

Jurnal Teknologi

Volume 14 Nomor 1 Juni 2021

- **Manajemen Risiko Dalam Bisnis Forex Dengan Metode House Of Risk**
Ridwan Fiqtyandi Alfath, Winda Nur Cahyo
- **Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif**
Fita Sari, Agus Darwanto
- **Estimasi Ketidakpastian Nilai Acuan Kobalt Dan Mangan Dalam Matriks Air Minum Kemasan**
Christine Elishian, Isna Komalasari, Eka Mardika Handayani, Oman Zuas, Nuryatini Hamim, Ayu Hindayani, Dyah Styarini, Eka Pratiwi
- **Penerapan Metode Storet Dan Indeks Diversitas Fitoplankton Dari Shannon-Wiener Sebagai Indikator Kualitas Perairan Situ Rawa Kalong Depok, Jawa Barat**
Gannes Citraning Sidomukti, Wisnu Wardhana
- **Analisis Perubahan Tutupan Lahan Sebelum Dan Setelah Gempa Bumi Tahun 2018 Di Kecamatan Sambelia, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat**
Vindy Arinka Fitri, Indah Prasasti
- **Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar Dalam Order Giga Ohm**
Lukluk Khairiyati, Muhammad Azzumar, Nibras Fitrah Yayienda
- **Stabilisasi Sistem Kontrol Bilinier Dengan Gangguan Menggunakan Linierisasi Eksak Dan Backstepping**
Khazin Mu'tamar, Janson Naiborhu, Roberd Saragih
- **Pemanfaatan Jeruk Nipis (Citrus Aurantifolia) Pada Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) Dari Santan Kelapa**
Murni Yuniwati, Bambang Kusmartono, Ganjar Andaka, Nitia Nanda Rama
- **Analisis Postur Pekerja Pada Proses Produksi Tahu Berdasarkan Metode Rapid Entire Body Assessment Di CV Lahan Faedah**
Alif Fauza Dwi Prirasetyo, Nina Mahbubah
- **Persebaran Salinitas Air Tanah Di Kecamatan Dukuhseti Kabupaten Pati**
Muchlis Muchlis, Paramita Dwi Sukmawati, Arie Noor Rakhman, Thomas Budi Antoni
- **Pemanfaatan Serat Pohon Pisang Kepok (Musa paradisiacal L) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Hardboard**
Bambang Kusmartono, Murni Yuniwati, Zumratul Adzkiyaa
- **Studi Ekperimental Variasi Panjang Pipa Suction Terhadap Debit Limbah Dan Efisiensi Pada Pompa Hidram**
Sarjono Sarjono

Jurnal
Teknologi

Volume 14

Nomor 1

Halaman
1 - 105

Juni
2021

Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta



Jurnal Teknologi

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief

Dr. Ir. Toto Rusianto, M.T.

Managing Editor

Dr. Rahayu Khasanah, S.T., M.Eng.

Editor

Andrean Emaputra, S.T., M.Sc.

Beny Firman, S.T., M.Eng.

Ir. Muhammad Yusuf, M.T.

Ir. Murni Yuniwati, M.T.

Guest Editor

Beni Tri Sasongko, ST., M.Eng. (Universitas Negeri Yogyakarta)

Denny Hardiyanto, S.T., M.Eng. (Universitas PGRI Madiun)

Rosalia Arum Kumalasanti, S.T., M.T. (Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)

Reviewer

Daniel Oranova Siahaan, S.Kom, M.Sc., PDEng (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Dr. Deendarlianto, ST., M.Eng. (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Dr. Eng. Azridjal Aziz, ST., MT. (Universitas Riau)

Dr. Ir. Abdul Kadir, MT., MM. (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Dr. Ir. Amir Hamzah, MT. (Universitas AKPRIND Indonesia)

Dr. Ir. Iswanjono, (Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)

Dr. Moh. Hardiyanto (Institut Teknologi Indonesia)

Dr. Ratna Wardani, ST., MT. (Universitas Negeri Yogyakarta)

Dr. Romadoni Syahputra, ST., MT. (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta)

Ir. Ellyawan Setyo A., ST., M.Sc., Ph.D (Universitas AKPRIND Indonesia)

Ir. Ganjar Andaka, Ph.D. (Universitas AKPRIND Indonesia)

Muhammad Kusumawan Herliansyah, ST., MT., Ph.D. (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Prof. Dr. Erma Utami, S.Si, M.Kom (Universitas AMIKOM).

Prof. Dr. Indarto. DEA. (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Prof. Dr. Ir. Sudarsono, MT. (Universitas AKPRIND Indonesia)

Prof. Muhammad Djaeni, ST., M.Eng. (Universitas Negeri Diponegoro)

Yuni Kusumastuti, ST., M.Eng., D.Eng. (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Focus and Scope

This journal is a scientific journal to develop knowledge in the field of Engineering & Technology. Editors invite professionals from education and researcher to write about the progress of science in the field of Engineering & Technology. The journal is published 2 (two) times in 1 year.

Topics of papers that can be published in the Journal of Technology (Jurtek) Faculty of Industrial Technology, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta are scientific topics that are in accordance with the fields of interest in the Faculty, namely: Chemical Engineering, Industrial Engineering, Mechanical Engineering, Electrical Engineering, informatics and Relevant Science and Technology

Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Email: jurtek@akprind.ac.id

<https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/jurtek>

Jurnal Teknologi

Volume 14 Nomor 2 Desember 2021

- | | |
|--|--------|
| • Manajemen Risiko Dalam Bisnis Forex Dengan Metode House Of Risk
<i>Ridwan Fiqtyandi Alfath, Winda Nur Cahyo</i> | 1-9 |
| • Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif
<i>Fita Sari, Agus Darwanto.....</i> | 10-19 |
| • Estimasi Ketidakpastian Nilai Acuan Kobalt Dan Mangan Dalam Matriks Air Minum Kemasan
<i>Christine Elishian, Isna Komalasari, Eka Mardika Handayani, Oman Zuas, Nuryatini Hamim, Ayu Hindayani, Dyah Styarini, Eka Pratiwi</i> | 20-27 |
| • Penerapan Metode Storet Dan Indeks Diversitas Fitoplankton Dari Shannon-Wiener Sebagai Indikator Kualitas Perairan Situ Rawa Kalong Depok, Jawa Barat
<i>Gannes Citraning Sidomukti, Wisnu Wardhana.....</i> | 28-38 |
| • Analisis Perubahan Tutupan Lahan Sebelum Dan Setelah Gempa Bumi Tahun 2018 Di Kecamatan Sambelia, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat
<i>Vindy Arinka Fitri, Indah Prasasti.....</i> | 39-47 |
| • Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar Dalam Order Giga Ohm
<i>Lukluk Khairiyati, Muhammad Azzumar, Nibras Fitrah Yaijenda</i> | 48-54 |
| • Stabilisasi Sistem Kontrol Bilinier Dengan Gangguan Menggunakan Linierisasi Eksak Dan Backstepping
<i>Khozin Mu'tamar, Janson Naiborhu, Roberd Saragih.....</i> | 55-65 |
| • Pemanfaatan Jeruk Nipis (Citrus Aurantifolia) Pada Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) Dari Santan Kelapa
<i>Murni Yuniwati, Bambang Kusmartono, Ganjar Andaka, Nitia Nanda Rama.....</i> | 64-71 |
| • Analisis Postur Pekerja Pada Proses Produksi Tahu Berdasarkan Metode Rapid Entire Body Assessment Di CV Lahan Faedah
<i>Alif Fauza Dwi Prirasetyo, Nina Mahbubah</i> | 72-82 |
| • Persebaran Salinitas Air Tanah Di Kecamatan Dukuhseti Kabupaten Pati
<i>Muchlis Muchlis, Paramita Dwi Sukmawati, Arie Noor Rakhman, Thomas Budi Antoni.....</i> | 83-90 |
| • Pemanfaatan Serat Pohon Pisang Kepok (Musa paradisiacal L) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Hardboard
<i>Bambang Kusmartono, Murni Yuniwati, Zumratul Adzkiyaa</i> | 91-98 |
| • Studi Ekperimental Variasi Panjang Pipa Suction Terhadap Debit Limbah Dan Efisiensi Pada Pompa Hidram
<i>Sarjono Sarjono.....</i> | 99-105 |

Manajemen Risiko Dalam Bisnis Forex Dengan Metode *House Of Risk*

Ridwan Fiqtyandi Alfath¹, Winda Nur Cahyo²

¹Mahasiswa Prodi Teknik Industri Program Magister, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
E-mail: 16916115@students.uii.ac.id¹, winda.nurcahyo@uii.ac.id²

ABSTRACT

The high interest and interest of the world community in the world of foreign exchange or forex (foreign exchange) has increased quite drastically from year to year. From statistical data processed by BIS (Bank for International Settlements), which shows data on foreign exchange market turnover from 2001 which only ranged from 1.239 billion to 5.067 billion in 2016. Because this forex business has a high enough level of risk, and The high interest of the world community in this business, it is necessary to conduct research related to risk management and decision making in the forex business. This research was conducted using the house of risk method in identifying sources of risk and mitigating actions. House of risk consists of 2 phases. The first phase is the identification of risk events and risk agents. From the results of interviews, discussions and brainstorming conducted, it was found that in the forex business there were 10 risk events and 13 identified risk agents. Then from the results of the Pareto diagram, it was obtained that 5 risk agents were selected based on the highest ARP value with a ratio of 80:20 so that the mitigation carried out could be more focused. In house of risk phase 2, discussions and interviews were conducted and 13 preventive action (PA) were obtained as well as the degree of difficulty in each PA as the input value in the house of risk table phase 2. Based on the results of the ETD (effectiveness to difficulty) value, the order Of the 13 PAs, where mitigation selects a broker regulated by an official and world recognized regulator (PA1), is the first priority for preventive action with an ETD value of 4212, followed by 12 other precautions with the largest to the smallest ETD order.

Keywords: forex, house of risk, risk, risk mitigation.

INTISARI

Tingginya minat dan ketertarikan masyarakat dunia terhadap dunia valuta asing atau *forex* (foreign exchange) meningkat cukup drastis dari tahun ke tahun. Dari data statistik yang diolah oleh BIS (Bank for International Settlement), yang mana menunjukkan data *turnover foreign exchange market* dari tahun 2001 yang hanya berkisar 1.239 billion menjadi 5.067 billion di tahun 2016. Oleh karena bisnis *forex* ini memiliki tingkat risiko yang cukup tinggi, serta tingginya minat masyarakat dunia akan bisnis ini, maka perlu dilakukan penelitian terkait cara pengelolaan risiko dan pengambilan keputusan dalam bisnis *forex* tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *house of risk* dalam identifikasi sumber risiko dan tindakan mitigasinya. *House of risk* terdiri dari 2 fase. Fase pertama yaitu identifikasi kejadian risiko dan agen risiko. Dari hasil wawancara, diskusi, dan *brainstorming* yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa dalam bisnis *forex* terdapat 10 kejadian risiko dan 13 agen risiko yang teridentifikasi. Kemudian dari hasil pareto diagram diperoleh 5 agen risiko terpilih berdasarkan nilai ARP tertinggi dengan perbandingan 80:20 sehingga mitigasi yang dilakukan dapat lebih fokus. Pada *house of risk* fase 2, dilakukan diskusi dan wawancara dan diperoleh 13 *preventive action* (PA) sekaligus dengan derajat kesulitan pada masing-masing PA sebagai nilai *input* dalam tabel *house of risk* fase 2. Berdasarkan hasil nilai ETD (*effectiveness to difficulty*) dilakukan pengurutan dari ke 13 PA tersebut, dimana mitigasi memilih broker yang teregulasi oleh regulator resmi dan diakui dunia (PA1) menempati prioritas tindakan pencegahan pertama dengan nilai ETD 4212, diikuti oleh 12 tindakan pencegahan lainnya dengan urutan ETD terbesar sampai terkecil.

Kata kunci: forex, house of risk, mitigasi risiko, risiko.

PENDAHULUAN

Tingginya minat dan ketertarikan masyarakat dunia terhadap dunia valuta asing atau *forex* (*foreign exchange*) meningkat cukup drastis dari tahun ke tahun. Hal tersebut dapat kita lihat dari data statistik yang diolah oleh BIS (*Bank for International Settlement*), yang mana menunjukkan data *turnover foreign exchange market* dari tahun 2001 yang hanya berkisar 1.239 billion menjadi 5.067 billion di tahun 2016 (*Bank of International Settlement, 2016*). *Forex* merupakan sebuah investasi yang tergolong *high risk* dan *high return investment program*. Sebuah investasi yang memiliki risiko tinggi, tentu timbal baliknya juga profit yang tinggi, jadi kedua sisi, baik itu profit maupun risiko ini tidak dapat dipisahkan satu sama lainnya (Haryadi, 2012). Dalam berinvestasi, harapan utama investor adalah memperoleh keuntungan dari transaksi yang dilakukannya. Dalam melakukan investasi tersebut setiap perusahaan umumnya akan berusaha agar perluasannya dapat berkembang sesuai dengan tujuan perusahaan yaitu untuk mendapatkan laba sebesar-besarnya untuk kelangsungan hidup perusahaan (Sugiharto, 2002). Menurut Halim (2005:4), investasi pada hakikatnya merupakan penempatan sejumlah dana pada saat ini dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Setiap kesalahan dalam pengambilan keputusan investasi akan menimbulkan kerugian bagi investor itu sendiri. Maka, diperlukan analisa yang kuat dan akurat, serta manajemen risiko yang baik untuk dijadikan dasar pengambilan keputusan investasi (Muchlisin, 2011).

Santoso dan Ernawati (2017) mengungkapkan bahwa manajemen risiko adalah identifikasi, penilaian, dan prioritas risiko, yang diikuti oleh aplikasi yang terkoordinasi dan ekonomis dari sumber daya untuk meminimalkan, memantau, dan mengendalikan probabilitas dan atau dampak peristiwa yang tidak diinginkan. Berdasarkan tingkat risiko yang cukup tinggi dari bisnis *forex*, serta tingginya minat masyarakat dunia akan bisnis ini, maka perlu dilakukan penelitian terkait cara pengelolaan risiko dan pengambilan keputusan dalam bisnis *forex* tersebut. Menurut Widoatmodjo (2007), ada 4 strategy manajemen risiko yang dapat dipergunakan dalam *forex online trading*, yaitu *cut loss*, *switching*, *locking*, dan *averaging*. Risiko-risiko yang menjadi prioritas dalam bisnis *forex* perlu untuk diidentifikasi, serta bagaimana kondisi dari risiko yang muncul dan *risk treatment* seperti apa yang perlu dilakukan untuk meminimalisir risiko-risiko yang muncul dari bisnis *forex*.

Muchlisin (2011) pernah melakukan penelitian terkait hubungan antara harga saham di masa lalu dengan harga saham di masa yang akan datang, menggunakan perhitungan *Autocorrelation*, sehingga analisis teknikal dapat digunakan untuk memprediksi pergerakan harga saham. Akan tetapi risiko yang ada didalamnya tidak dilakukan pembahasan secara mendalam. Kemudian Ulfah, et, al., (2016) melakukan penelitian tentang manajemen risiko pada rantai pasok gula rafinasi dengan metode *House Of Risk* yang mana dalam penelitian tersebut metode *House of Risk* digunakan dalam manajemen risiko pada proses bisnis *supply chain*. Oleh karena itu pada penelitian ini metode yang digunakan dalam analisa pengelolaan risiko adalah metode *House of Risk* dengan objek penelitian pada bisnis *forex*, mengingat tingginya potensi risiko yang ada pada bisnis tersebut.

Metode *House of Risk* (HOR) merupakan model manajemen risiko rantai pasok menggunakan metode konsep *House of Quality* (HOQ) dan *Failure Models and Effects Analysis* (FMEA) yang dikembangkan oleh Pujawan dan Geraldin (2009), untuk menyusun suatu *framework* dalam mengelola rantai pasok Pendekatan HOR bertujuan untuk mengidentifikasi risiko dan merancang strategi penanganan untuk mengurangi probabilitas kemunculan dari agen risiko dengan memberikan tindakan pencegahan pada agen risiko. Agen risiko merupakan sumber penyebab yang mendorong timbulnya risiko sehingga dengan mengatasi agen risiko tersebut, dapat mengurangi timbulnya beberapa kejadian risiko. Terdapat 2 fase yang digunakan dalam melakukan pendekatan HOR yaitu HOR fase 1 dan HOR fase 2. Berikut merupakan penjelasan dan langkah yang digunakan pada masing-masing fase tersebut.

A. *House of Risk* fase 1

House of Risk 1 (HOR 1) digunakan sebagai proses identifikasi serta evaluasi risiko. Pada model ini dilakukan dengan memasukkan tingkat *severity* dari kejadian risiko dan nilai *occurrence* dari agen risiko yang telah diidentifikasi untuk kemudian menentukan tingkat korelasi antar keduanya. . Dalam hal ini, nilai *severity* menggunakan skala 1 sampai 5, dimana 1 menggambarkan tidak adanya dampak atau dapat diabaikan, 2 menunjukkan dampak yang sangat rendah, lalu 5 menunjukkan dampak yang sangat tinggi. Tingkat keparahan dari kejadian risiko diletakkan di kolom sebelah kanan dan dinyatakan sebagai Si. Sedangkan dalam nilai *occurrence*, ditetapkan skala 1-5 dimana 1 artinya sangat jarang terjadi, lalu 2 memiliki arti jarang terjadi, 3 berarti mungkin atau dapat

terjadi, 4 memiliki arti cukup sering terjadi, dan nilai 10 artinya hampir pasti terjadi. Sumber risiko (risk agent) dinotasikan sebagai Aj dan ditempatkan pada baris atas dan kejadian terkait berada pada baris bawah, dengan notasi Oj. Hubungan antara setiap sumber risiko atau agen risiko dengan setiap kejadian risiko ditentukan korelasinya menggunakan notasi Rij (0, 1, 3, 9) dimana 0 menunjukkan tidak ada korelasi dan 1, 3, 9 menunjukkan berturut-turut rendah, sedang dan korelasi tinggi.

Tujuan dari HOR fase 1 ini adalah untuk mencari nilai ARP (*aggregate risk priority*) dari masing-masing agen risiko. Nilai ARP didapatkan dari hasil perkalian antara nilai *severity*, nilai *occurrence* dan nilai korelasi dari kejadian risiko dan agen risiko seperti pada perhitungan berikut :

$$ARP_j = O_j \sum S_i R_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

B. *House of Risk* fase 2

House of Risk 2 (HOR 2) digunakan untuk menentukan penanganan risiko dari sumber risiko yang telah teridentifikasi berdasarkan nilai ARP tertinggi pada proses *House of Risk 1* (HOR 1). Risiko prioritas yang telah teridentifikasi tersebut digunakan sebagai input pada *House of Risk 2*. HOR fase 2 ini dimulai dengan menentukan strategi penanganan, mencari besar hubungan antara strategi penanganan dengan agen risiko yang ada, menghitung nilai *Total Effectiveness* (TE_k) sesuai pada rumus 2, serta nilai *Degree of Difficulty* (D_k), kemudian menghitung rasio *Effectiveness To Difficulty* (ETD_k) untuk mengetahui ranking prioritas dari strategi dengan menggunakan rumus perhitungan 3.

$$TE_k = \sum ARP_j E_{jk} \dots\dots\dots(2)$$

$$ETD_k = TE_k / D_k \dots\dots\dots(3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap *House of Risk* fase 1, dilakukan identifikasi *risk event* beserta nilai *severity* dari masing-masing risiko kejadian tersebut. Selain itu dilakukan pula identifikasi agen risiko yang menyebabkan kejadian risiko tersebut dapat terjadi beserta dengan nilai *occurrence* dari masing-masing agen risiko. Dalam penelitian ini diperoleh 10 *risk event* (tabel 1) dan 13 *risk agent* (tabel 2) yang nantinya dilakukan analisa korelasi antar keduanya sehingga nilai ARP dari masing-masing agen risiko dapat ditentukan. Seluruh nilai yang telah teridentifikasi tersebut, baik *severity*, *occurrence*, nilai korelasi, dan nilai ARP dapat dilihat secara lengkap pada tabel 3, memuat tentang tabel *House of Risk* fase 1.

Tabel 1. Hasil Identifikasi *Risk Event* dan Nilai *Severity*

Kode Risiko	Kejadian Risiko (<i>Risk event</i>)	<i>Severity</i>
E1	Psikologis trader tidak dalam kondisi baik	4
E2	Tidak memiliki pengalaman dan pengetahuan trading yang cukup	4
E3	Dana investor habis	4
E4	Investor tidak mendapatkan harga yang diinginkan	1
E5	History transaksi hilang	1
E6	Terjadi freeze sehingga investor atau trader tidak dapat bertransaksi	3
E7	Data Investor hilang saat login	1
E8	Tidak dapat melikuidasi transaksi satu per satu	3
E9	Tidak dapat melakukan pencairan transaksi	5
E10	Liquidity Provider berhenti beroperasi	5

Tabel 2. Hasil Identifikasi *Risk Agent* dan Nilai *Occurrence*

Kode Risiko	Pemicu Risiko (<i>Risk agent</i>)	<i>Occurance</i>
A1	Aktivitas trading yang berlebihan	4
A2	Tidak memiliki sarana pembelajaran yang baik (mentor, buku)	4
A3	Sedang menjalani fase recovery dari kerugian yang besar	4
A4	Broker scam atau penipu	4
A5	Penyedia liquiditas broker tidak memiliki harga yang diinginkan	2
A6	Server yang digunakan broker mengalami problem	2
A7	Nilai latency atau delay dari server yang tinggi	1
A8	Volatilitas harga sangat tinggi	5
A9	Platform mengalami crash dengan program lain yang terinstall	1
A10	Adanya sistem first in first out pada platform trading	1
A11	Terjadi krisis ekonomi	1
A12	Terjadi konflik atau peperangan di negara tempat mata uang tersebut ditransaksikan	1
A13	Bencana alam	1

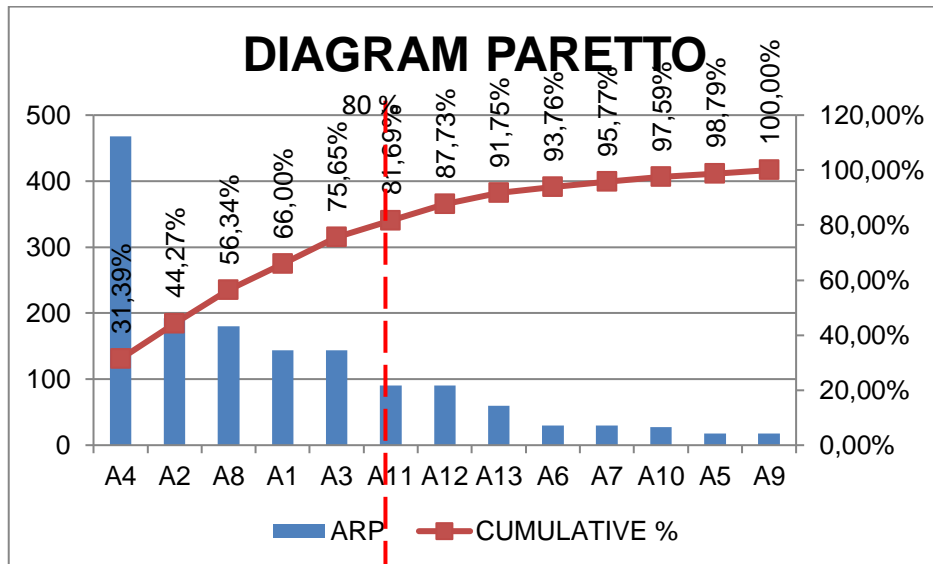
Tabel 3. *House of Risk* fase 1

<i>Risk event</i> (<i>Ei</i>)	<i>Risk agent</i> (<i>Aj</i>)													<i>Severity</i> (<i>Si</i>)	
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13		
E1	9		9												4
E2		9													4
E3		3		9				9							4
E4				9	9	3	3								1
E5						3			9						1
E6				9		3	9								3
E7									9						1
E8										9					3
E9				9							9	9	3		5
E10											9	9	9		5
Oj	4	4	4	4	2	2	1	5	1	1	1	1	1		
ARP	144	192	144	468	18	30	30	180	18	27	90	90	60		
Priority	4	2	5	1	12	9	10	3	13	11	6	7	8		

Dari tabel 3 dapat terlihat bahwa agen risiko A4 menempati ranking 1 dengan nilai ARP 468. Langkah selanjutnya yaitu menentukan agen risiko manakah yang akan menjadi prioritas melalui diagram pareto dengan prinsip 80:20 berdasarkan urutan nilai ARP dari yang tertinggi sampai terendah, sehingga diperoleh hasil seperti yang tertera pada gambar 1, Berdasarkan hasil diagram pareto pada gambar 1, maka hanya terdapat 5 *risk agent* dari 13 *risk agent* yang tersedia. Kelima *risk agent* tersebut yaitu, A4, A2, A8, A1, dan A3.

Langkah selanjutnya, pada *House of Risk* fase 2 dilakukan identifikasi tindakan pencegahan apa saja yang diperlukan untuk menangani risiko tersebut. Sebelum dilakukan tindakan pencegahan, terlebih dahulu dilakukan pemetaan risiko dengan model *Probability Impact Matrix* seperti yang terdapat pada gambar 2, untuk mengetahui kondisi dari masing-masing *risk agent* terpilih sebelum dilakukannya mitigasi. Setelah dilakukan pemetaan risiko, langkah selanjutnya yaitu proses diskusi serta wawancara dengan *expert* terkait penanganan apa saja yang perlu dilakukan untuk mengatasi *risk agent* terpilih dengan mempertimbangkan tingkat kesulitan yang dihadapi. Berdasarkan hasil diskusi tersebut diperoleh 12 tindakan pencegahan yang dapat dilakukan beserta dengan derajat kesulitan dari masing-masing tindakan seperti yang terdapat pada tabel 4, untuk menangani kelima agen risiko terpilih. Pada tabel 5 menggambarkan tabel *House of Risk* fase 2 dimana terlihat korelasi

antara masing-masing tindakan pencegahan dengan agen risiko, nilai derajat kesulitan dari masing-masing tindakan, serta nilai *effectiveness of difficulty ratio* dari tindakan pencegahan tersebut, yang mana merupakan output dari HOR fase 2. Langkah selanjutnya, dilakukan pemetaan risiko ulang (gambar 4), setelah diidentifikasi dan dilakukannya penanganan risiko sesuai hasil yang diperoleh dari *House of Risk* fase 2.



Gambar 1. Diagram Pareto Risk agent Bisnis Forex

Probabilitas	Sangat Tinggi					A8
	Tinggi		A1		A4, A2, A3	
	Sedang					
	Rendah					
	Sangat Rendah					
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
		Dampak				

Keterangan :
 Merah = risiko kritis
 Kuning = risiko sedang
 Hijau = risiko rendah

Gambar 2. Probability Impact Matrix sebelum penanganan risiko

Tabel 4. Strategi Penanganan Risk agent Prioritas

Kode Penanganan	Deskripsi Penanganan	Kesulitan Penerapan (Dk)
PA1	Memilih broker yang teregulasi oleh regulator resmi dan diakui dunia	1
PA2	Melakukan diversifikasi <i>account</i>	1
PA3	Menggunakan broker yang bersifat <i>No Dealing Desk</i> , baik itu <i>Straight Through Processing (STP)</i> ataupun <i>Electronic Communication Network (ECN)</i>	2
PA4	Berlatih menggunakan <i>account demo</i> dan <i>survive</i> selama minimal 1 tahun	2

PA5	Bergabung dengan komunitas <i>forex</i> yang kredibel (jika ada yang berada dibawah naungan broker teregulasi)	2
PA6	Melakukan <i>survey</i> mandiri terkait mentor yang memiliki kapasitas dan pengalaman <i>trading</i> yang baik dan valid	2
PA7	Melakukan mapping market menggunakan timeframe harian (D1) sampai dengan bulanan (MN)	2
PA8	Mengukur tingkat volatilitas harga, dengan cara melihat harga <i>Support Resistance</i> pada <i>time frame</i> bulanan (MN)	3
PA7	Melakukan <i>mapping market</i> menggunakan <i>timeframe</i> harian (D1) sampai dengan bulanan (MN)	2
PA9	Melakukan analisa <i>market</i> berdasarkan data kalender ekonomi <i>High Impact</i> yang tersedia secara luas di dunia maya	3
PA10	Mengukur target keuntungan (T/P) dan batasan kerugian (S/L), sehingga dapat mengaplikasikan prinsip <i>set and forget</i>	2
PA11	Menengangkan diri terlebih dahulu sampai kondisi psikologis benar-benar tenang dan stabil	2
PA12	Melakukan review dari kesalahan masa lampau yang menyebabkan kerugian tersebut	1

Tabel 5. *House of Risk* Fase 2

<i>Risk agent</i>	<i>Preventive Action (PA)</i>												ARP
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	PA8	PA9	PA10	PA11	PA12	
A4	9	9	9										468
A2				9	9	9							192
A8				3			9	9	3	3			180
A1							9	3	9	9			144
A3				3							9	9	144
TEk	421	421	421	270	172	172	291	205	183	183	129	129	
Dk	2	2	2	0	8	8	6	2	6	6	6	6	
ETD	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	1	
Rank	421	421	210	135	864	864	145	684	612	918	648	129	
	2	2	6	0			8					6	
	1	2	3	5	8	9	4	10	12	7	11	6	

Berdasarkan tabel 5 di atas, terlihat urutan prioritas masing-masing tindakan penanganan (PA) dari masing-masing agen risiko. Urutan prioritas tersebut diperoleh berdasarkan urutan nilai ETD tertinggi sampai terendah, dan PA1 menempati urutan 1, dilanjutkan dengan PA2 di urutan kedua, dan seterusnya. Nilai ETD ini menggambarkan nilai efektifitas dari masing-masing agen risiko berdasarkan tingkat kesulitan yang dihadapi dalam pelaksanaannya. Setelah urutan prioritas tindakan pencegahan risiko diperoleh, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa terkait nilai *severity* jika penanganan tidak dilakukan beserta biaya yang diperlukan untuk melakukan tindakan pencegahan tersebut. Pada tabel 6 berikut memperlihatkan analisa terkait nilai *severity* dan biaya dari masing-masing tindakan pencegahan. Pada keterangan biaya mitigasi, jika tertulis tidak ada biaya, maka hal ini disebabkan karena biaya yang muncul hanya terbatas pada biaya *internet* yang digunakan, sehingga nilainya diabaikan. Hal tersebut dilakukan dengan pertimbangan bahwa pada kondisi masyarakat sekarang, *internet* sudah menjadi salah satu kebutuhan (Isdhana, 2011).

Setelah biaya dan *severity* dari masing-masing tindakan pencegahan telah teridentifikasi, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan kembali nilai *severity* dan *occurrence* dari masing-masing *risk agent* jika tindakan pencegahan pada tabel 4.16 di atas dilakukan. Penilaian *severity* dan *occurrence* ini digunakan untuk melakukan pemetaan ulang kondisi risiko setelah prioritas tindakan pencegahan risiko teridentifikasi sehingga terbentuk suatu peta kondisi risiko seperti yang tergambar pada gambar 4.

Tabel 6. Nilai *severity* dan biaya masing-masing tindakan penanganan

Kode PA	Dk	ETD	Nilai Severity	Biaya Mitigasi
PA1	1	4212	4	Tidak ada biaya
PA2	1	4212	4	Tidak ada biaya
PA3	2	2106	4	Tidak ada biaya
PA7	2	1458	4	Tidak ada biaya, hanya perlu meluangkan waktu pada saat <i>close market</i> (Sabtu & Minggu)
PA4	2	1350	4	Tidak ada biaya
PA12	1	1296	4	Tidak ada biaya
PA10	2	918	4	Tidak ada biaya, hanya perlu meluangkan waktu pada saat <i>close market</i> (Sabtu & Minggu)
PA5	2	864	1	Biaya bervariasi antara Rp. 0 – Rp. 10 juta
PA6	2	864	2	Biaya bervariasi antara Rp. 0 – Rp. 200 juta
PA8	3	684	5	Tidak ada biaya, hanya perlu meluangkan waktu pada saat <i>close market</i> (Sabtu & Minggu)
PA11	2	648	2	Tidak ada biaya
PA9	3	612	5	Tidak ada biaya

Probabilitas	Sangat Tinggi					
	Tinggi					
	Sedang			A8		
	Rendah	A2	A4, A3			
	Sangat Rendah	A1				
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
		Dampak				

Gambar 3. *Probability Impact Matrix* setelah penanganan risiko

Pada gambar 3 di atas terlihat bahwa *risk agent* A1, A2, A3 dan A4 berada pada posisi risiko rendah sehingga hanya memerlukan penanganan yang sifatnya pengawasan dan pengendalian agar tetap berada pada kondisi risiko rendah. Pada awalnya, sebelum dilakukan penanganan risiko, *risk agent* A2, A3, A4, dan A8 berada pada kondisi kritis, namun setelah dilakukannya tindakan pencegahan, mengalami perbaikan kondisi risiko menjadi kondisi risiko rendah. Sedangkan *risk agent* A8 mengalami perbaikan kondisi menjadi kondisi risiko sedang. Untuk *risk agent* A1, mengalami perbaikan kondisi dari yang semula berada di kondisi risiko sedang menjadi kondisi risiko rendah. Hal ini tidak terlepas dari tindakan pencegahan risiko yang telah dilakukan dalam usaha untuk mengurangi nilai risiko pada bisnis *forex* baik dari segi *severity* ataupun *occurrence* masing-masing *risk agent*. Tahap selanjutnya yang perlu dilakukan yaitu proses kontrol dan monitoring risiko. Proses kontrol dan monitoring ini dilakukan untuk mengamati hasil dari penerapan dari tindakan pencegahan yang telah dilakukan. Selain itu, dilakukan proses evaluasi dan pengukuran sebagai bentuk kontrol terhadap masing-masing tindakan pencegahan terpilih seperti yang terlihat pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Kontrol dan Monitoring Tindakan Pencegahan

Ranking Tindakan	Kode PA	Tindakan Kontrol dan Monitoring
1	PA1	Membuat daftar tindakan kesalahan yang pernah dilakukan oleh <i>broker</i> terpilih, yang mana digunakan untuk bahan evaluasi, kontrol dan monitoring terhadap suatu broker
2	PA2	Membuat tabel perkembangan dari masing-masing account yang telah terdiversifikasi

3	PA3	Membuat checklist dari suatu broker, apakah pernah mengalami <i>requote</i> saat melakukan transaksi atau tidak
4	PA7	Membuat marking pada <i>trading chart</i> dan membuat tabel <i>trend</i> , terkait pola <i>trend</i> yang terbentuk pada <i>timeframe</i> harian, mingguan, dan bulanan.
5	PA4	Membuat catatan <i>trading</i> , untuk mengetahui <i>apasaja hambatan</i> yang dialami selama <i>trading</i> dan bagaimana cara mengatasinya.
6	PA12	Membuat catatan kegagalan <i>trading</i> dan solusi yang pernah dilakukan dari kegagalan-kegagalan yang pernah dialami.
7	PA10	Membuat tanda atau <i>marking</i> pada <i>trading chart</i> , terkait area-area target keuntungan dan batasan kerugian.
8	PA5	Membuat daftar komunitas-komunitas forex yang kredibel, untuk kemudian dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dari masing-masing komunitas tersebut.
9	PA6	Membuat daftar mentor yang akan dipilih, dalam daftar ini dapat disertakan <i>strategy</i> yang digunakan dari masing-masing mentor, biaya yang diperlukan, ataupun kekurangan dari mentor-mentor tersebut.
10	PA8	Membuat tanda atau marking pada <i>trading chart</i> , terkait <i>area-area support</i> dan <i>resistance</i> yang muncul pada <i>time frame</i> bulanan (MN).
11	PA11	Membuat daftar aktivitas yang dapat menciptakan kondisi <i>relax</i> baik secara jiwa dan raga.
12	PA9	Membuat daftar jadwal agenda ekonomi apa saja yang masuk kategori <i>high impact</i> , dalam daftar tersebut memuat informasi terkait <i>currency</i> apa apa yang terpengaruhi serta kapan jadwal agenda tersebut akan terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terkait analisa risiko pada bisnis *forex* ini, terdapat beberapa risiko dan strategi penanganan yang perlu dilakukan. Dari 13 *risk agent* yang menjadi sumber risiko dalam bisnis *forex*, hanya terdapat 5 sumber risiko yang menjadi prioritas untuk dilakukan tindakan pencegahan. Yang mana sumber risiko *broker scam* atau penipu (A4) menempati prioritas tertinggi, disusul dengan 4 sumber risiko yang lain.

Tindakan pencegahan untuk menangani risiko terpilih tersebut, diperoleh 13 tindakan pencegahan yang telah diprioritaskan untuk dapat dilakukan, sehingga dapat memperbaiki atau mengurangi risiko yang timbul akibat sumber risiko prioritas.

Pemilihan *broker* yang teregulasi oleh regulator resmi dan diakui dunia (PA1), menempati prioritas tertinggi untuk segera diimplementasikan berdasarkan nilai ETD tertinggi dan kemudian disusul dengan 12 tindakan pencegahan yang lain.

Berdasarkan hasil pemetaan risiko, terdapat perbaikan kondisi risiko antara sebelum dilakukan tindakan pencegahan dengan setelah dilakukan tindakan pencegahan. Sebelum dilakukan tindakan pencegahan, terdapat 4 sumber risiko prioritas yang berada dalam kondisi kritis (A8, A4, A2, dan A3) serta 1 sumber risiko yang berada dalam kondisi risiko sedang (A1). Namun setelah dilakukan tindakan pencegahan, ada 4 sumber risiko yang menjadi berada di kondisi rendah, yaitu A1, A2, A4, dan A3. Sedangkan untuk kondisi risiko sedang hanya terdapat pada A8, dan untuk kondisi risiko kritis sudah tidak ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Bank of International Settlement. 2016. *Triennial Central Bank Survey Of Foreign Exchange And OTC Derivatives Markets In 2016*. Bank of International Settlement, Basel.
- Halim, Abdul. 2005. *Analisis Investasi*. Salemba Empat, Jakarta.
- Haryadi, Rahmad. 2012. *Analisis Penerapan Pajak Penghasilan Orang Pribadi Dari Online Forex Trading (Perdagangan Valuta Asing Secara Online) Yang Menggunakan Broker Luar Negeri*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Isdhana, Farrah Dhiba. 2011. *Pemanfaatan Internet Sebagai Sumber Belajar Mahasiswa Prodi Ppkn Fis Unnes*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Muchlisin, Ilham Syaiful. 2011. *Prediksi Harga Saham Dalam Perspektif Analisis Teknikal (Studi pada Jakarta Islamic Index (JII) Tahun 2007 – 2011)*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.

- Pujawan, I. N. dan Geraldin, L. H. 2009. *House of risk: a model for proactive supply chain risk management*. Business Process Management Journal, Vol. 15.
- Santoso H. B. dan Ernawati L. 2017. *Manajemen Risiko Pada Pusat Data Perguruan Tinggi Dengan Kerangka Kerja NIST 800-30*. JUISI, Vol. 03, No. 02. Universitas Kristen Duta Wacana.
- Sitanggang, L.M., dan Yulika Indrawati. 2007. *Pscyocho On Trading*. C.V. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sugiharto, Toto dan Sumiati. 2002. *Studi Kelayakan Proyek Pengembangan Perkebunan Pisang Abaca Dengan Menggunakan Analisis Peranggaran Modal*, Jurnal Ekonomi dan Bisnis, Jilid 7, No. 3:145-150.
- Ulfah et, al., 016. *Analisis Dan Perbaikan Manajemen Risiko Rantai Pasok Gula Rafinasi Dengan Pendekatan House Of Risk*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian, Jilid 28, No. 1:87-103.
- Widoatmodjo, Sawidji. 2007. *Forex Online Trading*. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.

Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif

Fita Sari¹, Agus Darwanto²

¹²Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

E-mail : fitasari0203@gmail.com¹, agoes.sttr@gmail.com²

ABSTRACT

Generators are very important equipment in power plants, because generators can convert mechanical power into electricity. In addition, the generator also serves to maintain the stability of the generation, one of which is to maintain the stability of the voltage. Maintaining the stability of the voltage is done by maintaining changes in flux on the generator by maintaining the stability of the excitation system and reactive power at the generator. For this reason, this study aims to determine the most appropriate ratio between the excitation currents generated and the reactive power generated at the plant so that it can control the generator quickly and accurately in handling generator excitation problems. The method used is to recalculate the output data and enter the generator that has worked in parallel hourly operations. The comparison calculation results between excitation current and reactive power in GTG 2.2, 600.67 amperes of excitation current produce 39.4 MVAR of reactive power, whereas in GTG 2.3, 611.44 amperes produce reactive power of 35.4 MVAR in a day and the percentage of reactive power result in PLTGU block 2 by 53% in a day.

Keywords: excitation, generator, reactive power.

INTISARI

Generator merupakan peralatan yang sangat penting pada pembangkit listrik, karena generator dapat mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Selain itu, generator juga berfungsi menjaga kestabilan pembangkitan, salah satunya menjaga kestabilan tegangan. Menjaga kestabilan tegangan dilakukan dengan menjaga perubahan fluks pada generator dengan menjaga kestabilan sistem eksitasi dan daya reaktif pada generator. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar perbandingan yang paling tepat antara arus eksitasi yang dihasilkan dengan daya reaktif yang dihasilkan pada pembangkit agar dapat mengontrol generator secara cepat dan tepat dalam penanganan masalah eksitasi generator. Metode yang digunakan adalah menghitung kembali data keluaran dan masukkan generator yang sudah bekerja paralel per jam operasi. Hasil perhitungan perbandingan antara arus eksitasi dan daya reaktif pada GTG 2.2 yaitu 600.67 A arus eksitasi menghasilkan 39.4 MVAR daya reaktif, sedangkan pada GTG 2.3 yaitu 611.44 A menghasilkan daya reaktif sebesar 35.4 MVAR dalam sehari serta presentase daya reaktif yang dibangkitkan pada PLTGU blok 2 sebesar 53% dalam sehari.

Kata kunci : daya reaktif, eksitasi, generator.

PENDAHULUAN

PT. Indonesia Power Semarang PGU merupakan perusahaan energi yang bergerak pada bidang pembangkitan listrik. PT. Indonesia Power mengelola unit - unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Saat ini kapasitas total yang terpasang pada PT.Indonesia Power sebesar 1.313,3 MW dengan keadaan hanya PLTGU yang beroperasi.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah pembangkit listrik jenis thermal hasil kombinasi antara pembangkit listrik tenaga gas dan pembangkit listrik tenaga uap (Bambang Setyoko, 2006).

Pada proses pembangkitan di PLTGU peran generator sangat penting, karena berfungsi mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik (Ridzki, 2013). Mahaganti et al. (2014), menyebutkan bahwa generator terbagi menjadi dua yaitu generator asinkron dan sinkron. Generator asinkron merupakan generator yang tidak serempak antara putaran rotor dengan putaran medan magnet pada stator. Generator asinkron digunakan pada pembangkit listrik dengan putaran rendah dan lebih ke energi baru terbarukan sedangkan generator sinkron adalah

generator yang jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator.

Generator sinkron umumnya digunakan pada pembangkit putaran tinggi seperti pembangkit listrik tenaga gas dan uap.

Pembebanan pada proses pembangkitan listrik harus selalu stabil, terutama saat terjadi beban maksimum. Generator sinkron sangat berperan dalam kestabilan pembangkitan tersebut. Untuk menjamin kestabilan pelayanan beban diperlukan kapasitas daya tambahan. Kapasitas daya listrik dapat bertambah dengan cara sinkronisasi generator. Sinkronisasi adalah memparalelkan dua atau lebih generator pada sistem pembangkit dengan berbagai syarat yang harus terpenuhi. Pada proses sinkronisasi tegangan keluaran dari generator yang bekerja paralel harus selalu stabil agar bisa bekerja terkoneksi. Salah satu faktor yang menyebabkan tegangan keluaran yang stabil dapat diatur dengan sistem eksitasi pada generator.

Sistem eksitasi merupakan pemberian arus searah (DC) pada kumparan medan rotor generator yang akan menimbulkan fluks magnetik. Secara garis besar sistem eksitasi dibagi menjadi dua, yaitu sistem eksitasi menggunakan sikat arang (carbon brush) dan tanpa sikat (brushless) (Zeljko, 2009). Kestabilan eksitasi dibutuhkan karena mempengaruhi besar tegangan keluaran generator dan daya reaktif yang dibutuhkan generator.

Daya reaktif merupakan daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Medan magnet diperlukan untuk pembentukan fluks magnet. Pengaturan kestabilan daya reaktif diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya eksitasi yang berlebihan (over excitation) dan eksitasi yang rendah (under excitation) yang mengakibatkan terjadinya gangguan panas berlebih pada stator dan rotor generator (Shintawaty, 2013).

Berdasarkan pengamatan dilapangan generator pada PLTGU blok 2 PT. Indonesia Power Semarang mengalami tegangan output generator yang tidak stabil dari tegangan normal yaitu sebesar 11.5 kV, hal tersebut diakibatkan perubahan fluks yang tidak stabil. Perubahan fluks yang tidak stabil dipengaruhi oleh sistem eksitasi dan daya reaktif yang kurang efektif. Permasalahan tersebut yang secara berkala akan mengakibatkan pelepasan generator bahkan generator mati yang dapat mengganggu suplay daya ke beban.

Berdasarkan permasalahan pada generator PLTGU PT. Indonesia Power Semarang PGU yang sering mengalami panas pada bagian rotor dan stator generator beserta tegangan keluaran generator yang kurang stabil, maka perlu dilakukan perhitungan ulang eksitasi terhadap daya reaktif generator. Perhitungan dilakukan untuk mencegah agar tidak terjadinya generator mati yang sangat merugikan pelayanan terhadap beban.

Analisis dilakukan dengan menghitung perbandingan presentase pengaturan antara sistem eksitasi dan daya reaktif pada generator yang terbaik, dengan harapan mampu menekan efektifitas pengaturan antara sistem eksitasi dan daya reaktif pada generator untuk meminimalisir terjadinya gangguan yang disebabkan eksitasi pada generator GTG.2.2 dan GTG.2.3 yang tersambung paralel

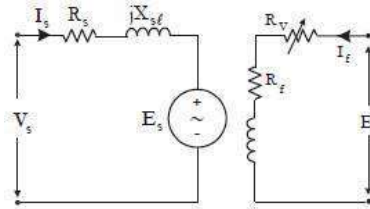
KERANGKA TEORI

1. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik yang mempunyai jumlah putaran motor selalu sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kumparan medan magnet generator sinkron terdapat di rotornya sedangkan kumparan jangkar terletak pada stator. Rotor pada generator sinkron terdiri atas belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor (Blair, 2017, chap. 16).

2. Karakteristik Generator Sinkron

Rangkaian ekuivalen perfase generator pada gambar 1, dalam karakteristik generator sinkron berbeban terdapat arus yang mengalir pada kumparan jangkar, sehingga arus jangkar yang dihasilkan akan membentuk fluks jangkar. Terbentuknya fluks jangkar dapat mempengaruhi fluks arus medan yang menyebabkan besarnya tegangan terminal berubah-ubah.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Generator (Ramdhani, 2005, chap. 1)

Tegangan keluaran generator sinkron adalah selisih antara tegangan induksi dengan total rugi-rugi tegangan akibat reaksi jangkar ($jX_s I_a$), rugi tegangan akibat induktansi diri ($jX_a I_a$) dan penurunan tegangan akibat resistansi lilitan tator ($R_a I_a$) (Li, 2019a, chap. 2). Untuk mencari Tegangan sinkron dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.1) sebagai berikut:

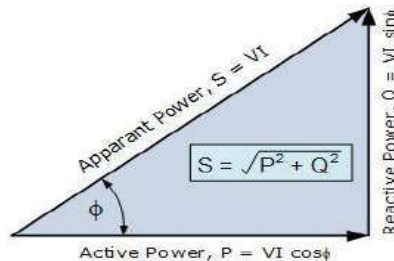
$$V_{out} = E_a - jX_s I_a - R_a I_a \dots\dots\dots 1$$

Keterangan :

- E_a = tegangan induksi (V)
- V_{out} = tegangan keluaran (V)
- X_s = reaktansi sinkron(Ω)
- I_a = arus jangkar (A)

3. Daya Generator

Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha. Untuk penggunaan arus AC tiga fasa, terdapat 3 daya yang saling terikat satu sama lain yang mempunyai porsi sendiri-sendiri dalam sistem kelistrikan, terlihat pada gambar 2. :



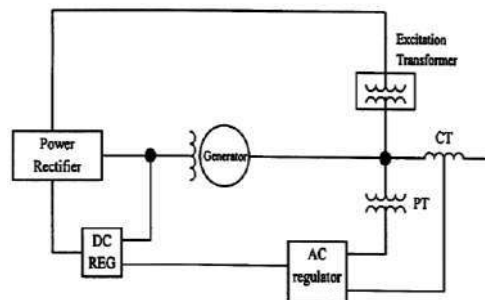
Gambar 2. Segitiga Daya (Putri and Pasaribu, 2018)

- a. Daya Semu (S)
Daya total dari kapasitas daya maksimal generator atau diartikan sebagai penjumlahan daya aktif dan daya reaktif.
- b. Daya aktif (P)
Daya nyata, memiliki satuan watt. Merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya ini sering digunakan secara umum oleh konsumen dan sebagai satuan yang dipakai untuk daya listrik dan dikonversi dalam bentuk kerja (Putri and Pasaribu, 2018)
- c. Daya Reaktif (Q)
Daya dengan satuan VAR, merupakan daya yang suplay oleh komponen reaktif, atau disebut juga jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet tersebut akan terbentuk fluks medan magnet (Aini, Prasetya and Endarko, 2016).

4. Eksitasi

Eksitasi atau penguatan adalah sistem pasokan arus searah ke rotor generator sebagai penguat medan magnet. Arus eksitasi dialirkan pada kutub magnetik yang besarnya dapat diatur untuk memperoleh nilai tegangan output generator dan daya reaktif yang sesuai (Sanchez-Gasca, 2020).

Pada PT. Indonesia Power Semarang PGU menggunakan tipe eksitasi statis. Sistem eksitasi tipe ini sesuai dengan namanya, yaitu peralatannya tidak di putar. Sistem eksitasi statik terdiri dari trafo eksitasi yang dipasok dari keluaran generator. Tegangan keluaran trafo eksitasi kemudian di searahkan menggunakan *thyristor* dan dialirkan kerangkaian pengatuuran tegangan (Jicheng Li, 2019).



Gambar 3 Rangkaian Eksitasi Statis(Jicheng Li, 2019, chap. 10)

Pada gambar 3. menjelaskan bahwa eksitasi statis,generator harus memiliki sumber daya tambahan untuk menyediakan arus eksitasi yaitu berupa bank baterai besar ,dimana proses ini dikenal sebagai *field flashing* (Zeljko, 2009).

METODOLOGI

Pada tahap metodologi dilakukan proses studi literatur terlebih dahulu dan pengambilan data, setelah itu dilakukan pengolahan data (perhitungan data) dan analisis dari hasil perhitungan data tersebut.

1 Data Penelitian.

Data yang dibutuhkan merupakan data keluaran dari generator GTG 2.2 dan GTG 2.3 yang sudah beroperasi secara paralel yang ditampilkan pada tabel 1. dan tabel 2. sebagai berikut :

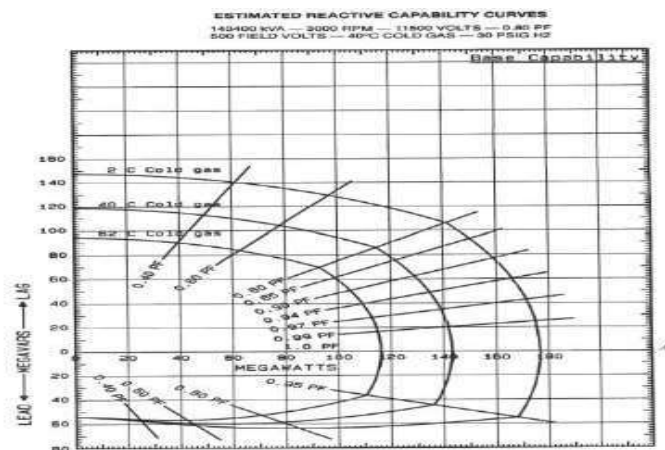
Tabel. 1 Data Generator GTG 2.2

JAM	DAYA AKTIF MW	TEGANGAN OUTPUT VOLT	ARUS OUPUT AMPERE	TEGANGAN EKSITASI VOLT	ARUS EKSITASI AMPERE
17:11	51.2	11.06	3823.3	170.5	483.6
18:11	61.7	11.5	3600	180.7	756.7
19:11	62.4	10.99	3759.7	187.5	469.7
20:11	96.2	11.8	5788	200.2	908.2
21:11	133.7	11.77	6755	400.6	834.6
22:11	107.8	11.86	5439	387.3	408.2
23:11	86	11.4	5545	255.8	816.9
0:11	64.8	11.47	3673	256.2	834.6
1:11	60.5	11.67	4234	250	580.7
2:11	57.2	11.2	3760	245	502.7
3:11	35.8	11.6	2168	160.9	769.6
4:11	38.4	11.6	2788	162.8	786.3
5:11	42.4	11.16	2767	165.3	497
6:11	40.8	11.27	3670	164.2	534.2
7:11	39.3	11.15	2573.2	162.9	489
8:11	40.5	11.17	2400	164.4	498.7
9:11	44.1	11.39	2800	166.2	560.7
10:11	48.2	11.26	3078	167.8	531.4
11:11	44.1	11.07	2943	166	483.5
12:11	49.6	11.03	2970	170	478
13:11	51.4	11.01	2903	173.3	477
14:11	54.3	11.35	3800	175	540
15:11	54.1	11.39	3800	175	567
16:11	56	11.41	3200	176.5	607.8

Tabel. 2 Data Generator GTG 2.3

JAM	DAYA AKTIF	TEGANGAN OUTPUT	ARUS OUPUT	TEGANGAN EKSIKASI	ARUS EKSIKASI
	MW	VOLT	AMPERE	VOLT	AMPERE
17:11	50.9	11.06	2973.3	170	580
18:11	59.7	11.5	3600	180	778.1
19:11	63.5	10.98	3859.7	187.8	473
20:11	94.8	11.3	5488	200	531
21:11	105.5	11.47	6855	398.7	756.7
22:11	95.1	11.2	5947	388	498
23:11	86.5	11.4	4907	255.9	778.1
0:11	81.3	11.47	5673	256.8	909.8
1:11	77.8	11.67	4200	249.2	763.3
2:11	69.2	11.2	4000	244	500
3:11	43.3	11.6	2499	160	789.2
4:11	39.8	11.6	2200	161	887.9
5:11	42.9	11.16	2467	164.8	495.2
6:11	40.8	11.29	2440	164	510.7
7:11	40	11.15	2290.2	163.2	489
8:11	40.5	11.17	2600	164.2	498
9:11	44.1	11.39	2633	165.5	678
10:11	47.7	11.26	2700	167.8	505.3
11:11	43	11.07	2943	164	498
12:11	49.1	11.03	2970	166	477
13:11	51	11.01	2903	175	473.8
14:11	54	11.35	3200	175	540.7
15:11	53.4	11.39	3187	174	565.7
16:11	55.4	11.41	3200	175	698.2

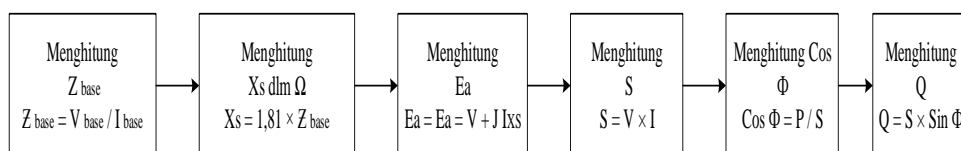
Untuk mengetahui karakteristik generator di PLTGU Blok 2 dibutuhkan kurva kapabilitas yang dapat dijadikan acuan saat menganalisis data hasil perhitungan yang terdapat pada gambar 4.



Gambar 4 Kurva Kapabiiti Generator Blok 2

2 Alur Perhitungan

Berikut adalah alur perhitungan yang di tunjukkan pada gambar 5. :



Gambar 5. Alur Perhitungan

$$\begin{aligned}
 Z \text{ base} &= \frac{V \text{ base} / \sqrt{3}}{I \text{ base}} \\
 &= \frac{11500 / \sqrt{3}}{7199} = 0.92 \Omega
 \end{aligned}$$

Perhitungan Z base digunakan untuk mencari besar nilai Xs dalam ohm yang selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan tegangan induksi pada generator.

$$\begin{aligned}
 Z \text{ base} &= 0.92 \\
 Xs \text{ dalam } \Omega &= 1.81 \times Z \text{ base} \\
 &= 1.81 \times 0.92 \Omega \\
 &= 1.66 \Omega
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai Xs, dicari nilai tegangan induksi (E_a).

$$\begin{aligned}
 E_a &= V_{out} + jX_s I_a \\
 E_a &= 11060 + j1.6 \times 3823.3 \\
 E_a &= 11060 + j6117.28 \\
 E_a &= 12.64 \text{ KV } \angle 29^\circ
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai E_a dilakukan pada masing-masing generator selama 24 jam, menghitung daya semu (S) diperlukan untuk mengetahui besar $\cos \phi$ dan besar daya reaktif (Q).

$$\begin{aligned}
 S &= V \times I \times \sqrt{3} \\
 S &= 10700 \times 3823.3 \times \sqrt{3} \\
 S &= 70773106.3 \text{ VA} \\
 S &= 70.8 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya semu juga dilakukan pada masing-masing generator GTG 2.2 dan GTG 2.3 selama 24 jam, maka dapat dihitung besar power faktor dari masing-masing generator dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \cos \phi &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} \\
 \cos \phi &= \frac{51.2}{70.8} \\
 \cos \phi &= 0.7 \\
 \sin \phi &= 0.7
 \end{aligned}$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan daya reaktif untuk mengetahui besarnya daya reaktif maka dibutuhkan $\sin \phi$ yang didapat dari $\cos \phi$ tersebut.

$$\begin{aligned}
 Q &= V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3} \\
 Q &= 10700 \times 3823.3 \times 0.7 \times \sqrt{3} \\
 Q &= 49.5 \text{ MVAR}
 \end{aligned}$$

4. Hasil dan Analisis Pembahasan

Data pada tabel.3 dan 4 merupakan hasil perhitungan generator GTG 2.2 dan GTG 2.3 yang digunakan sebagai bahan untuk analisis .

Tabel. 3 Data Hasil Perhitungan Generator GTG 2.2

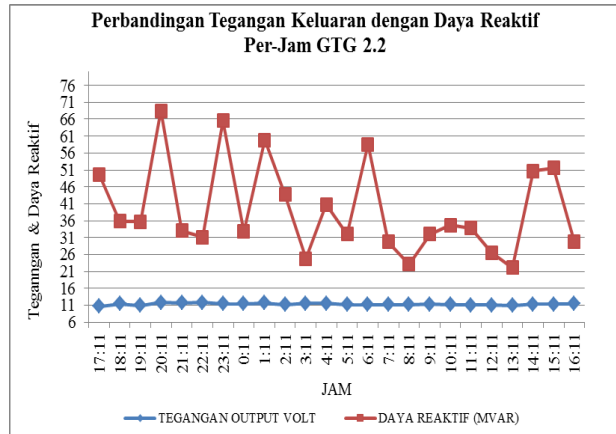
JAM	EA (KV)	S (MVA)	COS ϕ	Q (MVAR)	SIN ϕ
17:11	12.64 \angle 29°	70.8	0.7	49.5	0.7
18:11	12.86 \angle 26.60°	71.6	0.86	35.8	0.5
19:11	12.53 \angle 28.70°	71.4	0.87	35.7	0.5
20:11	15.0 \angle 38.10°	118.1	0.81	68.5	0.58
21:11	15.98 \angle 42.50°	137.5	0.97	33	0.24
22:11	14.71 \angle 36.30°	111.6	0.96	31.2	0.28
23:11	14.45 \angle 37.09°	109.4	0.78	65.6	0.6
0:11	12.88 \angle 27.27°	72.8	0.88	32.8	0.45
1:11	13.49 \angle 30.57°	85.5	0.7	59.8	0.7
2:11	12.7 \angle 28.24°	72.8	0.78	43.7	0.6
3:11	12.1 \angle 16.64°	43.5	0.82	24.8	0.57
4:11	12.1 \angle 16.72°	55.9	0.68	40.8	0.73
5:11	12 \angle 21.64°	53.4	0.8	32	0.6
6:11	12.7 \angle 27.52°	71.5	0.57	58.6	0.82
7:11	11.88 \angle 20.26°	49.6	0.8	29.7	0.6
8:11	11.81 \angle 18.97°	46.3	0.87	23.1	0.5
9:11	12.24 \angle 21.47°	55.1	0.8	32	0.58
10:11	12.29 \angle 23.62°	59.9	0.8	34.7	0.58
11:11	12 \angle 23°	56.4	0.78	33.8	0.6
12:11	12 \angle 23.30°	56.7	0.87	26.6	0.47
13:11	11.95 \angle 22.87°	55.2	0.93	22.1	0.4
14:11	12.87 \angle 28.17°	74.6	0.73	50.7	0.68
15:11	12.91 \angle 28°	74.8	0.72	51.6	0.69
16:11	12.5 \angle 24.16°	63.1	0.88	29.7	0.47

Tabel. 4 Data Hasil Perhitungan Generator GTG 2.3

JAM	EA (KV)	S (MVA)	COS ϕ	Q (MVAR)	SIN ϕ
17:11	12.04 \angle 23.27°	56.8	0.89	25.6	0.45
18:11	12.86 \angle 26.60°	71.6	0.83	39.4	0.55
19:11	12.60 \angle 29.35°	73.3	0.86	36.6	0.5
20:11	14.31 \angle 37.85°	107.3	0.88	50.4	0.47
21:11	15.87 \angle 43.71°	136	0.77	81.6	0.6
22:11	14.69 \angle 40.35°	115.2	0.82	65.6	0.57
23:11	13.84 \angle 34.55°	96.7	0.89	43.5	0.45
0:11	14.63 \angle 38.35°	112.5	0.72	78.7	0.7
1:11	13.47 \angle 29.94°	84.8	0.91	34.7	0.41
2:11	12.89 \angle 29.74°	77.5	0.89	31	0.4
3:11	12.27 \angle 19.01°	50.1	0.86	25	0.5
4:11	12.12 \angle 16.88°	44.1	0.9	18.1	0.41
5:11	11.84 \angle 19.47°	47.6	0.9	19.5	0.41
6:11	11.95 \angle 19.04°	47.7	0.85	23.8	0.5
7:11	11.74 \angle 18.20°	44.1	0.9	18.1	0.41
8:11	11.91 \angle 20.43°	50.2	0.8	30.1	0.6
9:11	12.14 \angle 20.30°	51.8	0.84	25.9	0.5
10:11	12.06 \angle 20.99°	52.6	0.9	21.5	0.41
11:11	12.03 \angle 23.04°	56.4	0.76	36	0.64
12:11	12.01 \angle 23.30°	56.7	0.86	28.3	0.5
13:11	11.95 \angle 22.87°	55.3	0.92	21.5	0.39
14:11	12.45 \angle 24.28°	62.8	0.85	32	0.51
15:11	12.48 \angle 24.12°	62.8	0.85	31.4	0.5
16:11	12.5 \angle 24.17°	63.1	0.87	30.9	0.49

a. Analisis Hubungan Tegangan Keluaran Generator dengan Daya Reaktif

Kurva pada gambar 6 dan 7 menunjukkan pengamatan hasil data yang diperoleh pada generator GTG 2.2 dan GTG 2.3 bahwa daya reaktif masing-masing generator selalu berubah-ubah sesuai jenis beban yang ditopang untuk mempertahankan tegangan keluaran agar tetap stabil sesuai dengan ketentuan.

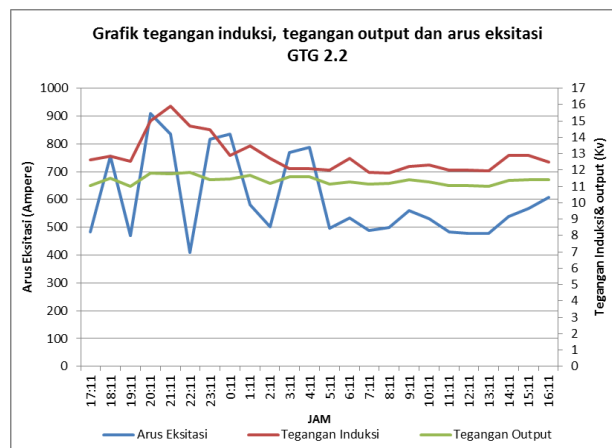


Gambar 6. Grafik Hubungan Tegangan Keluaran dengan Daya Reaktif GTG 2.2

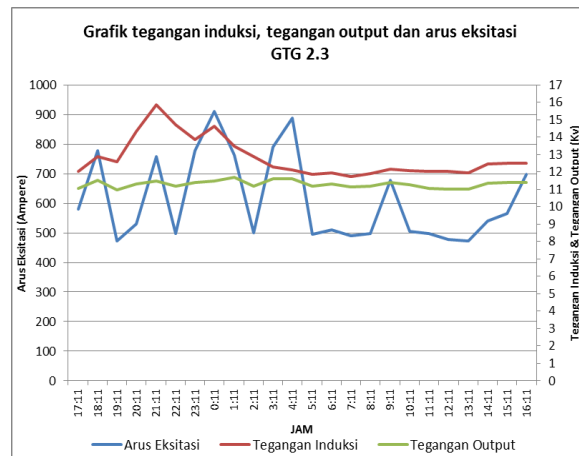


Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan Keluaran dengan Daya Reaktif GTG 2.3

b. Analisis Hubungan Arus Eksitasi dengan Tegangan Induksi dan Tegangan Keluaran



Gambar 8. Grafik Hubungan Arus Eksitasi dengan Tegangan Induksi dan Tegangan Output GTG 2.2



Gambar 9. Grafik Hubungan Arus Eksitasi dengan Tegangan Induksi dan Tegangan Output GTG 2.3

Pada Gambar 8. dan Gambar 9. menunjukkan bahwa pengaruh arus eksitasi (I_f) terhadap tegangan induksi atau GGL induksi (E_a) serta tegangan keluaran pada generator PLTGU GTG 2.2 dan GTG 2.3 di PT. Indonesia Power Semarang PGU. menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan nilai dari GGL induksi (E_a) apabila nilai arus eksitasi yang diinjeksikan semakin besar. Hal yang sama juga terjadi pada kenaikan nilai arus eksitasi (I_f) yang diinjeksikan ke generator agar nilai tegangan konstan .

c. Analisis Perbandingan Yang Tepat Antara Arus Eksitasi Dan Daya Reaktif Pada PLTGU Blok 2 PT. Indonesia Power Semarang PGU.

Perbandingan antara arus eksitasi dan daya reaktif pada masing – masing generator yang paralel dapat dicari dari rata – rata arus eksitasi dan daya reaktif dari masing – masing generator yang sudah terpasang generator.

Tabel. 5 Tabel Hasil Perhitungan Rata-rata Arus Eksitasi dan Daya Reaktif

GTG 2.2		GTG 2.3	
ARUS EKSITASI AMPERE	DAYA REAKTIF MVAR	ARUS EKSITASI AMPERE	DAYA REAKTIF MVAR
600.67	39.4	611.44	35.4

Pada tabel 5. dapat ditunjukkan bahwa untuk arus eksitasi antara GTG 2.3 lebih tinggi di banding GTG 2.2 sebesar 10.77 ampere, sedangkan daya reaktif GTG 2.2 lebih tinggi di banding pada GTG 2.3 sebesar 4 MVAR . Hal ini menunjukkan bahwa generator masih dalam kondisi pembangkitan batas normal.

d. Analisis Presentase Daya Reaktif Yang Pada Generator Unit 2 PLTGU

Presentase daya reaktif yang dihasilkan pada generator unit 2 PLTGU yang bekerja paralel dengan menghitung rata – rata daya reaktif per daya semu, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$presentase\ daya\ reaktif = \frac{rata - rata\ daya\ reaktif}{rata - rata\ daya\ semu} \times 100\%$$

Tabel 6. Presentase Rata-rata Daya Reaktif

PERSENTASE RATA-RATA DAYA REAKTIF		
GTG 2.2	GTG 2.3	BLOK 2
$\frac{39.4}{72.4} \times 100\%$	$\frac{35.4}{69.8} \times 100\%$	$\frac{37.4}{71.1} \times 100\%$
54%	51%	53%

Pada tabel 6. menunjukkan hasil perhitungan presentase rata – rata daya reaktif dari generator GTG 2.2, GTG 2.3 terhubung paralel pada Blok 2 .Daya reaktif rata rata yang dihasilkan adalah 53% dari total daya semu untuk mempertahankan tegangan keluaran generator yang stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari perhitungan pengaruh sistem eksitasi terhadap daya reaktif generator pada PLTGU Blok 2 GTG 2.2 dan GTG 2.3 PT. Indonesia Power Semarang PGU didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan perbandingan antara arus eksitasi dan daya reaktif pada GTG 2.2 yaitu 600.67 ampere arus eksitasi menghasilkan 39.4 MVAR daya reaktif, sedangkan pada GTG 2.3 yaitu 611.44 ampere menghasilkan daya reaktif sebesar 35. 4 MVAR dalam sehari.
2. Presentase daya reaktif per daya semu yang dihasilkan pada GTG 2.2 sebesar 54% dan untuk GTG 2.3 sebesar 51 %, sedangkan hasil dari keseluruhan generator pada GTG 2.2 dan GTG 2.3 di PLTGU Blok 2 sebesar 53% dalam sehari.
3. Pada analisis ini perhitungan antara arus eksitasi dan daya reaktif pada GTG 2.2 dan GTG 2.3 sesuai dengan hipotesis sebelumnya yaitu sebesar 700 ampere arus eksitasi menghasilkan 40 MVAR daya reaktif, hanya saja antara GTG 2.2 dan GTG 2.3 tidak terdapat perbandingan yang paling baik sedangkan untuk hasil perhitungan presentase daya reaktif dengan hipotesis yaitu sebesar 30% terdapat selisih yang cukup signifikan dengan hasil perhitungan, hal tersebut diakibatkan faktor beban yang ditompang generator.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A. N., Prasetya, B. and Endarko (2016) 'Rangkaian Segitiga Daya (E8)', *ELEKTRONIKA DASAR II*, 1(1), pp. 3–6.
- Amien, I. S. (2014) 'Sinkron Yang Bekerja Paralel Terhadap', *Singuda Ensikom*, 7(1), pp. 8–15.
- Bambang Setyoko (2006) 'Analisa Efisiensi Performa HRSG (Heat Recovery Steam Generation) Pada PLTGU', *Traksi*,4(2), pp.49-6doi:<https://doi.org/10.26714/traksi.4.2.2006.%25p>.
- Bandri, S. (2013) '(Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang) e - N d ϕ dt', 2(1), pp. 42–48.
- Blair, T. H. (2017) 'generators', in *Energy Production Systems Engineering*. 1st edn. Wiley-IEEE Press, pp. 349–389. doi: 10.1002/9781119238041.ch16.
- Ennopati Pane (2010) '(Aplikasi Pada Generator Sinkron Di Pltd Pt . Manunggal Wiratama) Ennopati Pane', *elektro*. Palembang, pp. 1–35.
- Jicheng Li (2019) 'Static Self-Excitation System', in *Design and Application of Modern Synchronous Generator Excitation Systems*. 1st edn. Wiley-IEEE Press,pp.285–328 doi:10.1002/9781118841006.ch10.
- Li, J. (2019a) 'Characteristics of Synchronous Generator [5] 2 . 1 Electromotive Force Phasor Diagram of Synchronous Generator', in *generator*. 1st edn. Wiley-IEEE Press, pp. 35–66. doi: 10.1002/9781118841006.ch2.
- Li, J. (2019b) 'Evolution of Excitation Control', in *Design and Application of Modern Synchronous Generator Excitation Systems* 1st edn. ENGLISH: Wiley--IEEE Press, 2019, pp. 1–34

Estimasi Ketidakpastian Nilai Acuan Kobalt Dan Mangan Dalam Matriks Air Minum Kemasan

Christine Elishian¹, Isna Komalasari², Eka Mardika Handayani³, Oman Zuas⁴,
Nuryatini Hamim⁵, Ayu Hindayani⁶, Dyah Styarini⁷, Eka Pratiwi⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8}Badan Standardisasi Nasional (BSN), Kawasan PUSPIPTEK Gedung 420, Setu, 15314,
Tangerang Selatan, Banten

e-mail : christine@bsn.go.id¹, isna@bsn.go.id², mardika@bsn.go.id³, oman@bsn.go.id⁴,
nuryatini@bsn.go.id⁵, ayuhindayani@bsn.go.id⁶, styarini.dyah@bsn.go.id⁷, tiwi@bsn.go.id⁸

ABSTRACT

Uncertainty is an important part of assigned value in a certified reference material. Each uncertainty component contributed on assigned value determination of cobalt (Co) and Manganese (Mn) in bottled drinking water (AMK) has been identified and determined based on ISO/Guide 35:2017. Uncertainty components that contributed to assigned value of Co and Mn include homogeneity sample, long-term storage stability and characterization. Characterization process of assigned value was conducted by comparing two analytical methods i.e., ICP-MS and ICP-OES using internal standard Yttrium and external calibration. The assigned value of Co and Mn and their uncertainties are $14,8 \pm 2,7 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $41,6 \pm 7,5 \mu\text{g Kg}^{-1}$ at 95% confidence level with coverage factor of 2. It was found that the biggest source of uncertainty contributor on the assigned values is identified from long-term storage stability with the values of $1,17 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (8%) and $3,59 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (9%) for Co and Mn, respectively.

Keywords : Cobalt, Drinking water, Measurement Uncertainty, Manganese, Reference Material.

INTISARI

Ketidakpastian merupakan salah satu bagian penting dari nilai acuan suatu bahan acuan bersertifikat. Pada penelitian ini, komponen – komponen ketidakpastian pada penentuan nilai acuan kobalt (Co) dan Mangan (Mn) dalam bahan acuan matriks Air Minum Kemasan (AMK) telah berhasil diidentifikasi dan ditentukan dengan mengacu pada ISO/Guide 35:2017. Komponen yang berkontribusi pada nilai acuan Co dan Mn yaitu komponen ketidakpastian yang bersumber dari homogenitas sampel, ketidakpastian asal stabilitas jangka panjang penyimpanan dan ketidakpastian yang bersumber dari karakterisasi. Proses karakterisasi nilai acuan dilakukan dengan perbandingan dua metode yaitu ICP-MS dan ICP-OES menggunakan internal standar Yttrium dan kalibrasi eksternal. Nilai acuan logam Co dan Mn beserta ketidakpastiannya yaitu $14,8 \pm 2,7 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $41,6 \pm 7,5 \mu\text{g Kg}^{-1}$ pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan 2. Adapun sumber kontributor terbesar ketidakpastian nilai acuan ditemukan berasal dari komponen stabilitas jangka panjang yaitu sebesar $1,17 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (8%) dan $3,59 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (9%) masing-masing untuk Co dan Mn.

Kata kunci : Air Minum, Bahan acuan, Ketidakpastian pengukuran, Kobalt, Mangan.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan. Pertumbuhan jumlah penduduk, meningkatnya masyarakat *middle income class*, serta semakin sulitnya akses air bersih adalah beberapa faktor yang membuat pasar industri air minum kemasan (AMK) mengalami peningkatan. Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2015 tentang Kategori Pangan, AMK dikategorikan sebagai pangan nomor 14 (Perka BPOM, 2015). AMK sebagai pangan tentunya tidak lepas dari pentingnya aspek keamanan pangan untuk memberikan perlindungan kepada konsumen. Terkait hal ini, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia telah mengeluarkan peraturan menteri No 492/MENKES/PER/IV/2010 (Permenkes RI, 2010) tentang Persyaratan kualitas air minum dan didukung oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) dengan ditetapkannya SNI 3553:2015 yang merupakan standar acuan untuk air mineral agar aman dikonsumsi (BSN, 2015)

Beberapa parameter diatur dalam Permenkes dan SNI tersebut, seperti parameter mikrobiologi, fisika dan juga kimiawi. Mangan (Mn) termasuk salah satu parameter kimiawi yang

diatur dalam Permenkes dan SNI tersebut dengan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,05 mg/L (BSN, 2015) dan 0,4 mg/L (Permenkes RI, 2010). Mangan dan Kobalt (Co) merupakan unsur esensial yang dibutuhkan manusia dan hewan dalam batas tertentu (WHO, 2006, 2011). Kedua unsur ini dapat diperoleh melalui makanan dan minuman yang dikonsumsi. Keberadaan Co dan Mn di lingkungan terjadi secara alami dan antropogenik dan umumnya ditemukan pada air permukaan dan air tanah (WHO, 2006, 2011).

Pengujian yang valid dan tertelusur memerlukan suatu sistem ketertelusuran pengujian yang dapat diperoleh melalui penyediaan bahan acuan bersertifikat (*Certified Reference Material/ CRM*) baik sebagai larutan standar untuk sumber ketertelusuran pengukuran maupun sebagai '*matrice matched*' CRM yang dapat digunakan sebagai bahan kontrol kualitas (*QC material*) dan mengevaluasi akurasi dari metode analisis yang digunakan (Emons, 2006). Bahan acuan bersertifikat adalah material atau bahan yang satu atau lebih nilai sifatnya yang cukup homogen, stabil, dan telah disertifikasi dengan prosedur teknis yang baku, yang disertai dengan nilai ketidakpastian dan pernyataan ketertelusurannya. (ISO, 2008).

Nilai ketidakpastian merupakan bagian penting dari nilai acuan suatu bahan acuan bersertifikat (ISO, 2017). Oleh karena itu, proses estimasi ketidakpastian yang tepat memberikan hasil pengukuran yang reliabel (Jurgens, 2007). Pada penelitian ini, ketidakpastian pada penentuan nilai acuan Co dan Mn dalam bahan acuan AMK diestimasi berdasarkan pada ISO/Guide 35:2017 *Reference Material – Guidance for the characterization and the assessment of the homogeneity and stability of the material* (BSN, 2017). Beberapa komponen yang diidentifikasi berasal dari komponen heterogenitas, stabilitas dan karakterisasi nilai acuan.

METODE PENELITIAN

Metode estimasi ketidakpastian pada penelitian ini mengacu pada ISO/Guide 35:2017 yang berdasarkan pada prinsip *Guide to the expression of uncertainty in measurement* - GUM (JCQM, 2008). Dalam penelitian ini, terdapat 3 proses utama yang berkontribusi terhadap nilai suatu bahan acuan, yaitu proses homogenitas, stabilitas, dan karakterisasi bahan acuan.

1. Homogenitas

Proses homogenitas dan stabilitas dilakukan setelah pembuatan kandidat bahan acuan AMK. Pembuatan kandidat bahan acuan AMK ini dilakukan dengan cara pengayaan logam Co dan Mn yang diketahui jumlahnya secara gravimetri ke dalam sejumlah matriks Air Minum Kemasan (AMK). Kemudian, terhadap larutan tersebut dilakukan proses homogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* selama minimal 24 jam dan dilakukan pembotolan ke dalam botol HDPE 250 mL. Proses pembuatan bahan acuan Co dan Mn dalam AMK ini menyerupai proses pembuatan bahan acuan besi dan timbal pada literatur (Komalasari, 2018). Selanjutnya, homogenitas kandidat bahan acuan ini dievaluasi dengan cara mengambil 10 (sepuluh) buah botol secara acak bertingkat. Terhadap 10 kandidat bahan acuan terpilih tersebut dilakukan analisa kandungan Co dan Mn menggunakan *Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry* (ICP-MS) dan hasil pengukuran di uji secara statistik menggunakan uji signifikansi *one-way ANOVA* pada tingkat kepercayaan 95%.

2. Stabilitas

Uji stabilitas terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu uji stabilitas jangka pendek (*Short-term stability, STS*) dan uji stabilitas jangka panjang (*Long-term stability, LTS*). Uji STS dilakukan terhadap 3 (tiga) buah kandidat bahan acuan AMK yang telah disimpan selama 4 minggu (waktu pemantauan) pada 3 (tiga) suhu penyimpanan berbeda yaitu 10°C, 25°C, dan 40°C. Kemudian kandidat diukur dengan ICP-MS dan dilakukan uji *t-student* pada tingkat kepercayaan 95% untuk mengecek signifikansi perbedaan untuk masing-masing suhu penyimpanan. Sedangkan untuk uji LTS dilakukan pada bulan ke-2, ke-5 dan ke-6 setelah penyimpanan pada suhu 25°C dan dievaluasi dengan analisis *trend ANOVA* (regresi linear) dan uji *t-student* untuk *slope* regresi pada tingkat kepercayaan 95%.

3. Karakterisasi

Pada penelitian ini, proses karakterisasi nilai acuan dilakukan dengan menggunakan pendekatan dua metode independen yang akurat yang dilakukan oleh satu laboratorium (ISO, 2017). Karakterisasi nilai acuan Co dan Mn pada AMK dilakukan menggunakan perbandingan hasil ICP-MS dan *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) dengan teknik *internal standard* dan kalibrasi eksternal. Bahan acuan bersertifikat *Ca011c*

Hard Drinking Water produksi *European Reference Material* (ERM) digunakan disetiap pengukuran sebagai jaminan validitas hasil pengujian (akurasi). Karakterisasi dilakukan terhadap 5 (lima) individual sampel dengan masing – masing 2 (dua) replikasi pengujian. *Internal standard* yang digunakan yaitu Ytrium (Y). Kurva kalibrasi eksternal terdiri dari 5 (lima) konsentrasi standar dengan pembacaan masing – masing 3 (tiga) kali. Larutan induk standar yang digunakan yaitu *Co 105-02-009* dari *Korean Research Institute of Standards and Science* (KRISS) dan *SRM Mn 3132* dari *National Institute of Standards and Technology* (NIST), kedua larutan standar ini merupakan sumber ketertelusuran pengukuran Co dan Mn dalam sampel AMK ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mengestimasi ketidakpastian, komponen yang menjadi sumber ketidakpastian merupakan komponen yang juga mempengaruhi penentuan nilai tersebut. Dalam hal suatu bahan acuan, yang ikut menentukan nilai acuan, yaitu, nilai hasil proses karakterisasi (x_{char}), deviasi asal heterogenitas sampel (δx_{hom}), dan efek deviasi dari ketidakstabilan selama penyimpanan bahan acuan (δx_{stab}) dengan berdasarkan pada Persamaan (1). Dengan demikian, yang menjadi komponen ketidakpastian pada nilai bahan acuan adalah ketidakpastian asal karakterisasi (u_{char}), ketidakpastian asal homogenitas (u_{hom}) dan ketidakpastian asal stabilitas (u_{stab}) sebagaimana tertera pada Persamaan (2) berikut.

$$x_{CRM} = x_{char} + \delta x_{hom} + \delta x_{stab} \quad (1)$$

$$u_{CRM} = \sqrt{u_{char}^2 + u_{hom}^2 + u_{stab}^2} \quad (2)$$

1. Ketidakpastian asal homogenitas (u_{hom})

Uji homogenitas kandidat bahan acuan dilakukan terhadap 10 sampel dalam satu *batch* yang dipilih secara acak bertingkat dan dicek menggunakan one-way ANOVA pada tingkat kepercayaan 95%. Hipotesis null (H_0) menyatakan variansi keseluruhan sampel tidak berbeda secara signifikan jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ (F_{crit}) sedangkan H_1 menyatakan variansi sampel berbeda signifikan jika $F_{hitung} > F_{crit}$ dan hal ini berarti ada efek heterogenitas yang signifikan antar unit sampel (Biagini, 1995)

Tabel 1 menyatakan ringkasan hasil uji homogenitas menggunakan one-way ANOVA untuk logam Co dan Mn. Berdasarkan hasil uji ANOVA terlihat bahwa $F_{hitung} < F_{crit}$ untuk logam Co dan Mn pada tingkat kepercayaan 95% maka H_0 diterima dan dinyatakan tidak ada perbedaan yang signifikan dalam *batch* untuk kedua logam tersebut.

Tabel 1. Ringkasan *one-way* ANOVA untuk logam Co dan Mn dalam AMK.

Co						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,19436	9	0,57715	0,61759	0,75945	3,020382
Within Groups	9,34515	10	0,93451	1	4	95
Total	14,5395	19	5			
Mn						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,74939	4	0,08326	0,57786	0,78867	3,020383
Within Groups	1,44093	10	0,14409	6	3	4
Total	2,19032	19	3			

Dalam hal estimasi ketidakpastian asal homogenitas berdasarkan ISO/Guide 35:2017 (BSN, 2017), perlu ditentukan standar deviasi antar-sampel (s_{bb}) dan standar deviasi intra-sampel (s_r) menggunakan Persamaan (3) dan (4), dengan $M_{between}$ menyatakan variansi antar-grup/sampel, M_{within} sebagai variansi intra-grup/sampel, dan n_o sebagai jumlah replikat sampel.

$$s_{bb}^2 = \max\left(\frac{M_{between} - M_{within}}{n_o}, 0\right) \quad (3)$$

$$s_r = \sqrt{M_{within}} \quad (4)$$

Pada hasil uji *one-way* ANOVA untuk uji homogenitas Co dan Mn, diketahui bahwa nilai MS_{within} lebih besar daripada $MS_{between}$, maka nilai s_{bb} kedua logam menjadi nol (0). Hal ini menunjukkan kurangnya replikasi pengukuran, sehingga ketidakpastian asal homogenitas ini dinyatakan dengan u'_{bb} yang mengekspresikan ketidakpastian standar untuk deviasi intra-sampel yang ditentukan sesuai Persamaan (5). Dengan νM_{within} menyatakan derajat kebebasan antar unit.

$$u'_{bb} = \sqrt{\frac{M_{within}}{n_o}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\nu M_{within}}} \quad (5)$$

Berdasarkan Persamaan (5) tersebut, diperoleh ketidakpastian standar asal homogenitas (U_{hom}) sampel untuk logam Co dan Mn dalam matriks AMK yaitu masing-masing sebesar 0,46 ug/kg dan 0,18 ug/kg.

2. Ketidakpastian asal stabilitas (U_{stab})

Ketidakpastian asal stabilitas (U_{stab}) terdiri dari dua (2) komponen yaitu, stabilitas jangka pendek (STS) dan stabilitas jangka panjang (LTS). Uji STS dilakukan untuk mengetahui efek transportasi terhadap kestabilan bahan acuan selama proses distribusi bahan acuan ke konsumen (pengguna bahan acuan) (ISO, 2017). Oleh karena itu, uji STS dilakukan pada berbagai suhu termasuk suhu ekstrim yang diperkirakan bisa terjadi selama transportasi ke pengguna bahan acuan. Data hasil uji STS yang telah dilakukan dicek menggunakan uji signifikansi *t-student* dengan suhu penyimpanan 10°C sebagai suhu referensi. Hasil uji *t-student* sebagaimana tertera pada Tabel 2 menunjukkan nilai *t*-hitung lebih kecil daripada *t*-tabel (95%, d.f: 5) yang berarti tidak ada perbedaan yang signifikan pada sampel di suhu penyimpanan 25°C dan 40°C terhadap suhu penyimpanan 10°C untuk logam Co dan Mn. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan nilai selama transportasi tidak signifikan terhadap nilai acuan, sehingga deviasi asal ketidakstabilan jangka pendek (u_{sts}) sama dengan 0 atau tidak diperhitungkan pada estimasi U_{stab} .

Tabel 2. Hasil uji stabilitas jangka pendek logam Co dan Mn

Suhu	Co		Mn	
	25°C-10°C	40°C-10°C	25°C-10°C	40°C-10°C
<i>t</i> -hitung	1,1904	0,5824	1,0232	2,2950
<i>t</i> -tabel (95%, d.f 5)	2,5706	2,5706	2,5706	2,5706

Uji LTS dilakukan untuk memprediksi tren ketidakstabilan nilai acuan selama penyimpanan jangka panjang (ISO, 2017). Uji LTS pada AMK ini dilakukan dengan pendekatan model klasik yang bergantung pada waktu. Tren ketidakstabilan bahan acuan dianalisa menggunakan uji tren ANOVA untuk regresi linear dan *t-student*, mulai dari data uji bulan ke-0 (data

uji homogenitas), bulan ke-1 (data uji STS), bulan ke-2, ke-5 dan ke-6 dengan menggunakan Persamaan (6).

$$\frac{|b_1|}{s(b_1)} < t_{critical}(95\%, df = n - 2) \quad (6)$$

Slope dan standar *error* dari *slope* pada Persamaan regresi dinyatakan dengan b_1 dan $s(b_1)$. Hasil perhitungan yang diperoleh dinyatakan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji stabilitas jangka panjang logam Co dan Mn

	Co	Mn
Slope, b_1	-0,0741	-0,4461
Standard error slope, $s(b_1)$	0,0975	0,2992
df	5	5
$\frac{ b_1 }{s(b_1)}$	0,7597	1,4910
$t_{critical} (95\%, df=n-2)$	3,1824	3,1824

Dari data hasil analisis tren ketidakstabilan pada Tabel 3 terlihat bahwa tren ketidakstabilan tidak terdeteksi untuk parameter Co dan Mn selama masa pemantauan. Dengan demikian, komponen ketidakpastian asal LTS (u_{LTS}) untuk Co dan Mn sampai dengan waktu pemantauan LTS berikutnya (bulan ke-12) dapat dinyatakan menggunakan Persamaan (7). Dengan t_{cert} menyatakan periode validitas nilai acuan sampai dengan waktu pemantauan berikutnya.

$$u_{LTS} = s(b_1) \times t_{cert} \quad (7)$$

Berdasarkan Persamaan (7), u_{LTS} untuk Co dan Mn dalam masa 12 bulan yaitu masing - masing sebesar $1,2 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $3,6 \mu\text{g Kg}^{-1}$. Nilai u_{LTS} ini juga merupakan komponen u_{stab} untuk Co dan Mn dalam AMK.

3. Ketidakpastian asal karakterisasi

Karakterisasi bahan acuan AMK dilakukan dengan teknik eksternal kalibrasi pada ICP-MS dan ICP-OES, dengan internal standar sebagai pengontrol *drift* instrumen. Komponen ketidakpastian pada proses karakterisasi diestimasi menggunakan pendekatan *Bottom-up* berdasarkan EURACHEM Guide (Eurachem/Citac, 2012). Pada estimasi ketidakpastian komponen karakterisasi ini, dipilih salah satu teknik pengujian yang mewakili keseluruhan proses, yaitu teknik eksternal kalibrasi pada ICP-MS. Persamaan (8) merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan nilai karakterisasi dan menunjukkan faktor-faktor yang berkontribusi pada nilai utama dan sekaligus menjadi sumber ketidakpastiannya, yaitu konsentrasi logam hasil pengukuran dengan ICP-MS (C_o) dan nilai perolehan kembali metode untuk penentuan logam (Rec). Selain itu nilai presisi pengukuran juga diperhitungkan sebagai sumber ketidakpastian asal karakterisasi (Rep).

$$C_x = \frac{C_o \times 100}{\% Rec} \quad (8)$$

Nilai ketidakpastian asal Co, $u(\text{Co})$, ditentukan secara manual menggunakan kurva kalibrasi eksternal. Lima (5) buah standar kalibrasi dengan *range* konsentrasi $0,2 - 15 \mu\text{g Kg}^{-1}$, dipersiapkan dari larutan induk 100 mg Kg^{-1} menggunakan timbangan analitik. Intensitas hasil pengukuran larutan standar ini dibandingkan terhadap internal standar Ytrium yang digunakan

sehingga dihasilkan rasio intensitas logam terhadap internal standar. Rasio ini yang kemudian diplotkan ke kurva kalibrasi terhadap konsentrasi standar. Sampel kandidat bahan acuan AMK dipersiapkan masing – masing sebanyak lima (5) buah dengan dua (2) replikasi, dan kemudian rasio intensitas hasil pengukuran dikonversi ke konsentrasi menggunakan persamaan garis kurva kalibrasi standar. Kemudian nilai $u(C_o)$ ini ditentukan menggunakan Persamaan (9) berikut.

$$u(C_o) = \frac{S}{B_1} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(C_o - \bar{C})^2}{S_{xx}}}$$
(9)

Dengan S sebagai residual standar deviasi, B_1 adalah *slope* persamaan kurva kalibrasi, p dan n berturut – turut adalah jumlah sampel dan standar yang diukur, \bar{C} merupakan rata – rata konsentrasi larutan standar, dan S_{xx} merupakan jumlah kuadrat perbedaan konsentrasi standar dan nilai rata – rata \bar{C} . Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan (9) ini diperoleh nilai $u(C_o)$ untuk logam Co dan Mn berturut – turut yaitu $0,0508 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $0,0277 \mu\text{g Kg}^{-1}$.

Nilai ketidakpastian asal perolehan kembali, $u(\%Rec)$, diperoleh dari perbandingan nilai hasil pengukuran bahan acuan Ca011c (X_{obs}) terhadap nilai sertifikatnya (X_{CRM}). Sebanyak enam (6) replikat Ca011c dipersiapkan dan diukur dengan cara yang sama dengan sampel kandidat AMK. Nilai $\%Rec$ dan ketidakpastiannya ditentukan dengan Persamaan (10) dan (11). Dari hasil pengukuran diperoleh standar deviasi (SD_{obs}) Co dan Mn sebesar $0,2126 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $0,6605 \mu\text{g Kg}^{-1}$, maka dengan mengaplikasikan Persamaan (10) dan (11) diperoleh nilai $\%Rec \pm u(\%Rec)$ untuk Co dan Mn berturut – turut yaitu sebesar $101,9 \pm 2,5 (\%)$ dan $103,2 \pm 1,7 (\%)$.

$$\%Rec = \frac{X_{obs}}{X_{CRM}} \times 100\%$$
(10)

$$u(\%Rec) = \frac{SD_{obs}/\sqrt{n}}{u_{CRM}} \times 100\%$$
(11)

Estimasi ketidakpastian asal presisi (u_{Rep}) ditentukan melalui pengukuran berulang sepuluh (10) sampel kandidat AMK dan ditentukan nilai rata – rata dan standar deviasinya. Hasil pengukuran diperoleh nilai rata – rata Co dan Mn beserta ketidakpastian asal presisinya yaitu sebesar $14,99 \pm 0,28 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (Co) dan $41,22 \pm 0,63 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (Mn). Dengan demikian, komponen ketidakpastian asal karakterisasi kandidat bahan acuan AMK ditentukan dengan menggabungkan ketiga sumber ketidakpastian $u(C_o)$, $u(\%Rec)$, dan u_{Rep} di atas dengan menggunakan Persamaan (12) berikut. Hasil perhitungan diperoleh nilai u_{char} untuk masing – masing logam Co dan Mn yaitu sebesar $0,52 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $1,07 \mu\text{g Kg}^{-1}$.

$$\frac{u_{char}}{C_x} = \sqrt{\left(\frac{u_{C_o}}{C_o}\right)^2 + \left(\frac{u_{\%Rec}}{\%Rec}\right)^2 + \left(\frac{u_{Rep}}{C_x}\right)^2}$$
(12)

Setelah masing – masing komponen ketidakpastian diestimasi, ketidakpastian gabungan (u_{CRM}) AMK dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2) dan kemudian ketidakpastian diperluasnya (U_{CRM}) ditentukan dengan mengkalikan u_{CRM} dengan faktor cakupan (k) = 2 untuk selang kepercayaan 95%. Rangkuman komponen ketidakpastian beserta nilai u_{CRM} dan U_{CRM} ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rangkuman komponen ketidakpastian Co dan Mn dalam AMK.

	Co $\mu\text{g Kg}^{-1}$	Mn $\mu\text{g Kg}^{-1}$
U_{hom}	0,46	0,18
U_{stab}	1,17	3,59
U_{char}	0,52	1,07
U_{CRM}	1,36	3,75
U_{CRM}	2,7	7,5

Kontributor terbesar pada ketidakpastian nilai acuan ditemukan pada komponen asal stabilitas yaitu sebesar $1,17 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (8%) untuk Co dan $3,59 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (9%) untuk Mn. Nilai acuan Co dan Mn pada AMK ditentukan dari rata – rata hasil pengukuran ICP-MS dan ICP-OES dengan beberapa waktu pengukuran. Hasil yang diperoleh menyatakan nilai acuan untuk Co dan Mn dalam AMK masing – masing yaitu $14,8 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $41,6 \mu\text{g Kg}^{-1}$.

KESIMPULAN

Komponen-komponen sumber ketidakpastian dalam penentuan nilai acuan untuk logam Co dan Mn dalam bahan acuan Air Minum Kemasan (AMK) telah berhasil diidentifikasi dan diestimasi berdasarkan ISO/Guide 35:2017. Nilai acuan beserta ketidakpastiannya untuk masing – masing logam Co dan Mn yaitu sebesar $14,8 \pm 2,7 \mu\text{g Kg}^{-1}$ dan $41,6 \pm 7,5 \mu\text{g Kg}^{-1}$ pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan 2. Nilai hasil estimasi ketidakpastian ini dapat digunakan sebagai acuan laboratorium untuk mengestimasi ketidakpastian pengukuran yang menggunakan bahan acuan AMK ini sebagai bahan acuan dalam proses validasi metode, kontrol material maupun sebagai sumber ketertelusuran hasil pengukuran untuk dalam penentuan kandungan Co dan Mn dalam matrik air minum kemasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Standardisasi Nasional (BSN) atas dukungan pembiayaan dalam melaksanakan penelitian ini melalui DIPA TEMATIK PUSRISBANG-BSN T.A. 2021: Penguatan Infrastruktur Metrologi untuk Menjamin Kualitas Layanan Bidang Pangan dan penghargaan kepada Dr. Rosi Ketrin (Alm) yang telah membimbing dan membantu dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Biagini, R., Dersch, R., de Felice, P., Jeroma, S.M., Perkin, E.M.E., Pona, C., de Sanoit, J., Woods, M.J., (1995). Homogeneity testing of spiked reference materials. *The Science of the Total Environment*, 173/174, 267-274.
- BSN (2015). *Air Mineral*. SNI No. 3553:2015. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Emons, H., Held, A., Ulberth, F., (2006). Reference materials as crucial tools for quality assurance and control in food analysis. *Pure Appl Chem*, 78, 135-143.
- Eurachem/Citac. (2012). *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. United Kingdom: Eurachem/Citac Working Group.
- ISO (2008). *Terms and definitions used in connection with reference materials, Amendment 1 Revision of definitions for reference material and certified reference material (ISO Guide 30:1992/Amd. 1:2008)*. International Organization for Standardization.
- ISO (2017). *Reference Materials – Guidance for the characterization and the assessment of the homogeneity and stability of the material (ISO/Guide 35:2017)*. International Organization for Standardization.
- JCQM (2008). *Uncertainty of Measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement-GUM:1995 (ISO/IEC Guide 98-3:2008)*. ISO - Joint Committee for Guides in Metrology
- Jurgens, J., Paama, L., Leito, I., (2007). The uncertainty of UV-Vis spectrophotometric and FAAS

- analysis for the determination of iron in pharmaceutical products. *Accreditation Quality Assurance*, 12, 593-601.
- Komalasari, I., Handayani, E.M., Elishian, C., Ketrin, R., (2018, Januari). Pembuatan Kandidat Bahan Acuan Besi dan Timbal untuk Penentuan Logam dalam Air Minum Kemasan. *Dalam Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi PPI KIM ke-44*. (pp 118- 129). Pusat Penelitian Metrologi, LIPI.
- Perka BPOM (2015). Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2015. *Kategori Pangan*. 16 Februari 2015. Jakarta
- Permenkes (2010). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*. 19 April 2010. Jakarta
- WHO (2011). *Manganese in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking Water*. Geneva: World Health Organization Pres.
- WHO (2006). *Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds*. Geneva: World Health Organization Pres.

Penerapan Metode Storet Dan Indeks Diversitas Fitoplankton Dari Shannon-Wiener Sebagai Indikator Kualitas Perairan Situ Rawa Kalong Depok, Jawa Barat

Gannes Citraning Sidomukti¹, Wisnu Wardhana²

^{1,2}Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia
e-mail: gannes.citra@gmail.com¹

ABSTRACT

Situ Rawa Kalong is used by the local community for fish farming, fishing activities and recreation areas. The Situ is surrounded by four factories (lampshade, drinking water, cosmetic, plastic) and residential areas, making it susceptible to organic and inorganic contamination which affects aquatic organisms, especially phytoplankton. This study aims to find out the diversity of phytoplankton related to the status and water quality in Situ Rawa Kalong using Storet method and calculation of Shannon-Wiener phytoplankton diversity index. Observations were made in October 2020. Phytoplankton sampling was carried out horizontally. The phytoplankton found during the observation were divisions of Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta and Euglenophyta. Based on the results of the Storet method, water quality in Situ Rawa Kalong has been classified as D water quality status with a score of (-46) – (-48). These value is poor and indicates that the water quality in Situ Rawa Kalong is heavily polluted with a diversity index value ranging from 0,46 to 0,48 showing an unstable community and existence of dominant species. The dominant species of phytoplankton are Chlorella sp. and Microcystis sp.

Keywords : Phytoplankton, Shannon-Wiener diversity index, Situ Rawa Kalong, Storet method

INTISARI

Situ Rawa Kalong dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk budidaya ikan, kegiatan memancing dan tempat rekreasi. Situ tersebut dikelilingi oleh empat buah pabrik (kap lampu, minuman kemasan, kosmetik, plastik) dan pemukiman penduduk sehingga rentan terkena cemaran organik dan anorganik yang berdampak pada organisme perairan, khususnya fitoplankton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui diversitas fitoplankton serta mengetahui status mutu dan kualitas perairan di Situ Rawa Kalong melalui metode Storet dan perhitungan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener. Pengamatan dilakukan pada bulan Oktober 2020. Pengambilan sampel fitoplankton dilakukan secara horizontal. Fitoplankton yang ditemukan selama pengamatan yakni divisi dari Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta dan Euglenophyta. Berdasarkan hasil metode Storet, perairan Situ Rawa Kalong memiliki status mutu air kelas D dengan skor (-46) – (-48). Nilai tersebut tergolong buruk dan menunjukkan bahwa kualitas perairan di Situ Rawa Kalong mengalami pencemaran berat dengan nilai indeks diversitas berkisar antara 0,46 – 0,48 yang menunjukkan komunitas tidak stabil dan terdapat jenis yang mendominasi. Jenis fitoplankton yang mendominasi adalah Chlorella sp. dan Microcystis sp.

Kata kunci : Fitoplankton, Indeks Diversitas Shannon-Wiener, Metode Storet, Situ Rawa Kalong

PENDAHULUAN

Situ merupakan salah satu tipe ekosistem perairan tawar tergenang yang berukuran kecil tetapi sangat bermanfaat dalam sistem penyerapan air, pengendalian banjir, irigasi, kegiatan perikanan, kegiatan rekreasi, dan lain-lain. Salah satu Situ yang berada di wilayah Depok (Jawa Barat) adalah Situ Rawa Kalong. Situ ini menerima buangan dari pabrik yang ada disekitarnya dan kegiatan domestik tetapi digunakan pula untuk budidaya ikan dalam keramba jaring apung. Dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas di dalam maupun di luar Situ Rawa Kalong dapat mempengaruhi organisme perairan, khususnya fitoplankton (Pemerintah Kota Depok, 2007).

Fitoplankton dapat digunakan sebagai indikator biologi perairan karena mampu menggambarkan kondisi perairan tercemar maupun tidak atau terjadi *blooming* di suatu perairan. Hal tersebut dikarenakan kemampuan fitoplankton yang mampu memunculkan respon cepat terhadap perubahan kualitas air berdasarkan parameter fisika dan kimia perairan (Nagelhout, 2015). Parameter-parameter (fisika-kimia) yang telah memenuhi atau melampaui baku mutu air dapat

diketahui melalui metode Storet. Prinsip dasar metode Storet adalah membandingkan data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan untuk penentuan status mutu air. Status mutu air sangat penting guna menggambarkan kondisi pencemaran pada suatu perairan (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 2003).

Salah satu cara untuk mengukur kualitas perairan Situ Rawa Kalong berdasarkan organisme mikro yang hidup di perairan yakni dengan mengetahui nilai indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener. Berdasarkan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener, bila $H' < 1$ maka diversitas fitoplankton rendah. Jika suatu ekosistem memiliki diversitas fitoplankton yang rendah maka tekanan ekologis tinggi, ekosistem tidak stabil, produktivitas perairan sangat rendah dan sensitif terhadap pengaruh tekanan dari luar dibanding dengan ekosistem yang memiliki diversitas fitoplankton yang tinggi. Apabila suatu ekosistem perairan mengalami kondisi yang tidak stabil dan rentan maka dapat menyebabkan terjadinya *blooming* pada spesies tertentu di suatu perairan yaitu ledakan jumlah spesies fitoplankton tertentu yang tidak terkontrol sehingga terjadinya dominansi suatu spesies tertentu yaitu suatu kelompok organisme di perairan yang mendominasi kelompok lainnya. Hal tersebut dapat mencemari perairan dan berpotensi mengalami pencemaran berat (Wardhana, 2006).

Seiring dengan perubahan waktu akibat pesatnya pembangunan, industri serta usaha budidaya keramba ikan yang dioperasikan di Situ Rawa Kalong dapat menyebabkan perubahan fisik-kimia perairan, sehingga dapat mempengaruhi mutu perairan dan tingkat diversitas fitoplankton. Tinggi rendahnya tingkat diversitas fitoplankton dapat menentukan tingkat cemaran perairan melalui indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener. Mengingat pentingnya keberadaan Situ Rawa Kalong bagi kehidupan biota air dan kebutuhan manusia, maka perlu dilakukan penelitian dan pengkajian status mutu dan kualitas air untuk mendapatkan gambaran tentang kondisi perairan Situ Rawa Kalong dengan metode Storet dan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener. Penelitian mengenai perubahan kelimpahan komunitas fitoplankton di Situ Rawa Kalong-Depok, Jawa Barat sudah dilakukan Awalina dkk. (2014) dan penelitian mengenai struktur komunitas fitoplankton di Situ Rawa Kalong pada musim peralihan sudah dilakukan Sulawesty dkk. (2014). Namun, penelitian mengenai status mutu dan kualitas perairan di Situ Rawa Kalong berdasarkan metode Storet dan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui diversitas fitoplankton di Situ Rawa Kalong serta mengetahui status mutu dan kualitas perairan di Situ Rawa Kalong melalui metode Storet dan perhitungan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian status mutu dan kualitas perairan dilakukan di Situ Rawa Kalong, Depok, Jawa Barat dan identifikasi fitoplankton dilakukan di Laboratorium Bioimaging Departemen Biologi FMIPA UI. Pengambilan sampel air dan sampel fitoplankton di Situ Rawa Kalong dibagi menjadi 3 stasiun, yakni stasiun 1 wilayah *inlet*, stasiun 2 wilayah *midlet* dan stasiun 3 wilayah *outlet* (Gambar 2.1.). Pengambilan sampel air tersebut dilakukan sebanyak 4 kali di setiap 3 titik stasiun, sehingga proses akhir sampling tersebut akan mendapatkan 12 botol sampel dan selama 3 hari akan mendapatkan 36 botol sampel dari seluruh titik sampling. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2020.



Gambar 2.1. Lokasi Pengambilan Sampel di Situ Rawa Kalong ($6^{\circ}23'41.9''S$ $106^{\circ}52'04.7''E$)
[Sumber: Google Earth]

Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat di Lapangan

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel di lapangan meliputi plankton net dengan diameter 16 cm (*mesh size* 64 μm), *beaker glass* 400 ml [IWAKI®], gelas ukur 10 ml [Pyrex], botol sampel 330 ml (36 buah), botol sampel 350 ml dibalut lakban hitam (9 buah), DO-meter [HORIBA], pH indikator [Merck], turbidimeter, *GO direct nitrate probe*, LabQuest – Vernier, *HI 717 phosphate colorimeter checker*, alat tulis dan label identitas sampel.

2. Alat di Laboratorium

Peralatan yang digunakan untuk identifikasi sampel fitoplankton di laboratorium meliputi mikroskop stereo 100x [LEICA], pipet tetes, *Sedgewick Rafter Counting Chamber*, *cover glass*, *counter*, kamera mikroskop dan buku identifikasi plankton karangan Mizuno (1990) yang berjudul *Illustration of the Freshwater Plankton of Japan*.

3. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain aquades, formalin 40%, reagen dari Kit *HI 717 phosphate colorimeter checker* (HI 717AS & HI 717B-0), tisu dan sampel air Situ Rawa Kalong.

4. Cara Kerja

Pengukuran kualitas perairan berdasarkan parameter fisika dan kimia dilakukan secara langsung di lapangan yang meliputi pengukuran suhu, kekeruhan, pH, DO, BOD, nitrat dan fosfat (Awalina dkk., 2014). Metode pengambilan sampel fitoplankton dilakukan secara horizontal dengan plankton net (Wardhana, 2003). Plankton net dilempar sejauh 1 meter ke dalam perairan Situ Rawa Kalong dan ditarik secara perlahan. Sampel fitoplankton yang diperoleh kemudian dipindahkan ke dalam botol sampel dan diawetkan menggunakan formalin 4%. Pencacahan sampel fitoplankton dilakukan dengan diambilnya 1 ml sampel yang ditetaskan pada *Sedgewick Rafter Counting Chamber* dan dilakukan pengamatan di bawah mikroskop stereo, serta didokumentasikan dengan kamera mikroskop untuk menunjang proses identifikasi. Identifikasi fitoplankton dilakukan dengan melihat literatur buku Mizuno (1990) yang berjudul *Illustration of the Freshwater Plankton of Japan*.

5. Analisis Data

Data parameter fisika-kimia perairan akan dianalisa dengan metode Storet untuk mengetahui status mutu perairan Situ Rawa Kalong. Sementara itu, data fitoplankton yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong akan dianalisa dengan menghitung kelimpahan fitoplankton, indeks diversitas Shannon-Wiener, indeks keseragaman dan indeks dominansi Simpson.

a. Penentuan Status Mutu Air dengan Membandingkan Syarat Baku Mutu Air dan Data Kualitas Air Situ Rawa Kalong Menggunakan Metode Storet

Prinsip dasar metode Storet adalah membandingkan data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan untuk penentuan status mutu air. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003, penentuan status mutu air dengan menggunakan metode Storet dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- ✓ Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran < baku mutu) maka diberi skor 0.
- ✓ Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu), maka diberi skor seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air

Jumlah Parameter	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maks.	-1	-2	-3
	Min.	-1	-2	-3
	Rerata	-3	-6	-9
≥ 10	Maks.	-2	-4	-6
	Min.	-2	-4	-6
	Rerata	-6	-12	-18

- ✓ Apabila tidak terdapat baku mutu untuk parameter tertentu, maka tidak perlu dilakukan perhitungan.
- ✓ Jumlahkan semua skor untuk nilai maksimum, minimum dan rerata.
- ✓ Jumlah skor menunjukkan status mutu air seperti pada Tabel 2.3.1.2.

Tabel 2. Klasifikasi Mutu Air dalam Empat Kelas untuk Menentukan Status Mutu Air Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003

Kelas	Skor Metode Storet	Status Mutu Air
Kelas A	0	Baik sekali / Memenuhi baku mutu
Kelas B	(-1) – (-10)	Baik / Tercemar ringan
Kelas C	(-11) – (-30)	Sedang / Tercemar sedang
Kelas D	≥ -31	Buruk / Tercemar berat

b. Kelimpahan Fitoplankton

Kelimpahan fitoplankton dihitung dengan menggunakan persamaan menurut (APHA, 2005), yang tertera pada “Persamaan (1)”:

$$N = Z x \frac{X}{Y} x \frac{1}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

- N = Kelimpahan fitoplankton (sel/L)
- Z = Jumlah sel fitoplankton (sel)
- X = Volume air sampel yang tersaring (ml)
- Y = Volume subsampel (1 ml)
- V = Volume air yang disaring (L)

c. Indeks Diversitas Shannon-Wiener

Analisis indeks diversitas fitoplankton Shannon-Wiener digunakan untuk mengetahui keanekaragaman jenis fitoplankton yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran perairan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung indeks diversitas Shannon-Wiener (Wardhana, 2006), tertera pada “Persamaan (2)”:

$$H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

- H' = Indeks diversitas
- n_i = Jumlah individu jenis ke-i
- N = Jumlah total individu

Hasil perhitungan indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener dikaitkan dengan tabel klasifikasi tingkat pencemaran berdasarkan indeks diversitas dari Shannon-Wiener untuk mengetahui tingkat pencemaran perairan tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Kisaran Indeks Diversitas Shannon-Wiener

H'	Tingkat Diversitas	Tingkat Pencemaran Perairan
H' < 1,0	Tingkat diversitas rendah	Tercemar berat
1,0 ≤ H' ≤ 3,0	Tingkat diversitas sedang	Tercemar sedang
H' > 3,0	Tingkat diversitas tinggi	Tidak tercemar

d. Indeks Keseragaman

Analisis indeks keseragaman fitoplankton digunakan untuk menunjukkan sebaran individu antar jenis fitoplankton merata atau tidak merata. Persamaan yang digunakan untuk menghitung indeks keseragaman (Krebs, 1989), tertera pada “Persamaan (3)”:

$$J = \left(\frac{H'}{H_{max}} \right) = \left(\frac{H'}{\log_2 S} \right) \quad (3)$$

Keterangan:

- J = Indeks keseragaman
- H' = Indeks diversitas
- log₂ S = 3,3219 log S
- S = Jumlah jenis

Dimana kriteria indeks keseragaman adalah:

- J ≈ 0 : Keseragaman rendah dan sebaran individu antar jenis tidak merata karena ada sekelompok jenis yang mendominasi
- J ≈ 1 : Keseragaman tinggi dan menggambarkan tidak ada jenis yang mendominasi sehingga sebaran individu antar jenis merata

e. Indeks Dominansi Simpson

Analisis indeks dominansi fitoplankton Simpson digunakan untuk mengetahui adanya dominansi jenis fitoplankton tertentu maupun tidak. Persamaan yang digunakan untuk menghitung indeks dominansi Simpson (Krebs, 1989), tertera pada "Persamaan (4)":

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad (4)$$

Keterangan:

C = Indeks dominansi

n_i = Jumlah individu jenis ke- i

N = Jumlah total individu

Dimana kriteria indeks keseragaman adalah:

$C \approx 0$: Tidak ada individu yang mendominasi pada suatu komunitas dan diikuti dengan tingginya indeks keseragaman

$C \approx 1$: Ada salah satu individu yang mendominasi pada suatu komunitas dan diikuti dengan rendahnya indeks keseragaman

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran parameter lingkungan sifat fisik dan kimia perairan dilakukan di tiga titik stasiun yakni stasiun 1 (*inlet*), stasiun 2 (*midlet*) dan stasiun 3 (*outlet*). Berdasarkan Tabel 3.1., hasil menunjukkan bahwa rata-rata dari tiga kali pengukuran parameter fisika-kimia (pH, DO, BOD, nitrat, fosfat) di perairan Situ Rawa Kalong melebihi batas baku mutu air berdasarkan baku mutu air kelas II menurut Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001. Digunakan baku mutu air kelas II karena perairan Situ Rawa Kalong dipergunakan oleh penduduk setempat sebagai prasarana atau sarana rekreasi dan pembudidayaan ikan air tawar. Hal tersebut berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 atas dasar klasifikasi dan kriteria mutu air yang membagi peruntukannya ke dalam empat kelas (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 2003).

Rata-rata dari tiga kali hasil pengukuran parameter fisika dan kimia dikaitkan dengan baku mutu air kelas II untuk mengetahui melebihi atau tidak melebihi baku mutu air di perairan Situ Rawa Kalong tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata dari Tiga Kali Hasil Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia Dikaitkan dengan Baku Mutu Air Kelas II di Perairan Situ Rawa Kalong

Parameter	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	Baku Mutu Air Kelas II	Melebihi atau Tidak Melebihi Baku Mutu
Fisika					
Suhu [°C]	30,6°C	29,0°C	31,3°C	Deviasi 3	-
Kekeruhan [NTU]	25,8 NTU	25,3 NTU	26,0 NTU	-	-
Kimia					
pH	5,6	5,6	5,6	6 – 9	Melebihi baku mutu perairan
DO [mg/L]	3,38 mg/L	3,60 mg/L	3,15 mg/L	3 mg/L	Melebihi baku mutu perairan
BOD [mg/L]	9,35 mg/L	6,13 mg/L	9,50 mg/L	4 mg/L	Melebihi baku mutu perairan
Nitrat [mg/L]	10,3 mg/L	10,5 mg/L	11,0 mg/L	10 mg/L	Melebihi baku mutu perairan
Fosfat [mg/L]	0,41 mg/L	0,29 mg/L	0,36 mg/L	0,2 mg/L	Melebihi baku mutu perairan

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia (pH, DO, BOD, nitrat, fosfat) pada perairan Situ Rawa Kalong melebihi ambang batas baku mutu air diduga akibat banyaknya masukan bahan organik yang berasal dari limbah rumah tangga, limbah industri dan limbah budidaya ikan. Banyaknya masukan bahan organik yang dialirkan langsung ke dalam perairan Situ Rawa Kalong mengakibatkan keruhnya perairan dan tingginya aktivitas organisme dekomposer. Menurut Widawati (2005), proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan panas serta asam dengan mengeluarkan CO₂ dan mengambil O₂ dalam air, sehingga dapat meningkatkan suhu

perairan, menurunkan pH air dan kadar O₂, serta meningkatkan nilai BOD dalam perairan Situ Rawa Kalong (Tabel 4.).

Tingginya nilai kadar nitrat pada perairan Situ Rawa Kalong diduga karena adanya buangan limbah domestik, limbah industri dan kotoran hewan yang berasal dari ikan yang berada di perairan maupun keramba ikan yang berada di perairan Situ Rawa Kalong. Menurut Rao dkk. (2017), sumber utama nitrogen dalam air berasal dari buangan domestik, air limbah industri, kotoran hewan (ternak, burung, mamalia dan ikan), pertanian dan emisi kendaraan. Sementara itu, tingginya nilai kadar fosfat pada perairan Situ Rawa Kalong diduga karena adanya masukan bahan organik yang berasal dari limbah rumah tangga yakni berupa limbah deterjen. Dampak dari tingginya nilai kadar nitrat dan fosfat di perairan Situ Rawa Kalong yakni dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi di perairan serta mempercepat pertumbuhan fitoplankton sehingga dapat menyebabkan terjadinya *blooming* (Boyd, 1990).

Hasil perhitungan status mutu air di Situ Rawa Kalong untuk masing-masing stasiun (stasiun 1, 2 dan 3) menunjukkan bahwa skor dari hasil metode Storet berturut-turut yakni -48, -46 dan -48 sehingga status mutu dari perairan Situ Rawa Kalong pada stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 dinyatakan buruk (Tabel 5.).


Tabel 5. Hasil perhitungan metode Storet pada Perairan Situ Rawa Kalong


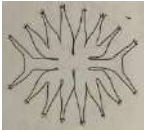

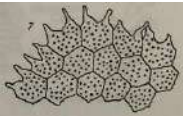





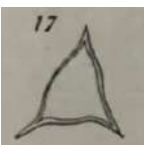

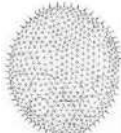
No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Stasiun	Hasil Pengukuran			Skor
					Maks.	Min.	Rerata	
Fisika								
1.	Suhu	[°C]	Deviasi 3	1	31,1	30,0	30,6	0
				2	30,0	28,0	29,0	0
				3	31,6	30,8	31,3	0
2.	Kekeruhan	[NTU]	-	1	25,9	25,7	25,8	0
				2	25,4	25,2	25,3	0
				3	26,1	25,9	26,0	0
Kimia								
3.	pH	-	6 – 9	1	6	5	5,6	-8
				2	6	5	5,6	-8
				3	6	5	5,6	-8
No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Stasiun	Maks.	Min.	Rerata	Skor
4.	DO	[mg/L]	3	1	3,45	3,30	3,38	-10
				2	3,64	3,56	3,60	-10
				3	3,16	3,14	3,15	-10
5.	BOD	[mg/L]	4	1	9,44	9,25	9,35	-10
				2	6,14	6,12	6,13	-10
				3	9,51	9,49	9,50	-10
6.	Nitrat	[mg/L]	10	1	10,4	10,2	10,3	-10
				2	11,0	10,0	10,5	-8
				3	11,1	10,9	11,0	-10
7.	Fosfat	[mg/L]	0,2	1	0,50	0,28	0,41	-10
				2	0,30	0,28	0,29	-10
				3	0,38	0,35	0,36	-10

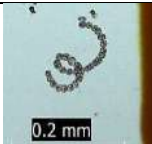
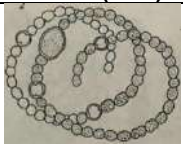
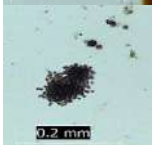






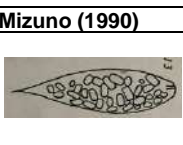
Tingginya skor mutu air pada stasiun 1, 2 dan 3 diduga dipengaruhi oleh beberapa aktivitas masyarakat pada perairan Situ Rawa Kalong. Aktivitas yang dominan antara lain; pemukiman, perikanan dan industri. Berdasarkan lokasi, stasiun 1 berdekatan dengan pemukiman dan industri (minuman kemasan dan kap lampu). Hal tersebut memperlihatkan bahwa cemaran pada stasiun 1 diakibatkan oleh aktivitas pemukiman dan industri. Pada lokasi stasiun 2 berdekatan dengan industri (kosmetik dan plastik), sehingga berpotensi terkena cemaran limbah industri. Sementara itu, berdasarkan lokasi pada stasiun 3 berdekatan dengan pemukiman dan adanya keramba ikan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa cemaran pada stasiun 3 diakibatkan oleh aktivitas pemukiman dan perikanan. Oleh sebab itu, perairan Situ Rawa Kalong yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi dan pembudidayaan ikan air tawar yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut dinilai buruk (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 2003).

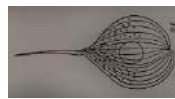
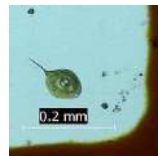
Fitoplankton yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong yakni terdiri dari 21 genus yang berasal dari empat kelompok divisi yaitu Bacillariophyta (6 genus), Chlorophyta (9 genus), Cyanophyta (4 genus) dan Euglenophyta (2 genus). Menurut Mizuno (1990) dan Vuuren dkk. (2006), keempat divisi tersebut merupakan divisi yang ditemukan di perairan air tawar (Tabel 6.).

Tabel 6. Komposisi Fitoplankton di Perairan Situ Rawa Kalong

Divisi	Dokumentasi	Mizuno (1990)	Genus	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Bacillariophyta			<i>Melosira</i>	2	2	2
			<i>Navicula</i>	5	5	4
			<i>Nitzschia</i>	9	11	10
			<i>Pinnularia</i>	2	2	2
			<i>Synedra</i>	2	2	2
			<i>Tabellaria</i>	2	2	2
Chlorophyta			<i>Chlorella</i>	385	379	398
			<i>Closterium</i>	3	3	3
			<i>Cosmarium</i>	4	4	3

		<i>Micrasterias</i>	2	2	2
		<i>Pediastrum</i>	2	2	2
		<i>Pyrobotrys</i>	2	2	2
		<i>Scenedesmus</i>	3	4	2
		<i>Tetraedron</i>	2	2	2
		<i>Volvox</i>	2	2	2

Divisi	Dokumentasi	Mizuno (1990)	Genus	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Cyanophyta			<i>Anabaena</i>	6	5	4
			<i>Microcystis</i>	71	57	90
			<i>Oscillatoria</i>	1	2	1
			<i>Spirulina</i>	3	3	3
Euglenophyta			<i>Euglena</i>	11	12	10



Phacus 2 3 2

JUMLAH	521	506	548
--------	-----	-----	-----

Berdasarkan jumlah jenisnya, divisi Chlorophyta merupakan fitoplankton yang paling banyak ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong dengan jumlah jenis yakni 9 genus (Tabel 3.3.). Chlorophyta merupakan alga hijau yang apabila jumlahnya banyak dan mendominasi perairan akan membuat perairan terlihat berwarna kehijauan. Hal tersebut sesuai dengan kondisi perairan Situ Rawa Kalong yakni memiliki warna perairan berwarna kehijauan. Banyaknya jumlah jenis Chlorophyta dapat mengindikasikan bahwa suatu perairan mengalami eutrofikasi. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya eutrofikasi di perairan adalah bergantungnya populasi fitoplankton yang dominan dari kelompok Bacillariophyta menjadi Chlorophyta, sehingga berdasarkan komposisi fitoplankton secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa perairan Situ Rawa Kalong telah mengalami eutrofikasi (Samudra dkk., 2013). Hal tersebut sesuai dengan tingginya kadar nitrat dan fosfat pada perairan Situ Rawa Kalong (Tabel 3.1.). Hasil tersebut sama dengan penelitian sebelumnya yakni Awalina dkk. (2014) dan Sulawesty dkk. (2014) bahwa perairan Situ Rawa Kalong telah mengalami eutrofikasi.

Berdasarkan teori Fukuyo (2000), yang diberi tanda blok kuning pada Tabel 3.3. merupakan jenis-jenis fitoplankton indikator perairan tercemar yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong yakni *Nitzschia*, *Chlorella*, *Pyrobotrys*, *Tetraedron*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Euglena* dan *Phacus*. Pada suatu perairan, jika terdapat 1 atau 2 bahkan lebih dari 2 genus fitoplankton indikator perairan tercemar, maka dapat dikatakan perairan tersebut tercemar. Hal ini dikarenakan, jika sewaktu-waktu terjadi *blooming* alga, maka genus fitoplankton perairan tercemar yang akan mendominasi perairan tersebut.

Hasil analisis fitoplankton yang dilakukan menggunakan indeks biologi pada 3 titik stasiun penelitian di Situ Rawa Kalong yakni meliputi indeks kelimpahan, indeks diversitas (H') dari Shannon-Wiener, indeks keseragaman (J) dan indeks dominansi Simpson (C) fitoplankton tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Kelimpahan Total, Indeks Diversitas dari Shannon-Wiener, Indeks Keseragaman dan Indeks Dominansi Simpson Fitoplankton di Perairan Situ Rawa Kalong

URAIAN	STASIUN 1	STASIUN 2	STASIUN 3
Kelimpahan Total (Ind/L)	41.880.064	40.674.304	44.050.432
Indeks Diversitas (H') dari Shannon-Wiener	0,48	0,48	0,46
Indeks Keseragaman (J)	0,11	0,11	0,10
Indeks Dominansi Simpson (C)	0,57	0,58	0,56

Hasil yang didapat pada perhitungan kelimpahan fitoplankton di perairan Situ Rawa Kalong yakni berkisar antara 40.674.304 – 44.050.432 sel/L (Tabel 3.4.). Berdasarkan hasil yang didapat, kelimpahan fitoplankton pada perairan Situ Rawa Kalong termasuk kriteria perairan sangat subur (eutrofik). Menurut Prescott (1962), bahwa suatu perairan diklasifikasikan oligotrofik (kesuburan rendah) bila jumlah kelimpahan fitoplankton <2.000 sel/L, mesotrofik (kesuburan sedang) bila jumlah kelimpahan fitoplankton 2.000 – 15.000 sel/L dan eutrofik (kesuburan tinggi) bila jumlah kelimpahan fitoplankton >15.000 sel/L. Tingginya kelimpahan fitoplankton di perairan Situ Rawa Kalong berasal dari banyaknya unsur hara (nitrat dan fosfat) yang masuk sehingga dapat mendukung kehidupan fitoplankton. Kelimpahan yang tidak merata cenderung menyebabkan terdapatnya salah satu jenis fitoplankton yang mendominasi. Hal ini berakibat pada terjadinya *blooming* alga sewaktu-waktu. Jika nutrisi berlebih di perairan tersebut, maka akan menyingkirkan jenis-jenis fitoplankton lainnya (Mustofa, 2015). Hasil kelimpahan fitoplankton yang didapat sama dengan hasil penelitian Awalina dkk. (2014) yakni 1.627.196 sel/L dan Sulawesty dkk. (2014) yakni 706.709 sel/L, yang berarti memiliki nilai kelimpahan >15.000 sel/L, bahwa perairan Situ Rawa Kalong telah mengalami eutrofikasi (perairan dengan unsur hara tinggi).

Hasil analisis diversitas (H') fitoplankton dari Shannon-Wiener memperlihatkan bahwa seluruh stasiun Situ Rawa Kalong termasuk klasifikasi $H' < 1$ (Tabel 3.4.). Menurut Wardhana (2006), apabila nilai diversitas $H' < 1$ maka diversitas fitoplankton di perairan Situ Rawa Kalong rendah. Hal

tersebut diduga karena adanya faktor lingkungan yang buruk. Hal ini diperkuat dengan hasil perhitungan metode Storet bahwa perairan Situ Rawa Kalong memiliki status perairan yang buruk (Tabel 3.2.), sehingga dapat menyebabkan stabilitas komunitas di perairan tidak baik dan hanya jenis-jenis tertentu saja yang mampu beradaptasi untuk hidup dan berkembang di perairan Situ Rawa Kalong. Hal ini terbukti dari hasil pengamatan, bahwa kekayaan jenis fitoplankton yang berada di perairan Situ Rawa Kalong relatif rendah (Tabel 3.3.). Oleh sebab itu, perairan Situ Rawa Kalong memiliki tekanan ekologis tinggi, ekosistem tidak stabil dan produktivitas perairan sangat rendah. Hasil nilai indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener di Situ Rawa Kalong bila dikaitkan dengan tabel klasifikasi tingkat pencemaran dari Shannon-Wiener, maka diversitas fitoplankton rendah dan perairan Situ Rawa Kalong mengalami pencemaran berat (Tabel 2.3.3.). Hal tersebut disebabkan adanya masukan limbah rumah tangga, limbah pabrik serta limbah budidaya ikan dan kegiatan memancing di perairan Situ Rawa Kalong. Hasil indeks diversitas fitoplankton dari Shannon-Wiener yang didapat sama dengan hasil penelitian Awalina dkk. (2014) dan Sulawesty dkk. (2014) yakni $H' < 1$, bahwa nilai diversitas fitoplankton di perairan Situ Rawa Kalong rendah.

Nilai keseragaman (J) fitoplankton di perairan Situ Rawa Kalong memperlihatkan bahwa seluruh stasiun tergolong $J \approx 0$ (Tabel 3.4.). Menurut Pielou (1977), apabila nilai keseragaman mendekati nilai 0 maka keseragaman antar spesies di dalam suatu komunitas rendah. Hal tersebut disebabkan oleh adanya beberapa genus yang memiliki kelimpahan lebih besar dari genus lainnya yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong pada stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 yakni *Chlorella* dan *Microcystis* (Tabel 3.3.). Rendahnya keseragaman pada semua titik stasiun di perairan Situ Rawa Kalong disebabkan oleh kelimpahan genus yang tidak merata, sehingga terjadinya kecenderungan terhadap suatu genus yang mendominasi pada setiap titik stasiun di perairan Situ Rawa Kalong. Hal tersebut mencerminkan bahwa kekayaan individu pada masing-masing genus sangat jauh berbeda (Pielou, 1977). Hasil indeks keseragaman fitoplankton yang didapat sama dengan hasil penelitian Awalina dkk. (2014) dan Sulawesty dkk. (2014) yakni nilai keseragaman mendekati nilai 0, bahwa keseragaman antar spesies di perairan Situ Rawa Kalong rendah.

Pada perhitungan indeks dominansi fitoplankton dengan menggunakan rumus Simpson di perairan Situ Rawa Kalong memperlihatkan bahwa seluruh stasiun tergolong $C \approx 1$ (Tabel 3.4.). Menurut Pirzan & Pong-Masak (2008), bila nilai dominansi mendekati nilai 1 maka perairan tersebut menunjukkan adanya genus yang mendominasi. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya kelimpahan dua genus yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong pada stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 yakni *Chlorella* dan *Microcystis* sehingga membuat perairan Situ Rawa Kalong memiliki perairan berwarna kehijauan (Tabel 3.3.). Faktor utama yang mempengaruhi terjadinya dominansi genus di Situ Rawa Kalong yakni banyaknya masukan bahan organik yang berasal dari limbah rumah tangga seperti limbah deterjen, sisa sampah makanan serta limbah dari budidaya ikan dan kegiatan memancing, sehingga hanya jenis fitoplankton tertentu yang dapat bertahan hidup di dalam kondisi perairan yang tercemar.

Mendominasinya genus *Chlorella* dan *Microcystis* di perairan Situ Rawa Kalong disebabkan oleh kemampuannya beradaptasi yang tinggi dengan lingkungan, tahan terhadap kondisi ekstrim dan mempunyai daya reproduksi yang tinggi. Menurut Vuuren dkk. (2006), genus *Chlorella* dan *Microcystis* merupakan genus yang toleran terhadap perairan dengan kandungan bahan organik dan anorganik yang tinggi serta dapat hidup di perairan yang memiliki kandungan unsur hara yang tinggi (eutrofik).

Hasil genus yang mendominasi di perairan Situ Rawa Kalong berbeda dengan hasil penelitian Awalina dkk. (2014) dan Sulawesty dkk. (2014). Pada hasil penelitian Awalina dkk. (2014), perairan Situ Rawa Kalong didominasi oleh *Aphanothece* sp., sedangkan pada hasil penelitian Sulawesty dkk. (2014), perairan Situ Rawa Kalong didominasi oleh *Aphanothece* sp. dan *Anabaena* sp. Menurut Bellingier & Sigeo (2010), perbedaan hasil dominansi tersebut bahwa setiap jenis fitoplankton akan memberikan respon yang berbeda terhadap lingkungannya, sehingga fitoplankton dapat dijadikan bioindikator kualitas lingkungan suatu perairan.

KESIMPULAN

Diversitas fitoplankton yang ditemukan di perairan Situ Rawa Kalong yaitu terdiri dari 21 genus yang berasal dari empat kelompok divisi yakni Bacillariophyta (6 genus), Chlorophyta (9 genus), Cyanophyta (4 genus) dan Euglenophyta (2 genus), serta menunjukkan adanya dominansi pada genus *Chlorella* dan *Microcystis*. Berdasarkan hasil metode Storet, perairan Situ Rawa Kalong yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi dan pembudidayaan ikan air tawar dinilai buruk. Berdasarkan nilai indeks diversitas fitoplankton yang didapat $H' = 0,46 - 0,48$

atau $H' < 1$, disimpulkan bahwa kualitas perairan Situ Rawa Kalong mengalami pencemaran berat oleh materi organik maupun anorganik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Universitas Indonesia (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Biologi) yang telah memfasilitasi penelitian serta warga Situ Rawa Kalong yang telah memberikan perizinan penelitian dan pengambilan sampel di Situ Rawa Kalong Depok, Jawa Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. (2005). *Standard Methods for The Examination for Water and Wastewater*. (2^{1st} ed.). New York: American Public Health Association Inc.
- Awalina, Sulawesty, F., Chrismadha, T., Setiadi, T., Satya, I.A., Mardiaty, Y. & Widoretno, M.R. (2014, November). Phytoplankton Community Abundance Changes in Urban Lake Under Hypereutrophic Conditions: A Study Case in Situ Rawa Kalong-Depok, West Java. *In Proceedings of the International Conference on Ecohydrology (ICE)* (pp. 34-43). UNESCO, LIPI.
- Bellingier, E.G. & Sigeo, D.C. (2010). *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. (1st ed.). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Boyd, C.E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama: Alabama Aquacultural Experiment Station, Auburn University.
- Fukuyo, Y. (2000). *Red Tide Microalga*. Diakses 1 Agustus 2020, dari fukuyo@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2003). Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.KEP-115/MENLH/2003 tentang *Pedoman Penentuan Status Mutu Air*.
- Krebs, C.J. (1989). *Ecological Methodology*. New York: Harver and Row Inc. Publisher.
- Mizuno, T. (1990). *Illustrations of the Freshwater Plankton of Japan*. Osaka: Hoikusha Publishing.
- Mustofa, A. (2015). Kandungan Nitrat dan Posfat Sebagai Faktor Tingkat Kesuburan Pantai. *Jurnal DISPROTEK*, 6, 13-19.
- Nagelhout, R. (2015). *PLANKTON: Glow in the Dark Animals*. (1st ed). New York: The Rosen Publishing Group, Inc.
- Pemerintah Kota Depok. (2007). *Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Depok Tahun 2007*. Depok: Pemerintah Kota Depok.
- Peraturan Pemerintah RI. (2001). PP RI No. 82. Tahun 2001 tentang *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- Pielou, E.C. (1977). *Mathematical Ecology*. Toronto: John Wiley & Sons, Ltd.
- Pirzan, A.M. & Pong-Masak, P.R. (2008). Hubungan Keragaman Fitoplankton dengan Kualitas Air di Pulau Bauluang, kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. *BIODIVERSITAS*, 9, 217-221.
- Prescott, G.W. (1962). *Algae of the Western Great Lakes Area*. Dubuque: W.C. Brown Co.
- Rao, E.V.S.P., Puttanna, K., Sooryanarayana, K.R., Biswas, A.K. & Arunkumar, J.S. (2017). Assessment of Nitrate Threat to Water Quality in India. *The Indian Nitrogen Assessment*, 21, 323-333.
- Samudra, S.R., Soeprbowati, T.R. & Izzati, M. (2013). Komposisi, Kelimpahan dan Keanekaragaman Fitoplankton Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang. *BIOMA*, 15, 6-13.
- Sulawesty, F., Awalina & Chrismadha, T. (2014, September). Struktur Komunitas Fitoplankton Situ Rawa Kalong pada Musim Peralihan. *Dalam Prosiding Seminar Nasional Limnologi VII-2014* (pp. 475-483). LIPI.
- Vuuren, S.J.V., Taylor, J., Ginkel, C.V. & Gerber, A. (2006). *Easy Identification of The Most Common Freshwater Algae: A Guide for the Identification of Microscopic Algae in South African Freshwater*. Pretoria: Resource Quality Services (RQS).
- Wardhana, W. (2003, Mei). Teknik Sampling, Pengawetan dan Analisis Plankton. *Disampaikan pada Pelatihan Teknik Sampling dan Identifikasi Fitoplankton*. (pp. 12). Balai Pengembangan dan Pengujian Mutu Perikanan.
- Wardhana, W. (2006). *Metode Prakiraan Dampak dan Pengelolaannya pada Komponen Biota Akuatik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Widawati, S. (2005). Daya Pacu Aktivator Fungi Asal Kebun Biologi Wamena terhadap Kematangan Hara Kompos, serta Jumlah Mikroba Pelarut Fosfat dan Penambat Nitrogen. *BIODIVERSITAS*, 6, 238-241.

Analisis Perubahan Tutupan Lahan Sebelum Dan Setelah Gempa Bumi Tahun 2018 Di Kecamatan Sambelia, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat

Vindy Arinka Fitri¹, Indah Prasasti²

¹Universitas Indonesia, ²Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

email: vindy.arinkaf@gmail.co.id¹

ABSTRACT

An earthquake rocked the Lombok, West Nusa Tenggara region on July 29th, 2018, and again occurred on August 5th, and August 19th, 2018. The consequences of this incident included infrastructure damage to buildings, injuries, and casualties. One of the worst impacts was in Sambelia District. In the study, land cover mapping of Sambelia District in 2017, 2018, and 2019 will be carried out. The analysis was conducted with a comparison of the three maps to determine land cover changes. The data used are Landsat 8 satellite imagery and supervised classification are using the Maximum Likelihood Classification method. The land covers identified in this study are water bodies, agricultural land, built-up land, open land, mangroves, shrubs, and high vegetation. The results of changes detected in 2017 to 2018 show that high vegetation land has experienced a massive decrease in land area. Apart from high vegetation land, a decrease in the area also occurred in built-up land, mangrove, water bodies, and bushes while open land is vice versa. In the following year, the area of water bodies and built-up land increased, followed by agricultural land and plantations. In contrast to the area of high vegetation, shrubs, and mangroves which decline constantly every year. Broadly speaking, the accuracy test of the 2017, 2018, and 2019 land cover maps yielded an overall accuracy of 97,14%, 92,50%, and 91,42% as well as Kappa Coefficient with 96,66%, 91,42%, dan 90%. Land cover changes, especially built-up land and open land are estimated due to the earthquake.

Keywords: Earthquake, Land Cover, Maximum Likelihood Classification, Sambelia District.

INTISARI

Gempa bumi telah mengguncang wilayah Lombok, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 29 Juli 2018 dan kembali terjadi tepatnya tanggal 5 Agustus dan 19 Agustus 2018. Akibat yang timbul oleh peristiwa ini diantaranya kerusakan infrastuktur pada bangunan, luka-luka hingga memakan korban jiwa. Salah satu dampak terparah berada di Kecamatan Sambelia. Pada penelitian ini dilakukan pemetaan tutupan lahan Kecamatan Sambelia pada tahun 2017, 2018, dan 2019. Analisis dilakukan berupa perbandingan ketiga peta agar diketahui perubahan tutupan lahan. Data yang digunakan adalah citra satelit Landsat 8 dan dilakukan klasifikasi supervised dengan metode Maximum Likelihood Classification. Tutupan lahan yang diidentifikasi pada studi ini adalah badan air, lahan pertanian dan perkebunan, lahan terbangun, lahan terbuka, hutan bakau, semak belukar, dan vegetasi tinggi. Hasil perubahan yang terdeteksi pada tahun 2017 sampai 2018 menunjukkan lahan vegetasi tinggi mengalami penurunan luas lahan yang masif. Selain lahan vegetasi tinggi, penurunan luas lahan juga terjadi pada lahan terbangun, hutan bakau, badan air, dan semak belukar sedangkan lahan terbuka sebaliknya. Pada tahun berikutnya, luas badan air dan lahan terbangun berbalik meningkat yang diikuti oleh lahan pertanian dan perkebunan. Berbeda dengan luas vegetasi tinggi, semak belukar, dan hutan bakau yang menurun secara konstan tiap tahunnya. Secara garis besar, uji akurasi terhadap peta tutupan lahan tahun 2017, 2018, dan 2019 menghasilkan overall accuracy masing-masing 97,14%, 92,50%, dan 91,42% serta Kappa Coefficient yakni 96,66%, 91,42%, dan 90%. Perubahan tutupan lahan terutama pada bangunan dan lahan terbuka diperkirakan sebagai akibat dari gempa bumi.

Kata Kunci: Gempa bumi, Kecamatan Sambelia, Maximum Likelihood Classification, Tutupan lahan.

PENDAHULUAN

Indonesia berada di antara pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik yang menyebabkan sejumlah bencana geologi terjadi di Indonesia, salah satu yang cukup dikenal ialah gempa bumi. Pada 29 Juli tahun 2018, gempa bumi mengguncang Lombok dengan magnitudo 6.4 yang disusul oleh gempa bumi berkekuatan magnitudo 7.0 dan magnitudo 6.9 pada tanggal 5 Agustus 2018 dan 19 Agustus 2018 pada kawasan

tektonik aktif (PUSGEN, 2018). Gempa bumi pada tanggal 29 Juli dan 19 Agustus 2018 menimbulkan kerusakan berat yang terkonsentrasi di Kabupaten Lombok Timur khususnya Kecamatan Sambelia dengan intensitas VIII MMI. Di samping itu akibat dari gempa bumi 29 Juli 2018 pada Lombok Timur terdapat 830 rumah rusak berat, 1326 rumah rusak ringan, 15 orang meninggal dunia dan 353 korban luka-luka. Dampak tersebut meningkat akibat gempa bumi pada 5 Agustus 2018 yang menurut data BNPB Lombok Timur mengalami 25.540 rumah rusak, 12 korban jiwa, dan 122 orang luka-luka (PUSGEN, 2018). Selain kerusakan, fenomena alam akibat gempa bumi seperti gerakan tanah di Kecamatan Sambelia (Suhendar, 2018) juga memungkinkan terjadi perubahan tutupan lahan.

Tutupan lahan menggambarkan karakteristik fisik permukaan bumi yang mencakup distribusi vegetasi, air, tanah dan fitur fisik lahan lainnya serta termasuk yang dibuat oleh aktivitas manusia seperti permukiman, sedangkan terkait dengan penggunaan lahan merujuk pada keadaan lahan yang digunakan oleh manusia (Rawat & Kumar, 2015). Tutupan lahan dan penggunaan lahan dapat berubah secara temporal dan spasial akibat aktivitas alam dan antropogenik. Perubahan ini dapat diidentifikasi untuk berbagai studi lingkungan (Guru & Aravind, 2015). Salah satunya adalah perubahan lahan sebelum dan setelah terjadinya bencana alam yang memberi dampak secara lingkungan.

Identifikasi perubahan tutupan lahan sebelum dan setelah gempa bumi dengan pemanfaatan penginderaan jauh sudah umum dilakukan, antara lain yang dilakukan di wilayah Aso setelah gempa bumi Kumamoto tahun 2016 menggunakan Sentinel-2A/2B (Iwasaki dkk., 2020), perubahan lahan di Kota Palu pasca gempa bumi dan tsunami tahun 2018 dengan satelit LAPAN-A3 dan Sentinel-2 (Hamdi & Hernawati, 2019), perubahan lahan di Kota Palu dan Donggala akibat gempa bumi tahun 2018 dengan citra Landsat 8 OLI/TIRS (Dzakiyah & Prasasti, 2019), dan perubahan lahan di Tohoku disebabkan oleh gempa bumi Jepang tahun 2011 dengan Landsat 8 OLI (Ishihara & Tadono, 2017). Selain itu, beberapa kajian mengenai penggunaan lahan di Pulau Lombok juga telah dilakukan pada tahun 1999 hingga 2000 dengan data Landsat MSS, TM, dan ETM+ (Kim, 2016), sedangkan Khikmah dkk. (2017) menganalisis perubahan penggunaan lahan di Lombok Timur dengan memanfaatkan data Landsat 8 OLI untuk mengevaluasi peta perencanaan wilayah.

Berdasarkan Li dkk. (2014), informasi tutupan lahan dan penggunaan lahan dapat dilakukan melalui interpretasi dan klasifikasi pada data citra, baik berbasis piksel maupun obyek. Penelitian ini menggunakan klasifikasi berbasis piksel. Klasifikasi berbasis piksel ini dengan menganggap bahwa data citra sebagai kumpulan piksel dengan informasi spektral sehingga variabel spektral dan transformasinya menjadi data masukan dalam klasifikasi tiap piksel. Klasifikasi berbasis piksel dapat dibagi menjadi dua yaitu klasifikasi tidak terbimbing dan klasifikasi terbimbing (Li dkk., 2014). Klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) mengelompokkan piksel menjadi beberapa kelas berdasarkan perhitungan statistik dan tanpa menentukan sampel piksel. Hal ini berbeda dengan klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) yang mengelompokkan piksel berdasarkan statistik sampel piksel atau *region of interest* (ROI) dan komputer akan melakukan klasifikasi berdasarkan sampel acuan tersebut (Pusfatja, 2015). Salah satu klasifikasi terbimbing ialah metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) sebagai metode yang umum digunakan dalam berbagai studi. Prinsip MLC mengelaskan nilai piksel berdasarkan probabilitas nilainya terhadap kelas tertentu dalam sampel piksel (Pusfatja, 2015).

Penelitian bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan wilayah Kecamatan Sambelia, Lombok sebelum dan sesudah terjadinya gempa. Informasi perubahan tutupan lahan tersebut akan sangat bermanfaat dalam proses estimasi kerugian akibat gempa, estimasi dana rehabilitasi, dan dalam perencanaan tata ruang wilayah untuk mitigasi wilayah terhadap risiko bencana yang akan datang.

METODE PENELITIAN

Lokasi, Bahan dan Alat

Lokasi penelitian adalah wilayah Kecamatan Sambelia, Lombok yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Area Kecamatan Sambelia berada di Kabupaten Lombok Timur. Kecamatan Sambelia memiliki luas terbesar dengan 15% dari luas Lombok Timur merupakan wilayah Sambelia (BPS Lombok Timur, 2020). Kecamatan ini berbatasan dengan Laut Jawa di bagian utara, Selat Alas di bagian barat, Kecamatan Pringgaya di bagian timur, dan Kecamatan Sembalun di bagian selatan. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS), tercatat bahwa Kecamatan Sambelia terdiri dari 11 desa dengan jenis lahan berupa lahan sawah; lahan pertanian bukan sawah seperti perkebunan, hutan

rakyat, tambak, kolam, dan lain-lain; dan lahan bukan pertanian yaitu bangunan (BPS Lombok Timur, 2019). Obyek penelitian adalah perubahan tutupan lahan yang terjadi sebelum dan sesudah gempa bumi yang melanda wilayah tersebut. Jenis penutup lahan yang digunakan dalam klasifikasi adalah badan air, awan dan bayangan, lahan pertanian dan perkebunan, lahan terbuka, semak belukar, hutan bakau dan vegetasi tinggi. Klasifikasi ini didasarkan pada kemampuan yang dapat diamati di citra Google Earth dan beberapa kajian studi literatur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yaitu Peta Administrasi Kecamatan Sambelia, Lombok Timur dan data Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level 1 pada path/row = 116/66 akuisisi tanggal 26 Agustus 2017, 13 Agustus 2018, dan 19 Oktober 2019. Data Landsat 8 terdiri dari sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Salah satu produk data yang dihasilkan Landsat 8 ialah Landsat Collection 1 Level 1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe Tier 1 (L1TP). Data tersebut telah terkalibrasi secara radiometric dan ortorektifikasi dengan *ground control points* (GCP) dan *digital elevation model* (DEM) untuk mengoreksi perpindahan relief. Data L1TP adalah produk level 1 dengan kualitas tertinggi yang sesuai untuk analisis *time series* pada piksel (USGS, 2019b). Citra satelit Landsat 8 diunduh dari situs United States Geological Survey (USGS) pada <https://earthexplorer.usgs.gov/> dengan memasukkan lokasi, tanggal, dan memilih citra dengan mempertimbangkan waktu kejadian gempa bumi dan kualitas data. Citra yang diperoleh memiliki format Geotiff. Sementara itu, data administrasi didapat dari situs Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web> dengan memilih data sesuai kabupaten yang dituju dan diunduh dalam format "rar" kemudian akan digunakan sebagai peta administrasi wilayah.

Metode

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang secara garis besar seperti dijelaskan pada Bagan Alir Gambar 2. Adapun tahapan yang dilakukan adalah pengolahan data awal, koreksi, klasifikasi, dan uji akurasi. Selanjutnya hasil pengolahan data tersebut berupa peta tutupan lahan yang akan dianalisis secara kuantitatif dan diuji akurasi.

a. Pengolahan data awal

Proses ini dimulai dengan melakukan pemotongan citra guna mendapatkan lokasi penelitian, yakni Kecamatan Sambelia. Selanjutnya, dipilih *band-band* guna menentukan *red-green-blue* (RGB) yaitu *band* 4,3, dan 2 sebagai *natural color*.

b. Koreksi

Data mentah dari satelit berupa Digital Number (DN) yang masih memiliki efek dari sekitar, permukaan, atmosfer, topografi, dan sensor (Smith & Milton, 1999; Minařík dkk., 2019). Maka dari itu, agar meningkatkan kualitas data dan analisis yang tepat diperlukan proses koreksi radiometris dan koreksi atmosferis. Proses koreksi radiometris melibatkan perubahan nilai DN menjadi nilai reflektansi *Top of Atmosphere* (ToA) dan/ radiansi menggunakan koefisien radiometris dari metadata (Suwarsono & Khomarudin, 2014). Selain itu, koreksi atmosfer menggunakan metode *Dark Object Substraction* (DOS). DOS ialah koreksi absolut dan merupakan koreksi yang mengubah nilai reflektansi dalam satelit menjadi nilai reflektansi permukaan. Koreksi tersebut

mengasumsikan adanya objek gelap yang memiliki nilai pantulan mendekati 0 seperti air jernih yang dalam (Fibriawati, 2016).

Proses koreksi citra baik koreksi radiometris maupun koreksi atmosfer dilakukan menggunakan rumus **Persamaan (1)** untuk reflektansi dan **Persamaan (2)** untuk koreksi sudut matahari ke dalam *band math* berdasarkan USGS (2019a).

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

Keterangan:

$\rho\lambda'$ = reflektansi ToA dan belum terkoreksi sudut matahari

M_p = faktor skala perkalian reflektansi untuk *band* (REFLECTANCE_MULT_BAND_n dari metadata)

A_p = faktor skala penambah reflektansi untuk *band* (REFLECTANCE_ADD_BAND_n dari metadata)

Q_{cal} = nilai piksel pada DN

$$\rho\lambda' = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Keterangan:

$\rho\lambda'$ = reflektansi ToA

θ_{SE} = sudut elevasi lokal matahari (SUN_ELEVATION dari metadata)

θ_{SZ} = sudut zenith lokal matahari, $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

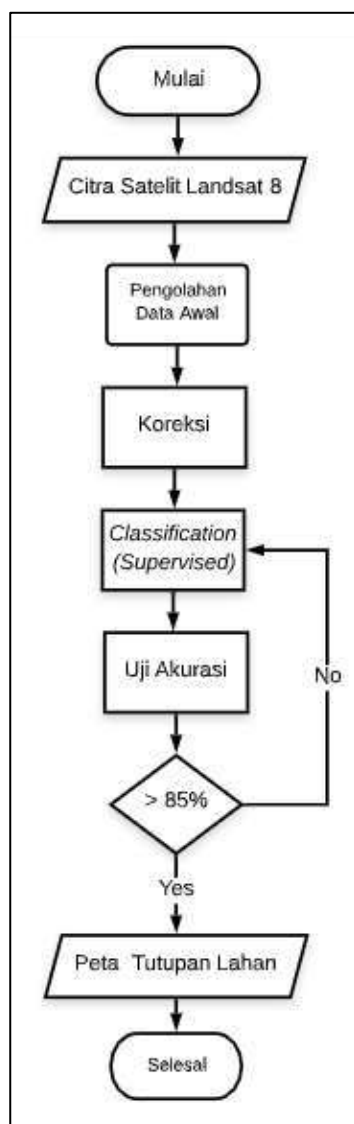
c. Klasifikasi Tutupan Lahan

Proses klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) dengan tahapan yaitu 1) *training stage* dengan mengidentifikasi area yang representatif tiap jenis tutupan lahan pada citra. 2) *classification stage*, tiap piksel pada citra dikategorikan ke dalam kelas tutupan lahan yang paling mirip dengannya. Jika tidak ada piksel yang cukup mirip pada *training data* maka akan dimasukkan ke kategori "tidak diketahui" 3) *output stage*, hasil akan ditunjukkan setelah semua data dikategorikan (Lillesand dkk., 2004). Kelas yang digunakan yakni Awan dan Bayangan, Badan Air, Lahan Terbangun, Lahan Pertanian dan Perkebunan, Lahan Terbuka, Hutan Bakau, Semak belukar, dan Vegetasi Tinggi. Proses klasifikasi tutupan lahan dengan metode MLC hanya membutuhkan *Region of Interest* (ROI). ROI merupakan sampel yang merepresentasikan sebagai suatu objek sehingga pengambilan ROI dapat mempengaruhi hasil klasifikasi.

d. Uji Akurasi

Akurasi dari informasi tutupan lahan dari klasifikasi dapat dilakukan selanjutnya dengan menggunakan *error matrix* atau *confusion matrix*. Matriks berupa persegi ini mencakup semua piksel klasifikasi yang benar dan yang salah. Perhitungan statistik yang menggunakan matriks ini seperti *overall accuracy*, *producer's accuracy*, *user's accuracy*, dan *Kappa Coefficient*. Matriks diperoleh ketika dilakukan perbandingan antara peta yang terklasifikasi dengan peta validasi atau *ground truth* (Bharath dkk., 2020). Dalam menghitung perbedaan antara kesesuaian antara data referensi dengan hasil klasifikasi menggunakan *Kappa Coefficient*. Perhitungan statistik ini merupakan indikator persentase nilai benar dari error matrix (Lillesand dkk., 2004). *Kappa Coefficient* memberikan informasi yang kuat karena mempertimbangkan piksel klasifikasi yang salah serta sebagai *chance agreement* antara data referensi dengan data klasifikasi (Bharath dkk., 2020).

Pada uji akurasi dilibatkan pengambilan titik/sampel yang mengidentifikasi suatu kelas. Titik ini akan dikonfirmasi menggunakan Google Earth agar mengetahui keakuratan citra yang terklasifikasi. Maka dengan menggunakan perhitungan akurasi pada Microsoft Excel akan terlihat besar persentase akurasi citra yang diperoleh. Berdasarkan USGS, kriteria klasifikasi tutupan lahan dan penggunaan lahan mencakup nilai akurasi minimum 85% dan akurasi dalam beberapa kelas harus sama (Lillesand dkk., 2004).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode Analisa

Analisis data berupa perbandingan antara peta tutupan lahan tahun 2017, 2018, dan 2019 agar diketahui perubahan terhadap tutupan lahan dalam satuan hektar. Hal ini menggunakan tabel luas tiap jenis tutupan lahan dan dihitung perbedaan luas lahan tiap tahunnya. Sebagai tambahan, hasil uji akurasi dilakukan untuk meningkatkan keyakinan terhadap hasil data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat Nomor 11 Tahun 2006 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat, Kecamatan Sambelia merupakan kawasan hutan lindung pada pasal 32 ayat 2c, kawasan suaka margasatwa pada pasal 34 ayat 1c, kawasan rawan angin topan pada pasal 35 ayat 5, kawasan rawan kekeringan pada pasal 35 ayat 7, kawasan rawan tanah longsor pada pasal 35 ayat 8, kawasan rawan gempa bumi pada pasal 35 ayat 9, kawasan hutan produksi pada pasal 36 ayat 4. Perencanaan tata ruang wilayah dapat meminimalisir risiko bencana yang dalam pembentukannya diperlukan kajian. Salah satu kajian yang bisa dimanfaatkan ialah perubahan tutupan lahan setelah terjadi bencana.

Tutupan lahan yang diidentifikasi pada penelitian ini yaitu Badan Air, Hutan Bakau, Lahan Pertanian dan Perkebunan, Lahan Terbangun, Lahan Terbuka, Semak Belukar, dan Vegetasi Tinggi sedangkan pada peta tahun 2018 terdapat kelas Awan dan Bayangan. Data yang digunakan ialah citra tanggal 26 Agustus 2017, 13 Agustus 2018, dan 19 Oktober 2019 sedangkan kejadian gempa bumi pada tahun 2018 tepatnya 29 Juli, 5 Agustus, dan 19 Agustus. Analisis perubahan terhadap

peta tutupan lahan antara tahun 2017 (Gambar 3), tahun 2018 (Gambar 4), dan tahun 2019 (Gambar 5) dilakukan untuk mengetahui perubahan tutupan lahan setelah terjadinya gempa bumi pada tahun 2018 di Kecamatan Sambelia, Lombok dan sekitarnya.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Tahun 2017



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Tahun 2018



Gambar 5. Peta Tutupan Lahan Tahun 2019

Hasil dari pengolahan data juga berupa data kuantitas yaitu luas tutupan lahan yang ditunjukkan oleh Tabel 1. dan besar perubahan luas lahan ditampilkan pada Tabel 2. dengan tanda negatif mengindikasikan penurunan dan tanda positif merujuk pada kenaikan luas lahan. Berdasarkan pengamatan dari tabel-tabel tersebut, badan air pada perbandingan tahun 2017 dengan 2018 terlihat adanya penurunan luas sedangkan dari tahun 2018 menuju tahun 2019, badan air mengalami peningkatan. Hal yang sama terjadi pada lahan terbangun yang menurun sebesar 0,09 hektar tahun 2018 dan tahun berikutnya meningkat 160,11 hektar. Penurunan lahan terbangun memungkinkan akibat gempa bumi tahun 2018 terutama pada 29 Juli yang menjadikan Kecamatan Sambelia menjadi wilayah dengan kerusakan terparah berupa bangunan yang roboh berdasarkan PUSGEN (2018).

Pada lahan pertanian dan perkebunan dapat diamati bahwa terdapat peningkatan luas lahan tiap tahunnya sedangkan semak belukar, hutan bakau, dan vegetasi tinggi mengalami penurunan tiap tahunnya. Lahan terbuka mengalami peningkatan dan berbalik menurun di tahun 2019. Hal ini berkaitan dengan dampak dari gempa bumi yaitu selain kerusakan bangunan, menurut PUSGEN (2018) terdapat fenomena gerakan tanah tanggal 4 dan 5 Agustus 2018 pada dinding gunung di Kecamatan Sambelia. Maka dari itu, memungkinkan adanya pengaruh terhadap tutupan lahan. Sebagai tambahan, keberadaan kelas awan dan bayangan menutupi luas tutupan lahan khususnya area bagian baratdaya. Berdasarkan peta tutupan lahan sebelumnya dan setelahnya, area yang tertutupi tersebut merupakan vegetasi tinggi, semak belukar, dan lahan terbuka. Secara keseluruhan, perubahan luas lahan tiap tahunnya dengan perubahan yang signifikan tahun 2017 hingga 2018 adalah vegetasi tinggi dengan penurunan luas hampir mencapai 1675 hektar sedangkan tahun berikutnya adalah peningkatan luas lahan pertanian dan perkebunan sekitar 1849 hektar.

Perhitungan akurasi dilakukan dengan menghitung *overall accuracy*, *user's accuracy*, *producer's accuracy*, dan *Kappa Coefficient* pada tiap peta tutupan lahan dalam satuan persentase. Hasil perhitungan *overall accuracy* pada peta tutupan lahan menunjukkan peta tahun 2017 memiliki 97,14%, peta tahun 2018 dengan akurasi 92,50%, dan peta tahun 2019 sebesar 91,42%. Pada uji akurasi untuk parameter *Kappa Coefficient* memberikan nilai akurasi peta tahun 2017 dengan 96,66%, peta tahun 2018 mempunyai 91,42%, dan peta tahun 2019 mencapai 90%. Selain itu, khusus *user's accuracy* dapat dicermati pada Tabel 3 serta *producer's accuracy* untuk Tabel 4 yang diterangkan secara spesifik. Kedua parameter tersebut menunjukkan nilai akurasi mencapai 100%, 80%, dan 83,33%. Menurut USGS, kriteria klasifikasi tutupan lahan dan penggunaan lahan meliputi nilai akurasi minimum yaitu 85% dan akurasi dalam beberapa kelas harus sama (Lillesand dkk., 2004). Oleh karena itu, sesuai dengan perhitungan akurasi dapat dikatakan hasil yang diperoleh memenuhi kriteria klasifikasi tutupan lahan.

Tabel 1. Luas Tutupan Lahan Kecamatan Sambelia

Tutupan Lahan	Luas (Ha)		
	Tahun 2017	Tahun 2018	Tahun 2019
Awan dan Bayangannya		1235,07	
Badan Air	388,8	304,56	353,97
Hutan Bakau	934,2	901,98	816,93
Lahan Pertanian dan Perkebunan	7297,02	7620,75	9470,25
Lahan Terbangun	503,55	503,46	663,57
Lahan Terbuka	378,81	1059,3	1007,28
Semak Belukar	7912,62	7464,87	7355,97
Vegetasi Tinggi	14022,54	12347,55	11769,57

Tabel 2. Perubahan Luas Tutupan Lahan Kecamatan Sambelia

Tutupan Lahan	Perubahan Tutupan Lahan (Ha)	
	Tahun 2017-2018	Tahun 2018-2019
Badan Air	-84,24	49,41
Hutan Bakau	-32,22	-85,05

Lahan Pertanian dan Perkebunan	323,73	1849,5
Lahan Terbangun	-0,09	160,11
Lahan Terbuka	680,49	-52,02
Semak Belukar	-447,75	-108,9
Vegetasi Tinggi	-1674,99	-577,98

Tabel 3. *User's Accuracy* Tutupan Lahan Kecamatan Sambelia

<i>User's Accuracy (%)</i>			
Tutupan Lahan	Tahun		
	2017	2018	2019
Awan dan Bayangannya		100	
Badan Air	100	80	100
Hutan Bakau	100	100	100
Lahan Pertanian dan Perkebunan	100	80	80
Lahan Terbangun	100	100	80
Lahan Terbuka	80	80	100
Semak Belukar	100	100	80
Vegetasi Tinggi	100	100	100

Tabel 4. *Producer's Accuracy* Tutupan Lahan Kecamatan Sambelia

<i>Producer's Accuracy (%)</i>			
Tutupan Lahan	Tahun		
	2017	2018	2019
Awan dan Bayangannya		100	
Badan Air	100	100	100,00
Hutan Bakau	100	83,33	100,00
Lahan Pertanian dan Perkebunan	100	100	80,00
Lahan Terbangun	83,33	83,33	100,00
Lahan Terbuka	100	100	100,00
Semak Belukar	100	100	80,00
Vegetasi Tinggi	100	83,33	83,33

KESIMPULAN

Hasil analisis klasifikasi tutupan lahan tahun 2017, 2018, dan 2019 menyimpulkan adanya penurunan luas pada hampir semua jenis tutupan lahan pada 2018 dibandingkan dengan tahun 2017 yang kemungkinan terjadi akibat gempa bumi yang terjadi di Kecamatan Sambelia dengan kerusakan bangunan hingga roboh dan peristiwa tanah longsor sehingga meningkatkan luas lahan terbuka. Pada periode tahun 2018 dengan 2019, peningkatan terjadi pada luas badan air dan lahan terbangun, sedangkan luas lahan terbuka menurun yang dimungkinkan adanya proses rehabilitasi pasca gempa. Akurasi informasi peta tutupan lahan tahun 2017, 2018, dan 2019 yang dianalisis sebesar 97,14%, 92,50%, dan 91,42% serta *Kappa Coefficient* yakni 96,66%, 91,42%, dan 90% sehingga memenuhi kriteria klasifikasi tutupan lahan. Guna kepentingan penelitian dan analisis lebih lanjut perlu dilakukan verifikasi hasil melalui survei lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak LAPAN yang telah memberi bimbingan dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bharath, H., Nimish, G., & Chandan, M. (2020). Chapter 4 - Exposition of spatial urban growth pattern using PSO-SLEUTH and identifying its effects on surface temperature. In *Urban Ecology* (pp. 49-68). Cambridge: Elsevier.

- BPS Lombok Timur. (2020). *Kabupaten Lombok Timur dalam Angka 2020*. Selong: Badan Pusat Statistik
- Dzakiyah, I. F., & Prasasti, I. (2019). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Akibat Bencana Alam Menggunakan Citra Landsat 8. *Seminar Nasional Infrastruktur Berkelanjutan 2019 Era Revolusi Industri 4.0* (pp. 19-26). Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.
- Fibriawati, L. (2016). Koreksi Atmosfer Citra SPOT-6 Menggunakan Metode MODTRAN4. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh* (pp. 98-104). Depok: LAPAN.
- Guru, B., & Aravind, S. M. (2015). Land use land cover changes in the pre- and post-earthquake affected area using Geoinformatics – Western Coast of Gujarat, India. *Disaster Advances*, 8, 1-14.
- Hamdi, I. S., & Hernawati, R. (2019). Identifikasi Tutupan Lahan Pra dan Pasca Bencana Gempa dan Tsunami Menggunakan Citra Satelit LAPAN-A3 dan Sentinel 2. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-6* (pp. 69-81). Depok: LAPAN.
- Ishihara, M., & Tadono, T. (2017). Land cover changes induced by the great east Japan earthquake in 2011. *Scientific Reports* 7, 45769.
- Iwasaki, Y., Tamaki, T., Murata, K., Koga, A., & Fujimoto, K. (2020). Detection of Land Cover Changes before and after the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan Using Remote Sensing for Evaluation of Environmental Impacts. *10th International Conference on Future Environment and Energy*. Kyoto: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.
- Khikmah, F., & et al. (2017). Evaluation of spatial and regional planning map using remote sensing and GIS in East Lombok Indonesia. *2017 3rd International Conference on Science and Technology - Computer (ICST)* (pp. 61-65). Yogyakarta: IEEE.
- Kim, C. (2016). Land Use Classification and Land Use Change Analysis Using Satellite Images in Lombok Island, Indonesia. *Forest Science and Technology*, 12, 183-19.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., & Wu, C. (2014). A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: the Role of Spatio-contextual Information. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 389-411.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation 5th Ed*. New York: John Wiley & Sons.
- Minařík, R., Langhammer, J., & Hanuš, J. (2019). Radiometric and Atmospheric Corrections of Multispectral μ MCA Camera for UAV Spectroscopy. *Remote Sensing*, 11, 2428.
- Peraturan Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat No. 11 Tahun 2006 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat.
- Pusfatja. (2015). *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 untuk Mangrove*. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN.
- PUSGEN. (2018). *Kajian Rangkaian Gempa Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Bandung: Kementerian PUPR
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84. doi:10.1016/j.ejrs.2015.02.002
- Smith, G.M., & Milton, E.J. (1999). The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 2653–2662.
- Suhendar, R. (2018). *Gempa bumi M 7.0 SR di Lombok Utara, NTB*. Diakses 30 Januari 2021, dari <https://magma.esdm.go.id/v1/press-release/162?signature=35fbc8395b2abad3a02e32ce42f334fe1b3bf3f68b3377cdc70cf71f2c18c55f>
- Suwarsono, & Khomarudin, M. R. (2014). DETECTING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SETTLEMENTS ON VOLCANIC REGION USING IMAGE LANDSAT-8 OLI IMAGERY. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 11, 63 – 72.
- USGS. (2019a). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 5.0*. Sioux Falls: U.S. Geological Survey.
- USGS. (2019b). *Landsat Collection 1 Level 1 Product Definition*. Sioux Falls: U.S. Geological Survey.

Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar Dalam Order Giga Ohm

Lukluk Khairiyati¹, Muhammad Azzumar², Nibras Fitrah Yaiyenda³

^{1,2,3}Pusat Riset dan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Badan Standardisasi Nasional
e-mail: lukluk.kh29@gmail.com¹, muhhammad.azzumar90@gmail.com², nibras@bsn.go.id³

ABSTRACT

To support the low current measurement system for the nA range, it requires a high standard resistor characteristic for the nominal 1 GΩ, 10 GΩ and 100 GΩ with a variation of the test voltage that the gauge has carried out. The aim is to determine the effect of the test voltage on the resistance values of the standard 1 GΩ, 10 GΩ, and 100 GΩ resistors. Besides, it can also be useful to determine the correction of the resistance value when the supplied test voltage does not match its optimum working voltage. Measurements are made by lowering the standard resistor values of 1 GΩ, 10 GΩ and 100 GΩ using the direct method and the Teraohmmeter as the reference standard which has a test voltage capability of 1V to 1000 V. Changes in the resistance value to changes in the test current give the phenomenon that the resistance value changes quadratically. The quadratic equation obtained is $y = 4E-10x^2 - 5E-07x + 1,0003 \text{ M}\Omega$, $y = 6E-09x^2 - 8E-06x + 10,007 \text{ M}\Omega$ and $y = 3E-07x^2 - 0.0005x + 100.11$ with standard uncertainty of 0, 0045 ppm, 1.2 ppm and 449 ppm.

Keywords: high resistance, teraohmmeter, voltage characteristics, voltage coefficient

INTISARI

Dalam rangka mendukung sistem pengukuran arus rendah untuk rentang nA diperlukan karakteristik resistor standar tinggi dalam untuk nominal 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ dengan variasi tegangan uji yang telah dilakukan pengukurannya. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistansi dari resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ. Selain itu, hal tersebut dapat bermanfaat juga untuk mengetahui koreksi nilai resistansi saat tegangan uji yang disuplai tidak sesuai dengan tegangan kerja optimumnya. Pengukuran dilakukan dengan menurunkan nilai resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ dengan menggunakan metode langsung dan Teraohmmeter sebagai standar acuan yang memiliki kemampuan tegangan ujinya 1V sampai 1000 V. Perubahan nilai resistansi terhadap perubahan arus uji memberikan fenomena bahwa nilai resistansi berubah secara kuadrat. Persamaan kuadrat yang diperoleh adalah $y = 4E-10x^2 - 5E-07x + 1,0003 \text{ M}\Omega$, $y = 6E-09x^2 - 8E-06x + 10,007 \text{ M}\Omega$ dan $y = 3E-07x^2 - 0,0005x + 100,11$ dengan ketidakpastian baku 0,0045 ppm, 1,2 ppm dan 449 ppm.

Kata Kunci: karakteristik tegangan, koefisien tegangan, resistansi tinggi, teraohmmeter

PENDAHULUAN

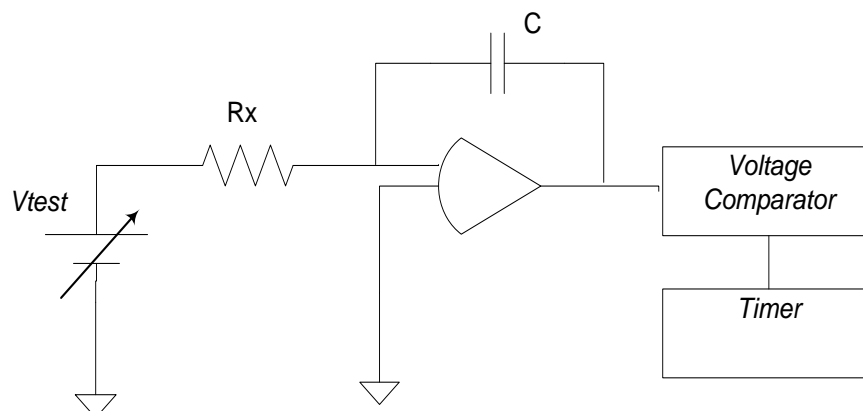
Kebutuhan dan permintaan dalam kalibrasi resistor nominal tinggi baik untuk memenuhi kegiatan penelitian dan industri semakin meningkat, karena kebutuhan pengukuran yang tertelusur sangat diperlukan khususnya untuk perusahaan yang harus bersertifikasi (Gallian, 2009). Kemampuan untuk penentuan resistansi tinggi sangat penting untuk kalibrasi arus rendah bahkan di bawah 1 pA, seperti yang biasanya diminta dalam beberapa aplikasi, termasuk karakterisasi perangkat semikonduktor, transpor elektron tunggal, dan teknologi berkas ion atau dibutuhkan pada alat ukur yang digunakan untuk mengkarateristik isolasi elektrik dari material, meter konduktiviti-rendah atau electrometer (Yaiyendah dkk, 2018) (Yu dkk, 2020). Selain itu pengukuran resistansi tinggi dengan menggunakan teraohmmeter dapat digunakan untuk pengukuran pengaruh mikropartikel logam yang dicetak pada permukaan tekstil yang (Kreisel dkk, 2020). Sehingga untuk meningkatkan pengukuran yang lebih presisi untuk resistansi dengan nominal tinggi,serta untuk meningkat jaminan mutu hasil pengukuran dan menjamin rantai ketertelusuran maka di Laboratorium SNSU Kelistrikan dan Waktu yang bertugas untuk menjamin ketertelusuran atas nilai hasil kalibrasi. Untuk meningkatkan jaminan kemampuan pengukuran diperlukan metode serta analisa ketidakpastian. Salah satu cara adalah dengan melakukan karakteristik terhadap standar

acuan yang digunakan yaitu terhadap pengaruh tegangan uji yang pada umumnya sebuah nilai resistansi akan berubah karena panas yang timbulkan dari perubahan tegangan yang diberikan akan sangat signifikan (Parks, 2016), terhadap stabilitas terhadap waktu (*drift*), pengaruh suhu dan terhadap ketidakpekaan yang meningkat terhadap kondisi lingkungan dan parameter pengukuran (Boella dkk, 2008). Tujuan dari paper ini adalah mengetahui pengaruh tegangan uji pada pengukuran resistansi nominal tinggi terhadap hasil pengukuran atau disebut sebagai koefisien tegangan resistansi, dimana jika pengukuran resistansi tinggi diberikan tegangan uji yang semakin tinggi maka kesalahan koefisien tegangan harus dipertimbangan sebagai sumber ketidakpastian dalam proses analisa hasil pengukuran resistor nominal tinggi, dimana resistansi tinggi ini akan digunakan untuk melakukan pengukuran arus rendah dalam order nA.

METODE PENELITIAN

1. Sistem Pengukuran

Teraohmmeter merupakan salah satu instrumen yang menggunakan teknologi integrator analog untuk mengukur resistansi dengan bentuk rangkaian resistor-kapasitor dengan resistor yang diuji dimana terdapat standar fiks kapasitor pada internal teraohmmeter. Prinsip kerja dari teraohmmeter adalah menggunakan rangkaian RC dimana R adalah standar fiks resistor yang diuji dan C adalah kapasitor yang akan dialiri sumber DC yang ditunjukkan pada Gambar 1 .

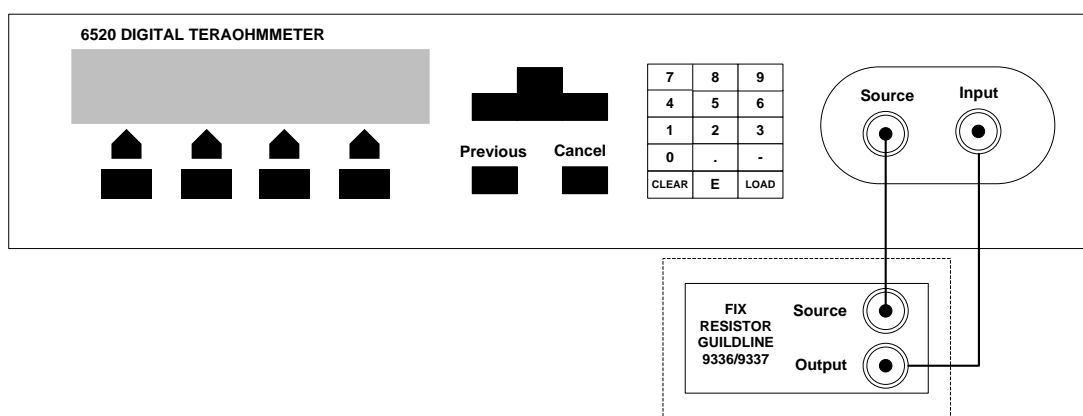


Gambar 1. Skematik Diagram Cara Kerja Teraohmmeter

Dimana dengan diketahui tegangan uji V_i , perubahan tegangan keluaran ΔV_o , nilai kapasitansi C dan waktu yang digunakan Δt , maka sebuah nilai resistansi R dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 1.

$$R_x = -\left(\frac{1}{C}\right)\left(\frac{V_i}{\Delta V_o}\right)\Delta t \quad (1)$$

Skema sistem pengukuran karakteristik resistansi tinggi terhadap perubahan tegangan uji ini ditunjukkan pada Gambar 2. Dimana R adalah nominal resistor standar yang dikarakteristik atau disebut unit under test (UUT). Dalam sistem pengukuran ini menggunakan metode langsung, dimana R akan diukur menggunakan teraohmmeter yang telah terkalibrasi.



Gambar 2. Konfigurasi Pengukuran Standar Resistor dengan Menggunakan Teraohmmeter

Titik ukur yang digunakan adalah 1, 10, dan 100 Giga Ohm dengan berbagai macam variasi penyetelan kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan uji. Variasi kapasitansi berada pada nominal 27 pF sampai dengan 2700 pF. Sedangkan tegangan ambang berada pada nominal 0,1 Volt sampai 1 Volt. Seluruh pengaturan dari kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan batas mengacu pada *manual book* dari teraohm meter. Selanjutnya nominal dari tegangan uji bervariasi dari 1 Volt sampai 1000 Volt dimana variasi dari pengaturan kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan uji dapat dilihat Tabel 1.

Sebelum melakukan pengukuran, teraohm meter dan tetap disusun dengan menggunakan konfigurasi pengkabelan 3 terminal sesuai dengan Gambar 2. Pengkabelan 3 terminal diperlukan untuk pengukuran resistansi tinggi mulai dari order Giga Ohm sampai dengan Penta Ohm dimana pada nominal resistansi tinggi arus yang diberikan oleh teraohmmeter bernilai kecil sehingga arus tersebut rentan hilang sebelum kembali ke teraohmmeter karena adanya kebocoran arus. Oleh karena itu diperlukan rangkaian pembagi arus yang stabil sehingga nilai yang kembali ke teraohmmeter sama dengan nilai arus yang diberikan oleh teraohmmeter (Yayindah dkk, 2018).

Tabel 1. Variasi Penyetelan Kapasitansi, Tegangan Ambang dan Tegangan Uji pada Nominal 1, 10 dan 100 GΩ

Nominal 1 GΩ			Nominal 10 GΩ			Nominal 100 GΩ		
Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)	Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)	Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)
1	2700	1	1	2700	0,1	1	270	0,1
2	2700	1	2	2700	0,1	2	270	0,1
5	2700	10	5	2700	1	5	2700	0,1
10	2700	10	10	2700	1	10	2700	0,1
20	2700	10	20	2700	1	20	2700	0,1
50	2700	10	50	2700	10	50	2700	1
100	2700	10	100	2700	10	100	2700	1
200	2700	10	200	2700	10	200	2700	1
500	2700	10	500	2700	10	500	2700	10
1000	2700	10	1000	2700	10	1000	2700	10

Pada penelitian ini resistor yang digunakan dalam analisa pengaruh tegangan uji terhadap hasil pengukuran resistansi adalah standar resistor yang ditunjukkan pada tabel 1 dan saat melakukan pengukuran kondisi ruangan dijaga pada $(23,0 \pm 2,0)$ °C. Jumlah sampel pengukuran yang diambil ditentukan dengan melakukan pengukuran pada 1 kali polaritas positif dan 1 kali polaritas negatif, setelah terpenuhi, maka pengukuran dapat dihentikan dan mencatat hasilnya sesuai dengan *resume* yang terdapat pada teraohm meter.

2. Koefisien Tegangan Resistor

Telah diketahui sejak lama bahwa resistansi resistor dapat berubah karena adanya perubahan tegangan yang diberikan, meskipun suhu dapat dipertahankan konstan. Koefisien tegangan resistansi dapat dinyatakan sebagai rasio perubahan resistansi dalam ohm dengan meningkatnya tegangan yang diberikan dalam volt pada saat suhu dipertahankan konstan. Definisi koefisien tegangan resistansi ini berguna untuk karakterisasi perubahan resistansi terhadap perubahan tegangan yang diberikan. Dan tentu saja, untuk semua bahan resistor pada umumnya nilai resistansi akan kembali ke semula jika tegangan yang diberikan dilepas (Bart, 2021).

Menurut spesifikasi dari standar 9336 resistor yang dikarakteristik ini, mampu menghasilkan tegangan yang jauh lebih tinggi daripada yang biasanya ditemukan pada instrumen umum yang digunakan dengan standar resistansi. Dalam kondisi seperti ini, koefisien tegangan pada 9336 harus digunakan atau dimasukkan dalam analisis ketidakpastian pengukuran (Guildline, 2017). Karakteristik resistor yang diukur terhadap tegangan uji yang berbeda dievaluasi dengan menggunakan metode kuadrat, sehingga perilaku nilai resistansi dari resistor yang diukur terhadap tegangan uji yang diberikan, merupakan fungsi dengan komponen linier plus kuadrat, dengan menggunakan persamaan 2:

$$R = a + bV + cV^2 \quad (2)$$

Dimana R adalah nilai resistansi hasil pengukuran yang diberikan tegangan uji yang berbeda-beda, b adalah koefisien bagian linear sedangkan c adalah bagian kuadrat yang merupakan ketidakpastian yang didapatkan dengan menggunakan pendekatan kuadratik menggunakan plotting data hasil

pengukuran terhadap perubahan tegangan uji (Boella dkk,2008) (Azzumar dkk, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan pada 3 buah resistor standar dengan nominal 1 G Ω , 10 G Ω dan 100 G Ω , hasil pengukuran standar resistor didapat dengan melakukan pengambilan data minimum, maksimum dan rerata dari jumlah data sample untuk setiap nominal standar resistor, jumlah pengambilan sample data ditentukan berdasarkan spesifikasi dari teraohmmeter dan dilakukan dengan cara memindahkan polaritas tegangan + dan polaritas tegangan – pada teraohmmeter. Pada setiap standar resistor tersebut diambil dengan memberikan 10 variasi tegangan dari 1 V sampai 1000 V yang telah diberikan pada fungsi teraohmmeter yang ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. Selain itu pada tabel tersebut ditunjukkan nilai koreksi yang dinyatakan dalam ppm resistor standar 1 G Ω , 10 G Ω dan 100 G Ω yang diuji di tegangan arus 1 V sampai 1000 V dan dibandingkan dengan tegangan uji yang biasa dilakukan untuk mengukur dan mengkalibrasi resistor standar di Laboratorium SNSU Kelistrikan dan Waktu, yaitu sebesar 10 V untuk resistor 1 G Ω , 10 G Ω dan 100 V untuk 100 G Ω .

Tabel 2. Hasil Pengukuran Resistor 1 G Ω

Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	0,9993672	1,0014017	1,00037565	1,00037565	983,98	16
2	0,9999287	1,0007437	1,00033698	1,00033698	400,98	16
5	1,0001464	1,0004024	1,00027242	1,00027242	122,2	16
10	1,0002094	1,0002806	1,00024487	1,00024487	28,19	16
20	1,0002016	1,0002138	1,00020821	1,00020821	3,43	16
50	1,0001243	1,0001708	1,00014855	1,00014855	14,96	32
100	1,0009357	1,0001406	1,00011714	1,00011714	17,79	32
200	1,0001535	1,0002156	1,00018829	1,00018829	22,6	68
500	1,0001038	1,0001761	1,00014281	1,00014281	25,84	100
1000	1,0000888	1,0001704	1,00013260	1,00013260	26,07	76

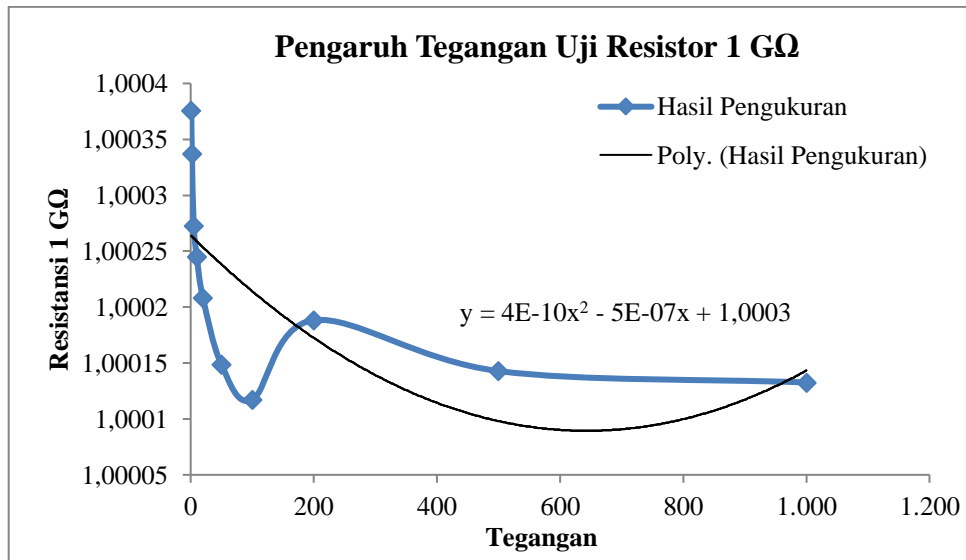
Tabel 3. Hasil Pengukuran Resistor 10 G Ω

Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	9,9566222	10,0517017	10,0074359	10,0074359	4358,73	16
2	9,9883482	10,0265456	10,0075389	10,0075389	1837,85	16
5	10,0012284	10,0142517	10,0077946	10,0077946	631,66	16
10	10,0048348	10,0100522	10,0074359	10,0074359	254,18	16
20	10,0059292	10,0081939	10,0070597	10,0070597	100,57	16
50	10,0056323	10,0062930	10,0059430	10,0059430	27,83	16
100	10,0054835	10,0056644	10,0055935	10,0055935	4,44	16
200	10,0053025	10,0058327	10,0055630	10,0055630	17,16	16
500	10,0049419	10,0057582	10,0053534	10,0053534	25,84	32
1000	10,0049594	10,0058121	10,0053628	10,0053628	24,43	32

Tabel 4. Hasil Pengukuran Resistor 100 G Ω

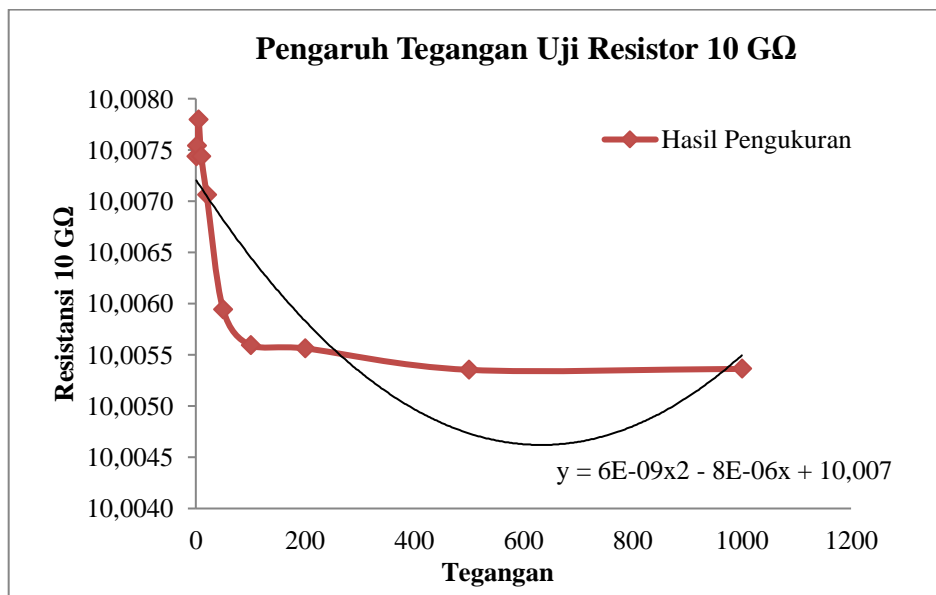
Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	98,844912	101,847909	100,233457	100,232957	13279,69	24
2	99,473926	101,111124	100,294213	100,293713	7618,13	24
5	99,790838	100,292734	100,030979	100,030479	2316,64	24
10	99,906596	100,173631	100,039546	100,039046	254,18	48
20	99,973448	100,082772	100,021188	100,020688	381,99	24
50	100,012151	100,045499	100,029808	100,029308	83,18	24
100	100,010397	100,043043	100,029586	100,029086	97,04	24
200	100,0019490	100,0286060	100,017691	100,017191	71,15	24
500	100,0115630	100,0206430	100,016900	100,016400	26,22	24
1000	99,9926736	99,9988210	99,9961284	99,995628	14,48	24

Dari masing-masing pengukuran didapatkan nilai rerata pengukuran yang kemudian dilakukan koreksi terhadap meter yang digunakan, hasil koreksi pengukuran tersebut akan diploting berupa grafik antara tegangan uji dan nilai resistansi tersebut dapat menunjukkan pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistor yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 untuk masing-masing nominal standar resistor.



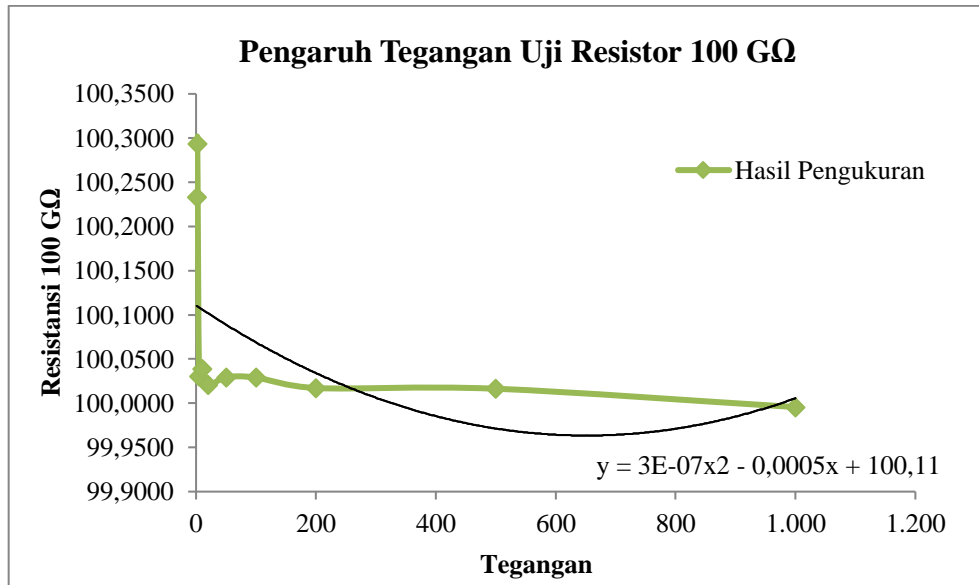
Gambar 3. Grafik Pengaruh Tegangan Uji terhadap Nilai Resistor 1 GΩ

Penyederhanaan karakterisasi pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistor standar 1 GΩ, dilakukannya pendekatan polinomial order 2 (kuadratik), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 untuk resistor 10 GΩ. Pendekatan kuadratik memiliki nilai ketidakpastian yang ditentukan berdasarkan residu hasil ukur sesungguhnya dengan hasil *fitting* persamaan kuadratik yang diperoleh. Residu yang diperoleh dari pendekatan kuadratik didapatkan nilai ketidakpastian dari hasil pendekatan kuadratik merupakan standar deviasi yang nilainya adalah 0,0000000045 GΩ atau 0,0045 ppm dan nilai perubahan 1 GΩ akibat perubahan tegangan uji sebesar 0,0000000042 GΩ/V² dan -0,00000054 GΩ/V. Sedangkan pada nomilan resistor standar 10 GΩ menandakan besar perubahan nilai resistor standar 10 GΩ akibat pengaruh tegangan uji yang diberikan sebesar 0,000000006 GΩ/V² dan -0,0000081 GΩ/V dengan ketidakpastian baku sebesar $1,2 \times 10^{-5}$ GΩ atau 1,2 ppm.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistor 10 GΩ

Dari gambar 5 nomilan resistor standar 100 GΩ menandakan besar perubahan nilai resistor standar 100 GΩ akibat pengaruh tegangan uji yang diberikan sebesar 0,00000035 GΩ/V² dan -0,00045 GΩ/V dengan ketidakpastian baku sebesar $4,5 \times 10^{-2}$ GΩ atau 449 ppm.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistor 100 GΩ

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, perubahan tegangan uji sebesar 1 V – 1000 V memberikan pengaruh ke resistor standar 1 GΩ sebesar $0,0000000042 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$ dan $-0,00000054 \text{ G}\Omega/\text{V}$ ketidakpastian baku sebesar 0,0045 ppm, sedangkan sebesar $0,000000006 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$ dan $-0,0000081 \text{ G}\Omega/\text{V}$ dengan ketidakpastian baku sebesar $1,2 \times 10^{-5} \text{ G}\Omega$ atau 1,2 ppm memberi pengaruh terhadap nilai resistor standar 10 GΩ dan 100 GΩ sebesar $0,00000035 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$ dan $-0,00045 \text{ G}\Omega/\text{V}$ dengan ketidakpastian baku sebesar $4,5 \times 10^{-2} \text{ G}\Omega$ atau 449 ppm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tegangan uji yang digunakan dalam pengukuran resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ perlu dimasukkan sebagai sumber ketidakpastian pengukuran dalam sebuah resistansi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jajaran manajemen Pusat Riset dan Pengembangan SDM BSN dan Direktorat SNSU Thermoelektrik dan Kimia serta Laboratorium Kelistrikan dan Waktu SNSU-BSN yang telah menyediakan saran dan prasarana untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzumar, M & Faisal, A. (2014). Pengaruh Arus Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar 1 mΩ, *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi (PPIS)*, (hal 67-77). Badan Standardisasi Nasional.
- Barth Electronic Inc. *Voltage Coefficient Of Resistance Application Note*. Boulder City, Nevada. 11 - 2- 2021.
https://barthelectronics.com/pdf_files/Voltage%20Coefficient%20of%20Resistance.pdf
- Boella, G & Galliana, F. (2008). Analysis of the voltage coefficient of high value standard resistors, *Measurement 42 ScienceDirect*, pp 1-9.
- Gallian, F, Capra P.P, & Gasparotto, E. (2009). Metrological management of the high dc resistance scale at INRIM, *Measurement 42 ScienceDirect*, pp 314-321.
- Guildline Instruments. (2017). *Model 9336 Series High Value Precision Resistance Standard Technical Manual*. Guildline Instruments. Kanada.
- Kreisel, T, Frobose, B, & Ehrmann A. (2020). Influence and stabilization of environmental conditions on teraohmmeter measurements of textile materials. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Volume 15: 1–9. DOI: 10.1177/1558925020906568. journals.sagepub.com/home/je. SAGE.
- Parks, V. H. (2016). A Buildup Method for Determining the Voltage Coefficient of High Voltage Resistors.(2016).*Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2016)*. IEEE DOI. 10.1109/CPEM.2016.7540800
- Yayiendah, N.F, Khairiyati, L, & Azzumar, M. (2018). Ujuk Kerja Kalibrasi Standar Fiks Resistor 100

DOI: <https://doi.org/10.34151/jurtek.v14i1.3545>

M Ω -1 P Ω dengan menggunakan Teraohmmeter, *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI KIM) Ke 44*, (hal 333-344). Pusat Penelitian Metrologi LIPI.
Yu, K. M., Jarrett, D. G., Rigosi, A. F., Payagala, S. U., & Kraft, M. E. (2019). Comparison of Multiple Methods for Obtaining P Ω Resistances with Low Uncertainties. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 69(6), 3729-3738.

Stabilisasi Sistem Kontrol Bilinier Dengan Gangguan Menggunakan Linierisasi Eksak Dan *Backstepping*

Khozin Mu'tamar¹, Janson Naiborhu², Roberd Saragih³

^{1,2,3}Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

e-mail: mutamar.khozin@students.itb.ac.id¹, janson@math.itb.ac.id², roberd@math.itb.ac.id³

ABSTRACT

The bilinear control systems are widely used in engineering and chemistry to model dynamics because it has better approach and performance than linear control systems. However, assumptions and limitations in modeling will result in uncertainty factors, namely in the form of uncertain parameters and disturbance functions. This article discusses the control design of a second-order bilinear control system in the presence of a noise function. It is assumed that the system has a relative degree of 2 and the noise function only affects the dynamics with the control function. The bilinear control system is assumed to have a relative degree of two so that it can be transformed exactly into a normal form using a feedback transformation. The control design is based on a linear system using the backstepping method. The simulation results show that the control function obtained can carry the system output from the starting point to the origin in a relatively short time.

Keywords : *backstepping, relative degree, noise function, bilinear control system, feedback linearization*

INTISARI

Sistem kontrol bilinear banyak digunakan dalam teknik dan kimia untuk memodelkan dinamika karena memiliki pendekatan dan kinerja yang lebih baik daripada sistem kontrol linier. Namun asumsi dan keterbatasan dalam pemodelan akan menghasilkan faktor ketidakpastian, yaitu berupa parameter tak tentu dan fungsi gangguan. Pada artikel ini dibahas tentang desain kontrol pada sistem kontrol bilinier berorde dua dengan adanya fungsi gangguan. Diasumsikan sistem memiliki derajat relatif dua dan fungsi gangguan hanya berpengaruh pada dinamik variabel keadaan yang dikontrol. Sistem kontrol bilinier diasumsikan memiliki derajat relatif dua sehingga dapat ditransformasi secara eksak menjadi bentuk normal menggunakan transformasi umpan balik. Desain kontrol dilakukan berdasarkan sistem linier menggunakan metode backstepping. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fungsi kontrol yang diperoleh dapat membawa luaran sistem dari titik awal menuju titik asal dalam waktu yang relatif singkat.

Kata kunci : *backstepping, derajat relatif, fungsi gangguan, kontrol bilinear, linierisasi umpan balik*

PENDAHULUAN

Sistem kontrol bilinier merupakan salah satu bentuk sistem kontrol taklinier yang paling sederhana yang diperkenalkan oleh Mohler (Elliott, 2009). Kajian mendalam tentang sistem kontrol bilinier dapat dijumpai pada (Mohler, 1973) dan (Bruni dkk., 1974). Sistem ini banyak digunakan dalam bidang teknik dan sosial karena sistem ini memiliki kelebihan dibandingkan sistem kontrol linier. Sistem kontrol bilinier dapat menghampiri sistem kontrol taklinier lebih baik dibandingkan sistem kontrol linier dan memiliki performa yang baik linier (Gerard dkk., 2010). Beberapa contoh penggunaan sistem kontrol bilinier dewasa ini dapat dilihat pada (Ramezanpour dkk., 2012) untuk penggunaan kontrol optimal secara iteratif pada sistem kontrol bilinier, pada (Bichiou dkk., 2018) yang mengaplikasikan kontrol optimum pada *boost converter*, dan pada (Nguyen dkk., 2019) untuk pemodelan dan kontrol gerak kapal.

Penerapan sistem kontrol bilinier pada permasalahan nyata merupakan salah satu proses dalam pemodelan. Dalam proses pemodelan seringkali dilakukan penyederhanaan dan juga terdapat beberapa parameter model yang nilainya tidak diketahui secara pasti. Hal ini menyebabkan adanya ketidakpastian pada model matematika (Shi dkk., 1999). Pada (Shi dkk., 1999), faktor

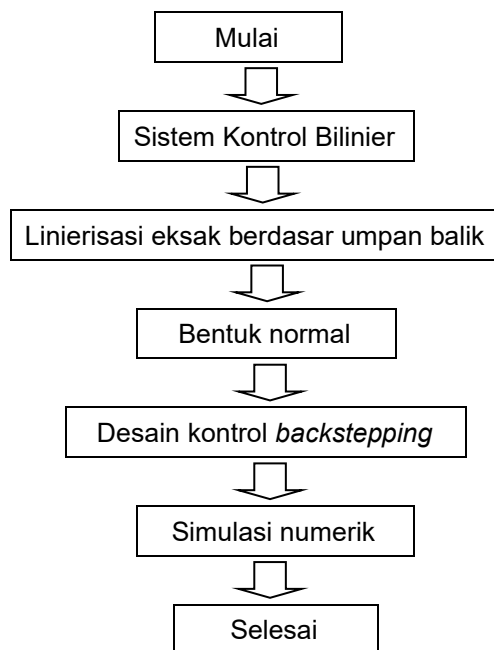
ketidakpastian dapat dinyatakan dengan parameter tertentu dan menggunakan fungsi gangguan pada sistem. Pada (Gerard dkk., 2010), fungsi gangguan diasumsikan tidak terjadi pada sistem melainkan pada luaran sistem dan kontrol didesain menggunakan metode *robust*. Pada (Kim & Lim, 2003), juga digunakan kontrol *robust* dengan fungsi biaya berupa fungsi Lyapunov serta menggunakan hampiran untuk menghitung nilai persamaan Riccati.

Pada artikel ini dibahas tentang desain kontrol untuk stabilisasi sistem kontrol bilinear dengan fungsi gangguan. Sistem diasumsikan memiliki derajat relatif dua sehingga sistem dapat ditransformasi secara eksak menggunakan transformasi umpan balik masukan-luaran menjadi sistem normal. Fungsi gangguan diasumsikan hanya terdapat pada variabel yang mengandung fungsi kontrol. Fungsi gangguan juga diasumsikan diketahui dan nilainya terbatas. Desain kontrol dilakukan dengan metode *backstepping* yang didesain berdasarkan sistem hasil transformasi menggunakan umpan balik masukan-luaran.

Artikel ini disusun dengan sistematika berikut. Setelah ini, diberikan metode penelitian yang menerangkan tahapan dalam penelitian dan teori yang digunakan. Berikutnya adalah hasil dan pembahasan yang berisi hasil utama dalam penelitian. Pada hasil utama dijelaskan desain kontrol dan kestabilan yang diperoleh dari sistem yang diteliti. Simulasi numerik dengan dua contoh juga diberikan pada bagian ini. Terakhir adalah kesimpulan yang merangkum seluruh bagian dari artikel.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara studi literatur dan simulasi komputasi. Objek yang menjadi bahan penelitian adalah sistem kontrol bilinear yang mengandung fungsi gangguan. Secara garis besar, prosedur penelitian dilakukan berdasarkan tahapan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur tahapan penelitian desain kontrol bilinear

Sistem kontrol bilinear yang mengandung fungsi gangguan akan dilinierisasi menggunakan teknik *input-output feedback linearization* (IOFL) menjadi bentuk normal. Berdasarkan bentuk normal yang diperoleh, didesain fungsi kontrol yang menstabilkan sistem kontrol bilinear menggunakan metode *backstepping*. Metode ini dilakukan secara iteratif dengan melakukan transformasi variabel kontrol virtual dan variabel keadaan yang baru dengan terus memperhatikan kestabilan menggunakan fungsi Lyapunov. Fungsi kontrol yang telah diperoleh akan dikembalikan ke sistem awal menggunakan transformasi yang telah didefinisikan. Hasil ini kemudian disimulasikan untuk melihat dinamika variabel keadaan yang telah dikontrol.

Beberapa teori diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini, meliputi *input-output feedback linearization* (IOFL) dan kontrol *backstepping*. Misalkan diberikan fungsi kontrol taklinier,

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) + u(t)g(x(t)) \quad (1)$$

dengan $f(x) \in \mathbb{R}^n$ adalah fungsi keadaan, $g(x) \in \mathbb{R}^n$ adalah fungsi faktor kontrol, $x(t) \in \mathbb{R}^n$ adalah variabel keadaan, $u(t) \in \mathbb{R}$ adalah fungsi kontrol dan luaran sistem adalah $y = h(x)$. Turunan luaran $y(t)$ terhadap t menghasilkan

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{\partial h(x)}{\partial x} (f(x) + ug(x))$$

Selanjutnya, didefinisikan turunan Lie dari luaran sistem terhadap variabel keadaan $L_f h(x) = \nabla h \cdot f$ dan $L_g h(x) = \nabla h \cdot g$. Didefinisikan bilangan derajat relatif $1 \leq \rho \in \mathbb{N} \leq n$ merupakan bilangan yang memenuhi kondisi

$$\begin{cases} L_g L_f^{k-1} h(x) = 0 & , \quad k = 1, 2, \dots, \rho - 1 \\ L_g L_f^{\rho-1} h(x) \neq 0 \end{cases}$$

Diasumsikan bahwa sistem kontrol memiliki derajat relatif n . Didefinisikan transformasi yang mentransformasi sistem kontrol taklinier (1) menjadi bentuk normal

$$z = T(x) = \begin{bmatrix} h(x) \\ L_f h(x) \\ \vdots \\ L_f^{n-1} h(x) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sistem normal diperoleh dengan menurunkan persamaan (2) terhadap t sehingga didapatkan

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} L_f h(x) \\ L_f^2 h(x) \\ \vdots \\ L_f^n h(x) + u L_g L_f^{n-1} h(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ \alpha(z) + \beta(z)u \end{bmatrix} \quad (3)$$

dengan $\alpha(z) = L_f^n h(x)$ dan $\beta(z) = L_g L_f^{n-1} h(x)$. Dengan mendefinisikan variabel kontrol yang baru, persamaan (3) dapat dituliskan dengan

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} z + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v \quad (4)$$

dengan $v = \alpha(z) + \beta(z)u(t)$ merupakan variabel kontrol yang berlaku di sistem hasil transformasi pada persamaan (4) dan $u(t)$ merupakan fungsi kontrol yang digunakan pada sistem awal persamaan (1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas tentang desain kontrol untuk sistem kontrol bilinear dengan fungsi gangguan menggunakan *backstepping* dan contoh simulasi.

1 Desain Kontrol

Diberikan sistem kontrol bilinear orde 2 dengan fungsi gangguan

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + u(t)Bx(t) + N\omega(t) \quad (5)$$

dengan $A, B \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$, $x(t) \in \mathbb{R}^2$ adalah fungsi keadaan, $u(t) \in \mathbb{R}$ adalah fungsi kontrol, $N \in \mathbb{R}^2$ adalah pembobot fungsi gangguan, $\omega(t) \in \mathbb{R}$ adalah fungsi gangguan dan luaran sistem diberikan oleh $y(t) = hx(t)$. Diasumsikan bahwa sistem memiliki derajat relatif 2 dan fungsi gangguan hanya berpengaruh pada variabel sistem yang mengandung kontrol.

Menggunakan persamaan (1) dimana $f(x) = Ax$ dan $g(x) = Bx$ diperoleh $L_f h(x) = hAx$ sehingga pemetaan persamaan (2) menjadi

$$z = T(x) = \begin{bmatrix} h \\ hA \end{bmatrix} x \quad (6)$$

Bentuk normal dari sistem persamaan (5) dengan transformasi (6) adalah

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = \alpha(\mathbf{z}) + u(t)\beta(\mathbf{z}) + \hat{n}\omega(t) \end{cases} \quad (7)$$

dengan $\alpha(\mathbf{z}) = \mathbf{hA}^2\mathbf{T}^{-1}\mathbf{z}$, $\beta(\mathbf{z}) = \mathbf{hABT}^{-1}\mathbf{z}$ dan $\hat{n} = \mathbf{hAN}$.

Selanjutnya adalah menstabilkan persamaan (7) dengan menggunakan metode *backstepping*. Langkah pertama adalah menstabilkan variabel keadaan z_1 dengan menggunakan variabel kontrol virtual z_2 . Pilih fungsi Lyapunov $V_1(\mathbf{z}) = \frac{1}{2}z_1^2$. Turunan fungsi Lyapunov $V_1(\mathbf{z})$ terhadap t sehingga menghasilkan

$$\dot{V}_1(\mathbf{z}) = z_1 z_2$$

Untuk menstabilkan z_1 maka haruslah $\dot{V}_1(\mathbf{z}) < 0$ untuk setiap $t \geq 0$. Misalkan $\dot{V}_1(\mathbf{z}) = -r_1 z_1^2$ untuk suatu $r_1 \in \mathbb{R}^+$ maka didapatkan $z_2 = -r_1 z_1$. Didefinisikan variabel keadaan baru

$$w = z_2 + r_1 z_1. \quad (8)$$

Substitusikan persamaan (8) pada persamaan (7) akan menghasilkan

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = w - r_1 z_1 \\ \dot{z}_2 = \alpha(z_1, w) + u(t)\beta(z_1, w) + \hat{n}\omega(t) \end{cases} \quad (9)$$

Turunkan persamaan (8) terhadap t ,

$$\dot{w} = \dot{z}_2 + r_1(w - r_1 z_1)$$

lalu substitusikan pada persamaan (9) untuk menghasilkan sistem baru dalam koordinat (z_1, w)

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = w - r_1 z_1 \\ \dot{w} = r_1(w - r_1 z_1) + \alpha(z_1, w) + u(t)\beta(z_1, w) + \hat{n}\omega(t) \end{cases} \quad (10)$$

Langkah kedua adalah menstabilkan seluruh sistem persamaan (10) menggunakan kontrol $u(t)$. Didefinisikan fungsi Lyapunov $V_2(z_1, w) = \frac{z_1^2 + w^2}{2}$. Turunan persamaan Lyapunov $V_2(z_1, w)$ terhadap t sehingga dihasilkan

$$\dot{V}_2(z_1, w) = z_1 \dot{z}_1 + w \dot{w}. \quad (11)$$

Menggunakan persamaan (10), persamaan (11) akan menjadi

$$\dot{V}_2(z_2, w) = -r_1 z_1^2 + w(z_1 + r_1(w - r_1 z_1) + \alpha(z_1, w) + u(t)\beta(z_1, w)) + w\hat{n}\omega(t) \quad (12)$$

Untuk menstabilkan seluruh sistem, perlu ditentukan nilai kontrol $u(t)$ agar $\dot{V}_2(z_2, w) < 0$ untuk setiap t . Diasumsikan terpenuhi $\dot{V}_2(z_2, w) = -r_1 z_1^2 - r_2 w^2 - \psi^2$ untuk suatu $r_1, r_2, \psi \in \mathbb{R}^+$ maka didapatkan

$$z_1 + r_1(w - r_1 z_1) + \alpha(z_1, w) + u(t)\beta(z_1, w) = -r_2 w + \theta \quad (13)$$

dengan θ adalah fungsi yang perlu ditentukan agar $\dot{V}_2(z_2, w) < 0$. Menggunakan persamaan (13), persamaan kontrol yang menstabilkan persamaan (10) adalah

$$u(t) = \frac{-\alpha(z_1, w) - z_1 - r_1(w - r_1 z_1) - r_2 w + \theta}{\beta(z_1, w)} \quad (14)$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai θ yang memenuhi kondisi yang dibutuhkan. Substitusikan persamaan (13) pada persamaan (12) akan dihasilkan

$$\dot{V}_2(z_2, w) = -r_1 z_1^2 - r_2 w^2 + w(\hat{n}\omega(t) + \theta) \quad (15)$$

Nilai θ yang sesuai adalah nilai yang membuat $\dot{V}_2(z_2, w) < 0$ selalu terpenuhi. Perhatikan bahwa $w(\hat{n}\omega(t) + \theta) < 0$ dipenuhi oleh dua suku persamaan yaitu w dan $\hat{n}\omega(t) + \theta$.

- Jika $w < 0$ maka haruslah $\hat{n}\omega(t) + \theta > 0$. Jika nilai $\hat{n}\omega(t) > 0$ maka $\theta = |\hat{n}|\omega_{max}$ memenuhi kondisi $\hat{n}\omega(t) + \theta > 0$. Sebaliknya, jika $\hat{n}\omega(t) < 0$ maka menggunakan $\theta =$

$|\hat{n}|\omega_{max}$ kondisi $\hat{n}\omega(t) + \theta > 0$ masih terpenuhi karena $\omega(t)_{max}$ untuk setiap $t \geq 0$. Jadi, nilai θ yang memenuhi untuk kasus ini adalah $\theta = |\hat{n}|\omega_{max}$

- Jika $w > 0$ maka haruslah $\hat{n}\omega(t) + \theta < 0$. Jika nilai $\hat{n}\omega(t) > 0$ maka $\theta = -|\hat{n}|\omega_{max}$ memenuhi kondisi $\hat{n}\omega(t) + \theta < 0$ karena $\omega(t)_{max}$. Sebaliknya, jika $\hat{n}\omega(t) < 0$ maka menggunakan $\theta = -|\hat{n}|\omega_{max}$ kondisi $\hat{n}\omega(t) + \theta < 0$ masih terpenuhi. Jadi, nilai θ yang memenuhi untuk kasus ini adalah $\theta = -|\hat{n}|\omega_{max}$

Berdasarkan kedua kondisi ini, nilai θ yang sesuai adalah

$$\theta = -\text{sign}(w)|\hat{n}|\omega_{max} \quad (16)$$

Substitusikan nilai θ persamaan (16) pada persamaan (15) sehingga dihasilkan

$$\dot{V}_2(z_2, w) = -r_1 z_1^2 - r_2 w^2 + w(\hat{n}\omega(t) - \text{sign}(w)|\hat{n}|\omega_{max}()) \quad (17)$$

Oleh karena $w = \text{sign}(w)|w|$ dan $\hat{n} = \text{sign}(\hat{n})|\hat{n}|$ maka persamaan (17) menjadi

$$\dot{V}_2(z_2, w) = -r_1 z_1^2 - r_2 w^2 + |w||\hat{n}|(\text{sign}(w)\text{sign}(\hat{n})\omega(t) - \omega_{max}())$$

Karena $\omega(t)_{max}$ untuk setiap $t \geq 0$ maka $\text{sign}(w)\text{sign}(\hat{n})\omega(t) - \omega_{max}$ dan mengakibatkan $\dot{V}_2(z_2, w) < 0$ untuk setiap $t \geq 0$.

Kontrol persamaan (14) merupakan kontrol yang berlaku untuk sistem persamaan (10). Untuk dapat digunakan bagi sistem (5), perlu dilakukan transformasi variabel baru ke variabel keadaan awal. Menggunakan transformasi pada persamaan (8) untuk transformasi (w, z_1) , persamaan (6) untuk transformasi variabel keadaan (z, x) serta nilai θ pada persamaan (16), didapatkan fungsi kontrol

$$u(t) = \frac{-\alpha(x) - [(1+r_1r_2) (r_1+r_2)]Tx - \text{sign}(|r_1 - 1|Tx)|\hat{n}|\omega_{max}}{\rho(x)} \quad (18)$$

3.1 Contoh simulasi

Contoh 1. Diberikan sistem kontrol bilinear $\dot{x} = Ax + uBx$ (Shi dkk., 1999) dengan

$$A = \begin{bmatrix} -0.046 & 0 \\ -0.763 & 3.197 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -0.027 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} 0.978 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

dan $\omega = 0.25 \sin(t)$. Luaran sistem adalah $y = x_2$ sehingga diperoleh derajat relatif dari masalah ini adalah 2. Transformasi menggunakan IOFL

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.763 & 3.197 \end{bmatrix} \quad (20)$$

menghasilkan bentuk normal dalam koordinat $z(t)$ yaitu

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & z_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = & 0.147z_1 + 3.15z_2 + 0.0206u(4.19z_1 - 1.31z_2) - 0.187 \sin(t) \end{cases} \quad (21)$$

Misalkan dipilih $r_1 = 3$, persamaan (8) menjadi

$$w = z_2 + 3z_1. \quad (22)$$

dan persamaan (21) setelah z_1 distabilkan dapat ditulis menjadi

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & w - 3z_1 \\ \frac{dw}{dt} = & 6.15w - 18.3z_1 + 0.0863uz_1 - 0.0270u(w - 3z_1) - 0.187 \sin(t) \end{cases} \quad (23)$$

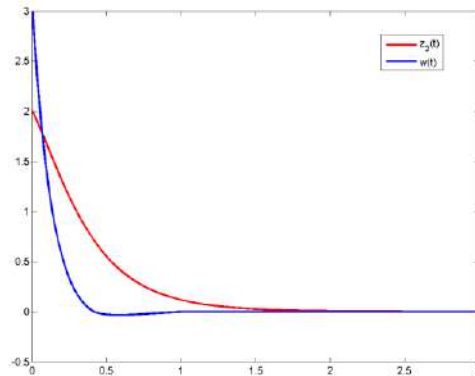
Berdasarkan $\omega = 0.25 \sin(t)$ dan N yang diberikan, nilai θ dari persamaan (16) yaitu

$$\theta = -0.187 \text{sign}(w). \quad (24)$$

Menggunakan $r_2 = 7$, fungsi kontrol persamaan (14), diaplikasikan pada persamaan (23), diperoleh sistem final yang telah distabilkan,

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & w - 3z_1 \\ \frac{dw}{dt} = & -7w - z_1 - 0.187(\sin(t) + \text{sgn}(w)) \end{cases} \quad (25)$$

Dinamika perilaku variabel (z_1, w) persamaan (25) terhadap t ditunjukkan pada Gambar 2



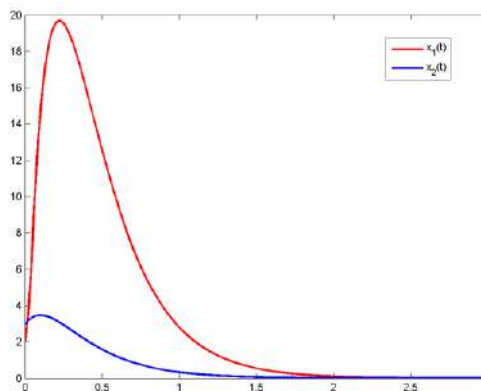
Gambar 2. Perilaku solusi sistem persamaan (25) yang telah distabilkan

Pada Gambar 2 tampak bahwa orbit variabel keadaan (z_1, w) bergerak dari nilai awal $\{z_1(0) = 2, w(0) = 3\}$ menuju titik origin secara asimtotik. Waktu yang dibutuhkan untuk stabil relatif singkat di $t \approx 2$. Namun, kestabilan variabel $w(t)$ lebih cepat dibandingkan variabel keadaan $z_1(t)$ dikarenakan pemilihan faktor konstanta $r_2 > r_1$. Hal ini dapat dilihat karena pada dinamik $\dot{x}(t) = ax(t)$ solusi analitiknya berbentuk $x(t) = x_0 e^{at}$ yang sangat dipengaruhi oleh nilai konstanta a . Sistem akan stabil asimtotik jika $a < 0$ dan semakin besar nilai $|a|$ maka solusi $x(t)$ akan semakin cepat menuju titik asal.

Menggunakan transformasi persamaan (20), nilai θ persamaan (24) dan transformasi persamaan (22), diperoleh kontrol untuk sistem awal berdasarkan persamaan (18), yaitu

$$u(t) = \frac{487x_1 - 3120x_2 - 9.06\text{sign}(6.197x_2 - 0.763x_1)}{x_1} \quad (26)$$

Perilaku sistem awal dengan kontrol persamaan (26) diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perilaku solusi sistem persamaan (19) yang telah distabilkan dengan menggunakan kontrol persamaan (26)

Pada Gambar 3, meskipun stabil asimtotik menuju titik asal, dinamika variabel keadaan sistem awal memiliki perberbedaan dengan dinamika sistem linier hasil kontrol. Pada sistem awal, kedua variabel keadaan bergerak dari nilai awal menjauhi titik asal di awal waktu. Namun, pada waktu $t \approx 0.3$ keduanya sudah bergerak turun menuju titik asal. Meskipun nilai awal $x_1(t)$ lebih kecil daripada $x_2(t)$, dinamika $x_2(t)$ bergerak lebih cepat dan mencapai titik maksimum lebih tinggi dibandingkan nilai $x_1(t)$. Hal ini dapat dijelaskan sebagai akibat adanya pengaruh fungsi gangguan yang bernilai positif dan monoton naik dan nilai kontrol persamaan (26) yang memberikan nilai positif di awal waktu. Walau kedua variabel bergerak menjauh namun keduanya sudah stabil di titik asal pada $t \approx 2$ yang bersesuaian juga dengan dinamika Gambar 2.

Contoh 2. Diberikan sistem kontrol bilinear $\dot{x} = Ax + uBx$ dengan (Ramezanpour dkk., 2012)

$$A = \begin{bmatrix} \frac{13}{6} & \frac{5}{12} \\ -\frac{50}{3} & -\frac{8}{3} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

dan $\omega = 0.15 \cos(t)$. Luaran sistem adalah $y = x_2$ sehingga diperoleh derajat relatif dari masalah ini adalah 2. Transformasi menggunakan IOFL

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{50}{3} & -\frac{8}{3} \end{bmatrix} \quad (28)$$

menghasilkan sistem baru dalam koordinat z yaitu

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & z_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = & -1.17z_1 - 0.5z_2 + 16.7u(-0.160z_1 - 0.06z_2) - 1.25 \cos(t) \end{cases} \quad (29)$$

Misalkan digunakan $r_1 = 1$ maka menggunakan transformasi persamaan (8) diperoleh perubahan variabel

$$w = z_2 + z_1 \quad (30)$$

Persamaan (29) akan menjadi

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & w - z_1 \\ \frac{dw}{dt} = & 0.5w - 1.67z_1 - 2.67uz_1 - u(w - z_1) - 1.25 \cos(t) \end{cases} \quad (31)$$

Berdasarkan $\omega = 0.15 \cos(t)$, persamaan (16) menjadi

$$\theta = -1.25 \text{sign}(w). \quad (32)$$

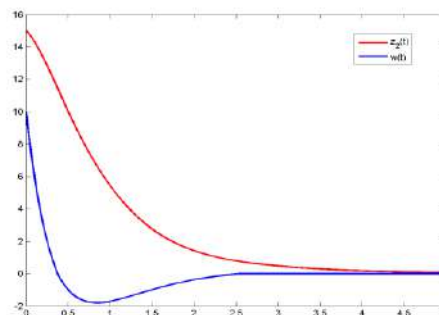
Menggunakan $r_2 = 3$ dan θ persamaan (32), diperoleh kontrol yang menstabilkan persamaan (31) yaitu

$$u = \frac{0.667z_1 - 3.50w - 1.25 \text{sign}(w)}{-1.67z_1 - w} \quad (33)$$

Sistem baru dari persamaan (31) yang telah distabilkan oleh kontrol persamaan (33) diberikan oleh

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = & w - z_1 \\ \frac{dw}{dt} = & -3w - z_1 - 1.25(\cos(t) + \text{sign}(w)) \end{cases} \quad (34)$$

Dinamika variabel keadaan (z_1, w) persamaan (34) ditunjukkan pada Gambar 4.



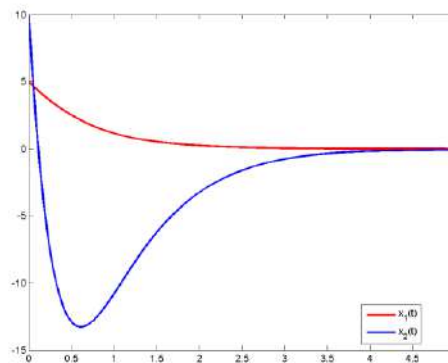
Gambar 4. Perilaku solusi sistem persamaan (34) yang telah distabilkan

Pada Gambar 4, kedua variabel keadaan stabil asimtotik di titik asal. Variabel $z_1(t)$ bergerak secara eksponensial dari titik awal menuju titik asal sedangkan variabel $w(t)$ mengalami sedikit osilasi pada awal simulasi. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh fungsi gangguan sebesar $-1,25 \cos(t)$ yang mengakibatkan perilaku osilasi. Berbeda dengan Gambar 2 karena perbandingan nilai koefisien $w(t)$ dan fungsi gangguan yang cukup signifikan sehingga osilasi dapat ditekan oleh nilai variabel $w(t)$ yang sangat cepat menuju titik asal.

Berdasarkan transformasi persamaan (28) dan persamaan (30), kontrol persamaan (33) yang akan digunakan dalam sistem awal persamaan (27) diberikan oleh

$$u(t) = -\frac{1}{200} \frac{-78x_2 - 700x_1 + 15 \operatorname{sign}\left(-\frac{5}{3}x_2 - \frac{50}{3}x_1\right)}{x_1} \quad (35)$$

Dinamika variabel keadaan (x_1, x_2) terhadap t persamaan (27) yang telah distabilkan menggunakan kontrol persamaan (35) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perilaku solusi sistem persamaan (27) yang telah distabilkan menggunakan kontrol persamaan (35)

Jika dibandingkan dengan perilaku sistem awal Gambar 3, pada contoh ini sistem awal memiliki perilaku yang jauh berbeda. Variabel keadaan $x_1(t)$ langsung stabil asimtotik sejak awal simulasi sedangkan variabel keadaan $x_2(t)$ bergerak turun menjauhi titik asal baru kemudian kembali menuju titik asal. Berdasarkan permasalahan yang diberikan, variabel keadaan $x_2(t)$ tidak secara langsung berhubungan dengan variabel kontrol $u(t)$. Hal ini menyebabkan dinamika variabel keadaan $x_2(t)$ sepenuhnya hanya dipengaruhi oleh variabel keadaan dan fungsi gangguan. Jika dibandingkan dengan Gambar 4, kedua sistem telah menuju titik asal pada waktu yang sama yaitu $t \approx 4$ dan keduanya sama-sama memiliki variabel keadaan yang beresilasi di awal simulasi.

KESIMPULAN

Pada artikel ini telah dibahas mengenai stabilisasi sistem kontrol bilinear yang mengandung fungsi gangguan. Fungsi gangguan hanya mempengaruhi variabel keadaan yang mengandung fungsi kontrol. Fungsi kontrol didesain menggunakan metode *backstepping*. Pada metode *backstepping*, sistem yang diasumsikan memiliki derajat relatif 2 diubah menjadi bentuk normal menggunakan transformasi umpan balik masukan dan luaran. Kontrol didesain berdasarkan bentuk yang sudah ditransformasi dan kemudian diaplikasikan pada sistem awal. Pada simulasi telah diberikan dua contoh. Kedua contoh menunjukkan bahwa kontrol *backstepping* berhasil membawa variabel keadaan dari nilai awal yang dipilih menuju titik asal dalam waktu yang relatif singkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak ITB yang memberikan pendanaan pada penelitian ini dalam Skema Riset ITB 2021. Juga terima kasih disampaikan kepada seluruh reviewer atas masukan perbaikan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bichiou, S., Bouafoura, M. K., & Braiek, N. B. (2018). Time optimal control laws for bilinear systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/5217427>

- Bruni, C., Dipillo, G., & Koch, G. (1974). Bilinear Systems: An Appealing Class of “Nearly Linear” Systems in Theory and Applications. *IEEE TR.WS.WTIONS ON AUTOMATIC CONTROL*, 19(4), 334–348.
- Elliott, D. L. (2009). *Bilinear Control Systems, Matrices in Action* (S. S. Antman, J. E. Marsden, & L. Sirovich, Ed.). Springer.
- Gerard, B., Ali, H. S., Zasadzinski, M., & Darouach, M. (2010). H-infinity filter for bilinear systems using LPV approach. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 55(7), 1688–1674. <https://doi.org/10.1109/TAC.2010.2046075>
- Kim, B. S., & Lim, M. T. (2003). Robust H ∞ Control Method for Bilinear Systems. *International Journal of Control Automation, and Systems*, 1(2), 171–177.
- Mohler, R. R. (1973). *Bilinear Control Processes With Applications to Engineering, Ecology, and Medicine*. Academic Press.
- Nguyen, H.-Q., Tran, A.-D., & Nguyen, T.-T. (2019). The Bilinear Model Predictive Method-Based Motion Control System of an Underactuated Ship with an Uncertain Model in the Disturbance. *Processes*, 7, 1–14. <https://doi.org/10.3390/pr7070445>
- Ramezanpour, H., Setayeshi, S., Arabalibeik, H., & Jajrami, A. (2012). An Iterative Procedure for Optimal Control of Bilinear Systems. *International Journal of Instrumentation and Control Systems*, 2(1), 1–10.
- Shi, P., Shue, S.-P., Shi, Y., & Agarwal, R. K. (1999). Controller design for bilinear systems with parametric uncertainties. *Mathematical problem in Engineering*, 4, 505–528.

Pemanfaatan Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) Pada Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) Dari Santan Kelapa

Murni Yuniwati¹, Bambang Kusmartono², Ganjar Andaka³, Nitia Nanda Rama⁴
^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Yogyakarta
E-mail: murni@akprind.ac.id

ABSTRACT

Making Virgin Coconut Oil (VCO) can be done by acidification, namely by adding acid to obtain a certain pH which allows the growth of protein-breaking bacteria in coconut milk to form VCO. Lime contains lots of natural acids, has a distinctive aroma and contains many useful substances and allows it to create an acidic atmosphere in making VCO.

The speed at which VCO is formed greatly determines the quantity and quality of VCO. With a large speed, the time to produce VCO is shorter, this will avoid the possibility of side reactions or decay processes that will reduce the quality of VCO. Some of the factors that cause the velocity of VCO formation, among others, that will be studied in this study are room temperature and the amount of lime added to coconut milk.

In this research, we will study the process of VCO formation from coconut milk, by acidifying it using lime. Let the coconut milk sit for 30 minutes to separate the skim and water. The skim obtained is placed in a container with a certain volume of lime juice added, the container is placed in a room with a certain temperature and is left to rest so that the fermentation process occurs within a certain time, the volume of VCO is measured and then its physical and chemical properties are analyzed.

Based on the results of this study, the best results were obtained by using the addition of lime 5% by volume and carried out at 38 °C. By using 800 ml skim from 1 kg of coconut, the best VCO results were obtained as much as 220 ml with a density of 0.91 g / mL.

Keywords: coconut, coconut milk, skim, vco

INTISARI

Pembuatan (*Virgin Coconut Oil*) VCO dapat dilakukan dengan cara pengasaman, yaitu dengan cara ditambahkan asam agar diperoleh pH tertentu yang memungkinkan tumbuhnya bakteri pengurai protein dalam santan kelapa sehingga terbentuk VCO. Jeruk nipis banyak mengandung asam alami memiliki aroma yang khas dan banyak mengandung zat-zat bermanfaat dan memungkinkan untuk membuat suasana asam dalam pembuatan VCO.

Kecepatan pembentukan VCO sangat menentukan kuantitas dan kualitas VCO. Dengan kecepatan yang besar maka waktu untuk menghasilkan VCO lebih singkat, hal ini akan menghindarkan dari kemungkinan reaksi samping atau proses pembusukan yang akan menurunkan kualitas VCO. Beberapa faktor yang menyebabkan kecepatan pembentukan VCO antara lain yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah suhu ruangan dan jumlah jeruk nipis yang ditambahkan ke dalam santan kelapa.

Dalam penelitian ini akan dipelajari proses pembentukan VCO dari santan kelapa, dengan pengasaman menggunakan jeruk nipis. Santan kelapa didiamkan 30 menit untuk memisahkan skim dan airnya. Skim yang diperoleh ditempatkan dalam wadah ditambahkan air jeruk nipis dengan volume tertentu, wadah ditempatkan dalam ruangan dengan suhu tertentu didiamkan agar terjadi proses fermentasi dalam selang waktu tertentu, VCO yang terbentuk diukur volumenya kemudian dianalisis sifat fisis maupun sifat kimianya.

Berdasarkan hasil penelitian ini, hasil terbaik diperoleh dengan menggunakan penambahan jeruk nipis 5% volume dan dilakukan pada suhu 38 °C, dengan kondisi tersebut proses pembuatan VCO memerlukan waktu 4 jam, dengan menggunakan 800 ml skim dari 1kg kelapa di diperoleh hasil VCO yang jernih sebanyak 220 ml dengan densitas 0,91 gr/mL.

Kata kunci: kelapa, santan, skim, vco

PENDAHULUAN

Virgin Coconut Oil (VCO) merupakan salah satu minyak yang memiliki banyak manfaat dan banyak digunakan dalam bidang industri maupun bidang kesehatan. Dalam dunia industri VCO digunakan sebagai bahan dasar kosmetik sedangkan di bidang kesehatan sebagai obat-obatan. Asam laurat yang dikategorikan sebagai asam lemak rantai sedang merupakan kandungan utama

dalam VCO yang telah dibuktikan dalam banyak penelitian bahwa VCO bersifat antivirus, antibakteri dan anti protozoa.

VCO dapat dibuat dengan berbagai cara antara lain yang telah banyak diteliti adalah dengan cara peragian, cara pengasaman, cara enzimatik, cara pancangan, cara ultrasonic dan sebagainya. Pembuatan VCO dengan cara enzimatik telah dilakukan dengan menambahkan berbagai bahan antara lain bonggol nenas ragi tape dan papaya muda dengan hasil terbaik pada penggunaan papaya muda dengan kulitnya. (Rahmawati, E. dan Khaerunnisya, N., 2018)

Pembuatan VCO dengan cara pengasaman, dilakukan dengan menambahkan asam ke dalam skim santan kelapa agar diperoleh pH tertentu yang memungkinkan tumbuhnya bakteri pengurai protein dalam skim santan kelapa sehingga terbentuk VCO. Yang sudah banyak diteliti proses pengasaman dilakukan adalah dengan menggunakan asam cuka yang tidak berbahaya bagi tubuh, namun berbau menyengat, sehingga VCO yang dihasilkan beraroma kurang baik. Dalam penelitian ini VCO dibuat dengan cara pengasaman menggunakan jeruk nipis sebagai sumber asam. Jeruk nipis banyak mengandung asam dan beraroma segar.

Kecepatan pembentukan VCO sangat menentukan kuantitas dan kualitas VCO. Dengan kecepatan reaksi fermentasi yang besar maka waktu yang diperlukan untuk memproduksi VCO lebih singkat dan VCO yang dihasilkan bisa segera dipisahkan dari bahan-bahan yang lain yang terbentuk dalam proses tersebut yaitu blondo dan air. Apabila reaksi berjalan lambat maka waktu yang diperlukan untuk memproduksi VCO lebih lama dan VCO yang terbentuk tidak segera dipisahkan dari media fermentasi maka akan semakin memungkinkan terjadinya proses yang lain seperti pembusukan, timbulnya jamur dan sebagainya yang menyebabkan kualitas VCO menurun. Beberapa faktor yang menyebabkan kecepatan pembentukan VCO antara lain yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah suhu dan jumlah jeruk nipis yang ditambahkan ke dalam santan kelapa.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari bagaimana pengaruh suhu dan persentase jeruk nipis yang digunakan sehingga dapat diketahui suhu dan persentase jeruk nipis yang optimal untuk memperoleh kecepatan pembentukan VCO yang maksimal. Dari uraian di atas dapat diketahui pentingnya penelitian dalam mempelajari beberapa variabel untuk mengupayakan proses pembentukan VCO untuk mendapatkan kualitas VCO yang lebih baik.

Tanaman *Citrus aurantifolia* dikenal di pulau Sumatra dengan nama Kelangsa (Aceh), di pulau Jawa dikenal dengan nama jeruk nipis (Jawa barat) dan jeruk pecel (Jawa tengah). Jeruk nipis mengandung unsur-unsur senyawa kimia yang bermanfaat, misalnya: asam sitrat, asam amino (triptofan, lisin), minyak atsiri dsb. Jeruk nipis banyak mengandung asam alami memiliki aroma yang khas dan banyak mengandung zat-zat bermanfaat dan memungkinkan untuk membuat suasana asam dalam pembuatan VCO.



Gambar 1. Buah Jeruk Nipis

Jeruk nipis termasuk jenis tumbuhan perdu yang banyak memiliki dahan dan ranting. Tingginya sekitar 0,5-3,5 m. Batang pohonnya berkayu ulet, berduri, dan keras. Sedang permukaan kulit luarnya berwarna tua dan kusam. Daunnya majemuk, berbentuk ellips dengan pangkal membulat, ujung tumpul, dan tepi beriringgit. Bunganya berukuran majemuk/tunggal yang tumbuh di ketiak daun atau di ujung batang. Kelopak bunga berbentuk mangkok berwarna putih.

Tanaman jeruk nipis pada umur 2,5 tahun sudah mulai berbuah. Buahnya berbentuk bulat sebesar bola pingpong dengan diameter 3,5-5 cm berwarna (kulit luar) hijau atau kekuning-kuningan. Tanaman jeruk nipis mempunyai akar tunggang. Buah jeruk nipis yang sudah tua rasanya asam. Tanaman jeruk umumnya menyukai tempat-tempat yang dapat memperoleh sinar matahari

langsung. Jeruk nipis mengandung unsur-unsur senyawa kimia yang bermanfaat, misalnya: asam sitrat, asam amino (triptofan, lisin), minyak atsiri dsb.

Klasifikasi tumbuhan jeruk nipis termasuk Kingdom : Plantae Divisio : Spermatophyta, Subdivisio : Angiospermae, Klas : Dicotyledonae, Bangsa : Rutales, Famili : Rutaceae, Genus : Citrus, Species : *Citrus aurantiifolia*. (Hariana, 2007)

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan tanaman perkebunan berupa pohon batang lurus dari famili Palmae. Pohon kelapa sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia karena hampir semua bagian kelapa dapat dimanfaatkan. Buah kelapa yang terdiri atas sabut, tempurung, daging buah dan air kelapa tidak ada yang terbuang dan dapat dibuat untuk menghasilkan produk industri, antara lain sabut kelapa dapat dibuat keset, sapu, dan matras (Widiyanti R.A., 2015).

Kelapa sebagai tanaman yang tersebar luas di Indonesia, menghasilkan daging buah yang mempunyai potensi yang tinggi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pangan bernilai. Buah kelapa yang sudah tua mengandung kalori yang tinggi, sebesar 354 kal per 100 gram, yang berasal dari minyak kurang lebih 33 persen, karbohidrat 15 persen dan protein 3 persen.



Gambar 2. Buah Kelapa

Kualitas protein daging buah kelapa sangat baik, karena mempunyai kandungan asam amino yang tinggi, dan tidak mengandung senyawa anti nutrisi. Dan dengan asam lemak rantai medium (MCFA) yang tinggi, minyak kelapa sangat sehat. Selanjutnya, kandungan galaktomannan dan fosfolipid yang tinggi menjadikan daging buah kelapa mempunyai kemampuan untuk memperbaiki karakter bahan pangan yang menggunakannya. Galaktomannan juga mempunyai manfaat kesehatan dengan menurunkan kolesterol, menekan pertumbuhan bakteri merugikan dan memacu pertumbuhan bakteri menguntungkan.

Daging buah kelapa dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku berbagai produk pangan, mulai umur buah 8-12 bulan. Buah kelapa pada umur buah 8 bulan sesuai untuk pengolahan makanan semi padat, dan suplemen makanan bayi. Buah kelapa umur 9 dan 10 bulan, sesuai untuk membuat makanan ringan dan minyak kelapa dengan pengolahan cara basah. Pada umur buah 11 bulan lebih sesuai untuk kelapa parut kering, minyak kelapa berbahan baku kopra (daging kelapa yang dikeringkan), dan VCO yang dibuat dari buah kelapa segar.

Dalam proses pembuatan VCO metode cold pressing akan dihasilkan produk samping berupa ampas kelapa yang mengandung protein dan serat tinggi, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan berbagai ragam produk bernilai tinggi, seperti Madu Kelapa, Galaktomannan dan Dietary Fiber. (Subagyo, 2011).

Minyak kelapa yang dihasilkan dengan cara basah memerlukan pemanasan yang cukup lama sehingga membutuhkan bahan bakar yang cukup banyak pula. Cara ini kurang efisien karena selain membutuhkan waktu yang lama dan biaya untuk bahan bakar yang cukup tinggi. Salah satu metode yang dapat meningkatkan rendemen maupun kualitas minyak adalah dengan menghidrolisis proteinnya sehingga minyak dapat lepas dari ikatan lipoprotein. Hidrolisis protein dapat dilakukan dengan menambahkan larutan asam atau enzim.

Minyak kelapa yang dibuat dengan cara fermentasi santan kelapa menghasilkan minyak kelapa murni yang biasa disebut VCO. VCO banyak digunakan sebagai bahan obat-obatan karena dapat menyembuhkan berbagai penyakit kulit, mata, dan penyakit rontok rambut. (Setiaji dan Prayogo, 2006).

Santan adalah cairan yang diperoleh dengan melakukan pemerasan terhadap daging buah kelapa parutan. Pengolahan santan menjadi minyak kelapa murni (VCO) dapat dilakukan dengan tanpa proses pemanasan merupakan proses pengolahan menggunakan enzim atau menggunakan asam. Dengan cara itu minyak akan langsung terpisah dari gumpalan protein dan air.

Minyak kelapa murni merupakan salah satu sumber dari MCT (*medium-chain triglyceride*). Dilaporkan bahwa MCT memberikan 8,3 kkal/gram, lebih dari dua kali energi yang diberikan oleh karbohidrat tetapi tidak didepositkan sebagai lemak seperti halnya asam-asam lemak rantai panjang. Oleh karena itu konsumsi minyak kelapa tidak akan menyebabkan kegemukan atau obesitas (Enig, 2000 dan Fife *et al.*, 2002).

Pembuatan produk pangan dari VCO bertujuan untuk mensubstitusi penggunaan minyak dari bahan dasar lain sehingga diharapkan produk pangan yang dihasilkan masih memiliki sifat fungsional yang berperan dalam meningkatkan kesehatan. Selain itu, karena mengkonsumsi VCO biasanya konsumen merasa tidak enak, maka dengan menggunakan VCO dalam pembuatan pangan diharapkan sifat fungsionalnya dapat dinikmati semua lapisan konsumen. Saat ini FDA telah memasukkan minyak kelapa murni atau VCO dalam daftar makanan yang sangat dianggap aman. Hanya makanan yang telah melewati pengujian yang ketat dan mempunyai sejarah penggunaan yang aman bisa dikualifikasikan dalam daftar makanan yang aman (Fendy, P. 2004)

Kandungan MCT yang merupakan lemak jenuh menjadikan minyak ini lebih aman terhadap reaksi oksidasi serta pembentukan trans fat. Trans fat dalam makanan diturunkan dari proses hidrogenasi parsial minyak. Oleh karenanya, *Food and Drug Administration* (FDA) mengharuskan industri pangan untuk memberi label *trans fat* pada *the nutrition facts* mulai Januari 2006 (Huang *et al.*, 2006).

Selain itu pemerintah Canada melalui *HealthCanada* dan *Heart Stroke Foundation of Canada* akan bekerjasama untuk membuat rekomendasi dan strategi guna mengurangi kandungan *trans fat* dalam makanan sampai batas terendah yang memungkinkan. *trans fats* terdapat secara alami dalam beberapa makanan berbasis hewani, dan juga terbentuk jika minyak diproses menjadi semi padat seperti dibuat *shortening* dan *hardmargarine*. *Trans fats* dapat meningkatkan level “kolesterol jahat” (kolesterol LDL) dan menurunkan “kolesterol baik” (kolesterol HDL) dalam darah. Karena itu akibatnya risiko penyakit jantung akan meningkat. Berdasarkan uraian tentang manfaat dan keunggulan VCO, maka untuk mengatasi keengganan konsumen yang tidak suka VCO perlu disiasati dengan menggunakannya dalam bentuk produk, seperti produk pangan, sehingga aneka manfaat VCO masih dapat dinikmati.

Virgin Coconut Oil (VCO) adalah minyak kelapa murni yang dibuat dari bahan baku daging buah kelapa segar, diproses tanpa pemanasan. Pengambilan minyak kelapa dengan cara tersebut menyebabkan kandungan senyawa-senyawa esensial yang dibutuhkan tubuh tetap utuh. Minyak kelapa mengandung asam lemak jenuh yang tidak mempunyai ikatan rangkap atau kehilangan atom hydrogen, sehingga tidak peka terhadap oksidasi dan pembentukan radikal bebas sebagaimana lemak tidak jenuh, sehingga minyak kelapa dengan asam lemak jenuhnya lebih aman bagi kesehatan tubuh (Loliger, 1991).

Minyak kelapa murni dengan kandungan utama lauric acid dan capric acid yang sangat bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Banyak peneliti telah membuktikan bahwa lauric acid di dalam tubuh manusia akan dirubah menjadi monolaurin yang dapat menanggulangi berbagai serangan virus seperti *HIV*, herpes, influenza dan berbagai bakteri pathogen. Lauric acid merupakan lemak jenuh berantai sedang atau sering disebut *Medium Chain Fatty Acid (MCFA)*, *lauric acid* berfungsi meningkatkan metabolisme dalam tubuh sehingga dapat menambah energy dan efek stimulasi dan mengontrol berat badan (Setiaji, 2005).

Ada banyak manfaat kesehatan *MCFA* pada minyak kelapa. Setiap *MCFA* memberikan pengaruh penting masing masing, tetapi saling melengkapi dan secara keseluruhan semuanya penting. Prosentase *MCFA* pada minyak kelapa adalah asam laurat 48%, asam kaprilat 8%, asam kaprat 7% dan lainnya merupakan asam asam yang bermanfaat (Thampan, 1994).

Ahli Herbal James A Duke melihat bahwa kelapa dan minyak kelapa digunakan sebagai pengobatan rakyat untuk mengobati sejumlah penyakit seperti abses, alopecia, amenorrhea, asma, bronchitis, TBC, tumor, sipilis, dan luka luka (Duke dan Wain, 1981).

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan baku pembuatan VCO adalah buah kelapa dan jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*)

Alat Penelitian

Pada proses pembuatan VCO dengan pengasaman memerlukan beberapa alat antara lain: Alat utama, suatu tempat yang terbuat dari dinding transparan dilengkapi dengan tutup dan kran di bagian bawah untuk memisahkan air yang terkumpul di bagian bawah. Rangkaian alatnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 . Rangkaian Alat Pembuatan VCO

Alat pembantu penelitian

1. Pamarut kelapa
2. Pengaduk
3. Thermometer
4. pH meter

Cara Kerja

Kelapa diparut ditambah air, diperas dan disaring untuk memperoleh santan kelapa. Santan dibiarkan untuk memisahkan antara skim yang berada di bagian atas dengan air yang berada di bawah, ini dilakukan dalam alat terbuat dari plastik agar bisa terlihat dengan jelas batas skim dan airnya, bagian bawah diberi kran untuk data memisahkan air dari skimnya (gambar 3). Buah jeruk nipis diiris dan diperas untuk mendapatkan air jeruk nipis.

Skim santan kelapa dimasukkan ke dalam alat dengan volume tertentu ditambahkan air jeruk nipis dengan jumlah tertentu dilakukan pencampuran yang baik dengan mengaduk beberapa saat, alat ditutup rapat tempatkan alat tersebut dalam ruangan dengan suhu tertentu. Volume VCO yang terbentuk bisa diamati setiap selang waktu tertentu. Air yang terpisah di bagian bawah dikeluarkan. Skim dan VCO disaring untuk memisahkan minyak (VCO). VCO yang diperoleh dapat dianalisis menggunakan Gas Chromatography (GC)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh persen penambahan jeruk nipis

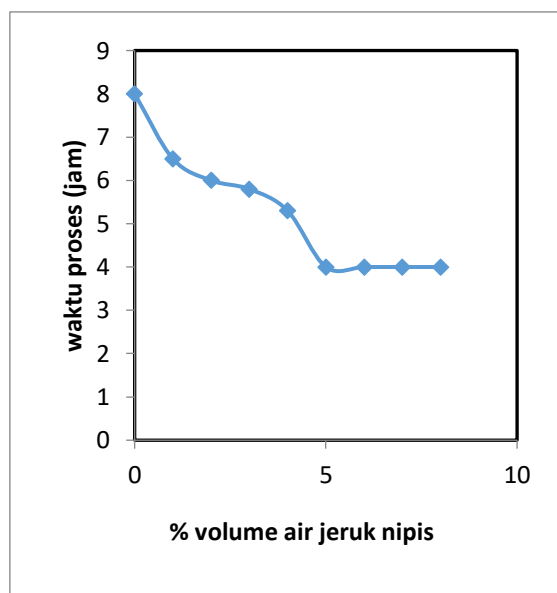
Untuk mempelajari pengaruh penambahan jeruk nipis terhadap kecepatan pembentukan VCO dilakukan dengan menambahkan sebanyak % volume air jeruk nipis ke dalam skim, kemudian diamati waktu berhentinya proses fermentasi (sudah tidak terjadi penambahan volume VCO, atau volume VCO sudah konstan).

Hasil penelitian Pengaruh % volume air jeruk nipis ke dalam skim terhadap waktu proses pembentukan VCO dapat dilihat di tabel 1 dan gambar 4.

Tabel 1. Pengaruh % volume air jeruk nipis ke dalam skim terhadap waktu proses pembentukan VCO (1kg buah kelapa dengan 800 mL skim pada suhu kamar).

% volume air jeruk nipis	Waktu proses	Volume hasil (mL)
0	8	220
1	6,5	221
2	6	215
3	5,8	216
4	5,3	220
5	4	219
6	4	216
7	4	218
8	4	220

Dari tabel 1 dapat digambarkan grafik hubungan antara % volume air jeruk nipis dengan waktu rses sebagai berikut:



Gambar 4. Hubungan % volume air jeruk nipis dengan waktu proses

Berdasar tabel 1 dan gambar 4 dapat dilihat, apabila skim sudah bersifat asam maka tanpa penambahan air jerukpun tetap terjadi proses fermentasi menghasilkan VCO tetapi memerlukan waktu yang cukup lama, dalam penelitian ini semakin banyak penambahan air jeruk nipis semakin cepat proses pembuatan VCO, selain itu semakin banyak penambahan air jeruk nipis enggualan semakin baik, gumpalan berukuran besar-besar sehingga mem udahkan dalam proses pemisahan, bila penggumalan tidak sempurna maka butiran protein berukuran lembut (tidak meng gumpal) pemisahan menjadi lebih sulit karena filter tersumbat oleh butiran protein. Waktu proses maupun waktu penyaringan yang terlalu lama akan mengakibatkan terjadinya pembusukan yang tidak diinginkan yang menyebabkan bau yang tidak sedap. Dari hasil penelitian ini diperoleh kondisi yang optimal adalah pada penambahan air jeruk nipis 5% volume terhadap volume skim. Adapun jumlah hasil tidak ada perbedaan yang signifikan, hanya waktu proses yang berbeda.

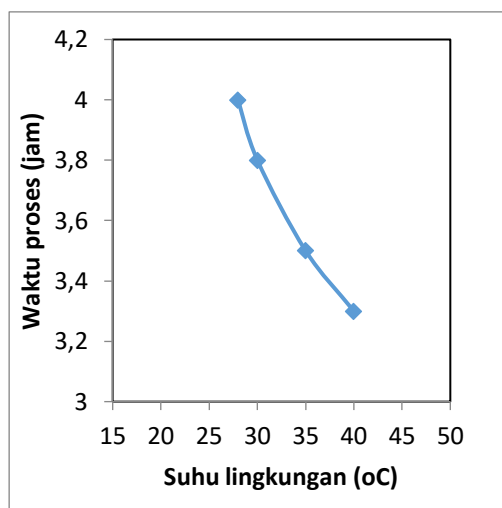
Pengaruh suhu

Untuk mempelajari pengaruh suhu terhadap waktu proses dilakukan dengan dengan penambahan air jeruk niis 5 % volume dengan suhu yang divariasikan. Hasil penelitian pengaruh suhu terhadap waktu proses pembentukan VCO dapat dilihat di tabel 2 dan gambar 5.

Tabel 2. pengaruh suhu terhadap waktu proses pembentukan VCO

Suhu (°C)	Waktu proses (jam)	Volume hasil (mL)
15	Tak terdeteksi	0
20	Tak terdeteksi	0
28	4	219
30	3,8	220
35	3,5	201
38	3,3	218

Dari tabel 2 dapat digambarkan grafik hubungan antara suhu dengan waktu proses sebagai berikut:



Gambar 5 Hubungan suhu dengan waktu proses.

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh suhu lingkungan terhadap proses bukan bermaksud untuk memanaskan bahan tetapi mengetahui suhu lingkungan yang baik untuk proses pembuatan VCO, dari hasil penelitian menunjukkan suhu lingkungan yang terlalu rendah tidak baik untuk pembuatan VCO dengan cara fermentasi, skim akan membentuk pasta dan proses peruraian oleh bakteri tidak terjadi, hal ini disebabkan semakin rendah suhu skim akan cenderung memadat, dan tidak cocok untuk pertumbuhan bakteri pengurai sehingga proses fermentasi tidak terjadi, semakin tinggi suhu semakin baik dalam penelitian ini sampai suhu 38°C, karena jika lebih tinggi lagi dimungkinkan bakteri tidak bisa hidup dan pemecahan protein bukan disebabkan oleh bakteri tetapi disebabkan oleh pemanasan dengan suhu yang tinggi dan akan diperoleh minyak yang bukan VCO tetapi minyak goreng yang biasanya berwarna kuning.

KUALITAS HASIL

VCO yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa cairan jernih, Hasil tersebut dianalisis menggunakan Gas Chromatography (GC) di laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gajah Mada Yogyakarta. VCO yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6 dan hasil analisis VCO dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 6. VCO yang dihasilkan

Tabel 3. Kandungan VCO

Jenis Asam Lemak	Kadar (%)
Asam Kaproat	1,9
Asam Oktanoat	1,1
Asam	0,5
Siklopropanapentanoat	
Asam Laurat	32,7
Asam Miristat	28,6
Asam Palmitat	17,2
Asam Oleat	14,1
Asam Stearat	5,7

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin banyak air jeruk nipis yang digunakan semakin cepat proses pembuatan VCO dan semakin besar ukuran gumpalan yang terjadi namun setelah 5% volume penambahan air jeruk tidak lagi menambah kecepatan proses.
2. Semakin besar suhu lingkungan semakin cepat pembuatan VCO, dan semakin besar gumpalan yang terbentuk sehingga memudahkan proses penyaringan. Dalam penelitian ini suhu optimal yang digunakan adalah 38 °C
3. Kondisi operasi optimal yang didapat untuk memperoleh VCO dengan cepat adalah penambahan air jeruk nipis sebesar 5% volume dan suhu 38°C. Dengan kondisi tersebut dicapai waktu proses 3,3 jam.
4. VCO dapat dibuat dengan menambahkan air jeruk nipis dengan hasil yang baik bila dilakukan pada tempat dengan suhu lingkungan yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Duke, J. A. and Wain, K. K., 1981, *Medicinal Plants of The World*.
- Enig, M.E., 2000. *Know Your Fat: Complete Primer for Understanding the Nutrition of Fat, Oils and Cholesterol*, Bethesda Press.
- Fendy, P. 2004. Bukan minyak kelapa biasa. *Majalah Trubus* 417: (126) Agustus 2004/XXXV).
- Hariana, A. 2007. *Tumbuhan Obat dan Khasiatnya*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Huang, Z.,B.Wang, R.D. Pace danJ.H .Oh. 2006. Trans Fatty Acid Content of Selected Foods in an African-American Community. *Journal of Food Science*. 71(322).
- Rahmawati, E.dan Khaerunnisya, N., 2018, Pembuatan VCO (Virgin Coconut Oil) dengan Proses Fermentasi, *Journal of Food and Culinary*, vol 1, No 1, halaman 1 s/d 6, Yogyakarta.
- Loliger, J., 1991, *Free Radicals and Food Additives*, Taylor and Feancis.
- Setiaji, B., 2005, *Menyingkap Keajaiban Minyak Kelapa Virgin*, Pusat Pengelolaan Kelapa Terpadu, Jogjakarta.
- Subagyo, 2011, Potensi Daging Buah Kelapa sebagai Bahan Baku Pangan Bernilai, *Jurnal Pangan*, Divisi Perencanaan Strategis dan Riset Perum Bulog.
- Thampan, P. K., 1994, *Facts Acid Fallacies About Coconut Oil Asian and Pacific Coconut Community*.
- Widiyanti, R. A.(2015). Pemanfaatan Kelapa Menjadi VCO (Virgin Coconut Oil) Sebagai Antibiotik Kesehatan Dalam Upaya Mendukung Visi Indonesia Sehat 2015. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015*, Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang,

Analisis Postur Pekerja Pada Proses Produksi Tahu Berdasarkan Metode Rapid Entire Body Assessment Di CV Lahan Faedah

Alif Fauza Dwi Prirasetyo¹, Nina Aini Mahbubah^{2*}

¹²Progam Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera 101 GKB Randuagung, Gresik 61121 Indonesia
E-mail : aliffauza96@gmail.com¹, n.mahbubah@umg.ac.id²

ABSTRACT

Musculoskeletal disorder is a problem for worker. The research purposes in the CV . Lahan Faedah are analysing working position can cause musculoskeletal disorder and give suggestions to the positions that need improvement. The REBA is extension of Rapid Entire Body assessment, which is a method that provides an objective measurement of the risk of MSDs caused by activity but only for the assessment of activities that have little movement and involve the whole body, namely by combining Table A and Table B to Table C. There are 3 positions The work analysed, namely Work Position A, B, C. The results of the three work positions using the REBA method are work position A, the soybean milling process gets a score of 9 with a high risk level, it is proposed that it requires corrective action to work posture or is given a tool so that the operator does not had a hard time getting the soybeans into the grinding machine

Keywords: *Musculoskeletal disorder, REBA, working position, ergonomic risk*

INTISARI

Musculoskeletal disorder adalah sebuah masalah bagi para pekerja. Tujuan penelitian di CV Lahan Faedah ini adalah, menganalisa posisi kerja pada operator penggilingan kedelai yang dapat menyebabkan *musculoskeletal disorder* dan mengusulkan perbaikan gerakan kerja pada posisi yang perlu perbaikan. Metode REBA adalah kepanjangan dari *Rapid Entire Body assesment* yaitu sebuah metode yang menyediakan pengukuran objektif terhadap risiko MSDs yang disebabkan oleh aktivitas tapi hanya untuk penilaian aktivitas yang sedikit pergerakan dan melibatkan seluruh tubuh yaitu dengan mengkombinasikan Tabel A dan Tabel B ke Tabel C. Ada 3 posisi kerja yang dianalisa, yaitu Posisi Kerja A, B, C. Hasil dari ketiga posisi kerja tersebut lalu dianalisa dengan memanfaatkan metode *Rapid Entire Body Assesment* (REBA) adalah posisi kerja A proses penggilingan kedelai mendapatkan skor 9 dengan level resiko tinggi diusulkan memerlukan tindakan perbaikan postur kerja atau diberi alat bantu agar operator tidak mengalami kesulitan waktu memasukkan kedelai ke mesin penggiling.

Kata Kunci: *Musculoskeletal disorder, REBA, posisi kerja, ergonomi*

PENDAHULUAN

Postur kerja yang tidak safety seperti bekerja dalam posisi berdiri, membungkuk, jongkok, mengangkat beban tanpa bantuan alat maupun material handling lainnya dalam jangka waktu yang cukup lama akan mengakibatkan munculnya rasa sakit pada salah satu anggota tubuh. Kegiatan ini bila dilakukan dengan kurun waktu cukup lama dalam sehari akan memunculkan kemungkinan kecelakaan pada waktu bekerja contoh sakit pinggang, maupun punggung (Listiarini, Widjasena, & Wahyuni, 2016). Kelelahan yang dialami oleh pekerja lambat laun akan memunculkan penyakit yang mengakibatkan cacat bahkan kematian.

Jika dilihat secara garis besar kelelahan otot bisa diklasifikasikan menjadi 2, diantaranya : 1. Keluhan sementara, yaitu keluhan otot yang dialami saat otot mendapati beban statis, tetapi keluhan tersebut didapati akan secepatnya menghilang jika beban statis dihentikan, dan 2. Keluhan menetap, yaitu kelelahan yang dialami oleh otot yang sifatnya menetap, walaupun kelelahan akibat bekerja telah berhenti, tetapi rasa sakit yang dialami otot masih terus berlanjut.

Teknik produksi pembuatan tahu dilaksanakan secara semi manual. Salah satu proses produksi tahu yang mengakibatkan kelelahan otot adalah proses angkat beban yang dilakukan oleh seorang operator. Proses angkat beban ini dimulai ketika kedelai yang sudah digiling akan diantar oleh operator tersebut menggunakan ember yang dimana proses pemindahannya menggunakan tangan.

Menurut data hasil tanya jawab dengan operator, didapatkan hasil bahwa operator sering mengalami kelelahan kerja akibat proses pekerjaan angkat beban tersebut. Akan tetapi kelelahan

tidak langsung berdampak saat itu juga, namun akibat dari kelelahan akan terasa ketika operator bangun tidur di pagi hari untuk memulai aktifitasnya kembali. Kelelahan yang sering dialami oleh operator tersebut yaitu badan pegal-pegal dan nyeri otot juga.

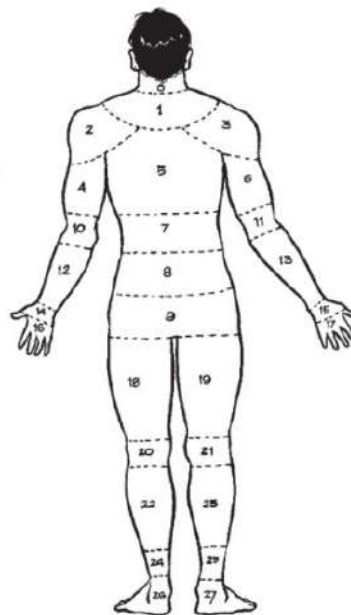
Pada proses memasukkan kedelai ke mesin penggilingan, pengangkatan beban, dan berjalan sambil mengangkat beban, dampak akibat beban kerja berlebih dan berulang kali tersebut mengakibatkan operator mengalami kelelahan akibat rotasi kerja tersebut. Analisa yang akan dilakukan untuk menilai posisi kerja operator menggunakan pendekatan ergonomi risk *Rapid Entire Body assesment* (REBA).

METODOLOGI PENELITIAN

Adanya keluhan yang dirasakan pada bagian-bagian otot skeletal yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot-otot bagian bawah. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan hingga kerusakan inilah yang disebut dengan *musculoskeletal disorders* (MSDs) atau cedera pada sistem *musculoskeletal* (Grandjean, 1993; dan Lemasters, 1996) dalam (Mulyono dkk, 2017). Disebutkan oleh Peter Vi (2000) dalam Tarwaka (2004) bahwa, ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keletihan otot skeletal, yaitu: peregangan otot yang berlebihan, aktivitas berulang, sikap kerja tidak alamiah, faktor penyebab sekunder (tekanan, getaran, iklim/paparan suhu) dan penyebab kombinasi meliputi: umur, jenis kelamin, kebiasaan merokok, kesegaran jasmani serta kekuatan fisik.

Cara kerja dengan menggunakan kaidah ergonomi diharapkan dapat mengurangi keluhan yang dirasakan, karena ergonomi dapat di definisikan sebagai suatu disiplin yang mengkaji keterbatasan, kelebihan serta karakteristik manusia, dan memanfaatkan informasi tersebut dalam merancang produk, mesin, fasilitas, lingkungan dan bahkan sistem kerja, dengan tujuan utama tercapainya kualitas kerja yang terbaik tanpa mengabdikan aspek kesehatan, keselamatan dan kenyamanan manusia atau penggunaannya. (Imron, 2019)

Penggunaan *Nordic body map* yakni alat berbentuk kuesioner untuk mengukur tingkat ketidaknyamanan atau sakit pada bagian daerah tubuh Elbert, Kroemer, & Hoffman, (2018) dalam (Chanty, E. 2019). Sasaran kuesioner ini yaitu mengetahui gangguan kesehatan seperti MSDs (gangguan otot) berdasarkan keluhan sampel (pekerja). Sifatnya sangat subyektif karena berdasarkan persepsi pekerja yang merasakan gangguan MSDs (gangguan otot). (Chanty, E. 2019) Pengamatan dan analisis peta tubuh (NBM) seperti pada Gambar 1 dapat dikelompokkan jenis dan tingkat keletihan otot skeletal yang dialami pekerja (Palupi dan Wibisono, 2017)



Gambar 1 Nordic Body Map
(Sumber : Palupi dan Wibisono, 2017)

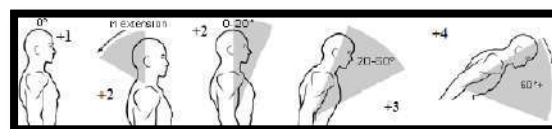
Keterangan:

- | | | |
|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Leher bagian atas | 10. Siku sebelah kiri | 19. Paha kanan |
| 2. Bahu kiri | 11. Siku sebelah kanan | 20. Lutut samping kiri |
| 3. Bahu kanan | 12. Lengan bawah sebelah kiri | 21. Lutut samping kanan |
| 4. Lengan atas kiri | 13. Lengan bawah sebelah kanan | 22. Betis sebelah kiri |
| 5. Punggung | 14. Pergelangan tangan sebelah kiri | 23. Betis sebelah kanan |
| 6. Lengan atas kiri | 15. Pergelangan tangan sebelah kanan | 24. Pergelangan kaki samping kiri |
| 7. Pinggang | 16. Tangan kiri | 25. Pergelangan kaki samping kanan |
| 8. Pantat (buttock) | 17. Tangan kanan | 26. Kaki segmen kiri |
| 9. Pantat (bottom) | 18. Paha kiri | 27. Kaki segmen kanan |

Semua bagian tubuh tersebut dibuat dalam format Standart Nordic Questionare. Standart Nordic Questionare dikerjakan untuk mengetahui apa saja keluhan yang dirasakan pekerja akibat pekerjaannya. Standart Nordic Questionare bersifat subjektif, karena dampak dari rasa sakit yang dirasakan berbeda-beda tergantung pada kondisi fisik tiap individu. Hignett dan McAtamney pada tahun 2000 menyempurnakan REBA untuk alat bantu menilai postur terhadap risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Dapat digunakan dengan baik untuk menilai postur Gerakan dinamis maupun statis, serta dapat mengukur mencakup hampir seluruh aktivitas dapat memberikan penilaian berupa data kuantitatif menurut (Hignett dan Mc Atamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011). Metode ini secara khusus dikembangkan untuk digunakan dalam menilai risiko MSDs atau postur kerja yang ditemukan dalam pelayanan kesehatan dan industri pelayanan lainnya (lihat gambar 1) sedang Penilaian skor REBA dapat dilihat pada gambar 2

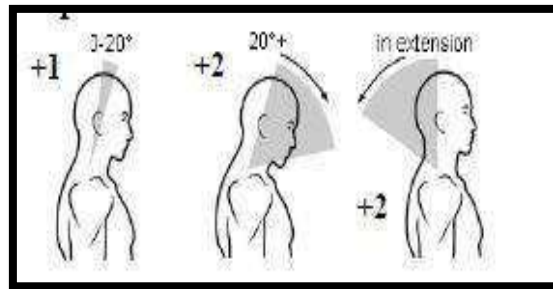


Gambar 1 Cara menentukan sudut bagian tubuh
(Sumber : Suprianto, 2011 : 22)



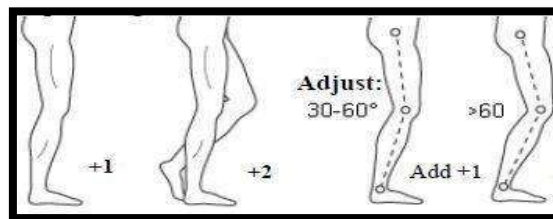
Gambar 2 Range pergerakan punggung
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)

Berdasarkan gambar 2 range pergerakan punggung merupakan kegiatan yang dilakukan oleh tubuh saat beraktivitas yang membentuk sudut tubuh. Sumbu y bisa juga dikatakan sumbu tegak lurus adalah garis sejajar dari tulang belakang manusia

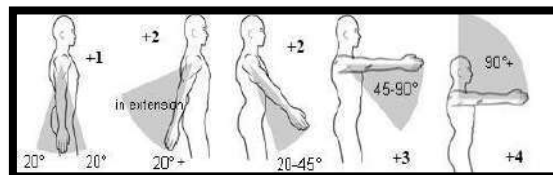


Gambar 3 Range Pergerakan Leher
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)

Gambar 3 yaitu area pergerakan dari leher manusia dengan garis vertical disebut y dan garis horizontal dengan sumbu x. Kaki yang tertopang mengakibatkan bobot merata pada kedua kaki dan kaki yang tidak tertopang atau bobot beban yang tersebar tidak merata merupakan aktivitas pada Gambar 4.

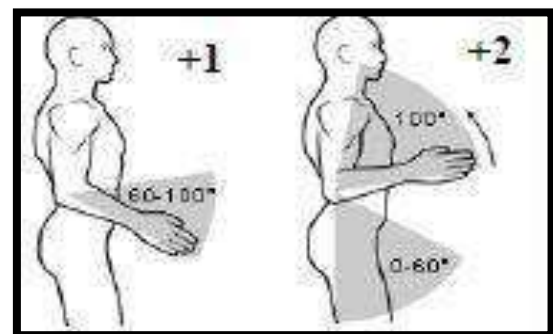


Gambar 4 Pergerakan Kaki
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)



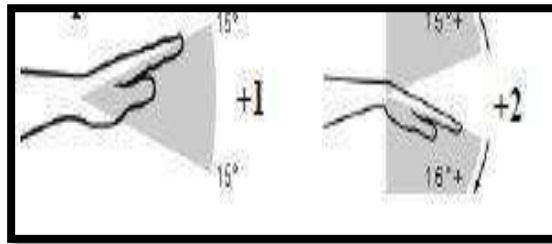
Gambar 5 Range Pergerakan Lengan Segmen Atas
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)

Gambar5 nilai pergerakan lengan atas yang menunjukkan sudut-sudut aktivitas yang dilakukan oleh lengan segmen atas manusia saat bergerak. Bobot skor sebesar 1 diberikan karena terdapat 4 bagian pembobotan sudut yang dilakukan antara lain untuk 0°-20° flexion maupun extension, skor 2 diberikan karena pergerakan lengan segmen atas flexion mulai dari 20°-45° dan lebih dari 20° extension, berbobot skor sebesar 3 karena pergerakan lengan atas flexion dengan sudut 45°-90°, dan pergerakan lengan atas yang terakhir adalah bobot skor sebesar 4 karena pergerakan flexion lebih dari 90°.



Gambar 6 Range Pergerakan Lengan Segmen Bawah
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)

Gambar 6 menunjukkan segmen lengan bawah yang membentuk sudut-sudut tertentu saat bekerja. Dari gambar 7 Selama proses bekerja aktivitas pergelangan tangan segmen bawah yang membentuk sudut-sudut tertentu, macam-macam sudut yang terbentuk dari gerakan pergelangan tangan segmen bawah kemudian diuraikan pergerakan yang terjadi pada pergelangan tangan menjadi skor-skor.



Gambar 7 Pergerakan Pergelangan Tangan
(Sumber : Hignett dan McAtamney, 2000) dalam (Suprianto, 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

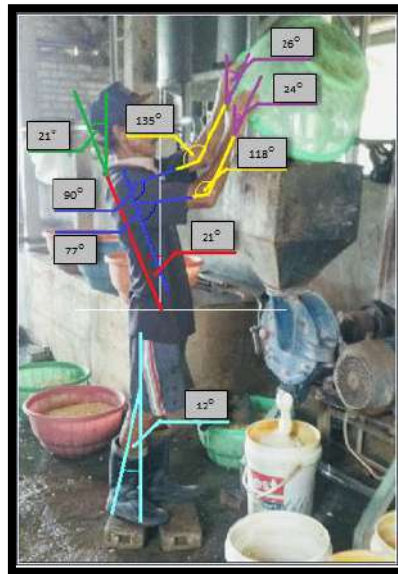
Postur kerja dan posisi kerja operator membawa beban dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 9 sedangkan hasil dari kuisisioner *Nordic Body Map* pada operator dapat dilihat pada tabel 1,

Tabel 1 Persentase Keluhan NBM

No	Jenis Keluhan	Sesudah Bekerja Sakit Jumlah %	No	Jenis Keluhan	Sesudah Bekerja Sakit Jumlah %
1	Sakit kaku di leher segmen atas		15	Sakit pada segmen pergelangan tangan sebelah kanan	
2	Sakit di bahu kiri		16	Sakit pada segmen pergelangan tangan sebelah kiri	
3	Sakit di bahu kanan		17	Sakit pada tangan kanan	
4	Sakit pada lengan atas sebelah kiri	100	18	Sakit pada paha kiri	
5	Sakit di punggung	100	19	Sakit pada paha kanan	
6	Sakit pada lengan atas sebelah kanan	100	20	Sakit pada lutut kiri	
7	Sakit pada pinggang	100	21	Sakit pada lutut kanan	
8	Sakit pada pantat (buttock)	100	22	Sakit pada betis kiri	50
9	Sakit pada pantat (bottom)		23	Sakit pada betis kanan	50
10	Sakit pada siku kiri		24	Sakit pada segmen pergelangan kaki sebelah kiri	
11	Sakit pada siku kanan		25	Sakit pada segmen pergelangan kaki sebelah kanan	
12	Sakit pada segmen lengan bawah sebelah kiri		26	Sakit pada kaki kiri	
13	Sakit pada segmen lengan bawah sebelah kanan		27	Sakit pada kaki kanan	
14	Sakit pada pergelangan tangan kiri				

Pada posisi kerja A (gambar 9) yaitu proses memasukkan kedelai dilakukan analisis REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) yang bertujuan untuk melakukan perhitungan dan analisis terhadap seluruh bagian tubuh manusia. Luaran dari metode REBA dengan NBM ini yaitu tingkatan keputusan

yang memastikan pentingnya tindakan yang dibutuhkan (Prayitno & Hanum, 2018 dalam Fikrihadi dan M.Sobirin, 2020). Secara umum, prosedurnya adalah menghubungkan antara sudut yang terbentuk pada postur tubuh subjek dengan bobot yang berada pada tabel 2 dan tabel 3.



Gambar 8 Operator memasukkan kedelai ke mesin penggiling
(Sumber : gambar diambil oleh penulis)

Skor 2 diberikan karena posisi kerja operator pada aktivitas pemasukan kedelai memperlihatkan leher yang bergerak 21° ke depan, skor 3 diberikan karena batang tubuh karena tubuh 21° ke belakang, dan diberi skor 2 karena posisi kaki tidak seimbang maka. Skor yang diperoleh dari hasil pengamatan postur leher, fisik tubuh, dan kaki saat bekerja skor tersebut dimasukkan kedalam tabel A dan didapatkan skor 5 + ditambah skor beban karena beban yang dibawa >10kg maka +2 jadi tabel A nilai 7.

Tabel 2 Scoring akhir tabel A proses memasukkan kedelai

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Leher (<i>neck</i>)	2	21° ke belakang	2
Batang tubuh (<i>trunk</i>)	3	21° ke belakang	3
Kaki (<i>legs</i>)	0	Kaki bertopang, + 2	2

Tabel 3 Scoring tabel A proses memasukkan kedelai

Table A	Neck												
	1				2				3				
Legs													
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	6	7	8	9	7	8	9	9	

Tabel 4 Scoring tabel B proses memasukkan kedelai

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Lengan atas (<i>upper arm</i>)	4	<i>flexion</i>	4
Lengan bawah (<i>lower arm</i>)	2	<i>flexion</i>	2
Pergelangan tangan (<i>wrist</i>)	2	+1 karena berputar	3

Tabel 5 Scoring tabel B proses memasukkan kedelai

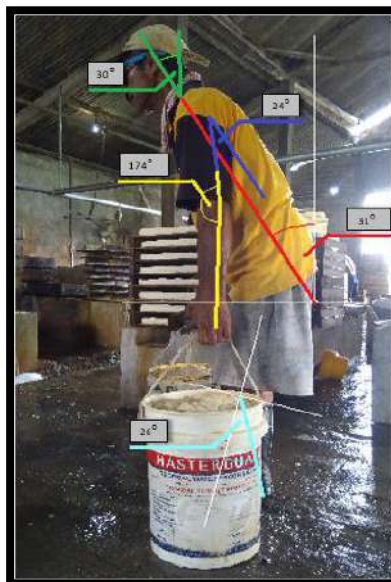
Table B	Lower Arm						
	1			2			
Upper Arm Score	Wrist	1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	9	9	

Sikap kerja operator (tabel 4) pada aktivitas pemasukan kedelai menunjukkan lengan atas karena bergerak kiri 90° dan kanan 77° diberi skor 4, lengan bawah dan pergelangan karena sudutnya yaitu $> 15^\circ$ kearah atas maka diberi skor 2 dan +1 karena berputar maka. Skor 7 didapatkan karena dari hasil pengamatan postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan saat bekerja jika skor tersebut dimasukkan kedalam tabel B maka didalam tabel akan mendapati nilai 7 (Tabel 5) dan tidak ada penambahan skor pegangan, karena saat bekerja sudah memegang alat dengan pas. Nilai dari Tabel A & B pada tabel C maka didapatkan skor 9 (Tabel 6) proses pemasukan kedelai.

Tabel 6 Scoring tabel C proses memasukkan kedelai.

Score A (dari tabel A + nilai beban)	Tabel C											
	Score B (dari tabel B + nilai coupling)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Pada posisi kerja B (gambar 10) yaitu proses pengangkatan bak kedelai dilakukan analisis REBA, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 7, tabel 8, tabel 9 dan tabel 10.



Gambar 9 Operator melakukan posisi pengangkatan bak kedelai

Tabel 7 Scoring tabel A proses pengangkatan bak kedelai

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Leher (<i>neck</i>)	2	30° ke belakang	2
Batang tubuh (<i>trunk</i>)	3	31° ke depan	3
Kaki (<i>legs</i>)	0	< 30° kaki bertopang, bobot tersebar merata + 1	1

Tabel 8 Scoring tabel A proses pengangkatan bak kedelai

Table A		Neck											
		1				2				3			
Trunk Posture Score	Legs												
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Sikap kerja operator pada aktivitas pengangkatan bak kedelai memperlihatkan leher karena bergerak 30° ke belakang maka diberi skor 2, batang tubuh karena tubuh 31° ke depan maka diberi skor 3, dan kaki memperoleh skor 0 karena posisi kaki < 30° tetapi +1 karena kaki bertopang. Nilai yang diperoleh dari hasil pengamatan postur leher, batang tubuh, dan kaki saat bekerja skor tersebut dimasukkan kedalam tabel A dan didapatkan skor 4 dan tidak ada penambahan pada nilai beban karena beban yang diangkat 0 kg jadi tabel A nilai 4

Tabel 9 Scoring tabel B proses pengangkatan bak kedelai

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Lengan atas (<i>upper arm</i>)	2	24° flexion +1 lengan sesuai dengan arah gravitasi	3
Lengan bawah (<i>lower arm</i>)	2	174° > 100° flexion	2
Pergelangan tangan (<i>wrist</i>)	1	karena posisi pergelangan tangan berada pada 0°	1

Tabel 10 Scoring tabel B proses pengangkatan bak kedelai

Table B		Lower Arm					
		1			2		
Upper Arm Score	Wrist						
		1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Sikap kerja operator pada aktivitas pengangkatan bak kedelai menunjukkan lengan atas membentuk 24° ke bawah maka diberi skor 2, lalu +1 karena sesuai arah gravitasi, lengan bawah sudut antara 174° flexion maka diberi skor 2, dan pergelangan tangan diberi skor 1 karena posisi pergelangan tangan berada di posisi 0°. Nilai yang dicapai dari hasil penilaian postur lengan segmen atas, lengan segmen bawah, dan pergelangan tangan saat bekerja skor tersebut dimasukkan kedalam tabel B dan didapatkan skor 4 (Tabel 21) dan tidak ada penambahan skor pegangan, karena saat bekerja sudah memegang alat dengan pas, setelah memasukkan skor akhir tabel A & B di tabel C maka didapatkan skor 4

Tabel 11 Scoring tabel C proses pengangkatan bak kedelai

Score A (dari tabel A + nilai beban)	Tabel C											
	Score B (dari tabel B + nilai coupling)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12



Gambar 10 Operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Tabel 12 Scoring tabel A Operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Leher (<i>neck</i>)	2	29° kedepan	2
Batang tubuh (<i>trunk</i>)	2	11° ke depan	2
Kaki (<i>legs</i>)	0	< 27° kaki posisi berjalan + 1	1

Tabel 13 Scoring tabel A operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Table A	Neck												
	1				2				3				
Legs													
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	

Sikap kerja operator pada aktivitas berjalan dengan kondisi mengangkat beban dengan kedua tangan menunjukkan leher diberi skor 2 karena bergerak 29° ke depan, batang tubuh diberi skor 2 karena tubuh 11° ke depan, dan kaki diberi skor 0 karena posisi kaki < 30° tetapi +1 karena kaki pada posisi berjalan. Skor yang didapat dari hasil pandangan postur leher, batang tubuh, dan kaki saat bekerja skor tersebut dimasukkan kedalam tabel A dan didapatkan skor 3 dan +2 penambahan pada nilai beban karena beban yang diangkat >10kg yaitu 25kg jadi tabel A nilai 5 (Tabel 23).

Tabel 14 Scoring tabel B Operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Postur Tubuh	Skor	Keterangan	Skor Akhir
Lengan atas (<i>upper arm</i>)	1	0° - 20° flexion maupun extension, +1 karena sesuai gravitasi	2
Lengan bawah (<i>lower arm</i>)	2	posisi lengan bawah 0° (<60° or >100°)	2
Pergelangan tangan (<i>wrist</i>)	1	karena posisi pergelangan tangan berada pada 0° - 15° flexion atau extension	1

Tabel 15 Scoring tabel B Operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Table B	Lower Arm						
	1			2			
Wrist							
	1	2	3	1	2	3	
Upper Arm Score	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	

Sikap kerja operator pada aktivitas proses berjalan dengan kondisi mengangkat beban dengan kedua tangan menunjukkan lengan atas diberi skor 1 karena bergerak 0° ke bawah, +1 karena sesuai gravitasi, lengan bawah diberi nilai 2 karena posisi lengan bawah membentuk sudut antara 0° , dan pergelangan tangan diberi skor 1 karena posisi pergelangan tangan berada di posisi 0° . Dari hasil penilaian postur lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan saat bekerja nilai skor tersebut dimasukkan kedalam tabel B dan didapatkan skor 2 (Tabel 15) dan tidak ada penambahan skor pegangan, karena saat bekerja sudah memegang alat dengan pas.

Tabel 16 Scoring tabel C Operator sedang melakukan gerakan berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Score A (dari tabel A + nilai beban)	Tabel C											
	Score B (dari tabel B + nilai coupling)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Setelah memasukkan skor akhir tabel A & B di tabel C maka didapatkan skor 4 (Tabel 16).

Analisa hasil pengolahan data diatas merupakan hasil dari analisa metode REBA yang telah dinilai berikut merupakan hasil rekapitulasi dari ke 3 postur kerja yang telah selesai dinilai

Tabel 17 rekapitulasi scoring postur kerja operator penggilingan kedelai

No	Postur Kerja	Skor Tabel A	Skor Tabel B	Skor Tabel C
1	Proses memasukkan kedelai	7	7	9
2	Proses pengangkatan bak kedelai	4	4	4
3	Proses berjalan dengan posisi kedua tangan mengangkat beban	5	2	4

Kategori dengan tindakan perbaikan yang dapat dilihat di Tabel resiko ergonomi.(tabel 18) dan Pengkatagorian skor REBA dapat dilihat di tabel 19.

Tabel 18 Tabel kategori resiko dan tindakan

REBA Skor	Risk Level	Tindakan
1	Diabaikan	Tidak Diperlukan
2-3	Low	Mungkin Diperlukan
4-7	Medium	Diperlukan
8-10	High	Segera Diperlukan
11-15	Very High	Diperlukan Sekarang

Tabel 19 Rekapitulasi nilai berdasarkan kategori

Skor Reba	Level Resiko	Tindakan	Postur Kerja
9	Tinggi	Perlu segera	Proses memasukkan kedelai
4	Medium	Diperlukan	Proses pengangkatan bak kedelai
4	Medium	Diperlukan	Proses berjalan dengan posisi kedua tangan mengangkat beban

Berdasarkan Tabel 19, terdapat 2 postur kerja dengan level resiko medium terkena MSDs yaitu pada proses berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban dan pada proses pengangkatan bak kedelai, dan 1 postur kerja dengan level tinggi terkena MSDa yaitu pada proses memasukkan kedelai.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai MSDs pada pekerja pembuatan tahu di usaha kecil menengah tersebut maka disimpulkan empat point yaitu posisi gerakan kerja, hasil nilai perhitungan REBA dan saran perbaikan posisi kerja untuk menurunkan risiko MSDs sebagai berikut. Posisi gerakan kerja dan keluhan operator penggilingan kedelai yang telah diidentifikasi melalui

survey memakai kuisioner *Nordic Body Map*. Terdapat 7 bagian yaitu pada bagian lengan, pada bagian punggung, pinggang, pantat (buttock), betis kiri, dan betis kanan.

Hasil nilai dari posisi gerakan kerja menggunakan metode REBA yaitu nilai tertinggi 9 pada posisi proses pemasukan kedelai, lalu nilai 4 medium pada proses pengangkatan bak kedelai, dan pada proses berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban.

Terdapat 2 postur kerja dengan level resiko medium terkena MSDs, dan 1 postur kerja dengan level tinggi terkena MSDs. Postur kerja proses penggilingan kedelai mendapatkan skor 9 dengan level resiko tinggi diusulkan memerlukan tindakan perbaikan postur kerja atau diberi alat bantu agar operator tidak kesulitan waktu memasukkan kedelai, serta postur berjalan dengan kondisi kedua tangan mengangkat beban mendapatkan skor 4 level resiko medium diperlukan perbaikan postur kerja agar dapat meminimalkan resiko kelelahan pada operator usulan perbaikan dapat dengan diberikan alat bantu untuk membawa bak ke tempat masak agar pada proses pemindahan tersebut tidak sepenuhnya menggunakan tenaga manusia tetapi dapat dibantu oleh alat bantu berupa gerobak dorong atau semacamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Restuputi, D, P., Wibisono, M, L. 2017. Metode REBA Untuk Pencegahan Musculoskeletal Disorder Tenaga Kerja, *Jurnal Teknik Industri*. Vol 18, ISSN: 2527-4112
- Wakhid, M. 2014. *Analisis Postur Kerja Pada Aktivitas Pengangkutan Buah Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Metode REBA*, Skripsi, Universitas Dian Nuswantoro.
- Tarwaka dkk, 2004. *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivita*. Edisi 1. Surakarta: Uniba Press.
- Supriyanto, 2011. *Perancangan Postur Kerja Pada Pekerja Bagian Pencucian dan Penggilingan Kedelai dengan Pendekatan REBA Untuk Mengurangi Resiko MSDS*. Skripsi, UMS Surakarta.
- Tiogana, V. & Hartono, N. (2020). *Analisis Postur Kerja Dengan Menggunakan REBA dan RULA di PT X*. *Journal of Integrated System*, 3(1), 9-25
- Imron, M. (2019). *Analisis Tingkat Ergonomi Postur Kerja Karayawan di Laboratorium KCP PT. STEELINDO WAHANA PERKASA Dengan Metode RULA, REBA dan OWAS*. *JITM*, 2(2)
- Chanty, E. (2019). *Analisis Fasilitas Kerja Dengan Pendekatan Ergonomi REBA dan RULA di Perusahaan CV. Anugerah Jaya*. *Journal Of Industrial And System Optimization*.
- Mulyono dkk, (2017). *Perancangan Alat Bantu Kerja Berdasarkan Analisis Postur Kerja Menggunakan Metode Rapid Entire Body Assesment (REBA) Pada Industri Aluminium*.

Persebaran Salinitas Air Tanah Di Kecamatan Dukuhseti Kabupaten Pati

Muchlis¹, Paramita Dwi Sukmawati², Arie Noor Rakhman*³, Thomas Budi Antoni⁴
^{1,2,4}Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta
³Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: arie_rakhman@akprind.ac.id

ABSTRACT

Residential areas dominate the coast of Dukuhseti District and pond land. Numerous pond land uses have the potential to cause high groundwater salinity in Dukuhseti District, because the pond land uses saltwater so it is very easy to seep into the ground either above the surface or below the ground surface. Aims of this study was to determine the level and distribution of groundwater salinity in Dukuhseti District. This research is a quantitative descriptive analysis based on the Goetz salinity classification and the classification of the groundwater conservation zone of the Department of Energy and Mineral Resources. The results showed that the salinity of well water in the Dukuhseti District has a value of 0 mg / l to 15,000 mg / l. The detected salinity is still in the fresh-brackish category. Based on the groundwater conservation zone, the Department of Energy and Mineral Resources, groundwater in Dukuhseti District divided into 3 categories, namely safe, vulnerable, and critical. The distance from the beach-line and pond land mostly influenced the level of salinity in groundwater.

Keywords : Beach-line, groundwater, groundwater conservation zone classification, ponds, salinity,

INTISARI

Daerah sekitar pesisir Kecamatan Dukuhseti didominasi oleh kawasan pemukiman dan lahan tambak. Banyaknya penggunaan lahan tambak berpotensi menyebabkan tingginya salinitas air tanah di Kecamatan Dukuhseti, karena lahan tambak menggunakan air asin sehingga sangat mudah merembes ke dalam tanah baik melalui atas permukaan ataupun bawah permukaan tanah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat dan sebaran salinitas air tanah di Kecamatan Dukuhseti. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif kuantitatif berdasarkan klasifikasi salinitas Goetz, dan klasifikasi zona konservasi air tanah Departemen Energi Sumber Daya Mineral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa salinitas air sumur di wilayah Kecamatan Dukuhseti memiliki nilai 0 mg/l sampai dengan 15.000 mg/l. Salinitas yang terdeteksi masih dalam katagori tawar-payau. Berdasarkan zona konservasi air tanah Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral air tanah di Kecamatan Dukuhseti masuk kedalam 3 kategori yaitu aman, rawan, dan kritis. Kadar salinitas pada air tanah sebagian besar dipengaruhi oleh jarak dari garis pantai dan penggunaan lahan tambak.

Kata Kunci: Air tanah, garis pantai, klasifikasi zona konservasi air tanah, lahan tambak, salinitas.

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan dasar bagi makhluk hidup termasuk manusia. Kebutuhan akan air tersebut dapat diperoleh dari berbagai macam sumber, antara lain : air hujan, air permukaan, atau air tanah. Perkiraan kuantitas dan distribusi air di bumi sebesar 97 persen dari air di bumi ada di laut dan sisanya sebesar 1,7 persen ada di kutub-kutub bumi berupa es, 1,7 persen berupa air bawah tanah dan hanya 0,1 persen berada sebagai air permukaan dan atmosfer (Indarto, 2010).

Sumber air minum yang umum digunakan masyarakat adalah air sumur yang berguna untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan industri, karena mudah diperoleh dan juga sangat ekonomis. Gunawan (2012) menyatakan bahwa kebutuhan air semakin lama semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya kebutuhan hidup manusia, baik di daerah perkotaan maupun daerah pedesaan. Peningkatan tersebut dilihat dari dua hal yang saling tergantung satu sama lain yaitu sisi kualitas dan kuantitas, sedangkan jumlah air di permukaan bumi relatif tidak berubah dari waktu ke waktu karena pengaruh adanya daur air.

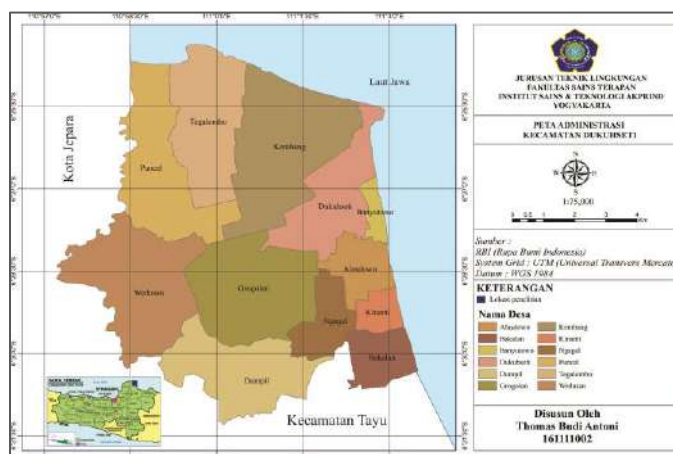
Pertambahan penduduk yang cepat banyak membawa dampak negatif terhadap sumberdaya air tanah baik secara kuantitas maupun kualitasnya. Penurunan kualitas air tanah di wilayah pesisir bisa diakibatkan oleh perembesan air laut. Perembesan air laut berdampak pada peningkatan kadar garam (salinitas) pada air tanah, karena air laut bercampur dengan air tanah (Baroroh dkk., 2019). Perembesan air laut bisa melalui penggunaan lahan seperti tambak. Lahan tambak di kawasan pesisir sangat berpengaruh terhadap terjadinya intrusi air laut yang menyebabkan salinitas air tanah menjadi tinggi, karena laju air laut menuju daratan sangat mudah baik melalui atas permukaan ataupun bawah permukaan tanah (Nurrohimi, 2012).

Kecamatan Dukuhseti adalah salah satu dari 21 kecamatan di kabupaten Pati dengan kondisi alam dan geografis terletak kurang lebih 35 km ke arah utara dari pusat kota Pati yang memiliki luas daerah 81,58 km² dengan jumlah desa sebanyak 12 desa yang umumnya merupakan dataran rendah dan berada di pesisir laut Jawa dengan ketinggian tanah antara 1 - 100 meter diatas permukaan laut. Pemanfaatan air sumur di Kecamatan Dukuhseti sebagian besar dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup sehari-hari yaitu mandi, mencuci dan lain-lain. Jumlah penduduk Kecamatan Dukuhseti yang tinggal di kawasan pesisir lebih banyak dari pada penduduk yang tinggal di daerah hulu atau di dataran tinggi. Hal itu menyebabkan aktivitas masyarakat dan kebutuhan dasar akan air bersih di kawasan pesisir Kecamatan Dukuhseti menjadi semakin besar, sehingga air tanah di kawasan tersebut dimungkinkan dimasuki oleh air laut ke air tanah.

Aktivitas masyarakat yang meningkat dan perubahan penggunaan lahan di kawasan pesisir Kecamatan Dukuhseti dari hutan mangrove dan lahan yang bervegetasi berubah menjadi tambak, pemukiman menyebabkan air laut mudah menuju ke daratan, karena tidak ada yang menghalangi lajunya air laut baik pasang air laut atau gelombang air laut. Hal itu diperparah dengan adanya lahan tambak yang membawa air laut ke daratan untuk kegiatan tambak seperti budidaya udang dan ikan bandeng sehingga mempercepat lajunya intrusi air laut dan menyebabkan salinitas pada air tanah di kawasan pesisir Kecamatan Dukuhseti menjadi payau atau asin. Oleh sebab itu, perlu diidentifikasi keberadaan perluasan intrusi air laut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat salinitas air tanah di Kecamatan Dukuhseti, dan bagaimana sebaran salinitas yang terjadi di Kecamatan Dukuhseti.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Dukuhseti yang terletak kurang lebih 35 kilometer arah utara dari kota Kabupaten Pati. Sedangkan dalam posisi astronomis terletak di antara 110°36"-110°50"BT dan 6°51"-7°16"LS, dengan elevasi 0 – 100 m diatas permukaan laut (dpl). Batas administrasinya yaitu sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Jepara, sebelah timur berbatasan dengan Laut Jawa, selatan berbatasan dengan Kecamatan Tayu, sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Cluwak. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Pati, (2019) luas wilayah mencapai ± 8.158,606 Ha, terbagi atas 12 desa dan mempunyai jenis tanah alluvial dan red yellow mediteran. Waktu penelitian adalah Juni 2020 sampai September 2020. Cakupan wilayah desa dalam Kecamatan Dukuhseti sebagai lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 : Lokasi Penelitian

Sampel berupa air tanah dangkal yang diambil dari 72 sumur yang di bagi menjadi 6 sampel perdesa dari 12 desa di Kecamatan Dukuhseti dengan pengambilan sampel menggunakan interval 200 m – 500 m disesuaikan dengan luas wilayah perdesa. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada pagi sampai siang hari dengan kondisi cuaca cerah di musim kemarau. Pengukuran kadar salinitas air sumur menggunakan hand refraktometer. Pengolahan dan analisis data tingkat salinitas berdasarkan tabel klasifikasi salinitas Goetz (Tabel 1), dan standart klasifikasi zona konservasi air tanah Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (Tabel 2).

Tabel 1. Klasifikasi Salinitas Goetz (1986)

No	Salinitas %	Klasifikasi
1	< 0,05	Air Tawar
2	0,05 –3,00	Air Payau
3	3,00 –5,00	Air Asin
4	> 5	Brine

Sumber : Goetz (1986)

Tabel 2. Klasifikasi Zona Konservasi Air Tanah Berdasarkan Pertimbangan Penurunan Kualitas Air Tanahnya.

No	Zona	Keterangan
1	Aman	Kenaikan salinitas kurang dari 1000 mg/l atau daya hantar listrik kurang dari 1000 μ S/cm.
2	Rawan	Kenaikan salinitas antara 1000-10.000 mg/l atau daya hantar listrik antara 1000-1500 μ S/cm.
3	Kritis	Kenaikan salinitas antara >10.000-15.000 mg/l atau daya hantar listrik antara >1500-5000 μ S/cm
4	Rusak	Lebih dari 100.000 mg/l atau daya hantar listrik lebih dari 5000 μ S/cm atau tercemar oleh logam berat dan atau bahan berbahaya dan beracun.

Sumber : Permen ESDM No.31 Tahun 2018

HASIL DAN PEMBAHASAN

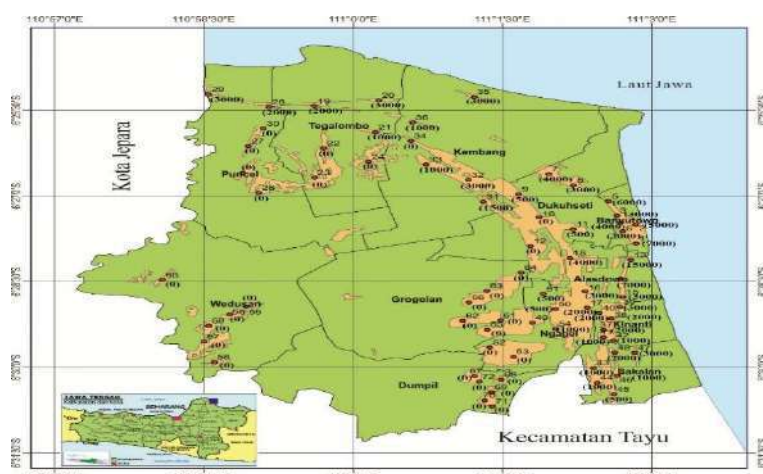
Nurrohim, (2012) mengatakan bahwa perubahan penggunaan lahan di wilayah pesisir dari hutan mangrove berubah menjadi tambak, pemukiman atau yang disebut reklamasi pantai, berpengaruh terhadap terjadinya intrusi air laut di kawasan pesisir yang membuat salinitas air tanahnya tinggi. Penggunaan lahan wilayah penelitian masih didominasi oleh lahan tambak, pemukiman dan persawahan, terutama diwilayah pesisir. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada area dengan elevasi bervariasi yaitu 3 mdpl sampai 89 mdpl. Wilayah terendah adalah wilayah pasang-surut timur yang berada di desa puncel, Tegalombo, Kembang, Dukuhseti, Banyutowo, Alasdowo, Kenanti, dan Bakalan yang berbatasan langsung dengan laut jawa. Wilayah ini merupakan areal terdampak langsung pasang surut. Wilayah tertinggi ada di beberapa desa yaitu desa Wedusan, Grogolan Ngagel, dan Dumpil yang dikelilingi oleh tegalan/kebun dan sawah.

Pengukuran salinitas dilakukan untuk mengetahui nilai salinitas pada air tanah di Kecamatan Dukuhseti. Tabel 3 dan gambar 2 merupakan hasil pengukuran tingkat salinitas air tanah.

Tabel 3. Nilai Salinitas Air Tanah Di Kecamatan Dukuhseti

Sampel	X	Y	Salinitas		Jarak dari pantai (m)	Sampel	X	Y	Salinitas		Jarak dari pantai (m)
			(‰)	(mg/l)					(‰)	(mg/l)	
1	505243	9285502	7	7000	100	11	504081	9285974	0.5	500	1300
2	505236	9286102	5	5000	100	12	503291	9285418	0	0	2000
3	504888	9286413	3	3000	200	13	505147	9284976	15	15000	100
4	504957	9286178	4	4000	200	14	504967	9284363	7	7000	500
5	504733	9286867	6	6000	300	15	504999	9283785	3	3000	600
6	504997	9285901	3	3000	300	16	504298	9283973	3	3000	1300

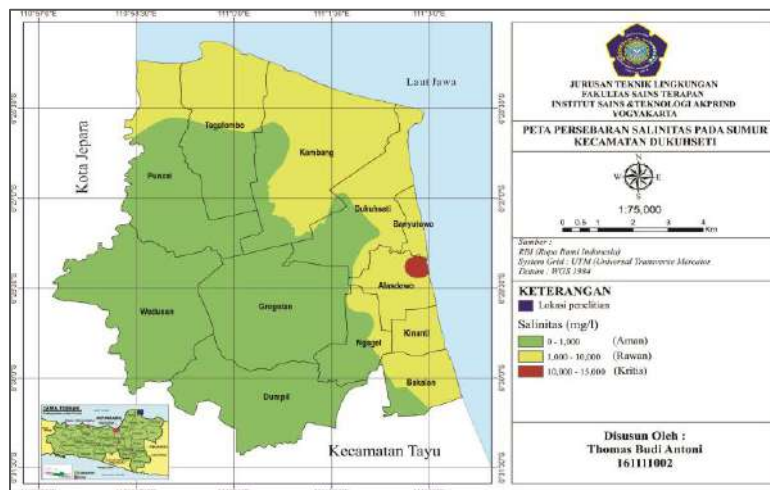
7	504091	9287387	4	4000	1300	17	504338	9283440	2	2000	1300
8	503627	9287749	3	3000	1000	18	504019	9285046	4	4000	1400
9	503067	9287097	0.5	500	2000	19	499284	9289941	2	2000	1200
10	503448	9286360	0	0	1800	20	500482	9290122	3	3000	1000
21	500416	9289087	1	1000	2000	47	505219	9281983	3	3000	700
22	499464	9288578	0	0	2500	48	504845	9281991	2	2000	1300
23	499295	9287633	0	0	3500	49	503326	9282951	0	0	2200
24	500291	9288133	0	0	2700	50	503750	9283398	0.5	500	1800
25	497956	9287784	0	0	3000	51	503524	9283889	2	2000	2000
26	498259	9287136	0	0	3500	52	502536	9282154	0	0	3100
27	498063	9288646	0	0	2200	53	502975	9281854	0	0	2800
28	498446	9289911	2	2000	1000	54	503757	9282751	1	1000	1800
29	497324	9290313	3	3000	700	55	498021	9283472	0	0	6600
30	498345	9289210	0	0	1600	56	497719	9283223	0	0	6800
31	502420	9286851	1.5	1500	3000	57	497244	9282353	0	0	7500
32	502142	9287559	3	3000	2500	58	497434	9281684	0	0	8200
33	501357	9288054	1	1000	2300	59	497330	9282853	0	0	7200
34	501074	9288816	0	0	2000	60	496470	9284333	0	0	6000
35	502245	9290236	3	3000	200	61	502736	9283026	0	0	2800
36	501104	9289404	1	1000	1500	62	502031	9283013	0	0	3500
37	504642	9282726	2	2000	1100	63	502488	9283987	0	0	2900
38	504785	9283086	2	2000	900	64	503116	9284567	0	0	2100
39	504950	9283463	3	3000	700	65	502492	9282737	0	0	3000
40	504569	9283263	2	2000	1000	66	502147	9283614	0	0	3200
41	504638	9282490	1	1000	1000	67	502253	9281238	0	0	3600
42	504820	9282383	1	1000	900	68	502746	9281121	0	0	3400
43	504458	9281500	1	1000	1500	69	502567	9280713	0	0	3100
44	504522	9281021	1	1000	1500	70	502441	9280447	0	0	3200
45	504826	9280648	0.5	500	1300	71	502583	9280262	0	0	3100
46	504893	9281249	1	1000	1300	72	502338	9281056	0	0	3300



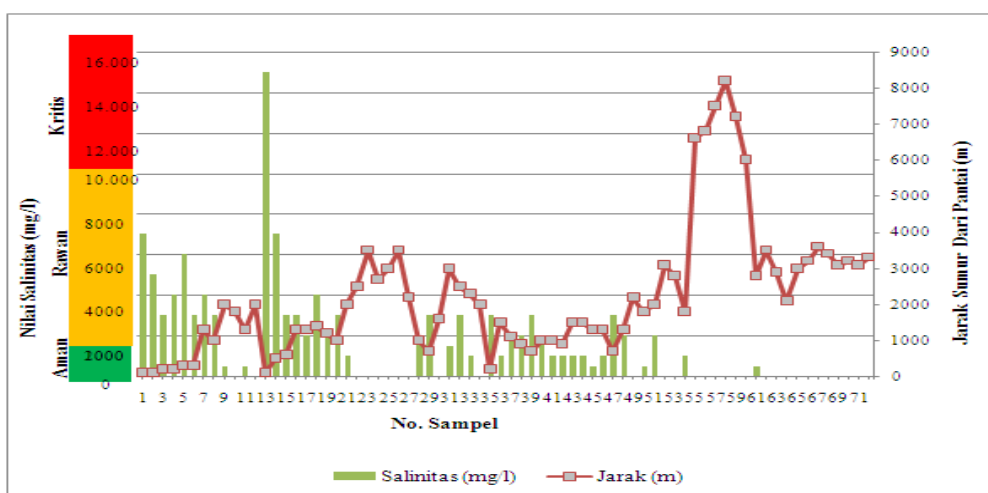
Gambar 2. Nilai salinitas titik sampel

Hasil pengukuran sampel air tanah pada Tabel 3 menunjukkan bahwa 37 dari 72 sampel terdeteksi payau yang rata-rata berada pada lokasi dekat dengan pantai, dekat dengan tambak ikan; dan 35 sampel terdeteksi tawar berada pada lokasi yang jauh dari pantai dan penggunaan

lahan sebagian besar sawah dan tegalan/kebun. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM tahun 2000 bahwa kualitas air asin atau payau tidak layak untuk dijadikan bahan baku air minum. Kemudian dari hasil pengukuran salinitas dan jarak sampel dari pantai membuktikan bahwa secara umum nilai salinitas menurun jika titik sampel semakin menjauhi pantai. Berdasarkan Permen ESDM No.31 Tahun 2018 klasifikasi sampel air tanah menurut zona konservasi air tanah Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, wilayah penelitian memiliki tiga jenis zona klasifikasi yaitu aman, rawan dan kritis. Dari 12 desa di Kecamatan Dukuhseti, wilayah dengan zona aman dengan nilai salinitas dibawah 1000 mg/l terdapat pada semua sampel yang berada di desa Dumpil, desa Grogolan, dan desa Wedusan. Wilayah tersebut memiliki jarak yang jauh dari pantai yaitu diatas 2500 meter dengan penggunaan lahan pemukiman, tegalan/kebun dan sawah. Wilayah dengan sebagian pada zona aman (salinitas < 1.000 mg/l) dan zona rawan (salinitas 1.000-10.000 mg/l) terdapat di desa Puncel, desa Tegalombo, desa Dukuhseti, dan desa Ngagel. Wilayah zona rawan dengan salinitas 1000-10.000 mg/l terdapat di desa Kembang, desa Banyutowo, desa Kenanti, desa Alasdowo, desa Bakalan. Wilayah zona kritis dengan salinitas 10.000-15.000 mg/l tanahnya terdapat di wilayah sebelah timur desa Alasdowo. Wilayah zona rawan hingga kritis tersebut memiliki jarak cukup dekat dari pantai berkisar kurang lebih 100 meter - 2000 m dengan penggunaan lahan pemukiman, tambak ikan, dan sawah. Peta dan grafik sebaran tingkat salinitas disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Peta sebaran sainitas Kecamatan Dukuhseti



Gambar 4. Grafik hubungan jarak sumur dari pantai dengan salinitas

Menurut Stannyson, (2018) jarak titik sampel dengan pantai berpengaruh terhadap perubahan warna air tanah dan nilai salinitas. Hal tersebut dapat dibuktikan dari adanya hasil penelitian yang terjadi perubahan warna air sumur penduduk jika jarak sumur ke pantai dekat

akan berwarna seperti kekuning-kuningan dan rasanya asin dengan salinitas tinggi dan jika semakin jauh jarak sumur ke pantai air nya jernih dengan salinitas rendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

1. Arah aliran

Aliran air tanah sangat mempengaruhi kondisi daerah pantai, karena aliran ini menjaga keseimbangan antara air laut dan air tanah. Diketahui juga bahwa aliran air tanah pada kondisi geologi tertentu mengubah unsur kimia yang lain menjadi unsur kimia yang komposisinya sama dengan air laut, Pada lokasi penelitian daerah pesisir pantai atau hilir merupakan daerah buangan (*discharge area*) dan daerah hulu atau dataran tinggi merupakan daerah tangkapan (*recharge area*). Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa aliran air tanah cenderung mengubah secara perlahan komposisi kimia air (salinitas). Karena jika dari hulu ke hilir waktu aliran air pendek atau sedikit aliran air yang menuju ke hilir maka kandungan garam yang terakumulasi di dalam tanah akibat lebih besarnya penguapan dari pada presipitasi air hujan tidak akan terjadi pencucian basa-basa secara intensif. Sehingga air tanah yang berada didaerah hilir salinitasnya akan meningkat

2. Geomorfologi

Bentuk lahan marin adalah bentuk lahan yang terbentuk oleh proses marin, baik proses yang bersifat konstruktif (pengendapan) maupun destruktif (abrasi). Daerah yang terpengaruh air permukaannya yang bersifat asin secara langsung maupun daerah pasang surut tergolong dalam bentuk lahan marin ini. Dilihat dari gambar 3, peta sebaran salinitas di Kecamatan Dukuhseti menunjukkan wilayah dengan salinitas tinggi berada pada lahan marin yang merupakan daerah dekat dengan pantai.

3. Geologi

Daerah penelitian merupakan dataran rendah bagian dari Zona Rembang yang berbatasan dengan bagian timur laut dari lereng Gunung Muria. Dataran rendah tersebut, secara stratigrafi tersusun oleh endapan alluvial dengan batuan dasar satuan Tuf Muria yang berumur Pleistosen atas (Kadar dan Sudijono, 1993; Anonim, 2020). Struktur geologi regional seperti Sesar Tayu di bawah alluvial menunjukkan pola-pola kelurusan bukaan (*lineament*) berupa celah-celah yang menembus batuan dasar (NTT, 2000). Sesar regional Tayu merupakan sesar utama yang paling berpengaruh dalam pembentukan sesar-sesar yang lebih kecil di daerah Semenanjung Muria dan sekitarnya (Noor, 2008). Sesar Tayu merupakan sesar mendatar mengkiri dengan bidang sesar miring ke utara dan berarah baratdaya – timurlaut (SW – NE) menerus sampai ke pantai Tayu (Hutubessy, 2003). Sesar ini bagian sesar mikro di Zona Semenanjung Muria dan sekitarnya secara tektonik merupakan sesar aktif dengan aktivitas gempa berkedalaman hiposenter yang sangat dangkal, membujur dari Gunung Muria ke arah utara hingga pantai utara (MuriaNews, 2016). Sifat fisik batuan tuf merupakan batuan lunak, kompak, dominan berukuran butir debu halus – kasar (<0,04 mm), silikaan. Penyebaran tuf ini mengelilingi daerah di sekitar Gunung Muria tetapi ketebalannya tidak terlalu besar. Densitas tuf dari satuan batuan Tuf Muria adalah 2,4 gr/cm³ (Balulu, 2011). Keberadaan rekahan pada batuan dasar Tuf Muria berpotensi sebagai media permeabilitas sekunder. Rendahnya pengaruh salinitas air tanah di daerah penelitian menunjukkan keberadaan permeabilitas sekunder yang cenderung minor. Walaupun demikian pengaruh dari struktur geologi regionalnya perlu diwaspadai mengingat struktur Sesar Tayu mempunyai kaitan keaktifan dengan struktur geologi regionalnya, Sesar Muria di Semenanjung Muria, timur laut Pati.

4. Pasang surut air laut

Pada saat terjadinya pasang, air laut akan merembes masuk ke dalam air tawar. Wilayah pesisir kecamatan Dukuhseti terjadi pasang surut setiap hari sehingga air laut berada diatas ketinggian normal dan menyebabkan air laut mudah merembes kedalam air tanah karena berat jenis air laut lebih besar dibandingkan dengan berat jenis air tawar. Air laut akan merembes ke dalam tanah ke arah daratan, karena adanya hubungan gaya hidrolik pada air tanah dan air laut. Maka air tanah pada jarak tertentu dan elevasi muka air tanah yang rendah dapat dengan mudah terkontaminasi air asin dari air laut.

5. Karakteristik pantai yang datar dan material tanah lempung pasiran

Dilihat dari Gambar 3 peta persebaran salinitas di Kecamatan Dukuhseti, air tanah pada zona rawan hingga kritis mempunyai material tanah lempung pasiran yang merupakan endapan alluvial dengan permeabilitas yang rendah dan topografi permukaan tanah datar. Tingginya nilai salinitas air tanah dapat disebabkan oleh dua aspek yaitu salinitas air laut dan akumulasi

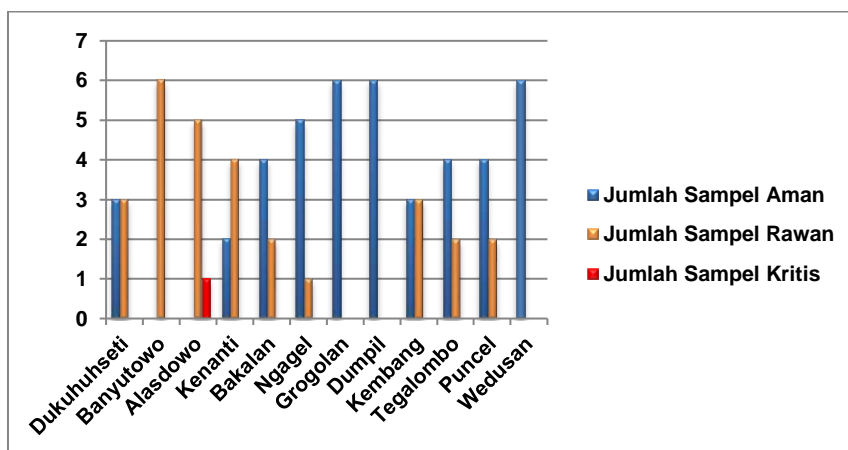
garam yang terendapkan. Material tanah yang berupa lempung tersebut akan mengikat air laut dengan kuat, hal inilah yang menyebabkan tingginya akumulasi garam pada tanah sehingga mempengaruhi salinitas pada air tanah menjadi payau hingga asin.

6. Penggunaan lahan

Salinitas terjadi bilamana keseimbangan antara air laut dan air tawar terganggu. Gangguan ini biasanya terjadi di daerah pantai di mana penduduk banyak tinggal. Semakin banyak manusia semakin banyak pula aktivitas yang dilakukan terhadap pantai khususnya dalam pemanfaatan air tanah sebagai sumber air bersih. Nasjono (2010) menyimpulkan bahwa hubungan pemukiman dan salinitas akan saling memberikan dampak (imbal balik), dalam pengertian bahwa pemukiman baik secara kuantitatif maupun kualitatif akan mempengaruhi salinitas di daerah pantai, demikian juga sebaliknya. Dalam penelitian ini penggunaan lahan di wilayah pesisir kecamatan Dukuhseti meliputi pemukiman, tambak ikan, dan sawah yang air tanahnya berada pada kategori zona rawan dan kritis. Penggunaan lahan tambak di wilayah pesisir sangat mendominasi, hal ini bisa membawa air laut jauh ke daratan. Karena lahan tambak menggunakan air asin sehingga air asin tersebut dapat merembes ke dalam tanah dan mencemari air tanah disekitarnya. Hal itulah yang juga membuat salinitas air tanah menjadi tinggi di kawasan pesisir Kecamatan Dukuhseti.

Hasil grafik hubungan salinitas dengan jarak sampel dari pantai tersebut juga terdapat nilai sampel dengan salinitas tertinggi yaitu pada sampel no.13 dengan nilai salinitas 15 ppt atau 15.000 mg/l dan jarak 100 m dari pantai. Namun ada beberapa sampel sumur no. 1 dan no. 2 dengan jarak yang sama 100 m dari bibir pantai tetapi nilai salinitas tidak setinggi sampel sumur no.13, hal ini dikarenakan oleh perbedaan banyaknya penggunaan lahan yang dipakai untuk tambak ikan atau tambak udang. Di lokasi penelitian sampel no13 banyak dikelilingi oleh lahan tambak, dibandingkan dengan sampel no.1 dan no.2 yang penggunaan lahan tambak tidak sebanyak yang berada pada lokasi sumur no.13. Sehingga ketika air tanah kuantitasnya berkurang saat musim kemarau maka air asin di tambak akan mudah merembes dan mengisi rongga-rongga yang kosong ke dalam tanah dan mencemari air tanah.

Dari gambar 2 tersebut dapat juga di kelompokkan wilayah desa mana saja yang mempunyai zona air tanahnya aman, rawan, dan kritis, dapat dilihat pada gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Zonasi air tanah tiap desa di Kecamatan Dukuhseti

Dari gambar 5 diatas dapat dijelaskan bahwa persebaran salinitas air tanah di wilayah Kecamatan pada zona aman, rawan, hingga kritis. Persebaran salinitas di Kecamatan Dukuhseti dari 12 desa tersebut mempunyai kategori air tanah yang berbeda-beda yaitu pada desa Dukuhseti, desa Kenanti, desa Bakalan, desa Ngagel, desa Kembang, desa, Tegalombo, desa Puncel air tanahnya tersebar dengan kategori zona sebagian aman dan sebagian rawan. Desa Banyutowo air tanahnya tersebar dengan kategori semua zona rawan. Desa Alasdowo air tanahnya tersebar dengan kategori zona rawan dan sebagian kecil kritis. Desa Grogolan, desa Dumpil, dan desa Wedusan air tanahnya tersebar dengan kategori semua zona aman.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari pemetaan persebaran salinitas pada sumur di Kecamatan Dukuhseti Kabupaten Pati bahwa salinitas air sumur di wilayah Kecamatan Dukuhseti memiliki nilai 0 ‰ atau 0 mg/l sampai dengan 15 ‰ atau 15.000 mg/l. Salinitas yang terdeteksi masih dalam katagori tawar-payau. Berdasarkan zona konservasi air tanah Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral air tanah di Kecamatan Dukuhseti masuk kedalam 3 kategori yaitu aman, rawan, dan kritis. Dari 12 desa kategori air tanah dengan zona aman yaitu berada di desa Dumpil, Wedusan, Grogolan. Kategori zona air tanah sebagian aman dan sebagian rawan yaitu berada di desa Puncel, Tegalombo, Kembang, Dukuhseti, Ngagel, Kenanti, Bakalan. Kategori zona air rawan berada di desa Banyutowo. Dan kategori zona air tanah rawan dan sebagian kecil kritis berada di desa Alasdowo. Tingginya salinitas lebih banyak dipengaruhi oleh jarak dari garis pantai dan penggunaan lahan tambak.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2020). *Profil Daerah Kabupaten Pati*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pati, diakses pada situs <https://bpbd.patikab.go.id/halaman/detail/profil-daerah> pada 7 Maret 2021.
- Badan Pusat Statistik Pati. (2019). *Kecamatan Dukuhseti dalam Angka 2019*. BPS Pati.
- Balulu, N. (2011). Analisis Struktur Bawah Permukaan Gunung Muria dan Sekitarnya Menggunakan Metode Gravitasi, *Jurnal Neutrino*, 3(2), April 2011.
- Baroroh, Z.F., Harsono, T.C.N., Sya'ban, M.B.A. & Dahlia, S. (2019). Sebaran Salinitas Air Tanah Bebas di Desa Pulogading Kecamatan Bulakamba Kabupaten Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*, 3(2), Juli 2019.
- Goetz, P. W. (1986). *The New Encyclopaedia Britannica*. Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago.
- Gunawan, S. (2012). *Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sumur Pada Permukiman Penduduk di Desa Dagang Kelambir Kecamatan Tanjung Morawa Kabupaten Deli Serdang*. Tesis. Universitas Sumatera Utara.
- Hutubessy, S. (2003). Struktur Sesar Bawah Permukaan dan Implikasinya Terhadap Pemunculan Kelompok Gunungapi di Semenanjung Muria, Jawa Tengah, Berdasarkan Pendekatan Analisis Gaya Berat, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 9(133), 37 - 54.
- Indarto. (2010). *Hidrologi*. Bumi Aksara.
- Kadar, D. & Sudijono. (1993). *Peta Geologi Lembar Rembang, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Keputusan Menteri ESDM. (2000). *Pedoman Teknik Penentuan Nilai Perolehan Air dari Pemanfaatan Air Bawah Tanah dalam Menentukan Pajak Pemanfaatan Air Bawah Tanah, Nomor 1451 K/10/MEM/2000*.
- MurianNews, (2016). BMKG Sebut Gempa di Timur Laut Pati Dibangkitkan Sesar Aktif, diakses pada situs <https://www.murianews.com/2016/07/19/88620/bmkg-sebut-gempa-di-timur-laut-pati-dibangkitkan-sesar-aktif.html> pada 9 Maret 2021
- Nasjono, J.K. (2010). Pola Penyebaran Salinitas pada Aquifer Pantai Pasir Panjang, Kota Kupang, NTT. *Jurnal Bumi Lestari*, 10(2), 263-269.
- Noor, A.A. (2008). Geomagnet dan Hubungannya Dengan Konfigurasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Cekungan Pati Bagian Selatan, Jepara, Jawa Tengah, *Bulletin of Scientific Contribution*, 6(1), Agustus 2008, 1-14.
- NTT (National Technical Team). (2000). *Volcanological Aspects of Muria Volcanic Complex and Their Hazard Assessment Report*. unpublished report to National Nuclear Energy Agency (BATAN), Feasibility Study of Nuclear Power Plant at Muria Peninsula, Central Java, Indonesia.
- Nurrohim A. (2012). Kajian Intrusi Air Laut di Kawasan Pesisir Kecamatan Rembang Kabupaten Rembang. *Jurnal Geo Image*, 1(1).
- Peraturan Menteri ESDM. (2018). *Tentang Pedoman Penetapan Zona Konservasi Air Tanah*. Nomor 31, Tahun 2018.
- Stannyson, E. (2018). *Pengaruh Intrusi Air Laut Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal Di Kecamatan Pekalongan Utara (Studi Kasus: Sumur Penduduk Daerah Pantai Panjang Dan Pantai Slamaran)*. Thesis. Unika Soegijapranata Semarang.

Pemanfaatan Serat Pohon Pisang Kepok (*Musa paradisiacal L*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Hardboard

Bambang Kusmartono¹, Murni Yuniwati², Zumratul Adzkiyaa³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknolgi AKPRIND
Yogyakarta

E-mail: murni@akprind.ac.id

ABSTRACT

Hardboard is a homogeneous panel made of cellulose fibers, which are combined with synthetic resins or other adhesive materials, which are glued together under heat and pressure. Cellulose fiber can be obtained from various plants. Additives can be added during the manufacturing process to change or improve the properties of the product. Banana plants after the fruit are taken will leave the stem (rib) of the banana tree which is rarely used so that it becomes useless agricultural waste. The midrib of the banana tree contains a lot of strong fiber so that it can be used as a product that has economic value, namely as a building material for hardboard. This research was conducted to utilize banana midrib into hardboard. The banana midrib was dried in the sun to dry than ground and sieved with a mesh screen to obtain various sizes of banana midrib fiber. The banana fiber was added with urea-formaldehyde, and PVAc with varied ratios and stirred until evenly distributed. Then the mixture is put into the concrete, pressed by hot pressing for 10 minutes, removed from the time, and design concrete. The results show that the smaller the fiber size, the harder the hardboard will be to absorb air, and the smaller it is to expand (not easy to absorb air and not expand). Meanwhile, the effect of the ratio of PVAc: Fiber: Urea-formaldehyde is that the greater the PVAc used, the easier it will be to absorb air, the larger, but smaller. The best condition of the hardboard manufacturing process in this research is to use a grain size smaller than 70 mesh and the ratio of PVAc to the material is 1.5:1, the resulting hardboard is hardboard density, water absorption 5 to 13%, and a maximum development percentage of 12%.

Keywords: banana, fiber, hardboard.

INTISARI

Hardboard merupakan sebuah panel homogen yang dibuat dari serat selulosa, yang dikombinasi dengan resin sintetik atau bahan perekat lainnya, yang direkatkan secara bersamaan dalam keadaan panas dan bertekanan. Serat selulosa dapat diperoleh dari berbagai tumbuhan. Bahan additive dapat ditambahkan selama proses pembuatan untuk merubah atau memperbaiki sifat yang dihasilkan. Tanaman pisang setelah diambil buahnya akan tersisa batang (pelepah) pohon pisang yang jarang digunakan sehingga menjadi limbah pertanian yang tidak berguna. Pelepah pohon pisang banyak mengandung serat yang kuat sehingga dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi yaitu sebagai bahan penyusun hardboard. Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan pelepah pisang menjadi hardboard. Pelepah pisang dijemur sampai kering kemudian digiling dan diayak dengan mesh screen untuk memperoleh berbagai ukuran serat pelepah pisang. Serat pisang ditambah urea formaldehyde, dan PVAc dengan perbandingan yang divariasikan lalu diaduk hingga merata. Kemudian campuran dimasukkan kedalam cetakan, ditekan dengan kempa panas dalam waktu 10 menit, dilepas dari cetakan dan didinginkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran serat akan diperoleh hardboard yang memiliki sifat lebih sulit menyerap air, dan persentase pengembangannya semakin kecil (tidak mudah menyerap air dan tidak mengembang). Sedangkan pengaruh perbandingan PVAc: Serat:Urea formaldehyde adalah semakin besar PVAc yang digunakan akan diperoleh hardboard semakin mudah menyerap air, kerapatan semakin besar, tetapi pengembangannya semakin kecil. Kondisi yang terbaik dari proses pembuatan hardboard dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan ukuran butir lebih kecil dari 70 mesh dan perbandingan PVAc dengan bahan adalah 1,5 :1, hardboard yang dihasilkan adalah hardboard densitas tinggi, penyerapan air 5 sd 13% dan persentase pengembangan maksimal 12%.

Kata Kunci: hardboard, pisang, serat

PENDAHULUAN

Tanaman pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) merupakan tanaman dalam golongan ternamonokotil tahunan berbentuk pohon yang tersusun atas batang semu. Batang semu ini

merupakan tumpukan pelepah daun yang tersusun secara rapat dan teratur. Percabangan tanaman bertipesimpodial dengan meristem ujung memanjang dan membentuk bunga lalu buah. Bagian bawah batang pisang menggelembung berupa umbi yang disebut bonggol. Pucuk lateral (*sucker*) muncul dari kuncup pada bonggol yang selanjutnya tumbuh menjadi tanaman pisang (lihat gambar 1). Buah pisang umumnya tidak berbiji atau bersifat partenokarpi.



Gambar 1. Pohon pisang

Tanaman pisang dapat ditanam dan tumbuh dengan baik pada berbagai macam topografi tanah, baik tanah datar ataupun tanah miring. Produktivitas pisang yang optimum akan dihasilkan pisang yang ditanam pada tanah datar pada ketinggian di bawah 500 m di atas permukaan laut (dpl) dan keasaman tanah pada pH 4,5-7,5. Suhu harian berkisar antara 25°C - 27°C dengan curah hujan 2000-3000 mm/tahun. Klasifikasi tanaman pisang kepok menurut Tjitrosoepomo (1991), adalah sebagai berikut: Regnum : *Plantae*, Divisio: *Spermatophyta*, Sub divisi: *Angiospermae*, Classis: *Monocotyledoneae*, Ordo: *Musales*, Familia: *Musaceae*, Genus: *Musa*, Spesies: *Musa paradisiaca* L. Seperti tanaman yang lainnya, tanaman pisang mempunyai bagian-bagian tanaman seperti akar, batang, daun, bunga, buah dan biji.

Akar

Menurut (Tjahjadi, 1991) akar pohon pisang merupakan akar serabut yang berpangkal dari umbi batang yang sebagian letaknya berada di bawah tanah. Dengan diameter sekitar 0,5-1 cm, berbentuk silinder menyebabkan terlihat besar dan tampak seperti cacing. Rata-rata panjangnya adalah 4-5 meter untuk yang menjalar kesamping dan hanya 75-150 cm untuk yang tumbuh kedalam tanah. Akar ini keluar dari batang dalam kelompok-kelompok yang terdiri dari 3-4 akar. Secara umum struktur anatomi akar tersusun atas jaringan epidermis, sistem jaringan dasar berupa korteks, endodermis, dan empelur; serta sistem berkas pembuluh yang terdiri dari xylem dan floem yang tersusun berselang-seling.

Batang

Batang pisang merupakan batang semu yang terbentuk dari pelepah daun yang membesar di pangkalnya dan mengumpul membentuk struktur berselangseling yang terlihat kompak sehingga tampak sebagai batang (*pseudo stem*). Batang pisang yang sebenarnya terdapat didalam tanah dan kadang-kadang muncul di permukaan tanah sebagai umbi yang tumbuh akar dan tunas. Secara umum batang tersusun atas epidermis yang berkutikula dan kadang terdapat stomata. Sistem berkas pembuluh yang terdiri atas xylem dan floem dan tersusun tersebar.

Daun

Secara fisiologi daun pisang menurut (Subartento *et al.*, 2006) berwarna hijau tua untuk daun yang dewasa dan hijau muda untuk daun yang masih muda kecuali untuk beberapa spesies, terdapat bercak merah pada lembaran daunnya atau pada ibu tulangnya. Daun pisang yang dewasa berbentuk lonjong dan bertulang menyirip sedangkan daun mudanya menggulung. Pelekatan daun pada batang membentuk roset batang. Helai daunnya lebih panjang dari tangkai daunnya. Daun pisang memiliki pelepah daun yang membesar dan mengumpul berselang seling membentuk suatu struktur seperti batang yang disebut *pseudo stem*. Dibawah permukaan daun memiliki lapisan kutikula untuk mencegah terjadinya penguapan berlebih sedangkan permukaan bawahnya dilapisi oleh suatu lapisan lilin tebal yang berfungsi menahan air agar tidak membasahi daun. Secara anatomi daun tumbuhan tersusun atas epidermis yang berkutikula dan terdapat stomata atau trikoma. Sistem

jaringan dasar pada daun monokotil dan dikotil dapat dibedakan. Pada tumbuhan dikotil sistem jaringan dasar (*mesofildaun*) dapatdibedakan atas jaringan pagar dan bunga karang.

Bunga dan Buah

Bunga terdiri dari kumpulan dua baris bunga pertama dan disusul bunga jantan. Braktea membuka secara sekuen sekitar satu per hari. Tangkai bunga terus memanjang sampai 1,5 m. Buah kemungkinan berkembang dari ovarium interior dan eksokarp disusun pada lapisan epidermis dan aerenkim, dengan daging menjadi mesokarp. Endokarp terdiri atas lapisan hampir rongga ovarium. Masing-masing node memiliki dua baris pada bunga yang membentuk tandan pada buah dan secara umum disebut *sisir* dengan buah individual yang disebut *finger*. Pisang *Cavendish* mempunyai 16 sisir pertandan dengan 30 *finger* persisir dan berat tandan buah \pm 70 kg.

Hardboard

Hardboard merupakan sebuah panel homogen yang dibuat dari serat lingo selulosa, yang dikombinasi dengan resin sintetik atau bahan perekat lainnya, yang direkatkan secara bersamaan dalam keadaan panas dan bertekanan. Bahan additive dapat ditambahkan selama proses pembuatan untuk merubah atau memperbaiki sifat yang dihasilkan (Ye Philip dkk, 2007). Bahan tersebut biasanya disebut dengan komposit. Bahan komposit merupakan material-material yang terdiri atas material yang dapat menahan beban yang kuat yang diikat oleh material lemah, biasanya disebut matrik atau perekat (Mujtahid, 2010). Menurut Mujtahid (2010), *Hardboard* dapat dibedakan menjadi tiga bagian antara lain *Insulating board*, *Medium density hardboard* (MDF), dan *Hardboard*. *Insulating board* adalah suatu panel yang terbuat dari serat selulosa yang diperkuat dibawah panas dengan densitas antara 160 – 500 kg/m³. MDF ini terbuat dari serat selulosa yang dikombinasikan dengan menggunakan resin. MDF ini mempunyai densitas antara 640-800 kg/m³. *Hardboard* adalah panel yang terbuat dari serat selulosa yang diperkuat dibawah panas dan tekanan dengan densitas lebih dari 500 kg/m³. Klasifikasi Panel *HardBoard* disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Klasifikasi Panel *Hard board* (Mutjahid, 2010)

Tipe board / papan	Densitas / kerapatan	
	Kg/m ³	lb/ft ³
<i>Insulating board</i>	160-500	10-31,2
<i>Medium density hardboard</i>	640-800	40-50
<i>Medium density hardboard</i>	500-800	31,2-50
<i>Hig density hardboard</i>	500-1450	31,2-90
<i>High density hardboard</i>	800-1280	50-80

Sedangkan penggolongan jenis *hard board* berdasarkan kerapatan serta ketetapan pengembangan tebal menurut SNI disajikan pada Tabel 2. dan Tabel 3

Tabel 2. Klasifikasi *hardboard* berdasarkan kerapatan

Jenis Papan Serat Kerapatan (g/cm ³)	
Papan Serat Kerapatan Rendah (PSKR)	< 0,40
Papan Serat Kerapatan Sedang (PSKS)	0,40-0,84
Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT)	> 0.84

Sumber : SNI 01-4449-2006

Tabel 3. Ketetapan pengembangan tebal *Hard board*

Jenis Papan Serat Pengembangan Tebal (%)	
Papan Serat Kerapatan Rendah (PSKR)	Maksimum 10
Papan Serat Kerapatan Sedang (PSKS)	Maskimum 12
Papan Serat Kerapatan Tinggi (PSKT)	Masimum 25

Standar fisis mekanis *hard board* mengacu pada *Japan Industrial Standard* yaitu JIS A 5908 - 2003 : *Particle & Hard Boards* dapat dilihat bahwa kerapatan (0,40 -0.90) gram/cm³, kadar air yang diperbolehkan yaitu 5-13 %, dan pengembangan tebal maksimal 12%. *Hardboard* ini biasanya dimanfaatkan sebagai panel, isolasi, dan cover pada konstruksi bangunan dimana dibutuhkan kekuatan pada setiap lembarannya. Selain itu juga dapat digunakan sebagai komponen pada pintu, cabinet, almari, dan peredam suara. (Windasari dkk., 2013)

Serat

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan knafataugoni. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relative seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nilon dan lain-lain (Schwartz, 1984). Tabel 4 Tersaji komposisi unsur kimia serat alam.

Tabel 4. Komposisi Unsur Kimia Serat Alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa(%)	Lignin (%)	Kadar Air (%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun Hemp	70-78	18-19	4-5	10-11
Cotton	90	6		7

Sumber : *Building Material and Technology Promotion Council*

Serat tanaman, seperti *kenaf*, *flax* dan *hemp*, sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penguat komposit untuk menggantikan serat gelas karena serat tanaman memiliki beberapa kelebihan seperti dapat diperbaharui, jumlahnya berlimpah, murah, ringan, dapat didegradasi, tidak kasar untuk pembuatan peralatan, ketika dibakar menetralkan CO₂ dapat dibakar dengan menghasilkan energi, tidak menyebabkan iritasi kulit, sifat mekanis yang baik, sifat akustik dan isolasi panas yang baik. Massa jenis serat tanaman adalah 40% dibawah massa jenis serat gelas (Peijs, 2002).

Pemanfaatan Limbah Batang Pisang

Banyak oraang menganggap pelepah pisang itu hanya sebuah sampah yang tidak memiliki nilai dan mereka menganggap hanya bisa mengotori lingkungan di sekitar mereka saja, sehingga pelepah pisang ini dianggap sebagai barang yang tidak berharga dan layak dibuang. Banyak pengrajin yang berupaya memanfaatkan limbah batang isang antara lain,

Di kota Yogyakarta beberapa perajin memanfaatkan batang pisang sebagai bahan baku pembuatan sajadah dari pelepah pisang yang ada di kota Sleman Yogyakarta. Ada juga pengrajin debog pisang oleh PSM (Penggerak Swadaya Masyarakat) Yogyakarta dan pengrajin *Bag Banana* atau tas dari pelepah pisang di Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo, DIY

Dalam penelitian ini akan dicoba memanfaatkan batang pisang sebagai bahan baku pembuatan hard board, Jenis pohon pisang yang diguakan adalag tanaman pisan kapok.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan baku pembuatan hard board yang digunakan adalah serat batang pisang, Urea formalehyd dan Lem PVAc.

Alat Penelitian

Alat utama dan ala pembantu pada penelitian ini antara lain adalah ayakan mesh, kempa hidrolik, cetakan, timbangan, anka sorong, ember, pengaduk.

Cara penelitian

Persiapan Serat batang pohon pisang

Batang pohon pisang yang digunakan berupa pohon pisang kepok, sebelum itu pohon pisang dipisahkan dari kulit terluarnya beserta gabus bagian luarnya, setelah ambil bagian dalam pohon pisang, pohon pisang telah disiapkan masih memiliki kadar air yang masih cukup tinggi dan harus dilakukan pengeringan terlebih dahulu, pengeringan menggunakan matahari sebagai pembunuh alami agar tidak tumbuh jamur atau bakteri kemudian digiling berbentuk serbuk.

Pembuatan *hard board*

Serat yang sudah disiapkan dicampur urea formaldehyde dan perekat PVAc lalu diaduk hingga merata. Kemudian campuran dimasukkan kedalam cetakan, kemudian dicetak menggunakan kempa panas dalam waktu 10 menit, setelah itu di diamkan sampai dingin kemudian di potong di rapihin, kemudian lanjut analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

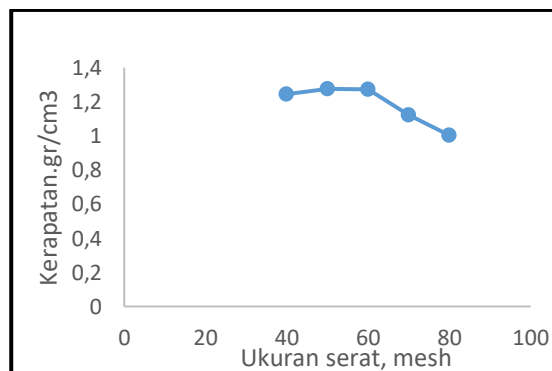
Pengaruh ukuran serat

Untuk mempelajari pengaruh ukuran serat terhadap kualitas hardboard yang dihasilkan, dilakukan dengan menggunakan serat dengan berbagai dalam mesh. Hasil dianalisis kerapatannya (densitas), penyerapan air, dan pengembangan bahannya.

Hasil penelitian pengaruh ukuran serat terhadap kerapatan dapat dilihat pada table 5 dan gambar 2 sebagai berikut:

Tabel 5. Pengaruh ukuran serat terhadap kerapatan bahan

Mesh	B(gr)	I (cm ³)	K (gr/cm ³)
40	486	390,74	1,243794
50	397,6	311,69	1,275626
60	383,8	301,31	1,273771
70	366,1	326,19	1,122352
80	450,6	448,87	1,003854

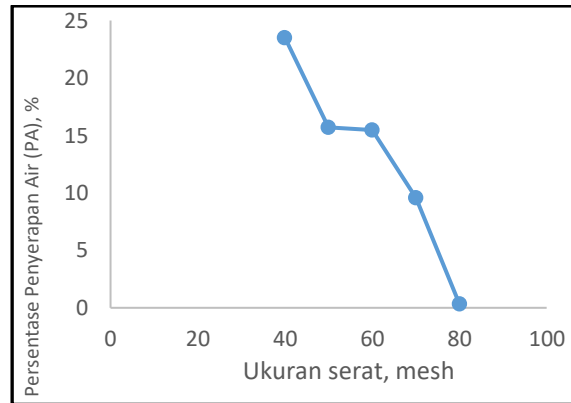


Gambar 2. Pengaruh ukuran serat terhadap kerapatan bahan

Dari tabel 3 dan gambar 2 dapat diamati bahwa semakin kecil ukuran serat akan diperoleh *hard board* yang kerapatannya semakin kecil, sedangkan kerapatan hardboard paling kecil diperoleh pada ukuran serat 80 mesh yaitu 1,0038 gr/cm³ atau 1003,8 kg/m³. Dari standar SNI hardboard yang dihasilkan dalam penelitian ini tergolong kategori *High density hardboard*. Pengaruh ukuran serat terhadap % penyerapan air dapat dilihat pada table 6 dan gambar 3 sebagai berikut:

Tabel 6. Pengaruh ukuran serat terhadap % penyerapan air

Mesh	B1(gr)	B2(gr)	PA(%)
40	486	600,2	23,50
50	387,6	448,5	15,71
60	383,8	443,1	15,45
70	366,1	401,2	9,59
80	450,6	452,1	0,33

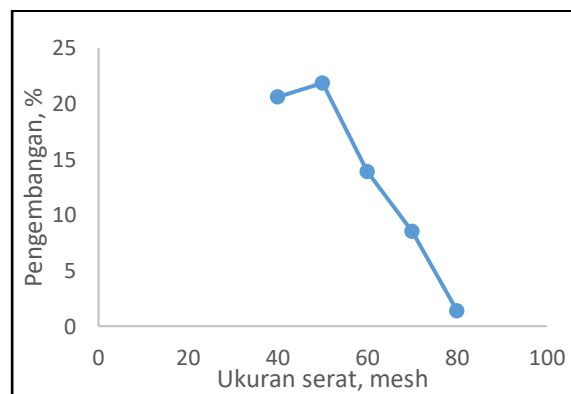


Gambar 3. Pengaruh ukuran serat terhadap % penyerapan air

Dari tabel 6 dan gambar 3 dapat diamati bahwa semakin kecil ukuran serat akan diperoleh *hard board* yang memiliki sifat lebih sulit menyerap air, Namun hanya ukuran serat 70 dan 80 mesh yang hasilnya memenuhi syarat % penyerapan airnya. Pengaruh ukuran serat terhadap % penyerapan air dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 4 sebagai berikut

Tabel 7. Pengaruh ukuran serat terhadap % pengembangan bahan

Mesh	T1 (gr)	T2 (gr)	PM(%)
40	0,655	0,79	20,61069
50	0,755	0,92	21,8543
60	0,54	0,615	13,88889
70	0,53	0,575	8,490566
80	0,73	0,74	1,369863



Gambar 4. Pengaruh ukuran serat terhadap % pengembangan bahan

Dari tabel 7 dan gambar 4 dapat diamati bahwa semakin kecil ukuran serat akan diperoleh *hard board* yang persentase pengembangannya semakin kecil (tidak mudah mengembang). Dengan ukuran serat 70 dan 80 mesh, hasil yang diperoleh memenuhi standar yaitu kurang dari 12% untuk *High density hardboard*

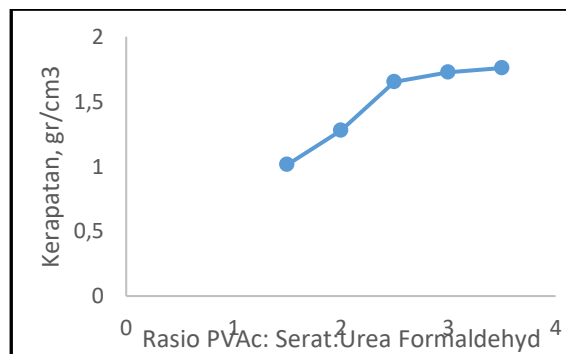
Pengaruh rasio bahan

Untuk mempelajari pengaruh ukuran serat terhadap kualitas *hard board* yang dihasilkan, dilakukan dengan mengeringkan kemudian menggiling batang pisang dan mengayaknya sehingga diperoleh serat batang pisang dengan berbagai ukuran dalam mesh. Serat pisang dicampur dengan bahan-bahan lain dengan perbandingan tertentu, kemudian diaduk rata lalu dimasukkan dalam cetakan panas dan ditekan dengan kempa dalam keadaan panas. Hasil cetakan dilepas dan dikeringkan kemudian dianalisis kerapatannya (densitas), penyerapan air, dan pengembangan

bahannya. Hasil penelitian pengaruh rasio bahan terhadap kerapatan dapat dilihat pada table 8 dan gambar 5 sebagai berikut:

Tabel 8, Pengaruh rasio bahan terhadap kerapatan

No	rasio	B(gr)	I (cm ³)	K (gr/cm ³)
1	1,5:1:1	550,6	543,918	1,012285
2	02:01:01	850	664,95	1,278292
3	2,5:1:1	1020	618,222	1,649893
4	03:01:01	1090	631,764	1,725328
5	3,5:1:1	1180	671,16	1,75815

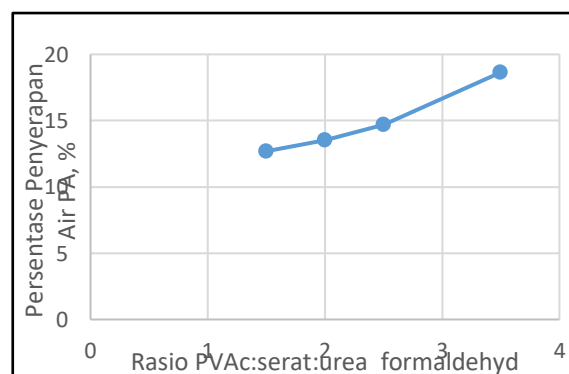


Gambar 5, Pengaruh rasio bahan terhadap kerapatan

Dari tabel 8 dan gambar 5 dapat diamati bahwa semakin semakin besar rasio PVAc : bahan yang semakin besar akan diperoleh hard board yang kerapatannya semakin besar), Dari standar SNI hard board yang dihasilkan dalam penelitian ini tergolong kategori *High density hardboard*. Pengaruh pengaruh rasio bahan terhadap % penyerapan air dapat dilihat pada table 9 dan gambar 6 sebagai berikut:

Tabel 9, Pengaruh rasio bahan terhadap % penyerapan air

No	rasio	B1(gr)	B2(gr)	PA(%)
1	1,5:1:1	550,6	620,5	12,69524
2	02:01:01	850	965	13,52941
3	2,5:1:1	1020	1170	14,70588
5	1:1:3.5	1180	1400	18,64407

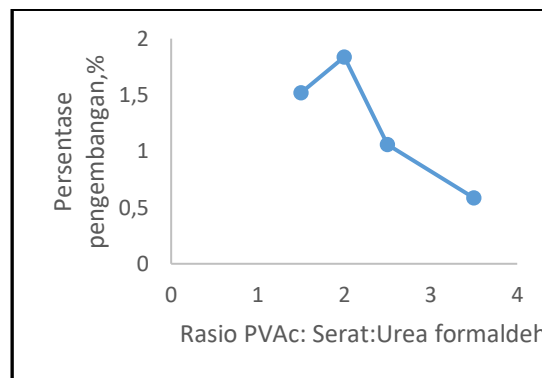


Gambar 6, Pengaruh rasio bahan terhadap % penyerapan air

Dari tabel 9 dan gambar 6 dapat diamati bahwa semakin besar rasio PVAc : bahan akan diperoleh hard board yang memiliki sifat lebih mudah menyerap air. Yang memenuhi syarat kadar air 5% sampai dengan 13% adalah rasio 1,5:1. Pengaruh rasio bahan terhadap % penyerapan air dapat dilihat pada table 10 dan gambar 7 sebagai berikut:

Tabel 10, Pengaruh rasio terhadap % pengembangan

No	Rasio	T1 (cm)	T2 (cm)	PM(%)
1	1,5:1:1	0,526	0,534	1,520913
2	02:01:01	0,653	0,665	1,837672
3	2,5:1:1	0,754	0,762	1,061008
4	1:1:3.5	0,855	0,86	0,584795



Gambar 7, Pengaruh rasio bahan terhadap % pengembangan

Dari tabel 10 dan gambar 7 dapat diamati bahwa semakin besar rasio PVAc: bahan akan diperoleh hardboard yang persentase pengembangannya semakin kecil (tidak mudah mengembang). Dengan ukuran serat berapapun, hasil yang diperoleh memenuhi standar kurang dari 12% untuk *High density hardboard*

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin kecil ukuran serat, akan menghasilkan hardboard dengan kerapatan semakin kecil, semakin sulit menyerap air dan semakin kecil prosentase pengembangannya,
2. Semakin besar rasio PVAc : bahan akan menghasilkan hardboard dengan kerapatan yang semakin besar, penyerapan air semakin besar tetapi pengembangan semakin kecil. Namun semua hardboard yang dihasilkan memenuhi syarat pengembangan kurang dari 12%.
3. Kondisi yang terbaik dari proses pembuatan hardboard dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan ukuran butir lebih kecil dari 70 mesh dan perbandingan PVAc dengan bahan adalah 1,5 :1, dengan hardboard yang dihasilkan adalah hard board densitas tinggi, penyerapan air 5 sd 13% dan persentase pengembangan maksimal 12%.

DAFTAR PUSTAKA

- Mujtahid., 2010, *Pengaruh Ukuran Serbuk Aren Terhadap Kekutan Bending, Densitas, dan Hambatan Panas Komposisi Semen-Serbuk Aren (Arenga Pinata)*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret.
- Schwartz.M., 1984, *Composite Materials Handbook*, Mc Graw Hill Inc, New York.
- Subartento et all., 2006, *Kimia Makanan*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Tjahjadi., 1991, *Taksonomi Tumbuhan Spermathophyta*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tjitrosoepomo.G., 1991, *Taksonomi Tumbuhan*, Jakarta Brathara Karya Aksara.
- Windsari dkk., 2013, *Pembuatan dan Karakteristik Plafon, dan Serbu Ampas Tebu dengan Perekat Poliester*. Departemen Fisika. Fakultas MIPA. USU . Medan
- Yephilip dkk., 2007, *Properties of Medium Density Fiberboard Made from Renewable Biomass*. Biorecourse Technology (98).1077-1084.

Studi Ekperimental Variasi Panjang Pipa *Suction* Terhadap Debit Limbah Dan Efisiensi Pada Pompa Hidram

Sarjono¹

¹Staf Pengajar (Jurusan Teknik Mesin, STTR Cepu)

E-mail: mbahjon1961@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of suction pipe length variations on waste discharge and hydram pump efficiency. The study used a hydram pump with a reservoir surface height of 2 m, a diameter of a 3-inch compressive tube and a height of 70 cm, a diameter of a conducting pipe of 0.5 inches and a height of 6 m and a variation in inlet pipe length of 2.5 m; 3 m; and 3.5 m. The results showed that the variation in suction pipe length affected the discharge and efficiency of the hydram pump. At 2.5 m suction pipe, the maximum discharge and efficiency are 1.25 liters / minute and 34.5%. When compared with the use of 3 m and 3.5 m length of the Suction pipe there is an efficiency difference of around 10%.

Keywords: *efficiency, hydram pump, suction pipe length, waste discharge,.*

INTISARI

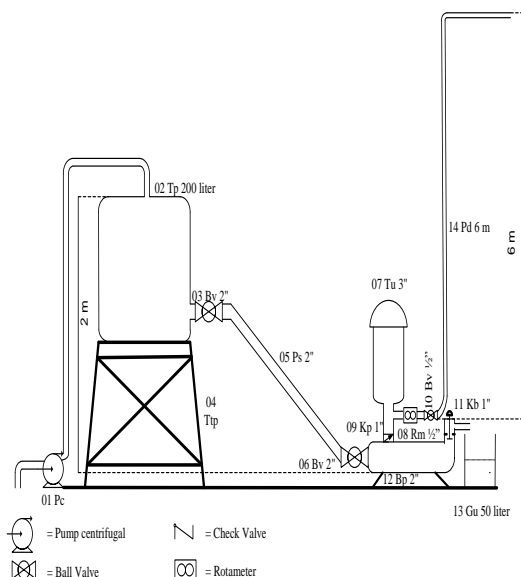
Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa suction terhadap debit limbah dan efisiensi pompa hidram. Penelitian menggunakan pompa hidram dengan tinggi permukaan reservoirnya 2 m, diameter tabung tekan 3 inchi dan tinggi 70 cm, diameter pipa penghantar 0,5 inchi dan tinggi 6 m serta variasi panjang pipa inlet 2,5 m; 3 m; dan 3,5 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi panjang pipa suction berpengaruh terhadap debit dan efisiensi pompa hidram. Pada panjang pipa suction 2,5 m menghasilkan debit dan efisiensi yang maksimal yaitu 1,25 liter/menit dan 34,5%. Jika dibandingkan dengan penggunaan panjang pipa Suction 3 m dan 3,5m ada selisih efisiensi sekitar 10%.

Kata kunci: debit limbah, efisiensi, panjang pipa suction, pompa hidran

PENDAHULUAN

Pompa hidrolis-ram atau hidram bekerja pada kondisi dimana jarak antara lubang dan katup limbah konstan, sedangkan tinggi pemompaan berubah-ubah. Ukuran pompa hidrolis-ram ditentukan oleh kapasitas yang dikehendaki dan jumlah air yang tersedia. Pompa harus dipasang serata mungkin untuk meyakinkan bahwa katup limbah yang diberi beban dapat jatuh tegak lurus ke bawah dengan gesekan sekecil mungkin. Menurut Herawati (2009), dalam penelitiannya tentang pengaruh panjang pipa *inlet* terhadap efisiensi pompa hidram menyimpulkan bahwa, semakin panjang pipa *inlet* semakin besar nilai efisiensi pompa.

Sementara Panjaitan (2012) dalam penelitiannya tentang pengaruh variasi tinggi tabung udara dan panjang pipa pemasukan terhadap unjuk kerja pompa hidram menyimpulkan bahwa variasi tinggi tabung udara dan panjang pipa pemasukan berpengaruh terhadap kapasitas pemompaan dan kinerja pompa hidram. Demikian juga Mubarok (2016), yang telah melakukan penelitian tentang pengaruh panjang pipa *inlet* terhadap kinerja pompa hidram menyimpulkan bahwa semakin panjang pipa *inlet* semakin tinggi debit yang dihasilkan pompa hidram. Instalasi pompa hidram dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Pompa Hidram

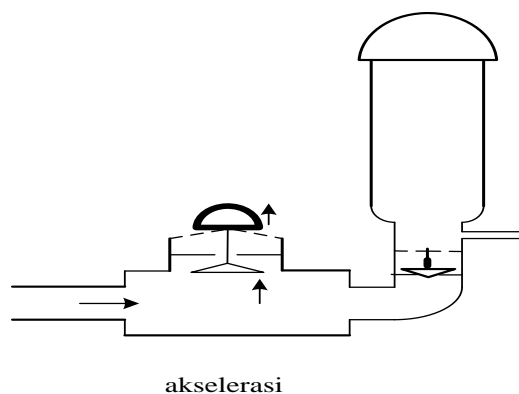
Keterangan:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. <i>Pump centrifugal</i> | 8. <i>Rotameter</i> 1/2" |
| 2. Tanki penampungan 200 liter | 9. Katup penghantar 1" |
| 3. <i>Ball valve</i> 2" | 10. <i>Ball valve</i> 1/2" |
| 4. Tower Tanki penampungan | 11. Katup limbah 1" |
| 5. <i>Pipa suction</i> 2" | 12. Badan pompa 2" |
| 6. <i>Ball valve</i> 2" | 13. Gelas ukur 50 liter |
| 7. Tabung udara 3" | 14. <i>Pipa discharge</i> 1/2" |

Berdasarkan posisi katup buang dan variasi kecepatan fluida terhadap waktu, cara kerja pompa hidram dapat dibagi menjadi 4 periode:

1. Akselerasi

Pada tahap ini katup buang terbuka dan air mulai mengalir dari sumber air melalui pipa *suction*, memenuhi badan hidram dan ke luar melalui katup buang. Akibat pengaruh ketinggian sumber air, maka air yang mengalir tersebut mengalami percepatan sampai kecepatannya mencapai nol, skema dapat dilihat pada Gambar 2. Posisi katup tekan masih tertutup. Pada kondisi awal seperti ini, tidak ada tekanan dalam tabung udara dan belum ada air yang ke luar melalui pipa penyalur.

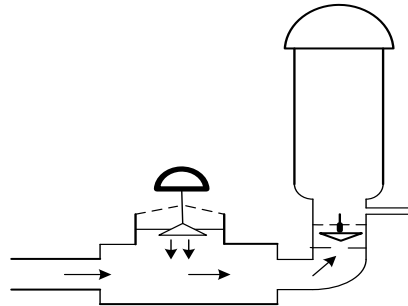


Gambar 2. Skema Pompa hidram pada tahap akselerasi.

2. Kompresi

Saat kompresi, air memenuhi badan pompa. Katup buang terus menutup dan akhirnya tertutup penuh. Pada saat itu air bergerak sangat cepat dan tiba-tiba ke segala arah yang kemudian mengumpulkan energi gerak yang berubah menjadi energi tekan.

Pada pompa hidram yang baik, proses menutupnya katup buang terjadi sangat cepat. Skema pompa hidram saat kompresi dapat dilihat pada gambar 3.

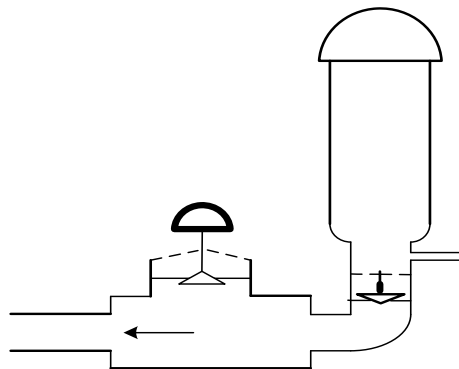


kompresi

Gambar 3. Skema pompa hidram saat kompresi

3. Penghantar

Pada tahapan yang ke tiga ini, keadaan katup buang masih tetap tertutup. Penutupan katup yang secara tiba-tiba tersebut menciptakan tekanan yang sangat besar dan melebihi tekanan statis yang terjadi pada pipa *suction*. Kemudian dengan cepat katup tekan terbuka sehingga sebagian air terpompa masuk ke tabung udara. Udara yang ada pada tabung udara mulai mengembang untuk menyeimbangkan tekanan dan mendorong air ke luar melalui pipa penyalur. Skema pada tahap ini dapat dilihat pada gambar 4.



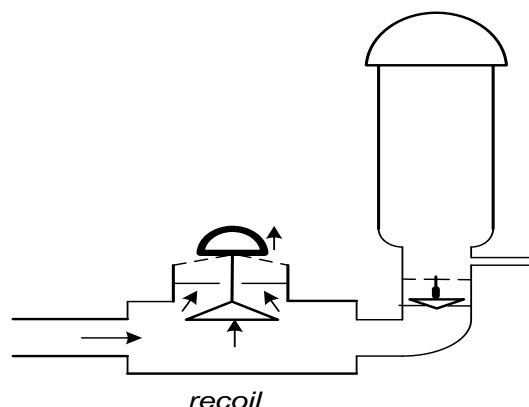
penghantar

Gambar 4. Skema Pompa Hidram Penghantar

4. Recoil,

Katup tekan tertutup dan tekanan di dekat katup tekan masih lebih besar dari pada tekanan statis di pipa *suction*, sehingga aliran berbalik arah dari badan hidram menuju sumber air.

Recoil (Gambar 5) menyebabkan terjadinya kevakuman pada hidram yang mengakibatkan sejumlah udara dari luar masuk ke pompa. Tekanan di sisi bawah katub buang berkurang, dan karena berat katub buang itu sendiri, maka katub buang kembali terbuka. Tekanan air pada pipa kembali ke tekanan statis sebelum siklus berikutnya terjadi.

Gambar 5. Skema Pompa Hidram *Recoil*

5. Efisiensi Pompa Hidram

Efisiensi pompa hidram dapat dihitung dengan persamaan D'Aubuisson dan Rankine (Arianta, 2010), D'Aubuisson Perhitungan efisiensi pompa hidram berpatokan pada katup buang untuk digunakan sebagai datum

$$\eta_A \eta_A: \frac{q(H+h)}{(Q+q)H} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- η : Efisiensi Pompa Hidram
- q : Debit Hasil, (m^3/s)
- Q : Debit Buang, (m^3/s)
- h : Head keluar, (m)
- H : Head masuk, (m)

Rankine

Permukaan air pada tangki pemasukan digunakan sebagai datum.

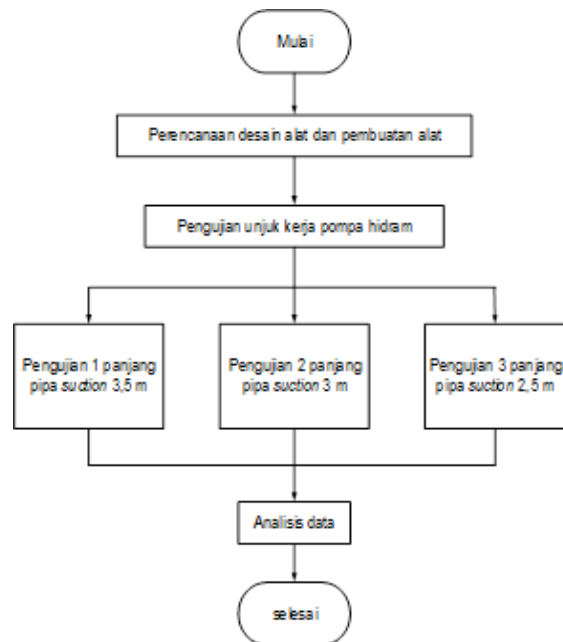
$$\eta_R: \frac{q.h}{(Q+q)H} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- η : Efisiensi Pompa Hidram
- q : Debit Hasil, (meter³/detik)
- Q : Debit Limbah, (meter³/detik)
- h : Head keluar, (meter)
- H : Head masuk, (meter)

METODE PENELITIAN

Penelitian variasi panjang pipa *suction* terhadap debit limbah dan efisiensi pompa hidram dilakukan di laboratorium Teknik Mesin STTR Cepu dengan diagram alir pada Gambar 6. Prosedur pengujian sebagai berikut:

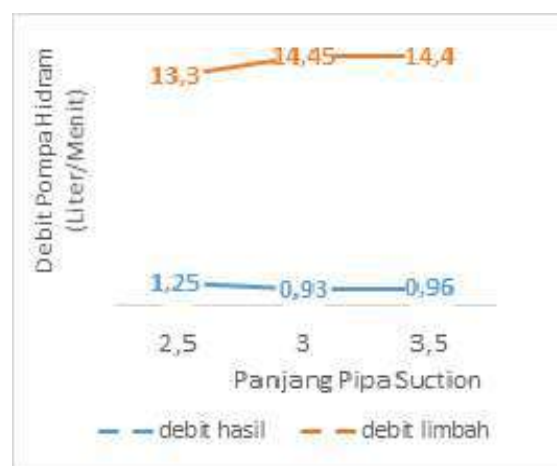


Gambar 6. Diagram Alir penelitian

1. Mengisi Reservoir sebagai suplai pompa sampai permukaan air penuh.
2. Memasang instalasi penelitian serapat mungkin agar tidak terjadi kebocoran pada pompa hidram khususnya pada sambungan sambungan pompa.
3. Mengatur beban dan langkah katup buang.
4. Memasang variasi panjang pipa *suction* 3,5 m, 3 m, 2.5 m.
5. Pengamatan pertama dilakukan pada panjang pipa *suction* 3,5 m. Sebelum dilakukan penelitian pompa dioperasikan terlebih dahulu agar berjalan maksimal sampai air keluar dari pipa penghantar. Setelah pompa berjalan stabil baru dilakukan pengambilan data pada debit hasil pompa pada tinggi pipa penghantar yang telah ditentukan. Kemudian dilakukan panjang pipa *suction* seterusnya sama dengan langkah poin 4 sampai 5.
6. Pencatatan data debit air limbah Q yaitu debit pada pompa yang ke luar dari katup limbah pompa hidram dan debit pompa q , yaitu setiap variasi panjang pipa *suction* 2,5 m, 3 m, 3,5 m pompa hidram dengan interval 1 menit dengan menggunakan alat ukur Rotameter, gelas ukur
7. Dilakukan pengisian dan pengolahan data penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

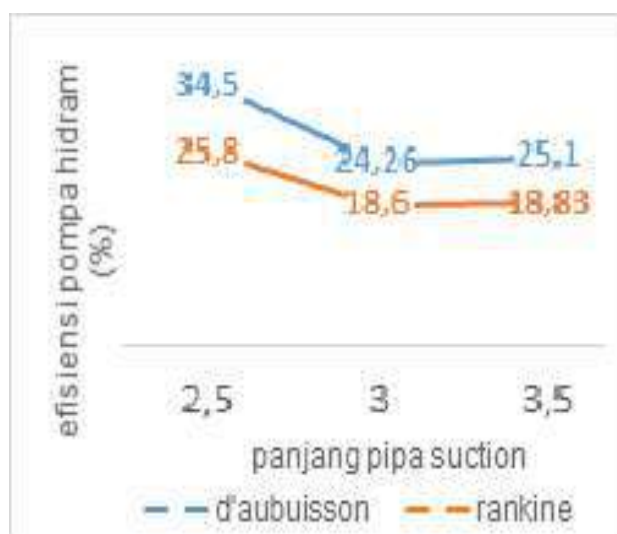
Dari data yang sudah diambil dan dilakukan perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut, dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Grafik debit pompa terhadap panjang pipa *suction*.

Dari gambar 7 diketahui bahwa panjang pipa *suction* berpengaruh pada debit hasil dan debit limbah yang dihasilkan. Debit hasil cenderung turun pada panjang pipa *suction* yang lebih tinggi. Pada pompa hidram dengan panjang pipa *suction* 250 cm menghasilkan debit rata-rata sebesar 1,25 lt/min. kemudian terjadi penurunan debit pada panjang pipa *suction* 300 cm dan 350 cm, namun tidak terlalu signifikan (di bawah 10%).

Dari gambar 7 dapat dijelaskan bahwa dengan head masuk dan head ke luar yang sama pada ketiga variasi panjang pipa *suction*, maka kinerja pompa hidram didasarkan pada debit yang dihasilkan. Debit pompa terbesar yang dihasilkan adalah 1,25 lt/min. Jadi, panjang pipa *suction* berpengaruh pada debit limbah yang dihasilkan. Dimana debit limbah secara signifikan turun pada panjang pipa *suction* yang lebih panjang. Hasil debit limbah rata-rata pada masing–masing panjang pipa *suction* (250 cm, 300 cm, dan 350 cm) adalah 13,3 lt/min, 14.45 lt/min, dan 14,4 lt/min (gambar 7).

Pada panjang pipa *suction* yang lebih pendek, saat air masuk mengisi pipa *suction* sampai tekanan cukup untuk menutup katup penghantar diperlukan waktu yang cepat, sehingga katup penghantar membuka dalam kurun waktu singkat. Pembukaan katup penghantar yang cepat tentu saja berpengaruh pada jumlah air yang melewati katup penghantar dan juga pada katup limbah. Dimana ke dua katup mendapatkan efek yang berlawanan dan posisi kemiringan pipa *suction* lebih dekat dengan reservoir. Pengaruh Panjang Pipa *Suction* Terhadap Efisiensi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik efisiensi terhadap panjang pipa suction

Dari gambar 8 diketahui bahwa semakin pendek panjang pipa *suction* maka akan berbanding lurus terhadap efisiensi yang dihasilkan. Efisiensi pompa tertinggi terjadi pada panjang pipa *suction* 250 cm yaitu sebesar 34,5 % menurut persamaan (1) dan 25,8 % menurut persamaan (2).

Sebaliknya pada pipa *suction* yang lebih panjang, waktu yang diperlukan untuk menutup katup penghantar cukup lama, sehingga air yang mengalir melewati katup penghantar menjadi lebih banyak akibat lamanya pembukaan katup penghantar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dari variasi 3 panjang pipa *suction* dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada panjang pipa *suction* 2,5 m menghasilkan debit sebesar 1,25 liter/menit dan panjang pipa *suction* 3,5 m sebesar 0,96 liter/menit. Maka semakin Panjang pipa *suction* semakin menurun debit yang dihasilkan pompa hidram.
2. Pada panjang pipa *suction* 2,5 m menghasilkan efisiensi maksimal sebesar 34,5 % menurut persamaan (1) dan 25,8 % menurut persamaan (2). Sedangkan panjang pipa *suction* 3 m sebesar 25,1 % menurut persamaan (1) dan 18,83 % menurut persamaan (2). sehingga semakin panjang pipa *suction* semakin menurun efisiensi yang dihasilkan pompa hidram.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianta; Ahmad Nur; 2010 *Pengaruh Variasi Ukuran Tabung Udara Terhadap Unjuk Kerja Sebuah Pompa Hidram*, Universitas Gadjah Mada
- Herawati; Yeni; 2009; *Panjang pipa inlet terhadap efisiensi pompa hidram*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mubarok; Afif; 2016; *Pengaruh Panjang Pipa Inlet Terhadap Kinerja Pada Pompa Hidram*; Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Panjaitan; Daniel Ortega; 2012; *Rancang Bangun Pompa Hidram dan Pengujian Pengaruh Variasi Tinggi Tabung Udara dan Panjang Pipa Pemasukan Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram*, Universitas Sumatera Utara.

PEDOMAN PENULISAN NASKAH

Bahasa

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris yang baku.

Susunan Naskah

Susunan naskah memuat judul, abstract, intisari, pendahuluan, metode, pembahasan, kesimpulan, dan daftar pustaka dan ditulis tanpa menggunakan nomor sub judul. Judul singkat dan jelas menunjukkan isinya, ditulis bold dalam bahasa Indonesia atau Inggris. Di bawah dicantumkan nama penulis (tanpa gelar) dan afiliasi, serta alamat email.

ABSTRACT dalam bahasa Inggris dan ditulis italic, dilengkapi dengan intisari berbahasa Indonesia yang memuat permasalahan, metodologi dan hasil. *Abstrac* dan Intisari memuat maksimal 300 kata dan dilengkapi dengan *keywords* atau kata kunci sebanyak 3-5 kata.

PENDAHULUAN berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi (jika ada) serta tinjauan pustaka dan landasan teori yang relevan, tanpa menggunakan sub judul. Sumber rujukan ditunjuk dengan menuliskan di dalam kurung: nama akhir penulis dan tahun penerbitan.

METODE dapat berupa metode penelitian kuantitatif, kualitatif, survei, model penelitian kombinasi atau menggunakan metode penelitian deskriptif.

PEMBAHASAN menguraikan hasil analisis kualitatif dan/atau kuantitatif dengan penekanan pada jawaban atas permasalahan.

KESIMPULAN berisi pernyataan singkat tentang hasil yang disarikan dari pembahasan. Saran dapat dituliskan pada bagian paling akhir.

DAFTAR PUSTAKA hanya memuat pustaka yang relevan dengan naskah dan disusun menurut abjad, menggunakan aplikasi Mendeley, EndNote atau aplikasi sejenisnya dengan menggunakan *American Psychological Association* (APA) style

Teknik Penulisan

Naskah diketik dengan jarak 1 spasi, pada format ukuran A4 (210 x 297 mm), halaman. Jenis huruf Arial 10 point, margin atas 2,5 cm, bawah 2.5 cm, kiri 3 cm, dan kanan 2.5 cm, Jumlah halaman 7-10 tanpa footnote. Gambar/Foto merupakan gambar digital (hasil scanner) yang menyatu dalam teks, menggunakan warna/*greyscale*. Penomoran tabel (di atas tabel), gambar (di bawah gambar) dengan nomor urut. Gunakan angka arab (1,2, 3 dst) untuk penomoran gambar,. Persamaan dituliskan dengan angka arab pada tepi kanan diantara tanda kurung.

PENDAHULUAN, METODE, PEMBAHASAN, KESIMPULAN dan DAFTAR PUSTAKA dibuat dengan 1 kolom

Pengiriman Naskah

Naskah dikirim ke Redaksi melalui laman <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/jurtek> secara *online*, melakukan registrasi (atau login bagi yang sudah mempunyai akun) terlebih dahulu kemudian mengunggah artikel dan Surat Pernyataan tertulis belum pernah dimuat dalam penerbitan lain.

Redaksi berhak menolak naskah yang tidak memenuhi kriteria/persyaratan teknis, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa dan berkonsultasi dengan penulis sebelum naskah dimuat.

