman katalis. Keasaman katalis Ni-Ce/ZAAEF lebih rendah dari keasaman katalis Ni-Ce/ZAAEF, hal ini disebabkan oleh penambahan logam Ce lebih banyak menyebabkan meningkatnya ukuran partikel logam di permukaan ZAAEF dan menutupi pusat aktif asam.



Gambar 4. Morfologi TEM, (a) Ni/ZAAEF, (b) Ni-Ce_{0.3}/ZAAEF, Ni-Ce_{0.6}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF

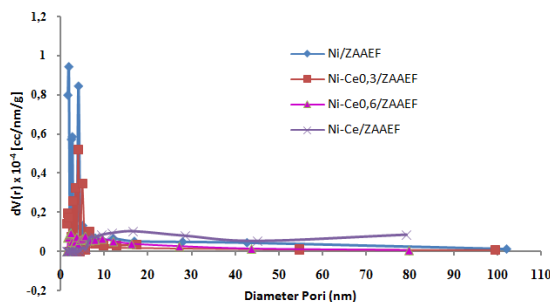
3.6 Adsorpsi – desorpsi Nitrogen

Adsorpsi nitrogen merupakan adsorpsi fisik yang digunakan dalam metode BET untuk menentukan total luas permukaan dan struktur pori suatu padatan (Haber *et al.* 1995). Persamaan BET hanya dapat digunakan untuk adsorpsi isoterm yang mempunyai nilai P/P_0 berkisar antara 0,05 sampai 0,3 (Adamson, 1990). Isoterm linier dari sistem adsorpsi-desorpsi nitrogen yang menunjukkan jumlah adsorpsi nitrogen terhadap tekanan relatif P/P_0 untuk masing-masing katalis ditunjukkan pada gambar 5. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa isoterm adsorpsi nitrogen keempat sampel katalis menunjukkan pola yang sedikit berbeda, dimana pada katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF dan Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF pada tekanan relatif (P/P_0) rendah, kenaikan jumlah gas N₂ yang teradsorpsi relatif kecil, kemudian naik perlahan pada pertengahan dan naik lagi dengan cepat pada P/P_0 mendekati satu. Kenaikan pertama terjadi karena molekul gas yang teradsorpsi berinteraksi dengan daerah yang berenergi pada permukaan padatan tetapi interaksi yang terjadi cukup lemah. Pada pengisian ini telah terbentuk lapisan tunggal, kemudian pada daerah P/P_0 yang lebih tinggi, penambahan molekul gas terjadi pada permukaan yang telah ditempati molekul gas dimana telah terbentuk lapisan tunggal. Pada penambahan ini terbentuk lapisan berlapis (multilayer) dan pada akhir pengisian terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorpsi, selain itu juga terlihat adanya *loop* histeresis pada daerah pertengahan yang menunjukkan adanya mesopori, tetapi *loop* histeresis yang terjadi tidak tajam yang menunjukkan bahwa komposisi mesopori yang tidak dominan dibandingkan dengan mikropori, hal ini didukung oleh hasil perhitungan menggunakan metode *t*-plot seperti terlihat pada tabel 2. Bila dibandingkan dengan tipe isotherm, isoterm ini merupakan isoterm tipe IV menurut definisi yang dikemukakan oleh Brunauer (Brunauer, *et al.*, 1940), yaitu jenis adsorpsi dari padatan berpori meso, yang memiliki ukuran pori 2-50 nm (Gregg dan Sing, 1982), tetapi pola yang tidak tajam diduga menunjukkan komposisi mesopori yang tidak dominan dibandingkan mikropori, hal tersebut didukung oleh data hasil perhitungan menggunakan metode *t*-plot pada tabel 2. Pola isotherm adsorpsi-desorpsi gas N₂ pada katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan rasio Ce/Ni 1:1 menunjukkan pola yang berbeda dari 3 katalis lainnya, diduga sebagai akibat bertambahnya logam Ce dan menurunnya jumlah logam Ni menyebabkan terjadi penumpukan logam di permukaan padatan seperti pada gambar 4, menyebabkan lemahnya interaksi molekul N₂ dengan permukaan yang sudah mengandung banyak logam Ce, hal ini didukung oleh sifat keasaman katalis, katalis Ni-Ce/ZAAEF mempunyai keasaman total lebih rendah dibandingkan katalis Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF.



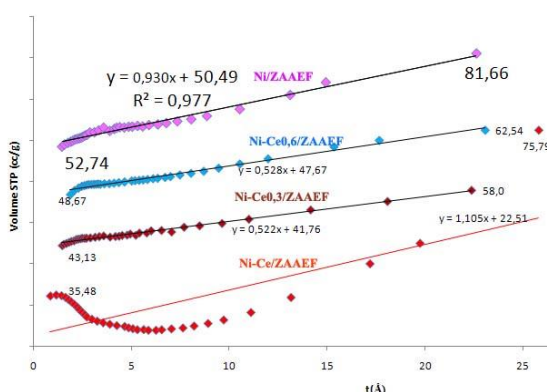
Gambar 5. Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada bahan katalis menggunakan metode BET

Berdasarkan klasifikasi IUPAC (Sing, dkk., 1985), pori dibagi menjadi tiga jenis yaitu mikropori ($d < 2$ nm), mesopori ($2 < d < 50$ nm) dan makropori ($d > 50$ nm). Berdasarkan klasifikasi tersebut, gambar 5 memperlihatkan distribusi ukuran pori untuk masing-masing katalis. Katalis Ni-Ce/ZAAEF mempunyai distribusi ukuran pori lebih dominan mesopori. Adanya logam Ce dalam katalis mempunyai kecenderungan memperbesar ukuran pori.



Gambar 6. Distribusi ukuran pori katalis dengan metode BJH

Pembuktian terhadap adanya pori mikro, meso dan makro pada permukaan padatan katalis dapat dilihat dari data distribusi ukuran pori yang disajikan pada gambar 6. Berdasarkan gambar 6, dapat disimpulkan bahwa adanya histeresis pada seluruh sampel katalis disebabkan adanya pori berukuran meso. Hal ini ditunjukkan oleh grafik distribusi ukuran pori, semua bahan katalis tersebut mempunyai ukuran pori mikro, meso dan makro, tetapi masing-masing katalis mempunyai rentangan diameter pori berbeda. Katalis Ni/ZAAEF mempunyai rentangan diameter pori yang paling besar yaitu berkisar 1,7-102,1 nm, sedangkan pada katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan rasio Ce/Ni = 1:1 mempunyai rentangan 1,5-79,2 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran pori katalis berkurang dengan meningkatnya jumlah logam Ce dalam katalis, tetapi rerata diameter pori meningkat, hal ini diperkirakan karena masuknya logam Ni dan Ce ke dalam pori-pori padatan zeolit terjadi interaksi. Interaksi kuat terjadi apabila ukuran partikel logam sesuai dengan ukuran pori. Mulut pori yang berukuran kecil akan tertutup sehingga berkurangnya pori yang berukuran mikro, sedangkan pori yang berukuran makro akan berkurang menjadi pori yang berukuran meso, sehingga rerata diameter pori menjadi lebih besar dan berada pada rentangan pori berukuran meso seperti pada katalis Ni-Ce/ZAAEF. Sedangkan pada katalis Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF memiliki diameter pori lebih rendah dari katalis Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF diduga karena adanya faktor lain seperti distribusi logam yang tidak merata, hal ini didukung oleh morfologi katalis.

Gambar 7. Grafik *t*-plot untuk sampel katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan variasi rasio logam prekursor Ce/Ni

Kajian distribusi ukuran pori pada daerah mikropori dibutuhkan untuk membuktikan adanya mikropori pada suatu katalis yang memiliki grafik isoterm tipe IV. Salah satu metode yang digunakan untuk analisa permukaan mikropori adalah *t*-plot. Metode *t*-plot merupakan grafik V_{ads} vs. t (*thickness*). Metode ini didasarkan pada perbandingan data adsorpsi isoterm dari sampel berpori dan sampel nonpori (isoterm acuan = tipe II). Gambar 7 merupakan grafik *t*-plot untuk 4 sampel katalis. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semua sampel katalis memiliki pola adanya garis horisontal dari garis linier

mengindikasikan adanya mikropori, sedangkan garis vertikal menunjukkan adanya mesopori (Storck, *et al.* 1998). Katalis Ni-Ce/ZAAEF mempunyai pola yang sedikit berbeda dibandingkan katalis lainnya, hal ini diduga disebabkan oleh bertambahnya logam Ce dan menurunnya jumlah logam Ni menyebabkan terjadi penumpukan logam di permukaan padatan ZAAEF, menyebabkan berkurangnya sebagian situs aktif sehingga interaksi molekul N_2 dengan permukaan yang sudah mengandung banyak logam Ce lebih lemah. Pada tekanan lebih tinggi dari $P/P_0 = 0,75$ dan $t = 8,90$ Å, volume N_2 teradsorpsi pada STP mulai meningkat dari 27,13 cc/g. Berdasarkan grafik *t*-plot tersebut dapat dikatakan bahwa semua sampel katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan variasi rasio atom Ce/Ni = 0; 0,3; 0,6; dan 1,0 memiliki pori yang tidak seragam karena mengandung pori yang berukuran mikro (< 2 nm), meso (2-50 nm) dan makro (> 50 nm), seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Tabel 2. Karakter struktur pori bahan ZAAEF dan Katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan variasi rasio atom Ce/Ni.

Sampel	S m ² /g	S _{mic*} , m ² /g	S _{non mic*} , m ² /g	%S _{mic} ,	V cm ³ /g	V _{mic*} cm ³ /g	%V _{mic}	%V _{non mic}	D _{av pori} nm
ZAAEF	104,756	91,68	12,01	87,57	0,0852	0,0483	87,57	12,42	3,38
Ni/ZAAEF	160,54	146,15	14,38	91,89	0,1260	0,0781	61,84	38,15	3,86
Ni-Ce _{0,3} /ZAAEF	128,46	120,38	8,075	89,87	0,0897	0,0646	71,98	28,01	8,22
Ni-Ce _{0,6} /ZAAEF	143,90	135,73	8,16	94,32	0,0967	0,0737	76,23	23,76	4,94
Ni-Ce/ZAAEF	81,69	64,59	17,09	79,07	0,1172	0,0346	29,57	70,42	33,52

* Dihitung menggunakan metode *t*-plot

4. KESIMPULAN

Katalis Ni-Ce/ZAAEF dengan variasi rasio atom precursor Ce/Ni = 0; 0,3; 0,6 dan 1 berhasil disintesis menggunakan metode koimpregnasi dengan zeolit alam aktif Ende-Flores sebagai pengemban katalis logam Ni dan logam Ce sebagai *promoter*, menggunakan $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ dan $CeSO_4 \cdot 4H_2O$ sebagai precursor. Hasil karakterisasi katalis menunjukkan bahwa keasaman, struktur kristal, kandungan logam Ni dan Ce, morfologi, luas permukaan spesifik, volume total pori dan rerata jejari pori dipengaruhi oleh rasio atom Ce/Ni prekursor. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa perlakuan HF 1%, HCl dan NH_4Cl meningkatkan kristalinitas ZAEF, kalsinasi pada suhu ± 500 °C dan pengembanan logam Ni dan Ce pada ZAAEF tidak mengubah struktur kristal ZAAEF. Baik ZAAEF maupun katalis memiliki kristalinitas yang baik dengan intensitas total tertinggi ditunjukkan oleh ZAAEF, disusul Ni/ZAAEF. Katalis Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF mempunyai keasaman lebih tinggi dibandingkan katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF. Meningkatnya rasio atom Ce/Ni menyebabkan menurunnya kandungan logam total Ni dan Ce dan luas permukaan spesifik, sedangkan volume total pori dan rerata diameter pori cenderung meningkat. Penambahan precursor logam Ce yang lebih banyak menyebabkan terbentuknya agregat partikel logam di permukaan ZAAEF. Katalis Ni/ZAAEF, Ni-Ce_{0,3}/ZAAEF, Ni-Ce_{0,6}/ZAAEF dan Ni-Ce/ZAAEF yang dihasilkan mengandung pori yang berukuran mikropori, mesopori dan makropori. Rerata diameter pori berkisar dari 3,38 – 33,52 nm.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Data dalam penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Fundamental, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktur DP2M Dirjen Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui Dana Desentralisasi, Skim Penelitian Fundamental Tahun Anggaran 2014.

Daftar Pustaka

- [1] Adamson, A.W., 1990, *Physical Chemistry of Surfaces*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] Augustin, J.R., 1990, *Heterogeneous Catalysis For The Synthetic hemist*, 1st ed., Marcel Decker, Inc., New York.
- [3] Augustin, J.R., 1990, *Heterogeneous Catalysis For The Synthetic hemist*, 1st ed., Marcel Decker, Inc., New York.
- [4] Bartholday, J. and Anderson, S.I., 2000, *Energy and Fuels*, 14, 52-55.
- [5] Benito, A.M. and Martines, M.T., 1996, Catalytic Hydrocracking of an Aspaltenic Coal Residue, *Energy & Fuels*, 10, 1235-1240.
- [6] Braunstein, P., and Rose, J., 1988, *Heterometallic Clusters in Catalysis: Stereochemistry of Organometallic and Inorganic Compounds*, 3, Elsevier, Amsterdam.
- [7] Cullity, 1978, *Element of X-Ray Diffraction*. Addison Wesley Publishing Company Inc., Philippines.
- [8] Dinas Pertambangan dan Energi NTT, 1993, Laporan Akhir Pemetaan Makro Bahan Galian Golongan C Tahun 1992-1993, Kupang.
- [9] Gates, B.C., Katzer, J.R., and Schuit, G.C.A., 1989, *Chemistry of Catalytic Process*, McGraw-Hill, New York.
- [10] Gregg, S.J. and Sing, K.S.W. 1982. *Adsorption, Surface Area and Porosity*, 2nd Edition, Academic Press, London.
- [11] Haber, J., Block, J.H. and Delmon, B., 1995, Manual of Methods and Procedures for Catalyst Characterization, *Pure and Applied Chemistry*, 67, 1257-1306.
- [12] Hatanaka, S., Yamada, M., and Sadakane, O., 1997, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 36(1), 175-181.
- [13] Kadarwati, S., Wahyuni, S., Trisunaryanti, W. and Triyono, 2010, Preparation, Characterization, and Catalytic Activity Test of Ni-Mo/Natural Zeolite on Pyridine Hydrodenitrogenation, *Indo. J. Chem.*, 10 (3), 327 – 333.
- [14] Montesinos-Castellanos, A., and Zepeda, T.A., 2008, *Microporous Mesoporous Mater.*, 113, 146–162.
- [15] Nomura, M., Kiden, K., Murata, S., Su Y., Artuk, L. and Miyatani, Y., 1999, Structure and Reactivity of the Asphaltene Fraction of an Arabian Light/Medium Crude Mixture. *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 44(4), 755-758
- [16] Nomura, M., Wega Trisunaryanti, Shiba, R., Muroi, M. and Miura, M., 1997, Effect of the addition of light hydrocarbon solvents on the catalytic hydrotreatment of petroleum heavy fraction, International Symposium on Advances in Catalysis and Processes for Heavy Oil Conversion, *Am. Chem. Soc.*, San Fransisco.
- [17] Purwono, S., Trisunaryanti, W., Triyono, Mudasir, Mugianton, Nomura, M., Miura, M., Satoh, T. and Kiden, K., 2003, Preparation of Catalyst and The Effect of Mo/Ni Ratio Towards Their Characters In Hydrocracking of Asphaltene From Butonian Asphalt, *Regional Symposium on Chemical Engineering*, Makati City, Philipines.
- [18] Sarifudin, K., 2009, Effect of HF, HCl, NH₄Cl Treatments, Impregnation of Ni and Mo Metals towards Crystallinity of Ende-Flores Natural Zeolite, *Media Sains*, 7(2), 12-16.
- [19] Sarifudin, K., Trisunaryanti, W., Triyono, 2004, *Effect of Nb₂O₅ Content Towards Characters, Activity and Selectivity of Mo-Ni/Nb₂O₅-γ-Al₂O₃ Catalyst to Produce Gasoline and Gas oil Fraction in Hydrocracking Process of Asphaltene Fraction from Butonian Asphalt*, PPS UGM.
- [20] Satterfield, C.N., 1990, *Heterogeneous Catalyst In Practice*, McGraw-Hill Book Company, Boston.
- [21] Sawa, M., Niwa, M. and Murakami, W., 1990, *ZEOLITES*, vol. 10, 532-538

- [22] Setyawan, D., Handoko, P., 2001, Preparasi Katalis Cr/ Zeolit melalui Modifikasi Zeolit Alam, Artikel Ilmiah, FMIPA UNJ, Jember.
- [23] Sing, K.S.W., Everett, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouquerol, J. and Siemieniewska, T., 1985, Reporting physisorption data for Gas Solids Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity, *Pure & Appl. Chem.*, 57(4), 603-619.
- [24] Storck, S., Bretinger, H. and Maier, W.F., 1998. Characterization of Micro- and Mesoporous Solids by Physisorption Methods and Pore-size Analysis. *Applied Catalysis A: General*, 174, 137-146.
- [25] Treacy, M.M.J. and Higgins, J.B., 2001, Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites, ELSEVIER, New York.
- [26] Trisunaryanti, W., Shiba, R., Miura, M., Nomura, M., Nishiyama, N., and Matsukata, M., 1996, Characterization and Modification of Indonesian Natural Zeolite and Their properties for Hydrocracking of a paraffin, *Journal of The Japan Petroleum Institute*, 39, 20-25
- [27] Trisunaryanti, W., Triyono, Purwono, S., Mudasir, Amiruddin, Nomura, M., Miura, M., Satoh, T. and Kidena, K., 2003, Preparation and Characterization Ni, Mo, Cr Metal Catalyst and Their Modification Using γ -alumina as a Support for Hydrocracking of Asphaltene Fraction of Butonian Asphalt, *The 39th IUPAC Congress and 86th Conference of The Canadian Society for Chemistry*, Ottawa-Canada.
- [28] Trisunaryanti, W., Triyono, Wijaya, K., Majid, A. B., Priastomo, Y., Febriyanti, E., Hasyati, S. dan Nugroho, A., 2012, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Mordenit dan Zeolit-Y Pada Hidrorengkah Ban Bekas menjadi Fraksi Bahan Bakar, Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 25 Pebruari 2012, ISBN : 978-979-028-550-7, Surabaya.
- [29] Triyono and Trisunaryanti, W., 2008, Effect of Cerium on Hydrodesulfurization Catalyst Performance, *Indonesian Journal of Chemistry*, 8(1), 54-57.
- [30] Weitkamp, J. and Puppe, L., 1999, *Catalysis and Zeolites Fundamentals and Applications*, Spingler, New York.

OPTIMALISASI ALKALI DALAM PROSES SWELLING SELULOSA DARI LIMBAH TONGKOL JAGUNG

WIWIN REWINI KUNUSA¹, HENDRIK IYABU², LUKMAN
LALIYO³, DEASY NATALIA BOTUTIHE⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Gorontalo, Jl.Jendral Sudirman, No. 06 Kota Gorontalo 13220
rewinikunusa2014@gmail.com, lukman.laliyo@ung.ac.id, n-deasy33@yahoo.com

Abstrak

Mekanisme *swelling* selulosa dari tongkol jagung pada konsentrasi NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14%,17% telah dilakukan dan dipelajari. Karakterisasi sifat fisiko-kimia produk selulosa yang dihasilkan meliputi uji kelarutan pada larutan asam-basa, daya serap air, total yield dan analisis morfologi serat menggunakan mikroskop perbesaran 100x ukuran 500 μm . Hasil yang diperoleh untuk daya serap air masing-masing konsentrasi yakni 0.4647 gr, 0.4303 gr, 0.4317 gr, 0.4649 gr, 0.4355 gr, 0.4514 gr, 0.4438 gr, 0.4485 gr. Total yield yang diperoleh masing-masing konsentrasi yakni 30 gr, 21.15gr, 21.26 gr, 21.88 gr, 21.0 2gr, 21.01 gr, 21.02 gr. Karakterisasi hasil foto mikroskop tentang luas area, intensity mean value menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH maka ukuran pori-pori serat semakin besar. Konsentrasi 14% memiliki struktur morfologi yang mirip dengan Avicel dengan ukuran pori yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran pori bahan baku tongkol jagung.

Kata Kunci: tongkol jagung, selulosa, alkali

1. PENDAHULUAN

Limbah tongkol jagung merupakan potensi sumber daya alam terbaharukan yang melimpah kaya akan selulosa yang dapat diolah menjadi produk bernilai ekonomis. Selulosa bersifat biodegradable dan biokompatibel [2][6]. Selulosa tersusun dari unit-unit anhidroglukopiranosida yang tersambung dengan ikatan β -1,4-glikosidik membentuk suatu rantai makromolekul tidak bercabang. Setiap unit anhidroglukopiranosida memiliki tiga gugus OH [21][22]. Pengetahuan tentang proses biosintesis serat selulosa diperlukan untuk menggambarkan pembubaran serat dengan lebih. Disisi lain, pemahaman yang luas tentang pembengkakan (*swelling*) selulosa dan pembubaran harus memberi informasi baru mengenai struktur selulosa dan biosintesis serta treatment aktivasi dan pemilihan pelarut yang lebih baik [15].

Dalam aplikasi, degradasi struktur selulosa merupakan langkah penting karena harus menemukan pelarut yang tidak mengurangi tingkat polimerisasi selulosa [15][16]. Struktur dan komposisi fisio-kimia selulosa yang rumit membutuhkan teknologi pretreatment untuk mengubah struktur rantai intra dan inter molekul pada hidrolisis [3][4]. Degradasi struktur supramolekul terjadi dengan pembengkakan (*swelling*) dan penyisipan gugus kimia yang akan memecah ikatan-ikatan intramolekul dan melapisi molekul-molekul selulosa [3][15][20]. Serat selulosa tidak homogen tergantung pada sumber serat dan kualitas pelarut [5][6][7]. Akses pelarut dalam proses *swelling* melalui pembukaan pori-pori, pembengkakan daerah amorf - kristalin, melemahkan ikatan hidrogen dan penurunan BM [2][6]. Pembengkakan (*swelling*) serat selulosa dan

pelarutan selulosa telah menjadi subyek penelitian, akan tetapi sebagian besar hanya terbatas pada deskripsi tentang fenomena dan ukuran rasio pembengkakan serat [15][19]. Kondisi pretreatment harus disesuaikan dengan komposisi kimia dan struktur spesifik berbagai sumber biomassa lignoselulosa [11][12][13]. Pembengkakan dan pembubaran rantai serat bisa menjadi tantangan tersendiri, karena selulosa memiliki struktur padat dan sebagian kristal yang banyak ikatan hidrogen intra-intermolekuler, hampir tidak larut dalam pelarut yang paling umum [6][15].

Penelitian awal tentang pretreatment alkalin terutama untuk optimalisasi proses *swelling* selulosa telah diteliti dengan berbagai reagen alkalin termasuk NaOH [2,4,8,9] KOH [3,4,5] larutan amonia [6,7], NH_4OH [8], NaOH dan H_2O_2 [9,10]. NaOH dan NH_3 [5][9] NaOH/Urea [16]. NaOH adalah alkali yang sesuai digunakan dalam degradasi struktur selulosa pada sampel ampas tebu [24] Isolasi selulosa dari sekam buah nypa dengan perlakuan NaOH 10% dan 17% [4] optimasi konsentrasi NaOH 4%, 8%, 13%, 18% dalam proses *swelling* selulosa [20][23] isolasi selulosa dalam pelarut NH_3 dan NaOH. Konsentrasi optimum NaOH 12%-18% mengubah mengubah struktur molekul dan supramolekul selulosa kapas selulosa I menjadi selulosa II dengan kristalinitas yang menurun dalam pelarut NaOH [20][25]. Dalam penelitian ini dilakukan kajian tentang optimalisasi NaOH dalam proses *swelling* selulosa dari limbah tongkol jagung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme *swelling* selulosa [1]

Mekanisme *swelling* selulosa dalam berbagai pelarut dapat digambarkan melalui tahapan sebagai berikut [15] :

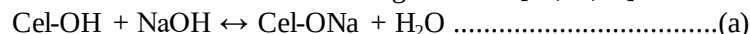
Tahap 1 : Disolusi cepat oleh disintegrasi menjadi fragmen seperti batang.

Tahap 2 : Pembengkakan serat seperti balon dan terjadi pembubaran seluruh serat.

Tahap 3 : Pembengkakan serat seperti balon dan terjadi pembubaran sebagian serat, dan menetap membentuk serat-serat khusus.

Tahap 4 : Pembengkakan homogen dan tidak ada pembubaran dari bagian serat apapun.

Tahap 5: Tidak terjadi pembengkakan dan tidak ada terjadi pembubaran (tanpa menggunakan pelarut). Beberapa penelitian menjelaskan bahwa NaOH sangat efektif dalam bio-konversi lignoselulosa [20]. Secara mekanis, alkali memutuskan ikatan lignin dan glikosidik polisakarida, yang menyebabkan pengurangan tingkat polimerisasi, kristalinitas, pembengkakan serat dan terdegradasinya struktur lignin [11]. Struktur selulosa memiliki permukaan yang lebih terbuka sehingga memudahkan terjadinya interaksi antar muka serat dan matriks [8][11]. NaOH merupakan kompleks pembengkakan selulosa meskipun senyawa tambahan yang sesuai juga dibentuk dengan basa organik dan anorganik lain, memperbaiki dispersi partikel dimana gugus $-\text{OH}$ selulosa bereaksi dengan NaOH membentuk alkali-selulosa dengan reaksi [11,18,23].:



2.2 Tahap Eksperimen

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan yakni peralatan gelas, sentrifuge, oven, mikroskop (Axio) LabA1. Material limbah tongkol jagung dari perkebunan masyarakat Gorontalo.

2.2.2 Kondisi treatment *swelling* alkali

Sampel kering limbah tongkol jagung dipotong-potong kecil, dicuci dengan aquadest dan di oven suhu 60°C - 70°C selama 18 jam. Sampel diblender dan diayak menggunakan Shaker Digital untuk mendapatkan partikel dengan ukuran 80 mesh. Untuk mempelajari mekanisme *swelling* selulosa, dilakukan dengan cara 50 gr tongkol jagung dilarutkan ke dalam larutan NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17% sebanyak 200 mL. Campuran sampel dipanaskan diatas hot plate suhu 100°C selama dua jam. Campuran disaring dan

endapan dicuci dengan aquadest sampai pH netral kemudian dioven pada suhu 60°C hingga diperoleh bobot konstan. Pulp kemudian disimpan dalam desikator [19][20].

2.2.3 Uji Kelarutan dan mekanisme *swelling* selulosa

Selulosa memiliki struktur padat dan sebagian kristal serta banyak ikatan hidrogen intra dan intermolekuler, sehingga hampir tidak larut dalam semua pelarut umum. Untuk itu dilakukan karakterisasi sifat fisiko-kimia yakni sifat kelarutan pada asam - basa kuat (± 1 mL) yaitu : HCL 1M, CH₃COOH 1M, HNO₃ 1M, H₂SO₄ 1M, NH₄OH 1M, NH₃ 1M, KOH 1M dan NaOH 1M

2.2.4 Analisis daya serap dan mekanisme *swelling* selulosa

Untuk mengetahui daya serap air dan mekanisme *swelling* selulosa, dilakukan dengan cara 1 gr sampel NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17% dilarutkan dalam aquadest perbandingan 1 : 2, disentrifuge selama 25 menit, disaring dan dimasukkan dalam oven suhu 60°C selama 8 jam, analisis data dengan menggunakan rumus : [2,9,14].

$$WRV \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{A-B}{B} \dots\dots\dots(b)$$

dimana A adalah berat sampel awal dan B adalah berat akhir setelah pengeringan dioven suhu 60°C selama 8 jam sampai mendapatkan berat konstan.

2.2.5 Total yield dan mekanisme *swelling* selulosa

Tahapan analisis pada prosedur (2.2) , NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17% dilakukan perhitungan untuk total yield yang dihasilkan [20][23].

2.2.6 Analisis

Analisis morfologi serat dan spektrum menggunakan alat mikroskop (AXIO) perbesaran 100x dengan skala 500µm. Pengukuran luas area dan intensitas mean value.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mekanisme *swelling* dalam larutan alkali

Berdasarkan hasil karakterisasi foto mikroskop [Tabel 2] bahwa NaOH sangat efektif dalam bio-konversi lignoselulosa [20]. Secara mekanis, alkali memutuskan ikatan lignin dan glikosidik polisakarida, yang menyebabkan pengurangan tingkat polimerisasi, kristalinitas, pembengkakan serat dan terdegradasinya struktur lignin [11]. Struktur selulosa memiliki permukaan yang lebih terbuka sehingga memudahkan terjadinya interaksi antar muka serat dan matriks [8][11]. NaOH merupakan kompleks pembengkakan selulosa meskipun senyawa tambahan yang sesuai juga dibentuk dengan basa organik dan anorganik lain serta memperbaiki dispersi partikel. Konsentrasi NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17% dinyatakan sebagai volume kation terhidrat yang merupakan ukuran ruangan yang dibutuhkan. Pada konsentrasi rendah hanya pori-pori yang besar dalam struktur selulosa yang terisi. Semakin tinggi konsentrasi NaOH maka gugus-gugus -OH menjadi kian mudah dimasuki air artinya proses *swelling* serat semakin meningkat [19][20].

Uji Kelarutan dan mekanisme *swelling* selulosa

Berdasarkan [tabel 1] uji kelarutan pada kondisi asam dan basa dengan menggunakan Avicel pH 102 sebagai standar menunjukkan bahwa kelarutan produk yang diperoleh dan mekanisme *swelling* sama dengan karakteristik kelarutan standar avicel. Perlakuan alkali 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17% meningkatkan luas permukaan 2 kali lebih besar sehingga efektif untuk proses penyerapan. Daerah amorf yang memiliki susunan rantai polimer yang tidak teratur akan lebih longgar satu sama lain. Susunan yang tidak rata tersebut selain memudahkan molekul bergerak lebih leluasa juga memungkinkan masuknya molekul air atau zat pewarna ke dalam daerah amorf.

3.2 Analisis Daya Serap dan mekanisme swelling selulosa

Berdasarkan [gambar 2] studi interaksi berbagai pelarut dengan serat-serat selulosa memberikan bukti bahwa terdapat gaya-gaya intermolekul. Ikatan -H tidak hanya ada antara gugus-gugus -OH selulosa tetapi juga antara OH-air. Masuknya air ke dalam struktur selulosa berarti pembengkakan struktur. Tetapi disamping air, pelarut lain dapat juga diserap dan diikat oleh ikatan -H. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai daya serap berkisar antara 43%-46%. Semakin tinggi konsentrasi alkali maka gugus-gugus -OH menjadi kian mudah dimasuki air. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan -H tidak hanya antara gugus-gugus -OH selulosa tetapi juga antara OH-air dan OH-pelarut. Berarti penyerapan air atau pelarut organik oleh sampel selulosa tergantung pada jumlah gugus-gugus -OH bebas atau gugus-gugus OH selulosa yang tidak terikat satu dengan lainnya. [11]. Konsentrasi NaOH yang efektif mengadsorpsi air yakni konsentrasi 8% dengan presentase adsorpsi air sebesar 46.49%.

3.3 Total Yield dan mekanisme swelling selulosa

Berdasarkan data total yield (Gambar 1) dinyatakan sebagai persentase penurunan berat rendemen (gr) bahwa konsentrasi NaOH 4% memberikan rendemen tertinggi yakni 30gr. Kemungkinan masih terdapatnya senyawa-senyawa ekstraaktif dan pewarna yang belum terekstraksi sempurna. Semakin tinggi konsentrasi NaOH, maka total yield yang dihasilkan semakin rendah $\pm 21.1545\text{gr}$ s/d 21.8820gr , karena NaOH berfungsi untuk menghilangkan hemiselulosa, dimana hidrolisis basa dilakukan untuk memotong rantai hemiselulosa agar terpisah dari rantai utama yaitu selulosa. Selain itu reaksi dengan NaOH akan menyebabkan molekul lignin terdegradasi akibat pemutusan ikatan aril-eter, karbon-karbon, aril-aril dan alkali-alkali. Padatan yang diperoleh disaring dan diperoleh selulosa dengan kemurnian tinggi [12]. Protein, garam-garam anorganik dan pengotor seperti asam lemak, asam resin, lilin, tannin dan senyawa berwarna terekstrak dalam pelarut maupun. Sebagaimana karbohidrat, protein dan garam-garam anorganik larut dalam air. Pada saat pencucian menggunakan air panas selain untuk penetralan pH juga untuk menghilangkan tannin karena sifatnya yang larut dalam air panas. Penurunan rendemen bisa terjadi sebagai akibat dari adanya selulosa yang ikut terdegradasi dan sebagian besar karbohidrat rantai pendek dengan semakin meningkatnya konsentrasi NaOH [13][14].

3.4 Analisis morfologi dan mekanisme swelling selulosa

Karakterisasi hasil foto mikroskop [Tabel 2] [Gambar 3] menunjukkan bahwa alkali selulosa perbesaran 100x ukuran $500\mu\text{m}$ NaOH 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 17% menyebabkan fibrilasi dan kerusakan serat menjadi potongan-potongan kecil yang meningkatkan luas permukaan 2 kali lebih besar sehingga efektif untuk proses penyerapan. Serat selulosa menunjukkan energi aktivasi tertinggi yang mengindikasikan bahwa serat selulosa stabil secara termal [11]. Struktur serat pada setiap konsentrasi NaOH memberikan *swelling* serat yang berbeda, karena struktur kompleks dan multi-skalanya, mekanisme pembengkakan dan pembubaran serat selulosa tidak homogen. Mengindikasikan pembengkakan dan pembubaran serat dikaitkan dengan sumber serat tetapi juga dengan kualitas pelarut [15][19]. Konsentrasi 14% memiliki struktur morfologi yang mirip dengan Avicel dan memiliki ukuran pori yang lebih besar jika dibandingkan dengan bahan baku tongkol jagung.

4. GAMBAR DAN TABEL

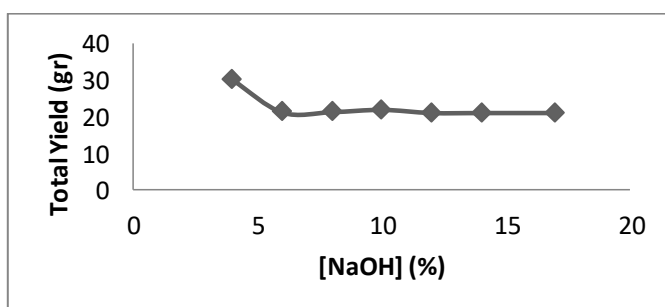
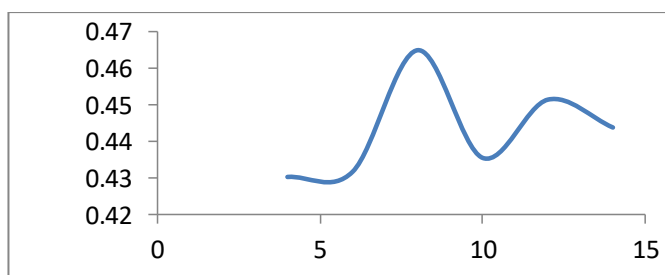
Tabel 1. Hasil uji kelarutan selulosa pada kondisi asam dan basa

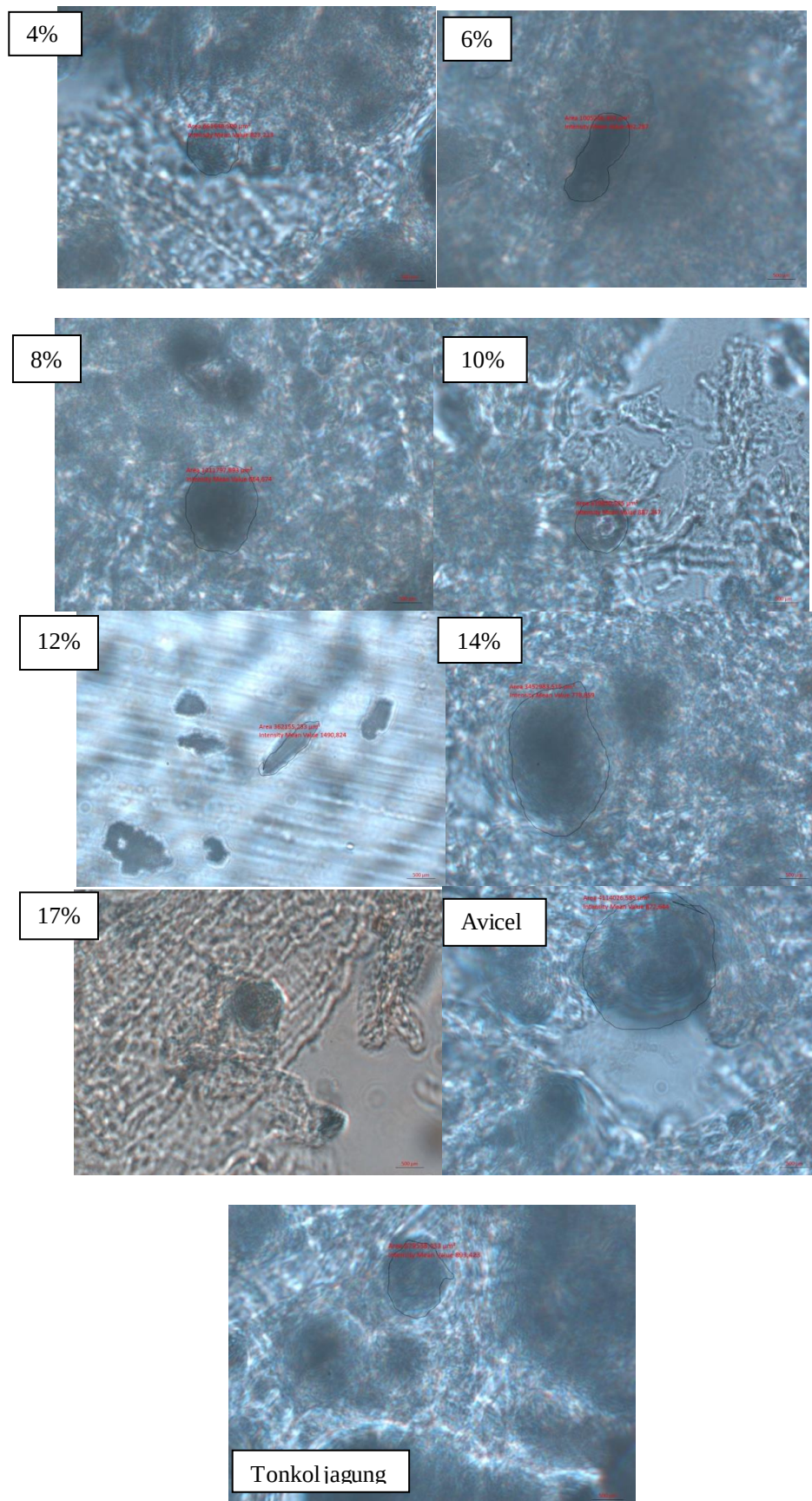
Selulosa alkali	Uji Kelarutan									
	Distilled water	Hot distilled water	HCl 1M	NaOH 1M	HNO ₃ 1M	As.asetat 1M	H ₂ SO ₄ 1M	NH ₃ 1M	NH ₄ OH 1M	KOH 1M
4%	x	o	o	o	o	x	o	x	x	o
6%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
8%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
10%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
12%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
14%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
17%	x	x	x	o	o	x	o	x	x	o
Avixel 102	x	x	x	x	o	x	o	x	x	o

✓ ... larut sebagian : x....tidak larut o ...larut

Tabel 2. Karakterisasi Analisis morfologi dan mekanisme *swelling* selulosa alkali 4%,6%,8%,10%,12%,14% dan 17%, Avicel 102 dan bahan baku

No	Karakterisasi Analisis Morfologi	Selulosa Alkali								
		4%	6%	8%	10%	12%	14%	17%	Avicel pH102	Bahan baku
1	Perbesaran	100x	100x	100x	100x	100x	100x	100x	100x	100x
2	Skala	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m	500 μ m
3	Luas Area (μ m ²)	661648.500	1005368.403	1411797.893	619880.385	95290.358	919475.190	819455.160	4114026.585	879538.43
4	Intensity Mean Value	823.213	492.287	664.674	887.247	778,682	660.034	560.034	972.644	893.423

Gambar 1. Total yield dan mekanisme *swelling* selulosaGambar 2. Daya serap air dan mekanisme *swelling* selulosa



Gambar 3. Hasil foto mikroskop perbesaran 100x skala 500 μ m NaOH 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 17%, standar avicel dan tongkol jagung

5. KESIMPULAN

Perlakuan alkali dengan konsentrasi NaOH 4%,6%,8%,10%,12%,14%,17% menunjukkan mekanisme *swelling* selulosa dari tongkol jagung yang dibuktikan dengan hasil analisis morfologi serat menggunakan mikroskop perbesaran 100x ukuran 500 µm. Konsentrasi 4% memberikan total yield tertinggi yakni 30gr sementara untuk presentase tertinggi untuk daya serap air sebesar 46.49% pada konsentrasi NaOH 10%. Hasil foto mikroskop menunjukkan bahwa alkali menyebabkan fibrilasi dan kerusakan serat menjadi potongan-potongan kecil yang meningkatkan luas permukaan 2 kali lebih besar sehingga efektif untuk proses penyerapan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih buat teman-teman anggota peneliti, saudara-saudara mahasiswa, bapak/ibu dosen, para asisten, laboran yang telah membantu dalam penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Alireza Monshizadeh . 2015., Influence of the molecular weight of cellulose on the solubility in ionic liquid-water mixtures Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology Submitted for inspection on April, 2015. Faculty of Chemistry and Materials Sciences Department of Forest Product Technology
- [2] [A. Mittal](#), R. Katahira, [ME. Himmel](#)., 2011. Effects Of Alkaline Or Liquid-Ammonia Treatment On Crystalline Cellulose: Changes In Crystalline Structure And Effects On Enzymatic Digestibility. *Biotechnology for Biofuels* 4:41. DOI: 10.1186/1754-6834-4-41.
- [3] Anelise Ehrhardt, Sibylle Groner, Thomas Bechtold. 2007., Swelling Behaviour of Cellulosic Fibres – Part I: Changes in Physical Properties1). European Polysaccharide Network of Excellence,
- [4] Arthanarieswaran et al, 2015. Physico-Chemical Properties of Alkali-Treated *Acacia leucophloea* Fibers. [*International Journal of Polymer Analysis and Characterization*](#). Volume 20, 2015 - [Issue 8](#). Pages 704-713 |
- [5] Chukwuemeka P. Azubuike • Hector Rodrı ´guez • Augustine O. Okhamafe • Robin D. Rogers. 2011. Physicochemical properties of maize cob cellulose powders reconstituted from ionic liquid solution. *Cellulose* DOI 10.1007/s10570-011-9631-y
- [6] Halim, A., 1999. Pembuatan dan Uji Sifat-sifat Teknologi Mikrokrystalin Selulosa dari Jerami”. *Jurnal Sain dan Teknologi Farmasi*, 4,1.
- [7] Halim, A., Ben, E.S., Sulastri. E. 2002. Pembuatan Mikrokrystalin Selulosa dari Jerami Padi (*Oryza Sativa Linn*) dengan Versi Waktu Hidrolisa. *Jurnal Sain dan Teknologi Farmasi*.7, 2, 80-87.
- [8] Nathan Mosier^a., Charles Wymen., Bruce Dale., Richard Elander., Y.Y Lee., Mark Holtzaplle., Michael Laish. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *LSEVIER. Bioresource Technology*. [Volume 96, Issue 6](#), April 2005, Pages 673-686
- [9] [Maepa, J.](#) et al, 2014. [Extraction and Characterization of Natural Cellulose Fibers from Maize Tassel](#). [*International Journal of Polymer Analysis and Characterization*](#).
- [10] Mojmír Nĕmec., Lukas Wacker., Irka Hajdas., Heinz Gäggeler., 2010, Alternative Methods For Cellulose Preparation For Ams Measurement, *Proceedings of the 20th International Radiocarbon Conference*, University of Arizona, Vol 52, Nr 2–3, 2010, p 1358–1370.
- [11]Nor Farhana Jasmi., Jamaludin Kasim., Nur Farahin Yusoff., Muslyza Che Hussin., Iffah Izzah Maidin., 2014, Effect Of Alkali Treatment on Mechanical And Physical Properties Of Oil Palm Frond-Polypropylene Matrix, *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, Malaysia, ISSN 2278-5299, Volume 3, Issue 6: Page No.150-154.

- [12] Ohwoavworhwa, F.O., T.A Adelakun., A.O Okhamafe. 2009. Processing Pharmaceutical Grade Microcrystalline Cellulose From Groundnut Husk: Extraction Methods and Characterization, *International Journal of Green Pharmacy*. 70, 97-104.
- [13] Okano T, Sarko A. Mercerization of Cellulose .2. Alkali Cellulose Intermediates and a 23 Possible Mercerization Mechanism. *J Appl Polym Sci* (1985) 30:325-332.
- [14] Orchidea Rachmaniah, Lisa Febriyanti S., dan Khoir Lazuardi. 2009. Pengaruh *Liquid Hot Water* Terhadap Perubahan Struktur Sel Bagas. *Prosiding Seminar Nasional XIV - FTI-ITS* © FTI-ITS 2009, Surabaya, 22 - 23 Juli 2009 ISBN
- [15] Patrick Navard, Céline Cuissinat. 2011. Cellulose swelling and dissolution as a tool to study the fiber structure. *Member of the European Polysaccharides Network of Excellence (1) BP 207 06904 Sophia Antipolis, France*.
- [16] Qianqian Wang^{a,b*}, Wei wei^a, Xia Li^a, Jianzhong Sun^a, Jing He^{b,c}, Mingxiong He^{b,c}. Comparative Study of Alkali and Acidic Cellulose Solvent Pretreatment of Corn Stover for Fermentable Sugar Production. *Bioresources*
- [17] Saba Hina^{1,2}, Yumei Zhang¹ and Huaping Wang¹. 2015. ROLE OF IONIC LIQUIDS IN DISSOLUTION AND REGENERATION OF CELLULOSE. 1State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials, Donghua University, Shanghai 201620, Rev. Adv. Mater. Sci. 40 (2015) 215-226
- [18] Samit Kumar., Yuvraj Singh Negi*, Jugendra Sain Upadhyaya., 2010. Studies On Characterization Of Corn Cob Based Nanoparticles. *Polymer Science and Technology Program, Department of Paper Technology, Indian.*, Research Article Adv. Mat. Lett. 2010, 1(3), 246-253
- [19] Shuai Zhang., Wen Cong Wang., Fa Xueli., Jian-Yong Yu. 2013. Swellosing And Dissolution Of Cellulose In NaOH Aqueous Solvent Systems. *Shanghai 201620, China. Cellulose Chemistry And Technology* 47 (9-10), 671-679.
- [20] [Sun BinZhe](#) et al Sun, Binzhe; Peng, Gege; Duan, Lian; Xu, Aihua; Li, Xiaoxia., 2015. Pretreatment by NaOH swelling and then HCl regeneration to enhance the acid hydrolysis of cellulose to glucose, *Bioresource Technology*, China, Vol.196 pp.454-458 ref.33.
- [21] Syed, 2012. Cold Caustic Extraction Of Spruce Sulfite Dissolving Pulp. *Faculty of Technology and Science Department of Chemical Engineering. Thesis Karlstad University*.
- [22] [Wu JingJing](#)., Li Xiao., Ye Ju., Zhu Li., YY.Dou. 2010. The Effects Of Alkali Pretreatment On The Properties Of Cellulose From Hemp Pulp. *Journal of Natural Sciences Edition*) Volume 34 No.5 pp.96-100 ref.15
- [23] Y. Cao*, S. Sakamoto**, K. Goda*. 2014. Effects Of Heat And Alkali Treatments On Mechanical Properties Of Kenaf Fibers *Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan. **Graduate school of Science and Engineering, Yamaguchi University, Japan
- [24] Ye Chen Mark A Stevens., Yongming Zhu., Jason Holmes and Hui Xu. 2013. Understanding Of alkaline Pretreatment Parameters For Corn Stover Enzymatic Saccharification. *Biotechnology for Biofuels* 20136:8. DOI: 10.1186/1754-6834-6-8.
- [25] Yiying Yue., 2011. A comparative study of cellulose I and II and fibers and nanocrystals. *Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College Louisiana State University. LSU Digital Commons. LSU Master's Theses Graduate School, Agricultural and Mechanical College in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Master of Science in The School of Renewable Natural Resources*.

UJI SENYAWA ANTIMIKROBA DARI ASAM LEMAK DAN *FATTY ACID METHYL ESTER* (FAME) MIKROALGA *Nannochloropsis oculata*

ZULKARNAIN CHAIDIR¹, SARI RAHMI², MARNIATI SALIM³

^{1,2,3}Biochemistry Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Andalas University, Padang - 25163, Indonesia,
zulkarnain_ch@yahoo.co.id

Abstract

Microalgae contains many bioactive molecules including lipid that can be useful for development of antimicrobial compounds. The aim of this research is to test antimicrobial compounds from fatty acid and *fatty acid methyl ester* (FAME) from microalgae *Nannochloropsis oculata*. Lipid from microalgae was extracted using hexane and transesterified using methanol dan sulfuric acid p.a as catalist. Antimicrobial activities were tested using disc diffusion methode against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and yeast *Candida albicans*, at varying concentrations are 100, 200, and 300 mg/L. The result shown that fatty acids and FAME from microalgae *Nannochloropsis oculata* have antibacterial activity and do not have anti-candidal activity against *Candida albicans*. Antibacterial activity of fatty acids is higher than antibacterial activity of FAME on both bacteria. The result shown that fatty acids and FAME contained in lipid of microalgae *Nannochloropsis oculata* are palmitic acid, stearic acid, methyl lauric, and methyl stearic.

Keywords: *Nannochloropsis oculata*, fatty acid, FAME, disc diffusion, antimicrobial.

1. PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan tumbuhan air yang berukuran mikroskopik, memiliki berbagai potensi yang dapat dikembangkan sebagai sumber pakan, pangan, dan bahan kimia lainnya [1]. Mikroalga mengandung banyak molekul bioaktif termasuk lipid yang dapat dikembangkan menjadi senyawa antimikroba. Mikroalga memproduksi metabolit sekunder yang terakumulasi pada media pertumbuhan pada akhir fasa eksponensial dan fasa stasioner. Senyawa yang biasanya mempunyai aktifitas antimikroba yang terdapat pada mikroalga seperti asam lemak, bromofenol, inhibitor fenolik, tannin, terpenoid, polisakarida dan karbohidrat lain dan alkohol [2]. Banyak penelitian yang telah menyebutkan bahwa metabolit dari mikroalga dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur yang merugikan, tetapi sedikit sekali penelitian yang diketahui senyawanya. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa asam lemak dan *fatty acid methyl ester* (FAME) berpotensi sebagai senyawa antimikroba [3]. Mikroalga *Nannochloropsis oculata* (*N. oculata*) merupakan mikroalga yang mudah dikultur secara massal, tidak menimbulkan racun atau kerusakan ekosistem dibak pemeliharaan. [4.]

Hal ini yang menjadi alasan kenapa mikroalga *Nannochloropsis oculata* dipilih sebagai penghasil asam lemak dan *fatty acid methyl ester* (FAME) untuk menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur. Oleh karena itu, peneliti ingin menguji senyawa antimikroba dari asam lemak dan *fatty acid methyl ester* (FAME) mikroalga *Nannochloropsis oculata*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga

Mikroalga merupakan jasad renik atau mikroorganisme dengan tingkat organisasi sel yang tergolong dalam tumbuhan tingkat rendah. Mikroalga dikelompokkan dalam filum thallophyta, merupakan kelompok tumbuhan berukuran renik, baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di seluruh wilayah perairan tawar dan laut. Sebagian besar alga yang tumbuh di air tawar tergolong ke dalam mikroalga karena bersifat mikroskopik. Namun ada beberapa jenis yang dapat dilihat tanpa menggunakan bantuan mikroskop. Mikroalga yang hidup di air tawar dapat menyebabkan “water-bloom”. Keragaman alga cukup besar, ukuran alga bermacam-macam mulai dari yang terkecil memiliki diameter 0,2 - 2 μm hingga yang panjangnya mencapai 60 meter. Keanekaragaman alga juga dilihat dari ekologi dan habitannya, struktur selnya, tingkat morfologinya, pigmen fotosintesis yang dimilikinya. Istilah alga mencakup makroalga (berukuran besar) dan mikroorganisme yang biasa dikenal sebagai mikroalga. Spesies alga diperkirakan mencapai satu sampai sepuluh juta spesies dan kebanyakan adalah golongan mikroalga [5.6]

2.2 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga

Komunitas mikroalga pada suatu perairan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan antara lain temperatur (suhu), nutrisi (unsur hara), intensitas cahaya, derajat keasaman (pH), aerasi (sumber CO_2), dan salinitas [5].

Suhu

Suhu optimal untuk kultivasi mikroalga antara 24-30°C, dan bisa berbeda-beda tergantung lokasi, komposisi media yang digunakan serta jenis mikroalga yang dikultivasi. Namun sebagian besar mikroalga dapat mentoleransi suhu antara 16-35°C. Temperatur di bawah 16°C dapat memperlambat pertumbuhan dan suhu 35°C dapat menimbulkan kematian pada beberapa spesies mikroalga.

Nutrien (Unsur Hara)

Unsur hara yang dibutuhkan mikroalga terdiri dari mikronutrien dan makronutrien. Makronutrien antara lain C, H, N, P, K, S, Mg, dan Ca. Mikronutrien yang dibutuhkan antara lain adalah Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn, dan Si. Diantara nutrisi tersebut, N dan P sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan mikroalga. Khusus bagi mikroalga yang memiliki kerangka dinding sel yang mengandung silikat, misalnya diatom, unsur Si berperan sebagai faktor pembatas. Secara umum kurangnya nutrisi pada mikroalga mempengaruhi penurunan kandungan protein, pigmen fotosintesis dan kandungan produk karbohidrat serta lemak. Unsur nitrogen (N) dan fosfor (P) merupakan unsur hara (nutrisi) yang diperlukan oleh flora (tumbuhan laut) untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Unsur-unsur tersebut ada dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}). Nitrat adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami, nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Fosfat dijumpai dalam bentuk terikat dengan unsur lain membentuk senyawa. Pengurangan prosentase nutrisi fosfat dan nitrat berpengaruh terhadap proses fisiologi mikroalga dan berdampak pada pertumbuhan dengan menghasilkan lemak sebesar 67,7% berat kering. [6]

Intensitas cahaya

Sama seperti tumbuhan lainnya mikroalga juga melakukan fotosintesis, yaitu mengasimilasi karbon anorganik untuk dikonversi menjadi karbon organik. Intensitas cahaya memegang peranan yang sangat penting. Intensitas cahaya yang diperlukan bergantung pada volume dan densitas sel mikroalga. Semakin tinggi densitas dan volume kultivasi semakin tinggi pula intensitas cahaya yang diperlukan. Selain intensitas cahaya,

fotoperiode (lama cahaya bersinar) juga memegang peranan penting sebagai pendukung pertumbuhan alga. *Nannochloropsis oculata* dapat hidup pada intensitas cahaya 2000-4000 lux. *Nannochloropsis oculata* tumbuh secara optimum pada intensitas cahaya 4000 lux dengan menghasilkan total lipid sebesar 38,32%. [7]

Aerasi

Aerasi dibutuhkan untuk mencegah terjadinya pengendapan pada saat kultivasi, selain itu juga untuk memastikan bahwa semua sel mikroalga mendapat cahaya nutrisi dan udara yang sama dimanapun berada. Udara merupakan sumber karbon untuk fotosintesis dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 yang masuk ke perairan akan berubah bentuk menjadi asam karbonat (HCO_3) bergantung dari derajat keasaman (pH) air. Derajat keasaman yang optimum dapat melarutkan CO_2 adalah pada kisaran 6,5 sampai 9,5. Jika pH di bawah kisaran tersebut, maka karbondioksida tetap bentuk CO_2 artinya dapat cepat lepas ke atmosfer dengan demikian tidak diserap oleh mikroalga. Sebaliknya, apabila kondisi pH diatas kisaran tersebut, maka karbondioksida menjadi bikarbonat yang tidak dapat diserap oleh mikroalga.

Salinitas

Salinitas air adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap organisme air dalam mempertahankan tekanan osmotik yang baik antara protoplasma organisme dengan air sebagai lingkungan hidupnya. Beberapa jenis mikroalga yang mengalami perubahan salinitas akibat pemindahan dari lingkungan bersalinitas rendah ke tinggi akan mendapat hambatan dalam proses fotosintesis. Perubahan salinitas juga bisa terjadi ketika turun hujan.

Derajat keasaman (pH)

Proses fotosintesis merupakan proses penyerapan karbon dioksida yang terlarut di dalam air, dan berakibat penurunan CO_2 terlarut dalam air. Penurunan ini akan meningkatkan pH. Oleh karena itu, laju fotosintesis akan terbatas oleh penurunan karbon, dalam hal ini karbon dioksida (CO_2), perubahan bentuk karbon yang ada di perairan dan tingginya nilai pH.

2.3. Media Kultur Mikroalga

Budidaya mikroalga dimedia kultur digunakan sebagai tempat untuk tumbuh dan berkembang biak. Media yang digunakan dalam budidaya mikroalga berbentuk cair yang di dalamnya terkandung senyawa kimia yang merupakan sumber nutrisi untuk keperluan hidupnya. Unsur nutrisi yang diperlukan mikroalga dalam jumlah besar yang disebut makro nutrisi adalah : nitrogen, fosfor, besi, sulfur, magnesium, kalium dan kalsium. Unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang relatif sedikit disebut mikro nutrisi adalah : tembaga, mangan, seng, boron, molibdenum dan kobalt. Kandungan lemak mikroalga tergantung dari jenis mikroalga dan kondisi kultur mikroalga. Lemak pada mikroalga umumnya terdiri atas asam lemak tidak jenuh, seperti linoleat, eicosapentanoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid [8].

3. Metodologi Penelitian

3.1 Bahan kimia, peralatan dan instrumentasi

Bahan-bahan yang digunakan adalah-heksana, metanol, Medium *Bold's Basal* (BBM), Medium *Nutrient Agar* (NA), Medium *Potato Dextrose Agar* (PDA), kloroform, H_2SO_4 pekat, air laut steril, kertas saring Whatman No. 1, akuades, *streptomycin sulphate* (kontrol positif bakteri), *ketoconazole* (kontrol positif jamur), bakteri gram-negatif *Escherichia coli*, bakteri gram-positif *Staphylococcus aureus* dan jamur *Candida albicans*.

Peralatan dan instrumentasi yang digunakan ; Spektrofotometer UV-Vis Genesys 20, lampu neon spiral 24 watt (Visalux), sentrifus, petridish, jarum ose, autoclave, laminar

flow, *cotton bud*, mikroskop cahaya, ultrasonikator Bandelin Sonorex Digitec, corong pisah, pipet mikro, jangka sorong Kromatografi Gas-Spektrum Massa (GC-MS), aplikasi Luxmeter, serta peralatan gelas laboratorium.

3.2. Prosedur penelitian

3.2.1 Pengamatan sel mikroalga

Mikroalga yang diperoleh dari stok di laboratorium diidentifikasi dengan mengambil kultur mikroalga *N. oculata* sebanyak 10 mL. Sampel mikroalga kemudian diteteskan di kaca preparat dan kemudian diamati morfologinya menggunakan mikroskop cahaya.

3.2.2 Pembuatan medium BBM dan BBM modifikasi

Medium BBM dan medium BBM yang dimodifikasi menggunakan air laut steril. Stok larutan medium BBM dibuat dengan memipet makronutrien sebanyak 10 mL dan mikronutrien sebanyak 1 mL diencerkan dengan akuades sampai volume 1 L kemudian medium diautoklaf dan medium didinginkan hingga suhu ruang sebelum digunakan. Sedangkan stok larutan medium BBM air laut dibuat dengan memipet makronutrien sebanyak 10 mL dan mikronutrien sebanyak 1 mL diencerkan dengan air laut steril kemudian medium diautoklaf dan medium didinginkan hingga suhu ruang sebelum digunakan.

3.2.3 Pembuatan kurva pengaruh medium terhadap pertumbuhan mikroalga

Mikroalga *N. oculata* ditumbuhkan pada medium yang berbeda yaitu medium BBM dan medium BBM air laut dalam botol gelas 100 mL dengan volume kultur 88 mL. Cahaya diperoleh dari cahaya matahari. Suhu selama kultivasi adalah suhu ruangan $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Udara diaerasikan ke medium dari mulut botol gelas menggunakan pompa udara. Untuk mendapatkan kurva pertumbuhan mikroalga dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm setiap harinya hingga nilai absorbansi mengalami penurunan.

3.2.4 Pembuatan kurva pengaruh sumber cahaya terhadap pertumbuhan mikroalga

Mikroalga *N. oculata* ditumbuhkan pada medium BBM dalam botol gelas 100 mL dengan volume kultur 88 mL, dan cahaya dari lampu neon spiral dengan intensitas 3000 lux dan fotoperiode 12 jam terang dan 12 jam gelap. Suhu selama kultivasi adalah $\pm 30^{\circ}\text{C}$ berasal dari lampu. Untuk mendapatkan kurva pertumbuhan mikroalga dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm setiap harinya hingga nilai absorbansi mengalami penurunan.

3.2.5 Pengaruh medium terhadap pertumbuhan mikroalga

Mikroalga *N. oculata* ditumbuhkan pada medium yang berbeda yaitu medium BBM dan medium BBM air laut dalam botol gelas 100 mL dengan volume kultur 88 mL. Cahaya diperoleh dari cahaya matahari. Suhu selama kultivasi adalah suhu ruangan $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Udara diaerasikan ke medium dari mulut botol gelas menggunakan pompa udara. Untuk mendapatkan kurva pertumbuhan mikroalga dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm setiap harinya hingga nilai absorbansi mengalami penurunan.

3.2.6 Pengaruh sumber cahaya terhadap pertumbuhan mikroalga

Mikroalga *N. oculata* ditumbuhkan pada medium yang lebih cocok pertumbuhannya dalam botol gelas 100 mL dengan volume kultur 88 mL, dan cahaya dari lampu neon spiral dengan intensitas 3000 lux dan fotoperiode 12 jam terang dan 12 jam gelap. Suhu selama kultivasi adalah $\pm 30^{\circ}\text{C}$ berasal dari lampu. Untuk mendapatkan kurva pertumbuhan mikroalga dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm setiap harinya hingga nilai absorbansi mengalami penurunan.

3.3 Kultur mikroalga

3.3.1 Pemeliharaan kultur murni *N. oculata*

Mikroalga *N. oculata* diperoleh dari laboratorium Biokimia Unand dan dikultivasi pada medium yang paling cocok dengan menambahkan medium pada kultur dengan perbandingan tertentu. Cahaya selama kultivasi diperoleh dari cahaya matahari. Suhu selama kultivasi adalah suhu ruangan $\pm 28^{\circ}\text{C}$. Udara diaerasikan ke medium dari mulut botol gelas menggunakan pompa udara. Setiap kultur terlihat sangat rapat dilakukan kembali penambahan medium secara bertahap. Metode ini dilakukan untuk memelihara kultur murni *N. oculata* agar tidak mati.

3.3.2 Estimasi pertumbuhan dan biomassa kering

Berat kering biomasa *N. oculata* pada akhir fasa eksponensial dalam medium pertumbuhan ditentukan dengan kurva kalibrasi standar yang ditentukan dari persamaan regresi antara absorbansi dan berat kering. Enam kultur (10 mL) mikroalga dibuat dengan menambahkan medium dengan perbandingan 0:10, 2:8, 4:6, 6:4, 8:2 10:0 (medium : kultur). Masing-masing kultur diukur serapannya pada 540 nm kemudian dilakukan sentrifugasi untuk mendapatkan biomassa, biomassa yang diperoleh dikeringanginkan hingga beratnya konstan, berat kering biomassa ditentukan secara gravimetri. Dibuat kurva kalibrasi standar dengan absorbansi sebagai x dan berat kering sebagai y .

3.4 Pemanenan mikroalga

Mikroalga pada fasa akhir eksponensial dipanen dengan sentrifugasi 3500 rpm selama 10 menit. Mikroalga basah dikeringkan pada suhu ruangan dan disimpan dalam lemari pendingin -4°C .

3.5 Ekstraksi lipid

Ekstraksi lipid mikroalga dilakukan dengan cara sonikasi. Mikroalga kering (100 mg) dicampurkan dengan n-heksana 10 mL, kemudian disonikasi selama 30 menit pada sonikator dengan resonansi 35 kHz. Filtrat dipisahkan dan pelet yang didapatkan kemudian ditambahkan n-heksana kembali untuk dilakukan proses ekstraksi, proses diulang hingga ekstraksi lipid selesai dilakukan. Filtrat yang didapatkan dibiarkan pada suhu kamar untuk menguapkan pelarut. Ekstrak lipid ditambahkan dengan metanol (1:6 b/b) dengan 2 tetes katalis H_2SO_4 p.a, dipanaskan dalam oven selama 30 menit pada suhu 80°C . Setelah selesai 4 mL akuades dan 4 mL kloroform ditambahkan, campuran disentrifugasi. Lapisan kloroform diambil kemudian diuapkan pada suhu ruangan sampai kering [9.10]

3.6 Uji aktifitas antimikroba

3.6.1 Uji aktifitas antimikroba asam lemak

Medium NA dan PDA steril dituangkan kedalam cawan petri yang berbeda dan didiamkan pada suhu kamar hingga memadat. Suspensi bakteri dituangkan kedalam cawan petri berisi medium NA, suspensi jamur dituangkan kedalam cawan petri berisi medium PDA diratakan dengan bantuan *cotton bud* sampai membasahi semua permukaan media. Cakram steril (kertas saring Whatman No. 1) dicelupkan kedalam ekstrak lipid yang telah dilarutkan dengan n-heksana untuk konsentrasi masing-masing 100, 200, dan 300 mg/L, diletakkan diatas lapisan agar yang telah memadat. Kontrol positif digunakan untuk bakteri adalah *streptomycin sulphate*, untuk jamur adalah *ketoconazole* dengan konsentrasi 10 mg/L dan kontrol negatif adalah n-heksana. Cawan petri diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, zona hambat yang terbentuk disekitar kertas cakram diukur diameternya.[11]

3.6.2 Uji aktifitas antimikroba FAME

Medium NA dan PDA steril dituangkan kedalam cawan petri yang berbeda dan didiamkan pada suhu kamar hingga memadat. Suspensi bakteri dituangkan kedalam

cawan petri berisi medium NA, suspensi jamur dituangkan kedalam cawan petri berisi medium PDA, diratakan dengan bantuan *cotton bud* sampai membasahi semua permukaan media. Cakram steril (kertas saring Whatman No. 1) dicelupkan kedalam FAME yang telah dilarutkan dengan n-heksana untuk konsentrasi masing-masing 100, 200, dan 300 mg/L diletakkan diatas lapisan agar yang telah memadat. Kontrol positif digunakan untuk bakteri adalah *streptomycin sulphate*, untuk jamur adalah *ketoconazole* dan kontrol negatif adalah n-heksana. Cawan petri diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam, zona hambat yang terbentuk disekitar kertas cakram diukur diameternya. [12]

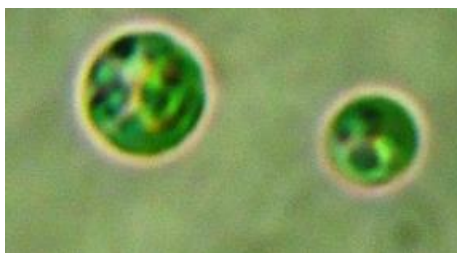
3.6.3 Analisis GC-MS

Produk hasil transesterifikasi (FAME) dianalisis menggunakan GC-MS dengan eksternal standar metil nonadekanoat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Sel Mikroalga

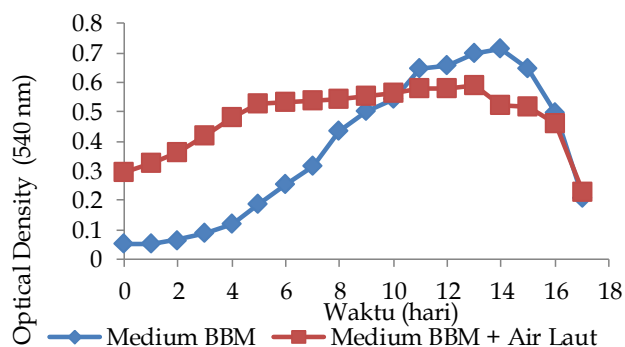
Berdasarkan hasil pengamatan sel mikroalga *N. oculata* dengan mikroskop cahaya pada perbesaran 1000x didapatkan morfologi mikroalga *N. oculata* pada gambar 1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa mikroalga *N. oculata* yang digunakan adalah murni dengan sel berbentuk bola, berwarna kehijauan, tidak motil dan tidak berflagel.



Gambar1. Sel mikroalga *N. oculata* dengan perbesaran1000X

4.2 Pengaruh Medium Terhadap Pertumbuhan Mikroalga

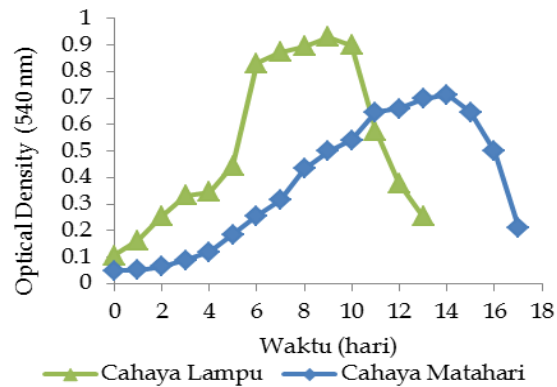
Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa laju pertumbuhan mikroalga *N. oculata* lebih baik pada medium BBM dimana nilai absorban tertingginya mencapai 0,712. Nilai absorban yang tinggi menunjukkan bahwa biomassa yang dihasilkan juga semakin banyak. Laju pertumbuhan *N. oculata* pada medium BBM air laut menunjukkan hasil yang lebih rendah dimana nilai absorban tertinggi hanya mencapai 0,5905. Hal ini dikarenakan stok kultur mikroalga *N. oculata* yang didapatkan dipelihara pada medium BBM sehingga mikroalga *N. oculata* akan lebih baik tumbuh karena telah beradaptasi dengan medium BBM.



Gambar 2. Kurva pertumbuhan *N. oculata* dengan media yang berbeda

4.3 Pengaruh Sumber Cahaya Terhadap Pertumbuhan Mikroalga

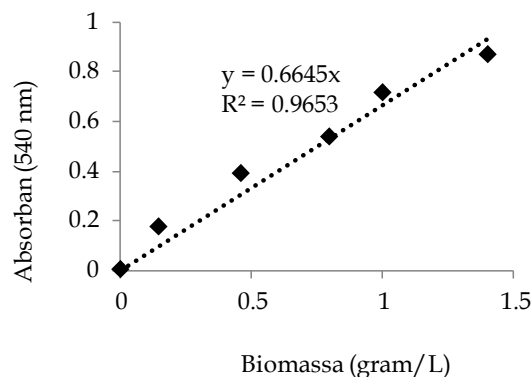
Pengaruh penyinaran dengan dua sumber cahaya menunjukkan bahwa sumber penyinaran terbaik untuk pertumbuhan *N. oculata* adalah cahaya lampu dengan intensitas 3000 lux dengan fase eksponensial dimulai pada hari ke-1 dan puncak fase eksponensial terjadi pada hari ke-6 dengan nilai absorbansi 0,8315. Sedangkan kultur dengan sumber penyinaran cahaya matahari memulai fase eksponensial pada hari ke-4 dan mengalami puncak fase eksponensial pada hari ke-11 dengan nilai absorbansi 0,6465. Kultur dengan penyinaran lampu 3000 lux memiliki laju pertumbuhan lebih baik dibandingkan cahaya matahari karena intensitas cahaya lampu lebih besar dan konstan dibandingkan cahaya matahari.



Gambar 3. Kurva pertumbuhan *N. oculata* dengan sumber cahaya yang berbeda-beda ini menyebabkan laju pertumbuhan mikroalga *N. oculata* lebih baik dibandingkan cahaya matahari.

4.4 Estimasi Biomassa

Hubungan antara derajat absorbansi dan konsentrasi biomassa dalam medium kultur dapat diketahui dengan cara membuat kurva kalibrasi berupa garis linear yang menghubungkan antara absorbansi (OD) media kultur dengan konsentrasi biomassa (g/L) didalamnya. Pengukuran pertumbuhan mikroalga dilakukan dengan mengukur nilai OD pada 540 nm. Berdasarkan persamaan regresi pada absorbansi didapatkan berat kering biomassa mikroalga sebanyak 1,5 g dalam 1 L kultur



Gambar 4. Kurva hubungan densitas optis (OD) dan berat biomassa kering mikroalga

4.5 Ekstraksi Lipid

Dari hasil ekstraksi dengan menggunakan pelarut heksan lipid diperoleh 7,3 % dari biomasa kering *N. oculata*. [9]

4.6 Uji Aktifitas Antimikroba Asam Lemak dan FAME

Tabel 1. Diameter zona bening asam lemak dan FAME mikroalga *N. Oculata*

	Konsentrasi (mg/L)	Diameter zona bening (mm)		
		<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Candida albicans</i>
Asam Lemak	100	0,595	0,745	-
	200	1,68	2,63	-
	300	2,55	2,855	-
FAME	100	0,925	0,845	-
	200	1,53	1,34	-
	300	2,13	1,555	-
Kontrol positif		8,35	9,17	2,37
Kontro negatif		2,45	2,155	-

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa asam lemak dan FAME mikroalga *N. oculata* mempunyai aktifitas antibakteri dan tidak mempunyai aktifitas antijamur terhadap jamur *Candida albicans*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa bakteri gram positif lebih sensitif terhadap asam lemak mikroalga *N. oculata* daripada bakteri gram negatif. Hasil yang sama juga ditemukan pada ekstrak asam lemak mikroalga *Nannochloropsis sp*, FAME dari *Blind Your-Eye mangrove* from India, dan ekstrak lipofilik dari berbagai bagian tanaman *Pistacia vera*. [12]. Selain itu juga dapat dilihat bahwa bakteri gram negatif lebih sensitif terhadap FAME yang berasal dari mikroalga *N. oculata* daripada bakteri gram positif hal ini dikarenakan karakteristik permeabilitas dari molekul FAME tersebut. [11]. Aktifitas antibakteri asam lemak lebih besar dibandingkan aktifitas FAME. Asam lemak dan FAME dapat bersifat toksik bagi bakteri karena efeknya seperti surfaktan yang terdapat pada membran sel bakteri dan menghambat sintesis protein [12]. Zona bening yang dihasilkan oleh asam lemak dan FAME mikroalga *N. oculata* relatif kecil artinya senyawa antimikroba yang dihasilkan mempunyai aktivitas antimikroba yang kecil.

4.7 Analisis Asam Lemak dan FAME Mikroalga *N. oculata* dengan GC-MS

Pengukuran FAME dari lipid mikroalga bertujuan untuk menunjukkan komposisi asam lemak dan FAME yang terdapat pada mikroalga *N. oculata* yang bertindak sebagai senyawa antimikroba.

Tabel 2. Profil Asam Lemak dari mikroalga *N. Oculata*

Nama Umum	Nama Kimia	Struktur Molekul	Kandungan (%)
Asam Palmitat (C16:0)	Asam Heksadekanoat	$C_{16}H_{32}O_2$	7,68
Asam Stearat (C18:0)	Asam Oktadekanoat	$C_{18}H_{36}O_2$	2,14

Tabel 3. Profil FAME dari mikroalga *N. Oculata*

Nama Umum	Nama Kimia	Struktur Molekul	Kandungan (%)
Metil Laurat	Metil Dodekanoat	$C_{13}H_{26}O_2$	0,94
Metil Stearat	Metil Oktadekanoat	$C_{19}H_{38}O_2$	0,61

Dari hasil GC-MS dapat dilihat bahwa senyawa asam lemak yang terdapat pada mikroalga *N. oculata* adalah asam palmitat dan asam stearat dengan komposisi masing-masing 7,68 dan 2,14 % dan FAME yang terdapat pada mikroalga *N. oculata* adalah metil laurat dan metil stearat dengan komposisi masing-masing 0,94 dan 0,61 %. Hal inilah yang menyebabkan aktifitas asam lemak dan FAME mikroalga *N. oculata* sangat kecil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa mikroalga *N. oculata* tumbuh lebih baik pada mediu BBM dengan sumber cahaya lampu dengan intensitas 3000 lux dan fotoperiode 12 jam terang dan gelap. Asam lemak dan FAME yang terdapat pada mikroalga *N. oculata* dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Kandungan asam lemak dan FAME yang terdapat dalam mikroalga *N. oculata* adalah asam palmitat, asam stearat, metil laurat, dan metil stearat.

Daftar Pustaka

- [1] Hadiyanto., Azim, Maulana., 2012, Mikroalga: Sumber Pangan dan Energi Masa Depan, edisi pertama, Undip Press, Semarang.
- [2] Metting, B., 1986, Reviews Biologically Active Compounds from Microalgae. *Enzyme Microb Technol*, (8) 386-394
- [3] Agustini, NWS, Afriastini, M, Maulida, Y., 2014, Potensi Asam Lemak dari Mikroalga *Nannochloropsis* sp Sebagai Antioksidan dan Antibakteri. *Seminar Nasional XI Pendidikan Biologi FKIP UNS*, 1(11) 149-155
- [4] Anderson, RA, 2005. *Algal Culturing Techniques*. Phycology Society of America, Press, China.
- [5] Kawaroe, M. A, Rachmat., A, Haris. 2012. Optimalisasi seleksi spesies mikroalga potensial penghasil minyak mikroalga untuk menunjang kelayakan ekonomi produksi biodiesel. *Prosiding InSINas*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 7- 11
- [6] Ernest, P., 2012, Pengaruh Kandungan Nitrat Terhadap Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.. Skripsi.. Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia : Jakarta.
- [7] Inthe, I. C. E., 2012, Efek Pencampuran Terhadap Produksi Biomassa *Nannochloropsis* sp. Pada Reaktor Pelat Datar. Skripsi.. Depok: UI
- [8] Widianingsih, Hartati, R., Endrawati, Iriani, V. R., 2011, Kandungan lipid total *Nannochloropsis oculata* pada kultur dengan berbagai fotoperiod. *Ilmu Kelautan*, 17(3):119-124.
- [9] Maria, et.al. 2013, Improvement in microalgae lipid extraction using a sonication-assisted method. *Renew Energy*, 55:525-531
- [10] Shin, H.Y., Ryu, J.H., Bae, S.Y., Crofcheck, C., Crocker, M, 2014, Lipid Extraction from *Scenedesmus* sp. Microalgae for Biodiesel Production Using Hot Compressed Hexane. *Fuel*, 130:66-69
- [11] Kokou, F., et al. 2011, Antibacterial Activity in Microalgae Cultures. *Aquacultures Research*, 1-8
- [12] Özçelik, B., Aslan, M., Orhan, I., and Karaoglu, T., 2005, Antibacterial, Antifungal and Antiviral Activities of The Lipophylic Extracts of *Pistacia vera*. *Microbiol. Res*, 160, 159-164

PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN BIOLOGI BERUPA MAGIC DISC MATA KULIAH TAKSONOMI HEWAN PADA MATERI VERTEBRATA UNTUK MAHASISWA BIOLOGI

AFRENI HAMIDAH¹, ANDREO SATRIA², UPIK YELIANTI³

^{1,2,3}Universitas Jambi

Abstrak

Standar kompetensi pembelajaran Taksonomi Hewan yaitu mahasiswa dituntut mampu memahami dan menjelaskan prinsip pengklasifikasian, pendeskripsian, pengidentifikasian, tatanama, tinjauan taksa pada Taksonomi Hewan serta mengetahui karakter khusus dari hewan. Mahasiswa masih banyak tidak mengetahui nama ilmiah dari hewan yang ada di lingkungan sekitar, dan masih ada yang tidak memahami cara pengklasifikasian serta penulisan nama ilmiah masih banyak yang salah. Pada saat pembelajaran, belum tersedia media pembelajaran yang tepat untuk memicu mahasiswa dalam meningkatkan motivasi belajar dalam memahami mata kuliah Taksonomi Hewan. Oleh karena itu, penulis membuat media pembelajaran *magic disc* dengan tujuan agar mahasiswa lebih mudah dalam memahami pengklasifikasian hewan vertebrata. Model pengembangan yang diterapkan pada penelitian ini adalah model ADDIE. Media yang telah dihasilkan kemudian divalidasi oleh ahli desain media dan ahli materi untuk mengetahui kesesuaian dan kelayakan dari produk yang dikembangkan. Media yang telah direvisi dan dinyatakan layak oleh validator selanjutnya diujicobakan kepada mahasiswa pendidikan biologi semester IV dan mahasiswa pendidikan biologi semester VI. Subjek penelitian terdiri dari subjek ujicoba kelompok kecil, kelompok besar dan ujicoba terhadap dosen yang mengampu mata kuliah Taksonomi Hewan. Hasil validasi oleh ahli media sebanyak tiga kali diperoleh persentase akhir 93,7% (sangat baik) dan validasi oleh ahli materi sebanyak tiga kali diperoleh persentase 86,7% (sangat baik). Media *magic disc* yang telah divalidasi selanjutnya diujicobakan kepada kelompok kecil (12 orang) dan kelompok besar (36 orang). Hasil ujicoba kelompok kecil dan besar diperoleh persentase akhir untuk subjek ujicoba semester IV yaitu 80% dan 92,1% (sangat baik) sedangkan untuk persentase akhir subjek ujicoba semester VI yaitu 89,5% dan 86,3% dengan kriteria sangat baik. Selanjutnya hasil ujicoba oleh 2 dosen mata kuliah taksonomi hewan diperoleh persentase akhir 88,7% (sangat baik). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produk media pembelajaran *magic disc* materi Vertebrata termasuk kriteria sangat baik, sehingga dapat digunakan mahasiswa dalam kegiatan belajar untuk memahami lebih lanjut mengenai materi Vertebrata.

Kata Kunci: Pengembangan, Media Pembelajaran *Magic Disc*, Taksonomi Hewan

1. PENDAHULUAN

Biologi merupakan ilmu tentang kajian ilmiah dalam kehidupan yang mencakup semua aspek yang ada di dalamnya seperti makhluk hidup (Campbell, dkk, 2002:1).

Berbagai jenis hewan yang ada di muka bumi ini memiliki nama ilmiah yang sudah dibuat oleh ahli Biologi. Nama ilmiah hanya digunakan pada bidang pendidikan dan pertemuan ilmiah untuk memudahkan komunikasi secara lebih ilmiah, tujuan pembuatan nama ilmiah dalam pendidikan biologi adalah untuk membedakan tiap spesies hewan yang memiliki nama lokal yang berbeda antara satu kelompok masyarakat atau etnis dengan kelompok lainnya.

Bagi mahasiswa biologi sangat penting sekali untuk mengetahui nama-nama ilmiah karena merupakan bahasa yang digunakan dalam pembelajaran Taksonomi hewan. Menurut Amelia (2007:404) taksonomi merupakan cabang biologi yang mempelajari tentang penamaan, penggolongan, dan pengelompokan makhluk hidup berdasarkan persamaan dan perbedaan sifatnya. Mahasiswa biologi pada saat ini mengabaikan nama ilmiah pada hewan, dengan adanya mata kuliah Taksonomi Hewan mahasiswa dapat memahami dan mengetahui tata cara penamaan ilmiah pada hewan.

Sesuai dengan hasil observasi melalui wawancara, mahasiswa lebih banyak mengetahui nama lokal hewan dibandingkan dengan nama ilmiah bahkan sampai pada tingkatan spesies. Padahal nama ilmiah sudah dipelajari pada tiap mata kuliah, seperti dalam praktikum, dan masih banyak lagi kegiatan biologi yang menekankan nama ilmiah. Faktor utamanya adalah mahasiswa menghafal pada saat ujian saja. Setelah pembelajaran selesai mahasiswa akan lupa dengan materi yang dipelajari, dan kurangnya penggunaan media pembelajaran yang lebih menunjang dalam kegiatan pembelajaran, seperti menggunakan media dalam bentuk permainan.

Hamalik dalam Arsyad (2014:19) pemakaian media pembelajaran dalam melakukan proses belajar mengajar dapat membangkitkan keinginan dan minat yang baru, motivasi dan rangsangan kegiatan belajar, serta membawa pengaruh-pengaruh psikologis bagi siswa. Penggunaan media pembelajaran pada saat pembelajaran sangat membantu keefektifan proses pembelajaran dan penyampaian pesan dan isi pembelajaran. Media memiliki keuntungan sebagai alat bantu dalam menerapkan pembelajaran. Menurut Arsyad (20014:4) media merupakan komponen sumber belajar atau sarana fisik yang mengandung materi instruksional yang dapat merangsang minat siswa dalam belajar. Pembelajaran Taksonomi Hewan diperlukan media yang membuat mahasiswa mudah dalam mengelompokkan klasifikasi hewan. Pada materi Vertebrata belum ada dibuat media yang lebih menarik untuk mahasiswa memahami Taksonomi Hewan dalam bentuk permainan. Oleh karena itu penulis tertarik pada media *magic disc* materi Vertebrata.

Magic disc merupakan media yang jarang sekali digunakan dalam biologi karena media *magic disc* tidak banyak dikenal, untuk pembelajaran biologi lebih banyak menggunakan media dalam bentuk modul. Menurut Anwar (2011:1) menyatakan bahwa media pembelajaran *magic disc* dapat digunakan lebih mudah dalam menampilkan informasi secara cepat dan praktis. *Magic disc* terdiri dari dua bagian berbentuk lingkaran (*disc*), antara satu bagian dengan bagian yang lain disatukan dengan kancing pada bagian tengah. Cara kerjanya diputar salah satu bagian atau kedua-duanya searah dengan jarum jam atau sebaliknya. Sesuai dengan pendapat Kusrini (2009:1) penggunaan media *audiovisual magic english* dapat meningkatkan motivasi siswa secara signifikan dalam mempelajari bahasa. Untuk itu dapat dinyatakan bahwa pengembangan media *magic disc* pada mata

kuliah Taksonomi Hewan cukup efisien untuk dilakukan dalam membantu penguasaan atau pemahaman mahasiswa terhadap materi klasifikasi Vertebrata yang dilengkapi dengan permainan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengembangan yang menghasilkan media pembelajaran *magic disc* dan diharapkan dapat melatih kemampuan berfikir mahasiswa tentang pengklasifikasian hewan Vertebrata, serta membantu memberikan pemahaman konsep Taksonomi Hewan secara praktis.

Adapun model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model pengembangan ADDIE (*Analysis, design, development, implementation, evaluation*).

Uji Coba Produk

Tahap I adalah tahap validasi oleh validator yang merupakan para ahli desain dan materi pembelajaran kemudian dilanjutkan dengan proses analisis data hasil validasi dan revisi. Selanjutnya pada tahap II dilakukan ujicoba terhadap dosen mata kuliah taksonomi hewandan dilanjutkan ke tahap III, dimana dilakukan ujicoba kelompok kecil pada 12 mahasiswa sebagai subyek sasaran produk dimana subjek ujicoba 6 orang mahasiswa semester IV yang sedang mengontrak Taksonomi Hewan dan 6 orang lagi mahasiswa semester VI yang sudah mengontrak taksonomi hewan, pada setiap ujicoba data yang didapatkan dianalisis dan dilakukan revisi produk dan tahap IV dilakukan ujicoba kelompok besar pada 36 mahasiswa yang terdiri atas 18 orang mahasiswa semester IV dan 18 orang lagi mahasiswa semester VI.

Subjek Uji Coba

Subjek ujicoba penelitian terdiri dari mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi PMIPA FKIP, semester VI yang telah mengontrak mata kuliah taksonomi hewan dan yang sudah mengontrak taksonomi hewan tahun ajaran 2015/2016, dimana untuk subjek ujicoba kelompok kecil sebanyak 12 orang mahasiswa dan untuk ujicoba kelompok besar sebanyak 36 orang mahasiswa.

Jenis Data

Jenis data yang diambil yaitu data kuantitatif dan kualitatif. Data kualitatif berupa saran dan pernyataan kesesuaian media pembelajaran *magic disc* berdasarkan saran dan masukan dari tim validator. Data yang diperoleh digunakan sebagai acuan dalam revisi produk. Data kuantitatif berupa skor penilaian, validator dan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran *magic disc*.

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini adalah angket. Riduwan (2010) menyatakan Angket yang digunakan adalah angket terbuka dan tertutup. Angket tertutup diberikan kepada siswa dan angket gabungan diberikan ke validator media dan materi. Tim validator memvalidasi dengan cara memberikan penilaian dan saran terhadap produk yang dibuat. Saran perbaikan media diperoleh dari tim validator yaitu validator media dan materi, dan data kelayakan media diperoleh dari mahasiswa saat ujicoba produk dilakukan.

Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik analisis data kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif diantaranya penilaian, saran, serta masukan dari tim ahli selanjutnya dianalisis secara kualitatif. Seluruh hasil berupa saran dan masukan yang

diperoleh dijelaskan dalam bentuk deskriptif. Data ini digunakan untuk memperbaiki media pembelajaran *magic disc* yang dikembangkan. Data kuantitatif yang didapatkan melalui instrumen angket tertutup pada validasi media, uji terhadap dosen mata kuliah Taksonomi Hewan, uji kelompok kecil dan kelompok besar dianalisis dengan menggunakan skala Likert.

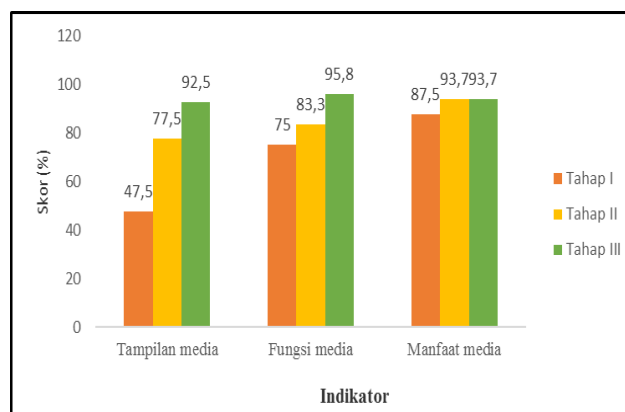
3. HASIL

3.1 Analisis Data Hasil Validasi Media

Pada hasil validasi pertama oleh ahli desain media diperoleh skor sebesar 51 atau 63,7% dengan kategori “Baik” dalam arti masih dalam penilaian yang masih banyak yang perlu diperbaiki. Walaupun tergolong kategori baik namun masih banyak sekali saran dan komentar yang diberikan dengan revisi sebagai berikut: dari segi tampilan media diantaranya pemakaian jenis huruf sudah disamakan, ukuran huruf diperbesar, warna pada media diterangkan, kombinasi warna dengan background secara keseluruhan sudah diganti dengan warna yang lebih hidup, tampilan warna disesuaikan dengan tulisan, perbaiki istilah yang salah. Pada fungsi media sudah baik, dan manfaat media juga sudah baik.

Pada hasil validasi kedua oleh ahli media diperoleh skor 66 atau 82,5% dengan kategori “Sangat Baik” tetapi masih ada beberapa yang perlu diperbaiki, terdapat beberapa saran dan komentar yang diberikan dengan revisi sebagai berikut: kata-kata yang salah sudah diperbaiki, petunjuk pemakaian media pembelajaran dibuat menjadi kelender duduk sehingga menjadi lebih menarik, disarankan oleh ahli desain media untuk membuat tabel perolehan skor, disarankan untuk membuat kotak untuk media.

Hasil validasi ketiga oleh ahli desain media diperoleh skor 75 atau 93,7% dengan kategori “Sangat Baik”. Pada validasi ketiga ini ahli media tidak memberikan saran dan komentar, karena media dianggap sudah sesuai dan dapat dinyatakan layak untuk diujicobakan. Berikut adalah grafik persentase hasil validasi desain media.



Gambar 1. Hasil Validasi Ahli Media

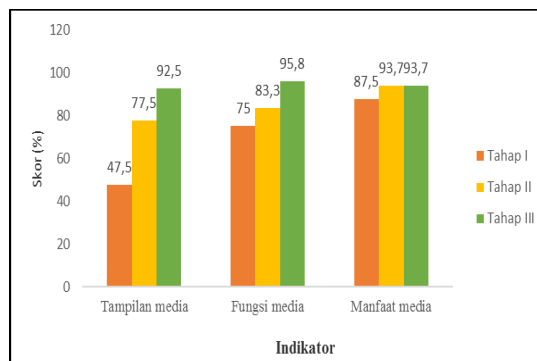
3.2 Analisis Data Hasil Validasi Materi

Pada hasil pertama oleh ahli materi pembelajaran diperoleh skor 41 atau 60,3% dengan kategori “Baik”. Walaupun tergolong kategori baik namun masih banyak sekali saran dan komentar yang diberikan oleh ahli materi pembelajaran dengan revisi sebagai berikut: materi pembelajaran sudah disesuaikan dengan RPS, ketepatan penggunaan istilah diperbaiki, mencari materi yang dapat memotivasi siswa dalam pembelajaran, disarankan

untuk melengkapi materi yang sesuai dengan pembelajaran, gambar hasil dari dokumentasi pribadi, serta gambar dicerahkan agar lebih terang. Tampilan gambar sudah disesuaikan dengan materi yang disampaikan.

Hasil validasi kedua oleh ahli materi pembelajaran diperoleh sebanyak 47 atau 69,1% dengan kategori “Baik”. Walaupun tergolong dalam kategori baik namun pada validasi kedua masih ada beberapa saran dan komentar dari ahli materi dengan revisi sebagai berikut: ciri-ciri pada kartu deskripsi perlu dipersempit sehingga terdapat karakter khusus dari hewan Vertebrata. Materi dilengkapi lagi dengan menambahkan karakter khusus pada hewan Vertebrata, perhatikan istilah yang masih salah serta huruf yang masih salah, ukuran huruf diperbesar.

Pada validasi ketiga oleh ahli materi pembelajaran diperoleh skor sebesar 59 atau 86,7% dengan kategori “Sangat Baik”. Validasi ketiga tidak terdapat saran dan komentar namun ahli materi menyarankan untuk kartu deskripsi lebih difokuskan pada karakter khusus spesies. Materi yang digunakan sudah sesuai dan dapat digunakan serta dapat diujicobakan untuk melihat persepsi mahasiswa dan dosen terhadap media pembelajaran *magic disc* mata kuliah Taksonomi Hewan. Berikut adalah grafik persentase hasil validasi materi.

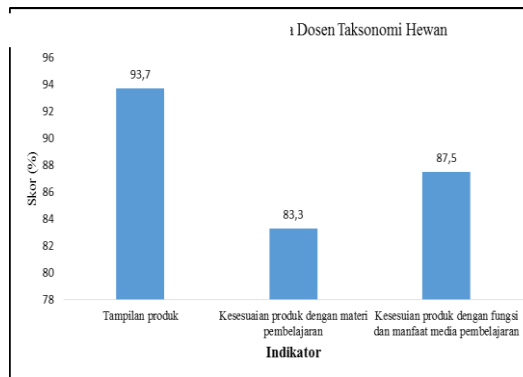


Gambar 2. Hasil Validasi Ahli Materi

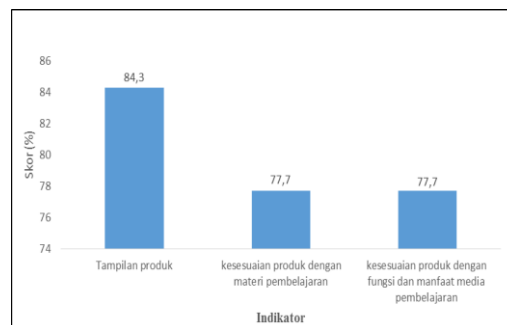
3.3 Analisis Data Hasil Ujicoba

Hasil persepsi dosen mata kuliah Taksonomi Hewan diperoleh skor sebesar 71 atau 88,7% dengan kategori “Sangat Baik” dengan komentar media pembelajaran sangat menarik yang dapat digunakan untuk pembelajaran mata kuliah Taksonomi Hewan. Berdasarkan penilaian serta komentar positif yang diberikan oleh dosen, media pembelajaran *magic disc* diterima oleh dosen dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk mata kuliah Taksonomi Hewan pada materi Vertebrata serta dapat mengatasi keterbatasan waktu dan ruang, menampilkan informasi secara cepat. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Sadiaman (2009:29) mengemukakan bahwa kelebihan dari media *magic disc* dapat mengatasi keterbatasan ruang dan waktu, bersifat konkret, dan menampilkan informasi secara sepat dan praktis serta mudah digunakan.

Hasil ujicoba kelompok kecil pada subjek mahasiswa yang sedang mengontrak Taksonomi Hewan diperoleh skor 193 atau 80% dengan kategori “Sangat Baik”. Sehingga media pembelajaran *magic disc* yang dikembangkan diterima oleh mahasiswa dan dapat digunakan pada kegiatan pembelajaran di kelas, serta memotivasi dan minat mahasiswa dalam kegiatan pembelajaran. *Magic disc* tidak dapat dimainkan oleh individu melainkan dilakukan secara berkelompok. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Hamalik (2016:19) yang mengemukakan bahwa penggunaan media pembelajaran pada proses pembelajaran dapat memberi motivasi serta minat terhadap pembelajaran.



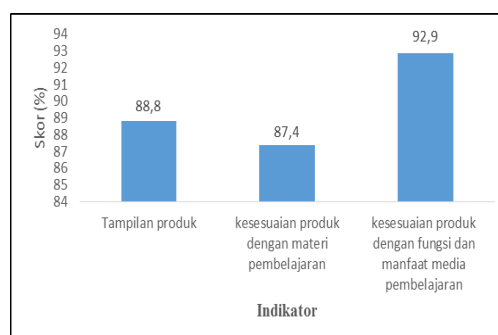
Gambar 3. Persentase ujicoba kepada dosen mata kuliah Taksonomi Hewan



Gambar 4. Persentase hasil ujicoba kelompok kecil semester IV

Hasil ujicoba kelompok kecil pada subjek mahasiswa yang sudah mengontrak Taksonomi Hewan diperoleh skor 215 atau 89,5% dengan kategori “Sangat Baik”. Sehingga media pembelajaran *magic disc* yang dikembangkan diterima oleh mahasiswa dan dapat digunakan pada kegiatan pembelajaran di kelas, serta memotivasi dan minat mahasiswa dalam kegiatan pembelajaran.

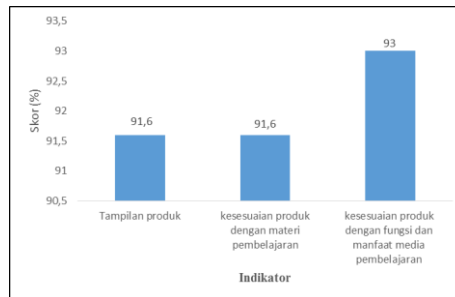
Pada hasil ujicoba kelompok kecil terhadap mahasiswa yang sudah mengontrak Taksonomi Hewan memperoleh jumlah skor yang lebih tinggi dibandingkan dengan ujicoba terhadap mahasiswa yang sedang mengontrak mata kuliah Taksonomi Hewan. Hal itu terjadi karena pada mahasiswa yang sedang mengontrak mata kuliah Taksonomi Hewan masih belum mempelajari semua materi Vertebrata sehingga subjek ujicoba mengalami kesulitan dalam menggunakan media *magic disc*.



Gambar 5. Persentase hasil ujicoba kelompok kecil semester VI

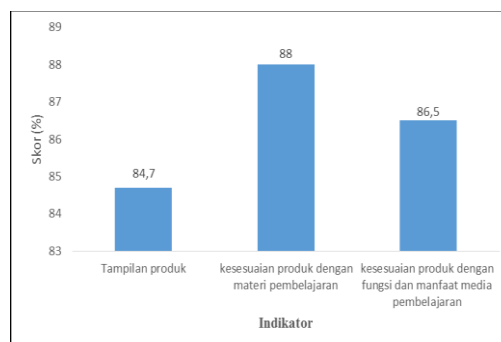
Hasil ujicoba kelompok besar terhadap mahasiswa yang sedang mengontrak mata kuliah Taksonomi Hewan diperoleh skor 663 atau 92,1% dengan kriteria “Sangat Baik”. Sehingga media pembelajaran *magic disc* yang dikembangkan dapat diterima oleh mahasiswa untuk melakukan pembelajaran dalam mata kuliah Taksonomi Hewan. Media

pembelajaran *magic disc* sudah diujicobakan terhadap kelompok besar maka dapat dinyatakan bahwa media *magic disc* sangat cocok digunakan untuk berkelompok, sehingga media pembelajaran *magic disc* tidak dapat dilakukan oleh individu. Dapat disimpulkan bahwa dari hasil persentase yang tinggi adalah pada indikator kesesuaian produk dengan fungsi dan manfaat media pembelajaran yaitu 93%, sedangkan pada indikator tampilan produk dan kesesuaian produk dengan materi pembelajaran diperoleh persentase yang sama yaitu 91,6%.



Gambar 6. Persentase hasil ujicoba kelompok besar semester IV

Hasil ujicoba kelompok besar terhadap mahasiswa biologi yang sudah mengontrak mata kuliah Taksonomi Hewan diperoleh skor 621 atau 86,2% dengan kriteria "Sangat Baik". Sehingga media pembelajaran *magic disc* yang dikembangkan dapat diterima oleh mahasiswa untuk melakukan pembelajaran dalam mata kuliah Taksonomi Hewan. Media pembelajaran *magic disc* sudah diujicobakan terhadap kelompok besar maka dapat dinyatakan bahwa media *magic disc* sangat cocok digunakan untuk berkelompok, sehingga media pembelajaran *magic disc* tidak dapat dilakukan oleh individu. Pada subjek ujicoba kelompok besar terhadap mahasiswa biologi yang sudah mengontrak taksonomi hewan lebih kondusif dibandingkan yang sedang mengontrak mata kuliah Taksonomi Hewan karena sudah mempelajari materi Vertebrata sehingga sudah memahami cara pengklasifikasian Vertebrata, diperoleh hasil persentase tertinggi yaitu pada indikator kesesuaian produk dengan materi pembelajaran yaitu 88%, berikutnya yang tertinggi pada indikator kesesuaian produk dengan fungsi dan manfaat media pembelajaran yaitu 86,5% dan untuk persentase tampilan produk 84,7%.



Gambar 7. Persentase hasil ujicoba kelompok Besar semester VI

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Pengembangan media pembelajaran *magic disc* taksonomi hewan telah dilaksanakan melalui beberapa tahapan, sesuai dengan model ADDIE.
2. Media pembelajaran yang dikembangkan didesain berbentuk delapan lapis lingkaran

dengan ukuran berbeda-beda tiap lingkarannya. Media yang dikembangkan terdiri atas Media yang dikembangkan terdiri dari 30 spesies, yang meliputi 3 spesies dari kelas amfibi, 4 dari kelas reptil, 4 dari kelas pisces, 9 spesies dari kelas aves, dan 9 spesies dari kelas mammalia.

3. Rerata persentase validasi desain media dan validasi materi yang dapatkan yaitu 75 atau 93,7% dan 59 atau 86,7% dengan interpretasi skor untuk tiap item indikator berada pada kategori sangat baik. berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa media sudah layak diujicobakan.
4. Rerata persentase skor yang didapatkan setelah dilakukan ujicoba dosen mata kuliah taksonomi hewan, kelompok kecil dan kelompok besar yaitu 71 atau 88,7%, 193 atau 80%, (semester IV); 215 atau 89,5% (semester VI) dan 663 atau 92,1% (semester IV); 621 atau 86,3% ,dimana interpretasi skor yang didapat untuk masing-masing item penilaian berada pada kategori sangat baik. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dapat dinyatakan bahwa tanggapan dosen mata kuliah taksonomi hewan dan mahasiswa terhadap media yang dikembangkan berada taraf sangat baik.

4.2 Saran

1. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan dan acuan dalam mengembangkan produk media yang relevan.
2. Media pembelajaran dapat dikembangkan lebih lanjut untuk ordo hewan Vertebrata lainnya dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk materi biologi selain Taksonomi Hewan ataupun materi untuk mata kuliah lainnya serta dapat digunakan untuk pembelajaran di sekolah menengah atas.
3. Disarankan bagi peneliti selanjutnya agar mengembangkan media ini dengan bentuk *magic disc* yang berbeda dan lebih menarik agar mahasiswa dapat lebih termotivasi dalam mempelajari Taksonomi Hewan.
4. Kepada peneliti selanjutnya disarankan untuk dapat menguji pengaruh atau efektivitas penggunaan media pembelajaran *magic disc* ini terhadap motivasi belajar Taksonomi Hewan.

Daftar Pustaka

- [1] Amelia, C. 2007. *Kamus Lengkap Biologi*. Jakarta: GBS.
- [2] Anwar. 2011. Produk *Magic Disc*. Diakses tanggal 17 Oktober 2016. <http://media-grafika.com/produk-magic-disc>.
- [3] Arsyad, A. 2014. *Media Pembelajaran*. Jakarta: Rajawali Pers.
- [4] Campbell, N.A., Reece, J.B., dan Mitchell, L.G. 2002. *Biologi*. Alih bahasa lestari, R.et al. Safitri, A., Simarmata, L., Hardani, H.W. (eds). Jakarta: Erlangga.
- [5] Hamalik, O. 2016. *Proses belajar mengajar*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- [6] Kusrini, E. 2009. *Magic English Sebagai Media Pembelajaran Bahasa Inggris*. Skripsi S-1 Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Tidak diterbitkan.
- [7] Riduwan, M.B.A. 2010. *Dasar-dasar Statistika*. Bandung: Alfabeta.
- [8] Sadiman, A.S. Rahardjo, R. Haryono, A dan Rahardjito. 2012. *Media Pendidikan*. Jakarta. Rajawali Press.

PENGUNAAN PESTISIDA NABATI TERHADAP HAMA PENTING TANAMAN CABAI DI KABUPATEN MINAHASA UTARA

CHRISTINA SALAKI¹, JANTJE PELEALU²

^{1,2}Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado,
E-mail : Christinasalaki@gmail.com; [yantje_pelealu@yahoo.com](mailto:jantje_pelealu@yahoo.com)

Abstrak

Penggunaan pestisida nabati ini dilaksanakan di kelompok tani Kalisapun Kelurahan Mapanget Barat Kecamatan Mapanget. Solusi yang ditawarkan dalam program ini adalah (1) memperkenalkan cara alternatif pengendalian dengan pestisida nabati dari bahan-bahan alam yang mudah didapatkan dan diolah dalam skala rumah tangga, (2) membuat modul pengendalian hama dan penyakit pada tanaman cabai, (3) aplikasi hasil produksi pestisida nabati di areal pertanian cabai milik kelompok tani, (4) membuat desain produk pestisida nabati yang diproduksi oleh kelompok tani serta (5) evaluasi dan pendampingan hasil aplikasi pestisida nabati untuk tanaman cabai. Target luaran dari kegiatan ini adalah (1) modul Pengendalian Hama Terpadu pada tanaman cabai, (2) produk pestisida nabati dan (3) buku pestisida nabati.

Kata Kunci: Pestisida Nabati, Tanaman Cabai

1. PENDAHULUAN

Tanaman cabai adalah salah satu jenis tanaman yang diperlukan sebagai bahan pelengkap makanan utama dan perasa pedas yang sangat digemari. Di Sulawesi Utara sendiri, tanaman ini banyak dibudidayakan karena tingkat konsumsi cabai di daerah ini sangat tinggi sebab latar belakang masyarakatnya yang menyukai makanan pedas (Nurfalach, 2010; Tigauw, 2015). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Nasional (2015), produksi cabai menurun pada tahun 2013 dengan angka mencapai 8.461 ton dari tahun sebelumnya (2012) sebesar 9.656 ton dan pada tahun 2014 angka produksi tidaklah terlalu signifikan yaitu 8.487 ton. Luas tanam tanaman cabai di Sulawesi Utara pada Tahun 2013 mencapai 34.525.066 m² (BPS Sulut, 2015). Banyak hal yang mempengaruhi penurunan produksi cabai tetapi serangan hama dan penyakit merupakan faktor penting penyebab penurunan produksi cabai. Untung (2006) menyatakan bahwa kerusakan tanaman akibat serangan hama tidak pernah berkurang, malahan semakin meningkat. Kerugian karena hama di Indonesia per tahun diperkirakan 15-20% dari produksi pertanian total.

Salah satu komponen atau input dalam produktivitas pertanian adalah pengendalian hama. Hama adalah organisme pengganggu tanaman yang dibudidayakan. Organisme hama sangat beragam, dari golongan serangga, burung sampai mamalia. Dari sekian banyak organisme itu, golongan hama yang terdiri atas banyak jenis atau spesies adalah golongan serangga.

Insektisida atau pestisida pembasmi serangga hama yang berasal dari bahan kimia sintesis, selama ini telah dianggap penyelamat karena telah memberikan sumbangan yang nyata terhadap program peningkatan produksi pertanian yang sekaligus meningkatkan pendapatan petani. Setelah keberhasilan yang diperoleh, semakin lama semakin dirasakan bahwa penggunaan pestisida telah menimbulkan akibat sampingan yang merugikan bagi

kelestarian ekosistem pertanian guna menunjang pembangunan pertanian yang berkelanjutan.

Petani di Sulawesi Utara sudah terbiasa menggunakan pestisida dalam mengendalikan hama tanaman yang umumnya tidak lagi memperhatikan jenis hama pada waktu penyemprotan. Akibatnya petani cenderung menambah dosis pestisida yang dianjurkan dan interval waktu penyemprotan semakin pendek. Petani sayuran di Kecamatan Tompaso (sentra produksi hortikultura di Kabupaten Minahasa) dan desa Rurukan (sentra produksi sayuran di Kota Tomohon) dan desa Modoinding (sentra produksi sayuran) menyemprot sampai 10 kali dalam satu musim tanam (Salaki dan Pelealu, 2015; Salaki, 2016; Sembel, 2010).

Pemakaian pestisida sebagai pengendali hama, apabila tidak selektif dan tidak tepat dosis akan dapat membunuh musuh alami hama dan menyebabkan timbulnya resurgensi hama atau hama yang dikendalikan semakin tinggi populasinya, selain itu pestisida ini dapat menimbulkan resistensi hama. Hal tersebut mengakibatkan faktor penghambat populasi hama secara hayati tidak dapat bekerja secara maksimal dan populasi hama terus meningkat (Untung, 2006). Tentu saja hal ini akan mengancam produktivitas pertanian. Selain itu, harga pestisida juga dirasakan mahal bagi petani. Dengan semakin resistennya hama, maka jumlah dan dosis pestisida yang digunakan akan semakin tinggi, sehingga akan meningkatkan biaya produksi. Hal ini tentunya pada akhirnya akan merugikan petani.

Karena berbagai dampak negatif dari pemakaian pestisida di atas, maka mulai dikembangkan alternatif bahan pengganti pestisida yang relatif murah dan lebih aman terhadap lingkungan. Penggalan potensi tumbuhan yang memiliki sifat insektisidal (pestisida nabati atau botanik) menjadi alternatif yang jitu. Selain itu, jauh sebelum program intensifikasi pertanian yang memasukkan input pestisida untuk pengendali hama, para petani tradisional kita telah biasa menggunakan pestisida nabati yang bahannya berasal dari ekstrak tumbuhan yang ada di sekitar kita.

Wiratno, *dkk* ((2011) menjelaskan tentang pembuatan ramuan pestisida nabati yang diperoleh melalui pengalaman di lapangan. Salah satu contohnya adalah ramuan untuk mengendalikan hama wereng pada padi dari bahan-bahan alami, yaitu daun sirsak, rimpang jeringau dan bawang putih yang dicampur dengan sabun colek dan air. Jadi, sebenarnya banyak terdapat bahan-bahan hayati (sumberdaya hayati) di lingkungan sekitar petani yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan pestisida nabati.

Berdasar analisis situasi di atas, maka para petani perlu dibekali dengan pengetahuan dan keterampilan tentang pestisida nabati dan cara pembuatannya, serta tanaman apa saja yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatannya. Dengan demikian, selain dapat menghemat biaya produksi dan meningkatkan produksi pertanian, penggunaan pestisida nabati juga dapat melestarikan lingkungan pertanian sehingga keberlanjutan sistem produksi pertanian dapat terjaga dengan baik.

1.1 Permasalahan Mitra

Masih banyak bahan-bahan alami yang berpotensi mengendalikan hama belum terekplor dan dimanfaatkan dengan baik. Penggunaan pestisida nabati pun masih belum diserap secara baik oleh masyarakat secara umum dan petani secara khusus. Sedangkan serangan dan kerusakan oleh karena hama merupakan mimpi buruk bagi para petani maupun pengusaha pertanian. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan pestisida nabati ditingkat petani sayuran diperlukan pemahaman dan pengenalan terhadap bahan-bahan alami untuk pembuatan pestisida nabati tersebut, melalui sosialisasi dengan mengadakan

penyuluhan dan praktek lapang.

Dalam rangka pengembangan pengendalian serangga hama yang berwawasan lingkungan maka pemanfaatan bahan-bahan alami untuk pestisida nabati merupakan salah satu alternatif untuk diterapkan kepada petani. Oleh karena itu perlu diketahui oleh petani sayuran khususnya tanaman cabai mengenai pestisida nabati yang berpotensi mengendalikan serangga hama. Agar petani dapat mengetahui pestisida nabati, maka diperkenalkan bahan-bahan alami untuk pembuatan pestisida nabati diantaranya, mengenai jenis-jenis pestisida nabati, bahan-bahan tumbuhan di alam yang berpotensi mengendalikan hama, gejala yang ditimbulkan setelah aplikasi pestisida nabati serta membedakan tanaman bermanfaat sebagai pestisida nabati dengan yang tidak bermanfaat. Terdapat beberapa contoh bahan-bahan alami yang telah dimanfaatkan untuk pengendalian serangga hama yakni penggunaan ekstrak daun pepaya, ekstrak daun sirsak dan serai dalam pengendalian serangga hama pada tanaman cabai (Dafrinal *dkk.*, 2012; Hadiyah dan Hartini, 2016; I.G.Adnyan, *dkk.*, 2012). Bila petani sudah dapat memahami dan mengenal bahan-bahan pestisida nabati dapat menimbulkan mortalitas larva-larva tanaman sayuran sudah tentu akan menekan penggunaan insektisida sintetik. Data menunjukkan bahwa penggunaan insektisida ditingkat petani tanaman sayuran dalam hal ini tanaman cabai sudah cukup tinggi dibandingkan dengan tanaman lain seperti jagung dan padi sawah.

1.2 Target dan Luaran

1. Kegiatan ini dapat memberikan motivasi kepada para petani tanaman cabai untuk menggunakan Pengendalian Secara Terpadu dengan memanfaatkan **bahan-bahan alami sebagai PESTISIDA NABATI** dengan pengendalian yang lain dalam penekanan populasi serangga hama tanaman cabai di lapang, agar supaya petani **tidak menggantungkan** pengendalian dengan **cara kimiawi** yang sangat mempunyai efek negatif baik terhadap lingkungan maupun manusia dan hewan peliharaan.
2. Di samping itu, petani dapat mengetahui pengaruh pestisida nabati terhadap serangga hama tanaman cabai untuk dijadikan sebagai **Kandidat Pestisida Nabati yang dapat Dipatenkan/HAKI** disamping itu luaran rencana **Publikasi Ke Jurnal Nasional Terakreditasi**.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan kegiatan menyangkut :

a. Lokasi Kegiatan

Penerapan dan transfer teknologi pemanfaatan bahan-bahan alami sebagai pestisida nabati sebagai salah satu teknik pengendalian yang ramah lingkungan lewat penyuluhan kepada petani dan aplikasinya di lapang pada lahan pertanaman cabai dalam bentuk demonstrasi plot (kebun milik petani) untuk mengendalikan hama tanaman cabai dilaksanakan di Desa Mapanget, Kec. Mapanget Barat. Lamanya kegiatan 8 bulan.

b. Kegiatan yang dilaksanakan

1. Sebelum kegiatan ini dilaksanakan, langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan larutan pestisida nabati dari ekstrak daun pepaya, daun sirsak dan serai. Larutan tersebut dibuat di laboratorium Entomologi dan Hama Tumbuhan, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Unsrat Manado. Kegiatan

selanjutnya perbanyakkan larutan yang memiliki nilai efektivitas tinggi dalam hal ini mortalitas maupun antimakan untuk digunakan dalam aplikasi di lapang.

2. Penyuluhan kepada petani cabai (Ceramah/Diskusi).
3. Pelatihan pembuatan pestisida nabati
4. Demonstrasi plot, penggunaan pestisida nabati berbahan ekstrak daun pepaya, daun sirsak dan serai terhadap hama-hama penting tanaman cabai.
5. Monitoring di lapang untuk melihat serangan hama pada tanaman cabai dan kerusakannya.
- c. Rancangan Evaluasi
 1. Evaluasi dilaksanakan setiap 2 minggu selama satu musim tanam
 2. Kegiatan penyuluhan dilaksanakan kepada masyarakat petani cabai sebelum diadakan demonstrasi plot pengendalian dengan menggunakan pestisida nabati dari ekstrak daun pepaya, daun sirsak dan serai.
 3. Pelatihan pembuatan pestisida nabati dan mengaplikasikan hasil produksi pestisida dalam bentuk demonstrasi plot ke areal tanaman cabai milik petani
 4. Demonstrasi plot dilakukan pada pertanaman cabai milik petani dengan menggunakan pestisida nabati yang telah disiapkan dengan cara penyemprotan pada tanaman sayuran.
- d. Partisipasi Mitra dalam Pelaksanaan Program
Pemerintah/kelompok tani telah memberikan peluang/respon kepada Tim IPTEK untuk melakukan kegiatan ini dengan menyediakan tempat untuk penyuluhan dan kebun untuk tempat pelaksanaan demonstrasi plot.

2.2 Kelayakan Pelaksana

Kinerja Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat

Penyusunan Rencana Strategis Pengabdian Kepada Masyarakat di Universitas Sam Ratulangi memperhatikan isu-isu global Masyarakat Ekonomi Asean (MEA), isu nasional, dan isu wilayah antara lain mewujudkan kemandirian ekonomi dengan memperkuat sektor pertanian dan sumberdaya kemaritiman dalam mewujudkan kesejahteraan masyarakat.

LPPM sebagaimana dimaksud dalam Organisasi Tata Kerja Universitas Sam Ratulangi No 49 Tahun 2013 Pasal 73 ayat (5) huruf a mempunyai tugas melaksanakan, mengkoordinasikan, memantau, dan mengevaluasi pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, menyelenggarakan fungsi:

- a. Penyusunan rencana kerja, program, dan anggaran Lembaga;
- b. Pelaksanaan penelitian ilmiah murni dan terapan;
- c. Pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat;
- d. Koordinasi pelaksanaan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di lingkungan UNSRAT;
- e. Memfasilitasi publikasi hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat;
- f. Peningkatan relevansi program penelitian dan pengabdian kepada masyarakat sesuai dengan kebutuhan masyarakat;
- g. Pemantauan dan evaluasi pelaksanaan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat; dan pelaksanaan urusan administrasi Lembaga.

Berbagai prestasi telah dihasilkan LPPM UNSRAT dalam rangka mencapai standar kualitas kelembagaan dan kinerja. Prestasi tersebut yaitu:

1. Publikasi ilmiah dalam bentuk buku ber-ISBN mengikuti standar buku SNI yaitu pada tahun 2014 sebanyak 15 buku, tahun 2015 sebanyak 16 buku dan tahun 2016

- sebanyak 18 buku.
2. Publikasi ilmiah dalam bentuk jurnal cenderung meningkat. Tahun 2014 jumlah jurnal internasional sebanyak 220 buah, tahun 2015 dan 2016 masing-masing 218 dan 230 buah.
 3. Dosen yang mengikuti seminar internasional pada tahun 2014 sebanyak 50 orang, pada tahun 2015 sebanyak 75 orang, dan tahun 2016 sebanyak 80 orang.
 4. Jumlah HKI/paten tahun 2014 sebanyak 12 tahun 2015 sebanyak 5 dan tahun 2016 sebanyak 5.

Beberapa Skema Pengabdian Kepada Masyarakat dari berbagai sumber dana yaitu dari Kemenristekdikti, Kementerian Pertanian, dan kerjasama dengan mitra di tingkat nasional maupun internasional.

Sumber Daya Manusia

Tim pelaksana kegiatan ini adalah staf dosen jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado dan Staf pengajar di Program Pascasarjana UNSRAT Manado. Kegiatan penelitian ini merupakan bentuk transfer IPTEK kepada anggota kelompok tani yang langsung diterapkan di lapangan. Teknologi yang akan ditransfer kepada anggota kelompok tani merupakan hasil pengalaman melalui penelitian-penelitian yang sudah pernah dilaksanakan oleh tim pelaksana sendiri (Prof. Dr.Ir.Christina.L.Salaki, MS) maupun hasil penelitian dari mahasiswa bimbingan baik S1, S2 dan mahasiswa S3. Tim juga telah banyak terlibat dalam kegiatan pengabdian pada masyarakat melalui aktifitas penyuluhan dan pendampingan petani dan kelompok tani. Dalam menghadapi masyarakat (Prof.Dr.Ir.Jantje Pelealu, MS), secara khusus Ketua pengusul dan anggota pengusul telah berpengalaman dalam pendampingan pada masyarakat terutama pada kegiatan pemberdayaan masyarakat dan penguatan kelembagaan di tingkat komunitas masyarakat desa.

3. HASIL

3.1 Kegiatan Penyuluhan

Kegiatan awal dari pelaksanaan IbM ini adalah melakukan koordinasi dengan ketua kelompok tani untuk mendata kelompok-kelompok tani yang dapat mengikuti kegiatan penyuluhan, serta membahas tempat dan waktu yang akan digunakan untuk pelaksanaan demonstrasi plot. Kegiatan penyuluhan kepada petani ini dilaksanakan di desa Mapanget pada kelompok tani tanaman cabai.. Dalam penyuluhan tersebut, Tim menjelaskan hal-hal yang berkaitan dengan pengendalian hama terpadu terlebih khusus bagaimana cara membuat dan menggunakan pestisida nabati secara efektif dan efisien. Kegiatan penyuluhan ini dihadiri oleh kelompok tani maupun masyarakat sekitar tempat pelaksanaan penyuluhan.

3.2 Membuat Modul

Modul pengendalian hama dan penyakit dengan menggunakan pestisida nabati telah dibuat dan diberikan kepada kelompok tani melalui ketua kelompok tani. Modul ini terdiri dari bahan-bahan pestisida nabati yang dapat digunakan untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman cabai.

3.3 Pelatihan Pembuatan Pestisida Nabati

Pelatihan pembuatan pestisida nabati telah dilakukan sebanyak 3 kali pertemuan yang diikuti oleh peserta sebanyak 22 orang petani yang terdiri dari 2 kelompok tani.

Demonstrasi Plot

Demonstrasi plot ini dilaksanakan di desa Mapanget, Kabupaten Minahasa utara. Demonstrasi plot ini menjelaskan dan menggambarkan tentang penggunaan pestisida

nabati terhadap tanaman cabai secara tepat. Pada demonstrasi plot ini diikuti oleh peserta dari 2 mitra dengan 2 orang narasumber yang menjelaskan tentang penggunaan pestisida nabati yang efektif pada tanaman cabai.

3.4 Monitoring

Monitoring dilakukan setiap 2 minggu sekali untuk melihat pengaruh pestisida nabati pada aplikasi dalam demonstrasi plot. Hasil uji patogenisitas di lapang menunjukkan bahwa jenis pestisida nabati mempunyai kemampuan untuk membunuh hama penting pada tanaman cabai yaitu kutu daun *Myzus persicae*

4. KESIMPULAN

1. Pelatihan pembuatan pestisida nabati dapat bermanfaat bagi petani dalam rangka menekan biaya dan mengembangkan sistem pertanian yang ramah lingkungan.
2. Petani memerlukan tambahan pengetahuan dan ketrampilan membuat pestisida nabati untuk mendukung kegiatan pertanian.
3. Pelatihan pembuatan pestisida nabati merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan potensi sumber daya lokal yang ada di lingkungan sekitar.

Daftar Pustaka

- [1] [BPS] Badan Pusat Statistik Nasional, 2015. Produksi dan Luas Daerah Tanaman Cabai di Indonesia. <http://www.bps.go.id/Subjek/view/id/55#subjekViewTab3|accordion-daftar-subjek3>.
- [2] Dafrinal., R. Widiana dan A. Lusi, 2012. Kepadatan Populasi Kutu Daun (*Myzus persicae*) dan Predatornya (*Monoshillus sexmaculata*) pada Tanaman Cabe (*Capsicum annum*) Di Kecamatan Kotoparik Gadang Diatesh Kabupaten Solaok Selatan. Program Studi Pendidikan Biologi dan Ilmu Pendidikan STKIP PGRI Sumatera Barat.
- [3] Ida Hadiyah dan Elya Hartini., 2016. Efikasi Beberapa Bahan Pestisida Nabati dalam Mengendalikan Hama Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.)
- [4] I Gede Sila Adnyana, K. Sumartha dan I.P. Sudiarta , 2012. Efikasi Pestisida Nabati Minyak Atsiri Tanaman Tropis terhadap Mortalitas Ulat Bulu Gempinis. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. Vol.1. No.1, Juli 2012.
- [5] Nurfalach, D.R. 2010. Budidaya Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) Di UPTD Perbibitan Tanaman Hortikultura Desa Pakopen Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Tugas Akhir (online). <http://eprints.uns.ac.id/8836/1/156592308201001241.pdf>.
- [6] Salaki, Ch dan J. Pelealu, 2015. Kajian pemanfaatan entomopatogen indigenous Indonesia yang potensial sebagai kandidat Biopestisida Ramah lingkungan terhadap hama penting tanaman cabai. Fakultas Pertanian Unsrat Manado
- [7] Salaki, Ch. 2016. Efikasi Beberapa Pestisida Nabati Dalam Mengendalikan Hama Tanaman Cabai. Fak Pertanian Unsrat.
- [8] Sembel, D.T. 2010. Pengendalian Hayati. Fakultas Pertanian Unsrat Manado. Andi Offset : Yogyakarta.
- [9] Tigauw, S.I. 2015. Efektivitas Penggunaan Ekstrak Bawang Putih dan Tembakau Terhadap Hama *Myzus persicae* Pada Tanaman Cabai. Usulan Penelitian. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [10] Untung, K. 2006. *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu*. Edisi Kedua. Fakultas Pertanian UGM, Gadjah Mada University Press.
- [11] Wiratno, Siswanto, Luluk dan S. Suriati, 2011. Efektivitas Beberapa Jenis Tanaman Obat dan Aromatik Sebagai Insektisida Nabati untuk Mengendalikan *Diconocoris hewetti* (Hemiptera; Tingidae). *Bul.Litro*. Vol.22 No.2. 2011. Hal. 198-204.

ELEMEN BIOMINERAL BIANG MUTIARA KERANG *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) YANG DIKULTUR DALAM KOLAM BERBEDA

CYSKA LUMENTA¹, OCKSTAN KALESARAN²

^{1,2}Universitas Sam Ratulangi Manado,
cyskaliu@gmail.com;okstankalesaran@yahoo.com

Abstrak

Studi biang mutiara kerang *Sinanodonta woodiana* telah dilakukan untuk menganalisis elemen utama yang terkandung dalam lapisan cangkang kerang tersebut. Sampel cangkang diperoleh dari hasil pemeliharaan kerang *S. woodiana*, sebanyak 9 individu dari kolam pemeliharaan di Remboken (Kabupaten Minahasa) dan 9 individu dari kolam pemeliharaan di Tatelu (Kabupaten Minahasa Utara). Biang mutiara yang dipisahkan dari sampel cangkang tersebut dianalisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*). Hasil karakterisasi dengan instrumen tersebut menunjukkan biang mutiara yang merupakan struktur kristal aragonit atau kalsit tersusun atas elemen-elemen utama Ca, C, O, dan Al. Secara spesifik, elemen Al dalam biomineral ini, hanya ditunjukkan pada biang mutiara cangkang *S. woodiana* dari kolam pemeliharaan di Tatelu.

Kata Kunci: biang mutiara, elemen biomineral, *Sinanodonta woodiana*, Minahasa

1. PENDAHULUAN

Hewan air *Sinanodonta woodiana* yang secara luas dikenal sebagai ‘*the Chinese pond mussel*’, disebut sebagai Kijing Taiwan di Indonesia. Secara invasif, kerang ini dilaporkan menyebar tanpa sengaja di hampir semua perairan tawar di dunia (Benson [1], Cichi *et al.* [2], Watters [3]). Menurut Liu *et al.* [4], selain penting dalam perekonomian mutiara, kerang ini dimanfaatkan sebagai biomanipulator di danau-danau Tiongkok untuk menekan perkembangan fitoplankton.

Selama ini, *S. woodiana* telah dimanfaatkan di Indonesia, meski terbatas sebagai sumber pangan di daerah-daerah tertentu untuk manusia dan hewan. Sementara untuk budi daya mutiara air tawar, peluangnya terbuka sebagaimana terungkap dari eksperimen yang pernah dilakukan (Rachman *et al.* [5], Lumenta [6], Rahayu *et al.* [7]). Sejumlah kendala aktual dalam pembudidayaan mutiaranya, terletak pada pemilihan induk dan lokasi pemeliharaannya. Berdasarkan ketebalan lapisan biang mutiaranya, Lumenta *et al.* [8] mengajukan pilihan induk yang berukuran cangkang sepanjang 110 mm. Meskipun demikian, lokasi pemeliharaan termasuk asal lokasi dari induk yang ditandai signifikan menentukan budi daya mutiara pada jenis kerang lain (Hänni [9]; Li *et al.* [10]; Joubert *et al.* [11]; Libini *et al.* [12]) belum teridentifikasi untuk *S. woodiana*.

Mengacu pada uraian di atas, serangkaian upaya telah dan sementara diupayakan dalam rangka mengimplementasikan rencana induk penelitian unggulan Unsrat yang berkenaan

dengan pemanfaatan sumber daya alam. Implementasi tersebut dilakukan untuk menyediakan jawaban atas permasalahan lokasi pemeliharaan kerang mutiara air tawar, khususnya ditinjau menurut komposisi elemen biang mutiara pada *S. woodiana* yang dipelihara dalam kolam berbeda lokasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biang Mutiara

Biang mutiara atau *nacre* adalah lapisan bagian dalam dari cangkang kerang yang corak warnanya terkesan berkilauan (Gambar 1). Menurut Ma *et al.* [13], warna tersebut adalah elemen anorganik yang tersusun atas kristal-kristal aragonite, sehingga hasil biomineralisasi kalsium karbonat yang unik ini disebut sebagai mutiara aragonite. Sementara beberapa mutiara yang memiliki kristal vaterite sebagai komponen anorganik dipandang sebagai mutiara vaterite yang ditandai kurang berkilau (Qiao *et al.* [14]).

Proses pembentukan *nacre*, secara umum sangat tergantung pada mekanisme nukleasi dan lingkungan mikro di mana proses itu berlangsung. Dalam hal ini, ada dua teori yang dikenal selama ini (Marie [15], Furuhashi *et al.* [16], Xie *et al.* [17], yaitu: teori ‘heteroepitaksial’, dan teori jembatan mineral. Teori yang pertama, heteroepitaksial, menyatakan mineral yang menyusun *nacre* tumbuh secara epitaksial ke rantai protein dari matriks organik. Empat tahapan formasi lapisan *nacre* yang dilalui adalah perakitan matriks, pembentukan pertama fase mineral, nukleasi tablet aragonite, dan pelapisan *nacre* dewasa. Teori jembatan mineral berangkat dari fenomena yang diperlihatkan gastropoda (siput) di mana kristal aragonite yang tumbuh pada situs nukleasi menembus lapisan dalam lamella dan membentuk semacam jembatan bagi tablet-tablet aragonite tumbuh suksesif, bukan atas nukleasi heteroepitaksial.

Sejalan dengan teori tersebut di atas, formasi *nacre* secara klasik dibedakan atas dua tipe struktural: (1) susunan tabletnya seperti dinding batu bata, atau *nacre* lembaran pipih, dan (2) susunan tabletnya seperti berkolom, atau *nacre* kolomnar (Marie [15]; Furuhashi *et al.* [16]). *Nacre* yang mirip dinding batu bata ditandai pada cangkang kerang, sedangkan yang berkolom ditemukan pada cangkang gastropoda (siput). Secara biokimia, kedua tipe *nacre* ini berbeda, karena kelimpahan khitin pada lapisan *nacre* berkolom lebih tinggi dibanding lapisan *nacre* lembaran (Furuhashi *et al.*, 2009). Struktur reniknya yang berbeda ini dipandang sebagai wujud dari perbedaan mekanisme pertumbuhan yang berlangsung pada siput dan kerang (Xie *et al.* [17]).

2.2 Pemeliharaan Kerang Air Tawar

Kerang *S. woodiana* yang digunakan cangkangnya, dipelihara di kolam Remboken dan di kolam Tatelu dengan menggunakan wadah keranjang terbuat dari jaring bermata 1,5 cm yang dibentuk dengan pipa PVC (0,5 inci). Kolam di mana wadah keranjang ditempatkan, semula disuburkan dengan pemupukan dan yang teknik pemeliharaan kerang selengkapanya diuraikan dalam Lumenta [6].

Contoh cangkang yang digunakan dalam studi ini, diperoleh dari kerang yang dipelihara selama 2 (dua) bulan. Benihnya, baik yang dipelihara di Tateli maupun di Remboken, diperoleh dari alam, tepatnya di lokasi pinggiran Danau Tondano dengan ukuran panjang 108-138mm. Dalam hal ini, sebanyak 9 individu dari kolam pemeliharaan di Remboken dan 9 individu dari kolam pemeliharaan di Tatelu, telah digunakan untuk memenuhi tujuan studi.

2.3 Penggunaan SEM/EDS

Persiapan spesimen (lapisan biang mutiara) telah dilakukan mengacu pada Echlin [18]. Sementara instrumentasi SEM/EDS (JSM-6510 LA, Gambar 1) untuk mengetahui mikrostruktur dan komposisi elemen dari spesimen. Jumlah dan energi sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur dengan spektrometer dispersif energi. Karena energi sinar-X adalah karakteristik dari perbedaan energi antara dua lapisan dan struktur atom dari elemen pemancar, EDS memungkinkan komposisi unsur spesimen terukur (Goldstein et al. [19]).

3. HASIL

Karakterisasi elemen biang mutiara berhasil dilakukan dengan instrumen SEM/EDS, seperti ditunjukkan, masing-masing satu spesimen pada Gambar 2. Keseluruhan hasil karakterisasi dirangkum dalam Tabel 1.

Komposisi elemen utama yang ditemukan pada biang mutiara kerang *S. woodiana*, tampaknya berbeda menurut asal lokasi kolam pemeliharaan. Dari data yang dituangkan dalam Tabel 1, biang mutiara dari kerang yang dipelihara di Remboken tidak mengandung elemen Al, sehingga senyawa Al_2O_3 juga tidak ditunjukkan dalam biomineral biang mutiara tersebut. Rupanya massa oksigen biang mutiara mengimbangi massa elemen Al yang ditandai pada komposisinya lebih besar pada biang mutiara kerang Remboken dibandingkan dengan biang mutiara kerang dari kolam di Tatelu.

Data pada Tabel 1, juga menunjukkan elemen Ca dari biang mutiara, massanya berbeda antara kerang dari kolam di Remboken (47.10 ± 2.49 %) dan kerang dari kolam di Tatelu (29.84 ± 10.20 %). Sebaliknya, elemen C dari biomineral biang mutiara Tatelu (51.59 ± 12.10 %) lebih besar dari elemen C dari biomineral biang mutiara Remboken (32.69 ± 3.48 %). Secara keseluruhan, data ini mengungkapkan biomineral biang mutiara ini, yang pada dasarnya adalah $CaCO_3$, beragam komposisi elemennya.

Kerang yang sama, *S. woodiana* di Tiongkok, menurut Chen *et al.* [20], selain mengandung elemen Al dalam lapisan biang mutiaranya, menampilkan komposisi elemen Mn yang lebih besar dari lapisan prismatic. Lebih jauh, Chen *et al.* [21] untuk tujuan fasilitasi pengembangan budi daya kerang ini, menyajikan perbandingan konsentrasi (ug/g berat kering) dari sejumlah elemen mineral (Na, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Al, As, Ag, Cd, and Tl) dalam keseluruhan cangkang *S. woodiana* berumur 1 bulan, 3,5 bulan, dan 36 bulan. Dilaporkan bahwa konsentrasi Na dan Al signifikan berbeda di antara usia kerang tersebut, di mana konsentrasi tertinggi Al ditemukan pada cangkang kerang berumur 3,5 bulan.

Di lingkungan alami, elemen Al dalam alumina (Al_2O_3), terkristalisasi dan hadir di batuan beku dan metamorf menampilkan warna biru pada ruby dan safir (Baron and Torrent [22]). Sementara Tazaki [23] melaporkan dalam tatakan mikrobial dari air tawar di kolam terdistribusi Al dan Si yang bersumber dari mineral tanah dan batuan (Gadd [24])

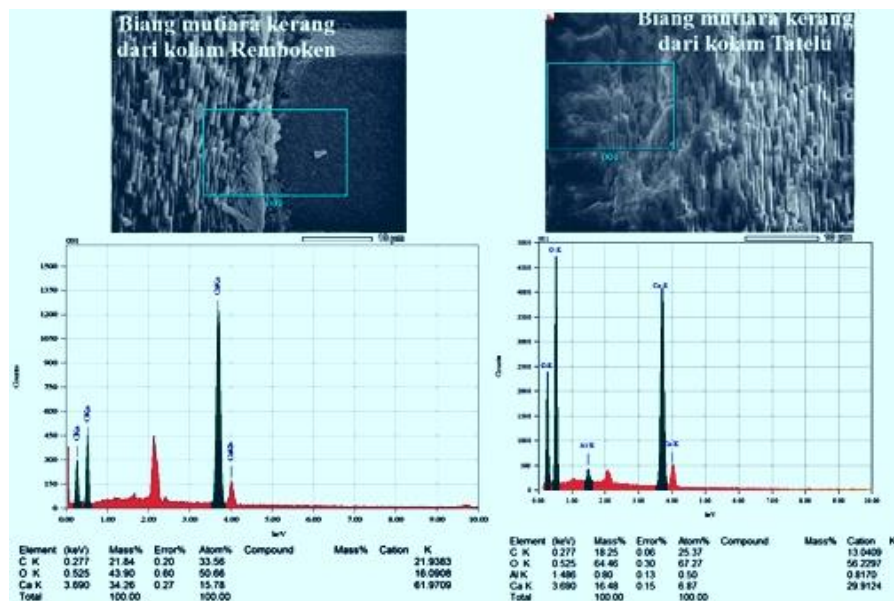
Mengacu pada temuan di atas, sejumlah besar elemen mineral dapat ditemukan pada cangkang *S. woodiana*. Kehadiran elemen-elemen dimaksud pada cangkang kerang dapat bersumber dari habitat dan produk yang terkait dengan proses biomineralisasi cangkang. Penyebarannya yang invasif melalui siklus hidup glochidia (Benson [1], Cichi *et al.* [2]) menunjukkan kemampuannya memanfaatkan sekaligus menyerap elemen-elemen, baik yang dibutuhkan maupun yang tidak dibutuhkan. Juga termasuk kemampuannya berada pada lingkungan terpolusi, dan ketika menanggulangi beban iritasi pada lapisan biang

mutiara sehingga dapat menghasilkan mutiara. Jadi, ketidakhadiran elemen Al sebagaimana ditunjukkan kerang dari kolam pemeliharaan di Remboken, dapat disebabkan oleh lingkungan habitat dasar perairan, asal benih, sirkulasi air, ketersediaan pakan alami seperti diatom dan jenis plankton lainnya. Dengan demikian, hasil studi ini dapat menjadi salah satu unsur pertimbangan lokasi pemeliharaan kerang mutiara *S. woodiana*.

4. GAMBAR DAN TABEL



Gambar 1. Sampel biang mutiara dan peralatan SEM/EDS



Gambar 2. Hasil karakterisasi elemen biang mutiara melalui SEM/EDS

Tabel 1. Ringkasan hasil penentuan komposisi elemen biang mutiara

Elemen biomineral biang mutiara	Cangkang kerang (n=9) dari kolam:	
	Remboken	Tatelu
	Rata-rata	Rata-rata
Massa (%):		
Ca (kalsium)	47.10±2.49	29.84±10.20
C (karbon)	32.69±3.48	51.59±12.10
O (oksigen)	19.20±0.99	15.05±3.14
Al (Aluminium)	0.00	3.53±1.77
Senyawa (%):		
CaO	67.31±3.48	41.75±14.28
Al ₂ O ₃	0.00	6.66±3.35
Rasio:		
C/Ca	0.68±0.11	2.09±1.31
O/Ca	0.40±0.00	0.53±0.09
Al/Ca	0.00	0.14±0.10

5. KESIMPULAN

Lapisan biang mutiara pada cangkang *S. woodiana* mengandung komposisi elemen berbeda menurut lokasi pemeliharaannya. Sesuai analisis EDS ternyata dari elemen utama yang terkandung dalam biomineral ini, hanya biang mutiara pada kerang berasal dari kolam di Tatelu yang menampilkan kandungan elemen aluminium.

Lingkungan fisik kolam dan kelimpahan pakan alami diduga berkontribusi pada perbedaan ini. Untuk itu disarankan studi selanjutnya, dalam rangka mengali sumber keragaman biomineral pada organisme perairan yang potensial dibudidayakan ini.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini bersumber dari data penelitian disertasi penulis pertama dan penelitian dasar dari penulis pertama dan kedua (yang belum diolah dan dipublikasikan). Secara khusus ucapan terima kasih diajukan ke operator Laboratorium SEM FMIPA ITB (Ibu Susan) yang membantu karakterisasi sampel biang mutiara.

Daftar Pustaka

- [1] Benson A. J., *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. Available at: <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=2824>, Revision Date: 10/7/2010. Accessed: August, 2017.
- [2] Cichy A., Urbanska M., Marszewska A., Andrzejewski W. and Zbikowska E., The invasive Chinese pond mussel *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) as host for native symbionts in European waters. *Journal of Limnology* 75(2):288-296, 2016.
- [3] Watters G. T., A synthesis and review of the expanding range of the Asian freshwater mussel *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae). *Veliger* 40:152-156, 1997.
- [4] Liu Y., Hao A., Iseri Y., Kuba T. and Zhang Z., A comparison of mussel *Anodonta woodiana*'s acute physiological responses to different algae diets. *Journal of Clean Energy Technologies* 2(2):126-131, 2014.
- [5] Rachman, B., Winanto, T., Maskur and Sukmajaya, Y., Inner effect on round nucleus layering process in freshwater mussel (*Anodonta woodiana*). *J.Biol.Indon.* 6 (1): 71-78, 2009.
- [6] Lumenta C., *Freshwater mussel Anodonta woodiana pearl formation through insertion of irritant*. Dissertation, Postgraduate Program, UNPAD Bandung, 139 pp., 2012.

- [7] Rahayu S. Y. S., Solihin D. D., Manalu W., Affandi R., Nucleus pearl coating process of freshwater mussel *Anodonta woodiana* (Unionidae). *Hayati Journal of Bioscience* 20(1):24-30, 2013.
- [8] Lumenta C., Mamuaya G., Kalesaran O. J., Micro tablet of nacre layer in the shell of freshwater bivalve *Anodonta woodiana*. *AACL Bioflux* 10(4):844-849, 2017.
- [9] Hänni, H. A., Natural pearls and cultured pearls: a basic concept and its variations. *The Australian Gemmologist* 24(11):258-266, 2012.
- [10] Li, Q., Bai, Z., Han, X. and Li, J., Freshwater nucleated pearl quality is influenced by host mussel growth traits in *Hyriopsis cumingii*. *Aquaculture Research* DOI: 10.1111/are.13288, 2017.
- [11] Joubert, C., Linard C., Le Moullac, G., Soyeze, C., Saulnier, D., Teaniniuraitemoana, V. Ky, C.L. and Gueguen, Y., Temperature and food influence shell growth and mantle gene expression of shell matrix proteins in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *PLoS ONE* 9(8): e103944, 2014.
- [12] Libini, C.L., Idu, K.A.A., Manjumol, C.C., Kripa, V. and Mohamed, K.S., Microalgal size, density and salinity gradients influence filter feeding of *Pinctada margaritifera* (Linnaeus 1758) sprat. *Indian J. Mar.Sci.*, 46(1): 48-54, 2017.
- [13] Ma, Y., Gao, Y. and Feng, Q.L., Characterization of organic matrix extracted from fresh water pearls. *Mat.Sci.Eng. C* 31:1338-1342, 2011.
- [14] Qiao, L., Feng, Q.L. & Li, Z. 2007. Special vaterite found in freshwater lackluster pearls. *Cryst. Growth&Design* 7(2):275-279.
- [15] Marie, B. 2008. Évolution des biominéralisations nacrées chez les mollusques: caractérisation moléculaire des matrices coquillères du céphalopode nautiloïde *Nautilus macromphalus* et du bivalve paléohétérodonte *Unio pictorum* [Thesis]. École doctorale de Biogéosciences, Université de Bourgogne – Dijon. 291 p.
- [16] Furuhashi, T., Miksik, I., Smrz, M., Germann, B., Nebija, D., Lachmann, B. & Noe, C. 2010. Comparison of aragonitic molluscan shell proteins. *Biochem. Physiol.* B155:195-200.
- [17] Xie, L.P., Zhu, F.J., Zhou, Y.Y., Yang, C. & Zhang, R.Q. 2011. Molecular approaches to understand biomineralization of shell nacreous layer. Dalam W.E.G. Müller (penyunting): *Molecular biomineralization, aquatic organism forming extraordinary materials. Progres in Molecular and Subcellular Biology* Vol. 52 Springer Heidelberg. Pp 331-352.
- [18] Echlin, P., *Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer Science+Business Media, New York, 2009.
- [19] Goldstein, J.I., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Lyman, C.E., Lifshin, E., Sawyer, L. and Michael, J. R., *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Kluwer Academic, 2003.
- [20] Barron, V. and Torrent, J., Iron, manganese and aluminium oxides and oxyhydroxides. *EMU Notes in Mineralogy*, 14(9): 297-336, 2013.
- [21] Chen, X., Jiang, T. and Liu, H., A preliminary study on elemental profile in the shell of freshwater bivalve *Anodonta woodiana*. *China Env.Sc.*, 36(8):2516-2521, 2016.
- [22] Chen, X., Su, Y, Liu, H., Jiang, T. and Yang, J., Mineral composition variation in the shells of freshwater mussel *Anodonta woodiana* at different growth stages. *J. Invert. Repr.&Dev.*, <http://dx.doi.org/10.1080/07924259.2017.1361475>, 2017.
- [23] Tazaki, K., Biomineralization of layer silicates and hydrates Fe/Mn oxide in microbial mats: an electron microscopical study. *Clay and Mineral* 45(2):203-212.
- [24] Gadd, G.M., Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology* 156: 609-643, 2010.

OTOLIT IKAN LAYANG, *Decapterus muroadsi* DARI TELUK KEMA, SULAWESI UTARA

FRANSINE B. MANGINSELA¹, GYBERT E. MAMUAYA²,
CORNELIS F.T. MANDEY³

^{1,2,3} Universitas Sam Ratulangi Manado

e-mail: manginsela_fransine59@yahoo.com; mamuayaeg@gmail.com;
cornelis.mandey9@gmail.com

Abstrak

Otolit ikan *Decapterus muroadsi* telah ditelaah dari sampel pasangan otolit sagita (kiri dan kanan) sebanyak 32 ikan jantan dan 32 ikan betina. Citra foto otolit ini ditafsirkan dengan piranti ImageJ untuk mendeskripsikan panjang, lebar, perimeter, dan luas otolit beserta indeks kebundaran, rasio perimeter-luas, dan rasio panjang-lebar otolit. Panjang total *D. muroadsi* contoh ditemukan signifikan menentukan deskriptor otolit. Sementara variasi morfometrik panjang otolit (3,15-6,04 mm) dan perimeternya (8,87-20,58 mm) tidak menunjukkan perbedaan baik antara otolit kiri dan otolit kanan, seperti juga antara otolit dari ikan betina dan ikan jantan. Demikian halnya dengan deskriptor lain dari otolit dan indeks bentuknya.

Kata Kunci: morfometri, indeks bentuk, otolit sagita, *Decapterus muroadsi*

1. PENDAHULUAN

Otolit atau batu telinga ikan dikenal sebagai hasil dari proses biomineralisasi yang berlangsung pada tubuh ikan atas pengaruh faktor-faktor endogen, eksogen, dan interaksi keduanya. Di bidang sumber daya perairan, otolit digunakan kebanyakan untuk mengestimasi umur ikan, sebagai informasi penunjang dalam pengelolaan stok ikan (Green *et al.* [1], William *et al.* [2]). Sementara perkembangan penggunaannya menunjukkan kajian struktur dan kimia mikro yang dikandungnya, memungkinkan otolit menjadi indikator diskriminasi stok ikan dan sebagai proksi lingkungan perairan (Darnaude *et al.* [3], Hüseyin *et al.* [4], Brickle *et al.* [5]).

Terhadap beragam jenis ikan laut di daerah tropis, khususnya Indonesia, kajian tentang otolitnya belum signifikan dilakukan. Pertama dilaporkan Wright *et al.* [6] untuk jenis ikan *Stolephorus heterolobus* di Laut Jawa. Selanjutnya, untuk beberapa jenis ikan sidat di sekitar Sulawesi dan perairan lainnya (Arai *et al.* [7], [8], Sugeha *et al.* [9], Kuroki *et al.* [10], Lee *et al.* [11], Chino and Arai [12]), ikan tuna ekor biru sekitar Bali (Shiao *et al.* [13], William *et al.* [2], Farley *et al.* [14]), ikan terubuk di sekitar Sumatera (Milton and Cheney [15]), ikan kakap merah sekitar Nusa Tenggara (Fry and Milton [16], Williamson *et al.* [17]), dan terkini ikan lemuru sekitar Bali (Wujdi *et al.* [18]). Hingga kini untuk sejumlah besar ikan pelagis di perairan Nusantara seperti dari jenis *Decapterus* (Carangidae), belum pernah diungkapkan karakteristik morfometrik otolitnya, demikian halnya dengan struktur mikro dari morfologi otolit dan elemen biomineralnya.

Dihadapkan pada kebutuhan merawat keragaman hayati laut dalam mengembangkan riset unggulan Universitas Sam Ratulangi, penanganan terhadap keterbatasan yang diungkapkan terdahulu, telah diupayakan melalui studi yang hasilnya antara lain diajukan dalam tulisan ini. Secara khusus studi ini menjawab masalah bagaimana karakteristik morfometrik otolit dari ikan layang (*Decapterus muroadsi*) yang ditangkap nelayan di perairan pantai Kema, Sulawesi Utara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Otoliths terletak di dua sisi rongga telinga bagian dalam pada semua ikan teleostei, termasuk *D. muroadsi*. Menurut Ladich dan Popper [19], setiap rongga telinga memiliki tiga kanal berbentuk setengah lingkaran (anterior, posterior, dan horisontal) dan tiga organ otolith (saccule atau sagita, utrikulus atau asteriskus, dan lagena atau lapillus). Struktur yang terisolasi masing-masing dalam membran semipermeabel bercairan endolimfa ini, pada dasarnya berfungsi sebagai organ keseimbangan dan membantu pendengaran (Campana [20], Popper and Lu [21], Campana and Thorrold [22]). Sagita yang merupakan organ otolit yang ukurannya terbesar, ditandai sebagai otolit yang paling sering terlibat dalam mendengar (Popper *et al.* [23]) dan juga merupakan organ otolit yang banyak ditelaah (Panfili *et al.* [24], Campana [25]).

Berdasarkan acuan yang tersedia, sampel otolit diekstraksi dari bagian kepala ikan (Gambar 1) dan dibersihkan menggunakan hidrogen peroksida dan deionized water mengikuti Campana and Neilson [26]. Dalam hal ini, ekstraksi otolit sagita dilakukan pada sebanyak 64 individu ikan *D. muroadsi* yang berkelamin betina (32 individu) dan berkelamin jantan (32 individu) yang diperoleh dari hasil penangkapan ikan di perairan pantai Kema, Laut Sulawesi selama Mei-Juni 2017. Seperti disajikan pada Gambar 1, dari kepala ikan tersebut, diekstraksi sepasang otolit sagita yang ditemukan pada sisi kiri dan sisi kanan kepalanya. Selanjutnya, otolit tersebut diobservasi di bawah mikroskop stereo berkamera (Olympus SZX7-DP21) dan didokumentasi dalam bentuk foto untuk setiap pasangan otolit yang diamati.

Hasil observasi mikroskopis diolah kemudian dengan menggunakan piranti ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/notes.html>) untuk menerapkan analisis bentuk, khususnya terhadap deskriptor ukuran otolit dan indeks bentuk otolit. Deskriptor ukuran dimaksud (Gambar 2) terdiri atas panjang, lebar, perimeter, dan luas dari otolit sagita tersebut. Sementara indeks bentuk otolit ditentukan mengikuti rumus: $4\pi \times [\text{Area}]/[\text{Perimeter}]^2$ (indeks kebundaran), imbangan perimeter terhadap luas, dan imbangan panjang terhadap lebar.

3. HASIL

Otolit sagita dari ikan Layang, *Decapterus muroadsi* berhasil dikarakterisasi bentuknya dan untuk pertama kali disajikan melengkapi keragaman morfometrik otolit ikan laut dari perairan laut Nusantara. Hasil selengkapnya ditunjukkan Tabel 1 yang selanjutnya diuraikan sebagai berikut.

3.1 Morfometrik Otolit

Sesuai hasil karakterisasi, otolit ikan layang ini berukuran panjang 3,12-9,04 mm dan lebar 1,54-2,59 mm yang bervariasi menurut panjang total tubuh ikan (142-265 mm). Dalam hal ini, ukuran panjang dan lebar otolit ditemukan relatif sama ($P > 0,05$) baik untuk ikan jantan dan ikan betina, maupun otolit bagian kiri dan bagian kanan dari jenis ikan ini. Sementara ukuran panjang otolit yang tidak mencapai 0,002 ($\pm 0,0004$) dari panjang tubuh ikan ini, ditentukan secara signifikan ($P \leq 0,05$) oleh panjang total tubuh *D. muroadsi*.

Data yang dihasilkan (Tabel 1) juga menunjukkan keragaman perimeter dan luas otolit, baik yang letaknya pada sisi kiri maupun sisi kanan kepala ikan. Hal serupa juga ditandai antara ikan jantan dan ikan betina. Meskipun demikian, hasil pengolahan data tidak menunjukkan perbedaan ($P > 0,05$) ukuran luas otolit dan juga perimeter otolit dari ikan jantan dan ikan betina, seperti halnya dari otolit sisi kiri dan sisi kanan pada kepala ikan layang yang ditelaah.

3.2 Indeks bentuk Otolit

Hasil penentuan indeks bentuk otolit mengungkapkan kebundaran otolit sagita ikan layang ini bervariasi besarnya antara 0,27 dan 0,56. Kisaran indeks bentuk ini menunjukkan jarak yang lebih dari 0,4 untuk tergolong bulat, sebagaimana diperagakan contohnya pada Gambar 2. Meskipun indeks ini bervariasi ditemukan baik pada individu jantan maupun individu betina, demikian pula posisinya di sisi kiri dan di sisi kanan kepala ikan, ternyata keragaman datanya dianalisis tidak berbeda ($P>0,05$). Jadi otolit sagita pada sisi kiri dan sisi kanan untuk ikan jantan dan ikan betina dari *D. kurroides* kebundarannya relatif sama.

Fenomena yang ditunjukkan indeks kebundaran tersebut di atas, bersesuaian dengan indeks yang berkenaan dengan rasio perimeter per luas dan rasio panjang otolit per lebarnya. Hasil penentuannya seperti disajikan Tabel 1, baik rasio perimeter per luas maupun rasio panjang otolit per lebarnya, ditandai oleh besaran bervariasi, 1,57-2,37 (perimeter-luas), dan 1,99-2,71 (panjang otolit-lebar otolit). Sebagaimana halnya indeks kebundaran, keragaman data kedua indeks ini dianalisis tidak berbeda ($P>0,05$) baik pada individu jantan maupun individu betina, demikian pula posisinya di sisi kiri dan di sisi kanan kepala ikan.

3.3 Pembahasan

Sebagai hasil dari proses biomineralisasi, otolit sagita yang terekstraksi dapat dikarakterisasi sebagai khas otolit ikan *D. muroadsi*. Adapun morfometrik otolitnya, jenis ikan dari perairan pantai Kema, Sulawesi Utara, belum dapat dibandingkan dengan sejenisnya, yang dilaporkan dalam <http://www.fishbase.org/summary/12302> distribusinya Indo-Pasifik: Japan dan Kepulauan Hawaii bagian baratdaya, pantai timur dan barat Australia, Kepulauan Rapa dan Easter; dan dari Teluk Kalifornia hingga Peru. Dalam dokumen ini terungkap hanya Rivaton and Bourret [27] yang pernah menginformasikan otolit sagita ikan *D. muroadsi* berukuran panjang total 198 mm dari laguna di Kaledonia Baru. Otolit yang diinformasikan berukuran panjang 6,1 mm dan lebar 3,0 mm ini, tampaknya lebih besar dari ukuran otolit ikan betina berukuran panjang total 195 mm yang ditemukan dari perairan pantai Kema, yaitu: 5,0 mm x 2,0 mm (sisi kiri) dan 5,1 mm x 2,0 mm (sisi kanan).

Berkenaan dengan analisis bentuk otolit, hasil yang ditunjukkan oleh otolit sagita yang ditelaah, pada dasarnya melengkapi dukungan teoritis bahwa ukuran panjang otolit ditentukan oleh besaran panjang total ikan. Teori ini didukung oleh sejumlah besar temuan pada ikan-ikan teleostei, diantaranya sebagaimana diinformasikan Hüsey et al. [4], Wright et al. [6], Arai et al. [7], Farley et al. [14], Wujdi et al. [18], Aneesh Kumar et al. [28]. Demikian juga tentang indeks bentuk otolit ikan-ikan Carangidae pada umumnya, yang menurut Tuset et al. [29] dan Rossi-Wongtschowski et al. [30], dikategorikan dari elips ke *lanceolated* (mirip kepala tombak). Kategori bentuk otolit ini ditunjukkan oleh *D. muroadsi* dari perairan pantai Kema.

4. KESIMPULAN

Otolit ikan *Decapterus muroadsi* berhasil dikarakterisasi dan ditentukan indeks bentuknya. Morfometrik biomineral tersebut, yang untuk pertama kali terungkap, adalah sebagai berikut.

- Keragaman panjang otolit (3,12-9,04 mm) dan lebarnya (1,54-2,59 mm) ditentukan signifikan oleh panjang total tubuh *D. muroadsi* (142-265 mm);
- Bentuknya yang sesuai kategori bentuk otolit marga ikan Carangidae, dari elips ke *lanceolated*, ditandai sama untuk otolit pada sisi kiri dan sisi kanan kepala, baik ikan betina maupun ikan jantan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

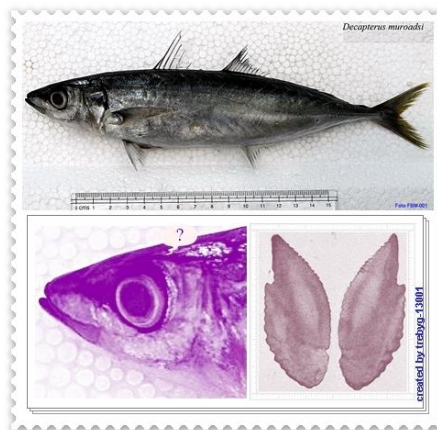
Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian fundamental tentang biomineral otolit sebagai indikator pembeda jenis ikan-ikan Carangidae dari laut sekitar Semenanjung Minahasa yang dibiayai DRPM Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemenristekdikti melalui LPPM Unsrat, tahun 2017. Terimakasih diucapkan kepada Direktur DRPM dan Ketua LPPM Unsrat yang memfasilitasi kegiatan ini. Ucapan serupa disampaikan kepada Kepala Laboratorium Kesehatan Ikan, Lingkungan, dan Toksikologi beserta Kepala Laboratorium Geomorfologi Pantai di lingkup FPIK Unsrat yang mengizinkan penggunaan ruang laboratorium untuk penanganan dan karakterisasi sampel otolit.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil karakterisasi morfometrik dan penentuan indeks bentuk otolit

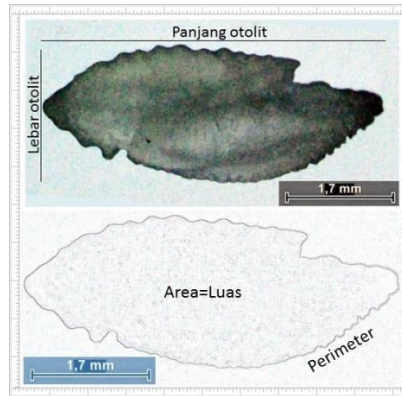
Deskriptor otolit	Jantan (n=32) PT=142-265 mm ^a		Betina (n=32) PT=195-247 mm ^b	
	Kiri ^c	Kanan ^c	Kiri ^c	Kanan ^c
Panjang otolit (mm)	3,328-6,044 ^{a, c}	3,154-6,057 ^{a, c}	4,875-5,990 ^{b, c}	4,853-5,973 ^{b, c}
Lebar otolit (mm)	1,542-2,587 ^{a, d}	1,569-2,526 ^{a, d}	1,995-2,509 ^{b, d}	2,005-2,561 ^{b, d}
Perimeter otolit (mm)	9,294-20,580 ^e	8,877-20,094 ^e	13,344-17,846 ^e	13,402-17,939 ^e
Area otolit (mm ²)	3,444-9,679 ^f	3,457-10,249 ^f	6,716-9,602 ^f	6,781-9,545 ^f
Indeks kebundaran	0,269-0,528 ^g	0,288-0,551 ^g	0,329-0,562 ^g	0,310-0,552 ^g
Rasio perimeter/luas	1,568-2,699 ^h	1,613-2,568 ^h	1,613-2,356 ^h	1,646-2,371 ^h
Rasio P/L otolit	2,129-2,707 ⁱ	2,010-2,730 ⁱ	1,989-2,814 ⁱ	2,090-2,710 ⁱ

Keterangan: n=jumlah individu, PT=panjang total ikan, ^a=ukuran tubuh ikan menentukan signifikan panjang dan lebar otolit ($P \leq 0.05$), ^b – ⁱ=deskriptor otolit ikan jantan tidak berbeda nyata dengan deskriptor otolit ikan betina ($P > 0.05$).

6. GAMBAR DAN TABEL



Gambar 1. Ikan layang *Decapterus muroadsi* dan pasangan otolit sagitanya



Gambar 2. Deskriptor morfometrik otolit *Decapterus muroadsi*

Daftar Pustaka

- [1] Green, B.S., Mapstone, B.D., Carlos, G. and Begg, G.A., *Tropical fish otoliths: information for assesement, management and ecology*. Springer Science. Dordrecht, 2009.
- [2] William, A.J., Leroy, B.M., Nicol, S.J., Farley, J.H., Clear, N.P., Krusic-Golub, K. and Davies C.R., Comparison of daily-and annual- increment counts in otoliths of bigeye (*Thunnus obesus*), yellowfin (*T. albacares*), southern bluefin (*T. maccoyii*) and albacore (*T.alalunga*) tuna. *ICES J.of Mar.Sci.* 1093: 1-12, 2013.
- [3] Darnaude, A.M., Sturrock, A., Trueman, C.N., Mouillot, D., EIMF, Campana, S.E. and Hunter, E., Listening in on the past: what can otolith $\delta^{18}\text{O}$ values really tell us about the environmental history of fishes? *PloS ONE* 9(10) e108539, 2014.
- [4] Hüsey, K., Mosegaard, H., Albertsen, C. M., Eg Nielsen, E., Hansen, J. H., and Eero, M., Evaluation of otolith shape as a tool for stock discrimination in marine fishes using Baltic Sea cod as a case study. *Fish. Sci.* 174, 210-218, 2016.
- [5] Brickle, P., Schuchert, P.C., Arkhipkin, A.I., Reid, M.R., Haseeb and Randawa, S., Otolith trace elemental analyses of south american austral hake, *Merluccius australis* (Hutton, 1872) indicates complex salinity structuring on their spawning/larval grounds. *PloS ONE* 11(1) e0145479, 2016.
- [6] Wright, P.J., Willoughby, N.G. and Edwards, A.J., Growth, size and age composition of *Stolephorus heterolobus* in North Central Java. In: Blaber, S.J.M. and Copland, J.W. (ed.). *Tuna Baitfish in the Indo-Pacific Region: proceedings of a workshop*, Honiara. Solomon Islands. pp. 141-146, 1990.
- [7] Arai, T., Limbong, D. and Tsukamoto, K., Validation of otolith daily increments in the tropical eel *Anguilla celebesensis*. *Can. J. Zool.* 78:1078–1084, 2000.
- [8] Arai, T., Miller M.J. and Tsukamoto, K., Larval duration of the tropical eel *Anguilla celebesensis* from Indonesian and Philippine coasts. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 251:255–261, 2003.
- [9] Sugeha, H.Y., Shinoda, A., Marui, M., Arai, T. and Tsukamoto, K., Validation of otolith daily increments in the tropical eel *Anguilla marmorata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220:291–294, 2001.
- [10] Kuroki, M., Aoyama, J., Miller, M.J., Arai, T., Sugeha, H.Y., Minagawa, G., Wouthuyzen, S. and Tsukamoto, K., Correspondance between otolith microstructural changes and early life history events in *Anguilla marmorata* leptocephali and glass eels. *Coastal Mar. Sci.* 29(2): 154-161, 2005.
- [11] Lee, T.W., Miller, M.J., Hwang, H.B., Wouthuyzen, S. and Tsukamoto, K., Distribution and early life history of *Kaupichthys leptcephali* (family Chlopsidae) in the central Indonesian Seas. *Mar. Biol.* 153: 285-295, 2008.

- [12] Chino, N. and Arai, T., Occurrence of marine resident tropical eel *Anguilla bicolor bicolor* in Indonesia. *Mar. Biol.* 157(5): 1075-1081, 2010.
- [13] Shiao, J-C., Yui, T-F., Høie, H., Ninnemann, U. and Chang, S-K., Otolith O and C stable isotope compositions of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Pisces: Scombridae) as possible environmental and physiological indicators. *Zoological Studies* 48 (1): 71-82, 2009.
- [14] Farley, J.H., Eveson, J.P., Davis, T.L.O., Andamari, R., Proctor, C.H., Nugraha, B. and Davies, C.R., Demographic structure, sex ratio and growth rates of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) on the spawning ground. *PloS ONE* 9(5) e96392, 2014.
- [15] Milton, D.A. and Cheney., Can otolith chemistry detect the population structure of the shad hilsa *Tenuulosa ilisha*? Comparison with the results of genetic and morphological studies. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 222: 239-251, 2001.
- [16] Fry, G.C. and Milton, D.A., Age, growth and mortality estimates for populations of red snappers *Lutjanus erythropterus* and *L. malabaricus* from northern Australia and eastern Indonesia. *Fish. Sci.* 75(5): 1219-1229, 2009.
- [17] Williamson, D.H., Jones, G.P. and Thorrold, S.R., An experimental evaluation of transgenerational isotope labelling in a coral reef grouper. *Mar. Biol.* 156: 2517-2525, 2009.
- [18] Wujdi, A., Prihatiningsih, and Suwarno., Karakteristik morfologi dan hubungan morfometrik otolith dengan ukuran ikan lemuru (*Sardinella lemuru* Bleeker 1815) di Selat Bali. *Bawal* 8(3): 159-172, 2016.
- [19] Ladich, F. and Popper, A.N., Parallel evolution in fish hearing organs. *Handb.of Auditory Res.* 22: 95-127, 2004.
- [20] Campana, S.E., Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 188: 263-297, 1999.
- [21] Popper, A. N., and Lu, Z., Structure-function relationships in fish otolith organs. *Fish. Res.*, 46: 16-25, 2000.
- [22] Campana, S. E. and Thorrold, S. R., Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 300-38, 2001.
- [23] Popper, A.N., Ramcharitar, J. and Campana, S. E., Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Mar. and Freshw. Res.* 56, 497–504, 2005.
- [24] Panfili, J., Pontual H., Troadec H., Wright P.J. (eds), *Manual of fish sclerochronology*. Brest, France: Ifremer-IRD coedition, 464 p., 2002
- [25] Campana, S. E., Otolith science entering the 21st century. *Mar. and Freshw. Res.* 56: 485–495, 2005.
- [26] Campana, S.E. and Neilson, J.D., Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(5): 1014-1032, 1985.
- [27] Rivalton, J. and Bourret, P., Les otolithes des poissons de l'Indo-Pacifique. *Doc.Sci.Tech.* II(2): 82-83, 1999.
- [28] Aneesh Kumar, K.V., Deepa, K.P., Hashim, M., Vasu, C. and Sudhakar, M., Relationship between fish size and otolith size of four bathydemersal fish species from the south eastern Arabian sea, India. *J.Appl.Ichthyol.* 33:102-107, 2017.
- [29] Tuset, V.M., Lombarte, A. and Assis, C.A., Otoliths atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina* 72S1: 7-198, 2008.
- [30] Rossi-Wongtschoski, C.L.D.B., Siliprandi, C.C., Brenha, M.R., Gonsales, S. A., Santificetur, C. and Vaz-dos-Santos, A.M., Atlas of marine bony fish otoliths (sagittae) of Southeastern-Southern Barazil. *Braz.J. Ocea.* 62:1-103, 2014.

STRUKTUR MIKRO BATU TELINGA IKAN CAKALANG *Katsuwonus pelamis*

GYBERT E. MAMUAYA¹, CORNELIS F.T. MANDEY², FRANSINE B.
MANGISNSELA³

¹ Universitas Sam Ratulangi Manado, *mamuayaeg@gmail.com*

² Unsrat, *cornelis,mandey9@gmail.com*

³ Unsrat, *manginsela_fransine59@yahoo.com*

Abstrak

Batu telinga ikan sebagai hasil biomineralisasi ditelaah dari sampel Cakalang, *Katsuwonus pelamis* yang ditangkap di kawasan Laut Sulawesi. Struktur mikronya dikarakterisasi dan kandungan elemen kimianya dipetakan lewat mikroskop elektron (SEM dan EDS). Dari sampel sebanyak 30 individu ikan ini ditemukan deskriptor batu telinganya (panjang, lebar, perimeter, dan luas) beserta indeks kebundaran, rasio perimeter-luas, dan rasio panjang-lebar, signifikan ditentukan oleh ukuran panjang tubuh Cakalang, *K. pelamis*. Variasi deskriptor bentuk mikro batu telinganya, seperti panjang (2,88-4,03 mm) dan luas (3,02-4,48 mm²), tidak menunjukkan perbedaan baik antara batu telinga kiri dan kanan, maupun batu telinga pada ikan jantan dan ikan betina. Sesuai pemetaan SEM, biomineral batu telinga ini menampilkan struktur kristal aragonit prismaatik dan asikular dengan gabungan elemen utama O, C, Ca, P, dan Mg.

Kata Kunci: morfometri, batu telinga, elemen kimia, *Katsuwonus pelamis*

1. PENDAHULUAN

Batu telinga cakalang, seperti juga pada semua ikan adalah struktur kecil yang ditemukan di telinga bagian dalam ikan yang berfungsi sebagai organ ekuilibrium dan sebagai detektor arah dan suara (Popper and Fay [1]). Disebut juga sebagai otolit, batu telinga individu ikan ditemukan berpasangan berupa sagita, lapili, dan asterisi (Campana [2]). Terbentuk dalam tahap embrio, ketiga pasangan ini tumbuh sepanjang hidup, dan ditandai tersusun dari setumpukan lapisan CaCO₃ berupa mineral kristal aragonit dalam rekatan proteom yang terdeposisi setiap hari (Campana and Neilson [3], Pannella [4], Payan *et al.* [5], Salem [6]).

Struktur kecil batu telinga ikan, dalam bidang ilmu perikanan, semenjak lama memfasilitasi penentuan umur ikan yang merupakan parameter penting dalam mengungkapkan populasi dan/atau stok ikan yang dieksploitasi nelayan bagi kebutuhan umat manusia. Perkembangan aktual menginformasikan kajian struktur mikro batu telinga beserta elemen yang dikandungnya memungkinkan upaya pengalihan informasi lingkungan perairan di mana kehidupan ikan berlangsung (Panfili *et al.* [7], Darnaude *et al.* [8], Reader *et al.* [9], Carlson *et al.* [10]). Dan seperti juga pemanfaatan klasik batu telinga ikan untuk estimasi umur yang masih terbatas berlangsung di Indonesia, pemanfaatan otolit sebagai proksi lingkungan laut di Indonesia belum merupakan informasi ilmiah yang dapat dijumpai memadai menuju poros maritim dunia.

Untuk mengimplementasikan rencana strategi penelitian Unsrat dalam bidang unggulan kemaritiman, serangkaian studi tentang batu telinga atau otolit ikan sementara diupayakan dalam mengali informasi yang menunjang pengembangan kelautan berkelanjutan. Secara khusus naskah ini diajukan sebagai jawaban atas pertanyaan bagaimana struktur mikro batu telinga ikan Cakalang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pendekatan deskriptif telah diterapkan untuk menyediakan jawaban atas masalah batu telinga ikan Cakalang tersebut di atas. Mengacu pada sejumlah literatur, sampel otolit diekstraksi dari bagian kepala ikan (Gambar 1) dan dibersihkan menggunakan *hidrogen peroksida* dan *deoionized water* (Campana and Neilson [3], Wang *et al.* [11], Tanaka *et al.* [12]. Sebanyak 15 individu jantan dan 15 individu betina ikan Cakalang yang ditangkap nelayan di kawasan Laut Sulawesi selama Juni-Juli 2017, telah dijadikan objek studi. Dalam hal ini, otolit yang berhasil diekstraksi adalah sagita (terbesar di antara ketiga pasangan otolit) yang struktur mikronya (Gambar 2) diobservasi di bawah mikroskop stereo berkamera (Olympus SZX7-DP21) dan SEM/EDS (JSM-6510 LA).

Hasil observasi mikroskopis diolah selanjutnya menggunakan piranti ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/notes.html>) untuk menerapkan analisis raut, khususnya terhadap deskriptor struktur mikro otolit dan indeks raut/bentuk otolit. Deskriptor struktur mikro dimaksud (Gambar 2 A) terdiri atas panjang, lebar, perimeter, dan luas dari struktur kecil otolit tersebut. Sementara indeks bentuk otolit ditentukan secara sederhana mengikuti: $4\pi \times [\text{Area}]/[\text{Perimeter}]^2$ (indeks kebundaran), imbalan perimeter terhadap luas, dan imbalan panjang terhadap lebar. Sesuai kapasitasnya, instrumen SEM/EDS dimanfaatkan menelusuri penampilan morfologis otolit sekaligus menentukan komposisi elemen yang dikandungnya, sesuai standar spesimen (Echlin [13]).

3. HASIL

Sesuai pendekatan studi yang dilakukan, karakterisasi batu telinga ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dapat dideskripsikan menurut tujuan studi. Hasilnya disajikan sebagai berikut.

(1) Deskriptor Morfometrik Batu Telinga

Data yang terhimpun sebagaimana disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan variasi panjang total ikan Cakalang menentukan variasi ukuran panjang, lebar, perimeter, dan luas dari batu telinganya, baik pada batu telinga kiri dan batu telinga kanan maupun dari ikan jantan dan ikan betina. Fenomena serupa ditandai pada sejumlah jenis ikan, seperti dilaporkan antara lain oleh Wujdi *et al.* [14] untuk ikan lemur dari Selat Bali, Strandky *et al.* [15] untuk ikan makerel di Atlantik Timurlaut, dan Daryaei *et al.* [16] untuk ikan bilis atau semacam ikan teri di Teluk Persia dan Laut Oman.

(2) Indeks Bentuk Batu Telinga

Bentuk batu telinga ikan Cakalang dari feret/panjang maksimum yang kurang dari 5 mm, jauh dari kesan bulat. Sesuai data (Tabel 1), indeks kebundarannya bervariasi di bawah 0,5 (0,108-0,452). Lebarnya tidak mencapai sepertiga dari panjang batu telinga ($P/L = 1,868-2,945$). Lebih jauh, ketiga indeks bentuk batu telinga (indeks kebundaran, rasio perimeter/area, rasio panjang/lebar) yang besarannya tampil beragam, ternyata sama pada individu betina dan individu jantan. Demikian halnya besaran beragam dari indeks bentuk batu telinga kiri dan batu telinga kanan.

Identifikasi indeks bentuk batu telinga yang dihasilkan ini dapat menjadi basis data dalam

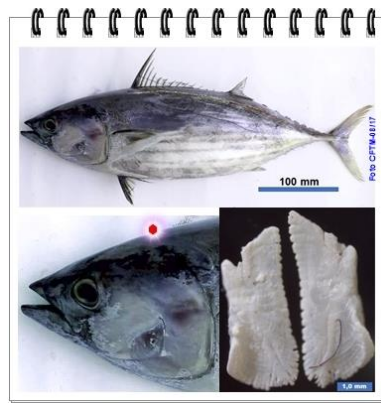
mendukung spesifikasi jenis atau stok ikan Cakalang, di samping *barcoding*. Meskipun demikian, fenomena keplastisan yang tampaknya dipicu perubahan lingkungan, menjadi faktor yang membatasi pemanfaatan sepenuhnya basis data tersebut. Hal ini ditandai sebagai kejanggalan (malformasi) bentuk batu telinga sejumlah ikan, baik karena tekanan lingkungan maupun karena usia (Darnaude *et al.* [8], Reader *et al.* [9], Javadzadeh *et al.* [17], Kajajian *et al.* [18]).

(3) Biomineral Batu Telinga

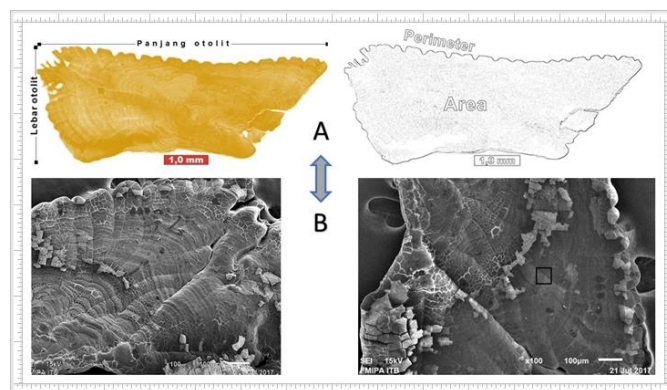
Batu telinga ikan sebagai hasil biomineralisasi yang ditunjukkan Gambar 2 B dan Gambar 3, tersusun berlapisan aragonit dari nukleus/inti tumbuh melingkar berpola tidak teratur. Selain itu, lempengan partikel yang terkesan patah dari tubuh otolit teridentifikasi sebagai tampilan prismatic kristal-kristal aragonit yang berukuran tidak sama. Sementara pengikat antar kristal, disebut asikular, tidak tampak jelas pada Gambar 3. Dari sejumlah informasi dilaporkan pertumbuhan kristal prismatic ditandai periode terhenti: harian, musiman, atau tahunan, dan dikesankan oleh kristal asikular (Campana and Neilson [3], Pannella [4], Payan *et al.* [5], Reader *et al.* [9], Carlson *et al.* [10]).

Lebih jauh, komposisi elemen utama yang terdeteksi X-ray dari instrumen EDS pada batu telinga ikan Cakalang, selain dari CaCO_3 , tampak elemen P dan Mg. Tampilan dari elemen utama yang terkomposisi dalam biomineral batu telinga ini, selengkapnya disajikan dalam Gambar 4. Sebagai data awal dari spesimen batu telinga terbatas, kehadiran elemen P dan Mg ini dapat digunakan sebagai kandidat spesifikasi/diskriminasi stok/jenis ikan bilamana elemen ini divalidasi dan sekaligus dihadapkan pada kandungan elemen batu telinga dari jenis ikan lainnya.

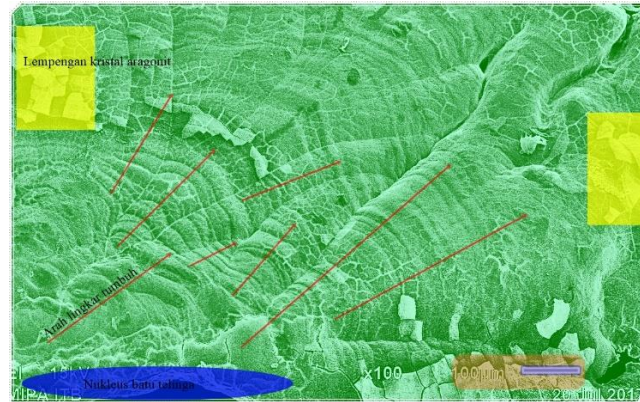
4. GAMBAR DAN TABEL



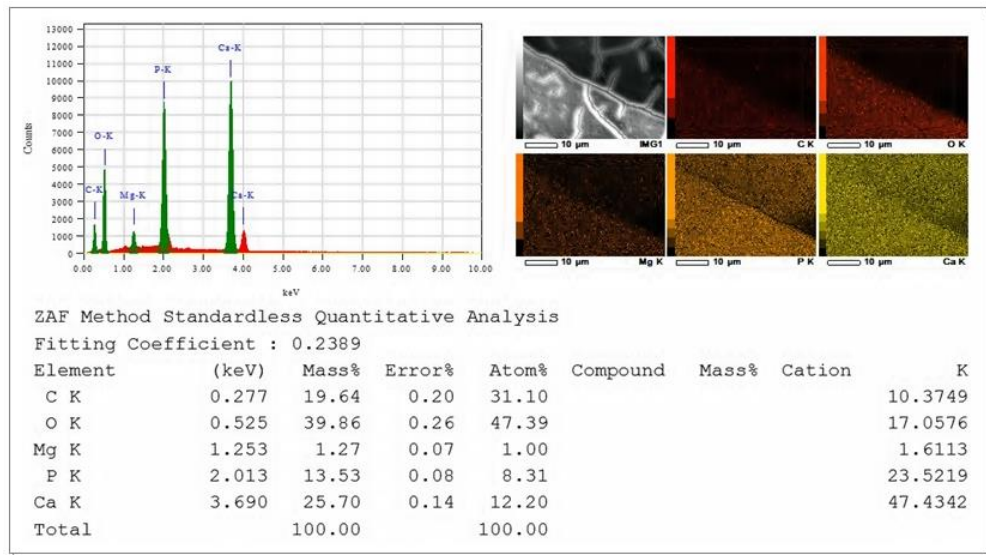
Gambar 1. Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan batu telinganya



Gambar 2. Struktur mikro batu telinga Cakalang



Gambar 3. Lingkar tumbuh dan lempengan kristal aragonit batu telinga



Gambar 4. Hasil pemetaan SEM dan deteksi EDS

Tabel 1. Hasil karakterisasi batu telinga dan penentuan indeks bentuknya

Deskriptor dan indeks bentuk batu telinga	Betina [n=15]		Jantan [n=15]	
	PT=295-369 mm		PT=288-349 mm	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
Panjang otolit (mm)	3,300-4,066 ^{a, c}	2,986-4,081 ^{a, c}	2,881-4,023 ^{a, c}	2,879-4,035 ^{a, c}
Lebar otolit (mm)	1,350-1,713 ^{a, d}	1,336-1,628 ^{a, d}	1,222-1,671 ^{a, d}	1,230-1,659 ^{a, d}
Perimeter otolit (mm)	10,093-23,009 ^{a, e}	10,077-18,821 ^{a, e}	8,938-14,409 ^{a, e}	8,954-17,492 ^{a, e}
Area otolit (mm ²)	3,211-4,555 ^{a, f}	3,084-4,479 ^{a, f}	3,018-4,303 ^{a, f}	3,077-4,392 ^{a, f}
Indeks kebundaran	0,108-0,445 ^{b, g}	0,159-0,452 ^{b, g}	0,260-0,491 ^{b, g}	0,174-0,485 ^{b, g}
Rasio perimeter/area	2,748-5,051 ^{b, h}	2,743-4,202 ^{b, h}	2,729-3,678 ^{b, h}	2,584-4,126 ^{b, h}
Rasio P/L otolit	1,994-2,848 ^{b, i}	1,995-2,878 ^{b, i}	1,868-2,945 ^{b, il}	1,879-2,648 ^{b, i}

Keterangan: n=jumlah individu; PT=panjang total ikan; ^a=PT menentukan ukuran deskriptor otolit ikan betina dan jantan ($P \leq 0,05$); ^b=PT tidak menentukan indeks bentuk otolit ikan betina dan ikan jantan ($P > 0,05$); ^{c-i}= deskriptor dan indeks bentuk ditandai sama untuk ikan betina dan ikan jantan ($P > 0,05$)

5. KESIMPULAN

Panjang total ikan Cakalang (*K.pelamis*) menentukan karakter morfometrik batu telinganya, baik panjang dan lebar maupun perimeter dan luas dari batu telinga ikan jantan maupun ikan betina. Indeks bentuknya ditandai tidak dipengaruhi oleh panjang total ikan. Besaran deskriptor dan indeks bentuk batu telinga ikan jantan dan ikan betina tidak ditunjukkan berbeda. Selain itu, biomineral batu telinga berstruktur kristal aragonit prismatic dan asikular ini, ditandai mengandung elemen utama $O > Ca > C > P > Mg$.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian dari hasil penelitian unggulan perguruan tinggi tentang batu telinga ikan cakalang sebagai proksi lingkungan dan produk ornamen unik yang dibiayai DRPM Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemenristekdikti melalui LPPM Unsrat, tahun 2017. Terimakasih diucapkan kepada Direktur DRPM dan Ketua LPPM Unsrat yang memfasilitasi kegiatan ini. Ucapan serupa disampaikan kepada operator Laboratorium SEM FMIPA ITB (Ibu Susan dan Sheila) yang membantu karakterisasi sampel otolit.

Daftar Pustaka

- [1] Popper, A.N. and Fay, R.R., Rethinking sound detection by fishes. *Hear. Res.* 273: 25–36, 2011.
- [2] Campana, S.E., *Photographic Atlas of Fish Otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario. 2004.
- [3] Campana, S.E. and Neilson, J.D., Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(5): 1014-1032, 1985.
- [4] Pannella, G., Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173, 1124–1127, 1971.
- [5] Payan, P., De Pontual, H., Boeuf, G. and Mayer-Gostan, N., Endolymph chemistry and otolith growth in fish. *C. R. Palevol.* 3: 535–547, 2004.
- [6] Salem, M.A., Embryonic development of the saccular sensory epithelium in relation to otolith growth in the inner ear of the silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844) (Teleostei: Cyprinidae): light and electron microscopic study. *Italian J. of Zoo.* 83(2): 183-194, 2016.
- [7] Panfili, J., Tomás, J. and Morales-Nin, B., Otolith microstructure in tropical fish. In: Green, B.S., Mapstone, B.D., Carlos, G. & Begg, G.A. (eds.). *Tropical fish otoliths: information for assessment, management and ecology*. Springer. Dordrecht. pp 212-248, 2009.
- [8] Darnaude, A.M., Sturrock, A., Trueman, C.N., Mouillot, D., EIMF, Campana, S.E. dan Hunter, E., Listening in on the past: what can otolith $\delta^{18}O$ values really tell us about the environmental history of fishes? *PloS ONE* 9(10) e108539, 2014.
- [9] Reader, J.M., Spares, A., Stokesbury, M.J.W., Avery, T.S. and Dadswell, M.J., Elemental fingerprints of otoliths from smolt of Atlantic salmon, *Salmo salar* Linnaeus, 1758, from three maritime watersheds: natural tag for stock discrimination. *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science* 48(1): 91-123, 2015.
- [10] Carlson, A.K., Phelps, Q.E. and Graeb, B.D.S., Chemistry to conservation: using otoliths to advance recreational and commercial fisheries management. *J. of Fish Biol.* 90(2): 505-527, 2017.

- [11] Wang, C.H., Lin, Y.T., Shiao, J.C., You, C.F. and Tzeng, W.N., Spatio-temporal variation in the elemental compositions of otoliths of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* in the Indian Ocean and its ecological implication. *J. of Fish Biol.* 75: 1173–1193, 2009.
- [12] Tanaka, F., Ohashi, S., Aoki, Y. and Kiyofuji, H., Reconsideration of skipjack otolith microstructural analysis for age and growth estimates in the WCPO. Scientific Committee Thirteenth Regular Session, Rarotonga, Cook Islands, 9-17 August 2017.
- [13] Echlin, P., *Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer Science+Business Media, New York, 2009.
- [14] Wujdi, A., Prihatiningsih, and Suwarno. Karakteristik morfologi dan hubungan morfometrik otolith dengan ukuran ikan lemuru (*Sardinella lemuru* Bleeker 1815) di Selat Bali. *Bawal* 8(3): 159-172, 2016.
- [15] Stransky, C., Murta, A.G., Schlickeisen, J. and Zimmermann, J., Otolith shape analysis as a tool for stock separation of mackerel (*Trachurus trachurus*) in the northeast Atlantic and Mediterranean. *Fish. Res.*, 89: 159-166, 2008.
- [16] Daryaei, N.A., Kamrani, E., Salarzadeh, A.R. and Salaripour, A., Identification of anchovy, *Engrasicholina punctifer* stocks on Persian Gulf and Oman Sea using analysis of otolith morphometrics. *Env. Sci.*, 1(2):53-63, 2013.
- [17] Javadzadeh, N., Azhir, M.T. and Mabudi, H., Investigation of otolith in some species of aridae in persian gulf and Oman Sea. *J. Bio.& Env. Sci.*, 5(4): 177-182, 2014.
- [18] Kajajian, A., Schaffler, J.J., and Jones, C.M., Lack of equivalence in the elemental and stable isotope chemistry within the sagittal otolith pair of the summer flounder, *Paralichthys dentatus*. *ICES J.of Mar.Sci.* 71(2): 356-364, 2014.

ANALISIS KARAKTERISTIK TANAH DENGAN PERLAKUAN PUPUK ORGANIK DARI PERAIRAN DANAU TONDANO

KARAMOY LIENTJE TH¹, WIESJE KUMOLONTANG²

^{1,2}Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi Manado

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dengan perlakuan pupuk organik yang berasal dari vegetasi perairan danau Tondano. Penelitian di laksanakan di desa Kalasey I, Kecamatan Mandolang, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Analisis tanah di laksanakan di Laboratorium Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian ini di lakukan dengan menggunakan metode survei. Contoh tanah diambil pada dua lokasi yang berbeda. Contoh tanah pertama diambil pada lokasi yang belum diolah dan belum diberi pupuk organik, sedangkan contoh tanah yang kedua diambil pada lokasi yang sudah diolah dan sudah diberikan penambahan pupuk organik. Hasil Penelitian menunjukkan lahan yang belum di tanami tanaman jagung dan tidak di beri pupuk organik memiliki permeabilitas tanah dengan kriteria agak cepat. Sedangkan pada tanah yang telah diberi perlakuan pupuk organik 20 ton/ha dan 30 ton/ha memiliki kriteria yang sama yaitu cepat.. Hal ini menunjukkan bahwa tanah-tanah yang telah diberi perlakuan pupuk organik terjadi peningkatan kecepatan permeabilitas tanah. Kadar air tanah meningkat juga dengan penambahan pupuk organik. Pemberian pupuk organik dapat meningkatkan kandungan hara dalam tanah. sehingga kandungan hara menjadi sedang.

Kata kunci: Pupuk organik, Danau Tondano

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air, tanah dan vegetasi mempunyai kaitan yang sangat erat dalam hal ini perubahan kondisi suatu lahan. Air merupakan komponen yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman yaitu sebagai pengangkut unsur hara. Tanaman memerlukan air dari tanah dan CO₂ dari udara untuk membentuk gula dan karbohidrat. Unsur hara yang terlarut dalam air yang diserap oleh akar tanaman berasal dari larutan tersebut. Air juga sebagai bagian sari sel-sel tanaman yaitu air merupakan bagian dari protoplasma.

Menurut Sarief (1986) air berasal dari udara atau atmosfer. Di daerah tropis air hujan merupakan sumber yang terbanyak yang jatuh di permukaan bumi. Selanjutnya dikatakan bahwa keadaan air pada kapasitas lapang adalah jumlah air dalam tanah yang terbanyak bagi tanaman yaitu pori-pori makro terisi udara, sedangkan pori-pori mikro di isi seluruhnya oleh air. Menurut Foth (1984) kemampuan tanah menyuplai air berkaitan dengan jumlah air yang tersedia di suatu massa tanah yang dapat ditahan oleh massa tersebut. Jumlah yang tersedia bagi tanaman yang berkaitan dengan tekstur dan struktur tanah.

Produktivitas tanah merupakan tujuan akhir dari penggunaan suatu tanah, dengan mempertinggi dan memelihara produktivitas tanah berarti dengan sendirinya kesuburan tanah dapat dipelihara. Pengelolaan tanah secara intensif dapat merusak agregat tanah. Russel dan Feng dalam Nangoi (1984) mengatakan bahwa tanah-tanah yang mempunyai kemantapan agregat yang rendah akan mudah terdispersi oleh air sehingga terjadi

penyumbatan pori-pori tanah. Sebagai akibat penyumbatan pori-pori tanah, permeabilitas tanah terjadi tidak efektif dalam penyerap dan melakukan air sehingga aliran permukaan menjadi besar.

Pengelolaan tanah yang sesuai dengan kebutuhan tanaman sangat menentukan keberhasilan suatu usaha pertanian. Usaha yang termasuk dalam pengelolaan tanah antara lain pengelolaan hara untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Pengelolaan hara dapat dilakukan melalui pemberian pupuk.

Pada umumnya dikenal dua jenis pupuk yang dapat diberikan ke dalam tanah yaitu pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik termasuk di dalamnya pupuk kompos. Pupuk kompos berfungsi sebagai sumber unsur hara dalam tanah, memperbaiki kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan mendorong kehidupan jasad renik tanah. Selain itu pupuk kompos dapat memperbaiki sifat-sifat fisik tanah seperti permeabilitas tanah, porositas tanah, daya menahan air tanah dan kation-kation tanah (Hardjowigeno, 2003).

Perkembangan teknologi pembuatan pupuk kompos saat ini semakin maju dengan menggunakan berbagai sumber yang dulunya menjadi masalah dalam pengelolaan apakah sampah rumah tangga atau suatu vegetasi yang menutupi areal lahan yang bersifat sebagai tumbuhan pengganggu. Daerah Sekitar danau Tondano tumbuh tanaman eceng gondok dengan begitu cepat. Tanaman ini perkembangbiakannya sangat cepat sehingga dapat dengan cepat menutupi daerah pinggiran danau yang telah menjadi dangkal.

Pemerintah dan masyarakat sekitar danau mencari solusi untuk mengatasi perkembangbiakan eceng gondok. Upaya yang dilakukan antara lain dengan mengangkat eceng gondok yang ada di sekitar danau dan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pupuk kompos. Eceng gondok merupakan sumber bahan organik yang dapat digunakan dalam memperbaiki sifat fisik tanah dan sifat kimia tanah.

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang analisa karakteristik tanah dengan perlakuan bahan organik vegetasi perairan danau Tondano.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dengan perlakuan pupuk organik yang berasal dari vegetasi perairan Danau Tondano.

1.3 Perumusan Masalah

Berapa besar pengaruh pemberian pupuk organik terhadap karakteristik tanah yang diberi pupuk organik yang berasal dari vegetasi perairan Danau Tondano.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian di laksanakan di desa Kalasey I, Kecamatan Mandolang, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Analisis tanah di laksanakan di laboratorium Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian di dilaksanakan selama kurang 6 bulan

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan lahan untuk tanaman jagung, pupuk organik eceng gondok, air.. Alat-alat yang digunakan : plastik, ayakan tanah berdiameter 2-3 mm, skop timbangan, oven dan alat untuk analisis kimia dan fisik tanah di Laboratorium

2.3 Metode

Penelitian ini di lakukan dengan menggunakan metode survei. Contoh tanah diambil pada dua lokasi yang berbeda. Contoh tanah pertama diambil pada lokasi yang belum diolah dan belum diberi pupuk organik, sedangkan contoh tanah yang kedua diambil pada lokasi yang sudah diolah dan sudah diberikan penambahan bahan organik.

2.4 Variabel yang di amati

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah : kadar air dan permeabilitas tanah dan sifat kimia tanah pada dua lokasi : yaitu pada lahan yang belum diolah dan lahan yang telah diolah dan diberi pupuk organik.

2.5 Analisis Data

Data yang diperoleh di analisis dengan cara tabelaris dan di jelaskan secara deskriptif.

3. HASIL

3.1 Permeabilitas Tanah

Hasil pengamatan permeabilitas tanah pada tanah tanpa diberi kompos, sesudah diberi 20 ton/ha dan 30 ton/ha dilihat pada tabel 1 berikut ini

Tabel 1 Rata-rata Permeabilitas pada tanah yang belum diberi kompos, sesudah diberi kompos 20 ton/ha dan 30 ton/ha

Perlakuan	Kecepatan Permeabilitas Tanah (cm/jam)	Kriteria
Tanpa Pemberian pupuk organik	12.14	Agak Cepat
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 20 ton/ha	20.85	Cepat
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 30 ton/ha	22.19	Cepat

Tabel diatas menunjukkan bahwa pada lahan yang belum di tanami tanaman jagung dan tidak di beri pupuk organik memiliki permeabilitas tanah dengan kriteria agak cepat. Sedangkan pada tanah yang telah diberi perlakuan pupuk organik 20 ton/ha dan 30 ton/ha memiliki kriteria yang sama yaitu cepat.. Hal ini menunjukkan bahwa tanah-tanah yang telah diberi perlakuan pupuk organik terjadi peningkatan kecepatan permeabilitas tanah.

Bakri (2001) mengemukakan bahwa pemberian bahan organik dapat meningkatkan laju permiabilitas tanah. Hal ini disebabkan karena bahan organik meningkatkan agregasi dan membuat struktur tanah menjadi mantap. Selain itu bahan organik cenderung meningkatkan jumlah air yang ditahan oleh tanah. Hal ini dapat dipahami karena bahan organik mempunyai permukaan serap yang lebih besar.

Hasil penelitian ini menunjukkan pemberian kompos dapat meningkatkan laju permiabilitas tanah. Tanah sebelum diberi kompos laju permiabilitasnya tergolong agak cepat, sedangkan setelah diberi kompos laju permiabilitasnya meningkat menjadi cepat. Pemberian kompos dapat menyebabkan tanah menjadi gembur dan memiliki ruang pori makro yang lebih besar jumlahnya dibandingkan pori mikro. Dalam kondisi yang demikian menyebabkan kemampuan tanah untuk menyerap dan melewatkan air akan menjadi lebih cepat.

Pemberian kompos selain sebagai sumber bahan organik tanah yang berfungsi sebagai sumber hara juga sangat penting dalam perbaikan sifat fisik tanah. Keadaan fisik tanah yang baik sangat penting dalam pertumbuhan tanaman. Lingkungan fisik tanah yang baik memungkinkan pertumbuhan tanaman dapat optimal. Laju permiabilitas tanah sangat erat kaitannya dengan kemampuan tanah dalam menyediakan air dan proses translokasi unsur hara dari dalam tanah ke tanaman.

3.2 Kadar Air

Hasil pengamatan kadar air tanah pada tanah tanpa diberi kompos, sesudah diberi 20 ton/ha dan 30 ton/ha dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Rata-rata nilai kadar air pada lahan yang belum ditanami tanaman jagung dan belum diberikan kompos

Perlakuan	Kadar Air (%)
Tanpa Pemberian pupuk organik	5.60
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 20 ton/ha	11,35
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 30 ton/ha	13.50

Pada data di atas memperhatikan bahwa bahan organik sangat berpengaruh terhadap tingginya ketersediaan air di dalam tanah. Hal ini ditunjukkan dengan meningkat nilai kadar air pada tanah yang diberi kompos, Dengan demikian dapat dilihat bahwa bahan organik yang tinggi pada tanah akan membuat permiabilitas tanah meningkat sehingga tanah tersebut mampu menyerap air yang lebih banyak karena terbentuk mampu menyerap air dengan baik sehingga pori-pori makro bisa menyimpan air yang lebih banyak karena terbentuk dalam jumlah yang besar. Hal ini disebabkan karena telah terbentuk agregat-agregat yang mantap dalam tanah sehingga air yang tersedia dalam tanah cukup besar Arsyad, (2010).

3.3 Sifat Kimia Tanah

Hasil pengamatan beberapa sifat kimia tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Beberapa Sifat Kimia Tanah

Perlakuan	C organik		N Total		P Tersedia		K Tersedia
	%	Kriteria	%	Kriteria	ppm	Kriteria	ppm
Tanpa Pemberian pupuk organik	0.80	Sgt Rendah	0.07	Sgt Rendah	10.08	Rendah	15.66
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 20 ton/ha	2.08	Sedang	1.01	Sedang	15.65	Sedang	30.60
Ditanami jagung dengan pemberian pupuk organik 30 ton/ha	2.14	Sedang	1.12	Sedang	17.05	Sedang	35.41

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa pemberian pupuk organik kandungan hara dalam tanah tergolong sangat rendah hingga rendah. Pemberian pupuk organik dapat meningkatkan kandungan hara dalam tanah, sehingga kandungan hara menjadi sedang. Pupuk organik mengandung sejumlah unsur hara yang dapat diberikan dalam tanah dan dapat digunakan oleh tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik.

4. KESIMPULAN

Karakteristik Tanah dengan perlakuan pupuk organik dari vegetasi perairan danau Tondano menunjukkan permeabilitas tanah menjadi cepat dibandingkan dengan tanpa perlakuan pupuk organik yang agak cepat. Kadar air tanah juga meningkat, demikian juga dengan beberapa kandungan hara dalam tanah yaitu N, P, K dan C organik Tanah dari sangat rendah dan rendah menjadi sedang.

Daftar Pustaka

- [1] Arsyad,S. 1985.**Konservasi Tanah Dan Air**.Fakultas Pertanian.Institut Pertanian Bogor.Bogor
- [2] Arsyad,S.2010.**Konservasi Tanah Dan Air**.Fakultas Pertanian.Institut Pertanian Bogor.Bogor.
- [3] Baver.1961 **Soil Phisic**.Jhon Wiley and Son.Inc New York.
- [4] Donahue,I Roy, Raymond, W. Miller, Hohn Shickluna, 1977. **Introduction To Soil Plant Growth**. Soil Prentice Hall Inc.,Englewood Cliff, New Jersey.
- [5] Foth Henry,D.1984.**Fundamental Of Soil Science**.Jhon Wiley and Sons.
- [6] Foth Henry,D. Adisoemarto,S. 1994. **Dasar Dasar Ilmu Tanah**.Penerbit Erlangga.Jakarta.
- [7] Hardjowigeno, S. 1987. **Ilmu Tanah**. Penerbit PT Medyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- [8] Hardjowigeno,S. 2003. **Ilmu Tanah**. PT Medyatama Sarana Perkasa . Jakarta..
- [9] Pairunan, A. K., J. L. Nanere., Arifin, S., R. Samosir., R. Tangkaisari., J. R. Lalopua., B. Ibrahim dan H. Asmadi, 1985.**Dasar Dasar Ilmu Tanah** .Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri Indonesia Timur. Ujung Pandang.
- [10] Sarief, S. 1985. **Konsevasi Tanah Dan Air**. Penerbit Pustaka Buana. Bandung.
- [11] Sarief, S. 1986. **Ilmu Tanah Pertanian**.Penerbit Pustaka Buana. Bandung.
- [12] Soepardi, G. 1979. **Sifat Dan Ciri Tanah**.Proyek Peningkatan dan Pengembangan Perguruan Tinggi Institut Pertanian Bogor.Bogor.

SUMBER-SUMBER BELAJAR SAINS MASYARAKAT PESISIR DAN TERISOLIR DI DESA LULUO BILUHU GORONTALO

MASRI KUDRAT UMAR¹, YUNIARTI KONIYO² SUKARMAN
KAMULI³, NELSON POMALINGO⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia.

masrikudrat@ung.ac.id and masrikudrat@yahoo.com

Abstrak

Desa Luluo menyimpan berbagai potensi pada garis pesisir laut Selatan Gorontalo dan lahan pegunungan yang masih subur. Namun demikian desa ini mulai dihadapkan pada beberapa persoalan diantaranya; (1) ketersediaan pangan, (2) banjir pada musim penghujan, (3) lapangan pekerjaan, dan (4) pendidikan yang relatif masih pada tingkat Sekolah Dasar. Sebagian besar kebutuhan pangan masyarakat disuplay dari daerah tetangga dengan infrastruktur yang masih serba terbatas. Kelembagaan pendidikan masyarakatnya belum terbangun. Masyarakatnya (suami) cenderung menjadi nelayan pada armada ikan perusahaan Bitung dan sekitarnya sedangkan para istri cenderung menunggu di rumah dalam selang waktu 01 s.d 03 bulan. Artinya tersedia waktu yang panjang bagi para istri yang dapat digunakan meningkatkan kapasitas individu melalui kegiatan-kegiatan belajar masyarakat. Perlu dilakukan advokasi untuk meningkatkan kemandirian belajar dengan memanfaatkan sumber-sumber belajar mutakhir. Sumber belajar ini menjadi bagian penting dalam peningkatan kapasitas belajar masyarakat. Masyarakat yang belajar akan memiliki kapasitas yang memadai sesuai dengan tuntutan kebutuhan dan lingkungannya. Membutuhkan pendampingan untuk membentuk masyarakat belajar, mulai dari penguatan kelembagaan pendidikan masyarakat, pembelajaran dan kurikulumnya, monitoring dan evaluasinya, dan dukungan riil yang menggerakkan usaha dan kegiatan produktifnya. Hasil penelitian menunjukkan; (1) Desa Biluhu membutuhkan pengembangan kapasitas sumberdaya manusia dalam pengelolaan sumberdaya alam, melalui pendidikan informal, (2) Pendidikan informal tersebut difokuskan pada kegiatan produktif pada (a) **pemanfaatan ekstraktif yaitu**; pengambilan batu karang, penambangan pasir, penangkapan ikan, pengambilan mangrove, budidaya ikan, pengambilan teripang, budidaya rumput laut, pengambilan pasir laut, dan (b) **pemanfaatan non-ekstraktif, yaitu**; pariwisata, tempat acara social, olah raga air, dan transportasi laut, dan (3) Sumber-sumber belajar yang digunakan mencakup; (a) sumber belajar nyata yang terdiri dari masyarakat yang memiliki kemampuan tertentu dan ketersediaan alam sekitar, (b) sumber belajar yang diciptakan melalui interaksi pembelajaran informal antara pendidik dengan peserta didik, (c) sumber belajar berbasis teknologi pembelajaran untuk memasukkan kebaruan, dan (4) sumber belajar pengalaman, untuk mensinergikan kemampuan pengetahuan, keterampilan, dan sikap dalam menjalankan aktifitas produktifnya.

Kata kunci: sumber belajar, kapasitas belajar sains, masyarakat pesisir dan terisolir

1. PENDAHULUAN

Upaya masyarakat memenuhi kebutuhannya menjadi bagian dari upaya menguatkan ketahanan nasional. Untuk itu diupayakan masyarakat melakukan berbagai aktifitas yang produktif memenuhi kebutuhan hidupnya dan keluarganya. Aktifitas ini tentunya dengan mendayagunakan berbagai potensi yang ada di sekitarnya. Demikian halnya pada masyarakat desa LuluO kecamatan Biluhu kabupaten Gorontalo.

Desa LuluO dengan luas 62,5 ha dihuni oleh 663 jiwa, merupakan salah satu Desa yang berada pada garis pantai Selatan Gorontalo. Sebagaimana desa-desa lainnya di kecamatan Biluhu ini, LuluO memiliki potensi pesisir yang masih sangat mungkin dikembangkan. Perhatian ke sumber daya pesisir menjadi salah satu pilihan karena potensi daratnya cenderung padat karena lahan untuk pemukiman cenderung sama luasnya dengan lahan untuk pertanian. Beberapa permasalahan yang ditemukan adalah dalam hal; (1) ketersediaan pangan, (2) banjir pada musim penghujan, (3) lapangan pekerjaan, dan (4) pendidikan yang relatif masih pada tingkat Sekolah Dasar. Disisi lain, aktivitas masyarakatnya lebih terkonsentrasi pada nelayan perairan laut dalam dan ikut dalam armada perusahaan-perusahaan ikan di daerah sekitarnya. Para istri beraktivitas sebagai ibu rumah tangga, menunggu suami dalam rentang waktu beberapa bulan. Artinya terdapat ruang waktu belajar bagi para ibu rumah tangga untuk meningkatkan kompetensinya.

Mengantisipasi berbagai permasalahan di atas antara lainnya adalah dengan meningkatkan kemampuan masyarakat. Kemampuan masyarakat dapat ditingkatkan melalui penyelenggaraan pendidikan informal. Beberapa hal terkait dengan pendidikan masyarakat ini, (1) jenis pendidikan, (2) lembaga pendidikan, (3) kurikulum, (4) pengelolaan dan (5) pengawasan. Khusus dalam pengembangan kurikulum sedapat mungkin dikembangkan dengan mendayagunakan potensi sekitar agar pendidikan tidak asing dari masyarakatnya. Salah satu bagian dari kurikulum adalah sumber belajar.

Sumber belajar sebagai sarana belajar sehingga pesan-pesan pembelajaran dapat lebih mudah dipahami oleh peserta belajarnya. Sumber belajar ini variatif, sesuai dengan kondisi daerahnya. Desa LuluO sebagai desa yang unik tentunya memiliki sumber-sumber belajar yang dapat didayagunakan untuk pembelajaran masyarakatnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

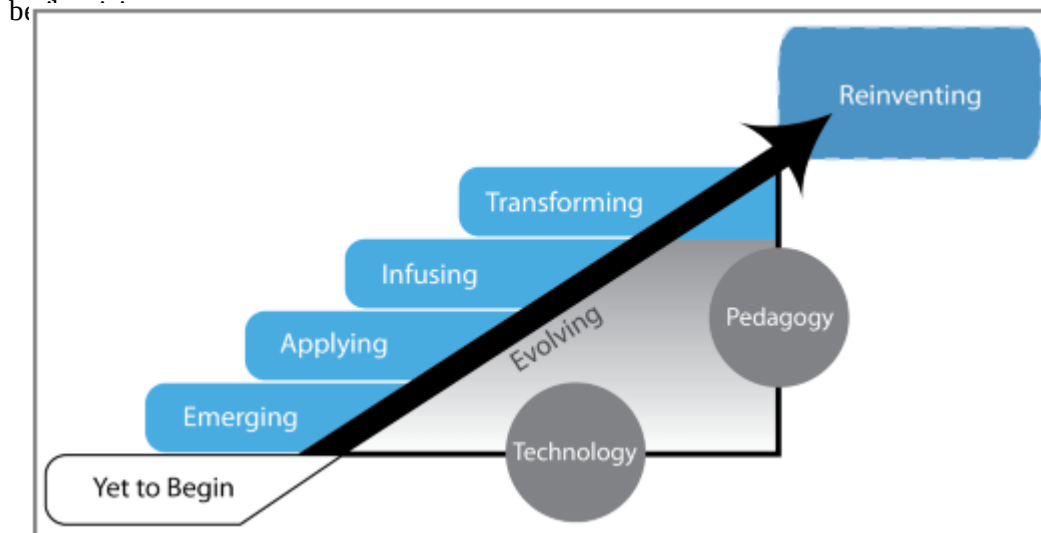
Terdapat berbagai pendapat yang berkenaan dengan sumber belajar, diantaranya yang dimuat dalam Wawasan pendidikan tahun 2015. Menurut Wijaya dan Rusyah sumber belajar adalah lingkungan yang dapat dimanfaatkan oleh sekolah sebagai sumber pengetahuan, dapat berupa manusia atau bukan manusia. Menurut Rohani dan Ahmadi, sumber belajar adalah segala daya yang dapat dipergunakan untuk kepentingan proses atau aktifitas pengajaran baik secara langsung maupun tidak langsung diluar dari peserta didik (lingkungan) yang melengkapi diri mereka pada saat pengajaran berlangsung. Menurut Sudjana dan Rivai, sumber belajar adalah daya yang bisa dimanfaatkan guna kepentingan proses belajar mengajar baik secara langsung maupun tidak langsung sebagian atau secara keseluruhan. Menurut Percival dan Ellington, sumber belajar (Resources Learning) adalah satu set bahan atau situasi belajar yang sengaja diciptakan agar siswa secara individual dapat belajar. Dalam pengertian AECT (Association For Education Communication and Technology), sumber belajar adalah semua sumber (yang meliputi orang dan barang) yang mungkin digunakan oleh si belajar baik secara sendiri sendiri maupun dalam bentuk gabungan, biasanya dalam

situasi informal untuk memberikan kemudahan belajar.

Berdasarkan beberapa pendapat ahli di atas maka dapat dipahami bahwa yang dimaksud dengan sumber belajar adalah segala daya lingkungan, manusia, dan situasi yang diciptakan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber langsung maupun tidak langsung dalam mendukung proses pengajaran secara lebih efektif dan efisien untuk terjadi pengajaran secara sendiri sendiri maupun dalam bentuk gabungan, untuk memberikan kemudahan belajar.

Segala daya lingkungan yang ada di pesisir sebagaimana dinyatakan oleh Agussalim, (2017) bahwa Keberadaan populasi manusia yang banyak di dekat laut sangat erat kaitannya dengan berbagai jenis pemanfaatan sumberdaya yang terdapat di laut itu sendiri, baik di pesisir, di permukaan air, di bawah laut untuk ; (1) **pemanfaatan ekstraktif yaitu**; panambangan minyak, gas, dan mineral, pengambilan batu karang, penangkapan ikan, pengambilan mangrove, budidaya ikan, pengambilan teripang, budidaya rumput laut, pengambilan pasir laut, dan (2) **pemanfaatan non-ekstraktif, yaitu**; pariwisata, pendidikan non ekstraktif, tempat acara social, olah raga air, perhubungan laut, penelitian non-ekstraktif. pemanfaatan ekstraaktif adalah pemanfaatan sumber dayaa dengan mengambil bahan-bahan atau material yang dibutuhkan. Cara ini bila tidak kelola secara bijak akan banyak mendatangkan masalah baik masalah social maupun masalah lingkungan. Sedangkan pemanfaatan non ekstraktif yaitu pemanfaatan dengan tidak mengambil bahan-bahan atau materialnya.

Sumber-sumber belajar ini selanjutnya akan digunakan untuk meningkatkan kompetensi belajar masyarakat agar terjadi kemudahaan belajar. Perkembangan di masyarakat dapat dilakukan dengan melakukan pembaharuan dalam hal pedagogy (pembelajaran) dan teknologi pembelajarannya. Sebagaimana digambarkan oleh diagram, (Groff, 2013)

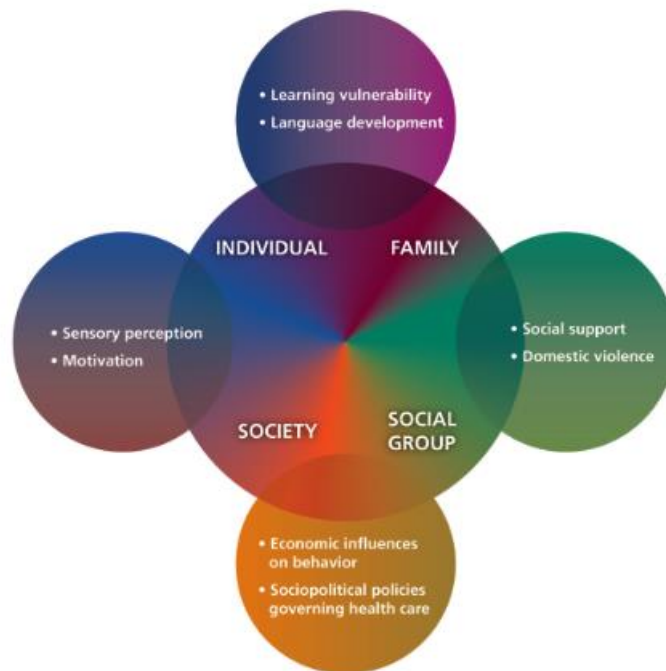


Gambar 1. Integrasi Pendidikan, Adaptasi Anderson, 2010

Sebuah pembaharuan dimotori oleh pengembangan pengajaran dan teknologinya dengan; mencermati berbagai potensi, menggunakan potensi tersebut, memasukkan hal-hal baru yang dapat lebih mendayagunakan potensi, kemudian mengubah mengarahkan untuk menjadi sesuatu yang bermanfaat.

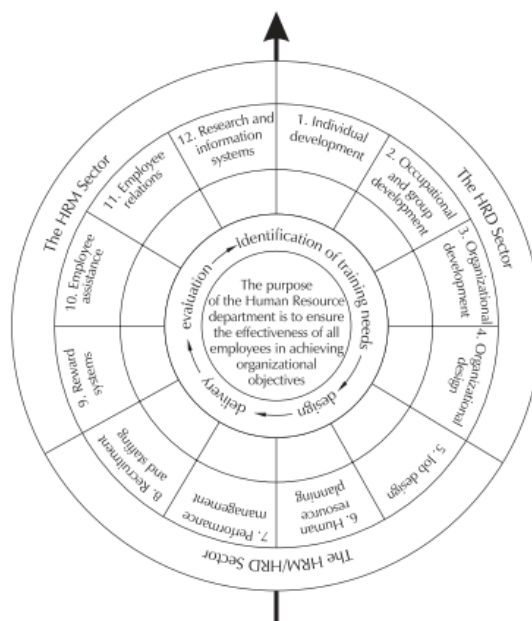
Pengajaran di masyarakat dalam hal penguatan sikap dan perilaku masyarakat didekati melalui pendekatan yang digunakan dalam kesehatan yaitu melalui pendekatan; (1) individu, (2) keluarga, (3) masyarakat, dan (4) kelompok social, (Association of

American Medical Colleges, 2011).



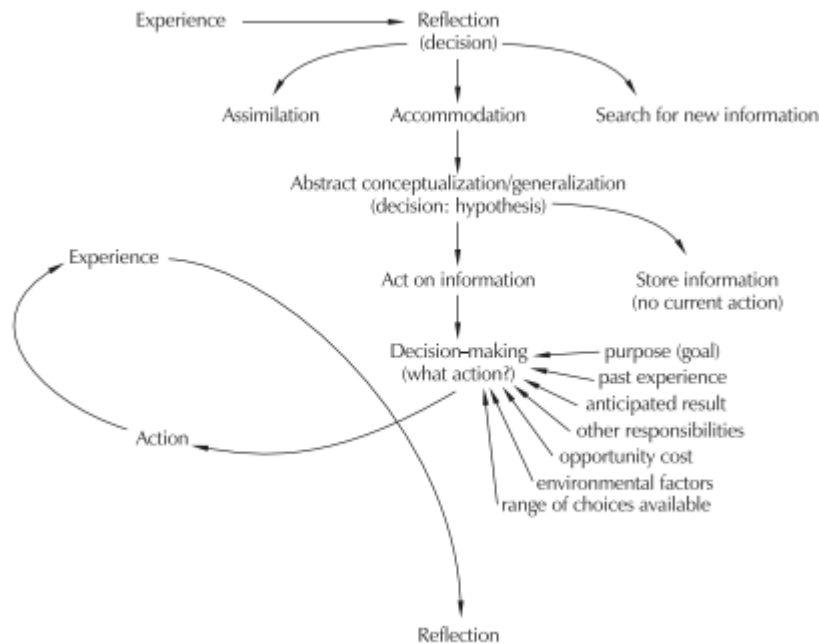
Gambar 2. Simpul-Simpul Pendekatan Pembelajaran, Individu, Keluarga, Kelompok Sosial, dan Masyarakat

Individu-individu sebagai satuan terkecil masyarakat berkumpul dalam satu ikatan terkecil yaitu keluarga. Dalam keluarga individu saling berinteraksi baik sesama anggota keluarga maupun dengan keluarga lainnya dalam group-group social. Toalitas group social inilah masyarakat. Pengajaranpun dapat didesain menggunakan alur-alur ini. Hal ini juga diperkuat oleh proses pengembangan sumber daya manusia, yang dimulai dari pengembangan kemampuan individualnya, (Wilson, 1999) sebagaimana gambar di bawah ini.



Gambar 3. Kompas Pengembangan Sumber Daya Manusia

Sumber belajar hendaknya disiapkan untuk memudahkan masyarakat belajar secara individu maupun secara bersama-sama. Proses pembelajarannya menggunakan system saling control antara pendidik dengan peserta, yang secara faktual senantiasa berdasarkan pengalaman peserta didik, direfleksi, diarahkan berdasarkan konteks keilmuan, dan seterusnya, dapat juga mengikuti siklus pembelajaran (Wilson, 1999) berikut ini,



Gambar 4. Spiral Pembelajaran

3. HASIL PENELITIAN

Sesuai hasil observasi, survey dan wawancara oleh tim peneliti didapatkan beberapa permasalahan yang teridentifikasi secara umum sebagai berikut, (1) Tingkat pendidikan dan pengetahuan masyarakat umumnya rendah; (2) Sarana prasarana dalam kegiatan pemanfaatan sumberdaya pertanian dan perikanan dan laut umumnya sederhana; (2) Dukungan modal dari lembaga ekonomi/keuangan terbatas dan sulit mengakses; (3) Belum mampu mensinergiskan potensi sosial-budaya dalam mengelola sumberdaya alam; (4) Umumnya mengabaikan aspek kelesatarian dan daya dukung fungsi lingkungan; (5) Umumnya memiliki produktivitas yang relatif rendah; (6) Umumnya memiliki jaringan kerja konvensional; (7) Memiliki akses ke pasar (market) relatif sangat rendah(masih adanya tengkulak); dan (8) Penanganan pasca panen yang rendah.

Berdasarkan gambaran umum permasalahan masyarakat di atas secara spesifik dapat dikelompokkan menjadi lima dimensi yaitu; (1) sumberdaya manusia, (2) modal dan teknologi, (3) kelembagaan, hukum dan budaya, (4) sarana dan prasarana, dan (5) pemasaran.

(1) Sumberdaya manusia

Kapasitas sumberdaya manusia pelaku usaha di bidang pertanian, kelautan dan perikanan di Kecamatan Biluhu masih relatif rendah terutama dalam kemampuan penerimaan dan penguasaan teknologi maju serta kemampuan berpikir jangka panjang. Sebagian besar petani dan nelayan yang ada hanya lulusan SD dan bahkan tidak tamat sekolah. Dilihat

dari fasilitas pendidikan formal yang mengkhususkan kepada pemanfaatan sumberdaya pertanian, kelautan dan perikanan pun masih relatif sedikit. Selain itu tingkat pendidikan yang relative masih rendah (rata-rata SD).

Masalah yang mendasar dan umum banyak ditemui di masyarakat pesisir adalah rendahnya pendidikan dan keterampilan dari masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir. Hal ini mungkin disebabkan kurang intensifnya kegiatan pendidikan yang sifatnya informal seperti pelatihan, diklat, dan kursus tentang pengelolaan potensi sumberdaya wilayah pesisir dan laut. Secara keseluruhan intensitas pelaksanaan pendidikan informal masyarakat di wilayah pesisir masih sedikit. Masyarakat belum pernah atau jarang menerima bimbingan atau pelatihan berbagai keterampilan dibidang pertanian dan perikanan. Masalah ini penanganannya haruslah menjadi prioritas bagi pemerintah daerah melalui koordinasi dan kerjasama dengan instansi/dinas terkait dalam pelaksanaan kegiatan pendidikan informal. Rendahnya tingkat pendidikan menyebabkan rendahnya produktivitas.

(2) Modal dan teknologi

Keterbatasan modal usaha menyebabkan terhambatnya petani dan nelayan untuk meningkatkan usaha pertanian dan penangkapan sumberdaya perikanan. Kekayaan sumberdaya alam menyebabkan para masyarakat condong kepada kegiatan-kegiatan ekstraktif. Akan tetapi teknologi yang digunakan dalam kegiatan usaha tersebut masih tradisional, sehingga produksi yang diperoleh masih relatif lebih rendah.

Terkait erat dengan masalah diatas adalah lemahnya kelembagaan permodalan yang ada. Lembaga permodalan yang ada, disamping jumlahnya terbatas, juga memiliki kapasitas yang relatif rendah untuk melayani kebutuhan masyarakat akan pinjaman modal usaha. Akibatnya lembaga tersebut cenderung hanya mewakili sebagian kecil industri/usaha yang sebenarnya memiliki kemampuan pendanaan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan petani dan nelayan kecil.

(3) Kelembagaan, hukum dan budaya

Kurang berkembangnya kelembagaan masyarakat di Desa Luluo Kecamatan Biluhu, secara empiris merupakan problem struktural yang menjadi sentral dari upaya peningkatan taraf hidup petani dan nelayan. Kelembagaan masyarakat baik yang bersifat formal maupun non-formal relatif kurang berkembang di lokasi penelitian, sehingga posisi tawar masyarakat dan adanya institusi lain yang mengatasnamakan petani dan nelayan menjadi tak terelakan. Implikasinya adalah petani maupun nelayan selalu dalam posisi yang termarginalisasi dalam pembangunan ekonomi dan kurang sekali mendapatkan akses ekonomi dan politik dalam proses pembangunan secara menyeluruh.

Penegakan hukum yang kurang. Lemahnya penegakan hukum sudah menjadi problem klasik dalam semua aktivitas pembangunan termasuk pembangunan pertanian, kelautan dan perikanan. Hal ini penting karena untuk menciptakan *cleen government* dan *good governance* dalam proses pembangunan sangat ditentukan oleh sejauh mana kekuatan penegakan hukum dan produk hukum yang dihasilkan oleh Dewan Perwakilan Rakyat Daerah bersama-sama pemerintah di daerah.

Sumberdaya pertanian, kelautan dan perikanan adalah sumberdaya yang membutuhkan dukungan pengawasan yang ketat dalam pengelolaan dan pemanfaatannya. Hal ini penting karena keberadaan sumberdaya tersebut sangat dipengaruhi oleh lingkungan yang sangat dinamis dan luas. Dengan demikian peran pengawasan menjadi signifikan.

(4) Sarana dan prasarana

Di bidang sarana dan prasarana, seperti fasilitas umum dan fasilitas ekonomi, Akses jalan, pangkalan pendaratan ikan, pabrik pengolahan pertanian dan perikanan sebagai penunjang pengembangan produksi pertanian dan perikanan masih terbatas jumlahnya. Lemahnya sarana dan prasarana dalam mendukung terciptanya akses pasar bagi produk-produk pertanian, perikanan dan kelautan daerah yang bersangkutan. Lemahnya pemasaran menjadi permasalahan utama karena frekuensi keterkaitannya dengan permasalahan lain paling tinggi.

Berdasarkan observasi lapangan dan wawancara bebas didapatkan informasi bahwa petani dan nelayan di Kecamatan Biluhu masih tergolong petani dan nelayan skala tradisional.

(5) Pemasaran

Peningkatan produksi pertanian, perikanan dan kesejahteraan masyarakat sangat dipengaruhi oleh pasar atau konsumen. Perkembangan Ekonomi sebuah wilayah akan ditentukan oleh 3 faktor yaitu; 1). Investasi, 2) Konsumsi dan 3) Eksport. Di Kecamatan Biluhu jumlah investasi yang masuk masih sangat minim sehingga belum mampu menggerakkan ekonomi pada tingkat masyarakat lokal.

Kelima dimensi tersebut satu dengan yang lain saling terkait dalam suatu permasalahan yang kompleks. Oleh karena itu untuk menjawab permasalahan tersebut diperlukan kebijakan atau program yang terpadu dan menyentuh langsung kebutuhan masyarakat pesisir. Dengan demikian maka diharapkan kebijakan tersebut disamping dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir, juga mendidik lebih mandiri dan memiliki kemampuan dalam memanfaatkan sumberdaya alam secara optimal serta berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut memberikan penjelasan bahwa untuk meningkatkan masyarakat pesisir dan terisolir ada beberapa hal penting diperhatikan; (1) bimtek untuk meningkatkan kapasitas skill dan manajemen usaha penting dilaksanakan secara berkelanjutan, (2) kapitalisasi modal melalui skim pemerintah dan kemitraan perlu ditingkatkan untuk mendorong kapasitas usaha, (3) membentuk institusi ekonomi yang dapat menjadi wadah peningkatan kapasitas sosial-ekonomi masyarakat dan advokasinya.

Sumberdaya manusia yang berkualitas dengan kapasitas yang mendukung baik secara konsepsional, teknis maupun penguasaan teknologi merupakan prasyarat dalam pengelolaan dan pengembangan masyarakat pesisir. Beberapa strategi untuk mendukung pengembangan kapasitas SDM dan kelembagaan pada masyarakat pesisir dapat dilakukan hal sebagai berikut:

1. Pengembangan kapasitas sumberdaya manusia dalam pengelolaan sumberdaya alam.
2. Pengembangan fasilitas dan sistem pendidikan.
3. Revitalisasi lembaga tradisional dan lokal di daerah untuk berpartisipasi secara aktif dalam pengelolaan sumberdaya pesisir.
4. Penguatan kelembagaan di tingkat pemerintahan dalam mengelola sumberdaya alam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- (1) Desa Biluhu membutuhkan pengembangan kapasitas sumberdaya manusia dalam pengelolaan sumberdaya alam, melalui pendidikan informal.
- (2) Pendidikan informal tersebut difokuskan pada kegiatan produktif pada (1)

pemanfaatan ekstraktif yaitu; pengambilan batu karang, penangkapan ikan, pengambilan mangrove, budidaya ikan, pengambilan teripang, budidaya rumput laut, pengambilan pasir laut, dan (2) **pemanfaatan non-ekstraktif, yaitu;** pariwisata, tempat acara social, olah raga air, dan transportasi laut.

- (3) Sumber-sumber belajar yang digunakan mencakup; (a) sumber belajar nyata yang terdiri dari masyarakat yang memiliki kemampuan tertentu dan ketersediaan alam sekitar, (b) sumber belajar yang diciptakan melalui interaksi pembelajaran informal antara pendidik dengan peserta didik, (c) sumber belajar berbasis teknologi pembelajaran untuk memasukkan kebaruan, dan (4) sumber belajar pengalaman, untuk mensinergikan kemampuan pengetahuan, keterampilan, dan sikap dalam menjalankan aktifitas produktifnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini disarikan dari penelitian yang dilaksanakan menggunakan skim Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Universitas negeri Gorontalo tahun 2017. Tema yang dibahas adalah bagian dari Tema penelitian, “**Model Pembelajaran Multikultural Untuk Peningkatan Kapasitas Belajar dan Penguatan Kelembagaan Masyarakat Pesisir dan Terisolir**” Untuk itu disampaikan terima kasih kepada pihak-pihak; (1) Universitas Negeri Gorontalo, dan (2) DRPM Ditjen Penguatan Risbang Ristekdikti, yang memfasilitasi penelitian ini, serta (3) Universitas Sam Ratulangi yang telah menyelenggarakan MIPAnet tahun 2017 sarana mendiseminasikan hasil-hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anoni, Pengertian Sumber Belajar Menurut Ahli [Http://Www.Wawasanpendidikan.Com/2015/10/Pengertian-Sumber-Belajar-Menurut-Ahli.Html](http://Www.Wawasanpendidikan.Com/2015/10/Pengertian-Sumber-Belajar-Menurut-Ahli.Html). diakses Juli 2017.
- [2] Agussalim, *Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir dan Laut Secara Ekstraktif Dan Non-Ekstraktif*. Balai Pelatihan Dan Penyuluhan Perikanan Ambon, Badan Riset & SDM Kelautan & Perikanan Kementerian Kelautan & Perikanan, [Http://Bp3ambon-Kkp.Org/2017/01/30/Pemanfaatan-Sumberdaya-Pesisir-Dan-Laut-Secara-Ekstraktif-Dan-Non-Ekstraktif/](http://Bp3ambon-Kkp.Org/2017/01/30/Pemanfaatan-Sumberdaya-Pesisir-Dan-Laut-Secara-Ekstraktif-Dan-Non-Ekstraktif/). January 30, 2011
- [3] Association Of American Medical Colleges. *Behavioral And Social Science Foundations For Future Physicians*, Report Of The Behavioral And Social Science Expert Panel November 2011,
- [4] Wilson, J. P. *Development Learning For Individuals And Organizations*. London, Kogan Page, 1999.

STRUKTUR ANATOMI DAUN DAN BATANG TUMBUHAN KANGKUNG AIR (*Ipomea aquatica*) YANG TERPAPAR LOGAM BERAT MERKURI (Hg)

NOVRI YOULA KANDOWANGKO¹, JUSNA AHMAD¹,
SOYAN ESTELA MAKALALAG¹

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo
Jln Jenderal Sudirman No. 6, Kota Gorontalo 96128
Email : novrikandowangko@ung.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur anatomi daun dan batang tumbuhan kangkung air (*Ipomea aquatica*) yang terpapar logam berat merkuri (Hg). Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan paparan waktu yang berbeda. Variabel yang diamati bagian struktur anatomi daun yaitu jumlah stomata pada anatomi batang kangkung air pada bagian epidermis, jaringan pengangkut dan korteks yang terpapar akibat pengaruh logam berat merkuri (Hg). Data dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan pada struktur anatomi daun tumbuhan yang terpapar logam Hg terjadi penurunan jumlah stomata. Jumlah stomatanya berkurang dari 20 ke 14 stomata, sedangkan pada tanaman yang tidak terpapar jumlah stomata mengalami peningkatan dari 23 ke 25 untuk satu bidang pandang. Selanjutnya pada struktur anatomi batang tanaman kangkung air (*Ipomea aquatica*) yang terpapar logam berat merkuri (Hg) terjadi kerusakan pada sel-sel epidermis, korteks dan jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta robeknya dinding sel yang menyebabkan ruang antar sel menjadi berukuran besar sedangkan pada struktur anatomi batang yang tidak terpapar, sel-selnya tidak mengalami kerusakan.

Kata-kata Kunci: Kangkung Air (Ipomea aquatica), Logam Merkuri (Hg), Struktur Tanaman

1. PENDAHULUAN

Kangkung air atau *Ipomea aquatica* merupakan tumbuhan yang kebanyakan tumbuh di daerah tropis dan subtropis, Tanaman ini tumbuh dengan cara merambat dan dapat mengapung di atas air dan sering dijumpai di Indonesia. Kangkung air termasuk tumbuhan yang mampu melakukan adaptasi dengan baik pada kondisi lingkungan dengan kisaran toleransi yang luas terhadap berbagai cekaman dan merupakan jenis tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam pada konsentrasi tertentu.[1]

Air merupakan salah satu sumber kehidupan bagi setiap organisme sedangkan sungai merupakan salah satu sumber air yang digunakan oleh organisme hidup. Seiring perkembangan zaman air sungai telah banyak tercemar akibat adanya bahan buangan limbah dari penambangan emas. Meningkatnya aktivitas manusia baik industri, pertambangan maupun rumah tangga menyebabkan semakin besarnya volume limbah yang dihasilkan dari waktu ke waktu. Masuknya bahan pencemar dalam perairan dapat mempengaruhi kualitas dan laju pertumbuhan organisme air. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/ MENKES/PER/IV/2010 kandungan maksimal logam berat (Hg) dalam air minum adalah 0,001 mg/L. Jika jumlah Hg dalam air sudah melebihi jumlah batas yang telah ditentukan maka air tersebut dinyatakan tercemar.

Pada usaha tambang emas di wilayah pesisir sungai di areal tambang Kecamatan Bulawa Desa Dunggilata telah tercemar dengan kandungan merkuri dan sianida. Berdasarkan hasil uji Balai Pembinaan dan Pengujian Mutu Hasil Perikanan Di Gorontalo air limbah yang diambil dari Desa Dunggilata telah tercemar Hg sebesar 0,0014 ppm.

Upaya untuk mengurangi konsentrasi merkuri akibat penambangan tradisional di sungai salah satunya adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral, dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi (Irhamni dkk, 2009). Tommy (2009) menyatakan tanaman *I. aquatica* Forssk. dapat menyerap logam Hg pada limbah tambang emas sebesar 54,525 ppm setelah 30 hari perlakuan pada media tanam yaitu air limbah tambang emas. Contoh tanaman ini dapat mengakumulasi logam Cd sebesar 0,00928 mg/L dan logam Pb sebesar 0,00553 mg/L yang dominan pada bagian akar dan sedikit ditemukan pada daun maupun batang (Widowati, 2011).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Widowati (2011), adanya logam berat yang terkandung dalam air yang tercemar dapat mempengaruhi bentuk morfologi dan anatomi kangkung. Hal ini terlihat dengan penurunan warna hijau pada batang dan daun tanaman yang akhirnya menguning dan mengalami klorosis, serta nekrosis pada ujung dan sisi daun sehingga dapat mengalami perubahan penurunan warna hijau, karena logam dapat menggantikan unsur Mg dalam klorofil, suatu senyawa yang menyebabkan batang dan daun berwarna hijau. Penurunan kandungan klorofil yang terjadi dikarenakan kerusakan struktur kloroplas yang disebabkan konsentrasi logam dalam media pertumbuhan serta lamanya waktu pemaparan logam.

Berdasarkan hasil penelitian (Rane *et al*, 2016) bahwa batang tanaman kangkung air yang terpapar Brown 5R selama 12 jam terlihat sel-sel epidermis batang dan pemaparan pada 24 jam terjadi kerusakan pada bagian korteks dan disekitar lapisan epidermis mengalami degradasi sel sedangkan pada batang tanaman kangkung air yang tidak terpapar sel-selnya masih kelihatan normal atau tidak mengalami kerusakan. Selanjutnya pada organ akar kangkung air setelah pemaparan 72 jam menyatakan bahwa sel-sel pada korteks yang terakumulasi Brown 5R ukurannya sangat kecil jika dibandingkan dengan akar tanaman yang normal, serta terjadi kerusakan pada xilem dan floem. Menurut De Silva *et al.*, (2012), tanaman maple merah yang tumbuh di daerah yang tercemar logam berat mengalami penurunan jumlah stomata dan kadar klorofil. Logam Pb mampu mereduksi ukuran jaringan mesofil pada daun sehingga daun yang terkontaminasi Pb menjadi lebih tipis. Tebal mesofil mempengaruhi massa sel yang ada pada organ tanaman.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur anatomi daun dan batang tumbuhan kangkung air (*Ipomea aquatica*) yang terpapar dan tidak terpapar dengan logam berat merkuri (Hg).

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian menggunakan metode deskriptif dengan waktu pengamatan yang berbeda. Data yang diperoleh berupa perubahan jumlah stomata dan struktur batang disajikan dalam bentuk gambar dan disertai penjelasan secara deskriptif tentang perubahan struktur tersebut menurut periode pengamatan. Data yang diperoleh dianalisis dengan cara mendeskripsikan gambar anatomi daun yaitu jumlah stomata dan batang kangkung air pada bagian epidermis, jaringan pengangkut dan korteks yang terpapar akibat pengaruh logam berat merkuri (Hg). Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah mengamati anatomi daun dan anatomi batang kangkung air yang terpapar logam berat yang berasal dari limbah hasil emas. Pada anatomi daun hanya menghitung jumlah stomata per bidang pandang sedangkan pada anatomi batang melihat bagian epidermis, korteks dan jaringan pengangkut (xilem dan floem). Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah terpal untuk tempat pembuatan kolam untuk aklimatisasi, ember untuk tempat pertumbuhan tumbuhan kangkung air, kantong plastik, plastik transparan, gelas kimia, timbangan analitik, pipet, kamara digital, mikroskop cahaya, silet, cutter, kaca objek, kaca penutup, mistar dan alat tulis menulis. Bahan yang digunakan yaitu tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) yang digunakan diperoleh dari danau Limboto, Gorontalo. air limbah yang berasal dari penambangan emas di Desa Dunggilata, Kec. Bulawa Kab. Bone Pante, Gorontalo, aquades dan safranin.

3. HASIL

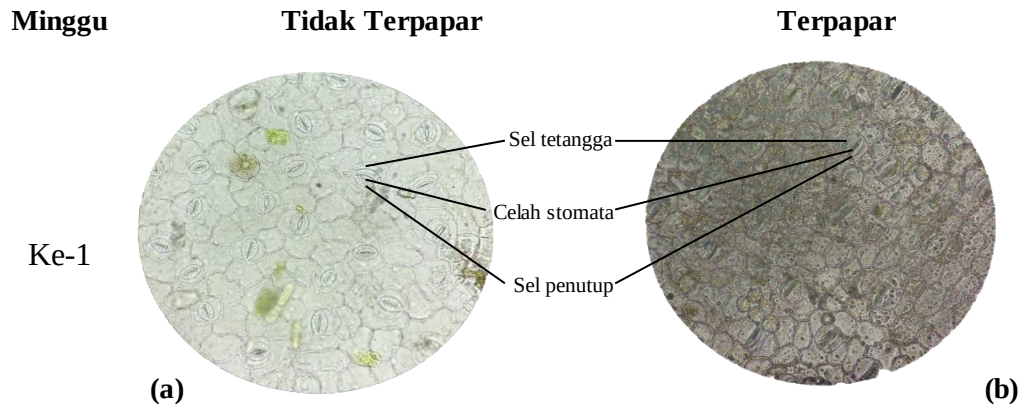
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kerusakan morfologi dan anatomi batang dan daun kangkung air (*Ipomoea aquatica*). Kerusakan yang terjadi sesuai dengan lamanya paparan logam berat merkuri (Hg).

Dilihat dari hasil pengamatan morfologi tanaman kangkung air mampu bertahan hidup pada media tanam yang mengandung logam merkuri (Hg). Namun pertumbuhan kangkung air mengalami penurunan dari bentuk morfologi seperti bentuk daunnya kecil-kecil yang telah mengalami nekrosis, klorosis serta batang tanaman berwarna hijau tua dan akar berwarna kecoklatan hal ini terjadi karena kemampuan tanaman kangkung air dalam menyerap logam merkuri (Hg).

Hasil pengamatan anatomi daun dan batang tanaman kangkung air pada setiap minggu setelah tanam, menunjukkan bahwa tanaman yang tidak terpapar logam berat merkuri pada anatomi sayatan transversal daun kangkung air memiliki jumlah stomata yang relatif sama yaitu 23-25 sedangkan pada tanaman yang terpapar memiliki jumlah stomata 20-14 stomata per bidang pandang. Penurunan jumlah stomata pada daun kangkung air sebanding dengan lamanya paparan logam berat merkuri pada tanaman. Anatomi batang kangkung air yang tidak terpapar logam berat merkuri (Hg) menunjukkan bahwa tidak terjadi kerusakan pada epidermis, endodermis, jaringan pengangkut dan parenkim, sedangkan pada tanaman yang terpapar terjadi kerusakan pada bagian endodermis warnanya lebih hitam, rusaknya jaringan pengangkut (xilem dan floem), bentuk korteks berukuran lebih besar dan sobeknya ruang antar sel. Lamanya paparan pada tanaman sebanding dengan rusaknya endodermis, jaringan pengangkut, dan korteks pada batang kangkung air.

4. GAMBAR DAN TABEL

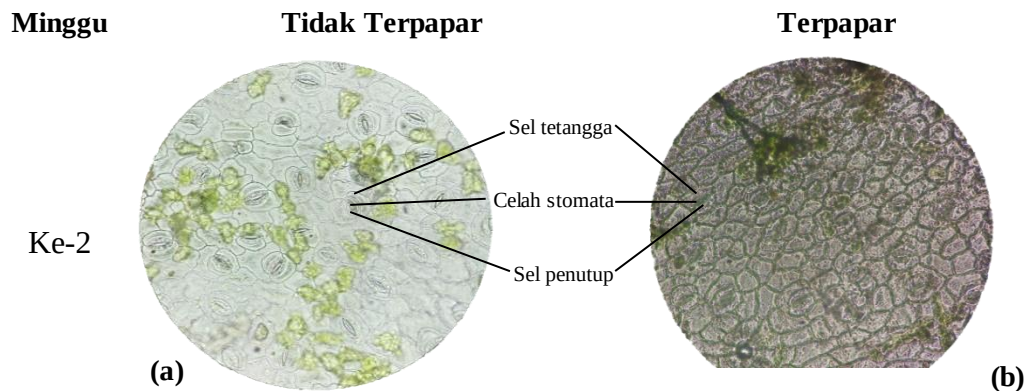
A. Anatomi Daun *Ipomea aquatica*



Jumlah stomata kangkung air pada minggu pertama sebanyak 24 stomata per bidang pandang, bisa terlihat sel tetangga, sel penutup dan celah stomatanya dan tipe parasitik terlihat jelas.

Jumlah stomata kangkung air pada minggu pertama sebanyak 20 stomata per bidang pandang, terjadi kerusakan pada celah stomata, sel penutup dan sel tetangga dan tidak bisa kelihatan tipe stomatanya.

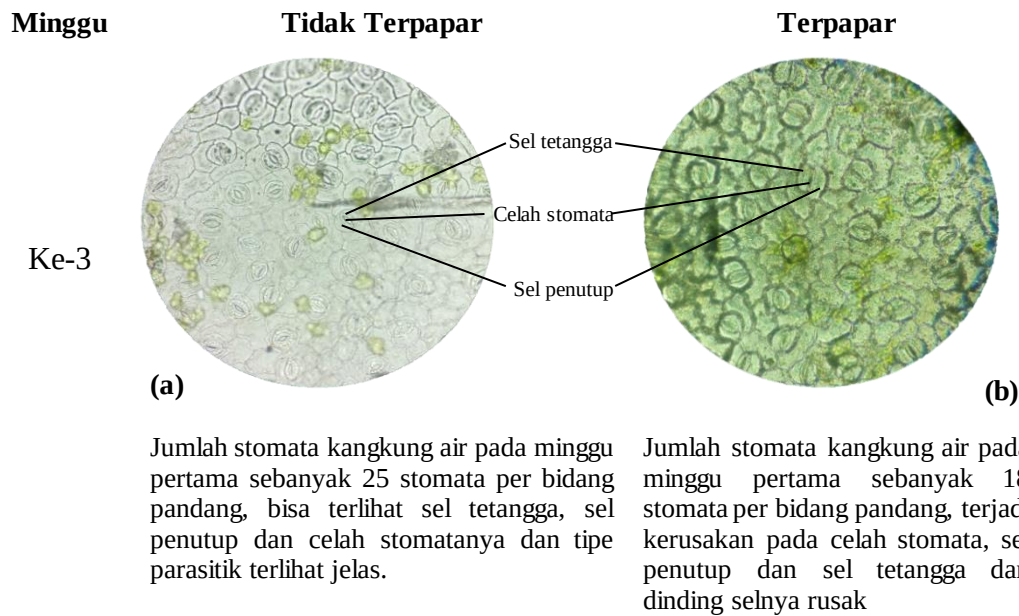
Gambar 1. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-1 (10 x 40)



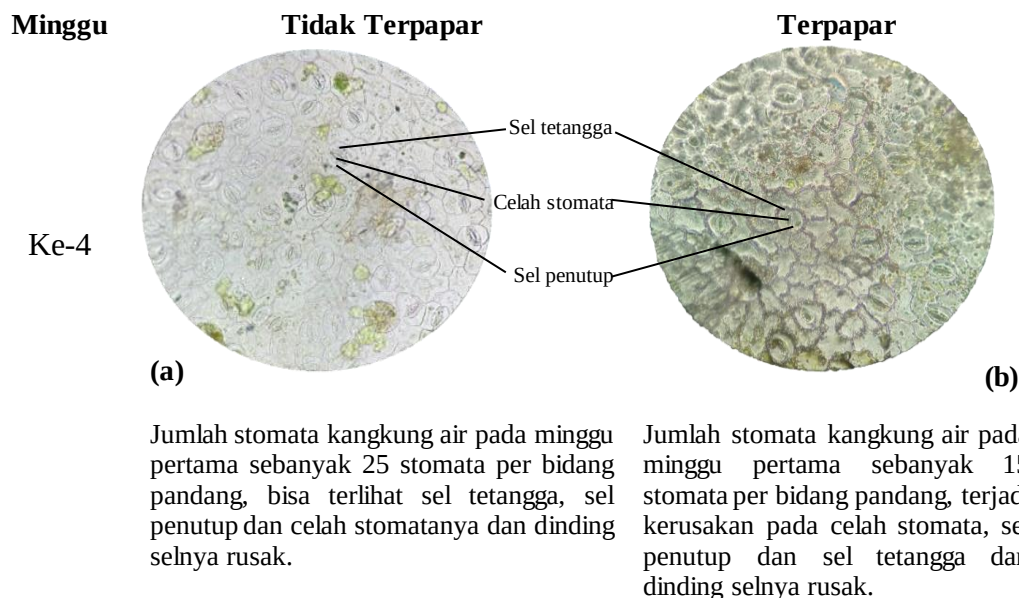
Jumlah stomata kangkung air pada minggu pertama sebanyak 23 stomata per bidang pandang, bisa terlihat sel tetangga, sel penutup dan celah stomatanya dan tipe parasitik terlihat jelas.

Jumlah stomata kangkung air pada minggu pertama sebanyak 19 stomata per bidang pandang, terjadi kerusakan pada celah stomata, sel penutup dan sel tetangga dan tidak bisa kelihatan tipe stomatanya.

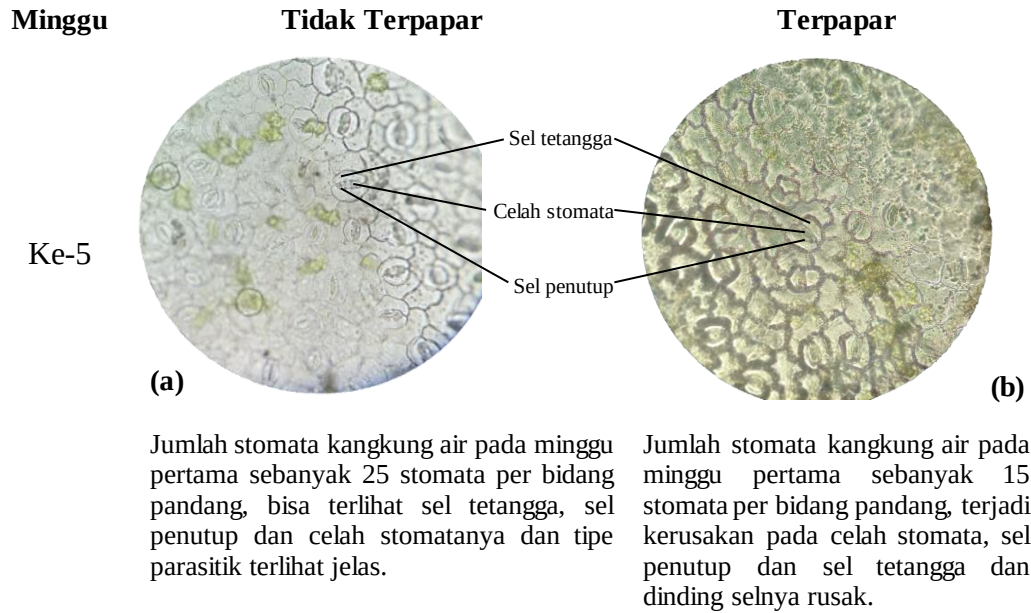
Gambar 2. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-2 (10 x 40)



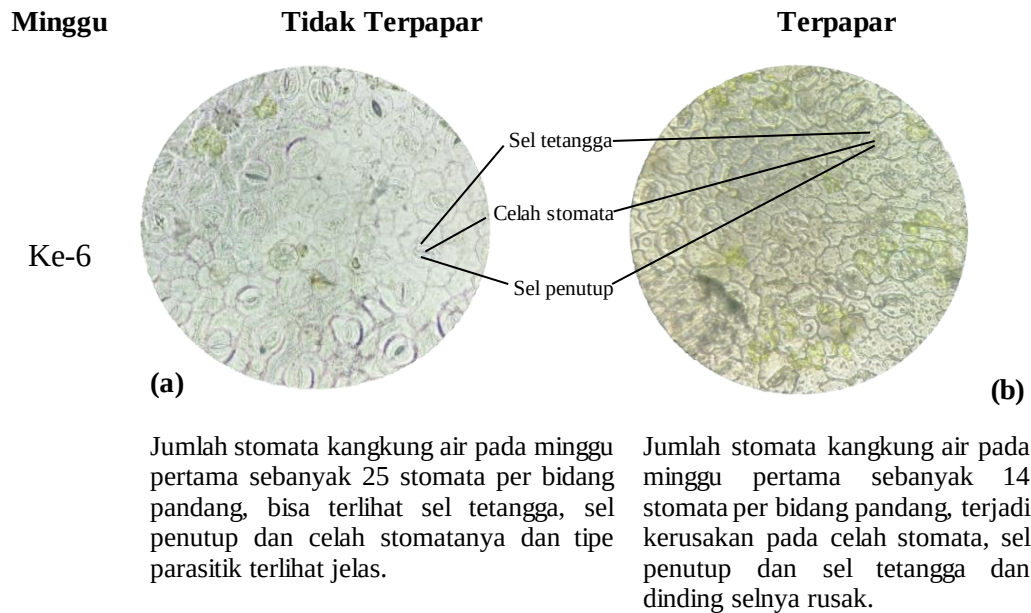
Gambar 3. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-3 (10 x 40)



Gambar 4. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-4 (10 x 40)



Gambar 5. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-5 (10 x 40)



Gambar 6. Sayatan transversal permukaan bawah daun *I. aquatica* (a) tidak terpapar (b) terpapar, minggu ke-5 (10 x 40)

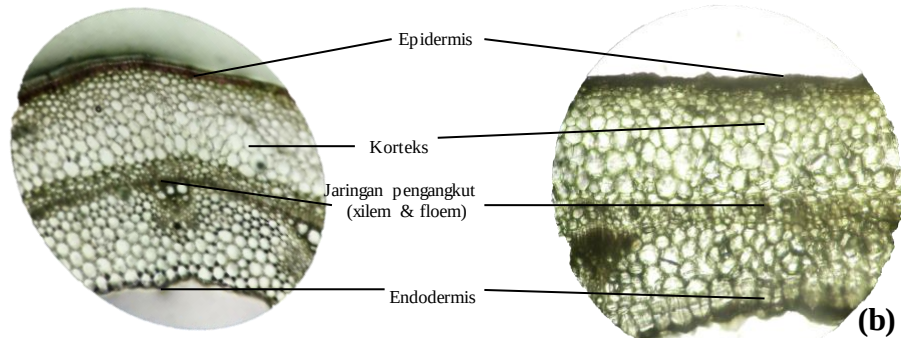
B. Anatomi Batang Melintang *Ipomea aquatica*

Minggu

Tidak Terpapar

Terpapar

Ke-1



(a)

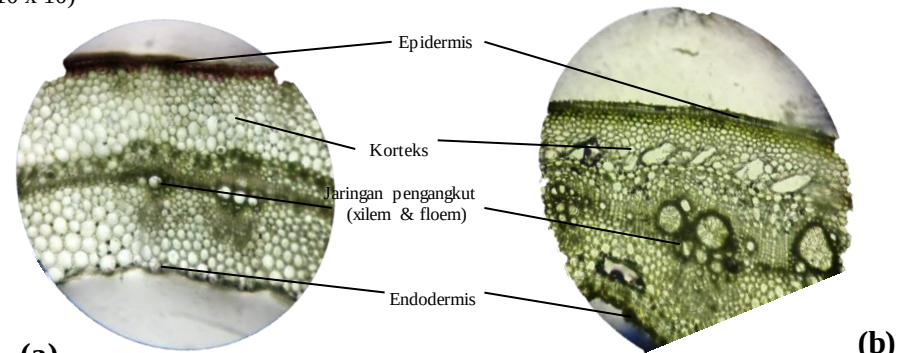
Bagian epidermis, endodermis, jaringan pengangkut tidak mengalami kerusakan dan bentuk korteks berukuran kecil jika dibandingkan dengan yang terpapar

(b)

Terjadi kerusakan pada bagian endodermis, jaringan pengangkut serta ukuran korteks lebih besar

Gambar 7. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-1 (10 x 10)

Ke-2



(a)

Bagian epidermis, endodermis, jaringan pengangkut tidak mengalami kerusakan dan bentuk korteks berukuran kecil jika dibandingkan dengan yang terpapar

(b)

Terjadi kerusakan pada bagian endodermis, terjadi pembesaran sel pada jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta korteks dibawah epidermis banyak yang rusak dan terbentuk ruang antar sel

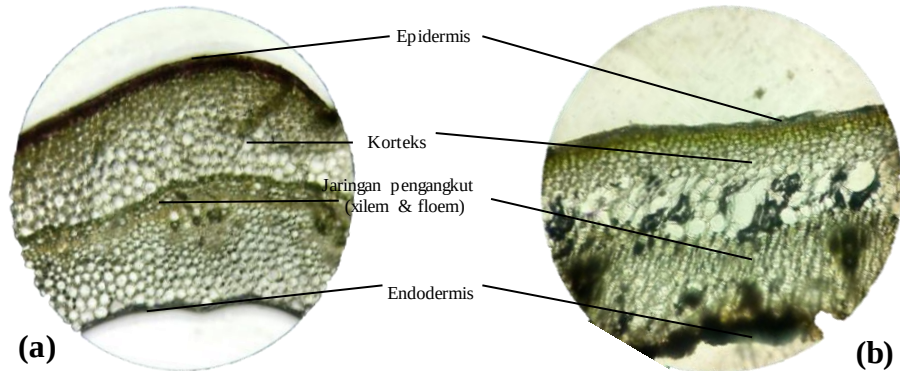
Gambar 8. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-2 (10 x 10)

Minggu

Tidak Terpapar

Terpapar

Ke-3



(a)

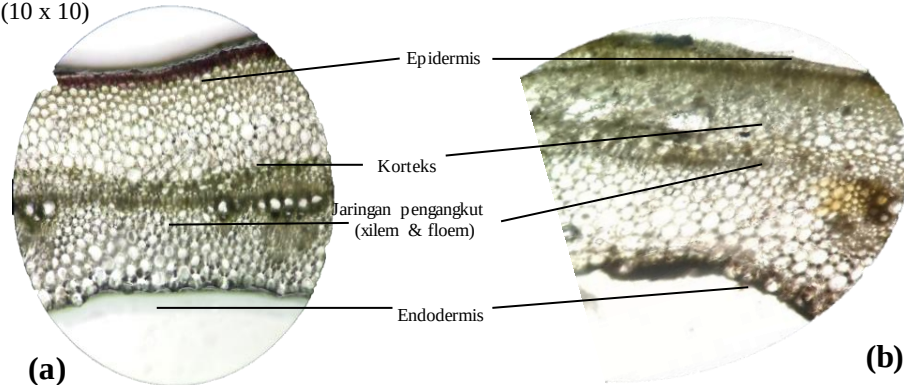
Bagian epidermis, endodermis dan jaringan pengangkut tidak mengalami kerusakan dan bentuk korteks berukuran kecil jika dibandingkan dengan yang terpapar

(b)

Terjadi kerusakan pada bagian endodermis, terjadi pembesaran sel pada jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta robeknya ruang antar sel dan bentuk korteks berukuran lebih besar

Gambar 9. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-3 (10 x 10)

Ke-4



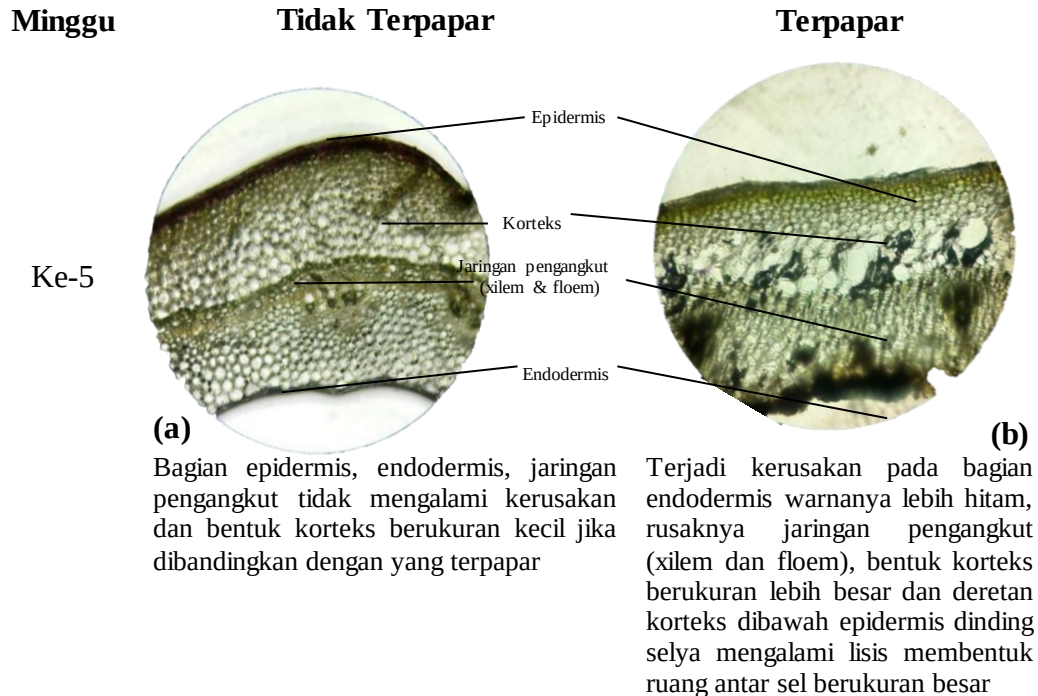
(a)

Bagian epidermis, endodermis, jaringan pengangkut tidak mengalami kerusakan dan bentuk korteks berukuran kecil jika dibandingkan dengan yang terpapar

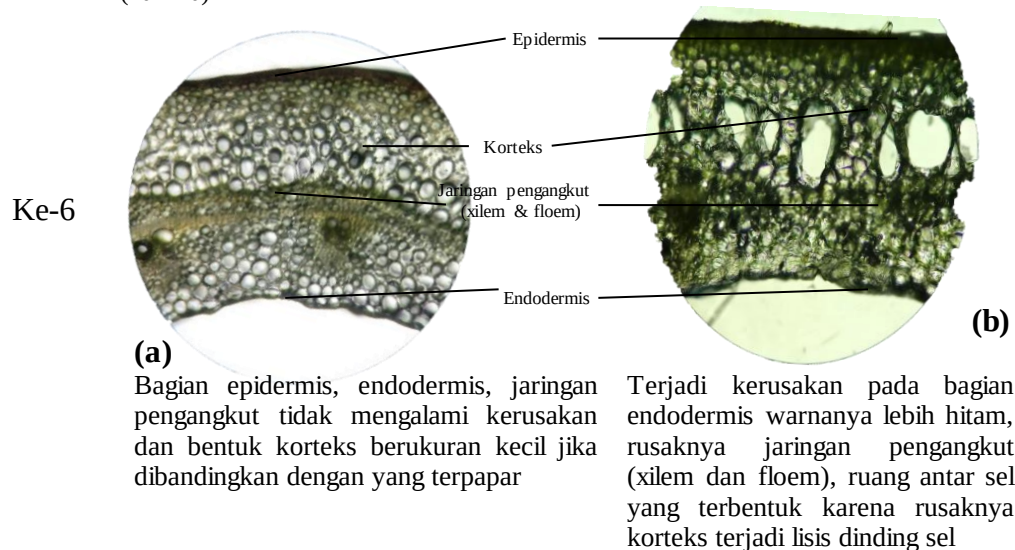
(b)

Terjadi kerusakan pada bagian endodermis, rusaknya jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta bentuk korteks berukuran lebih besar

Gambar 10. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-4 (10 x 10)



Gambar 11. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-5 (10 x 10)



Gambar 12. Sayatan melintang batang *I. aquatica* (a) tanaman yang tidak (b) terpapar minggu ke-6 (10 x 10)

PEMBAHASAN

Hasil pengamatan anatomi daun kangkung air pada yang dilakukan selama enam minggu, terjadi penurunan jumlah stomata per bidang pandang yaitu pada minggu pertama = 20 stomata (Gambar 1), minggu ke dua = 19 stomata (Gambar 2), minggu ke tiga = 18 stomata (Gambar 3), minggu ke empat = 15 stomata (Gambar 4), minggu ke lima = 15 stomata (Gambar 5) dan minggu ke enam = 14 stomata (Gambar 6). Penurunan jumlah stomata terjadi seiring dengan lama paparan serta bagian-bagian stomatanya tidak terlihat jelas dimulai dari sel tetangga sel penutup serta celah stomatnya. Tanaman yang tidak terpapar memiliki jumlah stomata yang relatif sama yaitu 23-25 jumlah stomata per bidang pandang pada setiap minggunya. Menurut (Qaisar dkk, 2005) yang menunjukkan penurunan indeks stomata pada tumbuhan kontrol 33,33 stomata/cm² sedangkan tumbuhan yang terpapar limbah indeks stomata 22, 22 stomata/cm². Penurunan terjadi di

sebabkan karena tumbuhan menyerap limbah beracun sehingga mengakibatkan bagian sel mengalami suatu perubahan. Menurut (Gunarno, 2014) bahwa struktur stomata yang mengecil dibandingkan di tempat yang tidak tercemar dan struktur stomata kelihatan rusak dengan adanya perubahan warna mengarah kehitaman.

Mekanisme masuknya logam berat ke dalam jaringan tumbuhan, logam yang dapat larut dapat masuk ke dalam akar melalui jalur simplast dengan melewati membran plasma dari sel-sel akar endodermal atau logam dapat masuk ke dalam akar melalui jalur apoplast (jaringan jarak antar sel-sel tanaman) melalui jarak antar sel. Jika logam ditranslokasi ke jaringan aerial (antena), kemudian harus masuk ke dalam xylem. Untuk masuk ke dalam xylem, solute (zat yang tidak diurai dalam zat yang lain) harus melewati casparian, suatu lapisan lilin yang tidak dapat ditembus menjadi solute, kecuali melewati sel-sel endodermis yang kemungkinan melalui tindakan pemompaan membran atau saluran. Sesuatu yang bermuatan masuk ke dalam xylem, arus getah xylem akan membawa logam menuju daun, yang mana harus bermuatan masuk ke dalam sel-sel daun, dengan melewati sebuah membran. Suatu kali dalam tunas atau jaringan daun, logam dapat disimpan dalam berbagai jenis sel, tergantung pada spesies dan bentuk logam, karena ini dapat diubah ke dalam bentuk toksik (untuk tanaman) melalui konversi kimia atau kompleksasi. Logam dapat dipisahkan dalam beberapa bagian sub sel (dinding sel. Sitosol, vakuola) atau volatilisasi melalui stomata (Irhamni dkk, 2009).

Pada tanaman, logam berat masuk dalam tanaman menggunakan jalur difusi terfasilitasi. Dalam proses ini mineral dan unsur hara yang masuk mendapat bantuan dari protein yang berada pada membran sel sehingga Pb dapat masuk dan melintasi lapisan lipid bilayer (Salisbury dan Ross, 1992). Logam Pb yang masuk ke dalam daun akan terlibat dalam aktivitas metabolisme sel dan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan. Penyerapan Ca, Mg, atau Fe digantikan oleh Pb dikarenakan memiliki muatan ion yang sama, $x2^{+}$. Keberadaan Pb dalam sitoplasma akan menghambat kinerja dua enzim yaitu Asam Delta Amino Levulonat Dehidratase (ALAD) dan Profobilinogenase yang berfungsi dalam proses biogenesis klorofil (Flanagan et al., 1980).

Berdasarkan hasil penelitian pada penampang melintang batang kangkung air yang terpapar logam berat merkuri menunjukkan bahwa terdapat perubahan struktur anatomi dimulai dari minggu pertama sampai minggu ke enam. Pada pengamatan yang dilakukan selama enam minggu terjadi kerusakan pada bagian endodermis, korteks yang berukuran besar, jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta robeknya ruang antar sel sedangkan pada tanaman yang tidak terpapar terlihat sangat jelas sel-sel batangnya.

Pada pengamatan minggu ke pertama (Gambar 7) terlihat kerusakan pada korteks batang jaringan pengangkut (xilem dan floem) serta pada bagian endodermis. Pada minggu ke dua (Gambar 8) kerusakan yang terlihat pada korteks dan endodermis jika dibandingkan dengan tanaman kontrol korteks batang serta jaringan pengangkutnya. Pada pengamatan minggu ke tiga (Gambar 9) korteks batang ukurannya lebih besar jika dibandingkan dengan yang tidak terpapar dan jaringan pengangkutnya mengalami kerusakan. Pada pengamatan anatomi minggu ke empat (Gambar 10) kerusakan jaringan pengangkutnya dan endodermis berwarna hitam seta bentuknya tidak teratur. Pada minggu ke lima (Gambar 11) kerusakan pada bagian korteks dan endodermis yang bentuknya tidak teratur serta berwarna kehitaman. Pada pengamatan minggu ke enam kerusakan yang terlihat dimulai dari endodermis dan epidermis yang bentuknya tidak teratur, korteks batang bentuknya lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak terpapar serta jaringan pengangkutnya hampir tidak ada dikarenakan robeknya ruang antar sel yang berukuran besar (Gambar 12). Hal tersebut disebabkan karena limbah cair hasil penambangan emas sudah melampaui batas yang ditentukan dan akumulasi logam berat yang dapat merusak struktur anatomi batang kangkung air serta dapat menghambat pertumbuhan pada tanaman.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian Rane *et al* (2016) bahwa pada batang tanaman

kangkung air yang terpapar Brown 5R selama 12 jam terjadi kerusakan pada sel-sel epidermis batang sehingga bagian selnya tidak bisa terlihat jelas dan pemaparan Brown 5R pada 24 jam terjadi peningkatan kerusakan anatomi akar yaitu pada bagian korteks serta pada sekitar lapisan epidermis mengalami degradasi sel sedangkan pada batang tanaman kangkung air yang tidak terpapar Brown 5R sel-selnya masih kelihatan normal atau tidak mengalami kerusakan. Berdasarkan penelitian Suszcyn-sky (1995), menyatakan bahwa pada konsentrasi 1,0 $\mu\text{g/mL}$, Hg dapat menghambat pertumbuhan akar karena adanya penghambatan mitosis, mengurangi sintesis komponen dinding sel. Menurut Qaisar dkk (2005), bahwa penampang melintang tangkai eceng gondok yang terpapar limbah tekstil menunjukkan terjadinya penebalan pada bagian epidermis, ruang udara, sel palisade, sel parenkim dan berkas pengangkut, hal ini disebabkan karena paparan limbah tekstil dalam waktu yang cukup lama.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur anatomi daun yang terpapar logam berat merkuri (Hg) terjadi penurunan jumlah stomata tiap bidang pandang pada setiap minggunya seiring dengan lamanya paparan logam berat sedangkan pada kangkung air yang tidak terpapar memiliki jumlah stomata yang relatif sama.
2. Struktur anatomi batang kangkung air yang terpapar logam berat merkuri (Hg) terjadi kerusakan pada endodermis, korteks batang dan jaringan pengangkut (xilem dan floem) mulai dari minggu ke-1 sampai ke-6 jika dibandingkan dengan tumbuhan yang tidak terpapar logam berat.

Daftar Pustaka

- [1] Wang KS, Huang LC, Lee HS, Chen PY, Chang SH, 2008. Phytoextraction of Cadmium by *Ipomoea aquatica* (Water Spinach) in Hydroponic Solution: Effects of Cadmium Speciation. *Chemosphere*, 72: 666-672.
- [2] De Silva NDG, Cholewa E, Ryser P, 2012. Effects of Combined Drought and Heavy Metal Stresses on Xylem Structure and Hydraulic Conductivity in Red Maple (*Acer rubrum* L.). *Journal of Experimental Botany*. 10: 241: 1-10
- [3] Flanagan JT, Wade KJ, Curie S, Curtis DJ, 1980. The Deposition of Lead and Zinc From Traffic Pollution On two Road Side Shrubs Environment Pollutants. *Journal Environmental Science (Series B)*. 1: 71-78.
- [4] Gunarno. 2014. Pengaruh Pencemaran Udara Terhadap Luas Daun Dan Jumlah Stomata Daun *Rhoeo discolor*. Widyaaiswara Muda BDK Medan. Medan. Hal 1-10
- [5] Irhamni, Setiaty Pandia, Edison Purba, Wirsal Hasan. 2009. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air Dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal. 75-85.
- [6] Palapa. Tommy, M. 2009. Bioremediasi Merkuri (Hg) dengan Tumbuhan Air sebagai Salah Satu Alternatif Penanggulangan Limbah Tambang Emas Rakyat. *AGRITEK* 17: 1-8.
- [7] Qaisar. M, Zheng Ping, Siddiqi M. Rehan, Islam Ejaz Ul, Azim M. Rashid, Hayat Yousaf. 2005. Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) under the influence of textile wastewater. *Journal of Zhejiang University. SCIENCE*. 10(6): 8-17. ISSN 2338-0950.
- [8] Rane Niraj R., et al. 2016. *Ipomoea hederifolia* rooted soil bed and *Ipomoea aquatica* rhizofiltration coupled phytoreactors for efficient treatment of textile wastewater. Department of Biotechnology, Shivaji University, Kolhapur, India
- [9] Salisbury FB dan Ross C, 1995. Terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryono dari *Plant Physiology* 4th edition (1992). Bandung: ITB.

- [10] Suszcyn-sky, E.M., and Shann, J.R., 1995. Phytotoxicity and Accumulation of Mercury in Tobacco Subjected to Different Exposure Routes. *Environ Toxicol. Chem.* 14 : 61-67.
- [11] Wang KS, Huang LC, Lee HS, Chen PY, Chang SH, 2008. Phytoextraction of Cadmium by *Ipomoea aquatica* (Water Spinach) in Hydroponic Solution: Effects of Cadmium Speciation. *Chemosphere*, 72: 666-672.
- [12] Widowati H, 2011. Pengaruh Logam Berat Kadmium dan Plumbum terhadap Perubahan Warna Batang dan Daun Sayuran. *El-Hayah*. 1(4): 167-173.

KARAKTERISTIK VEGETASI RIPARIAN DAERAH ALIRAN SUNGAI RANOYAPO, PROVINSI SULAWESI UTARA

RATNA SIAHAAN¹, PARLUHUTAN SIAHAAN²

¹ Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115, ratna245_siahaan@yahoo.com

² Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115, luhut.siahaan68@unsrat.ac.id

Abstrak

Riparian adalah ekoton antara ekosistem terestrial dan akuatik. Riparia menjadi penting tidak hanya untuk ekosistem akuatik tetapi juga bagi ekosistem terestrial. Vegetasi riparian diketahui berperan penting dalam mempertahankan kualitas air sungai dan menjadi habitat bagi berbagai kehidupan. Penurunan keanekaragaman vegetasi riparian akibat berbagai aktivitas manusia berdampak negatif bagi fungsi ekologis dan nilai ekonomi vegetasi riparian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik vegetasi riparian Daerah Aliran Sungai (DAS) Ranoyapo, Provinsi Sulawesi Utara. Metode analisis vegetasi telah digunakan untuk memperoleh data karakteristik vegetasi riparian. Lokasi penelitian terletak di empat (4) sungai-sungai utama dari DAS Ranoyapo yaitu Sungai Ranoyapo, Sungai Suhuyon, Sungai Tewalen dan Sungai Polimaan. Zona riparia umumnya dimanfaatkan penduduk sebagai lahan pertanian yang semakin meningkat intensitasnya menuju hilir. Vegetasi riparian yang ditemukan terdiri atas tumbuhan liar dan tanaman budidaya. Umumnya, vegetasi riparian yang ditanam penduduk di bagian hulu dan tengah berupa vegetasi tahunan seperti kelapa, mangga, langsa, durian, enau, bambu dan cempaka. Vegetasi riparian di bagian hilir umumnya tanaman pangan seperti padi dan jagung. Habitus vegetasi berupa rumput, semai, liana efifit, liana, perdu dan pohon. Vegetasi riparian termasuk ke dalam berbagai suku antara lain Acanthaceae, Amaranthaceae, Araceae, Aspleniaceae, Asteraceae, Begoniaceae, Caryophyllaceae, Costaceae, Cyateaceae, Cyperaceae, Lauraceae, Lamiaceae, Magnoliaceae, Malvaceae, Marantaceae, Melastomaceae, Mimosaceae, Moraceae, Myrtaceae, Myristicaceae, Lamiaceae, Poaceae, Piperaceae, Rubiaceae, Selaginellaceae, Sapotaceae, Verbenaceae, Zingiberaceae, Vitaceae dan Urticaceae. Keanekaragaman vegetasi riparian yang tergolong sedang membutuhkan pengelolaan DAS Ranoyapo yang terpadu.

Kata Kunci: vegetasi riparian, DAS Ranoyapo, Sulawesi Utara

1. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ranoyapo adalah DAS terbesar di wilayah Minahasa Selatan dan Tenggara. DAS Ranoyapo berperan penting bagi kesejahteraan manusia yang hidup di DAS Ranoyapo. Fungsi ekologis dan hidrologis dari DAS Ranoyapo penting untuk dipertahankan tidak hanya untuk manusia tetapi juga bagi organisme lain. Fungsi tersebut dapat dipertahankan jika integritas DAS Ranoyapo terjaga melalui upaya mempertahankan vegetasi riparian DAS Ranoyapo.

Vegetasi riparian adalah vegetasi yang terletak di zona riparian. Riparia sendiri dapat dikatakan sebagai suatu ekoton, ekosistem peralihan, antara ekosistem terestrial dan perairan^[1]. Peranan vegetasi riparian tidak hanya sebagai habitat tetapi juga mempertahankan kualitas air sungai^[2]. Aktivitas manusia telah menurunkan keanekaragaman vegetasi riparian yang dapat mengakibatkan penurunan fungsi dan jasa

vegetasi riparian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik vegetasi riparian DAS Ranoyapo, Provinsi Sulawesi Utara.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian dilakukan pada tiga (3) sungai utama yaitu Sungai Ranoyapo (DAS Ranoyapo) dan tiga (3) sungai-sungai utama dari Sub-DAS Ranoyapo yaitu Sungai Suhuyon (DAS Suhuyon), Sungai Tewalen (DAS Tewalen) dan Sungai Polimaan (DAS Polimaan). Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode observasi di lokasi-lokasi yang telah dipilih. Lokasi penelitian tersebar di bagian hulu, tengah dan hilir dari tiap sungai yang ditentukan. Karakteristik vegetasi riparian yang diamati berupa habitus dan jenis-jenis vegetasi riparian yang ditemukan. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan habitus dan jenis-jenis vegetasi riparian yang ditemukan.

3. HASIL

Zona riparia di seluruh sungai sejak hulu hingga hilir telah dimanfaatkan penduduk sebagai lahan pertanian dan permukiman. Intensitas pemanfaatan zona riparia semakin meningkat menuju hilir. Vegetasi riparian DAS Ranoyapo secara umum dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok yaitu vegetasi alami dan vegetasi budidaya. Vegetasi pertanian di lokasi penelitian di bagian hulu dan tengah umumnya berupa tanaman tahunan seperti kelapa, mangga, langsa, durian, enau, bambu dan cempaka. Tanaman ini dimanfaatkan penduduk sebagai sumber pangan dan bahan bangunan. Pola pertanian di bagian hilir didominasi oleh tanaman berumur pendek seperti padi, jagung dan palawija. Tanaman budidaya lain yang mudah dijumpai yaitu bambu dan pisang. Bambu adalah tanaman yang memiliki fungsi ekologis yang baik sehingga berperan dalam mempertahankan stabilitas tebing sungai. Sistem perakaran yang dimiliki bambu sangat baik sehingga bambu dapat mengikat partikel tanah dan menyerap air^[3].

Vegetasi riparian yang ditemukan di lokasi penelitian terdiri dari berbagai habitus yaitu rumput, semai, liana efifit, liana, perdu dan pohon. Vegetasi riparian termasuk ke dalam berbagai suku antara lain Acanthaceae, Amaranthaceae, Araceae, Aspleniaceae, Asteraceae, Begoniaceae, Caryophyllaceae, Costaceae, Cyateaceae, Cyperaceae, Lauraceae, Lamiaceae, Magnoliaceae, Malvaceae, Marantaceae, Melastomaceae, Mimosaceae, Moraceae, Myrtaceae, Myristicaceae, Lamiaceae, Poaceae, Piperaceae, Rubiaceae, Selaginellaceae, Sapotaceae, Verbenaceae, Zingiberaceae, Vitaceae dan Urticaceae.

Vegetasi riparian strata pohon di bagian hulu memiliki kanopi yang lebar hampir menutupi sungai seperti di Sungai Polimaan. Hal ini menyebabkan cahaya matahari yang masuk ke tanah menjadi berkurang. Walaupun demikian, bagian hulu Sungai Tewalen telah dikonversi menjadi lahan pertanian seperti kolam sehingga bukaan hutan menjadi besar. Lingkungan yang lembab dan cahaya kurang menyebabkan berbagai vegetasi semai banyak ditemukan. Beberapa vegetasi bawah yang ditemukan melimpah di bagian hulu antara lain *Begonia*, *Schismatoglottis* dan *Aglonema*. Vegetasi riparian ini menyukai lingkungan yang lembab dan teranungi^[4]. Vegetasi *Piper aduncum* juga banyak ditemukan di bagian hulu. Vegetasi semai yang ditemukan di bagian tengah telah beradaptasi dengan lingkungan yang terbuka antara lain *Hyptis capitata* dan *Drymaria cordata*. Vegetasi riparian semai di bagian hilir dapat hidup di lingkungan yang terbuka tanpa nanungan antara lain *Mimosa* dan *Stachytarpetta jamaicensis*.

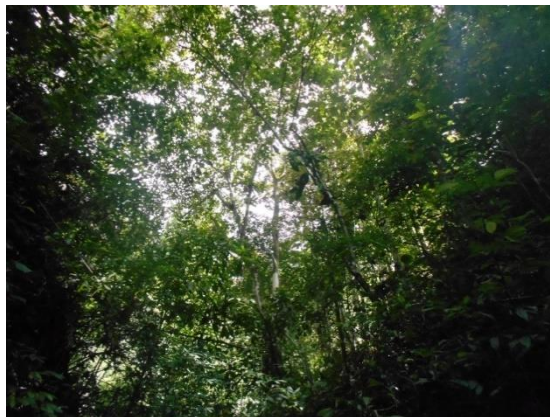
Vegetasi yang tumbuh hingga 1 meter di bagian hulu antara lain *Alpinia purpurata* dan *Cyathea contaminans*. Vegetasi tingkat pancang ini menyukai lingkungan yang lembab dan banyak ditemukan di daerah tropis^{[5] [6]}.

Vegetasi riparian pada tingkat tihang dan pohon umumnya hanya ditemukan di bagian hulu dan tengah sungai. Hal ini disebabkan konversi hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman telah menghilangkan vegetasi riparian berupa tihang dan pohon. Jenis yang ditemukan antara lain yaitu *Magnolia liliifera* (cempaka) yang bernilai ekonomis tinggi. Jenis cempaka ini ialah tumbuhan asli Indonesia yang memiliki persebaran luas antara lain Sulawesi. Jenis *Ficus lepicarpa* mudah ditemukan di bagian hulu sungai yang telah terganggu. Karakteristik vegetasi riparian di bagian tengah berupa tumbuhan bawah dan pohon-pohon muda yang tampak pada Sungai Polimaan, Sungai Suhuyon, Sungai Tewalen, dan Sungai Ranoyapo.

Vegetasi riparian di bagian hilir umumnya berupa tumbuhan rumput dan bawah. Beberapa jenis vegetasi yang ditemukan ialah vegetasi riparian invasif seperti *Widelia trilobata* dan *Stachytarpheta jamaicensis*. Jenis vegetasi ini ialah jenis asing invasif yang tersebar luas disebabkan memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi.

4. GAMBAR DAN TABEL

Vegetasi riparian DAS Ranoyapo sangat dipengaruhi oleh pola penggunaan lahan dan faktor-faktor lingkungan fisik dan kimia. Karakteristik vegetasi riparian di bagian hulu DAS Ranoyapo memiliki kanopi pohon yang lebar yang mengurangi penetrasi cahaya matahari ke permukaan tanah (Gambar 1). Kelompok vegetasi riparian tumbuhan bawah menyukai lingkungan lembab dan sedikit naungan.



Gambar 1. Kanopi vegetasi di bagian hulu Sungai Polimaan

Karakteristik vegetasi riparian di bagian tengah DAS Ranoyapo umumnya vegetasi bawah dengan beberapa vegetasi berbentuk pohon. Penggunaan lahan yang semakin intensif menyebabkan strata pohon semakin sedikit. Hal ini menyebabkan cahaya matahari telah mencapai permukaan tanah yang menyebabkan tumbuhan bawah melimpah. Beberapa jenis vegetasi riparian berupa vegetasi invasif yang telah beradaptasi kuat dengan lingkungan sehingga ditemukan melimpah (Gambar 2). Karakteristik vegetasi riparian di bagian tengah sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Vegetasi riparian di bagian tengah Sungai Tewalen umumnya tumbuhan bawah dengan beberapa pohon-pohon. Hal ini sedikit berbeda dengan Sungai Suhuyon, Sungai Ranoyapo dan Polimaan dengan vegetasi riparian strata pohon masih banyak ditemukan dibandingkan dengan Sungai Tewalen.

Karakteristik vegetasi riparian bagian hilir DAS Ranoyapo sangat dipengaruhi oleh penggunaan lahan. Aktivitas manusia yang semakin tinggi menyebabkan vegetasi riparian berupa pohon sulit ditemukan. Pohon yang ditemukan umumnya vegetasi riparian yang bernilai ekonomi. Vegetasi riparian berupa rumput dan semai mendominasi bagian hilir (Gambar 3).



Gambar 2. Vegetasi riparian bagian tengah dari Sungai Suhuyon (kiri) dan Sungai Tewalen (kanan)



Gambar 3. Vegetasi riparian Sungai Polimaan di pertemuan dengan Sungai Ranoyapo

5. KESIMPULAN

Vegetasi riparian Daerah Aliran Sungai (DAS) Ranoyapo memiliki berbagai habitus yaitu liana, efifit, semai, perdu dan pohon. Berbagai suku vegetasi riparian ditemukan yang berbeda dari hulu menuju hilir akibat perbedaan pemanfaatan lahan dan lingkungan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kemenristekdikti dengan Skim Penelitian Hibah Fundamental Tahun 2015-2016.

Daftar Pustaka

- [1] Naiman, R.J., DeCamps, H. and McClain, M.E. 2005. *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- [2] Turner, G.M., Gardner, R.H. and O'Neill, R.V. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. New York: Springer-Verlag.
- [3] Rabik, A. and Brown, B. 2003. *Menuju Perhutanan Bambu Resilien (Tangguh)*. Ubud: Yayasan Bambu Lestari.
- [4] Tebbitt, M.C. 2005. *Begonias Cultivation, Identification, and Natural History*. Published in Association with Brooklyn Botanic Garden. Timber Press.U.S.A
- [5] Sirirugsa, 1999. Thai Zingiberaceae: Species Diversity and Their Uses. <http://old.iupac.org/symposia/proceedings/phuket97/sirirugsa.html> [19 April 2017].
- [6] Marini, C., Sutarno and Setyawan, A.D. 2005. Analisis minyak atsiri pada tumbuhan paku (Pteridophyta) di kawasan air terjun Pangajaran Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang. *Biofarmasi*. **3(1)**: 22-25.

AKTIVITAS HARIAN TIKUS EKOR PUTIH (*Maxomys hellwaldii* Jentink, 1878) DI KANDANG

SAROYO¹, TRINA E. TALLEI², FERNANDES T. UPA³

¹Program Studi Biologi, FMIPA, Unsrat, Jl. Kampus Unsrat Manado 95115,
mail: saroyo@unsrat.ac.id

Abstrak

Tikus ekor putih (*Maxomys hellwaldii*) merupakan spesies endemik Pulau Sulawesi. Spesies ini tersebar di hutan tropis dataran rendah primer, sekunder, maupun daerah pertanian. Menurut IUCN, terjadi kecenderungan penurunan populasi yang diakibatkan oleh hilangnya habitat dan perburuan untuk dikonsumsi terutama di Sulawesi Utara. Hanya sedikit aspek ekologi tikus ini yang sudah diketahui, sehingga penelitian tentang ekologi penting untuk dilakukan. Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis aktivitas harian tikus ekor putih (*Maxomys hellwaldii*) di kandang. Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai Juli 2016 di Laboratorium Biologi Dasar FMIPA Unsrat. Tikus yang digunakan sebanyak 6 ekor yang terdiri dari 3 ekor betina dewasa, 2 ekor betina pradewasa, dan 1 ekor jantan dewasa. Tikus dipelihara sesuai dengan *Guidelines for the Housing of Rats in Scientific Institutions* dalam kandang yang terbuat dari rangka kayu dan ram kawat. Ukuran kandang ialah panjang 120 cm, lebar 70 cm, dan tinggi 60 cm atau dengan luas 8.400 cm². Kandang dilengkapi dengan paralon berukuran 66 cm dan diameter 11,5 cm untuk tempat tikus beristirahat serta ranting/cabang untuk memanjat. Air disediakan secara *ad libitum*, pakan terdiri dari daun dan buah sirih hutan (*Piper aduncum*), buah beringin (*Ficus* sp.), buah ketapang (*Terminalia catappa*), buah papaya (*Carica papaya*), buah kelapa (*Cocos nucifera*), ubi singkong (*Manihot esculenta*), dan belalang (*Orthoptera*) yang diberikan lebih dari porsi yang dikonsumsi. Suhu lingkungan terukur 25-27°C. Aktivitas harian dibagi menjadi 6 kelas, yaitu makan, minum, berpindah, istirahat, eksplorasi, dan sosial. Pengumpulan data menggunakan *scan sampling* dengan interval 2 menit dari jam 18.00-06.00 selama 10 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tikus ekor putih di kandang beraktivitas dengan frekuensi dari yang paling tinggi ke yang paling rendah berturut-turut: sosial (52,3 %), istirahat (29,43 %), berpindah (7,13 %), makan (5,78 %), eksplorasi (3,17 %), dan minum (2,18 %). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tikus ekor putih merupakan spesies nokturnal yang hidup sosial dengan interaksi antarindividu melebihi setengah dari total frekuensi aktivitas hariannya, serta spesies ini hidup dalam kelompok sosial.

Kata Kunci: Tikus ekor putih (*Maxomys hellwaldii*), aktivitas harian, spesies endemik Pulau Sulawesi, nokturnal, hewan sosial

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Maxomys hellwaldii, yang dalam bahasa lokal disebut tikus ekor putih atau dalam bahasa Inggrisnya Hellwald's Sulawesi *Maxomys* atau Hellwald's Spiny Rat merupakan spesies dari famili Muridae dan ordo Rodentia merupakan spesies endemik Pulau Sulawesi. Menurut Corbet & Hill (1992), nama sinonimnya ialah *Mus hellwaldii* atau *Rattus hellwaldii*. Terdapat variasi pada spesies ini, sehingga dibedakan menjadi 3 subspecies. *Rattus h. localis* Miller & Hollister, 1921 di Laboea Sore, *Rattus h. cereus* Miller & Hollister, 1921 di Toli Toli, dan *Rattus h. griseogenus* Sody, 1941 di Masembo, Pegunungan Mengkoka. Spesies ini tersebar di hutan hujan tropis dataran rendah, hutan sekunder, serta perkebunan. Sampai saat ini, penelitian informasi tentang aspek ekologi *Maxomys hellwaldii* sangat kurang walaupun spesies ini dikenal mudah ditemukan. Informasi di dalam *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) tentang spesies ini juga sangat sedikit. Tikus ini berwarna krem

kecoklatan, dada keputihan, dan ekor berwarna putih pada ujungnya sehingga dikenal dengan nama lokal tikus ekor putih.

Wahyuni (2005) menyatakan bahwa spesies ini beraktivitas pada malam hari sering di pohon sirih hutan (*Piper aduncum*) maupun rumpun bambu. Pada siang hari mereka beristirahat di dalam liang di tanah, semak, akar pohon, atau gua-gua kecil. Mereka hidup dalam kelompok sosial dengan ukuran 10-15 ekor yang terdiri dari jantan dewasa, betina dewasa, dan anak-anak. Tikus ekor putih termasuk dalam spesies omnivora (Upa *et al.*, 2017).

Menurut IUCN, status konservasi tikus ekor putih ialah least concern atau kurang perhatian mengingat banyak aspek spesies ini belum sepenuhnya dipelajari. Kecenderungan populasinya ialah menurun. Terdapat dua faktor penyebab penurunan populasinya. Yang pertama yaitu kerusakan habitat, misalnya konversi hutan menjadi peruntukan lain, kebakaran lahan, maupun penggunaan pestisida pada lahan-lahan pertanian. Penyebab kedua ialah perburuan untuk dikonsumsi, terutama terjadi di Sulawesi Utara. Tikus ekor putih biasa diperjualbelikan di pasar-pasar tradisional untuk keperluan konsumsi masyarakat.

Tikus yang biasa dikenal ialah Genus *Rattus*. Jenis-jenis dari genus tersebut pada umumnya menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain merusak hasil panen, merusak peralatan dan perkakas rumah tangga, sampai dengan menyebarkan berbagai penyakit seperti pes, demam tifoid, toksoplasma, sampai leptospirosis (Coomansin *et al.*, 2009; Wei *et al.*, 2010; Kartika, 2012; Nurjana, 2013). Bahkan pada spesies *Rattus xanthurus* dari Sulawesi Utara ditemukan nematoda parasit (Hasegawa & Tarore, 1995). Demikian pula dengan habitatnya, Genus *Rattus* pada umumnya menempati daerah-daerah yang kotor, seperti got, lorong-lorong di berbagai saluran perumahan, lubang-lubang tanah, hingga gudang-gudang yang tidak terawat sehingga sering dibasmi dengan menggunakan pestisida (Eason *et al.*, 1999).

Walaupun demikian, beberapa jenis tikus juga dimanfaatkan sebagai hewan percobaan di berbagai laboratorium penelitian (Buettner *et al.*, 2006; Bramley & Waas, 2001) walaupun memerlukan banyak studi kelayakannya (Gonyou, 1994). Hewan-hewan tersebut digunakan untuk berbagai uji, terutama yang terkait dengan pemanfaatannya pada manusia, misalnya efektivitas obat, vaksin, pengaruh teratogen, genetik, dan sebagainya. Dua jenis yang paling sering digunakan adalah tikus putih (*Rattus norvegicus*) dan mencit (*Mus musculus*) (Vandenberg, 2000).

Sebenarnya pemanfaatan daging tikus untuk dikonsumsi tidak hanya dijumpai di Sulawesi Utara (Wahyuni, 2010) saja. Di beberapa Negara seperti Kamboja dan Vietnam, masyarakatnya juga mengonsumsi tikus. Di Sulawesi Utara, daging tikus ekor putih ini telah menjadi menu makanan favorit pada pesta-pesta adat. Dari aspek kepentingan konservasi spesies ini, seharusnya diupayakan untuk dapat membudidayakannya sehingga untuk kepentingan konsumsi masyarakat tidak lagi ditangkap dari alam. Upaya pelestarian tikus ekor putih masih sebatas pada penetapan kawasan konservasi, baik taman nasional, cagar alam, taman wisata alam, hutan raya, dan suaka margasatwa.

Penelitian ini baru mengungkap salah satu aspek saja, yaitu tentang aktivitas hariannya. Mengingat sulitnya penelitian ini dilaksanakan di alam, maka lokasi penelitian ialah kandang dengan ukuran dan kondisi yang disesuaikan dengan etika pemeliharaan hewan laboratorium untuk genus *Rattus*. Tujuan penelitian ialah Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis aktivitas harian tikus ekor putih (*Maxomys hellwaldii*) di kandang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai Juli 2016 di Laboratorium Biologi Dasar

FMIPA Unsrat. Tikus yang digunakan sebanyak 6 ekor yang terdiri dari 3 ekor betina dewasa, 2 ekor betina pradewasa, dan 1 ekor jantan dewasa dengan bobot disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tikus ekor putih yang digunakan dalam penelitian

Individu	Jenis Kelamin dan Kelompok Umur	Berat (Gram)
1	Betina Dewasa	349,5
2	Betina Dewasa	313,5
3	Betina Dewasa	298,7
4	Betina Pradewasa	225,5
5	Betina Pradewasa	241,0
6	Jantan Dewasa	391,7

Tikus dipelihara sesuai dengan *Guidelines for the Housing of Rats in Scientific Institutions* (Animal Ethics Infolink, akses 21 Juni 2017) dalam kandang yang terbuat dari rangka kayu dan ram kawat. Ukuran kandang ialah panjang 120 cm, lebar 70 cm, dan tinggi 60 cm atau dengan luas 8.400 cm². Rekomendasi dalam pedoman di atas luas area lantai untuk kelompok tikus yang terdiri dari 5 individu dengan berat 250-300 gram ialah 1.500 cm² atau lebih baik 1.800 cm². Jika dihitung untuk 6 ekor ialah 2.160 cm², sedangkan ukuran luas kandang penelitian ialah 8.400 cm². Pengayaan (*enrichment*) dilakukan dengan melengkapi kandang dengan paralon berukuran 66 cm dan diameter 11,5 cm untuk tempat tikus beristirahat serta ranting/cabang untuk memanjat. Air disediakan secara *ad libitum*, pakan terdiri dari daun dan buah sirih hutan (*Piper aduncum*), buah beringin (*Ficus* sp.), buah ketapang (*Terminalia catappa*), buah papaya (*Carica papaya*), buah kelapa (*Cocos nucifera*), ubi singkong (*Manihot esculenta*), dan belalang (*Orthoptera*) yang diberikan lebih dari porsi yang dikonsumsi. Suhu lingkungan terukur 25-27°C.

Aktivitas harian dibagi menjadi 6 kelas, yaitu makan, minum, berpindah, istirahat, eksplorasi, dan sosial sebagaimana yang dilakukan oleh Nieder (1985) dengan menghilangkan kelas aktivitas meliang, berenang, menyelam, dan berjalan menuju liang mengingat penelitian ini dilaksanakan di kandang sehingga aktivitas tersebut tidak ada. Makan ialah aktivitas yang meliputi memegang makanan, memasukkan ke mulut, mengunyah, dan menelan. Minum ialah aktivitas tikus memasukkan mulut/moncong ke air dan menjilati air. Berpindah ialah saat tikus berjalan, berlari, atau melompat. Istirahat terjadi jika tikus diam atau sedang menelisis (*grooming*) sendiri. Eksplorasi ialah aktivitas tikus membolak-balik benda atau mencari sesuatu di sekitarnya. Sosial meliputi kawin, agonistik ketika tikus berkelahi, afilatif dilihat ketika tikus melakukan kontak fisik yang bukan berkelahi, bermain bersama atau kejar kejaran, tikus saling menelisis satu sama lain.

Pengumpulan data menggunakan *scan sampling* dengan interval 2 menit dari jam 18.00-06.00 selama 10 hari. Analisis data dilakukan dengan menghitung persentase setiap kelas aktivitas.

3. HASIL

Hasil pengamatan selama 10 hari pada keenam ekor tikus diperoleh hasil bahwa tikus di kandang beraktivitas dengan frekuensi dari yang paling tinggi ke yang paling rendah berturut-turut: sosial (52,3 %), istirahat (29,43 %), berpindah (7,13 %), makan (5,78 %), eksplorasi (3,17 %), dan minum (2,18 %) seperti disajikan pada Tabel 2.

Hasil di atas menunjukkan bahwa aktivitas yang paling sering dilakukan tikus ekor putih ialah sosial. Dalam aktivitas sosial ini, dua komponen yang ditunjukkan oleh tikus meliputi aktivitas agonistik dan aktivitas afilatif. Aktivitas agonistik ialah perilaku yang berkaitan dengan agresi (Collinge, 1993). Dalam perilaku agresif, individu dibedakan menjadi dua, yaitu penyerang dan korban. Agresi mencakup agresi ringan (ancaman

dengan membuka mulut, ancaman dengan suara, serangan mendadak) dan agresi berat (mengusir, memukul, mencakar, menggigit) (Perry, 1996; Matsumura, 1998). Afiliatif ialah perilaku interaksi antarindividu yang bukan agonistik, tetapi lebih berperan dalam peningkatan keeratn hubungan antarindividu. Termasuk di dalam aktivitas ini antara lain rekonsiliasi pada satwa primata, suatu interaksi afiliatif pascakonflik di antara individu yang bertengkar, serta menelisik (*grooming*) antarindividu. Bermain adalah aktivitas positif di antara anggota kelompok dengan saling mengejar atau saling menggigit yang bulan agresi.

Tabel 2. Frekuensi aktivitas harian keenam individu tikus

Hari	Makan	Minum	Berpindah	Istirahat	Eksplorasi	Sosial			Jumlah
						Kawin	Agonistik	Afiliatif	
1	153	62	271	792	109	0	58	698	2143
2	123	43	132	675	86	0	127	906	2092
3	67	14	84	642	50	0	190	1089	2136
4	161	80	190	579	44	0	118	988	2160
5	164	59	149	613	88	0	223	796	2092
6	101	48	117	659	40	0	143	976	2084
7	76	28	114	584	67	0	156	1136	2161
8	99	23	133	668	96	0	168	894	2081
9	160	78	183	524	44	0	128	1012	2129
10	121	28	138	503	48	0	248	1033	2119
Jumlah	1225	463	1511	6239	672	0	1559	9528	21197
Persentase (%)	5,78	2,18	7,13	29,43	3,17	52,5			100

Penelitian pada primata menunjukkan bahwa rekonsiliasi, suatu interaksi afiliatif pascakonflik di antara individu yang bertengkar mempunyai dua fungsi: (1) untuk memperbaiki kerusakan hubungan karena agresi, dan (2) untuk mereduksi ketidakpastian pascakonflik dan tekanan pada individu tersebut (Kutsukake dan Castles, 2001).

Menelisik mencakup manipulasi oral dan manual pada kulit dan/atau rambut (Cooper dan Berstein, 2000). Menelisik dapat dilakukan untuk diri sendiri (menelisik diri) dan dapat dilakukan untuk pasangan sosialnya (menelisik silang) (Chalmer, 1980). Dalam kaitannya dengan aktivitas sosial, di samping berfungsi seperti menelisik diri, juga untuk mempererat ikatan sosial. Menelisik sosial dapat berfungsi sebagai *pembayaran* oleh individu subordinan sebagai sarana dalam perjumpaan agonistik dengan individu dominan pada saat yang akan datang (Cooper dan Berstein, 2000). Penelitian pada monyet Rhesus (*M. mullata*), mereka sering menelisik segera setelah terlibat perkeltahan (Chalmer, 1980). Pada *M. arctoides*, menelisik dapat mereduksi kecenderungan bagi tertelisik untuk berjalan. Dengan demikian menelisik berfungsi untuk meningkatkan imobilitas (efek plikatori) (Chalmer, 1980).

Dengan demikian, hasil di atas juga mengindikasikan bahwa tikus ekor putih merupakan spesies yang hidup dalam kelompok sosial. Hal ini memperkuat hasil survei Wahyuni (2015) yang menyatakan bahwa spesies ini hidup dalam kelompok sosial dengan ukuran 10-15 ekor yang terdiri dari jantan dewasa, betina dewasa, dan anak-anak.

Istirahat merupakan aktivitas duduk atau tiduran di atas dasar kandang atau paralon, atau di atas ranting/cabang tanpa terlibat dalam aktivitas sosial. Tikus yang sedang istirahat biasanya hanya berdiam diri, tidur, atau menelisik sendiri (*autogrooming*). Mengingat penelitian ini dilaksanakan di kandang dengan luas terbatas, maka terjadi reduksi aktivitas berpindah sehingga memungkinkan tikus untuk lebih banyak beraktivitas sosial dan istirahat.

Berpindah merupakan aktivitas tikus untuk berpindah tempat, seperti berjalan, berlari, memanjat, menuruni ranting/cabang, atau melompat. Perpindahan dapat terjadi pada saat tikus menuju tempat makan atau minum, menuju paralon, dan memanjat untuk mencapai bagian kandang yang lebih tinggi. Pada tikus katun, aktivitas harian dilakukan pada

malam hari di dalam daerah jelajah (*home range*) seluas 0,1-0,3 ha untuk individu betina dan 0,4-0,5 ha untuk individu jantan (Hawthorne, 1994). Di alam tikus ekor putih banyak beraktivitas di pohon karena pakan mereka yang terdiri dari terutama buah-buahan dan daun-daunan. Oleh karena itu berpindah juga banyak dilakukan di pohon serta cabang/ranting pohon di samping juga berpindah di atas tanah pada saat keluar atau menuju liang.

Aktivitas makan terjadi pada waktu-waktu awal malam mengingat pemberian pakan dilaksanakan pada saat tersebut. Walaupun demikian, aktivitas ini juga berlangsung sepanjang malam pada saat tikus sedang lapar. Pakan diberikan secara berlebih sehingga memungkinkan tikus untuk makan sepanjang malam. Hasil penelitian Upa *et al.* (2017) menunjukkan bahwa tikus ekor putih yang diberi pakan alami mengonsumsi 2,9 % daun dan buah sirih hutan (*Piper aduncum*), 0,1 % buah beringin (*Ficus* sp.), 0,4 % buah ketapang (*Terminalia catappa*), 51,3 % buah papaya (*Carica papaya*), 15,6 % buah kelapa (*Cocos nucifera*), 15,7 % ubi singkong (*Manihot esculenta*), dan 13,9 % belalang (*Orthoptera*). Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa tikus ekor putih bersifat omnivora. Sifat omnivora pada tikus ekor putih berbeda dengan tikus katun (*cotton rat*). Secara normal tikus katun (*Sigmodon hispidus*) ialah herbivora yang memakan akar, batang, daun, dan biji berbagai tanaman (Hawthorne, 1994).

Eksplorasi biasanya dilakukan tikus pada saat mencari makan. Walaupun dalam penelitian ini pakan disediakan secara berlebih, tetapi kadang-kadang tikus juga melakukan aktivitas eksplorasi karena faktor preferensi pakan. Eksplorasi juga terjadi pada saat tikus menjumpai obyek lain, tikus mengamati, membalik-balikkan, bahkan menggigit obyek tersebut.

Minum tersedia secara *ad libitum* sehingga tikus dapat melakukan aktivitas minum kapan pun pada saat mereka haus. Pada beberapa kawasan konservasi di Sulawesi Utara, sumber air sulit untuk ditemukan seperti di Cagar Alam Duasudara. Kebutuhan akan air dicukupi dari air hujan dan air hujan yang tertampung pada lubang-lubang batang atau akar banir yang membentuk cekungan, serta dari buah-buahan yang memiliki kandungan air yang tinggi.

Berkaitan dengan aspek budidaya, hasil penelitian ini mengungkap bahwa tikus ekor putih merupakan hewan yang hidup dalam kelompok sosial. Informasi lain yang masih harus diteliti ialah sistem sosioseksual yang berkaitan dengan struktur sosial, yaitu rasio jantan dan betina dewasa, serta interaksi antarindividu. Selain itu, aspek reproduksi seperti umur dewasa, umur mulai bereproduksi pada betina, lama kebuntingan, jumlah anak, dan umur disapih. Demikian juga informasi tentang kemungkinan pengandangan secara individu pada betina bunting serta pemisahan anak penting untuk diketahui.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tikus ekor putih merupakan spesies nokturnal yang hidup sosial dengan interaksi antarindividu melebihi setengah dari total frekuensi aktivitas hariannya.

Daftar Pustaka

- [1] Animal Ethics Infolink, akses 21 Juni 2017. Guidelines for the Housing of Rats in Scientific Institutions. Animal Welfare Branch.
- [2] NSW Department of Primary Industries, Locked Bag 21, Orange NSW 2800.
- [3] Bramley, G.N. & J.R. Waas. 2001. Laboratory and Field Evaluation of Predator Odors as Repellents for Kiore (*Rattus exulans*) and Ship Rats (*R. rattus*). [Journal of Chemical Ecology](#) May 2001, Volume 27, [Issue 5](#), pp 1029-1047.

- [4] Buettner, R., K.G. Parhofer, M. Woenckhaus, C.E. Wrede, L.A. kunz-Schughart, J. Scholmerich, & L.C. Bollheimer. Defining High-Fat-Diet Rat Model: Metabolic and Molecular Effects of Different Fat Types. *Journal of Molecular Endocrinology*. 36: 485-501.
- [5] Chalmers, N. 1980. *Social Behaviour in Primates*. University Park Press. Baltimore.
- [6] Collinge, N.C. 1993. *Introduction to Primate Behavior*. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa.
- [7] Coomansingh, C., R.D. Pinckney, M.I. Bhaiyat, A. Chikweto, S. Bitner, A. Baffa, & R. Sharma. 2009. Prevalence of endoparasites in wild rats in Grenada. *West Indian Veterinary Journal* 2009, 9 (1) 17-21.
- [8] Cooper, M.A & I.S. Bernstein. 2000. Social grooming in Assamese macaques (*Macaca assamensis*). *Am J Primatol* 50: 77-85.
- [9] Corbet, G.B. & J.E. Hill. 1992. *The Mammals of the Indomalayan Region: A Systematic Review*. Oxford University Press. Oxford.
- [10] Eason, C.T., L. Milne, M. Potts, G. Morriss, G.R.G. Wright, & O.R.W. Sutherland. 1999. Secondary and Tertiary Poisoning Risks Associated with Brodifacoum. *New Zealand Journal of Ecology* (1999) 23(2): 219-224.
- [11] Hawthorne, D.W. 1994. *Cotton Rats*. USDA-APHIS Animal Damage Control Washington.
- [12] Hasegawa, H. & D. Tarore. 1995. *Nippostrongylus sembeli*, New Species (Nematode: Heligmonellidae) Collected from *Rattus xanthurus* of North Sulawesi, Indonesia. *The Raffles Bulletin of Zoology* 1995. 43 (2): 337-342.
- [13] IUCN. 2017. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T12895A22456581.en>.
- [14] Kartika, D. 2012. Nematoda Parasit Pada Tikus Di Desa Pakuli, Kec. Gumbara, Kab. Donggala, Sulawesi Tengah. <http://Ejournal.Litbang.Depkes.Go.Id/Index.Php/Jek/Article/View/1694>
- [15] Kutsukake, N. & D.L. Castles. 2001. Reconciliation and variation in post-conflict in Japanese macaques (*Macaca fuscata fuscata*): Testing the integrated hypothesis. *Anim Cogn* 4: 259-268.
- [16] Matsumura, S. 1998. Relaxed dominance relations among female moor macaques (*Macaca maurus*) in their natural habitat, South Sulawesi, Indonesia. *Folia Primatol* 69:346-356.
- [17] Nieder, L. 1985. Daily activity of wild rats, *Bolletino di zoologia*, 52:3-4, 263-267.
- [18] Nurjana, M.A. 2013. Infeksi *Schistosoma japonicum* pada Hospes Reservoir Tikus di Dataran Tinggi Napu, Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah Tahun 2012. *Media Litbangkes* Vol 23 No. 3, Sept 2013, 137-142.
- [19] Perry, S. 1996. Female-female social relationships in wild white-faced capuchin monkeys, *Cebus capucinus*. *Am J Primatol* 40: 167-182.
- [20] Upa, F.T. Saroyo, & D.Y. Katili. 2017. Komposisi Pakan Tikus Ekor Putih (*Maxomys hellwaldii*) di Kandang. *Jurnal Ilmiah Sains* Vol.17, No. 1, pp. 8-12.
- [21] Wahyuni, I. 2005. *Tingkah Laku, Reproduksi, dan Karakteristik Daging Tikus Ekor Putih (Maxomys hellwandii)*. Disertasi Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- [22] Vandenberg, J. 2000. *Laboratory Animal Science and Husbandry in Vaccine Production and Quality Control*. PT Bio Farma. Bandung.
- [23] Wahyuni, I. 2010. Performa Tikus Ekor Putih Hasil Budidaya. *Prosiding Seminar Nasional Peternakan Berkelanjutan Ke-2*. Unpad, hal. 71-79.
- [24] Wei, L., X. Wang, C. Wang, & H. He. 2010. A survey of Ectoparasites from Wild Rodents and *Anourosorex squamipes* in Sichuan Province, Southwest China. *Journal of Ecology and the Natural Environment* Vol. 2(8), pp. 160-166.

PROFIL KERAGAMAN DAN KELIMPAHAN ECHINODERMATA DI ZONA INTERTIDAL PANTAI BANYO SABU RAIJUA NUSA TENGGARA TIMUR

FREDERIKUS D. H. MANLEA¹, VINSENSIUS M. ATI², FRANSISKUS KIA
DUAN³, IKE SEPTA F. MUKTIAWATI⁵

²Universitas Nusa Cendana, vinse_v@yahoo.com

Abstrak

Penelitian dilakukan dengan tujuan mengamati keragaman dan kelimpahan echinodermata di perairan Pantai Banyo. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode transek kuadrat yang diterapkan pada 2 stasiun pengamatan. Jarak antar stasiun pengamatan adalah 50 m. Dari hasil penelitian ditemukan 6 jenis yang berasal dari 3 class, 5 ordo, 6 family dan 6 genus. Keanekaragaman tertinggi ditemukan pada *Protoreaster nodosus* dengan indeks 0,3665 dan 0,3631 masing-masing pada stasiun I dan stasiun II. Keanekaragaman terendah pada kedua stasiun ditemukan pada *Ophiolepis superba* dengan indeks 0,1884. *Protoreaster nodosus* juga memperlihatkan kelimpahan tertinggi dengan nilai 0,3 (ind/m²) sedangkan kelimpahan terendah teramati pada *Ophiolepis superba* dengan nilai 0,05 (ind/m²).

Kata kunci : Echinodermata, keragaman, kelimpahan

1. PENDAHULUAN

Filum echinodermata hanya terdapat di laut dan menempati pantai dan laut sampai kedalaman 366 meter. Menurut Yusron [1] echinodermata dapat dijumpai pada berbagai macam habitat seperti zona rata-rata terumbu, daerah pertumbuhan alga, padang lamun, koloni karang hidup dan koloni karang mati. Rusyana [2] menyatakan filum ini berperan penting sebagai pengurai pada ekosistem terumbu karang dalam siklus rantai makanan dengan memakan sampah-sampah laut dan sisa-sisa organisme yang sudah mati.

Pantai Banyo yang terpengaruh oleh perairan Laut Sawu pun menjadi area penyebaran echinodermata. Perairan tersebut memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda, dimana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, dengan amplitudo yang jauh berbeda antara pasang dan surut pertama dengan pasang dan surut kedua. Pantai Banyo merupakan pantai yang terdapat di wilayah Desa Bodae, Kecamatan Sabu Timur, Kabupaten Sabu Raijua, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan panjang garis pantai mencapai 968 meter.

Zona intertidal Pantai Banyo memiliki jenis substrat berpasir berlumpur ditumbuhi lamun yang lebat. Yusron [1] menyatakan kondisi demikian memungkinkan keanekaragaman dan kelimpahan fauna echinodermata tinggi. Zona intertidal di daerah tersebut menempati areal yang sangat luas, dan pada saat air laut mencapai surut terendah, panjang dasar perairan yang kering dapat mencapai ratusan meter. Masyarakat pesisir setempat memanfaatkan kondisi tersebut dengan mencari biota laut untuk memenuhi kebutuhannya.

Beberapa jenis fauna dari filum echinodermata telah ditemukan menyebar pada perairan intertidal Pantai Banyo namun informasi ilmiah tentang keragaman dan kelimpahan echinodermata setempat belum cukup tersedia. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui keragaman dan kelimpahan echinodermata di zona intertidal Pantai Banyo Sabu Raijua Nusa Tenggara Timur.

2. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di zona intertidal Pantai Banyo, Desa Bodae, Kecamatan Sabu Timur, Kabupaten Sabu Raijua Nusa Tenggara Timur (gambar 1) pada bulan Juli 2015.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi rol meter, GPS, kamera, botol sampel, pinset, sarung tangan, pH meter, dan refraktometer. Sedangkan bahan yang dibutuhkan mencakup sampel echinodermata, alkohol 70% dan kertas label.

C. Metode

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode transek kuadrat. Pengambilan sampel dilakukan pada dua stasiun pengamatan. Kondisi substrat stasiun pengamatan berpasir berlumpur dan ditumbuhi lamun yang lebat. Setiap stasiun diletakkan 2 garis transek ke arah laut dan pada masing-masing garis transek diletakkan 10 plot dengan ukuran plot 1 m x 1 m. Panjang garis transek 60 m dan jarak antar plot 5 m. Penempatan garis transek satu dengan yang lain berjarak 5 m dan jarak dari titik tepi pantai ke plot pertama berjarak 10 meter, sedangkan jarak dari stasiun I ke stasiun II adalah 50 meter.

Pengambilan sampel echinodermata dilakukan pada saat surut terendah. Setiap jenis yang ditemukan dalam plot dihitung kemudian diambil satu biota untuk didokumentasi dan diidentifikasi. Sampel dibersihkan dengan air bersih (air tawar) dan dimasukkan ke dalam botol sampel berlabel yang berisi alkohol 70%. Identifikasi jenis echinodermata mengacu kepada Lariman [3] dan Lariman [4].

Indeks keanekaragaman diketahui menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') yang dinyatakan dalam rumus matematis $(H') = -\sum P_i \ln P_i$; $P_i = \frac{n_i}{N}$, dimana H' menunjukkan indeks keanekaragaman, P_i menggambarkan proporsi jumlah individu jenis ke- i , $\ln$ adalah logaritma normal, n_i menjelaskan tentang jumlah individu jenis ke- i dan N adalah total individu dari seluruh spesies. Krebs [5] menyatakan semakin tinggi nilai indeks menunjukkan bahwa komunitas echinodermata di perairan itu makin beragam. Kriteria penilaian sebagai berikut $H' > 3$ (keanekaragaman tinggi), $1 < H' < 3$ (keanekaragaman sedang), dan $H' < 1$ (keanekaragaman rendah).

Nilai kelimpahan individu memberikan gambaran kemelimpahan jenis-jenis tertentu di suatu lokasi. Kelimpahan individu dianalisis menurut Odum [6], $Kelimpahan\ individu\ (Di) = \frac{Jumlah\ individu\ jenis\ ke-i\ (ni)}{Luas\ plot\ pengamatan\ (A)}$. Kriteria penilaian sebagai berikut. Nilai 0 berarti tidak ada, nilai 1 – 10 berarti kemelimpahan kurang, nilai 11 – 20 menggambarkan tingkat kemelimpahan cukup, dan nilai lebih dari 20 berarti sangat melimpah.

3. HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada transek pengamatan ditemukan 6 jenis yang berasal dari 3 class, 5 ordo, 6 famili dan 6 genus. Keenam jenis echinodermata yang ditemukan meliputi *Protoreaster nodosus*, *Linckia leavigata*, *Echinotrix calamaris*, *Echinometra mathei*, *Eucidaris tribuloides* dan *Ophiolepis superba* sebagaimana terlihat pada tabel 1 dan 2.

3.1 Keanekaragaman Jenis Echinodermata

Menurut Odum [7] indeks keanekaragaman digunakan untuk mengetahui tingkat stabilitas suatu komunitas dari keanekaragaman jumlah jenis organisme yang terdapat pada suatu area. Hasil perhitungan keanekaragaman jenis dari fillum echinodermata di Pantai Banyo Desa Bodae dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa *Protoreaster nodosus* merupakan spesies dengan indeks keanekaragaman tertinggi pada stasiun I maupun stasiun II masing-masing 0,3665 dan 0,3631. Hal ini menunjukkan bahwa *Protoreaster nodosus* merupakan spesies yang cukup adaptif terhadap tipe substrat berpasir berlumpur dan ditumbuhi banyak lamun dengan tekanan aktivitas manusia yang tinggi sebagaimana terdapat pada Pantai Banyo. Pantai Banyo oleh masyarakat setempat dimanfaatkan sebagai area budidaya rumput laut. *Protoreaster nodosus* dari kelas Asteroidea menyukai habitat dengan kondisi substrat berpasir, berlumpur dan berkarang. Menurut Nontji [8] habitat dari bintang laut adalah substrat berpasir dan terumbu karang terutama di lereng terumbu pada kedalaman 2 – 6m.

Sebaliknya spesies dengan indeks keanekaragaman terendah pada kedua stasiun pengamatan ditempati oleh *Eucidaris tribuloides* dan *Ophiolepis superba* pada stasiun I dan *Eucidaris tribuloides*, *Linckia Leavigata* dan *Ophiolepis superba* pada stasiun II masing-masing dengan indeks 0,1884. Rendahnya indeks keanekaragaman pada ketiga spesies tersebut sebagai akibat ketidakmampuan beradaptasi terhadap kondisi substrat dan juga tekanan aktivitas manusia yang tinggi. Ketiga spesies tersebut lebih menyukai substrat berbatu. Sugiarto [9] menyatakan bahwa hewan ini biasanya hidup di sela-sela bebatuan pantai atau di dasar laut. Tubuhnya tanpa lengan hampir bulat atau gepeng. Begitu juga dengan spesies *Ophiolepis superba* yang lebih menyukai substrat berbatu. Nontji dalam Romimohtarto dan Juwana [10] menyatakan kelas ophiuroidea biasanya sulit dijumpai karena lebih sering pada tempat-tempat yang agak gelap di bawah batu atau celah-celah karang.

Rata-rata indeks keanekaragaman (H') pada zona intertidal Pantai Banyo yaitu 0,26015. Hal ini menunjukan bahwa echinodermata yang hidup pada lokasi penelitian keanekaragamannya tergolong rendah karena indeks keanekaragaman lebih rendah dari 1 ($H' < 1$). Secara umum echinodermata pada kedua stasiun terkategori rendah karena berbagai faktor diantaranya yaitu perbedaan substrat yang mendukung kelangsungan hidup echinodermata dan aktivitas manusia seperti pemanfaatan jenis echinodermata tertentu sebagai makanan tambahan, dan pembudidayaan rumput laut yang dapat memacu migrasi echinodermata ke tempat yang aman dari aktivitas manusia. Di sekitar lokasi penelitian terdapat aktivitas pemeliharaan rumput laut. Para petani rumput laut umumnya memanen tanpa beralas kaki sehingga keberadaan spesies yang mengganggu keselamatan dan kenyamanan dianggap sebagai ancaman dan akan dipindahkan secara paksa atau dimusnahkan.

3.2 Kelimpahan Echinodermata

Kelimpahan individu merupakan indikasi melimpahnya jenis-jenis tertentu di suatu lokasi penelitian. Hasil analisis kelimpahan echinodermata di zona intertidal Pantai Banyo dapat dilihat pada tabel 4.

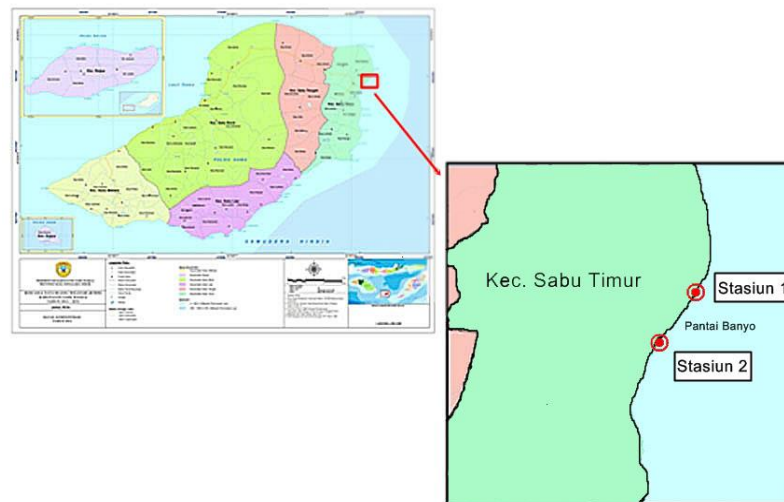
Berdasarkan hasil analisis kelimpahan echinodermata di Pantai Banyo pada stasiun I dan stasiun II memiliki nilai kelimpahan yang tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini dikarenakan kondisi substrat pada Pantai Banyo memiliki substrat yang sama yaitu substrat berpasir berlumpur yang ditumbuhi lamun lebat.

Nilai kelimpahan tertinggi pada stasiun I dan Stasiun II ditempati *Protoreaster nodosus* masing-masing dengan nilai kelimpahan 0,3 (ind/m²). Spesies ini merupakan spesies yang dapat hidup pada substrat berpasir, berbatu dan berkarang. Kedua stasiun memiliki kondisi substrat berpasir berlumpur dan ditumbuhi lamun yang sesuai dengan habitatnya. Menurut Radjab [11] fauna echinodermata dapat dijumpai di seluruh perairan pantai dari pasang surut sampai perairan dalam dan umumnya lebih menyukai perairan yang jernih dan tenang. Nontji [8] habitat bintang laut adalah berpasir dan terumbu karang terutama di lereng terumbu pada kedalaman 2 sampai 6 meter.

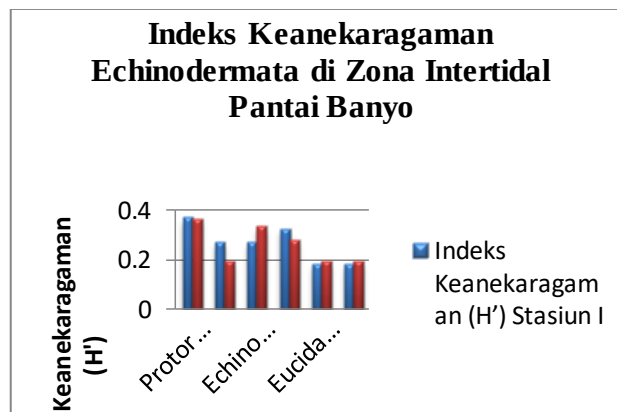
Sedangkan profil kelimpahan terendah pada stasiun I dan stasiun II terlihat pada spesies *Eucidaris tribuloides* dan *Ophiolepis superba* masing-masing dengan nilai 0,05 (ind/m²). *Eucidaris tribuloides* tidak dapat bertahan pada substrat ini, karena kondisi substrat pada stasiun I dan stasiun II berpasir berlumpur. Menurut Sugiarto [9] hewan ini biasanya hidup di sela-sela bebatuan pantai atau di dasar laut, tubuhnya tanpa lengan hampir bulat atau gepeng. Demikian pun *Ophiolepis superba* lebih menyukai substrat berbatu sebagai habitatnya. Nontji dalam Romimohtarto dan Juwana [10] kelas ophiuroidea biasanya susah dijumpai karena lebih sering pada tempat-tempat yang agak gelap di bawah batu atau celah-celah karang. Hal ini membuktikan bahwa kedua spesies lebih menyukai kondisi pantai berbatu dan bekarang sebagai habitat, dibandingkan dengan jenis substrat Pantai Banyo yang didominasi substrat berpasir berlumpur.

Hasil analisis kelimpahan echinodermata di zona intertidal Pantai Banyo memperlihatkan bahwa kelimpahan jumlah individu pada stasiun I dan stasiun II secara berurutan 1,5 ind/m² dan 1,3 ind/m². Hal ini menunjukkan bahwa jumlah echinodermata yang hidup pada lokasi penelitian kelimpahannya kurang karena berada dalam kisaran 1 – 10. Pada saat penelitian terlihat bahwa kondisi substrat didominasi substrat berpasir yang ditumbuhi lamun dan hanya sebagian pecahan karang yang terdapat dalam lokasi penelitian. Aktivitas manusia yang relatif tinggi turut mempengaruhi daya adaptif spesies sehingga mempengaruhi kelimpahan spesies di dalam lokasi penelitian.

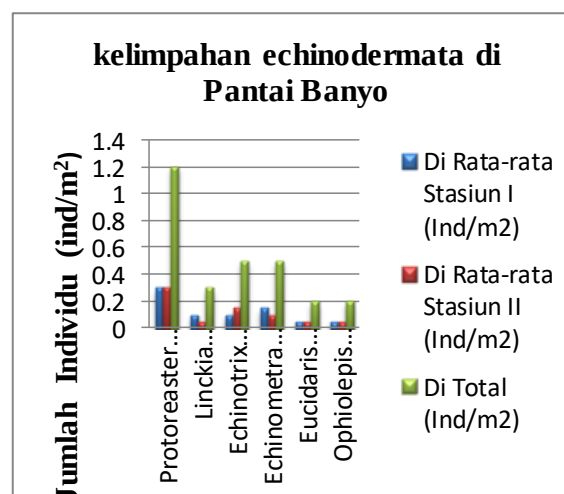
4. GAMBAR DAN TABEL



Gambar 1. Peta lokasi Penelitian

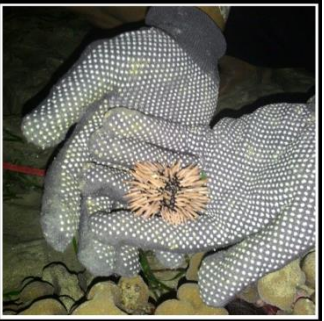


Gambar 2. Indeks keanekaragaman echinodermata



Gambar 3. Kelimpahan echinodermata

Tabel 1. Nama jenis, gambar dan ciri morfologi

No	Nama Jenis	Gambar	Ciri Moorfologi
1	<i>Protoreaster nodosus</i>		<i>Protoreaster nodosus</i> bintang laut ini mempunyai lima lengan yang keras, bagian dorsal tubuhnya terdapat tonjolan-tonjolan yang meruncing berwarna hitam, warna bintang laut ini sangat beragam. Individu yang berumur lebih tua umumnya tonjolan-tonjolan tersebut lebih tumpul dibandingkan dengan yang masih muda. <i>Sumber : Lariman (2010).</i>
2	<i>Linckia leavigata</i>		<i>Linckia leavigata</i> atau disebut juga bintang laut biru memiliki lima lengan dengan warna ungu kebiruan sangat mencolok, tiap lengan berbentuk memanjang dan langsing. Permukaan tubuh halus dan tidak terdapat tonjolan-tonjolan. <i>Sumber : Lariman (2010).</i>
3	<i>Echinotrix calamaris</i>		<i>Echinotrix calamaris</i> memiliki dua macam duri yaitu yang halus berwarna hitam kemerahan dan duri yang besar atau kasar berwarna dasar putih dimana di balut warna hitam berupa cincin, jadi terlihat belang-belang, motifnya berupa cicin, yang akan terlihat seperti berbelang-belang. <i>SumberLariman (2011).</i>
4	<i>Echinometra matheai</i>		<i>Echinometra matheai</i> memiliki duri padat serta agak panjang dengan ujung meruncing, durinya berwarna coklat, pada pangkal duri warnanya agak putih dan cangkangnya berwarna hitam kemerahan. <i>Sumber : Lariman (2010).</i>

5	<i>Eucidaris tribuloides</i>		<i>Eucidaris tribuloides</i> atau disebut juga landak batu pencil, memiliki duri yang keras, tubuh berwarna merah dan berbulu halus. Duri berwarna kecokelatan dan terdapat warna merah yang melingkari warna coklat tersebut seperti cincin. Sumber : Lariman (2010).
6	<i>Ophiolepis superba</i>		<i>Ophiolepis superba</i> Memiliki lengan yang panjang dan kecil, tubuh berwarna kuning pucat kekuningan dan pada lengan dan tubuhnya terdapat pola warna hitam. Sumber : Lariman (2011).

Tabel 2. Klasifikasi Hewan Echinodermata di Pantai Banyo

Fillum	Class	Ordo	Family	Genus	Species
Echinoder mata	Asteroidea	Valvatida	Oreasteridae	<i>Protoreaster</i>	<i>Protoreaster nodosus</i>
			Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>Linckia leavigata</i>
	Echinoidea	Diadematoida	Diadematoidae	<i>Echinotrix</i>	<i>Echinotrix calamaris</i>
		Ardodanta	Echinimetridae	<i>Echinometra</i>	<i>Echinometra mathei</i>
		Cidaroida	Cidaridae	<i>Eucidaris</i>	<i>Eucidaris tribuloides</i>
	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiolepididae	<i>Ophiolepis</i>	<i>Ophiolepis superba</i>

Tabel 3. Indeks Keanekaragaman Echinodermata

No	Nama spesies	Indeks Keanekaragaman (H')	
		Stasiun I	Stasiun II
1	<i>Protoreaster nodosus</i>	0,3665	0,3631
2	<i>Linckia leavigata</i>	0,2686	0,1884
3	<i>Echinotrix calamaris</i>	0,2686	0,3300
4	<i>Echinometra mathei</i>	0,3218	0,2779
5	<i>Eucidaris tribuloides</i>	0,1804	0,1884
6	<i>Ophiolepis superba</i>	0,1804	0,1884
Jumlah		1,5863	1,5362
Rata-rata		0,2643	0,2560

Tabel 4. Nilai kelimpahan echinodermata di Pantai Banyo

No	Nama jenis	Rata-rata Di Stasiun I (ind/m ²)	Rata-rata Di Stasiun II (ind/m ²)	Total Di (ind/m ²)
1	<i>Protoreaster nodosus</i>	0,3	0,3	1,2
2	<i>Linckia leavigata</i>	0,1	0,05	0,3
3	<i>Echinotrix calamaris</i>	0,1	0,15	0,5
4	<i>Echinometra mathei</i>	0,15	0,1	0,5
5	<i>Eucidaris tribuloides</i>	0,05	0,05	0,2
6	<i>Ophiolepis superba</i>	0,05	0,05	0,2
Jumlah		1,5	1,3	2,8

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Spesies echinodermata yang ditemukan di zona intertidal Pantai Banyo berjumlah 6 (enam) spesies yaitu : *Protoreaster nodosus*, *Linckia leavigata*, *Echinotrix calamaris*, *Echinometra mathei*, *Eucidaris tribuloides* dan *Ophiolepis superba*.
2. Keragaman echinodermata di zona intertidal Pantai Banyo tergolong rendah ($H' < 1$).
3. Kelimpahan echinodermata di zona intertidal Pantai Banyo terkategori kurang (kelimpahannya berkisar 1-10).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yusron, E., *Beberapa catatan Fauna Echinodermata dari perairan Sekotong Lombok Barat Nusa Tenggara Barat*, Prosiding Seminar Riptek Kelautan Nasional, Jakarta, 2003.
- [2] Rusyana, Adun., *Zoologi Invertebrata*, Alfabeta, Bandung, 2011.
- [3] Lariman, *Keanekaragaman Filum Echinodermata di Pulau Segajah Kota Bontang Kalimantan Timur*, FMIPA Universitas Mulawarman, Samarinda, 2010.
- [4] Lariman, *Keanekaragaman Fylum Echinodermata di Pulau Beras Basah Kota Bontang Kalimantan Timur*, FMIPA Universitas Mulawarman. Samarinda, 2011.
- [5] Krebs, C. J., *Ecological Methodology*, Harper Coliins Publisher, New York, 1989.
- [6] Odum, E. P., *Dasar - dasar Ekologi*, Terjemahan Tjahjono Samingan, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 1993 .
- [7] Odum, E. P., *Dasar-Dasar Ekologi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1971.
- [8] Nontji, A., *Laut Nusantara*, Djambatan, Jakarta, 1993.
- [9] Sugiarto, H., *Warta Oseanografi*. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta, 2007
- [10] Romimohtarto, K dan Juwana, S., *Biologi Laut*, Djambatan, Jakarta, 2001.
- [11] Abd Wahab Radjab, *Fauna echinodermata di perairan Nusalaut Kabupaten Maluku Tengah Maluku*. Pros. Seminar Nasional Biologi XX dan Kongres XIV UIN Maliki Malang, 2009.

POTENSI POLISAKARIDA KRESTIN DALAM MENURUNKAN KADAR GLUKOSA DARAH DAN NITRIT PADA MENCIT AKIBAT INDUKSI 2-METHOXYETHANOL

WIN DARMANTO¹, SRI PUJI ASTUTI WAHYUNINGSIH², ELMA SAKINATUS
SAJIDAH³, MALIYA IZZATIN⁴, FIRAS KHALEYLA⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga Surabaya

Abstrak

Polisakarida krestin merupakan ekstrak jamur *Coriolus versicolor*, salah satu bahan immunomodulator, yang dianggap mampu menurunkan kadar kolesterol darah, glukosa darah, dan radikal bebas. Penelitian ini di desain untuk menguji potensi polisakarida krestin dalam menurunkan kadar glukosa darah dan kadar nitrit pada mencit (*Mus musculus*) setelah diinduksi 2-methoxyethanol. Rancangan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Hewan coba yang digunakan adalah mencit betina galur Balb/C sebanyak 49 ekor dibagi dalam 7 kelompok perlakuan, yaitu K (kelompok kontrol), KD (kontrol diabetes yang diinjeksi *streptozotocine* dosis 30 mg/kg bb selama 5 hari), KN (kontrol negatif yang diinjeksi 2-methoxyethanol (2-ME) dosis 300 mg/kg bb selama 15 hari), KP (kontrol positif yang diinjeksi *streptozotocine* dosis 30 mg/kg bb selama 5 hari dan metformin dosis 65 mg/kg bb selama 7 hari), P1 (kelompok yang diinjeksi 2-ME dosis 300 mg/kg bb selama 15 hari dan polisakarida krestin dosis 58,5 mg/kg bb selama 7 hari), P2 (kelompok yang diinjeksi 2-ME dosis 300 mg/kg bb selama 15 hari dan polisakarida krestin dosis 117 mg/kg bb selama 7 hari), dan P3 (kelompok yang diinjeksi 2-ME dosis 300 mg/kg bb selama 15 hari dan polisakarida krestin dosis 175,5 mg/kg bb selama 7 hari). Kadar glukosa darah puasa diukur dengan menggunakan glukometer. Kadar nitrit diketahui pada serum dengan menggunakan spektrofotometri ($\lambda=540$ nm). Hasil penelitian yang telah didapatkan dianalisis menggunakan uji *One Way* Anova dengan bantuan SPSS. Hasil penelitian menunjukkan polisakarida krestin dapat menurunkan kadar glukosa darah puasa pada kelompok P1, P2, dan P3. Polisakarida krestin juga menurunkan kadar nitrit pada kelompok P1, P2, dan P3.

Kata Kunci: Polisakarida krestin, glukosa darah puasa, nitrit oksida, mencit.

1. PENDAHULUAN

2-Metoksietanol merupakan salah satu bahan toksik yang sering dijumpai dalam industri plastik pembungkus makanan, industri kimia sebagai pelarut cat, tinta, vernis, perekat lem, parfum, kosmetik, pelapis porselin, bahan pembersih, dan industri kulit. Senyawa 2-metoksietanol juga merupakan bahan yang sering digunakan dan diketahui mempengaruhi fertilitas [1].

2-Metoksietanol (2-ME) merupakan salah satu turunan Dimetoksi Etilphtalat (DMEP) yang bersifat embriotoksik dan teratogenik.

2-Metoksietanol adalah hasil metabolisme DMEP yang masuk ke dalam tubuh mamalia [2]. Dimetoksi etilphtalat merupakan salah satu turunan dari *Phtalic Acid Ester* (PAEs). Jika senyawa DMEP berada dalam tubuh, maka senyawa ini akan dihidrolisis menjadi 2-metoksietanol yang selanjutnya dioksidasi oleh alkohol dehidrogenase menjadi 2-Metoksyasetaldehid (MALD). Senyawa 2-metoksyasetaldehid jika dimetabolisme lebih lanjut akan berubah menjadi Methoksyacetic Acid (MAA) yang menyebabkan efek toksik dan teratogenik [3]. Senyawa 2-metoksietanol bukan merupakan senyawa yang bersifat

teratogenik dan toksik, melainkan MAA yaitu senyawa metabolit 2-ME lah yang memiliki sifat teratogenik dan toksik [4]. Salah satu senyawa yang dapat meningkatkan kadar *Reactive Oxygen Species* (ROS) adalah 2-metoksietanol [5].

Stress oksidatif disebabkan karena peningkatan Reactive Oxygen Species (ROS). Peningkatan produksi superoksida akan mengakibatkan peningkatan Nitrit Oksida (NO) karena induksi enzim NO sintase [6]. Waktu paruh NO sangat pendek sekitar 3-5 detik, karena NO akan cepat bereaksi dengan O₂ membentuk nitrit (NO₂) dan nitrat (NO₃), yang akhirnya diekskresi lewat ginjal [7]. Peningkatan stres oksidatif yang merupakan implikasi berbagai kerusakan dalam tubuh disebabkan karena penggunaan obat, bahan kimia, dan berbagai pelarut industri [8].

Pada penelitian Widowati disebutkan bahwa timbulnya penyakit kronis seperti aterosklerosis, rematik arthritis, dan diabetes diawali dengan terjadinya stress oksidatif dan kerusakan oksidatif [9]. Peningkatan stress oksidatif tersebut meningkatkan hasil glukosidasi dan liposidasi dalam plasma darah dan jaringan protein. Komplikasi diabetes berkaitan dengan stres oksidatif khususnya pembentukan radikal bebas superoksida. Salah satu contoh bahan diabetonik yang dapat menyebabkan stress oksidatif pada sel β pankreas adalah aloksan [9]. Sumber stres oksidasi pada diabetes diantaranya perpindahan keseimbangan reaksi redoks karena perubahan metabolisme karbohidrat dan lipid yang akan meningkatkan pembentukan ROS dari reaksi glikasi dan oksidasi lipid sehingga menurunkan sistem pertahanan antioksidan diantaranya GSH [10].

Beberapa metode telah dikembangkan di berbagai negara untuk mengurangi dampak toksisitas, teratogenik dan embriogenik yang ditimbulkan oleh senyawa 2-metoksietanol. Salah satu metode tersebut adalah penggunaan Polisakarida Krestin (PSK). Polisakarida krestin merupakan salah satu senyawa terikat protein yang dapat diekstrak dari berbagai macam sumber, salah satunya adalah dari *Coriolus versicolor*. Senyawa ini digunakan untuk meningkatkan respon imun dalam terapi anti tumor [11]. Polisakarida krestin memiliki bahan aktif biologis yang sangat potensial di bidang farmasi seperti anti radiasi, anti kanker, anti HIV, dan kegiatan hiperglikemik (Yoon et al., 2003). Diantara berbagai antioksidan alami, polisakarida umumnya memiliki aktivitas antioksidan yang kuat [13].

Menurut penelitian Darmanto dijelaskan bahwa polisakarida krestin berperan sebagai antioksidan dalam darah yang mampu menetralkan radikal bebas [14]. Pendapat ini didukung Kozarski yang menyatakan senyawa aktif yang ada pada polisakarida dianggap mampu berperan sebagai senyawa anti-diabetik, anti mikrobial, anti inflamasi, anti tumor, sebagai senyawa pencegah penyakit kardiovaskular, dan mencegah agen-agen oksidatif [15]. Pada beberapa kasus menurut Wahyuningsih dan Darmanto pemberian PSK sebelum paparan *M. tuberculosis* dapat berfungsi sebagai tindakan preventif yang mendorong pembentukan antibodi sehingga penurunan antibodi pada penderita tuberculosis tidak terlalu drastis dan masih dapat diatasi dengan memberikan kembali PSK sebagai bentuk kuratif yang mendorong pembentukan lebih banyak lagi antibodi [16].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium genetika molekuler, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

Pada penelitian Wahyuningsih dan Darmanto dijelaskan bahwa pada mencit betina strain Balb/C PSK memiliki potensi toksik (LD₅₀) sebesar 231,8 mg/kg BB [17]. Konsentrasi polisakarida krestin yang digunakan adalah 58,5 mg/kg BB, 117 mg/kg BB, dan 175,5 mg/kg BB. Pada penelitian ini polisakarida krestin yang digunakan dalam bentuk serbuk dari Sankyo, Japan. Polisakarida krestin dosis 58,5 mg/kg BB dibuat dengan melarutkan 1 *sachet* polisakarida krestin dalam 38,5 ml akuades steril. Polisakarida krestin dosis 117

mg/kg BB dibuat dengan melarutkan 1 *sachet* polisakarida krestin dalam 19,2 ml akuades steril. Polisakarida krestin dosis 175,5 mg/kg BB dibuat dengan melarutkan 1 *sachet* polisakarida krestin dalam 12,8 ml akuades steril.

2-Metoksietanol yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japan. Penentuan dosis 2-ME memerlukan data mengenai berat jenis (ρ) air = 1 g/mL dan berat jenis (ρ) 2-ME = 0,965 g/mL. Dari kedua berat jenis tersebut diperoleh perbandingan ρ air : ρ 2-ME = 1 : 0,965 = 1,04 g/mL. Menurut Indium Corporation, 2-metoksietanol memiliki potensi toksik (LD_{50}) sebesar 2370 mg/kg BB [18]. Dosis 2-ME yang akan digunakan adalah 300 mg/kg berat badan.

Dosis metformin tiap kapletnya untuk orang dewasa dengan berat badan 70 kg adalah 500 mg/ 70 kg BB [19], sehingga untuk mencit dengan berat badan 20 gr adalah = $500 \text{ mg} \times 0,0026 = 1,3 \text{ mg/ } 20 \text{ gr BB}$. Nilai 0,0026 merupakan faktor konversi dosis manusia dengan berat badan 70 kg untuk mencit dengan berat badan 20 gr [20]. Pembuatan larutan metformin untuk dosis 65 mg/kg BB dibuat dengan melarutkan 1 kaplet metformin dalam akuades sebanyak 115,4 ml.

Dosis *streptozotocin* (STZ) yang diberikan merupakan *multiple low dose* 30 mg/kg BB dan diberikan secara *intra-peritoneal* selama 5 hari berturut-turut. Untuk mencit dengan berat badan 30 gr, maka jumlah STZ yang dibutuhkan untuk 1 ekor mencit adalah 0,9 mg. Sejumlah 0,9 ml STZ dilarutkan dalam 0,3 ml buffer sitrat. Pembuatan larutan streptozotocin dilakukan dengan cara melarutkan 31,5 mg STZ dalam 10,5 ml buffer sitrat.

Hewan coba yaitu mencit (*Mus musculus*) yang telah dipelihara selama tiga minggu dibagi kedalam tujuh kelompok perlakuan dengan masing-masing kelompok terdiri dari tujuh ekor mencit. Kelompok normal (K) diberi akuades steril sepanjang masa perlakuan. Kelompok kontrol positif (KP) diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan STZ 30 mg/kg BB selama 5 hari berturut-turut secara *intra-peritoneal*, kemudian diberikan pemberian metformin 65mg/kg BB secara per-oral selama 7 hari. Kelompok kontrol negatif (KN) diberi perlakuan diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan 2-ME 300 mg/kg BB selama 15 hari berturut-turut secara *intra-peritoneal*. Kelompok diabetes (KD) diberi perlakuan diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan STZ 30 mg/kg BB selama 5 hari berturut-turut secara *intra-peritoneal*.

Kelompok perlakuan pertama (P1) diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan larutan 2-ME dengan dosis 300 mg/kg BB selama 15 hari, kemudian diberi PSK dengan dosis 58,5 mg/kg BB selama 7 hari. Kelompok perlakuan kedua (P2) diinduksi diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan larutan 2-ME dengan dosis 300 mg/kg BB selama 15 hari, kemudian diinduksi dengan PSK berdosisi 117 mg/kg BB selama 7 hari. Kelompok perlakuan ketiga (P3) yang diinduksi *lard* selama 3 minggu (2 hari sekali) dan 2-ME dengan dosis 300 mg/kg BB selama 15 hari, kemudian induksi dengan PSK berdosisi 175,5 mg/kg BB selama 7 hari. Induksi 2-ME dan STZ dilakukan secara *intra-peritoneal*, sedangkan induksi *Lard*, Polisakarida Krestin, dan Metformin dilakukan secara *per-oral*.

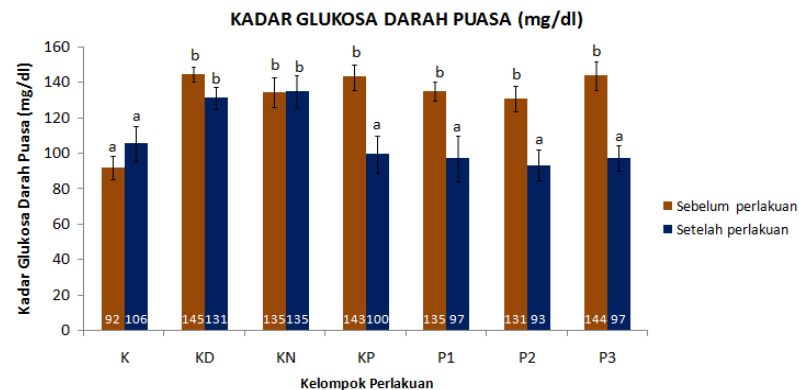
Hewan coba yang telah diberikan *treatment* diukur kadar glukosa darah puasanya pada hari pertama sebelum perlakuan dan hari ke-1 setelah perlakuan PSK. Sampel darah diambil dari vena di daerah ekor mencit yang sudah dipuasakan selama 6 jam dengan menggunakan Glukometer.

Pengukuran kadar nitrit dilakukan dengan menggunakan uji ion nitrit. Griss *Reagent I* dibuat dari 0,3% *sulfanilamide* dalam 2,5% *phosphoric acid*. Dilanjutkan dengan pembuatan Griss *Reagent II* yang dibuat dari *naphtylenediamine* dalam 2,5% *phosphoric acid*. Nilai *Optical Density* (OD) sampel dibaca pada $\lambda = 540 \text{ nm}$ menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Konsentrasi nitrit sampel (M) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan regresi nitrit standart yang telah diketahui sebelumnya sebagai

berikut $y = 0,242x + 0,083$ dengan y merupakan nilai OD, sedangkan x adalah nilai konsentrasi (Pramudya, 2016). Data kuantitatif yang didapatkan dianalisis normalitas datanya menggunakan SPSS 21 dengan taraf signifikansi 0,05 ($\alpha=0,05$).

3. HASIL

Pengukuran kadar glukosa darah puasa dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian pemberian polisakarida krestin pada mencit yang telah diinduksi 2-metoksietanol. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan kadar glukosa darah puasa (Gambar 1) dan perbedaan kadar nitrit oksida (Gambar 2) sebelum dan setelah perlakuan.

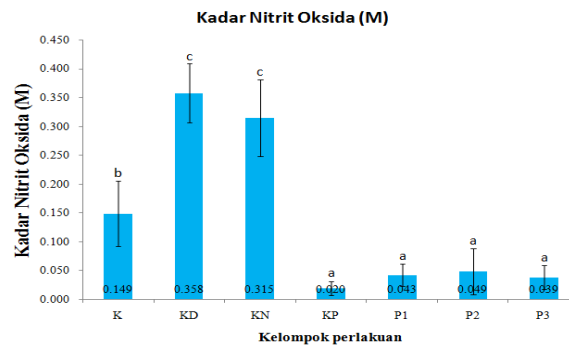


Gambar 1. Perubahan kadar glukosa darah puasa satu hari setelah perlakuan. K: kelompok kontrol normal (tanpa perlakuan); KD: kontrol diabetes dengan perlakuan lard dan STZ 30 mg/kg BB; KN: kontrol negatif dengan perlakuan lard dan 2-ME 300 mg/kg BB; KP: kontrol positif dengan perlakuan lard, STZ 30 mg/kg BB, dan metformin 65 mg/kg BB; P1: perlakuan 1 dengan pemberian lard, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 58,5 mg/kg BB; P2: perlakuan 2 dengan pemberian lard, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 117 mg/kg BB; P3: perlakuan 3 dengan pemberian lard, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 175,5 mg/kg BB.

Berdasarkan gambar 1 sebelum *treatment* dilakukan kadar glukosa darah puasa mencit kelompok P1, P2, dan P3 yang diinduksi 2-metoksietanol mengalami hiperglikemi. Setelah mencit menjalani berbagai *treatment* menggunakan polisakarida krestin (Gambar 1), hasil yang didapatkan menunjukkan kelompok perlakuan P1, P2, dan P3 mengalami penurunan kadar glukosa darah sampai pada kisaran normal. Jika dibandingkan dengan kelompok kontrol diabetes (KD) yang diberi injeksi lard dan STZ namun tanpa *treatment* PSK, maka kelompok P1, P2, dan P3 menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kelompok KD mengalami kondisi hiperglikemik dengan jumlah kadar glukosa darah puasa sebesar 131 mg/dl, sedangkan P1, P2, dan P3 memiliki kadar glukosa darah puasa masing-masing sebesar 97 mg/dl, 93 mg/dl, 97 mg/dl.

Kondisi yang sama juga terjadi pada jumlah kadar nitrit. Gambar 2 memperlihatkan jumlah kadar nitrit kelompok P1, P2, dan P3 yang di *treatment* polisakarida krestin menunjukkan penurunan. Hasil tersebut berbeda dengan kelompok KD yang diinjeksi lard dan STZ, namun tanpa *treatment* PSK. Kelompok KD mengalami peningkatan jumlah kadar NO sebesar 0,358 M, sedangkan P1, P2, dan P3 memiliki kadar nitrit oksida masing-masing sebesar 0,043 M; 0,049 M; 0,039 M.

Berdasarkan hasil tersebut kami berasumsi bahwa STZ secara selektif merusak sel β di pulau langerhans pankreas [21]. Pada penelitian Som juga disebutkan bahwa streptozotocin memiliki sasaran utama pada sel β pancreas [22]. Streptozotocin yang masuk dalam sel β pankreas akan meningkatkan aktivitas *guanyl cyclase* dan pembentukan cGMP [23].



Gambar 2. Perubahan kadar nitrit oksida (NO) setelah perlakuan. K: kelompok kontrol normal (tanpa perlakuan); KD: kontrol diabetes dengan perlakuan *lard* dan STZ 30 mg/kg BB; KN: kontrol negatif dengan perlakuan *lard* dan 2-ME 300 mg/kg BB; KP: kontrol positif dengan perlakuan *lard*, STZ 30 mg/kg BB, dan metformin 65 mg/kg BB; P1: perlakuan 1 dengan pemberian *lard*, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 58,5 mg/kg BB; P2: perlakuan 2 dengan pemberian *lard*, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 117 mg/kg BB; P3: perlakuan 3 dengan pemberian *lard*, 2-ME 300 mg/kg BB, dan PSK 175,5 mg/kg BB.

Guanyl cyclase dan cGMP merupakan penanda utama aktifitas NO, sehingga dengan adanya peningkatan *guanyl cyclase* dan cGMP maka kadar NO dalam tubuh juga meningkat [24]. Pada penelitian Spinaz dikatakan pula peningkatan kadar NO sangat mempengaruhi kondisi sel β pankreas. Sel β pankreas sangat sensitif terhadap kerusakan akibat aktifitas NO dan radikal bebas. Hal inilah yang kemudian menyebabkan kenaikan kadar glukosa darah puasa pada mencit kelompok KD yang diberi pemberian STZ [24].

Kondisi perbedaan signifikan juga terjadi apabila glukosa darah puasa kelompok P1, P2, dan P3 setelah *treatment* PSK dibandingkan dengan kontrol negatif (KN) yang diberi injeksi *lard* dan 2-ME (Gambar 1). Kelompok KN juga mengalami kondisi hiperglikemik dengan jumlah kadar glukosa darah puasa sebesar 135 mg/dl. Peningkatan kadar glukosa darah puasa ini berbanding lurus dengan jumlah kadar nitrit (Gambar 2). Kadar nitrit kelompok KN mengalami kenaikan sampai 0,315 M. Berdasarkan hasil tersebut kami berasumsi bahwa peningkatan kadar glukosa darah puasa dan kadar nitrit disebabkan oleh 2-ME.

Proses kerja 2-ME dalam tubuh biasanya melalui sitoplasma mitokondria [25]. Selain itu di mitokondria sel, 2-ME akan melalui proses respirasi sel yang menyebabkan terjadinya reduksi oksigen spesies. Proses reduksi oksigen spesies ini akan menghasilkan hidroksi (HO), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan superoksida (O_2^-) [26]. Pada proses tersebut, superoksida yang dihasilkan akan terinduksi oleh enzim NO sintase. Induksi enzim inilah yang kemudian menyebabkan peningkatan nitrit oksida (NO) dalam tubuh [6]. Apabila kadar nitrit di dalam tubuh semakin meningkat, maka akan semakin meningkatkan pula kemungkinan terjadinya kerusakan di berbagai organ. Pada penelitian ini apabila kerusakan terjadi pada organ pankreas, tepatnya pada sel β pankreas, maka fungsi sel β pankreas akan terganggu dan terjadilah perubahan kestabilan kadar glukosa darah [26].

Peristiwa yang berbeda terlihat ketika kelompok P1, P2, dan P3 dibandingkan dengan kelompok kontrol positif (KP) yang diinjeksi dengan *lard* dan STZ, kemudian di *treatment* dengan menggunakan metformin. Metformin merupakan senyawa derivat *biguanide* yang biasanya digunakan pada pasien diabetes mellitus [27]. Berdasarkan hasil penelitian, glukosa darah puasa kelompok P1, P2, dan P3 yang di *treatment* dengan PSK jika dibandingkan dengan KP yang di *treatment* dengan metformin tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Gambar 1). Kadar glukosa darah puasa pada kelompok KP berada pada kisaran normal sebesar 100 mg/dl (Gambar 1).

Jumlah kadar glukosa darah puasa KP berbanding lurus dengan jumlah kadar nitrit. Kadar NO kelompok P1, P2, dan P3 tidak berbeda signifikan dengan KP (Gambar 2). Kadar NO

KP sebesar 0,020 M, sedangkan P1, P2, dan P3 sebesar 0,043 M; 0,049 M; dan 0,039 M (Gambar 2). Berdasarkan hasil penelitian yang di dapat kami berasumsi polisakarida krestin mampu meningkatkan aktifitas *glutathione peroxidase* (Gpx) melalui induksi transkripsi ekspresi mRNA [28]. *Glutathione peroxidase* merupakan salah satu enzim yang dapat ditemukan di mitokondria dan sitosol, sehingga dapat dikatakan bahwa sasaran dari polisakarida krestin adalah mitokondria dan/atau sitosol [29]. *Glutathione peroxidase* sendiri adalah enzim yang berfungsi untuk mengkatalisis hidrogen peroksia (H_2O_2) dan hidrogen peroksida organik (ROOH), sehingga mencegah terjadinya peroksidasi lipid dan membran sel serta mengikat radikal bebas [30].

Peningkatan aktifitas *Glutathione peroxidase* akan menyebabkan *glutathione* tereduksi (GSH) bereaksi dengan hidrogen peroksia (H_2O_2) dan hidrogen peroksida organik (ROOH), membentuk *glutathione disulfide* (GSSG) dan H_2O , sehingga jumlah radikal bebas menurun. Terhambatnya produksi radikal bebas inilah yang kemudian menyebabkan kerusakan di berbagai organ menurun dan organ-organ tubuh termasuk sel β pankreas dalam kondisi optimal. Sehingga kadar glukosa darah puasa berada pada kisaran normal.

Berbeda dengan polisakarida krestin, metformin memiliki mekanisme inhibitor pada proses glukoneogenesis di hepar dengan cara mereduksi kemampuan hepar dalam mengambil substrat glukoneogenesis [31]. Selain itu pada penelitian Vilela dikatakan bahwa metformin juga memiliki dampak utama pada penghambatan kompleks I mitokondria [32]. Sasaran utama metformin dalam proses reduksi ROS adalah *mitochondrial complex I* (NADH: *ubiquinone oxidoreductase*) [32]. Komplek I mitokondria sangat berperan dalam proses seluler produksi ROS [33]. Metformin menghambat transport elektron dari NADH dan H^+ pada *mitochondrial complex I* [34]. Hal inilah yang kemudian menyebabkan sistem kerja *mitochondrial complex I* terhambat dan akhirnya menghambat proses seluler produksi ROS. Terhambatnya produksi ROS inilah yang kemudian menyebabkan kerusakan di berbagai organ menghilang dan organ-organ tubuh termasuk sel β pankreas dalam kondisi optimal.

Keseluruhan hasil tersebut menunjukkan bahwa semua dosis polisakarida krestin yang diberikan pada *Mus musculus* memberikan pengaruh terhadap kadar glukosa darah puasa dan kadar nitrit oksida, baik pada dosis 58,5 mg/kg bb (P1); dosis 117 mg/kg bb (P2), maupun 175,5 mg/kg bb (P3).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian polisakarida krestin berpengaruh terhadap kadar glukosa darah puasa *Mus musculus* yang telah terinduksi 2-metoksietanol. Pemberian dosis polisakarida krestin dengan dosis 58,5 mg/kg BB, 117 mg/kg BB, dan 175,5 mg/kg BB dapat menurunkan glukosa darah.
2. Pemberian polisakarida krestin berpengaruh terhadap kadar nitrit *Mus musculus* yang telah terinduksi 2-metoksietanol. Pemberian dosis polisakarida krestin dengan dosis 58,5 mg/kg, 117 mg/kg BB, dan 175,5 mg/kg BB terbukti dapat menurunkan kadar nitrit.

Daftar Pustaka

- [1] Wang W and RE.Chapin., 2000. Differential gene expression detected by supression subtractive hybridization in the cthylene glycol monomethyl ether-induced testicular lesion. *Toxicological Sciences*, Vol. 56, hal. 165-174.
- [2] Hays, S. M., Elswick, B. A. Blumenthal, G.M., Welsch, F., Conolly, R. B.danGargas, M. L., 2000. Development of a Physiologically Based Pharmacokinetic Model of 2-Methoxyethanol and 2-Methoxyacetic Acid Disposition In Pregnant Rats, *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol. 163 No. 1:67-74

- [3] Rumanta, M., TW. Surjowo dan S. Sudarwati 2001. Pengaruh Asam Methoxoacetat terhadap Organ Reproduksi Mencit (*Mus musculus*) Swiss Webster Jantan. *Procciding Institute Technology Bandung*. Bandung.
- [4] Johanson, G., 2000. Toxicity Review of Monomethyl Ether and its Acetate Ester. *Critical Review in Toxicology*. 30 (3):307-345.; 227-239.
- [5] Hayati, A., Lenci Karolina N., Natalia Debi Subani., and Rina Yudiwati., 2014. The Potential of Garciniamangostana Pericarp Extract on Spermatogenesis and Sperm Quality of Mice (*Mus musculus*) After 2- Methoxyethanol Exposure. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. Vol.4, Issue 4, Page 47-51.
- [6] Novelli, M., B. Bonamassa, M. Masini, N. Funel, D. Canistro, V. De Tata, M. Martano, A. Soleti, D. Campani, M. Paolini dan P. Massiello., 2010. Persistent Correction of Hyperglycemia in Streptozotocin-Nicotinamide- Induced Diabetic Mice by A Non-Conventional Radical Scavenger. *Journal Naunyn-Schmied Arch Pharmacol*. Vol. 382, hal 127-137.
- [7] Gunawijaya, E., 2000. Peran Nitrogen Oksida pada Infeksi. *Sari Pediatri*, Vol.2, No.2, Hal.113-119.
- [8] Hayati, A., 2011. *Spermatologi*. Surabaya. Pusat Penerbitan dan Percetakan Unair (UAP). Hal.23-25.
- [9] Widowati, Wahyu., 2008. *Potensi Antioksidan sebagai Antidiabetes*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- [10] Tiwari, A.K., J.M. Rao., 2002. Diabetes mellitus and multiple therapeutic approaches of phytochemicals: Present status and future prospect. *Current Science*; vol 83, 1 , hal 30-38.
- [11] Zhan-Jun, Pan., Yuan Chen., dan Mei Zhou., 2000. Polysaccharide Krestin Enhances Manganese Superoxide Dismutase Activity and mRNA Expression in Mouse Peritoneal Macrophages. [The American Journal of Chinese Medicine](#), Vol 28, hal. 331.
- [12] Yoon, S.J., Yu, M.A., Pyun, Y.R., Hwang, J.K., Chu, D.C., Juneja, L.R., dan paulo, A.S.M., 2003, *The Nontoxic Mushroom Auricularia Auricular Contains a Polysaccharide with Anticoagulant Activity Mediated by Antithrombin*, *Thromb. Res*, Vol. 112, hal. 151-158.
- [13] Zhang, Z., Jin, J., dan Shi, L., 2008, Antioxidant Activity of the Derivate Polysaccharide Extracted from a Chinese Medical Herb (*Ramulus mori*), *Food Science Technology*, Vol. 14 (2), hal. 160-168.
- [14] Darmanto, W., Pidada, I. B. R. and Prihyantoro, E. 2004. *Pemanfaatan Ekstrak Jamur (Polysaccharide krestin) sebagai penghambat apoptosis dan mencegah munculnya kelainan janin akibat induksi 2-Methoxyethanol*. Laporan Penelitian. Universitas Airlangga, Surabaya. Hal 15-19.
- [15] Kozarski, M.S., Anita S. Klaus, Miomir P. N., Leo J. L. D. Van Griensven., Miroslav M. V., Dragica M. J. 2014. Polysaccharides of higher fungi: biological role, structure, and antioxidative activity. *Hem. ind*. Vol. 68 (3), hal 305.
- [16] Wahyuningsih, S.P.A, Darmanto, W., 2012. Uji toksisitas subkronis, dan khusus polisakarida krestin dari ekstrak jamur *Coriolus versicolor* upaya menggali potensi bahan hayati sebagai Imunomodulator respon imun terhadap *Mycobacterium tuberculosis*. Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Airlangga. Hal.41.
- [17] Wahyuningsih, S.P.A., Darmanto, W. 2010. Uji Toksisitas Akut Polisakarida Krestin dari Ekstrak dan Miselium Jamur *Coriolus versicolor*: Upaya Menggali Potensi Bahan Hayati sebagai Immunomodulator Respon Imun Terhadap *Mycobacterium tuberculosis*. Lembaga Penelitian. Universitas Airlangga. Surabaya.
- [18] Indium Corporation of America, Europe, Asia-Pasific. 2014. Lembaran Data Keselamatan. Indium Corporation (Suzhou). Hal. 5.

- [19] ISO. 2009. Informasi Spesialite Obat Indonesia. Jakarta Barat: Ikatan Sarjana Farmasi Indonesia, hal: 235.
- [20] Satriany, Putri. 2010. *Pengaruh Pemberian Ekstrak Herba Daun Sendok (Plantago major, L.) Terhadap Kadar Glukosa Darah Mencit Balb/C Induksi Streptozotocin*. Skripsi. Fakultas Kedokteran: Universitas Sebelas Maret. Hal.19
- [21] Ganong, W. F. 2003. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran* . Ed. Ke 20. EGC. Jakarta. Hal. 320-341.
- [22] Som NS, Praveen V, Shoba S, Radhey S, Kumria MML, Ranganathan S, Sridharan K.,2001. Effect of an anti-diabetic extract of Catharanthus roseus on enzymic activities in streptozotocin induced diabetic rats. *Journal Ethnopharmacol*. Vol. 76, hal. 269 277.
- [23] Eleazu,C.O., Kate Chinedum Eleazu , Sonia Chukwuma and Udeme Nelson Essien. 2013. Review of the mechanism of cell death resulting from streptozotocin challenge in experimental animals, its practical use and potential risk to humans. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders* 2013, Vol. 12, hal.60.
- [24] Spinass, G.A., 1999. The dual role of nitric oxide in islets β -cells. *News Physiol Sci* , Vol. 14, hal 49–54.
- [25] Dreosti, I. E., 1991. *Edition Trace Element, Micronutrient, and Free Radicals*. Humana Press. New Jersey. Hal 25-54.
- [26] Claudia, J.A. 2016. Pengaruh Induksi 2-Methoxyethanol Terhadap Kadar Glukosa Darah Puasa dan Nitrit Pada Mencit (*Mus musculus* L.). Skripsi. Perpustakaan Universitas Airlangga Surabaya. Hal.68-71.
- [27] Nathan, D.M., J. B. Buse, M. B. Davidson et al., 2009. “Medical management of hyperglycemia in type 2 diabetes: a consensus algorithm for the initiation and adjustment of therapy: a consensus statement of the American Diabetes Association and the European Association for the Study of Diabetes,” *Diabetes Care*, vol. 32, no. 1, Hal. 193–203.
- [28] Cruz, A., Lígia Pimentel, Luis M. Rodríguez-Alcalá, Tito Fernandes, Manuela Pintado. 2016. Health Benefits of Edible Mushrooms Focused on *Coriolus versicolor*: A Review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2016, Vol. 4, No. 12, hal. 773-781
- [29] Widiyanti, Endang Sri. 2014. *Kadar Glutathione Peroxidase Plasma Yang Rendah Meningkatkan Risiko Abortus Inkompit Trimester Pertama*. Tesis. Denpasar. Universitas Udayana. Hal 4.
- [30] Kohen, R., dan Nyska, A. 2002. "Oxidation of Biological System : Oxidative Stress Phenomena, Antioxidant, Redox Reaction and Methods for Their Quantification". *Toxicologic Pathology*, Vol. 30, hal. 620-650.
- [31] [Violet B.](#), [Bruno G.](#), [Nieves S.G.](#), [Jocelyne L.M.F.](#), and [Fabrizio A.](#) 2012. Cellular and molecular mechanisms of metformin: an overview. *Clin Sci (Lond)* , Vol. 122(6), hal. 253-270.
- [32] Vilela Danielle Diniz, Leonardo Gomes Peixoto, Renata Roland Teixeira, Nathalia Bebele Baptista, Douglas Carvalho Caixeta, Adrielle Vieira de Souza, Hélen Lara Machado, Mariana Nunes Pereira, Robinson Sabino-Silva, and Foued Salmen Espindola. 2016. The Role of Metformin in Controlling Oxidative Stress in Muscle of Diabetic Rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. *Hindawi Publishing Corporation* .Vol. 2016, Article ID 6978625, hal 1.
- [33] Vinothkumar, K.R., J. Zhu, and J. Hirst, 2014. “Architecture of mammalian respiratory complex I,” *Nature*, vol. 515, no. 7525, Hal. 80–84.
- [34] Turrens, J.F. and A. Boveris., 1980. “Generation of superoxide anion by the NADH dehydrogenase of bovine heart mitochondria,” *Biochemical Journal*, vol. 191, no. 2, hal. 421–427.

KANDUNGAN TANIN SEBAGAI RESISTENSI ANTIBIOSIS TANAMAN KACANG TANAH (*Arachis hypogaea* L.) YANG DIINDUKSI ELISITOR EKSTRAK *Sida rhombifolia* L. DAN *Plantago mayor* L

HENNY L. RAMPE¹, STELLA D. UMBOH², MARHAENUS J. RUMONDOR³

¹Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi Jl. Kampus Unsrat Manado 95115
Email : hennyrampe@yahoo.com

Abstrak

Resistensi terinduksi adalah terjadinya peningkatan resistensi tanaman terhadap infeksi hama dan patogen setelah terjadi rangsangan. Terdapat dua bentuk resistensi terinduksi yaitu *Systemic Acquired Resistance* (SAR) dan *Induced Systemic Resistance* (ISR). Ekstrak tumbuhan sebagai elisitor alami berpotensi penginduksi resistensi tanaman. Penelitian bertujuan mengetahui kandungan tanin tanaman kacang tanah yang diinduksi elisitor ekstrak tumbuhan *Sida rhombifolia* dan *Plantago mayor*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap bentuk faktorial. Perlakuan varietas kacang tanah (V) : Varietas Kelinci (V1), Varietas Gajah (V2), Varietas Jerapah (V3) dan Varietas Lokal (V4). Perlakuan elisitor ekstrak tumbuhan (E) : Kontrol (E0), ekstrak *Sida rhombifolia* (E1) dan ekstrak *Plantago mayor* (E2), dengan 3 kali ulangan. Aplikasi elisitor ekstrak tumbuhan dilakukan saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam (hst), 25 hst dan 40 hst. Analisis tanin dilakukan saat tanaman kacang tanah berumur 60 hst. Penentuan kandungan tanin dengan reagen *Folin Ciocalteu* menggunakan spektrometer. Hasil analisis diperoleh rerata kandungan tanin tertinggi pada perlakuan V2E2 (2.84 %), diikuti perlakuan V4E2 (2.66 %) dan V1E2 (2.34 %). Rerata kandungan tanin terendah pada perlakuan V3E0 (0,41 %), diikuti perlakuan V1E0 (0.63 %) dan V4E0 (0.71 %). Hasil Analisis Varian perlakuan kacang tanah, elisitor ekstrak tumbuhan dan interaksi perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0.05$) terhadap kandungan tanin. Aplikasi elisitor ekstrak tumbuhan *Sida rhombifolia* dan *Plantago mayor* menaikkan kandungan tanin tanaman kacang tanah.

Kata Kunci: Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*), Elisitor Ekstrak *Sida rhombifolia*, *Plantago mayor*, Kandungan Tanin

1. PENDAHULUAN

Resistensi tanaman adalah semua ciri dan sifat tanaman yang memungkinkan tanaman terhindar, mempunyai daya tahan atau daya sembuh dari serangan serangga dan patogen dalam kondisi yang akan menyebabkan kerusakan lebih besar pada tanaman lain dari spesies yang sama. Tanaman menanggapi serangan herbivora melalui dua strategi yaitu resistensi secara langsung dan tidak langsung. Resistensi secara langsung berhubungan dengan ciri struktural tanaman seperti lapisan lilin pada daun, trikoma, ketebalan dinding sel dan lignifikasi dan produksi metabolit sekunder. Pertahanan tidak langsung adalah menarik musuh alami dengan melepaskan senyawa organik volatil untuk melindungi tanaman dari herbivora (Warab, *et al.*, 2012).

Antibiosis adalah mekanisme resistensi yang dipengaruhi oleh senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman inang, yang menyebabkan kematian atau gangguan fisiologis pada serangga hama (Fitt *et al.*, 2002). Selanjutnya Noris dan Kogan dalam Maxwell dan Jennings (1980) menyatakan bahwa senyawa-senyawa kimia yang mempengaruhi sifat resisten tanaman yaitu senyawa anorganik seperti selenium, metabolit primer dan intermediat seperti asam sitrat, sistein dan asam amino aromatik, dan metabolit sekunder seperti isoprenoid, acetogenin, alkaloid, glikosida, flavonoid, benzophenon, coumarin dan tanin.

Resistensi terinduksi adalah terjadinya peningkatan resistensi tanaman terhadap infeksi oleh patogen setelah terjadi rangsangan. Terdapat dua bentuk resistensi terinduksi yaitu *Systemic Acquired resistance* (SAR) dan *Induced Systemic Resistance* (ISR). Resistensi terinduksi dapat dipicu dengan penambahan bahan-bahan kimia atau menginokulasikan patogen nekrotik disebut induksi SAR. Induksi SAR dicirikan dengan terbentuknya akumulasi asam salisilat dan *pathogenesis related-proteins* (PRP) berupa kitinase, b-1,3 glutanase, endoproteinase dan oxalate oksidase (Van Loon & Bakker, 2003 ; Corina *et al.*, 2009). Resistensi terinduksi karena agen biotik non-patogenik disebut ISR seperti rizobakteria.

Resistensi sistemik suatu tanaman dapat diaktifkan dengan menginduksi gen-gen resistensi dalam tanaman dengan memanfaatkan agens penginduksi sifat resistensi. Induksi resistensi dapat dilakukan melalui aplikasi agens hayati seperti rizobakteri nonpatogen dan senyawa kimia sintetis dan nabati (Walters, *et al.*, 2013).

Tumbuhan elisitor adalah suatu tumbuhan yang mengandung senyawa biologis yang dapat menyebabkan peningkatan produksi fitoaleksin bila diaplikasikan pada tumbuhan. Senyawa fitoaleksin dapat mengaktifkan gen resistensi terhadap patogen. Induksi resistensi tanaman oleh aplikasi senyawa elisitor disebut induksi *Systemic Acquired Resistance*.

Penelitian pengaktifan gen resistensi telah dilakukan oleh para peneliti dengan menggunakan elisitor biotik, yang berasal dari bakteri, jamur, virus, senyawa polimer karbohidrat, protein, lemak dan mikotoksin (Walters *et al.*, 2013), dan elisitor abiotik seperti sinar UV, ion-ion logam dan hormon dan molekul-molekul pengkode resistensi tanaman (Larroque *et al.*, 2013). Elisitor dapat memicu respon fisiologis, morfologis dan akumulasi fitoaleksin (Namdeo, 2007), sebagai molekul yang mengaktifkan sinyal transduksi dan menyebabkan aktivasi dan ekspresi gen yang terkait dengan biosintesis metabolit sekunder (Zhao *et al.*, 2005 dan Angelova, *et al.*, 2006).

Penelitian elisitor alami telah dilakukan Suganda (2000) yaitu ekstrak beluntas (*Plucea indica*) berpotensi sebagai penginduksi resistensi tanaman cabai merah terhadap penyakit antraknos *Colletotrichum gloesporioides*. Selanjutnya Somowiyarjo (2001) menunjukkan penggunaan ekstrak tanaman elisitor daun bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*), daun bunga pagoda (*Clerodendrum japonicum*) dapat menginduksi resistensi tanaman cabai terhadap virus Gemini. Tumbuhan sambiloto (*Andrographis paniculata*) berpotensi elisitor tanaman jahe terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. Gajera *et al.*, (2015) mendapatkan *Trichoderma viride* berpotensi elisitor pada tanaman kacang tanah yang terdampak penyakit busuk *Aspergillus niger*, yaitu menginduksi terbentuknya enzim-enzim resistensi Phenylalanine Ammonia Lyase (PAL), Polifenol Oksidase (PO) dan chitinase. Selanjutnya Hoerussalam *et al.*, (2013) mendapatkan bahwa elisitor rizobakteri, asam salisilat, dan benzothiadiazole-S-Methyl dapat menginduksi Kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) termasuk Famili Fabaceae merupakan tanaman semusim, dan sebagai salah satu komoditi palawija yang bernilai ekonomi tinggi. Dalam budidaya

kacang tanah, adanya hama dan patogen merupakan salah satu penyebab menurunnya produksi. Data Badan Pusat Statistik (2016), produksi kacang tanah untuk propinsi Sulawesi Utara dari tahun ke tahun cenderung menurun, pada tahun 2013, 2014 dan 2015 produksi kacang tanah berturut-turut sebanyak 8.805 ton, 7.069 ton dan 3.971 ton. Menurunnya produksi kacang tanah dapat disebabkan teknik budidaya yang tidak tepat, rendahnya hara tanah serta serangan hama dan patogen.

Petani di Indonesia, pada umumnya melakukan pengendalian hama dan patogen dengan pestisida sintetik. Penggunaan pestisida yang berlebihan dan cara aplikasi yang tidak bijaksana memberikan dampak negatif yaitu pencemaran lingkungan, kematian hewan non-target, penyederhanaan rantai makanan alami dan keragaman hayati, bioakumulasi / biomagnifikasi, resistensi hama dan terbunuhnya musuh alami (Djafarudin, 2008 dan Asadi, 2009). Salah satu cara mengurangi ketergantungan pemakaian pestisida adalah dengan penanaman tanaman resisten terhadap serangan hama dan patogen.

Peningkatan produksi kacang tanah dengan menanam varietas resisten terhadap hama dan penyakit merupakan strategi dalam mengantisipasi meningkatnya penggunaan pestisida kimia. Kendala yang ditemui di lapang, penanaman varietas resisten masih diserang hama dan patogen. Hal ini dapat disebabkan ekspresi gen resistensi tidak tepat dalam hal merespon adanya hama dan patogen, bahkan terlambat mensintesis senyawa-senyawa kimia untuk resistensi tumbuhan. Tujuan penelitian ini menguji potensi elisitor ekstrak *Sida rhombifolia* dan *Plantago mayor* sebagai inducer resistensi pada tanaman kacang tanah.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di perkebunan Kelurahan Lansot Sarongsong Kota Tomohon dan Laboratorium Ekologi Jurusan Biologi FMIPA UNSRAT.

2.2 Prosedur penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap bentuk faktorial. Perlakuan varietas kacang tanah (V) : Varietas Kelinci (V1), Varietas Gajah (V2), Varietas Jerapah (V3) dan Varietas Lokal (V4). Perlakuan elisitor ekstrak tumbuhan (E) : Kontrol (E0), ekstrak *Sida rhombifolia* (E1) dan ekstrak *Plantago mayor* (E2), dengan 3 kali ulangan.

2.3 Persiapan Lahan Percobaan dan Aplikasi Pupuk Organik

Lahan percobaan dibersihkan dari gulma dan sisa-sisa tumbuhan (akar dan ranting). Selanjutnya dibuat petak percobaan / bedengan dengan ukuran 4 x 1 m, dengan jarak antara bedengan adalah 50 cm. Penentuan kombinasi perlakuan secara acak pada petak percobaan. Setiap petak percobaan diberi pupuk organik petrogenik sebanyak 20 ton/ha yang diberikan satu bulan sebelum benih kacang tanah ditanam. Pupuk organik diberikan secara merata pada lapisan olah tanah yaitu ± 20 cm dari permukaan.

2.4 Penanaman dan Pemeliharaan Tanaman Kacang Tanah

Setiap petak percobaan ditanami dengan 20 benih kacang tanah, jarak tanam 40 x 30 cm, dengan satu biji per lubang tanam. Penyiangkan dan pembumbunan dilakukan saat tanaman berumur empat minggu bertujuan agar pertumbuhan dan pembentukan polong berlangsung cepat dan baik. Penyiangkan dan pembumbunan kedua dilakukan setelah

tanaman berbunga. Pemeliharaan tanaman dihentikan ketika tanaman menjelang tua yaitu berumur 60-70 hari. Analisis tanin tanaman kacang tanah pada 60 hari setelah tanam.

2.5 Pembuatan Ekstrak dan Aplikasi Elisitor Ekstrak Tumbuhan Pada Kacang Tanah

Tumbuhan *S. rhombifolia* dan *P. mayor* dicuci bersih, dikeringanginkan, kemudian dipotong ukuran 1-2 cm untuk memudahkan penggerusan. Selanjutnya dihaluskan dengan mortal dan diencerkan 1:1 (w/v) dengan buffer fosfat pH 7,0. Ekstrak tanaman selanjutnya disaring dengan kain kasa steril, supernatan dimasukkan dalam botol sampel tertutup, dan disimpan dalam lemari es suhu 10°C. Aplikasi induksi resistensi dengan elisitor ekstrak *S. rhombifolia* dan *P. mayor* dilakukan 3 kali, yaitu ketika tumbuhan berumur 10 hari setelah tanam (hst), 25 hst dan 40 hst, dengan melakukan penyemprotan pada seluruh tumbuhan.

2.6 Analisis Tanin, Preparasi dan Ekstraksi

Tanaman kacang tanah dibersihkan, dikeringanginkan, dipotong sekitar 2 cm, dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 70°C untuk menghilangkan kadar airnya. Bahan kering tanaman dihaluskan dan diayak. Selanjutnya ditimbang 100 g bahan kering, dilarutkan dalam 300 mL etanol 70%, diaduk, diinkubasi 24 jam, disaring untuk memisahkan filtrat dan ampas. Selanjutnya ampas yang diperoleh dilakukan maserasi ulang 2 kali. Filtrat yang diperoleh, dipekatkan dengan *rotary evaporator*, dan diuapkan dengan penangas air (*waterbath*) sampai diperoleh ekstrak untuk uji kualitatif dan penentuan kadar tanin.

2.7 Uji Kualitatif

Uji kualitatif kandungan tanin dengan *Gelatin Test* dan *Test for chlorogenic acid* (Trease dan Evans, 1996). *Gelatin Test* : Ekstrak etanol 70 % ditambah larutan gelatin 1% yang mengandung NaCl, jika timbul endapan berarti mengandung tanin. *Test for chlorogenic acid* : Ekstrak ditambah larutan ammonia kemudian dipapar dengan udara, jika terbentuk warna hijau berarti mengandung tanin.

2.8 Pembuatan Kurva Baku Asam Galat dengan Folin Ciocalteu

Larutan baku induk asam galat dipipet sejumlah tertentu, dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, lalu ditambahkan 1 mL reagen Folin Ciocalteu, dikocok dan didiamkan selama 5 menit. Selanjutnya ditambah 2 mL Na₂CO₃ 15%, dikocok dan didiamkan 5 menit. Selanjutnya ditambahkan aqua demineralisata sampai volume 10 mL, dihomogenkan dan diinkubasi selama 90 menit. Dilakukan pengambilan sejumlah tertentu larutan baku induk asam galat sebanyak tujuh kali, sehingga didapatkan tujuh konsentrasi dan dibuat kurva standar asam galat.

2.9 Penentuan Kandungan Total Tanin

Sebanyak 50 mg ekstrak dilarutkan dalam aqua demineralisata sampai volume 50 mL. Larutan ekstrak yang diperoleh, dipipet sejumlah tertentu dan ditambah 1 mL reagen Folin Ciocalteu, dihomogenkan dan didiamkan selama 5 menit. Selanjutnya ditambah 2 mL larutan Na₂CO₃ 15%, dikocok homogen dan didiamkan selama 5 menit. Selanjutnya ditambahkan aqua demineralisata sampai volume 10 mL dan didiamkan. Larutan ekstrak ditentukan kandungan tanin dengan spektrometer pada panjang gelombang 760 nm.

Kadar tanin total dihitung ekivalen dengan asam galat (*Gallic Acid Equivalent* / GAE).

3. HASIL

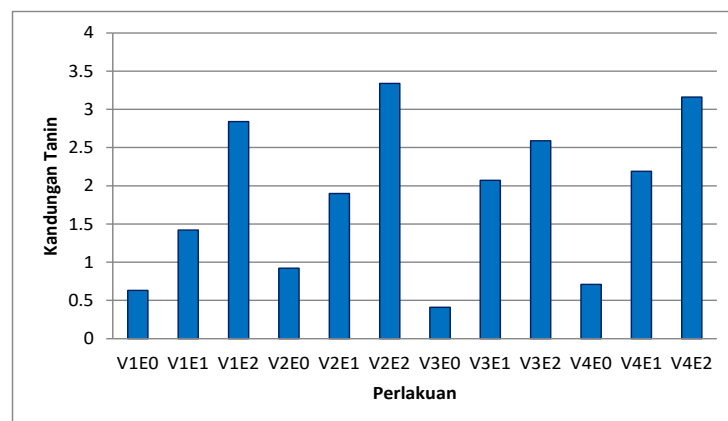
Tanin merupakan senyawa makromolekul yang dihasilkan oleh tanaman dan berperan sebagai penolak nutrisi (*antinutrient*) dan penghambat aktifitas enzim. Senyawa tanin dalam tumbuhan memiliki kemampuan berikatan dengan protein dan pati. Senyawa kompleks tersebut bersifat racun dan dapat menghambat pertumbuhan dan mengurangi nafsu makan herbivora melalui penghambatan aktifitas enzim α -amilase.

Penentuan kandungan total tanin tanaman kacang tanah didahului dengan uji kualitatif dengan *Gelatin Test* dan *Test for chlorogenic acid*. Hasil uji *Gelatin Test* menunjukkan terbentuknya endapan, hal ini disebabkan tanin dapat mengendapkan protein, dimana gelatin merupakan suatu protein. Selanjutnya hasil *Test for chlorogenic acid* menunjukkan terbentuknya warna hijau. Hasil analisis kandungan total tanin pada beberapa varietas kacang tanah ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Kandungan Tanin pada Beberapa Varietas Kacang Tanah

No	Varietas kacang tanah	Total tanin (%)		
		Kontrol (E0)	<i>Sida rhombifolia</i> (E1)	<i>Plantago mayor</i> (E2)
1	Kelinci (V1)	0.63	1.42	2.34
2	Gajah (V2)	0.92	1.90	2.84
3	Jerapah (V3)	0.41	2.07	2.09
4	Lokal (V4)	0.71	2.19	2.66

Berdasarkan hasil analisis total tanin pada Tabel 1, diperoleh rerata kandungan tanin tertinggi pada perlakuan V2E2 (2.84 %), diikuti perlakuan V4E2 (2.66 %) dan V1E2 (2.34 %). Rerata kandungan tanin terendah pada perlakuan V3E0 (0,41 %), diikuti perlakuan V1E0 (0.63 %) dan V4E0 (0.71 %).



Gambar 1. Grafik Kandungan Total Tanin pada Beberapa Varietas Kacang Tanah

Hasil Analisis Varian perlakuan kacang tanah, elisitor ekstrak tumbuhan dan interaksi perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0.05$) terhadap kandungan tanin. Hasil Uji BNT varietas kacang tanah antara V1-V2 ($\text{sig} = 0.02$), V1-V4 ($\text{sig} = 0.00$), V3-V4 ($\text{sig} = 0.01$) berbeda nyata ($P < 0.05$), selanjutnya elisitor ekstrak tumbuhan, antara semua perlakuan E0 – E1, E0 – E2, E1 – E2 ($\text{sig} = 0.00$) berbeda nyata ($P < 0.05$).

Elisitor adalah senyawa yang mampu menginduksi pembentukan senyawa tertentu sebagai respon resistensi tumbuhan. Elisitor ketika diaplikasikan pada tumbuhan dalam konsentrasi tertentu, dapat meningkatkan biosintesis senyawa tertentu. Elisitor sebagai molekul yang mengaktifkan sinyal transduksi dan menyebabkan aktivasi dan ekspresi gen yang terkait dengan biosintesis senyawa metabolit sekunder (Zhao *et al.*, 2005).

Pada perlakuan tanpa elisitor (E0) kandungan tanin tanaman kacang tanah berkisar antara 0.41-0.92%, dan terjadi peningkatan kandungan tanin setelah aplikasi *S. rhombifolia* yaitu berkisar antara 1.42 – 2.19%, dan aplikasi *P. mayor* yaitu berkisar antara 2.09 – 2.84%. Meningkatkan kandungan tanin setelah aplikasi elisitor ekstrak *S. rhombifolia* dan *P. mayor* disebabkan elisitor dapat memicu respon fisiologis, morfologis dan akumulasi fitoaleksin (Namdeo, 2007), juga meningkatkan sintesis metabolit sekunder (Angelova *et al.*, 2006).

Peningkatan respon fisiologis pada tanaman dapat berupa peningkatan reaksi fotosintesis yang menyebabkan terbentuknya senyawa metabolit primer sebagai prekursor sintesis metabolit sekunder. Selain itu, peningkatan respirasi pada tumbuhan dapat menyediakan ATP dan senyawa berenergi lainnya untuk kebutuhan transport aktif tanaman, dan senyawa-senyawa antara untuk kebutuhan sintesis metabolit primer dan metabolit sekunder.

Tumbuhan *S. rhombifolia*, mengandung senyawa metabolit primer dan sekunder seperti alkaloid, kalsium oksalat, tanin, saponin, fenol, asam amino, minyak atsiri, kalsium oksalat, tanin, zat phlegmatik untuk ekspektoran dan pelunak. Tumbuhan *P. mayor* mengandung plantagin, aucubin, asam ursolik, β -sitosterol, vitamin A, B1 dan C, kalium, arabinose, asam galakturonik, choline, catalpol, asam stearat, asam arachidat, asam linoleat dan asam linoleat (Dalimarta, 2003 dan Heriana, 2002).

Aplikasi elisitor ekstrak *S. rhombifolia* dan *P. mayor* pada tanaman kacang tanah dilakukan sebanyak 3 kali yaitu saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam (hst), 25 hst dan 40 hst. Senyawa-senyawa pada elisitor ekstrak tumbuhan diduga masuk ke dalam tanaman kacang tanah melalui difusi atau retakan kutikula pada permukaan epidermis, yang akhirnya mempengaruhi proses fisiologis tanaman kacang tanah. Hasil pengujian elisitor sintetis dengan asam salisilat dan elisitor alami ekstrak tumbuhan, diduga elisitor kimia menginduksi ekspresi resistensi bersifat lokal, sedangkan ekstrak tumbuhan bersifat sistemik yang diserap ke seluruh bagian tumbuhan (Goel & Paul, 2015).

Induksi *Systemic Acquired Resistance* (SAR) seringkali berhubungan dengan berbagai respons resistensi seluler, seperti sintesis *pathogenesis related protein*, phytoalexin dan akumulasi spesies oksigen aktif, perubahan cepat pada dinding sel, dan meningkatkan aktivitas berbagai enzim resistensi (Thakur & Sohal, 2012). Asam salisilat berperan sebagai *molecule system signal* yang menginduksi pembentukan *pathogenesis related protein* dan meningkatkan ketahanan terhadap patogen (Chen *et al.*, 2010).

4. KESIMPULAN

1. Rerata kandungan tanin tertinggi pada perlakuan V2E2 (2.84 %), diikuti perlakuan V4E2 (2.66 %) dan V1E2 (2.34 %). Rerata kandungan tanin terendah pada perlakuan V3E0 (0.41 %), diikuti perlakuan V1E0 (0.63 %) dan V4E0 (0.71 %).
2. Aplikasi elisitor ekstrak tumbuhan *Sida rhombifolia* dan *Plantago mayor* menaikkan kandungan tanin tanaman kacang tanah.

Daftar Pustaka

- [1] Angelova, Z. ; S. Georgiev and W. Roos. 2006. *Elicitation of Plants. Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 20(2) : 72-83.
- [2] Asadi. 2009. Identifikasi Ketahanan Sumber Daya Genetik Kedelai Terhadap Hama Pengisap Polong. *Buletin Plasma Nutfah.* 15(1) : 27-31.
- [3] Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Kacang Tanah Menurut Provinsi (Ton), 1993-2015. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/874>. Diakses 2 Desember 2016.
- [4] BALITKABI. 2017. Deskripsi Varieras Kacang Tanah. <http://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/?p=10511>. Diakses 30 Maret 2017.
- [5] Chen, H., Z. Zhang, K. Teng, J. Lai, Y. Zhang, Y. Huang, Y. Li, L. Liang, Y. Wang & C. Chu. 2010. Up-Regulation of LSBI/GDU3. Effects Gemini Virus Infection by Activating the Salicylic Acid Pathway. *Plant Journal*, Vol 62.
- [6] Corina, V.A. ; D.A. Dempsey and D. F. Klessig. 2009. Salicylic Acid, A Multifated Hormone to Combat Disease. *Annu. Rev. Phytopathol* 47 : 177-206.
- [7] Dalimartha. 2003. *Atlas Tumbuhan Obat Indonesia. Jilid 3.* Puspa Swara. Jakarta.
- [8] Djafaruddin. 2008. *Dasar-dasar Pengendalian Penyakit Tanaman. Bumi Aksara.* Jakarta.
- [9] Gajera, H.P.; D.D. Savaliya; S.V. Patel and B.A. Golakiya. 2015. *Trichoderma viride* Induces Pathogenesis Related Defence Response Against Root Patogen Infection in Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Infect. Genet. Evol.* 34 : 314-315.
- [10] Fitt, G., C. Mares and G. Constable. 2002. *Enhancing Host Plant Resistance of Australian Cotton Varieties.* 23 (1) : 7 pp
- [11] Gunaeni, N.; A.W. Wulandari dan A. Hudayya. 2015. Pengaruh Bahan Ekstrak Tanaman Terhadap Pathogenesis Related Protein dan Asam Salisilat dalam Menginduksi Resistensi Tanaman Cabai Merah terhadap Virus Kuning Keriting. *J.Hort.* 25(2):160-170.
- [12] Harborne. 1987. *Metode Fitokimia. Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan.* Terj. K. Padmawinata dan I. Soediro. ITB. Bandung.
- [13] Heriana. A. 2002. *Tumbuhan Obat dab Khasiatnya.* Penebar Swadaya. Jakarta.
- [14] Hoerussalam ; A. Puewantoro dan A. Khaeruni. 2013. Induksi Ketahanan Tanaman Jagung (*Zea mays*) Terhadap Penyakit Bulai Melalui Seed Treatment Serta Pewarisannya Pada Generasi S1. *Ilmu Pertanian* 16 (2) : 42-59.
- [15] Inayati, A. 2016. Ketahanan Terimbas Tanaman Kacang-kacangan Terhadap penyakit. *Iptek Tanaman Pangan* 11(2) : 175-185
- [16] Maxwell, F. G. and P. R. Jennings. 1980. *Breeding Plants Resistant to Insects.* John Wiley & Sons. New York. 683 pp.
- [17] Namdeo, A.G. 2007. Review Article : Plant Cell Elicitation for Production of Secondary Metabolites. *Pharmacognosy Reviews* 1(1) : 69-79.
- [18] Rampe, H.L.; M. Tulung; J. Pelealu and S.D. Runtunuwu. 2015. The Antibiotic and Antixenotic Resistance of Some Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Varieties After the Organic Fertilizer Application. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES).* 3 (10) : 40-4
- [19] Rampe, H.L. dan S.D. Umboh. 2017. Profil tanin Sebagai resistensi Antibiosis Beberapa Varietas kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) yang Diinduksi Pupuk Organik. Penelitian Unggulan Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [20] Rampe, H. L. dan H. Taluta. Pengukuran Panjang dan Lebar Stomata Daun Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). Jurusan Biologi FMIPA UNSRAT. Manado

- [21] Somowiyaryo, S.; Y. B. Sumardiyono dan S. Martoso. 2001. Inaktif CMV dengan Ekstrak *Mirabillis jalapa*. *Prosiding Kongres Nasional XVI dan seminar PFI. Bogor*. Hal. 218-220.
- [22] Suganda, T. 2000. Introduction of Resistance of Red Papper Against Fruit Antracnose by The Application of Biotic and Abiotic Inducers. *J. Agrikultura*. 11:72-78.
- [23] Thakur, M. & B. S. Sohal. 2012. Role of Elicitor in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection : A Review. *ISRN Biochemistry*. Published online, 28 Jan 2013.
- [24] Trease G.E. & W.C. Evan. 1996. *Pharmacognosy*. Saunders Company, London.
- [25] Van Loon, I.C. and P.A.H.M. Bakker. 2003. *Signaling in Rhizobacteria-plant-Interaction*, Viewed .17 Maret 2013.
- [26] Verma, H.N. ; S. Srivastrava, Varsha and Kumar. 1996. Induction of Systemic Resistance in Plants Againts Viruses by Basic Protein From *Clerodendrum aculeatum* Leaves. *Phytopathol*. 86(1) : 485-492.
- [27] Warab, A. R.; M. G. Paulraj, T. Ahmadd, A. A. Buhrood, B. Hussaine, S. Ignacimuthub and C. Sharmaa. 2012. Mechanisms of Plant Defense Against Insect Herbivores. *Plant Signaling & Behavior*. Vol 7 (10) : 1306-1320.
- [28] Walters, D.L. ; J. Ratsep and N.D. Havis. 2013. Controlling Crop Diseases Using Induced Resistance : Challenges fo the future. *Journal of Experimental Botany*. 18p.
- [29] Zhao, J.; L. Davis and R. Verpoorte. 2005. Elicitor Signal Transduction Leading to Production of Plant Secondary Metabolites. *Biotechnol. Adv*. 23:283-333.

TOKSISITAS JAMUR TANAH FAMILI TRICHOCOMACEAE TERHADAP FUNGISIDA ANTRACOL DI PERTANAMAN SAYURAN KUBIS

STELLA D. UMBOH¹, HENNY L. RAMPE²

¹Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado
HP. 081340091042. E-mail: stellaumboh@gmail.com

²Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Sam Ratulangi, Manado
HP. 081340116710. E-mail: hennyrampe@yahoo.com

Abstrak

Kubis adalah salah satu komoditas hortikultura jenis sayuran-sayuran yang banyak mendapatkan perlakuan penyemprotan pestisida dalam mengendalikan hama dan penyakit tumbuhan. Aplikasi penggunaan pestisida di lahan tanaman sayuran kubis dapat mempengaruhi kehidupan jamur tanah salah satunya adalah jamur dari famili Trichocomaceae. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui toksisitas jamur tanah famili Trichocomaceae terhadap fungisida antracol di pertanaman sayuran kubis. Isolat jamur tanah famili Trichocomaceae diperoleh dengan metode cawan pengenceran. Jamur tanah famili Trichocomaceae diuji toksisitasnya dengan fungisida antracol pada konsentrasi 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm. Pengujian fungisida secara in-vitro menggunakan dua metode yaitu metode umpan beracun dan kertas saring. Berdasarkan pengujian dengan metode umpan beracun pada 5 perlakuan, diperoleh hasil ternyata dari isolat-isolat jamur tanah famili Trichocomaceae yang dominan dan memiliki pertumbuhan tercepat adalah jamur *Aspergillus fumigatus* dengan diameter koloni sebesar 7,15cm, memperlihatkan koloninya tidak terhambat oleh adanya residu fungisida antracol, sedangkan pengujian dengan metode kertas saring ternyata jamur *A. fumigatus* tidak memperlihatkan adanya zona hambatan hingga sampai pada perlakuan E (100ppm) jamur ini mampu hidup dan bertumbuh.

Kata kunci: toksisitas, famili Trichocomaceae, *Aspergillus fumigatus*, fungisida antracol, sayuran kubis

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Modoinding adalah merupakan daerah beriklim dingin dengan wilayah di dataran tinggi yang sangat potensial bagi pengembangan jenis-jenis hortikultura. Salah satu jenis hortikultura yang dapat dikembangkan adalah sayuran kubis. Kubis merupakan jenis sayuran yang sangat dibutuhkan oleh konsumen pangan, oleh sebab itu banyak orang berusaha untuk memproduksinya, tetapi dalam memproduksi sayuran kubis tersebut terdapat kendalanya yaitu adanya serangan hama dan penyakit tumbuhan. Kubis merupakan tanaman sayuran yang paling sering mengalami kerusakan akibat serangan hama dan penyakit [1]. Menurut Untung [2], berbagai jenis hama dan penyakit atau OPT lainnya dapat menurunkan kuantitas dan kualitas hasil-hasil pertanian, dan sangat sering menggagalkan panen, menyebabkan puso, artinya 100% gagal.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengendalikan hama dan penyakit ini sampai pada penggunaan pestisida. Menurut Pattiselanno [3], untuk mengatasi dampak atau akibat yang bersifat merugikan yang ditimbulkan oleh hama dan penyakit dilahan-lahan pertanian yang sudah menjadi masalah serius, maka manusia sejak dahulu berusaha untuk mengurangi/menekan laju kerusakannya dengan menggunakan berbagai cara, baik yang bersifat tradisional maupun yang sudah modern. Dibandingkan dengan teknik-teknik pengendalian hama dan penyakit lainnya, penggunaan pestisida oleh sebagian besar petani dianggap lebih efektif, penggunaannya lebih praktis, dan mendatangkan keuntungan ekonomi yang besar [4].

Pada tahun 1990 dilakukan survei di Sulawesi Utara dan hasilnya menunjukkan bahwa hampir semua petani menggunakan pestisida untuk pengendalian hama dan penyakit pertanian [5]. Tanah sebagai media tumbuh tanaman tidak hanya terdiri atas komponen abiotik tetapi juga mengandung jasad hidup (mikroba tanah) dalam jumlah yang besar. Berbagai ragam aktivitas mikroba didalam tanah sangat berpengaruh terhadap kesuburan tanah. Dampak samping penggunaan aplikasi pestisida dalam mengendalikan penyakit di lahan tanaman kubis adalah adanya residu yang tertinggal didalam tanah dalam jangka waktu lama yang dapat membahayakan biota dan mikroorganisme tanah. Semakin banyak tanaman kubis disemprot dengan pestisida maka akan berpengaruh terhadap akumulasi residu pada tanah. Menurut Rao [6], pestisida yang tidak dapat diuraikan oleh biota tanah bila penggunaannya secara terus menerus maka residunya akan terakumulasi dan dapat mencemari tanah. Banyak jenis biota dan mikroba tanah yang berguna bagi tanah. Aplikasi penggunaan pestisida di lahan tanaman sayuran kubis dapat mempengaruhi kehidupan jamur tanah salah satunya adalah jamur dari famili Trichocomaceae.

Hasil wawancara dengan petani hortikultura yang ada di Kecamatan Modinding dalam mengendalikan penyakit tanaman kubis, mereka banyak menggunakan Fungisida Antracol. Menurut mereka selama mengusahakan tanaman kubis, penggunaan fungisida antracol untuk mengendalikan penyakit terus menerus dilakukan begitupun dengan penggunaan tanah pertanian telah berlangsung lama dilakukan oleh petani tanaman kubis. Menurut mereka pun ketika lahan budidaya kubis telah kurang subur maka pembukaan hutan disekitar areal pertanian dilakukan petani untuk dijadikan lahan baru sebagai tanah pertanian. Melihat kenyataan ini, dapat diduga terdapat kemungkinan pencemaran tanah karena penggunaan pestisida yang terus menerus, hal ini dapat menjadi penyebab makin luasnya tanah pertanian yang tercemar pestisida. Greaves dan Malkomes [1], mengemukakan bahwa perubahan populasi mikroorganisme tanah dapat digunakan untuk memprediksi dampak penggunaan pestisida terhadap tanah.

Penggunaan pestisida untuk memberantas hama atau penyakit tertentu sering mensterilisasi ekosistem tanah, sehingga bakteri dan fungi menurun populasinya di dalam tanah. Mengingat hal-hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang toksisitas jamur tanah khususnya famili Trichocomaceae terhadap fungisida antracol di pertanaman sayuran kubis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan tanaman sayuran kubis di Kecamatan Modinding Kabupaten Minahasa Selatan. Isolasi, identifikasi, dan pengujian toksisitas jamur tanah dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi F-MIPA Universitas Sam Ratulangi Manado.

2.2 Prosedur Penelitian

Sampel tanah diambil di area pertanaman sayuran kubis seluas 10 x 10 meter persegi. Sampel diambil sebanyak 1 kg pada kedalaman 0-30cm. Pengambilan sampel tanah sebanyak 5 kali secara acak yang kemudian dikompositkan menjadi satu.

Isolat jamur tanah famili Trichocomaceae diperoleh dengan metode cawan pengenceran. Metode yang digunakan berdasarkan metode pengenceran yang digunakan oleh Humaidi [7]. Pengenceran yang digunakan ada 4 pengenceran yaitu: pengenceran 1 (10^{-2}), 2(10^{-3}), 3(10^{-4}) dan 4(10^{-5}). Dari masing-masing seri pengenceran tersebut dengan memakai pipet steril diambil 1cc suspensi jamur dan dimasukkan kedalam cawan petri yang telah berisi medium PDA sebelum memadat. Kemudian kultur tersebut diinkubasi pada suhu kamar selama 7 hari [7]. Isolat-isolat jamur tersebut kemudian diisolasi lebih lanjut untuk diamati dibawah mikroskop dan diidentifikasi. Isolat-isolat jamur kemudian diuji toksisitasnya dengan fungisida pada konsentrasi 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm dan 100 ppm. Pengujiannya secara in-vitro dengan menggunakan dua metode yaitu metode pertama adalah metode umpan beracun dengan menumbuhkan inokulum jamur pada medium PDA yang sudah bercampur dengan fungisida [7]. Metode ini dilakukan dengan mencampur larutan fungisida dengan konsentrasi yang berbeda (0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm dan 100 ppm) sebelum medium PDA dalam cawan Petri memadat. Setelah medium PDA memadat, menumbuhkan inokulum jamur yang didapat dengan meletakkan ditengah-tengah medium PDA. Perlakuan ini kemudian dibandingkan dengan perlakuan kontrol yang tidak diperlakukan dengan larutan fungisida. Pengamatan dilakukan dengan mengukur diameter koloni jamur yang tumbuh [7]. Pengamatan dilakukan sampai koloni jamur pada kontrol penuh selama 7 hari.

Metode kedua adalah metode kertas saring yaitu menumbuhkan inokulum jamur pada medium PDA dan meletakkan bulatan kertas saring setelah dicelupkan ke dalam larutan fungisida [7]. Metode ini dilakukan dengan mencelupkan beberapa bulatan kertas saring di dalam larutan fungisida dengan masing-masing konsentrasi 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm dan 100 ppm. Proses selanjutnya, menuangkan medium PDA sebanyak 10cc yang telah mencair dengan suhu 50°C kedalam cawan Petri sampai memadat, kemudian membagi daerah luasan cawan petri yang telah berisi inokulum jamur menjadi empat bagian yang sama besar. Masing-masing bagian luasan tersebut diletakkan bulatan kertas saring yang telah direndam dengan larutan fungisida dengan konsentrasi yang berbeda. Satu biakan jamur dalam medium PDA terdapat empat bulatan kertas saring yang telah direndam dengan larutan fungisida. Kemudian kultur jamur diinkubasi pada suhu kamar selama 7 hari. Pengamatan dilakukan dengan cara mengukur diameter hambatan perkembangan koloni jamur tanah pada cawan petri [7].

2.3 Analisis Data

Cara perhitungan diameter koloni jamur yang tumbuh dengan membuat garis vertikal dan horizontal yang titik potong kedua garisnya tepat di tengah koloni jamur. Cara pengukuran pada cawan petri berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Dimana :

D = diameter koloni jamur yang tumbuh

d1 = diameter vertikal koloni jamur

d2 = diameter horizontal koloni jamur

Kemampuan hambatan relatif fungisida Antracol terhadap pertumbuhan jamur tanah dihitung sampai jamur telah tumbuh. Persentasi hambatan dihitung menurut rumus Pande, dkk. [8] adalah sebagai berikut:

$$HR = \frac{dk - dp}{dk} \times 100 \%$$

Dimana :

HR = hambatan relatif

dk = diameter kontrol

dp = diameter perlakuan

Indeks penghambatan dihitung berdasarkan Vilaseñor, dkk. [9]:

$$\text{Indeks Penghambatan (IP)} = \frac{\text{diameter zona hambat} - \text{diameter kertas cakram}}{\text{diameter kertas cakram}}$$

3. HASIL

Setelah diisolasi dan diidentifikasi, berdasarkan data pengamatan yang dicocokkan dengan buku identifikasi *Compendium of Soil Jamur* (Domsch, dkk., [10] dan Pengenalan Kapang Tropik Umum oleh Gandjar, dkk. [11] serta *Introduction to Food-Borne Jamur* (Samson, dkk. [12] isolat-isolat jamur tanah Famili Trichocomaceae sesuai hasil pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis diperoleh 6 jenis jamur tanah antara lain: *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium citrinum*, *A. nidulans*, *A. sydowii*, *A. flavus*, *A. terreus*, dan *A. niger* (Gambar 1).

Dari ke-7 spesies tersebut di atas, yang memiliki pertumbuhan yang tercepat adalah jamur *A. Fumigatus* diikuti oleh *P. citrinum*, sedangkan spesies yang dominan tumbuh adalah dari genus *Aspergillus*. Menurut Domsch [10] cendawan *Aspergillus* spp. dan *Penicillium* spp. merupakan jamur yang umum ditemukan didalam tanah dan mempunyai penyebaran yang luas, terutama di daerah tropik dan subtropik. Anggota-anggota dari *Aspergillus* adalah saprofit yang ada dimana-mana karena mempunyai spora yang mudah terdistribusi melalui udara. Banyak ditemukan di ladang, padang rumput, tanah hutan, bahkan didaerah penambangan.

Genus *Aspergillus* umumnya mengkontaminasi berbagai substrat. Pada daerah tropik dan subtropik *Aspergillus* lebih banyak dari pada *Penicillium*. Menurut Moncalvo; Kuhn dan Ghannoum [13], kondisi iklim daerah tropis yang hangat dan lembab mendukung pertumbuhan kapang seperti *Aspergillus*. Habitat *Aspergillus* sangat beragam, namun pada umumnya kapang dapat tumbuh pada substrat yang mengandung sumber karbon organik [14].

Selain karena faktor di atas, jamur genus *Aspergillus* tersebar di seluruh alam, terdistribusi luas secara geografis, dan telah ditemukan pada berbagai habitat karena mereka dapat berkoloni pada berbagai macam substrat. Anggota genus *Aspergillus* juga dikenal sebagai biodeteriogens (organisme yang menyebabkan kerusakan bahan). *Aspergillus* adalah salah satu jamur yang paling sering diisolasi dari tanah dan ditemukan dapat berkoloni dan mendegradasi bahan organik dengan cepat. Spora aseksual banyak diproduksi dalam konidiofor yang tahan terhadap berbagai tekanan lingkungan yang memungkinkan organisme untuk bertahan hidup selama periode tidak aktif [15].

Berdasarkan pengujian toksisitas jamur tanah dengan metode umpan beracun dengan

pengujian fungisida antracol maka diperoleh diameter koloni jamur tanah terbesar adalah jamur Isolat 1 (*A. fumigatus*) dengan diameter koloni 7,15cm dan terkecil pada Isolat 5 (*A. flavus*) dengan diameter koloni 3,88cm (Gambar 1).



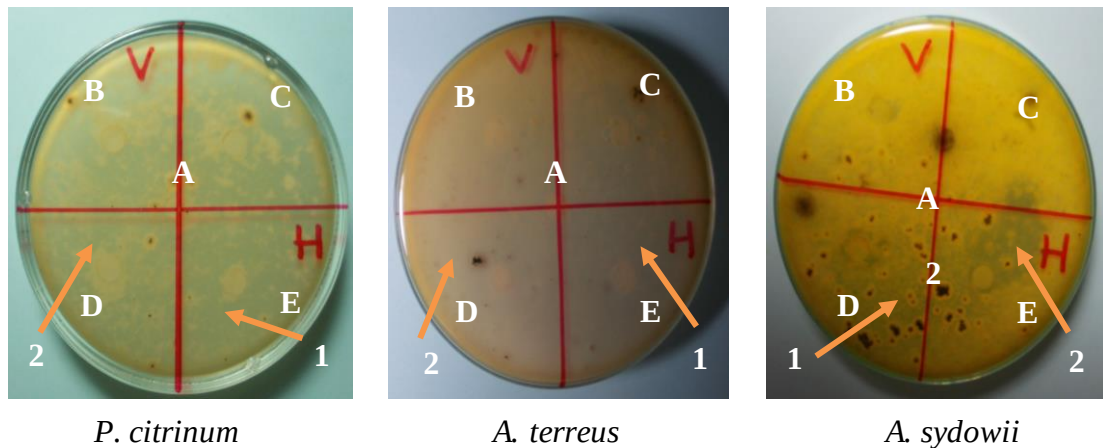
Gambar 1. Diameter Koloni Jamur Terkecil (*A. flavus*)

Berdasarkan nilai Hambatan Relatif (HR) maka dari 7 spesies yang diuji toksisitasnya, ternyata ada 3 spesies jamur yang memiliki koloni terbesar dengan nilai hambatan relatif terkecil yaitu antara lain : *A. fumigatus* (7,15cm) dengan nilai HR (4%), *P. citrinum* (6,96cm) dengan HR (16%), dan *A. Nidulans* (6,73cm) dengan HR (23%), hal ini menunjukkan koloninya tidak terhambat oleh adanya residu fungisida Antracol. Dengan demikian maka ketiga spesies jamur tanah ini masuk pada kategori sangat kurang berpengaruh. Sedangkan spesies jamur tanah yang memiliki koloni terkecil yaitu antara lain : *A. flavus* (3.88cm) diikuti oleh *A. sydowii* (5,5cm). Kedua spesies ini menunjukkan pertumbuhan yang dihambat oleh aplikasi fungisida Antracol. Hal ini dapat dilihat pada nilai HR yang tinggi pada kedua spesies jamur tanah tersebut yaitu sebesar 61% dan 47%.

Melihat hasil di atas ternyata fungisida Antracol sangat berpotensi mempengaruhi pertumbuhan jamur tanah karena mempunyai aktivitas yang kuat. Hasil uji aktivitas fungisida Antracol dengan 5 perlakuan (0, 25, 50, 75 dan 100 ppm) untuk 7 hari inkubasi menunjukkan pengaruh yang sangat besar yang dapat menghambat perkembangan koloni jamur tanah tersebut. Antracol untuk 7 hari inkubasi menunjukkan pengaruh yang sangat besar yang dapat menghambat perkembangan koloni jamur tanah tersebut.

Bervariasinya penghambatan jamur secara in-vitro diatas dari 7 jenis jamur tanah diduga karena masing-masing jenis jamur tanah mempunyai kemampuan dan kepekaan yang berbeda dibanding dengan jenis jamur tanah lainnya. Dugaan lain juga dikemukakan oleh Hassal [16], bahwa fungisida-fungisida golongan Karbamat/Benzimidazole seperti Benomyl, Thiabendazole dan Ethyl/Methyl Thiophanate secara aktif dapat menghambat pertumbuhan jamur pada kisaran konsentrasi dari 1 ppm – 100 ppm.

Hasil pengujian dengan metode kertas saring menunjukkan diameter hambatan terbesar pada perlakuan E (100 ppm) terdapat pada jamur Isolat 5 (*A. flavus*) sebesar 7,96cm dengan Indeks Penghambatan (IP) = 3,44 dan diameter hambatan terkecil pada 3 spesies jamur yaitu Isolat 6 (*P. citrinum*) sebesar 4,59 dengan IP = 1,56, Isolat 2 (*A. terreus*) sebesar 4,70 dengan IP = 1,61, dan Isolat 4 (*A. sydowii*) sebesar 5,38 dengan IP = 1,99 (Gambar 2).



Gambar 2. Diameter Hambatan Terkecil Pada 3 Spesies Jamur Tanah Pada 5 Perlakuan (A-E) (A=0 ppm, B=25 ppm, C=50 ppm, D=75 ppm dan E=100 ppm; 1, 2 : arah panah menunjukkan daerah zona bening)

Pengujian pada semua perlakuan aplikasi fungisida Antracol (A - E) pada 7 spesies Famili Trichocomaceae hanya 1 spesies dari Isolat 1 (*A. fumigatus*) yang memperlihatkan tidak adanya hambatan fungisida Antracol dengan diameter hambatan = 0 dan nilai IP = 0. Berdasarkan pengujian secara in-vitro dengan metode kertas saring tersebut ternyata sampai perlakuan E (100 ppm), ketiga jamur tersebut di atas mampu hidup dan bertumbuh. Hal ini menunjukkan adanya strain jamur yang tahan terhadap fungisida Antracol.

Jamur yang sensitif terhadap bahan antimikroba akan ditandai dengan adanya daerah hambatan disekitar cakram, sedangkan jamur yang resisten terlihat tetap tumbuh pada tepi kertas cakram [17]. Adanya kecenderungan terdapat strain jamur yang tahan terhadap fungisida kontak Propinep dan Mankozeb diduga karena penggunaan fungisida yang termasuk Karbamat dan Ditiokarbamat ini sudah cukup lama. Hal tersebut juga sudah pernah dicatat dimana fungisida Mankozeb cenderung menimbulkan strain jamur tahan [18].

Penggunaan fungisida sistemik secara berulang-ulang dan pada dosis subletal dapat menimbulkan strain jamur yang tahan terhadap fungisida tersebut [1]. Timbulnya strain tahan disebabkan karena jamur mengalami mutasi akibat tekanan penggunaan fungisida. Jamur dapat mendegradasi fungisida yang masuk ke dalam selnya, sehingga yang semula jamur dapat dibunuh lalu menjadi toleran atau tahan [18].

Kemampuan fungisida antracol dalam menghambat pertumbuhan jamur tanah diduga disebabkan oleh senyawa yang terkandung pada fungisida tersebut. Pada umumnya lahan pertanian di Kecamatan Modioinding diduga sudah tercemar oleh pestisida. Penggunaan pestisida yang berlebihan meninggalkan residu kimia dalam tanah. Mikroba yang dapat tumbuh pada fungisida Antracol kemungkinan dapat menggunakan fungisida tersebut untuk proses metabolismenya atau fungisida Antracol tidak berpengaruh pada proses pertumbuhannya.

4. KESIMPULAN

1. Dari 7 spesies yang berhasil diidentifikasi diperoleh 2 spesies jamur tanah Famili Trichocomaceae yang memiliki pertumbuhan koloni tercepat dengan kemampuan adaptasi yang tinggi yaitu jamur *A. fumigatus* dan *P. citrinum*.
2. Hasil Uji toksisitas dengan metode umpan beracun diperoleh 2 spesies jamur tanah dengan diameter koloni terbesar yaitu jamur *A. fumigatus* (7,15cm) dan *P. citrinum* (6,96cm) dan juga diperoleh jamur dengan koloni terkecil yaitu *A. flavus* (13,88cm).
3. Hasil uji toksisitas dengan metode kertas saring diperoleh spesies *A. flavus* dengan koloni terbesar (7,96cm) dengan IP = 3,44 dan terdapat 3 spesies dengan koloni terkecil yaitu *P. citrinum* (4,59cm) dengan IP = 1,56, *A. terreus* (4,70cm) dengan IP = 1,61, dan *A. sydowii* (5,38cm) dengan IP = 1,99.
4. Dari 5 perlakuan (A – E) terdapat 1 spesies yang memiliki ketahanan terhadap fungisida Antracol ditandai dengan diameter koloni terbesar (7,15cm) dan tidak memperlihatkan adanya diameter hambatan dengan nilai IP = 0.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Universitas Sam Ratulangi Manado, Pimpinan LPPM Unsrat Manado, yang telah mendanai penelitian ini melalui Skim Penelitian Dosen Pemula dana PNBP tahun anggaran 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noya, A. I., 2004. *Residu Insektisida Profenofos Pada Sayuran Kubis Dan Tanah Andosol Rurukan Kecamatan Tomohon*. Tesis. Universitas Sam Ratulangi. Program Pascasarjana. Manado.
- [2] Untung, K., 2010. *Diktat Dasar-Dasar Ilmu Hama Tanaman*. Fakultas Pertanian Yogyakarta. Dokumen (Online), hal. 200. Melalui : <<http://doc.ugm.ac.id>> [28/2/2016].
- [3] Pattiselanno, A.E., 2001. *Analisis Sikap dan Perilaku Terhadap Sasi Pada Masyarakat Pulau Saparua Kabupaten Maluku Tengah*. *Eugenia*. 7(4) : 282-288.
- [4] Untung, K., 2006. *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- [5] Sembel, D.T., 2010. *Pengendalian Hayati*. Hama-hama Serangga Tropis dan Gulma. Penerbit ANDI. Yogyakarta M. 2000.
- [6] Rao, N.S.S., 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Terjemahan: Herawati Susilo. UI-Press, Jakarta.
- [7] Humaidi, F; A. Latief; Abadi; Siti dan Ch. Sy. Rasminah., 1999. *Tingkat Residu Jamursida Methyl Thiophanate Dalam Tanah Pada Tanaman Kentang Serta Dampak Terhadap Kehidupan Jamur Tanah Di batu Malang*. <<http://www.peipfi-komdasulsel.org/wp-content/uploads/2012/04/Faisol-Humaidi-Tingkat-Residu-Fungisida-Methyl-Thiophanate-Dalam-Tanah-Pada-Tanaman-Kentang-Serta-Dampak-Terhadap-Kehidupan-Jamur-Tanah-Di-Batu-Malang.pdf>> [26/8/2012].
- [8] Noveriza, R dan M. Tombe., 2003. *Uji In Vitro Limbah Pabrik Rokok Terhadap Beberapa Jamur Patogenik Tanaman*. *Buletin Tro*. Vol. XIV, No. 2.
- [9] Villaseñor, I. M; A. P. Canlas; K. M. Faustino and K. G. Plana., 2004. *Evaluation of The Bioactivity of Triterpene Mixture Isolated From Carmona Retusa (Vahl.) Masam Leaves*. *J. Ethnopharmacol*. 92: 53—56.

- [10] Ilyas, M., 2006. *Isolasi dan Identifikasi Kapang pada Relung Rizosfir Tanaman di Kawasan Cagar Alam Gunung Mutis, Nusa Tenggara Timur*. Biodiversitas. ISSN: 1412-033X Volume 7, Nomor 3, Juli 2006. 216-220 h.
- [11] Gandjar, I., R.A. Samson., Karin van Der Tweel Vermulen., A. Oetari., I. Santoso., 1999. *Pengenalan Kapang Tropik Umum*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- [12] Subowo, Y. B., 2012. *Seleksi Jamur Tanah Pendegradasi Selulosa Dan Pestisida Deltamethrin Dari Beberapa Lingkungan Di Kalimantan Barat*. J. Tek. Ling Vol. 13 No. 2. ISSN 1441-318X. Jakarta, Mei 2012. 221 – 230 h.
- [13] Moncalvo, J. M., 1997. *Evaluation of Jamur Biological Diversity In The Tropics : Systematics Perspective*. Dalam: Janardhanan, K.K, C. Rajendran, K. Natarajan & D.L Hawksworth (eds)., 1997. *Tropical Mycology*. Science Publication, Inc, Enfield : 1-26.
- [14] Carlile, M. J and S. C, Watkinson., 1994. *The Jamur*. Academic Press. London. Pp.482.
- [15] Handayani, N. I, 2015. *Identifikasi Jamur Pada Unit Lumpur Aktif Pengolah Limbah Cair di Industri Tekstil*. PROS SEM NAS MASY BIODIV INDON. Volume 1, Nomor 5, Agustus 2015. ISSN: 2407-8050. DOI: 10.13057/psnmbi/m010306. 993-997 h.
- [16] Hassal, K. A., 1990. *The Biochemystry and Uses of Pesticides : Structure, Metabolism, Mode of Action and Uses in Crop Protection*. Second Edition, ELBS, Macmillan.
- [17] Tortora, G. J; B. R. Funke and C. L. Case., 2001. *Microbiology: An Introductoin*. 7th ed. Benjamin Cumming Addison Wasley Longman, Inc. San Francisco, XXIV + 887 h.
- [18] Sumardiyono, C. N; Pusposendjojo dan S. Trisnowati., 1995. *Ketahanan Beberapa Jamur Patogen Terhadap Jamursida*. Indon. J. Plant Prot. ISSN: 0853-7376. Vol. I, No. 1: 51-55 h.

PENGARUH EKSTRAK ETANOL DAUN SUKUN (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) TERHADAP KADAR UREUM DAN KREATININ DAN GAMBARAN HISTOPATOLOGI GINJAL TIKUS PUTIH JANTAN (*Rattus norvegicus*)

JONI TANDI¹

¹Farmasi STIFA Pelita Mas Palu, jonitandi757@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui kandungan senyawa metabolit sekunder, pengaruh ekstrak etanol daun sukun, dan dosis yang memberikan pengaruh terhadap kadar ureum dan kreatinin dan terhadap regenerasi sel ginjal tikus putih jantan.

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium dengan menggunakan metode *posttest randomized controled-group design*. Sebanyak 25 ekor tikus dibagi menjadi 5 kelompok, tiap kelompok terdiri atas 5 ekor tikus, kelompok I dan II sebagai kelompok kontrol dan kelompok III, IV, dan V sebagai eksperimen. Kelompok I: kontrol normal diberi Na CMC 0,5%; kelompok II: kontrol negatif diberi STZ 30 mg/kg BB tikus secara i.p, pakan tinggi lemak 15 g/hari, dan kelompok eksperimen masing-masing diberi ekstrak etanol daun sukun dengan dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Ekstrak etanol daun sukun mengandung senyawa metabolit sekunder, ekstrak etanol daun sukun memberikan pengaruh terhadap kadar ureum dan kreatinin dan terhadap regenerasi sel ginjal, pemberian ekstrak etanol daun sukun dosis 100 mg/kg BB memberikan pengaruh terhadap kadar ureum dan kreatinin dan dosis 400 mg/kg BB memberikan pengaruh terhadap regenerasi sel ginjal tikus.

Kata Kunci : Ekstrak etanol daun sukun, ureum dan kreatinin, ginjal

1. PENDAHULUAN

World Health Organization (WHO) telah mengumumkan bahwa prevalensi diabetes melitus (DM) akan meningkat di seluruh dunia pada milenium ketiga ini, termasuk negara di Asia Tenggara, di antaranya di Indonesia. Sebagian besar penyakit ini adalah DM tipe 2. Sekitar 40% dari pasien DM terdapat keterlibatan ginjal, sehingga dapat dipahami bahwa masalah penyakit ginjal diabetik (PGD) juga akan mengalami peningkatan di era awal abad 21 ini. Pada dekade ini juga, banyak negara maju PGD tercatat sebagai komponen terbanyak dari pasien baru yang menjalani terapi pengganti ginjal. Keadaan yang sama sudah mulai juga kelihatan di Indonesia (Efendi,*et.al.* 2014)

Tanaman-tanaman yang umum digunakan masyarakat untuk mengatasi penyakit ginjal salah satunya daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rianti Adi Cahyaningsih *et al* (2011) menyatakan bahwa daun sukun memiliki kandungan flavonoid yang berfungsi sebagai nefroprotektif.

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut, apakah ekstrak etanol daun sukun memberikan pengaruh terhadap kadar

ureum dan kreatinin pada tikus putih jantan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan senyawa metabolit sekunder, pengaruh ekstrak etanol daun sukun dan dosis yang memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin pada tikus putih jantan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat bedah, Ayakan mesh 40, Batang pengaduk, Bejana maserasi, Blender (*Sharp*), Cawan porselin 75 mL, Corong kaca (*Pyrex*), Erlenmeyer 50 mL, 100 mL (*Pyrex*), Gelas kimia 100 mL, 250 mL, 500 mL (*Pyrex*), Gelas ukur 10 mL, 100 mL (*Pyrex*), Gunting, Kandang hewan uji, Labu Ukur 50 mL, 100 mL (*Schoot Duran*), Mikroskop (*Olympus Bx 51*), Mortir dan stamper, Pipet tetes, *Photometer 5010 (Roche®)*, Rak tabung reaksi, Rotary evaporator (*Heidolph*), Sonde oral, Spuit injeksi 3 mL, 5 mL (*Terumo Syringe*), Tabung reaksi, Tabung darah (*Effendrof*), Tempat air minum dan makan tikus, Timbangan analitik (*Ohaus*), Timbangan kasar, *Water Bath*.

Alkohol 70%, Aluminium Foil (*Klin pak*), Aqua Destilata (*Aqua*), Aqua Pro Injeksi (*Otsuka*), Asam klorida pekat P (*Merk*), Asam klorida 2N (*Merk*), Asam Sulfat, Betadine, Buffer Sitrat (Asam sitrat dan Natrium Sitrat), Daun Sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg), Etanol 96% (*Merk*), Eosin, Eter, Formaldehyde 37 %W/W (Analar), Formalin-PBS 10%, Hematoxilin, Kapas (*Pro Medic*), Kertas saring, Kit Kreatinin (Asam pikrat dan sodium hidroksida), Kit Ureum, Larutan NaCl 0,9% (*PT. Wirdara Bhakti*), Larutan FeCl₃ 5%, Mayer's Hematoxylin dan Eosin (Apendiks 6.2 Dan Apendiks 6.3), Na-CMC 0,5%, Natrium Sulfat, Pakan tinggi lemak (Pakan standar, lemak babi dan kuning telur bebek), Pereaksi Dragendorff, Pereaksi Lieberman-Burchard, Pereaksi Meyer, Pereaksi Wagner, Serbuk Magnesium P (*Merk*), Streptozotocin (*Bioworld USA*).

2.2 Pembuatan Ekstrak Etanol Daun Sukun

Serbuk daun sukun ditimbang sebanyak 400 gram lalu diekstraksi dengan menggunakan pelarut etanol 96% selama 3 hari, selama perendaman sesekali diaduk untuk mempercepat proses pelarutan. setelah itu ekstrak disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dipisahkan dari pelarut etanol dengan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 60°C dan diuapkan menggunakan *waterbath* dengan suhu 60°C untuk menghilangkan sisa-sisa pelarut yang masih terdapat pada ekstrak hingga diperoleh ekstrak kental daun sukun.

2.3 Pembuatan larutan Streptozotocin

Streptozotocin (STZ) 0,24 gram dilarutkan ke dalam buffer sitrat pH 4,5 hingga 100 mL, selanjutnya dikocok hingga homogen, sehingga dihasilkan larutan STZ stok yaitu 30 mg/kg BB, lalu diinduksikan pada tikus melalui intraperitoneal (i.p).

2.4 Analisis Data

Data yang diperoleh berupa penurunan kadar ureum dan kreatinin dianalisis menggunakan program *software SPSS 23* dengan uji statistik *one way Anova*, pada tingkat kepercayaan 95%. Uji ini digunakan untuk mengetahui perbedaan antar kelompok perlakuan. Apabila ada perbedaan yang signifikan, maka dilakukan dengan uji lanjut *Pos Hoc LSD* digunakan untuk melihat perbedaan yang bermakna antara kelompok perlakuan dengan kelompok kontrol normal dan negatif, serta data hasil pemeriksaan mikroskopis yang diperoleh berupa data skoring gambaran histopatologi ginjal tikus putih jantan selanjutnya dianalisis menggunakan uji *Kruskall Wallis*, untuk mengetahui perbedaan yang signifikan diantara perlakuan digunakan uji *Mann Whitne*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak Etanol Daun Sukun

Pengujian	Hasil
Uji Alkaloid	+
Uji Flavonoid	+
Uji Polifenol	+
Uji Saponin	+
Uji Tanin	+

Keterangan :

(+) : mengandung golongan senyawa yang di uji

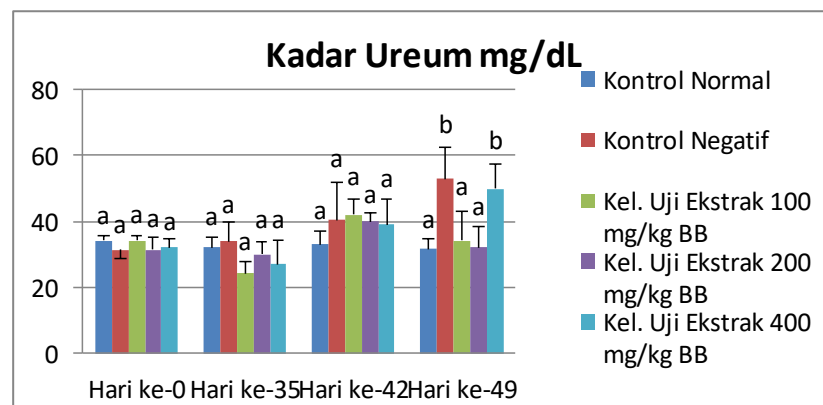
(-) : tidak mengandung golongan senyawa yang di uji

Tabel 2. Tabel Rerata Kadar Ureum

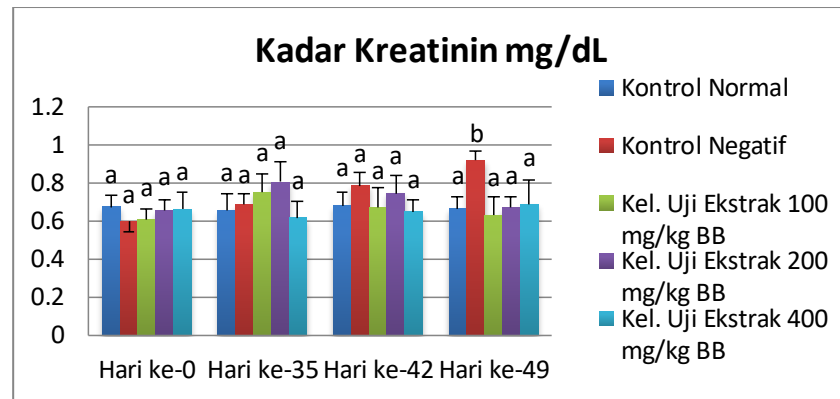
Hari ke-	Rerata±SD Kadar Ureum (mg/dL)					p
	kontrol normal	Kontrol negatif	Dosis 100 mg/kgBB	Dosis 200 mg/kgBB	Dosis 400 mg/kgBB	
0	34,12±1,57	31,36±2,71	34,22±1,56	31,42±3,53	32,06±2,60	0,212
35	32,06± 3,28	33,84±5,91	24,26±3,30	29,98±3,98	26,98±7,41	0,345
42	33,1±4,03	40,48±11,55	41,94±5,00	39,92±2,60	38,9±7,85	0,345
49	31,54 ±3,39	52,94±9,68	34,12±8,83	32,1±6,29	49,88±7,45	0,000

Tabel 3. Tabel Rerata Kadar Kreatinin

Hari ke-	Rerata±SD Kadar Kreatinin (mg/dL)					p
	kontrol normal	Kontrol negatif	Dosis 100 mg/kgBB	Dosis 200 mg/kgBB	Dosis 400 mg/kgBB	
0	0,672±0,063	0,596±0,058	0,604±0,055	0,652±0,057	0,658±0,094	0,309
35	0,654± 0,085	0,682±0,058	0,764±0,099	0,802±0,102	0,614±0,088	0,345
42	0,68±0,066	0,782±0,072	0,666±0,104	0,744±0,088	0,648±0,062	0,77
49	0,664±0,056	0,916±0,047	0,628±0,097	0,666±0,055	0,686±0,125	0,000



Gambar 1. Profil Kadar Ureum Sebelum Perlakuan (Hari ke-0), Setelah Induksi (Hari ke-35), Dan Selama Perlakuan (Hari-42 dan 49)



Gambar 2. Profil Kadar Kreatinin Sebelum Perlakuan (Hari ke-0), Setelah Induksi(Hari ke-35), Dan Selama Perlakuan(Hari-42 dan 49)

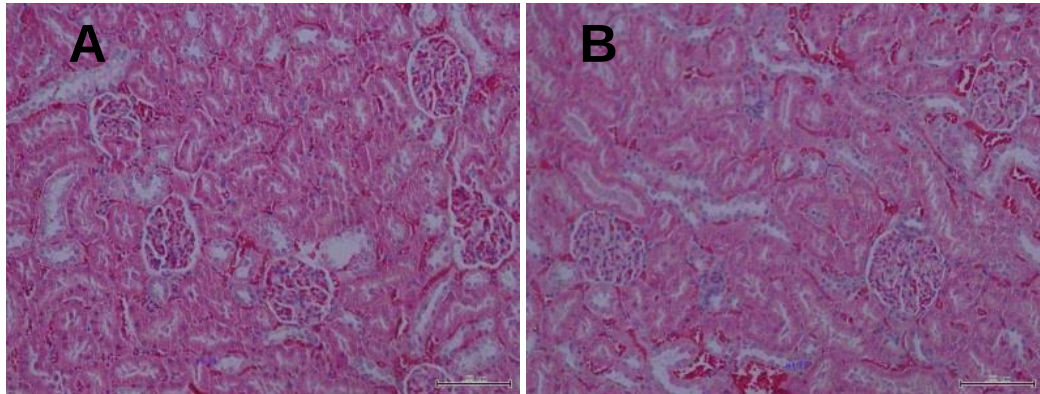
Tabel 4. Skoring tingkat kerusakan ginjal tikus

Kelompok Perlakuan	Tikus	Skoring kerusakan			
		0	1	2	3
Kontrol Normal	1	0	-	-	-
	2	0	-	-	-
	3	0	-	-	-
	4	0	-	-	-
	5	0	-	-	-
Rata-rata		0			
SD		0			
Kontrol Negatif	1	-		2	-
	2	-	-	2	-
	3	-	-	-	3
	4	-	-	2	-
	5	-	-	-	3
Rata-rata		2,4			
SD		0,48			
Dosis 100 mg/kg BB	1	-	1	-	-
	2	-	1	-	-
	3	-	-	2	-
	4	-	1	-	-
	5	-	1	-	-
Rata-rata		1,2			
SD		0,44			
Dosis 200 mg/kg BB	1	-	1	-	-
	2	-	-	2	-
	3	-	1	-	-
	4	-	1	-	-
	5	-	1	-	-
Rata-rata		1,2			
SD		0,44			
Dosis 400 mg/kg BB	1	0	-	-	-
	2	0	-	-	-
	3	-	1	-	-
	4	0	-	-	-
	5	0	-	-	-
Rata-rata		0,2			
SD		0,44			

Sumber : Data primer 2017

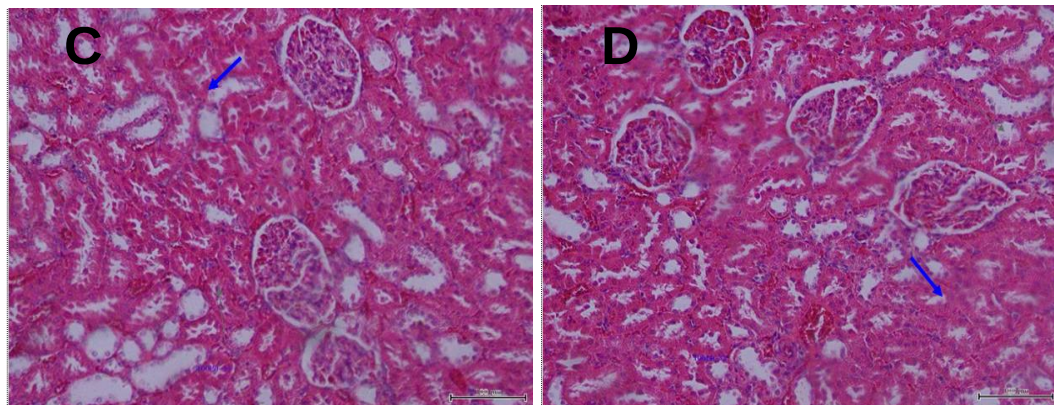
Keterangan: Skor 0= tidak ada perubahan, skor 1= tubular sel bengkak,beberapa sel piknotik dan necrotik (1/3 tubular sel necrotik, skor 2= 2/3 tubular sel necrotik dan skor 3= >2/3 tubular sel necrotik.

Pengamatan histopatologi ginjal dilakukan untuk mengetahui efek pemberian ekstrak daun sukun terhadap gambaran histopatologi ginjal setelah di induksistreptozotocin dan pakan tinggi lemak. Pemeriksaan histopatologis merupakan salah satu pemeriksaan berdasarkan perubahan morfologi jaringan atau sel terinfeksi agen penyakit. Perubahan morfologi jaringan atau sel dapat diamati setelah pewarnaan Hematoxylin dan Eosin dari preperat jaringan terinfeksi.



Gambar 4.1 Histopatologi ginjal tikus skor 0 perbesaran200x dengan pewarnaan H&E

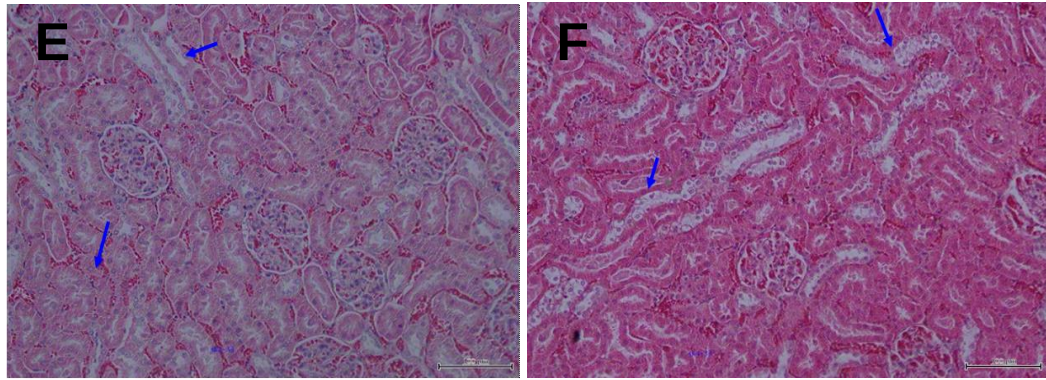
Skor 0 terlihat pada gambar A dan B sel tidak mengalami perubahan struktur sel yaitu selnya masih normal dan padat



Gambar 4.2 Histopatologi ginjal tikus skor 1 dengan pewarnaan H&perbesaran 200x

Keterangan:  = Sel tubulus ginjal mengalami nekrosis

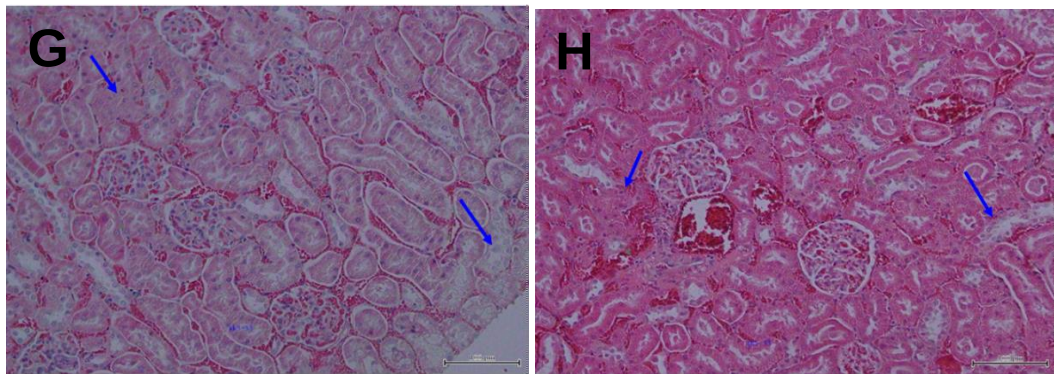
Skor 1 merupakan kerusakan sel ginjal dengan tingkat kerusakan peling ringan yaitu hanya 1/3 bagian sel. Pada gambar C dan D terlihat beberapa bagian sel mengalami nekrosis serta tampak sel tubulus bengkak.



Gambar 4.3 Histopatologi ginjal tikus kontrol negatif perbesaran 200x dengan pewarnaan H&E

Keterangan:  = Sel tubulus ginjal mengalami nekrosis

Skor 2 merupakan kerusakan sel ginjal dengan tingkat kerusakan sedang yaitu 2/3 bagian sel terjadi nekrosis. Pada gambar E dan F tampak sel tubulus proksimal mengalami nekrosis 2/3 bagian.



Gambar 4.4 Histopatologi ginjal tikus skor 3 dengan pewarnaan H&E perbesaran 200x

Keterangan:  = Sel tubulus mengalami nekrosis

Skor 3 merupakan kerusakan ginjal dengan tingkat kerusakan paling berat yaitu lebih dari 2/3 sel yang mengalami nekrosis. Pada gambar G dan H terlihat sel tubulus proksimal tampak nekrosis.

Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg), dosis yang memberikan pengaruh dengan parameter yang diambil adalah kadar ureum dan kreatinin dan gambaran histopatologi ginjal tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*). Bahan uji yang digunakan adalah daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg), yang diperoleh dari daerah Palu Selatan Provinsi Sulawesi Tengah. Untuk memastikan jenis daun sukun yang digunakan maka dilakukan identifikasi tanaman yang dilaksanakan di UPT. Sumber Daya Hayati Sulawesi Tengah Uनेversitas Tadulako dan hasilnya menunjukkan bahwa benar bahan uji yang digunakan adalah daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg).

Metode ekstraksi yang digunakan dalam penelitian yaitu metode maserasi. Maserasi merupakan salah satu teknik penyarian yang dilakukan dengan cara merendam serbuk simplisia dalam cairan penyari. Prinsip kerja maserasi yaitu cairan penyari akan

menembus dinding sel dan akan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif. Zat aktif akan larut karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif didalam sel dan diluar sel, maka larutan yang paling pekat akan terdesak keluar. Peristiwa tersebut akan berulang sampai terjadi keseimbangan konsentrasi antara larutan diluar dan didalam sel. Alasan penggunaan metode ekstraksi ini karena tekstur bahan uji berupa daun lunak dan mudah mengembang dalam cairan penyari. Cairan penyari yang digunakan dalam proses maserasi ini adalah etanol 96%. Etanol yang digunakan sebagai cairan penyari karena tidak beracun, netral, absorpsinya baik. Berdasarkan hasil uji penapisan fitokimia, ekstrak etanol daun sukun positif mengandung senyawa metabolit sekunder, yaitu flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, polifenol. Hal ini sesuai dengan literatur yang diperoleh bahwa daun sukun memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder yaitu flavonoid, alkaloid, saponin, tanin dan polifenol (Mukaromah 2013). Hewan uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*). Alasan penggunaan tikus putih jantan karena memiliki sistem hormonal yang stabil dibandingkan dengan tikus betina dan tikus putih jantan juga mempunyai kecepatan metabolisme obat yang lebih cepat dibanding tikus betina (Mcphee, *et al.*, 2007). Untuk memperkecil variabilitas antar hewan uji, maka hewan yang digunakan harus mempunyai keseragaman bobot yaitu berat badan antara 150-200 gram, umur 3-4 bulan. Tikus diadaptasikan selama 2 minggu untuk menyesuaikan pola hidup dan mencegah terjadinya stres pada saat perlakuan.

Pengujian pengaruh ekstrak etanol daun sukun terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin dan pengaruh terhadap regenerasi sel ginjal tikus dengan menggunakan hewan uji tikus putih jantan sebanyak 25 ekor yang dibagi dalam 5 kelompok perlakuan masing-masing kelompok terdapat 5 ekor tikus. 5 kelompok tersebut yaitu kelompok kontrol normal yang hanya diberi NaCMC 0,5%, kelompok kontrol negatif dan 3 kelompok perlakuan yang diberi pakan tinggi lemak selama 4 minggu dan dilanjutkan dengan pemberian streptozotocin melalui i.p (Intraperitoneal), setelah itu 3 kelompok perlakuan diberi masing-masing ekstrak etanol daun sukun 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB, dan 400 mg/kg BB selama 2 minggu.

Kelompok kontrol normal digunakan sebagai pembanding dengan kelompok perlakuan dan kelompok kontrol negatif. Kelompok kontrol negatif digunakan untuk memastikan adanya peningkatan kadar ureum dan kreatinin akibat pemberian pakan tinggi lemak dan streptozotocin. Penginduksi yang digunakan yaitu pakan tinggi lemak dan streptozotocin. Menurut Siti Rohmah dkk, Pakan tinggi lemak dapat meningkatkan asam lemak bebas dan dapat mengaktifkan kaskade treonin kinase yang menyebabkan fosforilasi treonin pada substrat reseptor insulin (IRS-1 dan IRS-2), yang akan mengurangi kemampuan substrat reseptor insulin untuk mengaktifkan PI 3-kinase (*Phosphatidyl Inositol – 3 kinase*) atau enzim kinase lipid. Keadaan ini menyebabkan transportasi glukosa dan aktifitas sinyal reseptor insulin berkurang. Streptozotocin dapat menyebabkan hiperglikemik dan peningkatan produksi ROS (*Reactive Oxygen Species*) atau spesies oksigen reaktif dari berbagai jaringan yang berasal dari proses autooksidasi dan glikosilasi protein. Hiperglikemia kronik menyebabkan terjadinya glikasi nonenzimatik asam amino dan protein. Pada awalnya, glukosa akan mengikat residu amino secara nonenzimatik menjadi basa Schiff glikasi, lalu terjadi penyusunan ulang untuk mencapai bentuk yang lebih stabil tetapi masih *reversible*, Jika proses ini terus berlanjut, akan terbentuk AGEs (*Advance Glycosilation End-products*) atau produk akhir glikasi yang *irreversibel*. Stres oksidatif merupakan keadaan dimana terjadi ketidakseimbangan antara ROS terhadap antioksidan. Stres oksidatif akan menyebabkan peroksidasi lipid di membran sel endotel glomerulus. Oleh karena itu terjadi penurunan fungsi filtrasi glomerulus, maka ureum dan kreatinin yang seharusnya diekskresikan melalui urin menjadi terhambat (Rohmah, *et al.* 2010).

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh ekstrak etanol daun sukun terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin, dengan mengukur kadar ureum dan kreatinin tikus putih jantan sebelum induksi yang diukur pada awal penelitian, setelah diberi pakan tinggi lemak dan dilanjutkan induksi streptozotocin, setelah pemberian ekstrak etanol daun sukun hari ke-42 dan hari ke-49 untuk melihat efek jangka pendek dan jangka panjang. Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji statistik *one way Anova*, untuk melihat adanya perbedaan yang signifikan dengan nilai $p < 0,05$ atau ($p = 0,000$), jika terdapat perbedaan maka dilanjutkan dengan uji lanjut *Pos Hoc LSD* untuk melihat perbedaan yang bermakna antara kelompok perlakuan dengan kelompok normal dan negatif. Hasil uji statistik *one way Anova* dan uji lanjut *Pos Hoc LSD* dapat dilihat pada lampiran 5.

Hasil statistik *one way Anova* kadar ureum dan kreatinin pada hari ke-0 memperlihatkan nilai ($p > 0,05$), yaitu $p = 0,212$ untuk ureum, dan $p = 0,309$ untuk kreatinin, yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada 3 kelompok perlakuan (dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB) dengan kontrol normal dan kontrol negatif. Hal ini dikarenakan pada hari ke-0 kadar ureum dan kreatinin semua hewan uji masih dalam rentang normal. Menurut Alfita Sari dan Sonlimar M, menyatakan kadar ureum tikus sebesar 34,67 mg/dL masih dapat dikatakan normal, sedangkan rata-rata kadar ureum 41,64-62,67 mg/dL dapat dikatakan mengalami gangguan ekskresi fungsi ginjal (Sari, A, Mangunsong, S. 2014).

Hasil statistik *one way Anova* kadar ureum dan kreatinin pada hari ke-35 setelah pemberian pakan tinggi lemak dan induksi streptozotocin, memperlihatkan nilai ($p > 0,05$), yaitu $p = 0,345$ untuk ureum dan $p = 0,023$ untuk kreatinin, yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada 3 kelompok perlakuan (dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB) dengan kontrol normal dan kontrol negatif.

Hasil statistik *one way Anova* kadar ureum dan kreatinin pada hari ke-42 memperlihatkan nilai ($p > 0,05$) yaitu $p = 0,345$ untuk ureum dan $p = 0,77$ untuk kreatinin, yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada 3 kelompok perlakuan (dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB) dengan kontrol normal dan kontrol negatif. Hal ini disebabkan ekstrak etanol daun sukun belum memberikan pengaruh setelah perlakuan jangka pendek (setelah 7 hari), menurut Rianti Adi Cahyaningsih, dkk, bahwa pemberian ekstrak daun sukun yang kurang lama atau dosis sediaan uji yang kurang tepat, belum melindungi ginjal dari serangan radikal bebas dengan baik (Cahyaningsih, *et al.* 2011).

Hasil statistik *one way Anova* kadar ureum dan kreatinin pada hari ke-49 memperlihatkan nilai ($p < 0,05$), yaitu $p = 0,000$ untuk ureum dan kreatinin, yang menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan pada 3 kelompok perlakuan (dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB) dengan kontrol normal dan kontrol negatif, sehingga dilanjutkan dengan uji lanjut *Pos Hoc LSD* untuk melihat perbedaan yang bermakna antar kelompok perlakuan.

Hasil uji lanjut *Pos Hoc LSD* kadar ureum pada hari ke-49 ekstrak etanol daun sukun 100 mg/kg BB berbeda signifikan dengan kontrol negatif dan ekstrak etanol daun sukun 400 mg/kg BB, tetapi berbeda tidak signifikan dengan kontrol normal. Ekstrak etanol daun sukun 200 mg/kg BB berbeda signifikan dengan kontrol negatif dan ekstrak 400 mg/kg BB, tetapi berbeda tidak signifikan dengan kontrol normal. Sedangkan ekstrak etanol daun sukun 400 mg/kg BB berbeda signifikan dengan ekstrak 100 dan 200 mg/kg BB serta kontrol normal, dan berbeda tidak signifikan dengan kontrol negatif. Kemungkinan disebabkan ekstrak etanol daun sukun 400 mg/kg BB mengandung lebih banyak senyawa alkaloid dibanding dengan ekstrak 100 dan 200 mg/kg BB, karena alkaloid mengandung nitrogen yang merupakan produk hasil metabolisme protein yang dapat mempengaruhi kadar ureum dalam darah.

Hasil uji lanjut *Pos Hoc LSD* kadar kreatinin pada hari ke-49 menunjukkan bahwa 3 kelompok perlakuan (dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB) berbeda tidak signifikan dengan kontrol normal, tetapi berbeda signifikan dengan kontrol negatif. Hal ini disebabkan ekstrak etanol daun sukun mengandung flavonoid dan polifenol dengan aktivitas antioksidan tinggi, menurut Siti Rohmah dkk, bahwa senyawa flavonoid dan polifenol ini berfungsi menangkal radikal bebas dengan cara mendonasikan elektron sehingga reaksi oksidasi berantai pembentukan radikal bebas akan terhambat. Selain itu flavonoid dalam daun sukun mampu menghambat terbentuknya ROS pada sel β pankreas serta melindungi sel-sel glomerulus dari kerusakan akibat stres oksidatif (Rohmah, S, dkk. 2010).

Kelompok perlakuan yang diberikan ekstrak etanol daun sukun dengan 3 variasi dosis memiliki pengaruh terhadap kadar ureum dan kreatinin pada tikus putih jantan yang diberi pakan tinggi lemak dan streptozotocin. Kelompok perlakuan yang diberikan ekstrak etanol daun sukun dengan dosis 100 mg/kg BB, 200 mg/kg BB, dan 400 mg/kg BB dapat mempengaruhi kadar kreatinin, sedangkan pada kadar ureum, dosis 100 mg/kg BB dan 200 mg/kg BB dapat mempengaruhi penurunan kadar ureum, namun pada dosis 400 mg/kg BB kadar ureum meningkat. Perbedaan ini disebabkan karena kreatinin serum dinilai lebih sensitif dan merupakan indikator penyakit ginjal yang lebih spesifik dari pada ureum, dan kreatinin merupakan indeks laju filtrasi glomerulus yang lebih cermat dibandingkan ureum karena kecepatan produksinya terutama pada fungsi massa otot yang sedikit sekali mengalami perubahan (Doloksaribu. 2008).

Dengan melihat nilai rata-rata dan uji lanjut *Pos Hoc LSD* maka dapat disimpulkan bahwa dosis 100 mg/kg BB memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin pada tikus dibandingkan dengan dosis 200 mg/kg BB dan 400 mg/kg BB, kemungkinan ini disebabkan karena pada dosis 200 dan 400 mg/kg BB lebih kental dibandingkan dosis 100 mg/kg BB, karena kekentalan sediaan dapat mempengaruhi laju metabolisme obat.

Berdasarkan hasil pengamatan preparat histopatologi ginjal tikus dan analisis yang dilakukan, terbukti bahwa pemberian ekstrak etanol daun sukun mempunyai efek dalam meregenerasi sel ginjal tikus yang diinduksi streptozotocin dan pakan tinggi lemak. Ditinjau dari pemberian ekstrak etanol daun sukun pada dosis 100, 200 dan 400 mg/kg BB sudah dapat meregenerasi sel ginjal tikus putih jantan, tetapi pada dosis 400 mg/kg BB mempunyai efek yang lebih baik dari dosis 100 dan 200 mg/kg BB. Semakin besar dosis yang diberikan maka semakin besar pula efeknya terhadap regenerasi sel ginjal tikus putih jantan. Hal ini terjadi karena dalam dosis tersebut zat aktif yang terkandung dalam ekstrak daun sukun memiliki jumlah yang lebih banyak sehingga sel-sel dalam ginjal khususnya tubulus proksimal dapat meregenerasi kembali sel ginjal yang rusak. Regenerasi sel ginjal tikus putih jantan disebabkan karena adanya kandungan senyawa flavonoid, polifenol, tanin dan saponin pada ekstrak daun sukun. Zat-zat tersebut berfungsi sebagai asupan antioksidan dengan melawan peroksidasi lipid. Antioksidan adalah zat yang dapat menunda atau mencegah terjadinya reaksi antioksidasi radikal bebas dalam oksidasi lipid, sehingga dapat mencegah atau melindungi kerusakan struktur sel ginjal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan :

1. Ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder yaitu, alkaloid, flavonoid, polifenol, saponin, dan tanin.

2. Ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) memberi pengaruh terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin pada tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*).
3. Ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) dosis 100 mg/kg BB memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar ureum dan kreatinin pada tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*).
4. Ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) dosis 400 mg/kg BB memberikan pengaruh terhadap regenerasi sel ginjal tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*).

Saran

1. Ekstrak etanol daun sukun (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg) dapat dijadikan sebagai modalitas terapi pada penderita nefropati diabetik namun masih memerlukan penelitian dengan metode yang berbeda dengan waktu penelitian yang lebih lama.
2. Perlu dilakukan uji klinik langsung terhadap penderita nefropati diabetik pada manusia.

Daftar Pustaka

- [1] Cahyaningsih, R. A, *et al.* 2011. Efek Nefroprotektif infus Daun Sukun (*Artocarpus altilis* (Park.) Fsb.) Pada Tikus Jantan yang Diinduksi Karbon Tetraklorida. *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 8(2) : 60
- [2] Doloksaribu. 2008. Pengaruh Proteksi Vitamin C Terhadap Kadar Ureum, Kreatinin, dan Gambaran Histopatologis Ginjal Mencit Yang Dipapar Plumbum. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Efendi, I, Lubis, H.R. 2014. *Ilmu Penyakit Dalam*. Internal Publishing. Jakarta. Hal. 2050-2055, 2102-2105.
- [4] Mcphee, Stephen J. *et al.* (2007). *Current Medical Diagnosis & Treatment*. Lange Mc Graw Hill.
- [5] Mukaromah, A. H. 2013. Uji Fitokimia Ekstrak Daun Sukun Kering (*Artocarpus altilis*). *Jurnal Farmasi*. Hal 4
- [6] Ramadhani, A. N. 2009. Uji Toksisitas Akut Ekstrak Etanol Daun Sukun (*Artocarpus altilis*) Terhadap Larva *Artemia Salina* Leach Dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test (Bst). *Skripsi*. Semarang : Universitas Diponegoro Fakultas Kedokteran
- [7] Rohmah, S, *et al.* 2010. Efek Buah Kawista (*Limonia Acidissima* L.) Terhadap Kadar Ureum dan Kreatinin Serum Tikus Model Diabetes Melitus Tipe 2. *Jurnal ilmiah*. Hal 3.
- [8] Sari, A, Mangunsong, S. 2014. Efek Ekstrak Daun Sirih (*Piper betle* L.) terhadap Penurunan Kadar Serum Asam Urat dan Ureum pada Tikus Putih. *Jurnal Penelitian*. Poltekkes Jurusan Farmasi, Sumatera Selatan. Vol. 14 No. 1: 85-92

SKRINING FITOKIMIA EKSTRAK N-HEKSAN BATANG KAYU KUNING (*Arcangelesia flava* (L.) Merr)

MADANIA¹, HAMSIDAR HASAN²

¹Universitas Negeri Gorontalo, madania.tulsyahra@gmail.com

²Universitas Negeri Gorontalo, hamsidar_hasan@yahoo.com

Abstrak

Tanaman kayu kuning (*Arcangelesia flava* (L.) Merr) termasuk dalam famili *Menispermaceae* merupakan tumbuhan liar yang umumnya ditemukan tumbuh di pantai berbatu atau di tepi-tepi hutan, pada ketinggian 100 m sampai 800 m di atas permukaan laut dan merupakan salah satu tanaman yang tumbuh di daerah pegunungan Atinggola Kabupaten Gorontalo utara dengan ketinggian 25 dpl. Batang kayu kuning mengandung senyawa aktif yang bermanfaat membantu proses penyembuhan beragam penyakit. Tujuan penelitian ini untuk menskrining senyawa fitokimia dari ekstrak n-heksan batang kayu kuning. Sebanyak 500 gram serbuk batang kayu kuning diekstraksi menggunakan pelarut n-heksan dengan metode maserasi dan diidentifikasi menggunakan reagen kimia dan KLT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak n-heksan batang kayu kuning menggunakan reagen kimia positif mengandung senyawa flavonoid dan alkaloid dan dengan metode KLT positif mengandung flavonoid dengan nilai Rf 0,5 dan positif alkaloid dengan nilai Rf 0,2.

Kata Kunci: Skrining Fitokimia, Batang Kayu Kuning, n-Heksan

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pengobatan tradisional secara kedokteran timur sudah semakin maju seiring dengan perkembangan kedokteran barat, bahkan keberadaannya telah diakui dunia sebagai pengobatan yang efektif, efisien, aman, dan ekonomis. Pengobatan dengan menggunakan tumbuhan obat pun telah mengarah pada materi pelajaran di sejumlah akademi internasional (Wijayakusuma [1]). Penggunaan bahan alam sebagai obat tradisional di Indonesia telah dilakukan oleh nenek moyang kita sejak berabad-abad yang lalu. Obat tradisional adalah obat yang didapat dari bahan alam (mineral, tumbuhan, atau hewan), diolah secara sederhana berdasarkan pengalaman, dan digunakan dalam pengobatan tradisional (Putra [2]).

Menurut Kementerian Kehutanan RI [3], Indonesia merupakan negara yang kaya akan tanaman obat dan sangat potensial untuk dikembangkan, namun belum dikelola secara maksimal. Kekayaan alam tumbuhan di Indonesia meliputi 30.000 jenis tumbuhan dari total 40.000 jenis tumbuhan di dunia, 940 jenis diantaranya merupakan tumbuhan berkhasiat obat (jumlah ini merupakan 90% dari jumlah tumbuhan obat di Asia). Penggunaan bahan alam sebagai obat cenderung mengalami peningkatan dengan adanya isu *back to nature* dan krisis berkepanjangan yang mengakibatkan turunnya daya beli masyarakat terhadap obat-obat modern yang relatif lebih mahal harganya. Obat bahan alam juga dianggap hampir tidak memiliki efek samping yang membahayakan. Pendapat itu belum tentu benar karena untuk mengetahui manfaat dan efek samping obat tersebut secara pasti perlu dilakukan penelitian dan uji praklinis serta uji klinis (Wijayakusuma [1]).

Beberapa tanaman obat tradisional telah diakui secara Internasional dan terbukti manjur menurut hasil penelitian para ahli di dalam maupun di luar negeri, namun masih banyak tanaman yang belum diketahui senyawa kimianya aseperti kayu kuning (*Arcangelisia flava* L.). Hasil survey yang telah dilakukan oleh tim-tim peneliti RISTOJA 2012 mengenai jenis-jenis tanaman obat yang digunakan oleh masyarakat Desa Sigaso Kecamatan Atinggola Gorontalo Utara dan menurut informasi dari pengobat didaerah setempat menunjukkan bahwa banyak tanaman obat yang belum teridentifikasi dan telah digunakan secara empiris oleh masyarakat setempat untuk berbagai macam penyakit. Salah satu tanaman digunakan untuk mengobati segala penyakit adalah tanaman kayu kuning (*Arcangelisia flava* L.).

Tanaman kayu kuning (*Arcangelesia flava* (L.) Merr) termasuk dalam famili *Menispermaceae* merupakan tumbuhan liar yang umumnya ditemukan tumbuh di pantai berbatu atau di tepi-tepi hutan, pada ketinggian 100 m sampai 800 m di atas permukaan laut yang digunakan sebagai obat tradisional. Batang kayu kuning merupakan salah satu tanaman yang tumbuh di daerah pegunungan Atinggola Kabupaten Gorontalo utara dengan ketinggian 25 Dpl. Menurut batra setempat tanaman tersebut dapat mengobati penyakit lemah syahwat, obat kolesterol dan diabetes melitus.

Penapisan fitokimia merupakan penapisan kandungan kimia secara kualitatif untuk mengetahui golongan senyawa yang terkandung dalam suatu tumbuhan yang memiliki khasiat sebagai kesehatan, (Kartika [4]). Tumbuhan ini tergolong baru di Indonesia tetapi sudah mulai dikenal oleh masyarakat di Indonesia dan sudah digunakan sebagai tanaman obat untuk mengobati berbagai jenis penyakit dan juga telah dibuktikan dalam bidang fitokimia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kayu Kuning

Tanaman kayu kuning merupakan tumbuhan liar, yang umumnya ditemukan di pantai berbatu atau ditepi hutan, pada ketinggian 10 m sampai 800 m diatas permukaan laut. Berbunga pada bulan Juli- September, pengumpulan bahan baku sebaiknya pada musim kemarau. Tanaman kayu kuning mempunyai morfologi habitus, terna, memanjat, menahun, panjang mencapai 20 m. Batang bulat, membelit, kasar, berwarna coklat kehitaman, kayu berwarna kuning cerah. Daun, tunggal, tersebar, berseling, tangkai silindris, pangkal membulat, panjang 10-20 cm, bentuk oval ujung runcing, pangkal tupul, tepi rata, panjang 15-20 cm, lebar 10-16 cm atau 7-20 cm, pertulangan menjari, permukaan licin, kaku, hijau cerah mengkilat. Bunga majemuk, terletak diketiak daun, bentuk malai, dengan daun penumpu, bunga sempurna, berkelamin ganda, kelopak berlepasan, bentuk segitiga, panjang 2-8 mm, hijau, benangsari jumlah 6, kepala sari bulat, kepala putik beruang 3, taju bercuping putih kehijauan, atau putih kekuningan. Buah, kotak, berusuk 3, bulat, permukaan berbulu, hijau, Biji bulat, kasar, kecil coklat. Akar tunggang berwarna coklat kehitaman. (Widyaningrum [5]).

Klasifikasi tanaman (Widyaningrum [5]) sebagai berikut :

Regnum	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Ranunculales
Famili	: Menispermaceae
Genus	: Arcangelisia
Species	: <i>Arcangelisia flava</i> (L.) Merr

Kayu dan Daun kayu kuning mengandung : saponin, flavonoid, dan tannin disamping itu juga mengandung alkaloida (Widyaningrum [5]).

a. Alkaloid

Alkaloid adalah senyawa bersifat basa yang mengandung 1 atau lebih atom nitrogen, sebagian besar dari sistem siklik, alkaloid sering kali beracun bagi manusia, namun juga memiliki aktivitas fisiologi yang menonjol sehingga digunakan secara luas dalam bidang pengobatan.

b. Flavonoid

Flavonoid adalah senyawa yang larut dalam air yang merupakan senyawa fenol, umumnya flavonoid terdapat pada tumbuhan sebagai glikosida dan mengandung sistem aromatik yang terkonjugasi sehingga menunjukkan pita serapan kuat pada daerah spektrum UV dan spektrum tampak.

c. Tanin

Tanin dapat bereaksi dengan protein membentuk kopolimer mantap yang tidak larut dalam air, secara kimia terdapat dua jenis utama tanin yaitu; tanin terkondensasi dimana tanin terkondensasi secara biosintesis dapat dianggap terbentuk dengan cara katekin tunggal yang membentuk senyawa dimer dan oligomer yang tinggi dan tanin terhidrolisis mengandung ikatan ester yang dapat terhidrolisis jika dididihkan dalam asam klorida encer.

d. Saponin

Saponin dapat membentuk larutan koloidal dalam air dan bila dikocok akan membus, saponin dapat bersifat toksik terhadap ikan dan hewan berdarah sehingga saponin dimanfaatkan sebagai racun ikan, pada konsentrasi rendah saponin sering menyebabkan hemolisis sel darah merah pada tikus.

2.2 Maserasi

Istilah maserasi berasal dari bahasa latin ‘macerare, yang artinya “merendam” (Ansel [6]). Maserasi adalah cara ekstraksi paling sederhana. Bahan simplisia yang dihaluskan sesuai dengan syarat farmakope (umumnya terpotong – potong atau berupa serbuk kasar) disatukan dengan bahan pengekstraksi (Voight [7]) Maserasi adalah proses pengekstrakan simplisia dengan menggunakan pelarut dengan beberapa kali pengocokan atau pengadukan pada temperatur ruangan (kamar). Remaserasi berarti dilakukan pengulangan penambahan pelarut setelah dilakukan penyaringan maserat pertama dan seterusnya (Harborne [8]).

Maserasi dilakukan dengan cara merendam serbuk simplisia dalam cairan penyari. Cairan penyari akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif, zat aktif akan larut dan karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam sel dengan yang diluar sel, maka larutan yang terpekat di desak keluar. Peristiwa tersebut berulang sehingga terjadi keseimbangan konsentrasi antara larutan di luar sel dan di dalam sel. Maserasi digunakan untuk penyarian simplisia yang mengandung zat aktif yang mudah larut dalam cairan penyari, tidak mengandung zat yang mudah mengembang dalam cairan penyari, tidak mengandung benzoin, styraks dan lain-lain. Keuntungan cara penyarian dengan maserasi adalah cara pengerjaan dan peralatan yang digunakan sederhana dan mudah diusahakan (Harborne [8]).

Maserasi adalah cara ekstraksi yang paling sederhana. Bahan simplisia yang dihaluskan sesuai dengan syarat farmakope (umumnya terpotong-potong atau berupa serbuk kasar) disatukan dengan bahan pengekstraksi. Selanjutnya rendaman tersebut disimpan terlindung dari cahaya langsung (mencegah reaksi yang dikatalisis cahaya atau perubahan warna) dan dikocok kembali. Waktu lamanya maserasi berbeda-beda, masing-masing farmakope mencantumkan 4-10 hari. Menurut pengalaman, 5 hari telah memadai untuk memungkinkan berlangsungnya proses ekstraksi. Setelah selesai waktu maserasi, artinya

keseimbangan antara bahan yang diekstraksi pada bagian dalam sel dengan yang masuk ke dalam cairan telah tercapai maka proses difusi segera berakhir. Persyaratannya adalah rendaman tersebut harus dikocok berulang-ulang (kira-kira 3 kali sehari). Keadaan diam selama maserasi menyebabkan turunnya perpindahan bahan aktif. Secara teoritis pada suatu maserasi tidak memungkinkan terjadinya ekstraksi absolut. Semakin besar perbandingan simplisia terhadap cairan pengekstraksi, akan semakin banyak hasil yang diperoleh (Voigt [7]).

2.3 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Kromatografi Lapis Tipis (KLT), dapat digunakan dengan 2 tujuan yaitu sebagai metode untuk mencapai hasil kualitatif, kuantitatif, preparatif dan untuk menjajaki sistem fase gerak dan sistem fase diam yang akan digunakan pada kromatografi kolom ataupun kromatografi cair kinerja tinggi. Teknik operasional pada KLT hampir sama dengan KK, namun sebagai pengganti kertas adalah lapisan tipis dari partikel halus adsorben pada permukaan lempeng gelas, logam, atau plastik. Fase diam pada KLT sering disebut adsorben, walaupun pada kondisi tertentu dapat berfungsi sebagai penyangga zat cair pada sistem partisi. Dengan demikian penggunaan istilah adsorben bukan berarti bahwa mekanisme pemisahan selalu berdasarkan adsorpsi. Pemisahan dapat berdasarkan adsorpsi atau partisi, tergantung kondisi percobaan dan metode pembuatan lempeng (Harborne [8]).

Kromatografi lapis tipis digunakan pada pemisahan zat secara cepat, dengan menggunakan zat penyerap berupa serbuk halus yang dilapiskan serba rata pada lempeng kaca. Lempeng yang dilapis, dapat dianggap sebagai “kolom kromatografi terbuka” dan pemisahan didasarkan pada penyerapan, pembagian atau gabungannya, tergantung dari jenis zat penyerap dan cara pembuatan lapisan zat penyerap dan jenis pelarut (Depkes RI [9]).

3 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental murni untuk menskrining senyawa fitokimia dari ekstrak n-heksan batang kayu kuning, yang dilaksanakan di Laboratorium Fitokimia Jurusan Farmasi UNG pada bulan Juli 2017.

Tahap penelitian dimulai dengan pengambilan sampel di Atinggola, disortasi dan dibersihkan kemudian diangin-anginkan. Sampel batang kayu kuning dibuat menjadi serbuk yang selanjutnya dilakukan proses ekstraksi.

Serbuk kayu 500 gram direndam dalam 5000 ml metanol selama 3 x 24 jam pada suhu kamar. Ekstraksi diulang sampai diperoleh filtrate akhir yang tidak berwarna. Dengan cara yang sama, residu kemudian diekstraksi dengan n-Heksan sampai diperoleh fraksi heksan. Filtrat yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan menggunakan evaporator pada suhu 40-50°C dan 50 rpm. Ekstrak kemudian diidentifikasi dengan reagen kimia dan kromatografi lapis tipis dengan eluent etil asetat : heksan perbandingan 0,5 : 9,5.

4 HASIL

Tabel 1. Perhitungan Rendamen dari Hasil Ekstraksi Batang Kayu Kuning

Berat Sampel (gram)	Jumlah Pelarut (ml)	Jumlah Ekstrak (gram)	Rendamen (%)
500	5000	51,3	10,26 %

Pada tabel 1 terlihat berat sampel batang kayu kuning yang diekstraksi dengan n-heksan, menghasilkan 51,3 gram ekstrak kental dan hasil perhitungan rendamennya adalah

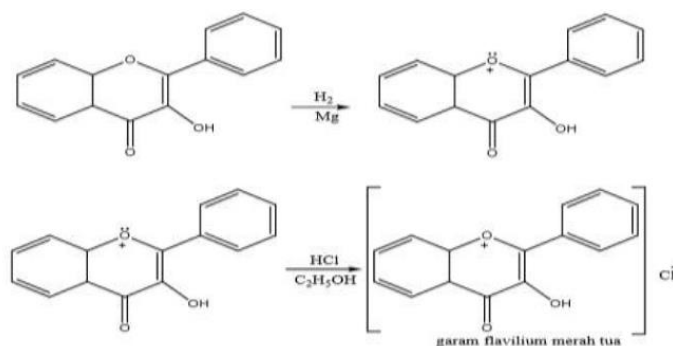
10,26%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase tersebut berada pada kisaran ekstraksi sempurna (Dirjen POM [10]). Selain itu Menurut Harbone [8] Semakin tinggi nilai rendamen semakin banyak jumlah ekstrak yang dihasilkan. Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi hal ini disebabkan metode tersebut sederhana dan mudah dan juga mempertimbangan komponen kimia yang dikandung oleh ekstrak batang kayu kuning tidak tahan pemanasan. Mekanisme terekstraksinya komponen kimia adalah terjadinya proses difusi dimana cairan penyari masuk menembus sel-sel tanaman atau simplisia karena perbedaan konsentrasi didalam dan diluar sel.

Tabel 2. Hasil Uji Skrining Fitokimia Ekstrak Batang Kayu Kuning dengan Reagen Kimia

Reagen Kimia	Hasil Uji	Simpulan
Ekstrak + Mg + HCl Ekstrak AlCl_3	Larutan berwarna merah Larutan berwarna kuning	Positif Flavonoid
Ekstrak + Dragendorff	Larutan berwarna orange dengan endapan putih	Positif Alkaloid
Ekstrak + Liebermann Bouchardat	Larutan tdk berwarna hijau kecoklatan	Negatif Steroid
Ekstrak + Liebermann Bouchardat	Larutan tdk berwarna merah kecoklatan	Negatif Terpenoid

Uji kandungan kimia menggunakan metode skrining fitokimia yang bertujuan untuk mengetahui dan memberikan gambaran awal komposisi senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak kental batang kayu kuning secara kualitatif. Hasil skrining fitokimia terhadap ekstrak batang kayu kuning (*Arcangelisia flava* (L) Merr) yang berasal dari Kecamatan Atinggola Kabupaten Gorontalo Utara diperoleh yaitu ekstrak batang kayu kuning positif mengandung senyawa flavonoid dan alkaloid.

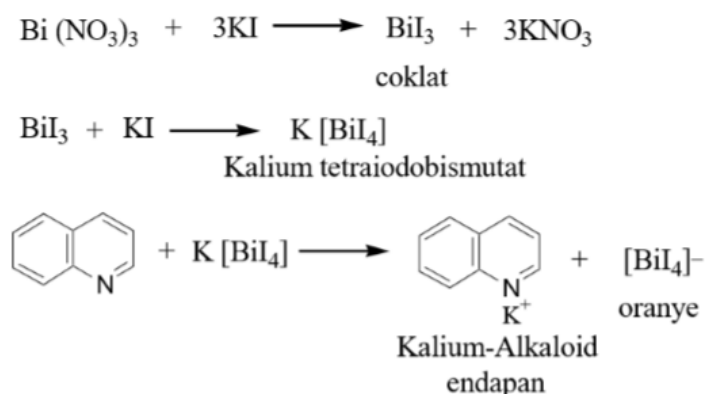
Identifikasi flavonoid menggunakan serbuk Mg dan HCl pekat, serbuk Mg dan HCl pekat bereaksi membentuk gelembung-gelembung yang merupakan gas H_2 , Mg digunakan sebagai pereduksi yang dilakukan dalam suasana asam (penambahan HCl pekat) yang menghasilkan terbentuknya warna kemerahan (Ansyari dkk [11]). Mg dan HCl pekat berfungsi mereduksi inti benzopiron yang terdapat pada struktur flavonoid sehingga terbentuk perubahan warna merah. Jika dalam ekstrak positif flavonoid, akan terbentuk garam flavinium saat penambahan Mg dan HCl yang berwarna merah (Prashant dkk [12]).



Gambar 1. Reaksi Flavonoid dengan Mg dan HCl

Identifikasi alkaloid menggunakan reagen dragendrof reaksi positif yang terjadi pada uji alkaloid ditandai dengan terbentuknya endapan, hal tersebut terjadi karena adanya reaksi pengganti ligan. Ion logam K^+ akan membentuk ikatan kovalen koordinat dengan gugus nitrogen (N) pada alkaloid membentuk kompleks kalium-alkaloid yang mengendap.

Alkaloid memiliki atom nitrogen yang mempunyai pasangan elektron bebas dapat mengganti ion iodo dalam pereaksi tersebut (Sangi dan Wuntu [13]).



Gambar 2. Reaksi Alkaloid dengan Pereaksi Dragendrof

Tabel 3 Hasil Uji Skrining Fitokimia dengan Metode Kromatografi Lapis Tipis

Eluent	Bercak Warna		R _f	Hasil
	Plat KLT	UV 366		
Etil asetat : Heksan	Hijau	Hijau	0,5	Flavonoid
Etil asetat : Heksan	Kuning	Orange	0,2	Alkaloid

Uji penegasan skrining fitokimia dengan KLT dilakukan untuk lebih menegaskan hasil yang diperoleh dalam uji reagen kimia. Kromatografi adalah cara pemisahan zat berkhasiat dan zat lain yang ada dalam sediaan, dengan jalan penyarian berfraksi, atau penyerapan, atau penukaran ion pada zat padat berpori, menggunakan cairan atau gas yang mengalir (DepKes RI [9]). Prinsip pada KLT yaitu pemisahan komponen kimia berdasarkan prinsip adsorpsi dan partisi. Pada hakikatnya KLT melibatkan dua peubah yakni sifat fasa diam atau sifat lapisan dan sifat fasa gerak atau campuran pelarut pengembang. Fasa diam dapat berupa serbuk halus yang berfungsi sebagai permukaan penyerap atau berfungsi sebagai penyangga untuk lapisan zat cair, sedangkan fasa gerak dapat berupa hampir segala macam pelarut atau campuran pelarut. Pemilihan fase gerak pada KLT pada dasarnya dapat dilakukan melalui studi pustaka, tetapi lebih sering dengan mencoba-coba. Fasa gerak pada KLT harus mempunyai kemurnian yang tinggi (*analytical grade*).

Fasa gerak pada penelitian ini digunakan campuran pelarut etil asetat dan heksan, dimana pemilihan campuran pelarut ini diperoleh atas hasil coba yang didasari pada perbedaan polaritas senyawa yang akan dipisahkan, polaritas pelarut dan kekuatan elusi pelarut pada fase diam.

Ekstrak kental di uji dengan KLT menghasilkan sebuah noda yang berwarna hijau dan orange pada fase gerak dengan perbandingan pelarut 0,5:9,5 dengan nilai R_f yakni 0.5 dan 0,2 yang diduga merupakan senyawa flavonoid dan alkaloid. Berdasarkan reaksi warna dan nilai R_f pada kromatografi lapis tipis dapat diindikasikan bahwa senyawa flavonoid terkandung dalam batang kayu kuning adalah senyawa flavonoid golongan flavonol. Hal ini dapat dilihat dari nilai R_f yang dihasilkan yaitu 0.5 dengan bercak warna hijau. Nilai R_f 0.5 masuk dalam range angka R_f 0.2-0.8 (Haryono [15]).

Berdasarkan pernyataan ini senyawa yang bersifat polar seperti alkaloid mempunyai nilai R_f yang rendah begitu juga sebaliknya, senyawa yang kurang polar seperti flavonoid mempunyai nilai R_f yang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena senyawa yang lebih polar berinteraksi lebih kuat dengan fase diam silika gel yang bersifat polar dan kurang terelusi oleh fase gerak sehingga nilai R_f yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan senyawa yang kurang polar (Widi dan Insriati [15]).

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ekstrak n-heksan batang kayu kuning menggunakan reagen kimia positif mengandung senyawa flavonoid dan alkaloid dan dengan metode KLT positif mengandung flavonoid dengan nilai R_f 0,5 dan positif alkaloid dengan nilai R_f 0,2.

6 UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada semua yang terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Wijayakusuma, H. 2008. *Ramuan Lengkap Herbal Taklukan Penyakit*. Cetakan I. Pustaka Bunda. Jakarta.
- [2] Putra, S.E. 2007. *Alkaloid: Senyawa Organik Terbanyak di Alam*. Artikel Kimia. (Serial Online). Available from: http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/biokimia/alkaloid-senyawa-organik-terbanyak-dialam
- [3] Kementrian Kehutanan RI. 2010. *Lokakarya Nasional Tanaman Obat Indonesia*. (Online). (<http://www.dephut.go.id/index.php/news/details/7043>)
- [4] Kartika F, 2012. *Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak dan Fraksi Daun (Cocculus Orbiculatus (L) DC. Dengan Metode DPPH dan Identifikasi Golongan Senyawa Kimia dari Fraksi Yang Aktif*. FMIPA UI. Jakarta
- [5] Widyaningrum, D. 2011. *Kitab Tanaman Obat Nusantara*. Disertasi Indeks Pengobatan. Medpress (Anggota IKAPI). Yogyakarta
- [6] Ansel, H C. 2008. *Pengantar Bentuk Sediaan Farmasi* diterjemahkan oleh Ibrahim, F. Jakarta. UI press
- [7] Voight, R. 2010. *Buku pelajar teknologi farmasi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [8] Harborne, J. B. 1987. *Metode Fitokimia Penuntun Cara Menganalisa Tumbuhan*. ITB. Bandung.
- [9] Departemen Kesehatan RI.1995. *Farmakope Indonesia*. Edisi IV. Diktorat Jendral POM-Depkes RI. Jakarta.
- [10] Dirjen POM, 2000, *Parameter Standar Umum Ekstrak Tumbuhan Obat*. Departemen Kesehatan RI, Jakarta
- [11] Ansyari, M., Hafiluddin., Farid. 2007. *Analisis Jumlah Bakteri dan Keberadaan E. Coli Pada Pengolahan Ikan Teri Nasi di PT. Kelola Mina Laut Unit Sumenep*. Madura: Fakultas Pertanian
- [12] Prashant, et.al. 2011. *Phytochemical Screening and Extraction*. Internationale Pharmaceutica Sciencia
- [13] Sangi, M.S dan Wuntu A. D. 2008. *Analisis Fitokimia Obat di Kabupaten Minahasa Utara*. Chemistry Progress
- [14] Haryono, Kus. 1985. *Penelitian Dibeberapa Perguruan Tinggi di Indonesia*. ITB Bandung
- [15] Widi, R K., Indriati, T. 2007. *Penjaringan dan Identifikasi Senyawa Alkaloid dalam Batang Kayu Kuning (Arcangelisia Flava Merr)*. Jurnal Ilmu Dasar Vol. 8 No. 1, 2007

PENGARUH PVA (POLIVINIL ALKOHOL) DALAM PEMBENTUKAN *FILM* PRIMER DARI EKSTRAK GEL RUMPUT LAUT

NUR AIN THOMAS¹, SUDIRMAN OTA²,

¹Universitas negeri gorontalo, nurain.thomas@gmail.com

²Universitas negeri gorontalo, Manmanyule@gmail.com

Abstrak

Rumput laut salah satu penghasil senyawa alginat yang dapat dimanfaatkan dalam pembentukan *film* primer yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi suatu pembalut luka primer. Alginat mempunyai daya absorpsi yang tinggi, dapat menutup luka dan menjaga keseimbangan lembab di sekitar luka, mudah digunakan atau dihilangkan, elastis, antibakteri dan nontoksik, tidak menyebabkan alergi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh PVA dalam pembentukan *film* primer dari ekstrak gel rumput. Penelitian ini diawali dengan ekstraksi rumput laut untuk memperoleh ekstrak dari rumput laut.. Selanjutnya dilakukan optimasi basis dengan membuat lima formula (F) dengan komposisi ekstrak rumput laut, gliserol, air dan pva dimana setiap formula yang divariasikan adalah konsentrasi dari polivinil alcohol yaitu masing masing F1 0%, F2 2,5%, F3 5%, F4 7.5% dan F5 10%. Semua basis dikarakterisasi meliputi uji organoleptis, uji kadar air, dan uji swelling. Hasil penelitian menunjukan bahwa F4 adalah yang terbaik berdasarkan hasil karakterisasi yang dilakukan. F4 memiliki hasil tampilan yang transparan, filmnya tidak sobek, kadar air 32,04, dan nilai swelling 0,5418.

Kata Kunci : Polivinil alcohol, Rumput laut, pembentukan *film*

1. PENDAHULUAN

Alginat adalah fikokolid atau hidrokoloid yang diekstraksi dari Phaeophyceae (alga coklat), yang diduga banyak terkandung dalam rumput laut coklat (*Sargassum sp.*). Menurut Mutia, dkk (2011) alginat mempunyai daya absorpsi yang tinggi, dapat menutup luka dan menjaga keseimbangan lembab di sekitar luka, mudah digunakan atau dihilangkan, elastis, antibakteri dan nontoksik, tidak menyebabkan alergi. Diketahui pula bahwa penyembuhan luka 30%-50% lebih cepat apabila digunakan pembalut luka alginat, sehingga alginat sangat sesuai digunakan sebagai pembalut luka primer. Melihat kondisi geografis Indonesia yang dikelilingi oleh pesisir pantai khususnya provinsi Gorontalo, terasa bijak apabila kita dapat memanfaatkan hal ini. Di pesisir pantai gorontalo banyak budidaya tanaman rumput laut coklat (*Sargassum sp.*). Rumput laut ini dapat dikelola menjadi bahan makanan, kerajinan tangan, bahkan sangat berarti dalam bidang kesehatan dimana rumput laut dapat diolah menjadi film alginat dari ekstrak rumput laut sebagai *wound dressing*. PVA merupakan polimer yang memiliki sifat biokompatibel, elastis dan sifat mekanik yang baik, berdasarkan sifatnya tersebut dalam pembentukan *film* diperlukan PVA untuk meningkatkan viskositas dan elastisitas dari *film* gel ekstrak rumput laut, dan diharapkan *film* yang terbentuk dapat mempengaruhi pori pori yang berperan dalam pertukaran udara dan penyerapan eksudat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Rumput laut coklat (*sargasum sp*) adalah tanaman yang bertempat tinggal di area perairan, mempunyai warna coklat, berukuran relative besar, tumbuh berkembang pada substrat yang kuat. Alginat adalah fikokoloid atau hidrokoloid yang diekstraksi dari Phaeophyceae (alga coklat). Senyawa alginat diduga terdapat dalam rumput laut coklat (*Sargassum sp*). Senyawa alginat merupakan suatu polimer linier yang terdiri dari dua satuan yang monomeric, β -D -asam manuronat dan α -L -asam guluronic. Monomer alginat tersusun dalam tiga jenis pengelompokan yaitu kelompok residu manuronat dan guluronat yang berseling, guluronat dan asam manuronat (Jayanudin, dkk. 2014).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, hot plat, neraca analitik, freezer, blender, sentrifuse, pHmeter. Adapun bahan-bahan yang digunakan adalah Rumput laut coklat (*Sargasum sp*), HCL, NaOH, Na_2CO_3 , H_2O_2 , isopropanol, PVA, Gliserol, Na-alginat, aquades.

3.2 Pembuatan Ekstrak Rumput Laut

Sampel utuh (*sargasum sp.*) dimasukkan ke dalam wadah, direndam menggunakan HCL 0,5% selama 30 menit dengan perbandingan 10:1 v/w, kemudian direndam kembali sampel menggunakan NaOH 0,5% selama 30 menit dengan perbandingan 10:1 v/w. Tahap selanjutnya sampel di ekstraksi menggunakan Na_2CO_3 7,5% pada suhu 50°C selama 2 jam dengan perbandingan pelarut 10:1. Selanjutnya sampel yang telah diekstraksi di hancurkan menggunakan blender selama 5 menit, hasil blender disaring sehingga diperoleh filtrate dan residu. Kemudian filtrat yang telah diperoleh diasamkan dengan pH 2,8 selama 5 jam menggunakan HCL 5% dengan perbandingan 10:1 v/w. Selanjutnya sampel yang telah di asamkan di pucatkan menggunakan H_2O_2 , ditambahkan NaOH 10% pada pH 10,2 selama 5 jam dengan perbandingan yang sama. Hasil pengendapan kemudian disentrifugasi selama 5 menit untuk memisahkan endapan dan cairannya. Endapan yang diperoleh kemudian ditambahkan isopropanolol dan diuapkan setelah itu dievaluasi dan diformulasi kedalam bentuk film

3.3 Optimasi Film Ekstrak Rumput Laut

Optimasi Film ekstrak rumput laut dibuat dengan metode *freezethaw* dengan memvariasikan PVA pada konsentrasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Metode *freezethaw* adalah suatu metode pembuatan film dengan melalui proses pembekuan (-20°C) dan peleburan (25°C) yang dilakukan dalam beberapa siklus, kemudian pelarut yang digunakan untuk melarutkan semua polimer termasuk zat aktif dikeringkan sehingga terbentuk massa film (Tanjung, 2015). Pertama PVA dikembangkan didalam 50 mL aquadest dengan suhu 90° C selama 6 jam diatas plat pemanas. Pemanasan ini dimaksudkan untuk menghasilkan larutan PVA yang bening dan transparan. Ditambahkan Na-alginat sebanyak 50% dan gliserol 20% kedalam larutan PVA dan dicampur hingga homogen menggunakan batang pengaduk. Larutan pembentuk film yang sudah homogen kemudian dimasukan kedalam cetakan dan dibekukan (-18°C) selama 8 jam dan dilelehkan pada suhu ruang (25°C) selama 6 jam (1 siklus). Proses ini dilakukan sebanyak 3 siklus hingga terbentuk massa film ekstrak rumput laut yang kemudian dievaluasi meliputi uji organoleptis, *swelling*, kadar air dan uji efektifitas.

4. HASIL

Tabel 1. Hasil Optimasi *Film* Ekstrak Rumput Laut

Bahan	Formula (%)				
	F1	F2	F3	F4	F5
Na- alginate	50	50	50	50	50
Gliserol	20	20	20	20	20
PVA	0	2,5	5	7,5	10
Air	add 100	add 100	add 100	add 100	add 100

Tabel 2. Formulasi *Film* Ekstrak Gel rumput laut

No	Bahan	Jumlah bahan (%)
1	Na alginate	50
2	Gliserol	20
3	PVA	7,5
4	Air	Add 100

Tabel 3. Hasil Evaluasi *Film* Ekstrak Rumput Laut

Evaluasi	Formula				
	F1	F2	F3	F4	F5
Organoleptis	Cokelat keruh, permukaan cair, tidak terbentuk film	Cokelat keruh, permukaan cair, film mudah sobek	Cokelat keruh transparan, permukaan agak kasar, film tidak mudah sobek	Cokelat keruh transparan, permukaan agak kasar, film tidak mudah sobek	Cokelat keruh transparan, permukaan kasar, film tidak mudah sobek
Uji Kadar Air	-	34,53	32,08	32,04	30,96
Uji <i>Swelling</i>	-	0,1543	0,3010	0,5418	0,1933

Dari hasil evaluasi organoleptis didapatkan bahwa rata-rata formula memiliki warna yang sama yaitu coklat keruh transparan, dimana warna ini berasal dari warna ekstrak rumput laut yang berwarna coklat, sedangkan dari segi permukaan F1 dengan konsentrasi PVA 0% berpenampakan cair, F2, F3, F4 dan F5 berturut turut licin, agak kasar, agak kasar dan kasar. F1 (PVA 0%) bersifat cair karena tidak mengandung PVA sama sekali, F2 (PVA 2,5 %) permukaan licin dan mudah sobek karena kekuatan mekaniknya kecil, F3 dan F4 (PVA 5% dan 7,5%) permukaannya agak kasar dan film tidak mudah sobek karena kekuatan mekanik agak besar, sedangkan F5 (PVA 10%) permukaannya kasar dan film tidak mudah sobek, karena kekuatan mekanik yang besar. Hal ini dikarenakan penggunaan PVA dapat mempengaruhi sifat fisik film. Semakin tinggi konsentrasi PVA dalam formula, maka semakin rendah konsentrasi air formula yang digunakan dalam pengembangan PVA, sehingga membuat viskositas CPF meningkat. Apabila viskositas CPF besar maka kekuatan mekanik film juga akan besar. Hal ini sesuai dengan pendapat Park (2002) dalam Fadhalah (2012) yaitu semakin tinggi viskositas cairan maka akan semakin tinggi nilai kuat tarik/kekuatan mekanik film, tetapi apabila viskositas CPF terlalu tinggi akan menyebabkan kesulitan dalam pencetakan film, CPF yang sangat kental akan sulit diratakan sehingga permukaan film menjadi kasar seperti yang di tunjukan oleh F5.

Evaluasi Swelling (uji daya mengembang) adalah kemampuan film untuk menyerap air yang apabila diaplikasikan dalam pemakaian untuk luka bakar, untuk melihat kemampuan menyerap eksudat oleh film. Menurut Martin (1993) dalam Tanjung (2015) penggunaan natrium alginat dapat meningkatkan daya mengembang suatu film karena sifat hidrofilisitas natrium alginat yang tinggi. Dari hasil pengujian masing-masing film terjadi kenaikan nilai *swelling* pada setiap peningkatan konsentrasi PVA, yaitu pada F2 (PVA 2,5 %), F3 (PVA 5%), dan F4 (PVA 7,5%), hal ini disebabkan karena ikatan molekul antara natrium alginat dan PVA membentuk sudut kontak dengan pelarut yang lebih besar pada setiap kenaikan konsentrasinya (Martin (1993) dalam Tanjung, 2015). Namun pada konsentrasi tertinggi F5 (PVA 10%) terjadi penurunan nilai *swelling* yang signifikan, hal ini dapat disebabkan karena tingginya viskositas CPF sehingga menyebabkan pori-pori film menjadi kecil dan sudut kontak dengan eksudat lebih kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi PVA maka akan semakin tinggi nilai *swelling* hingga pada konsentrasi optimumnya.

Evaluasi kadar air adalah untuk mengetahui kandungan air dalam setiap film. Dari pengujian ini didapatkan berturut-turut F2 sampai F5 adalah 34,53 %, 32,08 %, 32,04% dan 30,96%. Semakin rendah konsentrasi PVA maka akan semakin tinggi kandungan air. F5 merupakan film yang memiliki kandungan air rendah, sedangkan F3 dan F4 memiliki kandungan air yang kurang lebih sama dan F2 merupakan film yang paling banyak mengandung air. Menurut Rosiak (2001) dalam Tanjung (2015) dimana tingginya kadar air dalam film dapat menurunkan kepadatan film sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan mekanik film. sehingga dalam segi kandungan air dapat disimpulkan bahwa F5 adalah film terbaik karena dapat memiliki kekuatan mekanik yang tinggi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa : Penggunaan Polivinil(alkohol)) (PVA) terhadap ekstrak rumput laut (*Sargassum sp*) dapat mempengaruhi kekuatan film dan daya mengembang film, semakin tinggi konsentrasi PVA semakin baik kekuatan mekanik film dan semakin tinggi daya mengembang film sampai pada konsentrasi optimum yaitu 7,5 %.

Daftar Pustaka

- [1] Mutia, T., Eriningsih, R., Safitri, R. 2011. *Membrane Alginat Sebagai Pembalut Luka Primer Dan Media Penyampaian Obat Topikal Untuk Luka Yang Terinfeksi*. 2(5): 161-174
- [2] Jayanudin, Zakiyah, A., Nurbayanti. 2014. *Pengaruh Suhu Dan Rasio Pelarut Ekstraksi Terhadap Rendamen Dan Viskositas Natrium Alginat Dari Rumput Laut Cokelat (Sargassum Sp)*. 1(5): 51-55
- [3] Tanjung, N.H. 2015. *Preparasi dan Karakterisasi Film Sambung Silang Hidrogel PVA (Poly(Vinyl-Alcohol) dan Natrium Alginat dengan Metode Freeze-Thawing dan Metronidazole sebagai Model Zat Aktif*. Skripsi. Fakultas Farmasi UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta
- [4] Fadhalah, E.G. 2012. *Prototype Material Penyerap Gelombang Radar dari Komposit Polimer Chitosan-Polivinil Alkohol*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, ITB. Bogor

TERAPI ANTIBIOTIK PADA DEMAM TIFOID ANAK DI RSUD DR M.M. DUNDA TAHUN 2016

TETI SUTRIYATI TULOLI¹

¹Jurusan Farmasi Universitas Negeri Gorontalo, Tetisutriyati@gmail.com

Abstrak

Demam tifoid merupakan suatu penyakit infeksi sistemik bersifat akut pada usus halus yang disebabkan oleh *salmonella enterica serotype typhi* (salmonella typhi) yang memiliki gejala demam satu minggu atau lebih disertai gangguan pada saluran pencernaan dengan atau tanpa gangguan kesadaran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui terapi antibiotik pada pasien anak rawat inap di RSUD Dr.M.M Dunda Limboto. Penelitian ini tergolong pada deskriptif non eksperimental dengan pengambilan data secara retrospektif. Data yang digunakan diperoleh dari rekam medik untuk menganalisis jenis terapi antibiotic yang digunakan pada pasien anak yang menderita demam tifoid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa antibiotik yang digunakan untuk terapi pasien demam tifoid anak di RSUD Dr.M.M Dunda Limboto tahun 2016 secara berurutan adalah seftriakson 39%, sefotaksim 32%, viciilin 19% dan sefiksiksim 10%. Untuk variasi penggunaannya 93% diberi secara tunggal dan 7% diberikan kombinasi.

Kata Kunci: Terapi, Antibiotik, Tifoid, Pasien, Anak.

1. PENDAHULUAN

Demam tifoid merupakan masalah terpenting bagi kesehatan di Indonesia dan banyak terdapat di daerah lain seperti daerah tropis dan subtropis. Penyebaran demam tifoid terjadi melalui makanan atau minuman yang tercemar kuman air, es, debu dan lainnya (Soedarto, 2007). Demam tifoid yang disebabkan oleh *Salmonella typhi* merupakan penyakit infeksi sistemik, bersifat endemis dan masih merupakan masalah kesehatan di Indonesia. Insiden demam tifoid di Indonesia masih sangat tinggi yaitu berkisar antara 350-810 per 100.000 penduduk, demikian juga dari kasus demam tifoid di rumah sakit besar di Indonesia menunjukkan bahwa angka kesakitan demam tifoid cenderung meningkat setiap tahun dengan rata-rata 500/100.000 penduduk. Angka kematian demam tifoid diperkirakan terjadi sekitar 0,6-5% sebagai akibat dari keterlambatan mendapat pengobatan serta tingginya biaya pengobatan (Depkes, 2006).

Di Indonesia menurut data profil kesehatan Indonesia tahun 2004 yang di keluarkan oleh Departemen Kesehatan Republik Indonesia (2005), demam tifoid menempati urutan ke-2 dari 10 penyakit terbanyak pasien rawat inap yang ada di rumah sakit di Indonesia dan pola penyebab utama kematian umum di Indonesia (Depkes RI, 2005). Berdasarkan profil kesehatan Indonesia tahun 2009, demam tifoid menempati urutan ke-3 dari 10 penyakit terbanyak pasien rawat inap yang ada di rumah sakit tahun 2009 yaitu sebanyak 80.850 kasus, yang meninggal sebanyak 1.747 pasien. Sedangkan pada data profil kesehatan Indonesia tahun 2010 yang di keluarkan oleh Kementrian Kesehatan Republik Indonesia 2011, demam tifoid menempati urutan ke-3 dari 10 penyakit rawat inap di rumah sakit di Indonesia sebanyak 41.081 kasus, yang meninggal sebanyak 274 orang. Tingkat kejadian tertinggi penyakit demam tifoid ini terjadi pada anak-anak dan dewasa muda dengan

kisaran umur 5-34 tahun (Simanjutak, 2009). Adapun angka kesakitan tertinggi pada umur 5-19 tahun dengan manifestasi klinis ringan (Musnelina dkk, 2004).

Menurut badan penelitian dan pengembangan kesehatan (Balitbangkes) Provinsi Gorontalo mengungkapkan bahwa tahun 2011, pasien anak yang menderita penyakit demam tifoid sebanyak 991 orang dan menurut data tahun 2012 sebanyak 1.049 orang anak yang mengidap penyakit demam tifoid, sedangkan pada data yang di peroleh dari dinas kesehatan pada tahun 2014, pasien anak yang menderita demam tifoid sebanyak 1172. Kepala ruangan sub bidang mengatakan bahwa penyakit demam tifoid meningkat dalam 5 tahun terakhir, hal ini di dukung dengan adanya data yang menyatakan bahwa provinsi Gorontalo menempati urutan peringkat terendah provinsi yang menerapkan perilaku hidup, bersih dan sehat (PHBS). Standar PHBS yang di peroleh sebesar 38,7% (Dinkes, 2013).

Berdasarkan hasil observasi awal di RSUD M.M Dunda Limboto data yang di peroleh dari bulan juni-november 2016 demam tifoid menduduki posisi pertama dari 10 penyakit terbanyak di rawat inap RSUD M.M Dunda Limboto dengan jumlah pasien sebanyak 628 pasien berdasarkan data klinis yang di peroleh di rekam medik.

Antibiotik merupakan zat kimiawi yang di hasilkan oleh mikroorganisme yang mempunyai kemampuan untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh mikroorganisme lain (Santoso, 2009). Pengobatan antibiotik adalah pengobatan utama karena pada dasarnya patogenesis infeksi *salmonella typhi* berhubungan dengan keadaan bakteremia (IDAI, 2008). Dan pengobatan penyakit demam tifoid adalah istirahat, perawatan, diet, terapi penunjang, serta pemberian antibiotik. Kemudian pemberian antibiotik empiris sangatlah penting, karena dapat mencegah komplikasi dan mengurangi angka kematian (WHO, 2003).

Berdasarkan penelitian yang di lakukan oleh Musnelina, dkk (2004) bahwa tentang pengobatan pada pasien demam tifoid anak di RSUD Fatmawati Jakarta tahun 2001-2002, bahwa antibiotik kloramfenikol masih merupakan pilihan utama yang digunakan pada demam tifoid anak di Rumah Sakit Fatmawati Jakarta pada tahun 2001-2002 dan antibiotik setriakson merupakan antibiotik kedua yang digunakan pada bulan desember 2002. Berdasarkan uraian di atas maka peneliti merasa tertarik untuk melakukan penelitian tentang Kajian rasionalitas penggunaan antibiotik dalam terapi demam tifoid pada pasien rawat inap di RSUD M.M Dunda Limboto tahun 2016

2. TINJAUAN PUSTAKA

Demam tifoid adalah suatu penyakit infeksi sistemik bersifat akut pada usus halus yang di sebabkan oleh *salmonella enterica serotype typhi* (*salmonella typhi*) (Kidgell dkk, 2002). Menurut WHO (2003) ada 3 macam demam tifoid dengan perbedaan gejala klinis yaitu : (1) Demam tifoid non aktif komplikasi yang dikarakterisasi dengan adanya demam berkepanjangan abnormalitas fungsi bowel (konstipasi pada pasien dewasa dan diare pada anak-anak), sakit kepala, malaise, dan anoreksi, (2) Demam tifoid dengan komplikasi dimana hingga 10% pasien dapat mengalami komplikasi mulai dari melen, preforasi usus, peningkatan ketidaknyamanan abdomen, (3) Keadaan karier tifoid pada 1-15% pasien yang tergantung umur pasien karier.

Penatalaksanaan demam tifoid dapat melalui terapi antibiotik, untuk menghentikan dan memusnahkan penyebaran kasus antibiotik yang digunakan berupa : (a) Kloramfenikol, dosis hari pertama 4x250 mg. Diberikan selama demam dilanjutkan sampai 2 hari bebas demam, kemudian dosis diturunkan menjadi 4x250 mg selama 5 hari kemudian, (b) Ampisilin/amoksisilin, dosis 50-150 mg/kg BB. Diberikan selama 2 minggu, (c)

Kortimaksazol, 2x2 tablet (1 tablet mengandung 400 mg sulfametaksazol-80 mg trimetoprin, diberikan selama dua minggu (d) Sefalosporin generasi II dan III yakni : Setriakson 4 g/hari selama 3 hari, Norfloksasin 2x400 mg/hari selama 14 hari, Siprofloksasin 2x500 mg/hari selama 6 hari, Ofloksasin 600 mg/hari selama 7 hari, Pefloksasin 400 mg/hari selama 7 hari dan Fleroksasin 400 mg/hari selama 7 hari (Depkes, 2006).

Penatalaksanaan kedua adalah Istirahat dan perawatan profesional bertujuan mencegah komplikasi dan Mempercepat penyembuhan. Pasien harus tirah baring absolut sampai minimal 7 hari bebas demam atau kurang lebih selama 14 hari. Mobilisasi dilakukan bertahap, sesuai dengan pulihnya kekuatan pasien. Dalam perawatan perlu sekali juga higiene perseorangan, kebersihan tempat tidur, pakaian, dan peralatan yang dipakai oleh pasien (Depkes, 2006).

penatalaksanaan tifoid ketiga adalah melalui diet. Makanan harus mengandung cukup cairan, kalori, tinggi protein, tidak boleh mengandung banyak serat, tidak merangsang maupun menimbulkan banyak gas (Suriadi dan Yuliani, 2010). penatalaksanaan lainnya adalah terapi simptomatik. Pada terapi simptomatik dapat diberikan dengan pertimbangan untuk perbaikan keadaan pada penderita demam tifoid seperti vitamin, antipiretik (untuk kenyamanan penderita terutama anak-anak) atau antiemetik (diperlukan bila penderita muntah hebat) (Depkes, 2006).

Penelitian ini dilaksanakan di Ruang Medical Record di Rumah Sakit Umum Daerah. Dr. M.M Dunda Limboto. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari - Mei 2017. Jenis penelitian ini merupakan penelitian deksriptif non eksperimental dengan pendekatan retrospektif. Populasi dalam penelitian ini adalah semua pasien anak demam tifoid yang menggunakan terapi antibiotik selama bulan Juni-November 2016 di rumah sakit umum daerah Dr. M.M Dunda Limboto. Analisis data dilakukan secara analisis deskriptif dan analisa kualitatif. Analisa deskriptif dilakukan dengan menguraikan data-data yang didapatkan dari catatan rekam medik antara lain nama antibiotik, indikasi, dosis, frekuensi, lama pemberian, cara pemberian, jenis penggunaan, data demografi (umur, jenis kelamin). Sedangkan untuk analisa kualitatif penggunaan antibiotik disajikan dalam bentuk tabel berupa persentase.

3. HASIL

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Rekam Medik di RSUD Dr.M.M Dunda Limboto didapatkan sampel sebanyak 83 pasien dengan peresepan antibiotik sebanyak 90 peresepan antibiotik. Adapun karakteristik responden yang menjadi sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa responden dengan jenis kelamin perempuan lebih banyak (64%) dibandingkan dengan jumlah responden laki-laki (36%). Hal ini didukung oleh penelitian Hekmawatie (2013) yang mengemukakan bahwa penderita demam tifoid anak lebih banyak berjenis kelamin perempuan (58%) dibanding laki-laki (42%).

Pada tabel 1 juga terlihat bahwa pasien tifoid anak di RSUD Dr.M.M.Dunda terbanyak berusia 5 – 10 tahun dengan jumlah 54% dan disusul dengan anak usia 1-4 tahun sebanyak 36%. Pramitasari (2013) mengemukakan bahwa *age-specific attack rates* demam tifoid pada anak-anak adalah pada usia antara usia 1 dan 5 tahun karena mereka berada pada resiko tertinggi terinfeksi *Salmonella typhi* disebabkan oleh mudarnya antibodi pasif yang diperoleh dari ibu dan kurangnya imunitas yang

diperoleh dari asupan makanannya sehari-hari. Karakteristik responden berdasarkan berat badan terbanyak adalah pasien anak dengan berat badan 11-20 kg sebanyak 64%. Hal ini sesuai dengan distribusi usia sampel terbanyak antara usia 5-10 tahun dengan berat badan idealnya adalah 11-25 kg.

Tabel 1. Karakteristik Responden yang menjadi Sampel penelitian

Karakteristik	Jumlah	Persentase
1. berdasarkan Jenis Kelamin		
Perempuan	53	64 %
Laki – Laki	30	36 %
Total	83	100%
2. Berdasarkan Usia		
1- 4 Tahun	30	36 %
5 - 10 Tahun	45	54 %
11 – 14 Tahun	8	10 %
Total	83	100 %
3. Berdasarkan Berat Badan		
0 – 10 Kg	15	18 %
11 – 20 Kg	53	64 %
21 – 30 Kg	15	18 %
Total	83	100 %

Untuk jenis-jenis antibiotik yang digunakan pada terapi tifoid pasien anak dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Terapi Antibiotik pada pasien tifoid Anak RSUD Dr.M.M.Dunda tahun 2016

Jenis antibiotik	Jumlah	Persentase
Vicilin	17	19%
Sefotaksim	29	32%
Sefiksim	9	10%
Seftriakson	35	39%
Total	90	100%

Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa untuk terapi tifoid pada pasien anak di RSUD Dr.M.M. Dunda terbanyak menggunakan seftriakson (39%). Sampai saat ini golongan sefalosporin generasi ketiga yang terbukti efektif untuk mengobati demam tifoid adalah seftriakson (Widodo, 2008). Seftriakson dianggap sebagai antibiotik yang efektif dan poten untuk mengobati penyakit demam tifoid dalam jangka waktu pendek. Obat ini mempunyai sifat menguntungkan yaitu dapat merusak struktur bakteri tanpa mengganggu sel tubuh manusia, spektrumnya luas, dan resistensinya terhadap bakteri masih terbatas (Musnelina dkk, 2004).

Selain Seftriakson, obat yang digunakan paling banyak di RSUD Dr.M.M Dunda Limboto adalah sefotaksim (29%). Sefotaksim dan Seftriakson merupakan Drug of Choice bagi pasien demam tifoid berat yang resisten terhadap quinolon (WHO, 2003). Sefotaksim dan seftriakson efektif untuk pengobatan bakteri gram negatif seperti *S.typhi* (Gunawan, 2007). Akan tetapi penggunaan antibiotik sefotaksim dan antibiotik

sefalosporin generasi ketiga lainnya juga perlu mendapatkan perhatian khusus karena menurut protap terbaru, penggunaan sefotaksim perlu dikurangi oleh karena terdapat kejadian resistensi antibiotik tersebut terhadap bakteri yang memproduksi *extended-spectrum β -lactamases(ESBL)* (Urbanek dkk 2007).

Untuk penggunaan antibiotik sebagai terapi pada pasien terapi anak dapat digunakan tunggal maupun kombinasi. Hal ini digambarkan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Penggunaan Antibiotik sebagai terapi tifoid anak pada pasien anak

Penggunaan Antibiotik	Jumlah	Persentase
1 (Tunggal)	77	93%
2 (Kombinasi)	6	7%
Total	83	100%

Pada tabel 3 diketahui bahwa penggunaan antibiotik pada pasien tifoid terbanyak adalah penggunaan tunggal (93%). Hal ini sejalan dengan penelitian Badu (2015) yang memperoleh hasil bahwa penggunaan antibiotic untuk pasien tifoid anak terbanyak adalah secara tunggal (55%) dibandingkan dengan penggunaan secara kombinasi (45%).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terapi antibiotic untuk pasien demam tifoid anak di RSUD Dr.M.M Dunda Limboto tahun 2016 secara berurutan adalah seftriakson 39%, sefotaksim 32%, vicilin 19% dan sefiksim 10% dengan variasi penggunaan yaitu 93% diberi secara tunggal dan 7% diberikan kombinasi.

DaftarPustaka

- [1] Departemen Kesehatan RI. 2005. *Profil Kesehatan Indonesia 2004*. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta
- [2] Departemen kesehatan RI. 2006. *Profil kesehatan 2005*. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. : jakarta
- [3] Dinas Kesehatan Provinsi Gorontalo. 2013. *Sub Bidang Penyakit Menular*. Gorontalo
- [4] Gunawan, S.G. 2007, *Farmakologi dan Terapi*, Edisi Kelima. Penerbit Departemen Farmakologi dan Therapeutik FKUI, Jakarta.
- [5] Ikatan Dokter Anak Indonesia. 2008. *Buku ajar infeksi dan pediatri tropis*. Edisi 2. Badan Penerbit Ikatan Dokter Anak Indonesia. Jakarta.
- [6] Kidgell C, Reichard U, Wain J. 2002. *Salmonella typhi, the causative agent of typhoid fever, is approximately 50.000 years old*. *Infect Genet Evol.*; 2:39-45. PubMed.gov. United State.
- [7] Pramitasari, OP. 2013. Faktor Risiko Kejadian Penyakit Demam Tifoid Pada Penderita Yang Dirawat Di Rumah Sakit Umum Daerah Ungaran. *Jurnal .Volume 2, Nomor 1*. Semarang
- [8] Musnelina L, Fuad A, Ascobat G, Pratiwi A. 2004. Pola Pemberian Antibiotika Pengobatan Demam Tifoid Anak Di Rumah Sakit Fatmawati Jakarta Tahun 2001 – 2002. *jurnal. Institut sains dan Teknologi Nasional. FKM. Universitas Indonesia*. Jakarta.
- [9] Santoso, H. 2009. Kajian Rasionalitas Penggunaan Antibiotik Pada Kasus Demam Tifoid Yang Dirawat Pada Bangsal Penyakit Dalam Di Rsup Dr.Kariadi Semarang Tahun 2008. *Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro*. Semarang.

- [10] Simanjuntak, C. H, 2009. Demam Tifoid, Epidemiologi dan Perkembangan Penelitian. Cermin Dunia Kedokteran No. 83.
- [11] Soedarto, 2007, Sinopsis Kedokteran Tropis, Hal 221-223, Airlangga University Press, Surabaya.
- [12] Suriadi., dan Yuliani R. 2010. *Asuhan Keperawatan Pada Anak*, EGC : Jakarta Urbanek K, Kolar M, Loveckova, Strojil J, Santava. 2007. Influence of thirdgeneration cephalosporin utilization on the occurrence of ESBL-positive *Klebsiella pneumoniae* strains.<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17635342>. diakses pada tanggal 22 Januari 2017.
- [13] Widodo, D. 2006. *Ilmu Penyakit Dalam Universitas Indonesia, edisi III*. Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Jakarta.
- [14] World Health Organization. 2003. *Background document: The diagnosis,treatment and prevention of typhoid fever*. WHO. Geneva Switzerland.

HEPATOPROTEKTOR TERIPANG LAUT (HOLOTHURIA SCABRA) SECARA IN VIVO DENGAN PARAMETER SGPT

WIDY SUSANTI ABDULKADIR¹

¹Jurusan Farmasi Universitas Negeri Gorontalo, widisusanti553@yahoo.co.id

Abstrak

Teripang laut sebagai salah satu jenis hewan laut yang dapat dimakan juga berkhasiat sebagai obat. Keistimewaan teripang adalah memiliki kemampuan regenerasi sel yang tinggi, sehingga mampu merangsang regenerasi/pemulihan sel pada jaringan tubuh manusia yang telah rusak bahkan membusuk sehingga menjadi pulih kembali. Penggunaan parasetamol sebagai obat analgetik antipiretik sampai sekarang masih banyak digunakan baik untuk anak-anak dan orang dewasa. Dalam dosis terapi, parasetamol yang digunakan dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan hepatotoksik yang ditandai dengan meningkatnya nilai SGPT. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan informasi ilmiah potensi teripang laut yang berasal dari Gorontalo sebagai hepatoprotektor sehingga pemanfaatannya sebagai obat dapat dioptimalkan. Penelitian ini menggunakan hasil ekstraksi teripang laut jenis *Holothuria Scabra* yang di uji secara in vivo dengan menggunakan mencit berjumlah 30 ekor yang dibagi dalam tujuh kelompok kelompok negatif (kelompok Na. CMC 1%), kelompok 1 (ekstrak teripang laut 1%), kelompok 2 (ekstrak teripang laut 1000 mg/kg bb), kelompok 3 (ekstrak teripang laut 750 mg/kg bb), kelompok 4 (ekstrak teripang laut 500 mg/kg bb), kelompok 5 (kelompok kurkuma 2,5 mg/ 25 g bb mencit), kontrol 6 (kelompok parasetamol 62,5 mg/25 g bb mencit). Analisis data menggunakan one way anova. Hasil Penelitian menghasilkan bahwa semua kelompok perlakuan berbeda signifikan dengan kelompok negatif, kelompok yang mendekati nilai sgpt normal adalah kelompok kurkuma, kelompok 1, kelompok 2 dan kelompok 4 sehingga dari ketiga kelompok tersebut yang paling mendekati perbaikan hati terjadi pada kelompok 2 dengan dosis 1000 mg/kg bb.

Kata kunci: Ekstrak teripang laut, sgpt

1. PENDAHULUAN

Teripang laut adalah salah satu binatang laut yang banyak terdapat di Indonesia. Di Indonesia teripang telah dimanfaatkan sejak lama, terutama oleh masyarakat disekitar pantai sebagai bahan makanan. Pasaran internasional biasanya teripang diperdagangkan dalam bentuk daging dan kulit kering (Martoyo dkk, 2006)

Penelitian yang telah dilakukan oleh Prof. Dr. Hasan Yakoob, seorang ahli farmakologi dari Universitas Malaysia, menemukan zat aktif pada teripang dapat memacu regenerasi sel dan telah dilakukan uji pra klinis pada hewan dan uji klinis pada manusia. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa teripang laut memiliki kandungan "Cell growth factor" sehingga mampu merangsang regenerasi/pemulihan sel dan jaringan tubuh manusia yang telah rusak bahkan membusuk, sehingga menjadi pulih kembali. Menurut Dr. Pieter A.W Pattinama, bahwa teripang laut dapat dipakai untuk memperbaiki sel-sel yang rusak. Di alam, regenerasi sel terjadi saat teripang menghindari musuh, lingkungannya tercemar dan kenaikan suhu air. Menurut Prapto Darsono, ahli achinodermata, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseonologi mengatakan bahwa belum banyak yang mengelolah teripang

laut menjadi obat dan hanya komoditi ekspor, karena itulah penelitian obat alami berbahan teripang dari bahari Indonesia harus dimulai dari sekarang. Menurut William Aditeja bahwa manfaat teripang laut dapat mengobati serosis hati yang dapat menyebabkan organ mengeras dan membengkak. Penelitian oleh Retno Murwani dari Universitas Diponegoro yang telah membuktikan bahwa teripang laut mempunyai aktifitas sebagai antikanker.

Hati atau hepar adalah organ perantara antara sistem pencernaan dan darah. Salah satu fungsi hati yang penting adalah melindungi tubuh terhadap terjadinya penumpukan zat berbahaya yang masuk dari luar misalnya obat. Banyak diantara obat yang bersifat larut lemak dan tidak mudah diekskresi urin, maka sistem enzim pada mikrosom hati akan melakukan biotransformasi sedemikian rupa sehingga terbentuk metabolit yang lebih larut dalam air dan dapat dikeluarkan melalui urin. Dengan faal sedemikian ini, tidak mengherankan bila hati mempunyai kemungkinan yang cukup besar pula untuk dirusak oleh obat. Hepatitis karena obat pada umumnya tidak menimbulkan kerusakan permanen, tetapi kadang-kadang dapat berlangsung lama dan fatal. Hepatotoksin adalah senyawa kimia yang memiliki efek toksik pada sel hati, dengan dosis berlebihan (dosis toksik) atau pemejanaan dalam jangka waktu lama senyawa bersangkutan dapat menimbulkan kerusakan hati akut maupun kronis. Obat-obatan yang lazim digunakan dapat menyebabkan efek toksik hati, sekitar 2% dari semua kasus ikterus pada pasien yang masuk rumah sakit disebabkan karena induksi obat. Hepatotoksik parasetamol pada manusia dapat terjadi pada pemberian dosis tunggal 10-15 gram. Gejala pada hari pertama keracunan akut parasetamol tidak mencerminkan bahaya yang mengancam, anokreksia dan mual serta muntah diikuti dengan sakit perut terjadi 24 jam pertama dan berlangsung selama seminggu atau lebih. Gangguan fungsi hati terjadi dalam 24 jam dan setelah mencapai puncak lebih kurang 4 hari setelah pemberian parasetamol. Hepatitis kronik terjadi bila pemaparan jangka lama (sekitar 1 tahun) terhadap parasetamol (dalam batas terapi 4 gram per hari).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Teripang laut merupakan salah satu jenis binatang laut yang banyak terdapat di negara kita. Teripang laut sebagai salah satu jenis hewan laut yang dapat dimakan juga berkhasiat sebagai obat. Keistimewaan teripang adalah memiliki kemampuan regenerasi sel yang tinggi, apabila dipotong dua bagian akan menjadi dua individu teripang dan apabila dipotong empat bagian kemudian dikumpulkan akan menyatu kembali secara sempurna tanpa bekas luka. Hasil penelitian terbukti bahwa teripang laut juga memiliki kandungan "*cell growth factor*" (faktor regenerasi sel) sehingga mampu merangsang regenerasi/pemulihan sel dan jaringan tubuh manusia yang telah rusak bahkan membusuk, sehingga menjadi pulih kembali.

Metode penelitian adalah eksperimen murni dengan menggunakan hewan percobaan secara in vivo. Penelitian ini menggunakan 30 ekor mencit yang dibagi atas 7 kelompok yaitu :

1. Kelompok negatif (Na. CMC 1%) : diberikan larutan pembawa Na CMC 1% peroral 1 ml/25 gram BB mencit selama 7 hari berturut-turut. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.
2. Kelompok 1 : diberikan ekstrak kering teripang laut (1%) peroral 1 ml/25 gram BB mencit setiap hari selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik dengan dosis 62,5 mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.
3. Kelompok 2 : diberikan ekstrak kering teripang laut 1000 mg/Kg BB atau 25 mg/25 g BB mencit peroral 1 ml/25 gram BB mencit setiap hari selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik dengan dosis 62,5

- mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.
4. Kelompok 3 : diberikan ekstrak kering teripang laut 750 mg/kg BB atau 18,75 mg/25 g BB mencit peroral 1 ml/25 gram BB mencit setiap hari selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik dengan dosis 62,5 mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.
 5. Kelompok 4 : diberikan ekstrak kering teripang laut 500 mg/KgBB atau 12,5 mg/25 g BB mencit peroral 1 ml/25 gram BB mencit setiap hari selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik dengan dosis 62,5 mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.
 6. Kelompok 5 (kontrol positif kurkuma) : diberikan larutan curcuma tablet 2,5 mg/ 25 g BB mencit selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik 62,5 mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit..
 7. Kelompok 6 (kontrol PCT) : diberikan larutan pembawa Na CMC 1% peroral 1 ml/25 gram BB mencit selama 7 hari berturut-turut, pada 30 menit setelah itu diberikan parasetamol dosis hepatotoksik dengan dosis 62,5 mg/25 gram mencit. Pada hari ke 8 diambil darah dan dilakukan pembedahan hati mencit.

3. HASIL

Dalam penelitian ini dilakukan penelitian untuk melihat efek hepatoprotektor ekstrak teripang laut akibat pemberian parasetamol dosis hepatotoksik dengan menggunakan parameter sgpt. Penggunaan parasetamol sebagai penginduksi kerusakan hati karena masih banyak obat parasetamol ini digunakan sebagai analgesik antipiretik pada masyarakat luas terutama pada anak-anak dan lanjut usia yang digunakan dalam jangka waktu panjang. Parasetamol pada normalnya akan dimetabolisme oleh hati 90% dibiotransformasi menjadi metabolit sulfat dan glukoronat (melalui reaksi sulfat konjugasi dan glukoronat konjugasi), senyawa ini tidak toksik dan akan diekskresi melalui urin. Kira-kira 4% dari dimetabolisme oleh sitokrom P450 menjadi senyawa aktif metabolit yaitu N-asetil-p-aminobenzoquinonimin (NABQI). Secara normal NABQI didetoksifikasi oleh reaksi konjugasi dengan glutathione dan selanjutnya di ekskresi. Tetapi glutathione yang ada dapat dihabiskan oleh sejumlah besar dari parasetamol sehingga NABQI diakumulasi dan berikatan dengan makromolekul protein sel hati secara irreversible sehingga hati mengalami nekrosis. Enzim SGPT digunakan sebagai indikator kerusakan hati karena bila terjadi kerusakan hati, enzim ini dilepaskan dari sitoplasma dan mitokondria sehingga kadarnya meningkat dalam darah. Transaminase adalah sekelompok enzim yang merupakan katalis dalam proses pemindahan gugus amino antara suatu asam amino dengan suatu keto, sehingga dari asam amino tersebut terbentuk satu asam 2-keto, dan dari asam keto yang sesungguhnya terbentuk satu asam amino, dalam suatu proses yang bergantung pada energy, hati mengambil asam amino tersebut. Asam-asam amino membantu hati dalam pembentukan protein. Pemeriksaan utama dalam klinik untuk pemeriksaan serum transaminase adalah untuk mengetahui adanya radang sel hati (tapi tidak menggambarkan terjadinya regenerasi sel hati). Hal ini disebabkan karena serum transaminase memiliki beberapa sifat yang menguntungkan antara lain :

1. Kenaikan kadar transaminase terjadi paling awal dalam perjalanan penyakit sebelum terjadi perubahan nilai yang lain
2. Kadar serum transaminase adalah tes yang paling akhir kembali normal dalam perjalanan penyakit hati

Kadar serum transaminase dapat dipakai sebagai petunjuk dari adanya kekambuhan dari suatu penyakit hati. Tabel 1 adalah gambaran hasil pengukuran nilai sgpt dimana dari

hasil tersebut tidak semua kelompok mencit sama dengan kelompok negatif dan hal dapat jelas terlihat pada uji statistik one way anova yang tercantum pada tabel 2. Tabel 2 menggambarkan bahwa kelompok negatif (Na. CMC 1%) berbeda signifikan dengan semua kelompok yang artinya bahwa semua kelompok perlakuan tidak mengalami pemulihan ke nilai normal nilai sgpt. Kelompok 1 menggambarkan perbedaan yang signifikan dengan kelompok kontrol negatif dan kelompok 6 tapi tidak berbeda signifikan dengan kelompok 2,3,4,5 yang artinya untuk kelompok 1 mengalami penurunan nilai sgpt seperti kelompok 5 (kelompok kontrol positif yaitu sediaan kurkuma yang beredar dipasaran). Untuk kelompok 2 didapat hasil berbeda signifikan dengan kelompok negatif, kelompok 3, kelompok 6 dan tidak berbeda signifikan dengan kelompok 1,4,5, yang artinya bahwa kelompok 2 sama dengan penurunan nilai sgpt yang sama dengan kelompok positif (kurkuma). Untuk kelompok 3 didapat hasil berbeda signifikan dengan kelompok negatif, kelompok 2, kelompok 5 dan tidak berbeda signifikan dengan kelompok 1,4,6 yang artinya penurunan sgpt tidak sampai mencapai nilai normal dan tidak seperti penurunan kontrol positif yang merupakan produk yang ada dipasaran tapi kelompok ini sama dengan nilai kontrol parasetamol yang mempunyai nilai sgpt dua kali lipat dari nilai normal. Untuk kelompok 4 didapat hasil berbeda signifikan dengan kelompok negative dan positif dan tidak berbeda signifikan dengan kelompok 1,2,3,5. Untuk kelompok 5 didapat hasil berbeda signifikan dengan kelompok negative, dan positif dan tidak berbeda signifikan dengan kelompok 1,2,4. Untuk kelompok 6 yaitu kelompok parasetamol berbeda signifikan dengan kelompok negatif, 1,2,4,5 dan tidak berbeda signifikan dengan kelompok 3. Dari hasil uji tukey HSD di atas di dapat hasil bahwa semua kelompok berbeda signifikan dengan semua kelompok perlakuan yang artinya semua kelompok perlakuan tidak mengalami penurunan nilai sgpt seperti kontrol negatif. Kelompok 5 (kelompok kontrol positif yaitu kelompok kurkuma tablet) tidak berbeda signifikan dengan kelompok 1,2,4 dan untuk kelompok 1 tidak berbeda signifikan dengan kelompok 3,4 dan kelompok 6 (kelompok kontrol parasetamol tidak berbeda signifikan dengan kelompok 3. Dari hasil di atas maka dapat digambarkan bahwa kelompok yang mendekati nilai sgpt kelompok kontrol positif (kurkuma) adalah kelompok 2 yaitu ekstrak teripang dengan dosis 1000 mg/Kg BB.

4. GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Hasil Pengukuran sgpt

Kelompok	Kadar SGPT (U/I) 2,1 – 23,8 U/I)
Kelompok kontrol negatif (Na. CMC 1%)	8
	6
	8
1 (ekstrak teripang laut 1%)	34
	30
	32
2 (ekstrak teripang laut dosis 1000 mg/Kg BB)	29
	26
	27
3 (ekstrak teripang laut dosis 750 mg/Kg BB)	41
	37
	35
4 (ekstrak teripang laut dosis 500 mg/Kg BB)	34
	30
	32
5 (kurkuma tablet 2,5 mg/ 25 g BB)	27
	25

	25
6 (kelompok PCT)	44
	45
	42

Tabel 2. Hasil uji statistik Tukey HSD

kelompok	N	Subset for alpha = 0.01			
		1	2	3	4
kontrol negatif	3	7.3333			
kel. 5	3		25.6667		
kel. 2	3		27.3333		
kel. 1	3		32.0000	32.0000	
kel. 4	3		32.0000	32.0000	
kel. 3	3			37.6667	37.6667
kel. 6	3				43.6667
Sig.		1.000	.014	.030	.020

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini dapat memberi gambaran tentang efek perbaikan fungsi hati melalui parameter SGPT yang terjadi pada dosis 1000 mg/Kg BB.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tuliskan ucapan terimakasih KEMENRISTEK DIKTI yang telah memberi dukungan dana untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim. Farmakope Indonesia. Edisi Ketiga. Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1979
- [2] Boyer. T.D. Hepatology A Text Book of Liver Diseases. W.B. Sander Company. Philadelphia. 1982
- [3] Copenhaver M. Wilfred. Textbook of Histoogy. Fifteenth Edition. The Williams & Wilkins Company. Baltimore. USA. 1964
- [4] Gibson, G. Pengantar Metabolisme Obat. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press). Jakarta. 1991
- [5] Junquire, C. et al . Histologi Dasar. Alih bahasa oleh Dr. Jan Tambayong. Penerbit Buku Kedokteran EGC. 1998.
- [6] Kumar Suresh, N. Protective Effect of Root Extract of Operculina turpethum Linn. Against Paracetamol-Induced Hepatotoxicity in Rats. Indian Journal. 2006
- [7] Laura, J. Philip, M. Acetaminophen-induced Hepatotoxicity. The American Society for Pharmacolgy and Experimental Therapeutics. 2003.
- [8] Martoyo, J. dkk. 2006. Budi Daya Teripang. Edisi revisi. Penebar Swadaya. Jakarta

- [9] Michael, P. and Cynthia, JU. Mechanisms of Drug Induced Liver. Department of Pharmaceutical Sciences of Pharmacy. University of Colorado Health Sciences Center. Denver. 2006
- [10] Reynolds, J. Martindale, The Extra Pharmacopoeia. Thirtieth Edition. London The Pharmaceutical Press. 1993
- [11] Setiabudi, R. Hepatitis Karena Obat. Bagian Farmakologi FK-UI. Cermin Dunia Kedokteran N0. 15, 10-12. 1979
- [12] Sheila, S. Penyakit Hati dan Sistem Saluran Empedu. Penerbit Widya Medika. Jakarta. 1990.
- [13] Timbrell, A.J. Principles of Biochemical Toxicology. Taylor and Francis Ltd London. 1985.
- [14] Wyngaarden, J.B. The Textbook of Medicine. Volume I. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.
- [16] Zimmerman, H.J. Drug-Induced Liver Disease. Academic Press. New York. 1978.