



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

EP-ISSN 2798-7310
P-ISSN 2620-3995

ALE 2025



INOVASI TEKNOLOGI MENYONGSONG INDONESIA EMAS 2045

ALE
PROCEEDING
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga kegiatan Seminar Nasional *Archipelago Engineering* (ALE) Fakultas Teknik Universitas Pattimura tahun 2025 dapat terselenggara dengan baik, sekaligus menghasilkan kumpulan artikel ilmiah dalam bentuk prosiding ini. Kegiatan ALE menjadi ajang tahunan yang sangat penting untuk mempertemukan ide, inovasi, dan hasil penelitian dari sivitas akademika, praktisi, serta mitra kerja dalam berbagai bidang keteknikan.

Prosiding ini memuat berbagai karya ilmiah yang mencerminkan perkembangan terkini di bidang teknologi, rekayasa, dan penerapan ilmu teknik yang adaptif terhadap tantangan lokal maupun global. Setiap artikel yang dimuat telah melalui proses seleksi dan peninjauan oleh tim reviewer yang kompeten guna menjamin mutu akademik dan kontribusi ilmiahnya. Kegiatan ini juga menjadi ruang strategis dalam mendukung Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya dalam aspek penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Kami menyadari bahwa penyusunan prosiding ini tidak terlepas dari kerja sama berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh penulis, narasumber, panitia, mitra, dan reviewer yang telah memberikan kontribusi terbaiknya. Semoga kerja sama dan semangat kolaborasi yang terbangun dalam kegiatan ini dapat terus dikembangkan di masa depan.

Akhir kata, kami berharap prosiding ALE 2025 ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta dapat menginspirasi lebih banyak inovasi dan penelitian yang berdampak bagi masyarakat dan lingkungan sekitar, khususnya di kawasan Indonesia Timur.

Ambon, 02 Juli 2025

ALE Komite

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	ii
Daftar isi.....	iii
Studi Pengaruh Sacrificial Anode Pada Kapal Terhadap Laju Korosi Sonja T A Lekatompessy Et Al.....	1-5
Analisis Kinerja Konsultan Pengawas Terhadap Kepuasan Pemilik Proyek Menggunakan Metode Importance Performance Analysis Pada Pekerjaan Konstruksi Di Kota Ambon Diandra Et Al.....	6-12
Analisis Penerapan Dinding <i>Sandwich</i> Dengan <i>Value Engineering</i> Pada Pembangunan Kantor Lurah Ahusen Kecamatan Sirimau Kota Ambon Zainal Et Al.....	13-19
Dampak Reklamasi Pantai Terhadap Lingkungan Fisik Dan Sosial Ekonomi Masyarakat Kota Ternate M.Reza Kusman Et Al.....	20-25
Assessment Of Coastal Damage In West Leihitu Sub-District And Priorities For Handling It Febrian Alexander Sipiell Et Al.....	26-33
Pengaruh Panjang Pipa Evaporator R-32 Terhadap Unjuk Kerja Unit Pembuat Es Zulrizal Mulyadi Et Al.....	34-39
Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Dr. Siwabessy Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024 Christini Lawalata Et Al.....	40-47
Pengaruh Sound Level Terhadap Ketebalan Reinforce Fibre Glass Plastic Pada Jarak Tumpuan 400 Mm Eliza R Defretes Et Al.....	48-53
Analisa Pengaruh Komposisi Pasir Sungai Negeri Mamala Terhadap Kuat Tekan Batako Chairia Latukau, Et Al.....	54-64
Machine Learning-Based Hierarchical Clustering For Priority Ccus Zones In Indonesia Geovanny B. Imasuly Et Al.....	65-75

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 Pada Ruas Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku Erdyd S. Bakarbessy Et Al.....	76-87
Pengendalian Persediaan Bahan Baku Spring Bed Menggunakan Metode Eoq Pada Pt Xyz Marcy Et Al.....	88-96
Superior Performance In Reactive Distillation Method For Industrial Application: A Case Study Of Ethyl Lactate Production Muhammad Ikhsan Taipabu Et Al.....	97-104
V's Diamond: An Innovative Framework For Assessing The Competitive Advantages Of Fish Processing Industry Clusters In Archipelagic Regions A L Kakerissa.....	105-116
Analisis Kinerja Kolam Pelabuhan Dan Proyeksi Kebutuhan Ideal Untuk Mendukung Operasional Pelabuhan Perikanan Berkelanjutan (Studi Kasus: Ppn Ambon) Ruth P. Soumokil.....	117-123
Pemetaan Zona Prospekif <i>Geothermal</i> Di Pulau Makian Menggunakan Analisis Multispektral Landsat-8 Hanifa Usman.....	124-130
Tinjauan Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Bersih Negeri Seilale Kecamatan Nusaniwe Kota Ambon Venesya D. Tehupuring Et Al.....	131-139
Studi Eksperimen Sifat Mekanis Komposit Yang Diperkuat Serat Alam <i>Coconut Bark Fiber</i> Dengan Orientasi Serat Memanjang Arthur Y. Leiwakabessy Et Al.....	140-146
Analisis Kinerja Pegawai Berdasarkan Kompetensi Pada Universitas Pattimura Annalys Picauly.....	147-152
Implementasi Sistem Hybrid Plts-Pln Pada <i>Power Station Mobile</i> Untuk Mobilitas Energi Mandiri Antoni Simanjuntak Et Al.....	153-160

STUDI PENGARUH SACRIFICIAL ANODE PADA KAPAL TERHADAP LAJU KOROSI

S. T. A. Lekatompessy¹, O. Metekohy² dan, Mansye Ronal Ayal³

¹Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: sonja.lekatompessy@gmail.com

² Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : bobmetekohy2710@gmail.com

³ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : andremonta82@gmail.com

Abstrak Hal terpenting dalam proses perawatan kapal adalah pemeliharaan lambung kapal baja terutama pada bagian permukaan basah kapal mengalami proses korosi sangat cepat dibandingkan bagian yang lain. Penggunaan sacrificial anoda, satu di antaranya zink anoda, merupakan salah satu cara untuk mengurangi laju korosi. Berat zink anoda memegang peranan penting untuk mengetahui berapa jumlah sacrificial anoda yang harus dipasang pada bagian permukaan basah kapal dalam menahan laju korosi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh berat zink anoda terhadap laju korosi. Diperlukan data berat zink anoda yang terpasang pada kapal dan berat zink anoda hasil perhitungan secara teoritis. Analisis hasil perhitungan berdasarkan pemilihan zink anoda yang sesuai dengan kebutuhan dan juga dengan melihat berat zink anoda yang dapat menekan laju korosi. Hasil penelitian ini, dari grafik terlihat kapal pertama pada tahun ke-3 sampai tahun ke-5 ada penambahan berat zink anoda sebesar 64,365 kg, laju korosi menurun hingga mencapai 0.0339 mm/tahun pada tahun ke-4 dan ke-5. Kapal kedua, tahun ke-1 hingga tahun ke-5 tidak ada penambahan zink anoda, laju korosi meningkat hingga tahun ke-5 mencapai 0.0706 mm/tahun. Kapal ketiga, jumlah berat zink anoda terpasang tahun ke-1 hingga tahun ke-5 sangat kurang jumlahnya sebesar 32.472 kg, laju korosi terbesar pada tahun ke-2 sebesar 0.2523 mm/tahun.

Kata kunci: Zink anoda, laju korosi

Abstract The most important thing in the ship maintenance process is the maintenance of the steel hull, especially on the wet surface of the ship, which experiences a very fast corrosion process compared to other parts. The use of sacrificial anodes, one of which is zinc anodes, is one way to reduce the rate of corrosion. The weight of the zinc anode plays an important role in determining how many sacrificial anodes must be installed on the underwater surface area of the ship to withstand the rate of corrosion. This study aims to determine the effect of zinc anode weight on corrosion rate. Data is required on the weight of the zinc anode installed on the ship and the weight of the zinc anode calculated theoretically. Analysis of the calculation results is based on the selection of zinc anodes that are in accordance with the needs and also by looking at the weight of the zinc anode that can suppress the corrosion rate. The results of this study, from the graph, show that the first ship in the 3rd to 5th year had an additional weight of zinc anode of 64.365 kg, the corrosion rate decreased to 0.0339 mm/year in the 4th and 5th years. The second ship, in the 1st to 5th year there was no additional zinc anode, the corrosion rate increased until the 5th year reaching 0.0706 mm/year. The third ship, the total weight of the zinc anode installed in the 1st to 5th year was very low, amounting to 32,472 kg, the highest corrosion rate in the 2nd year was 0.2523 mm/year.

Keywords: Zinc anode, corrosion rate

1. PENDAHULUAN

Salah satu masalah utama dalam konstruksi baja adalah korosi. Korosi merupakan kerusakan logam karena reaksi redoks logam dengan berbagai zat di sekitarnya yang menghasilkan senyawa yang tidak diinginkan. [1].

Proteksi katodik adalah salah satu metoda pengendalian laju korosi secara logam sebagai katoda. Proteksi katodik sangat penting untuk mengurangi laju korosi pada luas permukaan bawah termodinamika dengan cara memperlakukan struktur air pelat lambung. [2].

Pengendalian korosi kapal meliputi material baja, lapisan pelindung, dan perlindungan katodik, yang harus dipertimbangkan dalam semua tahap kehidupan kapal. Lapisan pelindung merupakan elemen utama pengendalian korosi. Pemilihan dan pemasangan lapisan sangat penting untuk masa pakai yang diharapkan. Pemilik kapal perlu berkomunikasi dengan produsen pelapis dan galangan kapal untuk pemilihan dan pengadaan material pelapis dan proses aplikasi, termasuk persiapan permukaan dan aplikasi serta inspeksi pelapis, untuk mencapai masa pakai pelapis yang diharapkan dengan sebaik-baiknya. Material pelapis yang dipilih dengan tepat dan praktik aplikasi untuk kapal-kapal besar dan kompleks ini melibatkan investasi finansial yang signifikan untuk mencapai masa pakai yang lebih lama dengan perawatan dan perbaikan minimum, yang pada gilirannya, meningkatkan keamanan jiwa dan harta benda serta pelestarian lingkungan alam [3].

Korosi merupakan penyebab sebagian besar kerugian korosi total, sehingga memberikan dorongan untuk penyelidikan dan pengembangan lebih lanjut terkait dengan perlindungan korosi guna menyediakan bahan dan peralatan pencegah korosi bagi sistem transportasi dan industri. Korosi merupakan salah satu proses alamiah yang paling umum dipelajari oleh termodinamika, yang meliputi proses oksidasi, gangguan logam, dan efek kimia dan elektrokimianya di bawah pengaruh lingkungan [4].

Laju pengausan berperan penting untuk mengetahui seberapa besar zink Anode dapat memenuhi kebutuhan luas permukaan bawah air pelat lambung untuk mengurangi laju korosi. Untuk mengetahui kemampuan Zink Anode yang dipasang, dibutuhkan data laju korosi dalam 5 tahun terakhir dari 3 kapal dan juga jumlah Zink Anode yang digunakan setiap tahunnya. Dari hasil penelitian ini, laju keausan yang cenderung tetap dan menurun dapat menurunkan laju korosi [5].

Korosi mempunyai dampak yang besar terhadap efisiensi operasional proses industri dan pabrik. Korosi suatu logam terutama dipengaruhi oleh potensi logam dan pH lingkungan. Namun, faktor lingkungan lain seperti suhu, oksigen, dan bahan tambahan juga berkontribusi, menyebabkan daerah korosi, pasivasi, dan kekebalan. Korosi tidak selalu terjadi secara merata di seluruh permukaan logam, namun terjadi di lokasi tertentu yang mengakibatkan percepatan yang signifikan. Korosi dapat lebih dipahami dengan menerapkan prinsip dasar termodinamika dan kinetika elektrokimia [6].

Persyaratan kerapatan arus anoda korban seng untuk perlindungan korosi lambung aluminium AA5083-H321 untuk kapal ditentukan melalui berbagai uji elektrokimia. Pengamatan permukaan dan analisis komposisi kimia dilakukan setelah uji galvanostatik untuk berbagai persyaratan kerapatan arus yang ditentukan oleh percobaan polarisasi katoda. Hasilnya, kisaran persyaratan kerapatan arus yang paling tepat ditentukan sebesar $3,7 \times 10^{-6}$ – $5,8 \times 10^{-6}$ A/cm². Kerapatan arus yang berlebihan di atas $7,6 \times 10^{-6}$ A/cm² menyebabkan kerusakan permukaan lokal karena pengaruh fase intermetalik yang kaya Mg dan kaya Fe. [7].

ZAP (Zink Anode Protection) merupakan salah satu metode untuk mengurangi laju korosi pada kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan proteksi yang optimal terhadap laju korosi dengan menganalisis penggunaan data ZAP di lapangan dan hasil perhitungan data penggunaan ZAP sehingga penggunaan luas permukaan ZAP yang terpasang tepat sesuai kebutuhan akan menurunkan laju korosi. Untuk mengetahui kemampuan ZAP terpasang, dibutuhkan data laju korosi 5 tahun terakhir dari 9 kapal dan juga jumlah anoda korban ZAP yang digunakan setiap tahunnya. Dari grafik hasil perhitungan ZAP sesuai teori dan hasil penggunaan ZAP pada sembilan kapal, diperoleh hasil yang jelas bahwa penambahan luas permukaan ZAP dan kenaikan berat ZAP berpengaruh terhadap penurunan laju korosi pada kapal No.2, No.3, dan No.4, penambahan luas permukaan ZAP berpengaruh terhadap penurunan laju korosi sebesar 0,0138 mm/tahun menjadi 0,0339 mm/tahun. Sedangkan pada kapal No. 1, kapal No. 5, kapal No. 6, kapal No. 7, kapal No. 8 dan kapal No. 9 penambahan luas permukaan dan berat ZAP mempengaruhi laju korosi namun tidak signifikan, laju korosi yang dihasilkan sebesar 0,0371 mm/tahun hingga 0,0735 mm/tahun [8].

Korosi merupakan proses alami yang menyebabkan degradasi material logam dan

nonlogam secara perlahan akibat reaksi lingkungan. Korosi mempengaruhi banyak material, termasuk keramik, polimer, dan komposit, meskipun korosi terutama terjadi pada material logam. Bab ini membahas tentang dampak korosi terhadap lingkungan dan organisme. Korosi diperkirakan menimbulkan kerugian miliaran dolar bagi dunia usaha, kota, dan militer setiap tahunnya. Biaya keseluruhan korosi dibagi menjadi dua jenis utama: langsung dan tidak langsung. Bab ini membahas studi mutakhir mengenai dampak korosi termasuk laporan Uhlig, laporan Hoar, laporan ekonomi input/output, studi FHWA AS (2002), dan studi terbaru International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies oleh Amerika Serikat yang diterbitkan pada tahun 2016. Bab ini juga mencakup batasan seri galvanik, sel korosi, EMF, dan unit korosi [9]

Penambahan korosi, sebagaimana didefinisikan oleh International Association of Classification Societies (IACS), merupakan tindakan desain proaktif terhadap kerusakan struktural yang disebabkan oleh korosi. Sehubungan dengan perawatan dok kering secara berkala (misalnya, pelapisan dan pembaruan baja), penambahan korosi ditujukan untuk mempertahankan fungsionalitas yang diinginkan dari kapal yang mengalami korosi menjelang akhir masa pakainya. Diharapkan bahwa penambahan korosi dapat meningkatkan kekuatan lambung dan menghemat biaya perawatan seumur hidup. Namun, manfaat investasi baja di muka dalam penambahan korosi terhadap biaya siklus hidup kapal, termasuk konstruksi, perawatan dok kering, dan konsekuensi kegagalan, masih belum jelas. [10].

Adapun masalah yang ditinjau adalah kebutuhan zink anoda terpasang yang masih belum mencukupi kebutuhan kapal. Masalah ini ditinjau karena berhubungan langsung dengan efisiensi kerja dari zink anoda, yang dari hasil perhitungan akan terlihat apakah masalah yang ditinjau tersebut berpengaruh pada laju korosi pada pelat lambung basah kapal baja.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh berat zink anoda terpasang terhadap laju korosi kapal baja.

2. BAHAN DAN METODE

Untuk mendapatkan data berat pelat terkorosi dengan cara merubah pengurangan ketebalan pelat (mm) tiap tahun ke dalam ukuran weight loss (gr) untuk mendapatkan laju korosi dari persamaan berikut [11]:

$$C_R = 87,6 \times \left(\frac{W}{DAT} \right) \quad (\text{mm/tahun}) \quad (1)$$

di mana, W = massa yang hilang akibat terkorosi (mg);

D = rapat massa (gr/cm³)

= 7.8 mgr/m³ atau 490lb/ft³;

A = luas permukaan (in²);

T = lama pengujian (hari).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tabel dan Gambar

Berat zink anoda dapat dilihat pada tabel 1, table 2 dan table 3 di bawah ini:

Tabel 1. Berat Zink Anoda Sebelum Terpakai

No.	BERAT ZINK ANODA SEBELUM TERPAKAI (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	347.0	347.0	347.0	411.3	411.3
2	188.5	188.5	188.5	188.5	188.5
3	125.7	125.7	125.7	134.2	134.2

Tabel 2. Berat Total Zink Anoda Tersisa

No.	BERAT TOTAL ZINK ANODA TERSISA PER TAHUN (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0
2	121.1	121.1	121.1	121.1	121.1
3	158.7	158.7	138.7	166.1	166.1

Keterangan:

Berat total zink anoda tersisa setelah 1 tahun periode docking berlalu tahun pertama

Tabel 3. Berat Total Zink Anoda Tersisa

No.	BERAT TOTAL ZINK ANODA TERSISA (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	202.0	202.0	202.0	268.6	268.6
2	67.4	67.4	67.4	67.4	67.4
3	-40.2	-40.2	-40.2	-31.9	-31.9

Keterangan:

Berat zink anoda tersisa didapat dari pengurangan Zink Anoda sebelum terpakai dalam (Tabel 1) dengan Zink Anoda terpakai (Tabel 2).

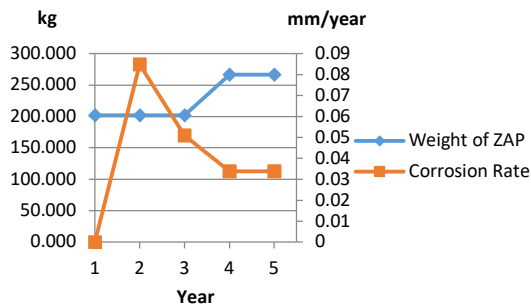
Tabel 4. Laju Korosi Pada Kapal

VESSEL	YEAR	LAJU KOROSI (mm/tahun)				
		1	2	3	4	5
1	-	-	0.0848	0.0509	0.0339	0.0339
2	-	-	0.0430	0.0423	0.0564	0.0706
3	-	-	0.2523	0.0194	0.0582	0.0388

Keterangan:

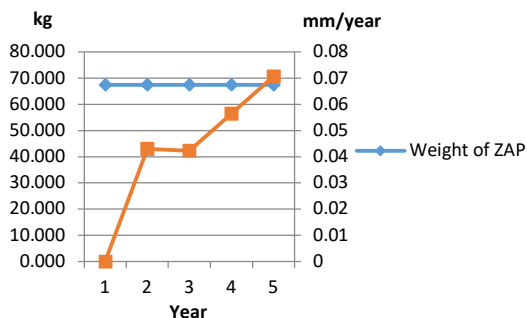
Laju korosi pada tahun pertama tidak mempunyai nilai karena merupakan titik awal yang mana laju korosi diambil dari *weight loss* setelah satu tahun periode docking berlalu.

Dari ketiga kapal, grafik hubungan korelasi yang terjadi antara berat zink anoda hubungannya dengan laju korosi dapat dilihat pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3 berikut ini:



Gambar 1. Grafik korelasi *corrosion rate* dan *Weight of ZAP* pada kapal 1

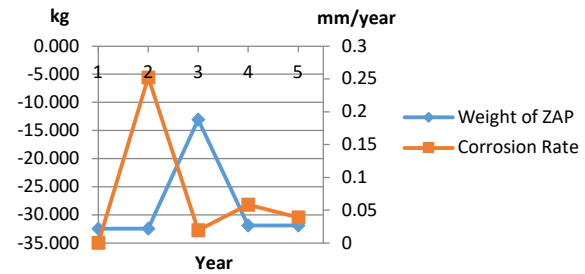
Dari grafik pada gambar 1, terlihat kapal pertama pada tahun ke-3 sampai tahun ke-5 ada penambahan berat zink anoda sebesar 64,365 kg, laju korosi menurun hingga mencapai 0.0339 mm/tahun pada tahun ke-4 dan ke-5.



Gambar 2. Grafik korelasi *corrosion rate* dan *Weight of ZAP* pada kapal 2

Dari grafik pada gambar 2, kapal kedua, tahun ke-1 hingga tahun ke-5 tidak ada penambahan zink anoda, laju korosi meningkat hingga tahun ke-5

mencapai 0.0706 mm//tahun.



Gambar 1. Grafik korelasi *corrosion rate* dan *Weight of ZAP* pada kapal 3

Dari grafik pada gambar 3, Kapal ketiga, jumlah berat zink anoda terpasang tahun ke-1 hingga tahun ke-5 sangat kurang jumlahnya sebesar 32.472 kg, laju korosi terbesar pada tahun ke-2 sebesar 0.2523 mm/tahun.

KESIMPULAN

Pada Kapal 1 & 2, berat sisa zink anoda yang terpasang pada Kapal 1 dan 2 ternyata lebih dari separuh berat total anoda seng sebelum digunakan. Pemilihan jenis anoda seng yang tepat akan sangat membantu mengurangi berat anoda seng yang berlebih sehingga dapat digunakan secara efisien. Jumlah anoda seng yang berlebih tidak menjamin tercapainya proteksi yang optimal. Terlihat jelas pada tahun ke-2 laju korosi mencapai 0,0848 mm/tahun pada Kapal 1 dan 0,0706 mm/tahun pada Kapal No.2. Akan tetapi, laju korosi pada kedua kapal tersebut masih dalam kisaran sangat baik. Berat zink anoda yang terpasang pada kapal 3 kurang dari yang seharusnya, laju korosi tinggi pada tahun ke-2 mencapai 0,2523 mm/tahun, meskipun demikian, laju korosi tertinggi pada kapal ini masih dalam kisaran baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura sebagai penyandang dana (dana PNBK Fakultas Teknik) sehingga penelitian ini dapat selesai sesuai jadwal yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atras, M. H. A., Budiarto, U., Manik, P., (2024). Analisis Pengaruh Coating Polyurethane dan Elektroplating Zink terhadap Laju Korosi Baja A36 Jurnal Teknik Perkapalan 12,

- <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/48626>
- [2] Mahendra, T. I., Dwisetiono, D., (2022). Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal Port Link Vii Jakarta. *Zona Laut* **3**, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/494/1/012086#references>,
- [3] Chao W., George W., Marcus C., David L. O. and Stephen L., *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition) Corrosion Protection of Ships* pp. 533-557, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00026-5>, (2018)
- [4] Urbahs, A., Savkovs, K., Rijkuris, G., & Andrejeva, D.,. (2018). Corrosion and Wear Analysis in Marine Transport Constructions. *Transport and Aerospace Engineering*, **6** 5-14. [10.1515/tae-2018-0001](https://doi.org/10.1515/tae-2018-0001)
- [5] Lekatompessy, S. T. A., (2023). The wear rate of zinc anode on surface underwater of ships in reducing corrosion rate AIP Conf. Proc. AIP Publishing **2588** <https://doi.org/10.1063/5.0111844>
- [6] Smithers, G. W. (2022). *Corrosion Academic Press* 231-238 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00375-5>
- [7] Park, I. C., Kim S. J., (2020). Determination of Corrosion protection current density requirement of zinc sacrificial anode for corrosion protection of AA5083 H321 in seawater. *Elsevier* **509** <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.14534>
- [8] Sonja T. A. L. and Richard L.(2021). AIP Conference Proceedings 2360, Analysis of the Effect of Protection System Installation Cathode and Sacrificial Anode (Zn) on Corrosion Rate of Steel Vessels, <https://doi.org/10.1063/5.0059554>
- [9] Hussain, C. M., Verma C, Aslam, J., Aslam, R., Zehra, S. (2023). Corrosion protective coatings *Elsevier* **21** 283-321 <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95185-2.00021-6> .
- [10] Gong, C., Frangopol, M., and Cheng M. (2020). Risk based decision making on corrosion delay for ship hull tankers. *Engineering Structures*. **212** <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110455>
- [11] Trethewey, K. R., (1993) *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Penerbit PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

ANALISIS KINERJA KONSULTAN PENGAWAS TERHADAP KEPUASAN PEMILIK PROYEK MENGGUNAKAN METODE *IMPORTANCE PERFORMANCE ANALYSIS* PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI DI KOTA AMBON

Diandra K. Apriliani¹, Fauzan A. Sangadji² dan, C. G, Buyang³

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: aprilianydiandra@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : fauzan.sangadji@lecturer.unpatti.ac.id

³ Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : christ.gery@gmail.com

Abstrak Permasalahan kinerja konsultan pengawas di kota Ambon dapat dilihat dari proses pelaksanaan konstruksinya. Berdasarkan hasil wawancara dengan direksi lapangan, salah satu permasalahan yang sering dialami Satker PJN Wilayah 1 selama pelaksanaan proyek adalah permasalahan dalam hal pengawasan dan evaluasi dari pihak konsultan pengawas pada proyek pembangunan infakstruktur di kota Ambon. Selama proyek berlangsung konsultan tidak melakukan pengawasan dan evaluasi pelaksanaan pekerjaan secara rutin, membuat pelaksanaan pekerjaan tidak sesuai dengan rencana kerja dan berpengaruh terhadap kualitas pekerjaan. Berdasarkan sumber artikel berita RakyatMaluku.com, dikatakan bahwa berdasarkan hasil investigasi yang dilakukan di lapangan terungkap proses pekerjaan proyek *Check Dam* (2023) oleh Balai Wilayah Sungai di Negeri Batumerah dikatakan amburadul. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepuasan pemilik proyek terhadap kualitas kinerja konsultan pengawas di Kota Ambon serta mengevaluasi kinerja tersebut. Metode penelitian menggunakan *Importance Performance Analysis* (IPA) dengan bantuan SPSS 30. Atribut pada penelitian ini berjumlah 27 atribut dan sampel pada penelitian ini berjumlah 72 responden. Kesimpulan dari penelitian ini didapatkan nilai IPA sebesar 0,95 atau 95% berada pada nilai $T_{ki} < 100\%$.

Kata kunci: Konsultan Pengawas, Kepuasan Pemilik Proyek, *Importance Performance Analysis*

Abstract The performance problems of the supervisory consultant in Ambon City can be seen from the construction implementation process. Based on the results of interviews with field directors, one of the problems often experienced by Satker PJN Region 1 during project implementation is the problem in terms of supervision and evaluation from the supervisory consultant on infrastructure development projects in Ambon City. During the project, the consultant did not carry out routine supervision and evaluation of the work implementation, making the work implementation not in accordance with the work plan and affecting the quality of the work. Based on the source of the RakyatMaluku.com news article, it was stated that based on the results of the investigation carried out in the field, it was revealed that the *Check Dam* project work process (2023) by the River Region Office in Negeri Batumerah was said to be chaotic. This study aims to determine the level of satisfaction of project owners with the quality of the performance of the supervisory consultant in Ambon City and to evaluate this performance. The research method uses *Importance Performance Analysis* (IPA) with the help of SPSS 30. The attributes in this study amounted to 27 attributes and the sample in this study amounted to 72 respondents. The conclusion of this study was that the IPA value was 0.95 or 95% at the T_{ki} value $< 100\%$.

Keywords: *Supervising Consultant, Project Owner Satisfaction, Importance Performance Analysis*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor konstruksi saat ini telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, tetapi masih dihadapkan pada berbagai tantangan, seperti masalah kualitas. Menurut laporan *World Bank Group* 2020, konstruksi dari segi teknologi, kapasitas proyek, maupun pengetahuan serta kualitas sumber daya mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya pembangunan. Dengan perkembangan konstruksi yang semakin pesat, maka kepuasan pemilik proyek juga semakin meningkat. Setiap perusahaan konstruksi dituntut untuk mampu memberikan kinerja yang unggul melalui upaya upaya yang efisien.

Untuk mencapai *triangle project constraints* yang baik, maka diperlukan suatu manajemen proyek yang bisa mengendalikan proyek selama tahap pelaksanaan, terutama yang bergerak dibidang pengawasan, yaitu suatu badan usaha bernama Konsultan Pengawas.

Kinerja konsultan pengawas dapat dikatakan sebagai suatu hasil yang dicapai ketika mengerjakan suatu tugas atau proyek. Keberhasilan suatu konsultan pengawas dilihat dari kinerja, dimana sangat ditentukan oleh kinerja masing masing individu dalam perusahaan konsultan pengawas tersebut (Putri Maharani, 2022). Namun di Kota Ambon sendiri masih ditemukan konsultan pengawas yang memiliki permasalahan dalam kinerjanya. Melihat lemahnya kinerja Konsultan pengawas maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kinerja konsultan pengawas oleh pemilik proyek. Menurut Taqiudin (2023) untuk untuk mengevaluasi kinerja Konsultan pengawas dilihat dari faktor dominan yang mempengaruhi kinerja dengan memanfaatkan berbagai metode.

Permasalahan kinerja konsultan pengawas di kota Ambon dapat dilihat dari proses pelaksanaan konstruksinya. Berdasarkan hasil wawancara dengan direksi lapangan, salah satu permasalahan yang sering dialami Satker PJN Wilayah 1 selama

pelaksanaan proyek adalah permasalahan dalam hal pengawasan dan evaluasi dari pihak konsultan pengawas pada proyek pembangunan infrastruktur di kota Ambon. Selama proyek berlangsung konsultan tidak melakukan pengawasan dan evaluasi pelaksanaan pekerjaan secara rutin, membuat pelaksanaan pekerjaan tidak sesuai dengan rencana kerja dan berpengaruh terhadap kualitas pekerjaan. Berdasarkan sumber artikel berita RakyatMaluku.com, dikatakan bahwa berdasarkan hasil investigasi yang dilakukan di lapangan terungkap proses pekerjaan proyek *Check Dam* (2023) oleh Balai Wilayah Sungai di Negeri Batumerah dikatakan amburadul.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi mengenai kinerja konsultan pengawas terhadap kepuasan pemilik proyek. Untuk mengukur peranan konsultan pengawas, perlu diketahui kriteria-kriteria yang dapat digunakan untuk mengukur kinerja konsultan pengawas melalui standar standar yang telah ditetapkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk mengumpulkan data yang terstruktur melalui instrumen pengukuran seperti kuisioner. Sampel pada penelitian ini berjumlah 72 responden. Responden pada penelitian ini adalah pegawai Dinas PUPR meliputi Dinas PUPR Kota Ambon, Dinas PUPR Provinsi Maluku, Balai Wilayah Sungai Maluku, Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Maluku.

2.2 Lokasi Penelitian dan Objek Penelitian

a. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah tempat dimana peneliti memperoleh informasi mengenai data yang diperlukan dan merupakan tempat dimana penelitian akan dilakukan, adapun yang menjadi lokasi penelitian berada di kota Ambon.

b. Objek Penelitian

Objek penelitian pada semua perusahaan konstruksi (konsultan pengawas) dalam lingkup Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Provinsi Maluku, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Ambon, Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Maluku, Balai Wilayah Sungai (BWS) Maluku

2.3 Variabel Penelitian**a. Variabel Bebas**

Variabel penelitian yang digunakan adalah variabel bebas. Variabel bebas untuk mengukur kepuasan kinerja dan kepentingan kinerja terdiri dari kriteria kriteria yang ditentukan terdiri atas 5 indikator yaitu:

- X1 *Tangible* (bukti fisik),
- X2 *Reliability* (keandalan),
- X3 *Responsive* (ketanggapan),
- X4 *Assurance* (jaminan), dan
- X5 *Empathy* (empati).

Kemudian dikembangkan menjadi 27 atribut pernyataan penelitian. Atribut atribut inilah yang akan digunakan sebagai penilaian kinerja konsultan pengawas dalam bentuk kuisisioner.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah indeks kepuasan pemilik proyek terhadap kinerja konsultan pengawas yang merupakan hasil dari analisis metode *Costumer Satisfaction Index* (CSI) dan atribut atribut yang harus menjadi prioritas penanganan yang merupakan hasil dari metode *Importance Performance Analysis* (IPA).

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode kuantitatif (deduktif), yaitu dengan melakukan penyebaran kuisisioner (angket) dalam pelaksanaannya.

2.5 Metode Analisis Data

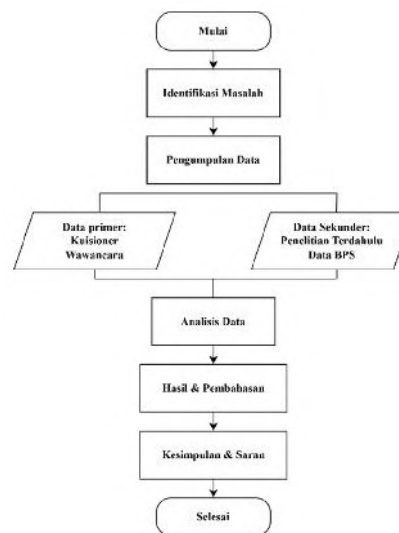
Dalam penelitian ini dilakukan pengujian data dengan tahapan sebagai berikut:

a. Metode *Costumer Satisfaction Index*

Customer Satisfaction Index (CSI) digunakan untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna jasa secara menyeluruh dengan melihat tingkat kinerja dan tingkat kepentingan/harapan dari atribut-atribut jasa pelayanan.

b. Metode *Importance Performance Analysis*

IPA menggabungkan pengukuran faktor tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan dalam grafik dua dimensi yang memudahkan penjelasan data dan mendapatkan usulan praktis. Data yang digunakan untuk analisis ini adalah hasil kuesioner persepsi pemilik proyek terhadap kinerja konsultan pengawas berdasarkan indikator penilaian.



Gambar 1. Diagram Alir
Sumber: Data Olahan (2025)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1 Deskripsi Responden**

Metode statistik deskriptif digunakan dalam penelitian ini untuk penyajian data serta pengelompokan data hasil survey kuesioner. Profil responden yang menjadi

sampel pada penelitian ini dapat dilihat dari karakteristik responden sebagai berikut.

Tabel 1. Deskripsi Responden

No	Deskripsi	Jumlah	Presentase
1 Usia			
	20 – 30 tahun	0	0%
	31 – 40 tahun	9	12,50%
	> 40 tahun	63	87,50%
2 Jenis Kelamin			
	Pria	72	100%
	Wanita	0	0%
3 Tingkat Pendidikan			
	D3	0	0%
	S1	66	91,67%
	S2	6	8,33 %
	S3	0	0%
4 Jabatan			
	PPK	7	9,72%,
	PPTK	1	1,39 %
	Direksi	23	31,94%
	Pengawas		52,78%
	Lapangan	38	
	Lainnya	3	4,17%
5 Pengalaman			
	< 5 tahun	0	0%
	5 – 10 tahun	12	1,39 %),
	>10 tahun	60	31,94%).

Sumber: Data Olahan (2025)

3.2 Uji Validitas dan Reliabilitas

Pengujian validitas pada penelitian ini menggunakan rumus korelasi *Product Moment*. Pengujian Instrumen dilakukan terhadap 72 responden dengan ketentuan $\alpha=5\%$ dan derajat kebebasan $df = n = 72$, maka diperoleh nilai koefisien korelasi sederhana (r-tabel) sebesar 0,231. Pengujian validitas menggunakan program SPSS 30 dengan menganalisa nilai koefisien korelasi. Hasil uji validitas dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

Pernyataan	rHitung		rTabel	Kesimpulan
	Puas	Ptng		
X1.1	0,732	0,246	0,231	Valid
X1.2	0,626	0,330	0,231	Valid
X1.3	0,413	0,537	0,231	Valid
X2.1	0,413	0,508	0,231	Valid

Pernyataan	rHitung		rTabel	Kesimpulan
	Puas	Ptng		
X2.2	0,413	0,356	0,231	Valid
X2.3	0,683	0,356	0,231	Valid
X2.4	0,864	0,258	0,231	Valid
X2.5	0,626	0,508	0,231	Valid
X2.6	0,864	0,445	0,231	Valid
X2.7	0,296	0,261	0,231	Valid
X3.1	0,273	0,563	0,231	Valid
X3.2	0,268	0,24	0,231	Valid
X3.3	0,346	0,716	0,231	Valid
X3.4	0,265	0,563	0,231	Valid
X3.5	0,335	0,515	0,231	Valid
X3.6	0,722	0,537	0,231	Valid
X3.7	0,747	0,508	0,231	Valid
X4.1	0,680	0,716	0,231	Valid
X4.2	0,261	0,504	0,231	Valid
X4.3	0,747	0,356	0,231	Valid
X4.4	0,864	0,445	0,231	Valid
X4.5	0,413	0,445	0,231	Valid
X4.6	0,417	0,239	0,231	Valid
X4.7	0,626	0,253	0,231	Valid
X4.8	0,626	0,253	0,231	Valid
X5.1	0,722	0,253	0,231	Valid
X5.2	0,732	1	0,231	Valid

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 4. Hasil Uji Reliabilitas

Pernyataan	Cronbach	Jumlah Item	Koefisien	Kesimpulan
Kepuasan	0,60	27	0,945	Reliabel
Kepentingan	0,60	27	0,934	Reliabel

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 4. menyajikan hasil uji reliabilitas. Pada penelitian ini nilai cronbach alpha pada kepuasan dan kepentingan kinerja lebih besar dari 0,6 sehingga pengujian dikatakan reliabel.

3.3 Analisis Customer Satisfaction Index

Metode CSI bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat kepuasan pemilik proyek terhadap kinerja kontraktor. Hasil pengolahan data menggunakan metode CSI dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Perhitungan Analisis CSI

Pernyataan	MIS	MSS	WS	WF
X1.1	4,49	4,49	0,0413	0,0413
X1.2	4,01	4,01	0,0369	0,0369
X1.3	4,40	4,40	0,0405	0,0405
X2.1	4,26	4,26	0,0392	0,0392
X2.2	4,17	4,17	0,0383	0,0383
X2.3	4,17	4,17	0,0383	0,0383
X2.4	4,46	4,46	0,0410	0,0410
X2.5	4,26	4,26	0,0392	0,0392
X2.6	4,46	4,46	0,0410	0,0410
X2.7	4,44	4,44	0,0409	0,0409
X3.1	3,93	3,93	0,0362	0,0362
X3.2	3,67	3,67	0,0337	0,0337
X3.3	4,40	4,40	0,0405	0,0405
X3.4	3,93	3,93	0,0362	0,0362
X3.5	4,53	4,53	0,0417	0,0417
X3.6	4,01	4,01	0,0369	0,0369
X3.7	4,26	4,26	0,0392	0,0392
X4.1	4,32	4,32	0,0397	0,0397
X4.2	4,50	4,50	0,0414	0,0414
X4.3	4,17	4,17	0,0383	0,0383
X4.4	4,46	4,46	0,0410	0,0410
X4.5	4,42	4,42	0,0406	0,0406
X4.6	4,46	4,46	0,0410	0,0410
X4.7	4,29	4,29	0,0395	0,0395
X4.8	4,29	4,29	0,0395	0,0395
X5.1	4,39	4,39	0,0404	0,0404
X5.2	3,83	3,83	0,0353	0,0353

Sumber: Data Olahan (2025)

Setelah mendapatkan nilai WS, langkah terakhir adalah menentukan Nilai CSI atau indeks kepuasan konsumen. CSI merupakan hasil pembagian total nilai skor tertimbang (WS) seluruh atribut dengan skala maksimum yang digunakan dalam penilaian. Maka perhitungan CSI pada penelitian ini adalah sebagai berikut

$$CSI = \frac{0,162 + 0,158 + 0,159 + \dots + 0,137}{5}$$

$$CSI = \frac{4,259}{5}$$

$$CSI = 0,851$$

Tabel 6. Skala Kepuasan

Skala	Interpretasi Skor
0,00 – 0,34	Sangat tidak puas
0,35 – 0,50	Tidak puas
0,51 – 0,65	Ragu-ragu
0,66 – 0,80	Puas
$X > 81$	Sangat puas

Sumber: Data Olahan (2025)

Berdasarkan Tabel 6. maka nilai indeks tingkat kepuasan pemilik proyek terhadap kinerja konsultan pada pekerjaan konstruksi di kota Ambon yaitu sebesar 0,851 masuk kedalam rentang skala sangat puas.

3.4 Analisis Importance Performance Analysis (IPA)

IPA dilakukan untuk mengelompokkan atribut kinerja konsultan pengawas di dalam kuadran tingkat perbaikan kinerja berdasarkan tingkat kepuasan pemilik proyek terhadap kinerja konsultan pengawas dan tingkat kepentingan kinerja konsultan pengawas menurut pandangan pemilik proyek. Berikut hasil analisis IPA dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 7. Perhitungan Analisis IPA

Pernyataan	X	Y	Tki (%)	Xi	Yi
X1.1	283	323	317	3,93	4,49
X1.2	309	289	283	4,29	4,01
X1.3	283	317	326	3,93	4,40
X2.1	283	307	289	3,93	4,26
X2.2	283	300	307	3,93	4,17
X2.3	309	300	311	4,29	4,17
X2.4	283	321	324	3,93	4,46
X2.5	307	307	300	4,26	4,26
X2.6	289	321	321	4,01	4,46
X2.7	272	320	318	3,78	4,44
X3.1	260	283	312	3,61	3,93
X3.2	281	264	309	3,90	3,67
X3.3	283	317	309	3,93	4,40
X3.4	292	283	316	4,06	3,93
X3.5	294	326	276	4,08	4,53
X3.6	265	289	88%	3,68	4,01
X3.7	311	307	107%	4,32	4,26
X4.1	307	311	89%	4,26	4,32
X4.2	283	324	92%	3,93	4,50
X4.3	311	300	94%	4,32	4,17
X4.4	289	321	103%	4,01	4,46
X4.5	289	318	88%	4,01	4,42
X4.6	268	312	100%	3,72	4,33
X4.7	307	309	90%	4,26	4,29
X4.8	307	309	85%	4,26	4,29
X5.1	299	316	92%	4,15	4,39
X5.2	280	276	106%	3,89	3,83

Sumber: Data Olahan (2025)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai rata-rata dari mean tingkat kepuasan kinerja konsultan pengawas (X) dan nilai rata-rata dari mean tingkat kepentingan kinerja konsultan pengawas (Y). Maka perhitungan rata-rata tingkat kepuasan dan tingkat kepentingan dari total nilai *mean* tingkat kepuasan dan tingkat kepentingan konsumen adalah sebagai berikut.

$$X = \frac{3,93 + 4,29 + 3,93 + \dots + 3,89}{27} \times 100\%$$

$$X = \frac{108,78}{27} \times 100\%$$

$$X = 4,026$$

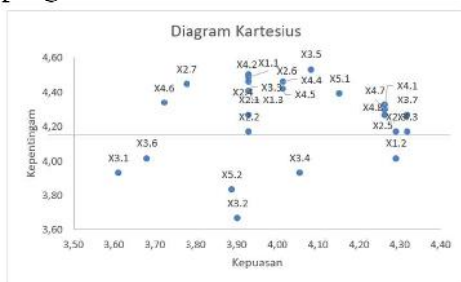
$$Y = \frac{4,49 + 4,01 + 4,40 + \dots + 3,83}{27} \times 100\%$$

$$Y = \frac{114,86}{27} \times 100\%$$

$$Y = 4,171$$

3.5 Diagram Kartesius

Maka selanjutnya dapat digunakan analisis diagram kartesius. Dengan analisis diagram kartesius maka atribut kinerja konsultan pengawas dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat perbaikan kinerja, dimana pengelompokan terbagi di dalam empat kuadran yaitu kuadran I, kuadran II, kuadran III, dan kuadran IV. Di mana sumbu mendatar (X) dari diagram kartesius merupakan tingkat kepuasan pemilik proyek dari kinerja pelayanan konsultan pengawas dan sumbu tegak (Y) merupakan tingkat kepentingan/harapan dari pemilik proyek terhadap kinerja pelayanan konsultan pengawas.



Gambar 2. Diagram Kartesius

Sumber: Data Olahan (2025)

Dari diagram kartesius diatas dapat dilihat atribut kinerja pelayanan konsultan pengawas yang mempengaruhi kepuasan pemilik proyek terbagi menjadi empat kuadran. Adapun interpretasi dari diagram kartesius tersebut sebagai berikut:

1. Atribut kinerja pada kuadran I menunjukkan atribut kinerja konsultan pengawas yang dianggap mempengaruhi kepuasan pemilik proyek dan dianggap sangat penting pelaksanaannya, diantaranya X1.1, X1.3, X2.1, X2.2, X2.4, X2.7, X3.3, dan X4.2
2. Atribut kinerja pada kuadran II menunjukkan atribut kinerja konsultan yang telah berhasil dilakukan kinerja pelayanannya sesuai dengan keinginan pemilik proyek, diantaranya X2.3, X2.5, X2.6, X3.5, X3.7, X4.1, X4.3, X4.4, X4.5, X4.7, X4.8, dan X5.1
3. Atribut kinerja pada kuadran III menunjukkan atribut kinerja konsultan yang dianggap tidak terlalu mempengaruhi kepuasan pemilik proyek atau kurang penting pelaksanaannya, tetapi juga kurang memuaskan pemilik proyek dalam pelaksanaan kinerjanya diantaranya X3.1, X3.2, X3.6, dan X5.2
4. Atribut kinerja pada kuadran IV menunjukkan atribut kerja konsultan pengawas yang dianggap tidak terlalu mempengaruhi kepuasan pemilik proyek atau kurang penting pelaksanaannya, tetapi dalam pelaksanaan kinerjanya terlalu berlebihan, diantaranya X.2 dan X3.4

3.6 Atribut Kinerja Yang Harus Diperbaiki

Berdasarkan standar penilaian tingkat kepentingan diperoleh atribut kinerja konsultan pengawas konstruksi dalam pelaksanaan proyek di Kota Ambon masih belum memenuhi kepuasan pemilik proyek. Hal ini disebabkan karena kurangnya pemahaman dari konsultan pengawas mengenai tugas dan wewenang sebagai penyedia jasa. Disamping itu, terdapat 8 atribut yang menjadi prioritas utama karena pelayanan yang terapkan dalam pelaksanaan proyek masih rendah, diantaranya adalah X1.1, X1.3, X2.1, X2.2, X2.4, X2.7, X3.3, dan X4.2.

Oleh karena itu, pihak konsultan pengawas perlu melakukan perbaikan dan evaluasi guna meningkatkan kualitas kinerja yang sesuai sehingga mendapatkan kepuasan pemilik proyek.

Hal-hal yang harus dilaksanakan oleh konsultan pengawas dalam memperbaiki kinerja dengan memberikan pelayanan keahlian kepada pihak pemilik proyek sesuai dengan wewenang, tugas dan tanggung jawabnya sebagai konsultan pengawas.

Perbaikan kinerja ini akan memberikan peluang lebih besar kepada pihak konsultan pengawas untuk mendapatkan kepuasan dari pemilik proyek dan meningkatkan kualitas pelayanan sehingga hubungan kerja antar pengguna jasa dan penyedia jasa mendapatkan kepercayaan yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut bahwa nilai IPA 0,95 atau 95% berada pada nilai Tki < 100% artinya tingkat harapan/kesesuaian pemilik proyek belum dikatakan memenuhi/kurang memuaskan.

4.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian diatas, ada beberapa saran yang dapat disampaikan. Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kepada konsultan pengawas, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan untuk meningkatkan dan memperbaiki kinerja pelayanan yang diberikan. Dengan melihat atribut-atribut yang dinilai oleh pemilik proyek dianggap penting, serta memuaskan pemilik proyek dalam upaya untuk meningkatkan kepercayaan dan loyalitas pemilik proyek.
2. Kepada pemilik proyek, diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan evaluasi kepada pemilik proyek selaku pengguna jasa untuk lebih mengetahui sejauh mana kualitas pelayanan yang diberikan konsultan pengawas sebagai penyedia jasa.

3. Kepada peneliti lain atau peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian sejenis dengan cakupan objek berbeda dan lokasi penelitian yang lebih luas sehingga diperoleh penelitian yang terbaharukan dengan hasil penelitian yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghunter Sirait, G. H., Taihuttu, F., & Sangadji, F. A. (2023). Analisis Tingkat Kepuasan Pemilik Proyek Terhadap Kinerja Kontraktor Pada Pekerjaan Konstruksi Di Kota Ambon. In *Jurnal Sipil Kokoh* (Vol. 21, Issue 2).
- [2] Muhammad A Taqiudin, Rezky Pratama (2023), *Analisis Pengawasan Konstruksi: Kajian Kinerja Konsultan Pengawas Di Gedung Rsud Awet Muda Narmada*, Penelitian, L., Hasil, P., & Ensiklopedia, P. (N.D.). Edisi 2 Januari 2023 *Ensiklopedia Of Journal*. 6(2). <http://Jurnal.Ensiklopediaiku.Org>
- [3] Putri Maharani (2022), *Analisis Kinerja Konsultan Pengawas Konstruksi Dalam Pelaksanaan Proyek Gedung Puskesmas Di Kabupaten Tabanan*. (n.d.). <http://www.ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien>
- [4] Shahzad Amir (2021), *Evaluasi Kinerja Konsultan Pengawas Pada Proyek Pembangunan Jalan di Provinsi Kalimantan Timur*, M. F., Xu, S., Lim, W. M., Yang, X., & Khan, Q. R. Student perceptions of positive impact in the age of smart learning. *Heliyon*, 10(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29523>
- [5] Wulandari, A., Happy Puspasari, V., Studi Teknik Sipil, P., Teknik, F., Palangka Raya Jl Yos Sudarso, U., Raya, P., & Tengah, K. (2024a). Analisis Kinerja Konsultan Pengawas Konstruksi dalam Pelaksanaan Proyek di Kota Palangka Raya. In *Portal: Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 16, Issue 2).
- [6] Yoneda, F. O., Nursetyo, G., & Yuono, T. (2023). Pengukuran Kinerja Konsultan Pengawas Konstruksi Jalan Dengan Metode Csi. In *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur* (Vol. 28, Issue 2). Online.

ANALISIS PENERAPAN DINDING *SANDWICH* DENGAN *VALUE ENGINEERING* PADA PEMBANGUNAN KANTOR LURAH AHUSEN KECAMATAN SIRIMAU KOTA AMBON

Zainal A. Tuasikal¹, C. G. Buyang², dan, Fauzan A. Sangadji³

^{1,2,3} Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

¹Email: zaynaltuasikal@gmail.com ²Email: christ.gery@gmail.com

³Email: fauzan.sangadji@lecturer.unpatti.ac.id

Abstrak: Pada pembangunan sebuah gedung, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung setelah perhitungan konstruksi bangunan. Hal tersebut terkait dalam pemilihan desain dan bahan yang digunakan dalam perencanaan bangunan konstruksi tersebut. Dalam pelaksanaannya, sering kali ditemukan berbagai kendala seperti kelebihan biaya yang mungkin akan merugikan pihak-pihak terkait dalam suatu pembangunan konstruksi. Seperti halnya dalam Proyek Pembangunan Kantor Lurah Ahusen Kecamatan Sirimau Kota Ambon yang memiliki biaya pekerjaan arsitektur lebih tinggi dibandingkan pekerjaan struktur. Untuk mencegah kelebihan biaya pada pekerjaan arsitektur tersebut, maka dilakukanlah suatu studi analisis dengan mencari alternatif material yang lebih murah agar kelebihan biaya pada pekerjaan arsitektur tersebut dapat di minimalisir. Salah satunya ialah dengan melakukan penerapan rekayasa nilai (*value engineering*). Metode penelitian ini menggunakan metode *value engineering* dengan 6 tahapan job plan yaitu tahap informasi, tahap kreatif, tahap Analisa fungsi, tahap evaluasi, tahap pengembangan dan tahap rekomendasi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari besar penghematan biaya material *sandwich panel* dengan *value engineering*. Pada proyek pembangunan Kantor Lurah Ahusen terdapat satu item pekerjaan yang direkayasa nilai yaitu pekerjaan dinding. Berdasarkan hasil analisa rekayasa nilai (*Value engineering*) dengan enam tahap job plan, yaitu tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis fungsi tahap evaluasi, tahap pengembangan, dan tahap rekomendasi. Didapat penghematan menggunakan alternatif material sandwich panel pada pekerjaan arsitektur dinding sebesar Rp. 137,241,650.00 atau 50,86 %, dari desain awal dengan selisih biaya penghematan yaitu sebesar Rp. 71,821,118,38, dari total biaya pekerjaan dinding yaitu Rp.209.062.768,38.

Kata kunci: Penghematan, Pembangunan Kantor Lurah Ahusen Pada Pekerjaan Arsitektur Dinding.

In building construction, the Budget Plan (RAB) is calculated after the structural calculations of the building. This is related to the selection of designs and materials used in the construction planning. In practice, various challenges are often encountered, such as cost overruns that could harm the parties involved in the construction project. An example of this is in the construction project of the Ahusen Village Office in Sirimau District, Ambon City, where the cost of architectural work is higher compared to structural work. To prevent cost overruns in the architectural work, a study analysis is conducted to find alternative materials that are more affordable, thus minimizing the cost overruns in the architectural work. One of the methods applied is value engineering. This study aims to determine the potential cost savings in material costs using sandwich panels through value engineering. In the construction project of the Ahusen Village Office, one (1) work item was value-engineered, namely the wall work. This research uses the value engineering method with six stages of the job plan. Similar research has been conducted by Amri Aurulianto (2024) in the study titled "Value engineering Analysis of Wall Work on the Construction Project of the Dataran Hunipopu Religious Court Office in West Seram." According to the research results, using the value engineering method on wall work in the Dataran Hunipopu Religious Court Office

construction project, the most cost-efficient alternative material compared to the original material (red brick) was concrete blocks, with a cost difference of IDR 857,342,063.85 from the total wall work cost of the Dataran Hunipopu Religious Court Office. The conclusion of this study is that based on the value engineering analysis using the six stages of the job plan—information, creativity, function analysis, evaluation, development, and recommendations—a cost saving of IDR 137,241,650.00 or 50.86% was achieved using the alternative sandwich panel material in the architectural wall work, with a cost saving difference of IDR 71,821,118.38 from the total wall work cost of IDR 209,062,768.38.

Keywords: Savings, Construction of Ahusen Village Office, Architectural Wall Work.

1. PENDAHULUAN

Pada pembangunan sebuah gedung, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung setelah perhitungan konstruksi bangunan. Hal tersebut terkait dalam pemilihan desain dan bahan yang digunakan dalam perencanaan bangunan konstruksi tersebut. Rencana Anggaran Biaya proyek bangunan gedung disusun seoptimal dan seefisien mungkin dengan mutu dan kualitas yang tetap terjamin.

Bahan material dinding terus berkembang seiring dengan tuntutan kebutuhan dalam mencapai biaya, waktu, mutu yang paling efektif dan efisien. Munculnya teknologi bata ringan sebagai material dinding, cukup memberikan dampak positif bagi masyarakat pada umumnya dan dunia konstruksi pada khususnya.

Pembangunan Kantor Lurah Ahusen merupakan bangunan yang dibangun pemerintah untuk melakukan kegiatan penyelenggaraan untuk kebutuhan fasilitas pemerintahan pada wilayah kelurahan. Bangunan bertingkat dua dengan total luas area bangunan sebesar $\pm 119,7$ m² ini menghabiskan biaya pembangunan mencapai Rp.1.291.136.289,44. Biaya pekerjaan terbesar pada pembangunan kantor lurah ahusen yaitu biaya pekerjaan arsitektur. Pada pembangunan gedung kantor lurah ahusen terdapat biaya yang tinggi pada pekerjaan arsitektur, dimana pada sebuah proyek bangunan gedung umumnya pekerjaan tertinggi adalah pekerjaan struktur, karena pada SNI 2847:2013 mengatur secara rinci mengenai beban yang harus ditanggung oleh struktur bangunan dan faktor keamanan yang harus dipenuhi yang merupakan nilai pasti. Sedangkan pekerjaan arsitektur lebih berfokus pada desain estetika, fungsi ruang sehingga pada pekerjaan arsitektur dapat menggunakan biaya material sesuai kebutuhan yang membuat pekerjaan arsitektur pada umumnya memiliki biaya lebih kecil.

Presentase biaya pekerjaan arsitektur dinding pada pembangunan kantor lurah adalah 35,93% dimana item pekerjaan tersebut memiliki presentase tertinggi pada item pekerjaan arsitektur. pada pekerjaan dinding kantor lurah ahusen. Pemasangan bata merah per m², plesteran dan acian, adalah Rp. 389.318. Hal tersebut memiliki perbandingan dengan pekerjaan pasangan dinding per m² pada umumnya yaitu dengan kisaran harga Rp.180.000-250.000. per m².

Berdasarkan survey dan peninjauan, terdapat pekerjaan arsitektur yang dianggap mempunyai material pengganti yang relative murah, sehingga dapat mengurangi atau menghemat biaya pembangunan pada Pembangunan kantor lurah ahusen.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi yang diambil pada penelitian Tugas Akhir ini adalah Proyek Pembangunan Kantor lurah ahusen. Penerapan rekayasa nilai dikhususkan pada pekerjaan arsitektur, dinding saja.



Gambar 1. Lokasi penelitian
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2.2. Variabel Penelitian

Variabel bebas (X) merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel dependen (terikat).

X1 = Volume (m³)

X2 = Biaya pekerjaan dinding (Rp)

Variabel Terikat (Y) merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas.

Y = Biaya penghematan (Rp)

2.3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

Data Primer, Data primer dapat berupa hasil dari wawancara dan tanya jawab kepada responden Data Sekunder yaitu : data-data pendukung yang dapat dijadikan input dan referensi dalam melakukan analisis *VE*.

2.4. Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan data

Untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian ini, pengambilan data dibedakan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder:

1. Data primer adalah data asli yang ada di lapangan dan hanya peneliti yang memilikinya, data primer diperoleh dengan cara pengamatan langsung di lapangan (observasi), meminta langsung kepada pihak terkait atau bisa dengan cara wawancara (interview).
2. Data Sekunder, dikumpulkan dari berbagai instansi-instansi terkait yang memiliki data yang diperlukan dalam studi ini.
 - Gambar kerja
 - Rencana Anggaran Biaya (RAB).
 - AHSP

2. Analisis data

Setelah data-data proyek yang dibutuhkan sudah terkumpul, tahap selanjutnya yaitu menganalisis data. Adapun analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Tahapan Informasi Pada tahap informasi dilakukan pengumpulan data didapat dari Konsultan X, berupa pembangunan Kantor lurah ahusen, yang berlokasi di jalan. Kec. Sirimau Kota Ambon, gambar rencana, RAB, dan item pekerjaan pada alternatif pekerjaan dinding yang

akan di pakai pada pekerjaan dinding Gedung kantor lurah ahusen kecamatan sirimau.

- 2) Tahap Kreatifitas Didalam tahap ini, di lakukan perbandingan pada pekerjaan arsitektur dinding (batu bata, *sandwich panel rock wool*, dan *sandwich panel eps*) di lihat dari segi kualitas, mutu, umur tahannya, dan waktu pengerjaan sehingga dapat mengurangi biaya tetapi dengan kualitas yang bagus serta mempercepat dalam proses pemasangan material.
- 3) Tahap Analisa Fungsi Pada tahap ini dilakukan analisis dengan cara mengidentifikasi fungsi dari struktur dinding (batu bata, *sandwich panel rock wool*, dan *sandwich panel eps*) dilihat dari segi kualitas, mutu dan umur tahanya sehingga dapat mengurangi biaya tetapi tidak menurunkan kualitas.
- 4) Tahap Evaluasi Pada tahap ini di lakukan analisis *Life Cycle Cost* (LCC) yang artinya badingkan tiap alternatif material yang di pilih dari Rencana Anggaran Biaya (RAB), kemudian dipilih alternatif material yang di gunakan, alternatif material yang di pilih memiliki kualitas yang setara dengan material asli yang ada dalam item pekerjaan tersebut.
- 5) Tahap Pengembangan Pada tahap ini akan menghasilkan output berupa alternative material Dinding (batu bata). yang menghasilkan biaya yang efisien tanpa mengurangi mutu pekerjaannya.
- 6) Rekomendasi Alternatif Material Pada tahap ini akan menyarankan material yang lebih efisien dan efektif dari hasil material yang telah dilakukan *value engineering*.

3. Hasil dan Pembahasan

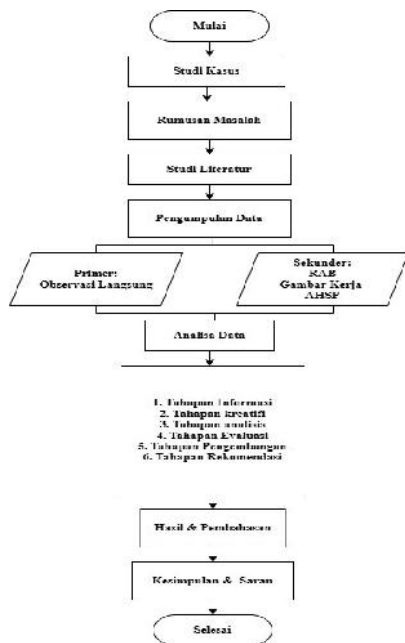
Jika kegiatan penelitian di atas telah dilakukan sesuai dengan tahapan yang ada, maka hasil penelitian dapat disampaikan dan dijelaskan secara detail.

4. Kesimpulan dan Saran

Setelah hasil penelitian dapat diketahui, maka dilakukan kesimpulan terhadap hasil analisa yang dilakukan serta saran yang dituliskan dapat menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik kedepannya.

2.5. Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian
Sumber: Hasil Pengolahan Data

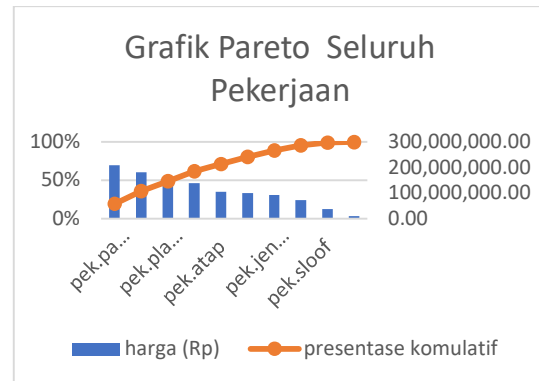
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tahap Informasi

Tabel 1. *Breakdown Cost Model*

No.	Daftar pekerjaan struktur atas, struktur bawah dan arsitektural	Harga
1	Pek. Pasangan Dinding	Rp. 208.940.459,23
2	Pek. Kolom dan Ringbalk	Rp. 138.539.221,80
3	Pek. Atap	Rp. 105.135.332,20
4	Pek. Pondasi	Rp. 71.827.019,79
5	Pek. Sloof	Rp. 37.241.985,25
6	Pek. Plat	Rp. 138.984.547,00
7	Pek. Kusen dan Jendela	Rp. 91.745.476,49
8	Pek. Penutup Lantai	Rp. 181.405.629,96
9	Pek. tangga	Rp. 9.950.855,06
10	Pek. Finishing	Rp. 99.441.564,83
Total (M)		Rp. 1.083.212.091,61
Total Biaya Proyek (N)		Rp. 1.291,136,289,44

Sumber: (Hasil analisis, 2025)



Gambar 3. Grafik pareto (Hasil analisis, 2025)
Sumber: Hasil Pengolahan Data

3.2. Tahap Kreatif

Pada tahapan ini dilakukan pemikiran terhadap alternatif alternatif lain yang dapat memenuhi kegunaan atau fungsi yang sama. Berikut adalah rekomendasi biaya alternatif.

Tabel 2. Alternatif pengganti

Material	Harga awal	Daya tahan	Ketersediaan material
<i>Sandwich panel rock wool</i>	140.739.739,00	20>	Cukup/pengiriman luar kota
<i>Eps sandwich</i>	137.241.650,00	20>	Cukup/pengiriman luar kota

Sumber: (Hasil analisis, 2025)

Tabel 3. Alternatif item pekerjaan dinding

Pengumpulan Alternatif	
Item : Dinding	
Fungsi : Membatasi ruang	
Alternatif	
A1	Pasangan dinding menggunakan material dinding <i>sandwich panel rock wool</i>
A2	Pasangan dinding menggunakan material dinding <i>sandwich panel eps</i> (expanded polystyrene)

Sumber: (Hasil analisis, 2025)

3.3. Tahap Analisa Fungsi

Tahap berikutnya dalam *value engineering* job plan untuk mengevaluasi alternatif-alternatif yang dihasilkan dalam tahap kreatif

3.3.1 Pasangan Dinding

Tabel 4. Identifikasi fungsi komponen bata merah

Pasangan	Komponen	Fungsi	Primer
Dinding			Sekunder
Bata Merah Tebal 1/2	Bata Merah	Sebagai pengait bangunan	P
	Plesteran	Memberi Lapisan Pada Dinding	S
	Acian	Membuat Permukaan Dinding Menjadi Halus dan Rata	S

Sumber: (Hasil analisis, 2025)

Tabel 5. Identifikasi fungsi komponen dinding sandwich panel

Pasangan	Komponen	Fungsi	Primer
Dinding			Sekunder
Material dinding Sandwich panel	Panel Dinding	Pelindung ruangan,	P
	<i>Sandwich panel</i>	Penutup ruangan, Penyekat ruangan	

Sumber: (Hasil analisis, 2025)

3.3.2 Analisa Cost Worth

Analisa fungsi dilakukan dari item pekerjaan berbiaya tinggi yang terpilih. Pada tabel analisa fungsi pekerjaan dinding kantor lurah ahusen, analisis cost (biaya) worth (harga) memiliki rasio lebih dari 1,5 pada pekerjaan dinding maka dari itu item pekerjaan dinding kantor lurah ahusen layak untuk di lakukan *VE*.

3.4. Tahap Evaluasi

Analisis *life cycle cost* (LCC). Berikut adalah perhitungan biaya pekerjaan dari setiap alternatif. Alternatif pekerjaan yaitu *sandwich panel rock wool* dan *sandwich panel eps*.

3.4.1 Analisis Perhitungan Biaya Alternatif 1

Perhitungan *cost* pada pekerjaan dinding A1

- Volume pekerjaan dinding batu bata ahusen = 415.64 m^2 (data RAB) / luasan material

*sandwich 3.562 m}^2 = 116.67 (117 Lembar *sandwich rock woll*).*

- Harga satuan pekerjaan dinding *sandwich rock woll* di tanggerang = Rp. 375.000.00 perlembar.
- Perhitungan harga material untuk kota ambon = biaya pengiriman 40.000.000 / jumlah lembar yang dibutuhkan (117) + harga material tanggerang 375.000 = 716.880 (harga perlembar di ambon).
- Untuk mencari harga per m2 yaitu = harga perlembar $716.880 / \text{luasan material perlembar } 3.562 = 201.370$.
- Cost = $415.15 \times 201.370 = \text{Rp. } 83.598.755$.
- Worth = nilai basic (B) = 83.598.755.
- Cost worth = total nilai cost / total nilai worth = $140.739.739,00 / 83.598.755 = 1,6$.
- Perhitungan untuk biaya pemasangan per m2 yaitu = biaya perlembar 125.000 / luasan material perlembar 3.562 = 35.112 (per m2).
- Perhitungan untuk biaya aksesoris per m2 yaitu = aksesoris perlembar *sandwich panel* 115.000 / luasan material perlembar 3.562 = 32.303.

3.4.2 Analisis Perhitungan Biaya Alternatif 2

Perhitungan *cost* pada pekerjaan dinding A2

- Volume pekerjaan dinding batu bata ahusen = 415.64 m^2 (data RAB) / luasan material *sandwich 3.562 m}^2 = 116.67 (117 Lembar *sandwich eps*).*
- Harga satuan pekerjaan dinding *sandwich panel eps* di tanggerang = Rp. 345.000.00 perlembar.
- Perhitungan harga material untuk kota ambon = biaya pengiriman 40.000.000 / jumlah lembar yang dibutuhkan (117) + harga material tanggerang 345.000 = 686.880 (harga perlembar di ambon).
- Untuk mencari harga per m2 yaitu = harga perlembar $716.880 / \text{luasan material perlembar } 3.562 = 192.943$.
- Cost = $415.15 \times 201.370 = \text{Rp. } 80.100.666$.
- Worth = nilai basic (B) = 80.100.666.
- Cost worth = total nilai cost / total nilai worth = $137.241.650,00 / 80.100.666 = 1,7$.
- Perhitungan untuk biaya pemasangan per m2 yaitu = biaya perlembar 125.000 / luasan material perlembar 3.562 = 35.112 (per m2).
- Perhitungan untuk biaya aksesoris per m2 yaitu = aksesoris perlembar *sandwich panel* 115.000 / luasan material perlembar 3.562 = 32.303.

3.5. Tahap Pengembangan

Dari tahapan analisis yang ada maka pada tahapan pengembangan didapat alternatif dengan nilai yang rendah pada material *sandwich panel eps* dengan biaya yang didapat adalah Rp. 137.241.650,00 pada penggunaan awal material menggunakan batu bata merah biaya yang didapat adalah Rp.209.062.768,38 Terdapat selisih biaya yang ada penghematan alternatif yaitu sebesar Rp. 71.821.118,38.

3.6. Rekomendasi Alternatif Material

Hasil rekomendasi dari penghematan biaya pada pekerjaan dinding. Yaitu material dinding *Sandwich panel eps*, dengan biaya penghematan sebesar Rp. 137.241.650,00.

3.7. Pembahasan Penelitian

3.7.1 Tahap Informasi

Dalam pembahasan tahap informasi ketiga tahapan yang digunakan (*cost model, breakdwon, analisa pareto*) terdapat hasil pengelompokan tiap item pekerjaan dengan masing masing biaya, dimana Item pekerjaan yang tertinggi adalah pekerjaan dinding dengan bobot presentase biaya yaitu sebesar 19.29% dengan biaya pekerjaan yaitu Rp.209.062.768,38.

3.7.2 Tahap Kreatif

Dalam tahap kreatif alternatif yang ditemukan dan di rekomendasikan yaitu alternatif *sandwich panel rock wool* dan alternatif *sandwich panel eps* sebagai pengganti dinding batu bata.

3.7.3 Tahap Analisis Fungsi

Dalam tahap analisis fungsi terdapat hasil penjabaran dimana fungsi komponen dinding bata serta rekomendasi alternatif *sandwich panel* yaitu sebagai pengait dan pemisah ruangan. Dimana hasil nilai *cost / worth* untuk material bata layak untuk di *value engineering*. pada pekerjaan dinding kelurahan ahusen memiliki rasio *cost / worth* 1.7 lebih > 1.5.

3.7.4 Tahap Evaluasi

Pada tahap evaluasi didapat kelebihan dan kekurangan alternatif *sandwich panel* dimana *sandwich panel rock wool* memiliki kelebihan serta katahanan yang lebih baik namun dengan biaya yang sedikit lebih tinggi, yaitu Rp. 140.739.739,00 sedangkan material *eps* memiliki biaya yaitu Rp. 137.241.650,00 lebih murah akan tetapi mempunyai kelebihan dan ketahanan yang tidak sebaik *rock wool*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode *Value engineering* dapat ditarik kesimpulan bahwa dari alternatif pengganti berupa *sandwich panel*, maka diperoleh biaya total pekerjaan dinding setelah penghematan adalah sebesar Rp.137.241.650,00 dengan penghematan biaya sebesar Rp.71.821.118,38 dari biaya awal sebesar Rp.209.062.768,38 yang artinya penggunaan *sandwich panel* sebagai material pengganti batu bata merupakan alternatif yang terbaik pada proyek pembangunan Kantor Lurah Ahusen Kecamatan Sirimau Kota Ambon.

4.2. Saran

1. Kedepannya dalam membangun sebuah gedung perkantoran di kota Ambon alangkah baiknya mencoba menggunakan material lain atau alternatif lain yang lebih moderen tanpa menurunkan kualitas dan mutu bahan material. Seiring perkembangan zaman akan ada perubahan perubahan yang akan mempermudah pekerjaan manusia termasuk dalam pekerjaan kontruksi.
2. Untuk penerapakan *value engineering* pada sebuah proyek harus dilaksanakan pada awal proyek atau awal perencanaan pembangunan, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih optimal.
3. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan meninjau keseluruhan aspek item pekerjaan yang ada dalam proyek agar alternatif yang didapat lebih banyak, sehingga memungkinkan mencapai penghematan biaya yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lien Grace Pattipeilohy. *Analisis Pekerjaan Struktur Beton Dan Arsitektur Dengan Metode Value Engineering Pada Pembangunan Pusat Konservasi Sawta Maluku*. Universitas Pattimura, 2022.
- [2] Amri Aurulianto. *Analisis Penerapan Value Engineering Pekerjaan Dinding Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu Seram Bagian Barat*. Universitas Pattimura, 2024.
- [3] Sipil, J. T., Jakarta, P. N., & Ui, K. (2020). *Dinding Proyek Gedung Ppa Kejagung Ri*.

- [4] Dell’isola, A., 1975. *Value engineering in The Construction Industry*. Van Nostrand Reinhold: New York
- [5] Stariyana, I., I. Wayan Sudiasa, and I. Wayan Suasira. Analisis Penerapan *Value engineering Pada Pekerjaan Arsi-Tektur Proyek Pembangunan Ruang Perawatan Wing Tahap 1 RSUD Payangan*. Diss. Politeknik Negeri Bali, 2022.

DAMPAK REKLAMASI PANTAI TERHADAP LINGKUNGAN FISIK DAN SOSIAL EKONOMI MASYARAKAT KOTA TERNATE

Muhammad Reza Kusman, ST.,M.Ling¹, Ir. Fitro Darwis, ST.,M.Eng², Ir. Elfira Resti Mulya, ST.,M.Eng³ dan , Sukarmin Idrus, S.Pi.,M.Si⁴

¹Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai, Morotai 97771

E-mail: mrezakusman@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai, Morotai 97771

Email : fitrodarwis@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil Universitas Pasifik Morotai, Morotai 97771

Email : resti.mulya@gmail.com

⁴Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Pasifik Morotai, Morotai 97771

Email : sukarmin.idrus08@gmail.com

Abstrak Reklamasi pantai menjadi salah satu solusi untuk mengatasi terbatasnya lahan di daerah pesisir, namun dampaknya terhadap lingkungan fisik dan sosial ekonomi masyarakat perlu dikaji secara mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak reklamasi pantai terhadap lingkungan fisik dan sosial ekonomi masyarakat di wilayah kepebisiran Kota Ternate. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif dengan analisis kualitatif. Data diperoleh melalui wawancara, observasi lapangan, dan studi pustaka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reklamasi pantai di Kota Ternate membawa dampak positif dan negatif, baik terhadap lingkungan fisik maupun sosial ekonomi. Dampak negatif terkait dengan perubahan ekosistem pesisir, pengurangan ruang terbuka hijau, serta hilangnya sumber mata pencaharian tradisional. Namun, dampak positifnya mencakup peningkatan sektor pariwisata dan pertumbuhan infrastruktur. Penelitian ini menyarankan perlunya pengelolaan reklamasi yang berkelanjutan agar dampaknya tidak merugikan masyarakat dan lingkungan.

Kata kunci: Reklamasi Pantai, Lingkungan Fisik, Sosial Ekonomi, Kota Ternate, Kepesisiran

Abstract Coastal reclamation is one of the solutions to overcome limited land in coastal areas, but its impact on the physical and socio-economic environment of the community needs to be studied in depth. This study aims to identify the impact of coastal reclamation on the physical and socio-economic environment of the community in the coastal area of Ternate City. The method used in this study is a descriptive approach with qualitative analysis. Data were obtained through interviews, field observations, and literature studies. The results of the study show that beach reclamation in Ternate City has a positive and negative impact, both on the physical and socio-economic environment. Negative impacts are related to changes in coastal ecosystems, reduction of green open space, as well as loss of traditional sources of livelihood. However, the positive impact includes improving the tourism sector and infrastructure growth. This study suggests the need for sustainable reclamation management

Keywords: Coastal Reclamation, Physical Environment, Socio-Economy, Ternate City, Coasta

1. PENDAHULUAN

Reklamasi adalah suatu pekerjaan/ usaha memanfaatkan kawasan atau lahan yang relatif tidak berguna atau masih kosong dan berair menjadi lahan berguna dengan cara dikeringkan [1]. Misalnya di kawasan pantai, daerah rawa – rawa, di tengah sungai yang

lebar, ataupun di danau. Pada dasarnya reklamasi merupakan kegiatan mengubah wilayah kepebisiran pantai menjadi daratan. Reklamasi dimaksudkan upaya mengubah permukaan tanah yang rendah (biasanya terpengaruh genangan air) menjadi lebih tinggi (biasanya tidak terpengaruh genangan air). Reklamasi pantai memberikan dampak

positif antara lain terjadinya peningkatan kualitas dan nilai ekonomi kawasan pesisir, mengurangi lahan yang dianggap kurang produktif, penambahan wilayah, perlindungan wilayah kepesisiran dari erosi, peningkatan kondisi habitat perairan, penyerapan tenaga kerja. Sedangkan dampak negatif dari proses reklamasi pada lingkungan pantai meliputi dampak fisik yaitu antara lain, kekeruhan air, pencemaran laut, peningkatan potensi banjir, peningkatan genangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh sistem drainase perkotaan Kawasan pesisir pantai Tapak Raya 1 Kota Ternate mengalami keterbatasan lahan bagi pengembangannya maka kegiatan reklamasi pantai sangat diperlukan untuk mendukung kegiatan perekonomian dan pengembangan fisik Kota Ternate. Pengembangan kawasan reklamasi pantai tersebut memberikan dampak yang besar bagi perkembangan ekonomi, sosial dan lingkungan di wilayah Kota Ternate, sehingga pengembangan kawasan reklamasi pantai sesuai dengan konsep pemerintah yaitu tetap memberikan ciri dan identitas Kota Ternate sebagai Kota Pantai (*water front city*) sesuai dengan Visi dan Misi Pembangunan Kota Ternate, tetapi hasil reklamasi menunjukkan terjadinya alih fungsi kawasan pesisir menjadi kawasan terbangun[2].

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif digunakan untuk mengetahui dampak reklamasi pantai terhadap perkembangan kota ternate dan kesesuaian reklamasi pantai terhadap pelestarian lingkungan. Metode kualitatif digunakan untuk mengetahui kesesuaian reklamasi pantai dengan peruntukan fungsi[3].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Dampak Reklamasi Pantai Terhadap Lingkungan Fisik

Hasil pengamatan dan wawancara dengan responden yang tinggal di Kelurahan Gamalama diperoleh informasi bahwa,

masyarakat sekitar sering membuang sampah ke laut dengan begitu banjir/genangan sering terjadi di tiga lokasi yaitu jalan pahlawan revolusi, pasar gamalama dan terminal angkutan umum (lokasi pedagang kaki lima). Hasil pengamatan langsung di lapangan, penyebab utama terjadi banjir di tiga lokasi tersebut terutama diakibatkan sistem drainase perkotaan, dan kecenderungan masyarakat membuang sampah langsung ke perairan terutama dilakukan oleh masyarakat yang menempati rumah – rumah panggung, sehingga meluapnya air ke badan jalan. Walaupun tidak ada pengaruh secara langsung antara reklamasi dengan banjir, namun demikian banjir mengakibatkan terganggunya aktifitas masyarakat terutama bagi pedagang kaki lima.



Gambar 3.1. Lokasi Terminal



Gambar 3.2. Lokasi Pemukiman

3.2. Dampak Reklamasi Pantai Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat.

Reklamasi pantai yang terjadi di Kota Ternate merupakan bagian dari pengembangan

wilayah kepebisiran, dimana diperkirakan akan menimbulkan dampak bagi masyarakat sekitar dan pedagang kaki lima yang berjualan di pasar tradisional yang termasuk dalam Kelurahan Gamalama, Kota Ternate Tengah.

Dampak reklamasi pantai untuk pengembangan kawasan kepebisiran terhadap perubahan aktifitas ekonomi penduduk sebelum dan sesudah reklamasi dalam penelitian ini dilihat berdasarkan pekerjaan.

Jenis pekerjaan merupakan salah satu faktor yang menentukan tingkat pendapatan penduduk. Jenis pekerjaan atau mata pencaharian yang dimiliki oleh penduduk yang bermukim di sekitar area reklamasi sebelum dan sesudah reklamasi pantai dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jenis mata pencaharian masyarakat Kelurahan Gamalama sebelum dan sesudah reklamasi pantai

No	Pekerjaan / Mata pencaharian	Sebelum Reklamasi (%)	Sesudah Reklamasi(%)
1	Penjual Ikan	25	21
2	Nelayan	42	33
3	Wiraswasta	9	15
4	PNS	8	8
5	Pensiunan	7	7
6	Tukang Parkir	9	16
	Jumlah	100	100

Berdasarkan tabel data di atas terlihat jelas bahwa jenis pekerjaan yang banyak di kerjakan adalah jenis pekerjaan yang masih berhubungan dengan tempat tinggal mereka, yaitu berhubungan dengan pantai. Jenis pekerjaan yang paling banyak digeluti sebelum reklamasi pantai yaitu nelayan (42%), kemudian penjual ikan (25%), wiraswasta (9%), serta sebagian kecil adalah Pensiunan (7%), PNS (8%), serta tukang parkir (9%).

Hasil observasi langsung dan informasi dari masyarakat sekitar bahwa sebelum reklamasi nelayan dapat menangkap ikan langsung ke pantai, namun setelah adanya reklamasi pantai untuk pengembangan

kawasan kepebisiran maka dibuatlah infrastruktur fisik berupa jalan, mereka tidak dapat lagi menangkap ikan langsung ke laut, karena akses yg disediakan dibangun hanya 1 pintu untuk menuju laut walaupun ada, ukuran dan jumlah hasil tangkapan ikan berbeda sebelum adanya reklamasi. Dari data di atas, ternyata dari sebelum reklamasi jumlahnya 42%, namun setelah reklamasi turun menjadi 33%. Dampak yang ditimbulkan adalah nelayan yang mampu bertahan dan tetap menjadi nelayan harus mencari ikan lebih jauh, sedangkan yang tidak mampu bertahan mereka harus merubah profesi menjadi tukang ojek/parkir atau sesuai dengan kemampuannya.



Gambar 3.3. Area Parkir

Penjual ikan juga ada yang mulai merubah profesi setelah ada reklamasi pantai yaitu 25, setelah reklamasi turun menjadi 21%. Perubahan mata pencaharian ini disebabkan oleh ikan yang masuk di dermaga penjualan ikan sudah mulai berkurang, jadi dampak yang ditimbulkan adalah penurunan pendapatan sehingga ada beberapa penjual ikan yang beralih pekerjaan.



Mata pencaharian wiraswasta sebelum reklamasi pantai jumlah sekitar 9%, setelah adanya reklamasi mengalami peningkatan menjadi 15%, sedangkan pada mata pencaharian tukang ojek/parkir sebelum reklamasi sekitar 9%, setelah adanya reklamasi mengalami peningkatan menjadi 16%. Peningkatan yang terjadi karena beralih profesi yang disebabkan oleh peralihan profesi sebelumnya yang berprofesi sebagai nelayan dan penjual ikan.

Dari hasil observasi langsung, masyarakat lebih memilih menjadi wiraswasta dan tukang parkir, karena mereka melihat adanya peluang yang mudah untuk menghasilkan uang secara cepat, karena kebutuhan masyarakat Kota Ternate yang begitu banyak. Dengan lokasi Kelurahan Gamalama sebagai pusat perdagangan dan jasa aktifitas ramai semua terpusat di Kelurahan Gamalama.



Gambar 3.5. Area Pasar Buah

3.3. Kesesuaian Hasil Reklamasi Pantai Terhadap Pelestarian Lingkungan Fisik di Kawasan Kota Ternate

Hasil penelitian menunjukkan penyesuaian terhadap pemanfaatan ruang berpengaruh terhadap potensi sumber daya manusia dan alam. Oleh karena itu pelestarian terhadap

lingkungan fisik sangat diperlukan. Namun demikian beberapa kegiatan dapat berpengaruh secara tidak langsung terhadap lingkungan sekitar.

Hasil kesesuaian pelestarian lingkungan fisik di wilayah penelitian merupakan wilayah lahan terbangun, secara umum pemanfaatan dengan perencanaan tata ruang wilayah kota masih menunjukkan tingkat kesesuaian. Namun demikian beberapa kegiatan yang perlu diwaspadai karena dapat memunculkan penyelewengan tata ruang dan kerusakan ekosistem pesisir antara lain munculnya permukiman liar, lahan untuk taman kota telah tumbuh kios-kios/warung pedagang kaki lima, serta adanya kerusakan tanggul – tanggul di pesisir pantai, jika tidak segera diatur dan dikendalikan sesuai fungsi lingkungan, maka dapat menurun kualitas lingkungannya.



Gambar 3.5. Pemukiman Liar dan depot liar di Ternate



Gambar 3.6. Tanggul yang rusak akibat abrasi

Selain itu juga, pelestarian hutan kota dengan upaya pengembangan RTH mulai dilaksanakan dengan baik. Dimana area reklamasi menjadi target utama untuk kegiatan publik dan pemanfaatan ruang terbuka hijau.



Gambar 3.7. Area Taman

Hasil pelestarian lingkungan fisik yang terjadi sekarang ini masih belum sesuai, yang terjadi sekarang ini adalah limbah dari pemukiman warga sekitar dan tempat perdagangan menjadi masalah utama di area reklamasi. Dimana dengan adanya reklamasi yang terjadi sekarang ini, memunculkan polemik baru yaitu adanya permukiman liar yang berdiri diatas lahan reklamasi yang peruntukannya untuk area terbuka hijau yang membuat sebagian dari area reklamasi tidak ada nilai estetikanya.



Gambar 3.8. Area Pemukiman Liar

Kegiatan pengembangan yang terjadi sekarang di area reklamasi membawa masalah baru yaitu masalah warga sekitar dan pedagang dengan sengaja membuang sampah atau limbah domestik langsung ke saluran yang menuju langsung kelaut, yang membuat area reklamasi menjadi bagus

secara visual untuk daerah perdagangan pasar moderen dan masalah lainnya yaitu bau yang ditimbulkan tidak sedap.



Gambar 3.9. Lokasi Pembuangan Limbah dari Pasar

Upaya pelestarian lingkungan dari aspek biotik meliputi penanaman pohon di area reklamasi menjadi prioritas utama, karena pengembangan untuk area terbuka hijau. Beberapa contoh bentuk upaya pengelolaan dan pelestarian lingkungan pada area reklamasi antara lain memperbaiki dan menambah daerah resapan air dengan menentukan vegetasi yang tepat untuk ditanam di area reklamasi, serta pemeliharaan hutan kota.



Gambar 3.10. Area Taman Kota

4. KESIMPULAN

Dampak positif dari reklamasi pantai di wilayah kepesisiran Kota Ternate yaitu aspek ekonomi untuk daerah dan pengembangan infrastruktur jalan, sedangkan dampak negatif dari reklamasi pantai masih kurangnya kesadaran masyarakat tentang larangan membuang sampah kelaut yang mengakibatkan

banyaknya tumpukan sampah di pantai dan ancaman kesehatan serta masalah sosial ekonomi antara lain terjadi setelah adanya reklamasi tangkapan hasil nelayan menjadi berkurang dan sebagian warga beralih fungsi dari pekerjaan awal sebagai nelayan menjadi wiraswasta dan pedagang kaki lima.

Reklamasi Tapak Raya 1 sudah sesuai dengan peruntukan fungsi kawasan, dimana pelayanan pusat perdagangan dan jasa berada di Tapak Raya 1 Kelurahan Gamalama. Berdasarkan fungsi dan jenis, fasilitas yang direncanakan untuk diperuntukan di Kelurahan Gamalama terdapat 7 jenis yang mengisi lahan reklamasi antara lain ruko, pertokoan, mall, taman, jaringan jalan, perumahan dan hotel.

Kesesuaian hasil reklamasi terhadap pelestarian lingkungan fisik masih dalam proses pelestarian, dimana ada beberapa kegiatan dapat berpengaruh secara tidak langsung terhadap lingkungan sekitar, secara umum pemanfaatan dengan perencanaan RTRW Kota Ternate masih menunjukkan tingkat kesesuaian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada tim penelitian yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herry, D. (2005). *Reklamasi Pantai dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan Fisik di Wilayah Kepesisiran Kota Ternate*. Tesis UGM, Yogyakarta.
- [2] Marasabessy, F, (2016). *Hirarki Wilayah Kota Ternate Pasca Pengembangan Kawasan Waterfront City*, Jurnal Wilayah dan Lingkungan.
- [3] Bungin, B. (2012). *Analisis Data Penelitian Kualitatif (Pemahaman Filosofis dan Metodologis ke arah Penguasaan Model Aplikasi)*. Rajawali Pers: Jakarta.
- [4] Djunaidi, A, 2002. *Perencanaan Pengembangan Kawasan Pesisir*, Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol III, No3
- [5]

Assessment of Coastal Damage in West Leihitu Sub-District and Priorities for Handling it

Febrian Alexander Sipel¹, Warniyati², Tri Octaviani Sihombing^{3*}), Monica R. Tutkey⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

E-mail: sihombing.octaviani@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Email : febrianalexan27@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Email : warniyaties@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Email : monicatutkey@gmail.com

Abstrak. Penilaian tingkat kerusakan bangunan pelindung pantai merupakan tahap awal dari bagian dari perencanaan Pengelolaan daerah pantai, dalam rangka pengaturan, pencegahan, perlindungan dan rehabilitasi kerusakan lahan, infrastruktur dan prasarana umum di daerah pantai. Penilaian tingkat kerusakan pantai dibutuhkan untuk menentukan prioritas kerusakan pantai yang memerlukan penanganan segera. Dalam penelitian ini dilakukan penilaian terhadap tingkat kerusakan daerah pantai dan penentuan prioritas penanganannya pada Wilayah Pengamanan Pantai di Kecamatan Leihitu Barat. Daerah pantai di Kecamatan Leihitu Barat terdiri dari 5 negeri/desa dan dibagi menjadi 41 segmen. Setiap segmen bangunan pelindung pantainya pada setiap negeri/desa dipisahkan oleh muara sungai atau ujung dari bangunan pelindung pantai tersebut. Penelitian ini dilakuk dengan pengumpulan data kerusakan bangunan pantai, analisis data, pembobotan tingkat kerusakan daerah pantai dan tingkat kepentingan pantai, serta penentuan prioritas penanganannya. Parameter-parameter kerusakan pantai yang dianalisis meliputi kerusakan/kegagalan bangunan pantai berdasarkan Pedoman Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya dengan kode EA-2. Berdasarkan hasil penilaian kerusakan daerah pantai, penilaian tingkat kepentingan dan penentuan prioritas penanganan, didapatkan bahwa kerusakan/kegagalan bangunan pantai yang sangat amat diutamakan penanganannya adalah, Negeri Hatu pada segmen V, VI dan segmen VII, Negeri Allang pada segmen IV, dan Negeri Larike yaitu pada segmen III dan VII. Penanganan yang disarankan adalah rehabilitasi dan pemeliharaan bangunan pelindung pantai.

Kata kunci: Survei, bangunan pantai, pembobotan, prioritas.

Abstract. In the management of coastal areas, assessing the level of damage to coastal protection structures is the initial stage of planning in the context of regulating, preventing, protecting and rehabilitating damage to land, infrastructure and public infrastructure in coastal areas. Assessment of the level of coastal damage is needed to determine the priority of coastal damage that requires immediate action. In this study, an assessment was made of the level of damage to the coastal area and determining the priority for handling it in the Coastal Safety Area in West Leihitu District. The coastal area in West Leihitu District consists of 5 countries/villages and is divided into 41 segments. Each segment of the coastal protection structure in each country/village is separated by a river mouth or the end of the coastal protection building. This research was carried out by collecting data on damage to coastal structures, analyzing data, weighing the level of damage to coastal areas and the level of importance of the coast, and determining priorities for handling them. The parameters of coastal damage analyzed include damage/failure of coastal structures based on the Guideline for Assessment of Coastal Damage and Priority for handling it with code EA-2. Based on the results of the damage assessment of the coastal area, the assessment of the level of importance

and the determination of priority handling, it was found that the damage/failure of coastal buildings which were highly prioritized for handling were, Negeri Hatu in segments V, VI and segment VII, Negeri Allang in segment IV, and Negeri Larike namely in segments III and VII. The recommended treatment is the rehabilitation and maintenance of coastal protection structures.

Keywords: Survey, coastal buildings, weighting, priority

1. PENDAHULUAN

Kerusakan pantai atau penurunan sumber daya pantai dapat terjadi karena faktor alamiah seperti pengaruh proses hidro-oseanografi dan isu global saat ini yaitu dampak dari perubahan iklim yang memicu kenaikan muka air laut (sea level rise), gelombang badai, kejadian ekstrim lainnya maupun karena aktivitas manusia. Penilaian tingkat kerusakan pantai merupakan bagian dari perencanaan pada salah satu aspek pengelolaan pantai yaitu aspek perlindungan/pengamanan dalam rangka pengaturan, pencegahan, dan rehabilitasi kerusakan bangunan, dan prasarana umum di daerah pantai dan merupakan tahap awal dalam pengelolaan pengamanan/perlindungan pantai sehingga penilaian tingkat kerusakan pantai dibutuhkan untuk mengidentifikasi kerusakan dan dapat menentukan prioritas penanganan dari permasalahan-permasalahan pantai yang ada.

Kecamatan Leihitu Barat tidak terlepas dari permasalahan-permasalahan umum yang terjadi di pantai. Permasalahan pantai yang terjadi seperti, kerusakan lingkungan, kerusakan bangunan pengamanan pantai dan juga pemukiman yang berada di wilayah pesisir yang juga terdampak akibat dari kerusakan pantai yang terjadi. Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang ada, maka dibutuhkan penanganan segera terhadap kerusakan pantai yang ada berdasarkan tingkat kerusakannya.

Kerusakan pantai di Kecamatan Leihitu Barat, juga berdampak pada infrastruktur yang berada di kawasan pesisir, salah satunya yaitu infrastruktur jalan yang berada di sepanjang garis pantai Kecamatan Leihitu Barat. Adanya kerusakan pada ruas jalan di beberapa titik yang dapat mengakibatkan berbagai permasalahan karena mengingat ruas jalan tersebut merupakan jalan provinsi yang menghubungkan negeri/desa, menghubungkan tempat-tempat wisata di Kecamatan Leihitu Barat dan juga Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah. Penanganan permasalahan pantai yang terjadi di Kecamatan Leihitu Barat yaitu dibutuhkannya suatu infrastruktur bangunan pelindung pantai untuk melindungi infrastruktur bandar udara, jalan, tempat

ibadah dan pemukiman yang berada di Kecamatan Leihitu Barat.

Penilaian tingkat kerusakan pantai dan prioritas penanganan pantai dibutuhkan dengan mengacu pada pedoman penilaian kerusakan pantai dan prioritas penanganannya yang diterbitkan dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 08/SE/M/2010 dan diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 07/PRT/M/2015. Tentang Pengaman Pantai, sehingga penilaian kerusakan pantai di Kecamatan Leihitu Barat dapat sesuai dengan prosedur yang ada.

Penilaian kerusakan bangunan pelindung pantai di Kecamatan Leihitu Barat dan prioritas penanganannya dibutuhkan agar dapat memberikan suatu informasi yang pasti tentang kondisi bangunan pelindung pantai Kecamatan Leihitu Barat. Agar kerusakan bangunan pelindung pantai di Kecamatan Leihitu Barat dapat segera ditentukan tingkat kerusakannya, sehingga bangunan pelindung pantai yang sudah mengalami kerusakan dapat segera dilakukan perbaikan/rehabilitasi sesuai dengan urutan prioritas yang berdasarkan tingkat kerusakan bangunan pelindung pantainya.

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka penulis tertarik untuk mengkaji lebih lanjut masalah kerusakan pantai khusus untuk kerusakan/kegagalan bangunan pelindung pantai atau dengan kode EA-2, dalam sebuah skripsi dengan judul penilaian kerusakan pantai di Kecamatan Leihitu Barat dan prioritas penanganannya.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Proses survei dan penilaian kerusakan pantai secara langsung dilapangan, untuk mengetahui bobot kerusakan pantai, pemanfaatan ruang untuk mengetahui koefisien kepentingan pantai, panjang bangunan pantai setiap segmen di 5 negeri/desa dan pengukuran panjang kerusakan bangunan di kawasan pantai.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2 Kriteria Kerusakan Bangunan Pantai/EA-2

Tolak ukur penilaian kerusakan akibat gerusan dan kerusakan bangunan dengan kode EA-2 dapat dilihat dari kenampakan bangunan itu sendiri seperti keruntuhan bangunan, abrasi bangunan, kemiringan bangunan, dan fungsi bangunan. Berikut ini adalah tolak ukur penilaian kerusakan pantai untuk gerusan dan kerusakan bangunan, dengan perincian seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tolak ukur kerusakan bangunan/EA2

No.	Keterangan	Kriteria
Kerusakan Bangunan/EA2		
1.	Ringan	Bangunan masih dapat berfungsi baik di atas 75%.
2.	Sedang	Bangunan masih berfungsi 50% sampai dengan 75%.
3.	Berat	Bangunan berfungsi tinggal 25% sampai dengan 50% tetapi tidak membahayakan lingkungan.
4.	Amat berat	Bangunan berfungsi tinggal 25% sampai dengan 50% dan membahayakan lingkungan.
5.	Amat sangat berat	Bangunan sudah rusak parah dan membahayakan lingkungan.

2.3 Tolak Ukur Kepentingan Pantai

Prioritas perlindungan dan pengamanan akan diberikan kepada tingkat kepentingan yang paling tinggi. Penentuan urutan prioritas penanganan kerusakan pantai tidak hanya dilihat pada bobot kerusakan pantai, tetapi juga didasarkan pada pembobotan tingkat kepentingan pantai tersebut dan tingkat kepentingan yang paling tinggi yaitu yang berkaitan dengan jiwa dan perekonomian daerah yang vital, dengan perincian seperti Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien bobot tingkat kepentingan

No.	Jenis pemanfaatan ruang	Skala kepentingan	Koefisien bobot tingkat kepentingan (f)
1.	Konservasi warisan dunia (seperti pura Tanah Lot).	Internasional	2,0
2.	Pariwisata yang mendatangkan devisa, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan negara, bandar udara, pelabuhan, pulau-pulau terluar	Kepentingan Negara	1,75
3.	Pariwisata domestik, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan provinsi, bandar udara, pelabuhan	Kepentingan Provinsi	1,50
4.	Pariwisata domestik, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan kabupaten, bandar udara, pelabuhan	Kepentingan Kabupaten/Kota	1,25
5.	Permukiman, pasar desa, jalan desa, tempat ibadah	Kepentingan lokal terkait dengan penduduk dan kegiatan perekonomian	1,00
6.	Lahan pertanian (perkebunan), persawahan dan pertambakan) rakyat	Kepentingan lokal terkait dengan pertanian	0,75
7.	Lahan tidak dimanfaatkan dan tidak berdampak ekonomis dan lingkungan	Tidak ada kepentingan tertentu dan tidak berdampak	0,50

2.4 Klasifikasi Kerusakan Bangunan Pantai

Klasifikasi tingkat kerusakan bangunan pelindung pantai dalam penentuan bobot kerusakan yaitu, seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi kerusakan bangunan pantai

Tingkat Kerusakan	Kerusakan
50	Tidak ada Kerusakan
100	Kerusakan Ringan, batu ukuran kecil berpindah, aliran air dibawah bangunan, retak pada tanggul, (minor damage, small rocks displaced, rear piping, cracks in tidal wall)
150	Kerusakan Berat, kehilangan armour atau kerusakan pada geotekstil (major damage, some lose amour or broken geotextile)
200	Kerusakan struktur bangunan, banyak batu yang berpindah, struktur masih berfungsi (structural damage, many displaced rocks, structure still functions)
250	Struktur bangunan hancur (structural failure)

2.5 Prosedur Pembobotan Kerusakan Pantai

Penilaian kerusakan pantai dilakukan dengan menilai tingkat kerusakan pada suatu lokasi pantai terpilih terkait dengan masalah erosi/abrasi, kerusakan lingkungan, dan sedimentasi yang ada. Kemudian nilai bobot tersebut dikalikan dengan koefisien pengali berdasar tingkat kepentingan kawasan tersebut. Berdasarkan bobot kerusakan pantai dan nilai koefisien tingkat kepentingan pantai, maka didapat:

$$\text{Bobot akhir} = \text{bobot kerusakan} \times \text{koefisien kepentingan} \quad (1)$$

Pembobotan tingkat kerusakan pantai dilakukan dengan skala 50 sampai dengan 250 dengan perincian seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Bobot tingkat kerusakan

Tingkat kerusakan	Jenis Kerusakan		
	Lingkungan	Erosi/abrasi dan Kerusakan bangunan	Sedimentasi
Ringan (R)	50	50	50
Sedang (S)	100	100	100
Berat (B)	150	150	150
Amat Berat (AB)	200	200	200
Amat Sangat Berat (ASB)	250	250	250

2.6 Penentuan Urutan Prioritas Penanganan

Berdasarkan data dari peninjauan lapangan dan analisis sensitivitas yang didapat dari hasil bobot

kerusakan pantai dikalikan dengan koefisien kepentingan pantai, maka penanganan pantai dapat dikelompokkan dengan perincian seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Bobot skala prioritas penanganan

No.	Bobot	Prioritas Penanganan
1.	Bobot diatas 300	Amat sangat diutamakan (A)
2.	Bobot antara 226-300	Sangat diutamakan (B)
3.	Bobot antara 151 – 225	Diutamakan (C)
4.	Bobot antara 76 – 150	Kurang diutamakan (D)
5.	Bobot kurang dari 75	Tidak diutamakan (E)

2.7 Prosedur Penilaian Kerusakan Bangunan Pantai/EA-2

Adapun prosedur penilaian kerusakan bangunan pantai dengan kode EA-2, seperti berikut:

1. Penilaian kerusakan pantai dilakukan dengan menilai tingkat kerusakan dengan nilai pembobotan dan juga penilaian terhadap kepentingan pantai dengan nilai koefisien (f) kepentingan pantai.
2. Agar prosedur pembobotan dan penentuan urutan prioritas menjadi lebih sederhana maka digunakan cara tabulasi, yaitu sebagai berikut:
 - a. Penilaian kerusakan pantai dilakukan pada lokasi terjadinya kerusakan.
 - b. Penilaian kerusakan pada suatu lokasi, dilakukan secara terpisah dengan lokasi lainnya.
 - c. Apabila dalam satu segmen pantai terjadi beberapa kerusakan pada masing-masing jenis kerusakan, maka penilaian dilakukan pada kasus kerusakan pantai terberat yang terjadi di segmen tersebut.
3. Apabila terdapat kerusakan dalam satu segmen maka akan diukur panjang kerusakan bangunan pantai tersebut dan foto dokumentasi kerusakan bangunan pantai serta mencatat titik koordinat bangunan pantai yang mengalami kerusakan.
4. Setiap pembagian segmen dipisahkan oleh muara sungai atau ujung bangunan pantai/akhir dari bangunan pantai itu sendiri, titik koordinat lokasi bangunan pantai menandai awal dan akhir bangunan pantai tersebut, serta foto dokumentasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecamatan Leihitu Barat merupakan salah satu kecamatan yang berada di pulau Ambon dan masuk dalam Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku, yang terdiri dari 5 Negeri/Desa yakni, Negeri Hatu, Negeri Lilibooi, Negeri Allang, Negeri Wakasihu dan Negeri Larike. Panjang garis pantai

Kecamatan Leihitu Barat yaitu 32,7 km dengan total panjang bangunan pantai pada Kecamatan Leihitu Barat yaitu 9.208,91 meter, seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Total panjang bangunan pantai pada negeri/desa di Leihitu Barat

No.	Negeri/Desa	Total Panjang Bangunan Pantai (m)
1	Hatu	3.053,86
2	Lilibooi	880,84
3	Allang	1.942,48
4	Wakasihi	1.372,21
5	Larike	1.959,52
Total Panjang:		9.208,91

2.1. Klasifikasi Sistem Bangunan Pantai di Kecamatan Leihitu Barat

Berdasarkan hasil survei langsung di lapangan, klasifikasi sistem pelindung pantai yang ada di pantai Kecamatan Leihitu Barat adalah seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi sistem pelindung pantai di Kecamatan Leihitu Barat

Hard Protection	Tidal flood wall (tanggul pasang surut)	
	Shoreline	Sea wall/revetment (tembok laut)
	offshore	-

2.2. Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya

Penilaian kerusakan bangunan pantai dengan kode EA-2 dan prioritas penanganannya di Kecamatan Leihitu Barat maka, masing-masing negeri/desa di Kecamatan Leihitu Barat dibagi dalam beberapa segmen, dengan pembagian segmen, seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Pembagian segmen pada Negeri di Kecamatan Leihitu Barat

No	Negeri/Desa	Jumlah segmen penilaian kerusakan bangunan pantai
1	Hatu	11
2	Lilibooi	5
3	Allang	9
4	Wakasihi	9
5	Larike	7
Total:		41

Dari 5 negeri/desa dengan pembagian 41 segmen bangunan pantai di Kecamatan Leihitu

Barat, berdasarkan hasil visual langsung di lapangan, maka terdapat 6 segmen yang mengalami kerusakan amat sangat berat (ASB), yaitu segmen V, segmen VI, dan segmen VII di Negeri Hatu, Segmen IV di Negeri Allang dan Segmen III dan Segmen VII di Negeri Larike, seperti pada seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi bangunan pantai

Tabel 9. Segmen bangunan pantai dan titik koordinat

Desa/ Negeri	Segmen bangunan pantai	Koordinat Bangunan Pantai	Panjang bangunan pantai (m)
Kecamatan Leihitu Barat, Kabupaten Maluku Tengah			
Hatu	Segmen V	3°43'19.2"S 128°03'49.4"E sampai dengan 3°43'21.6"S 128°03'43.4"E 3°43'21.9"S	210,29
Hatu	Segmen VI	128°03'43.0"E sampai dengan 3°43'25.2"S 128°03'40.1"E 3°43'25.5"S	138,97
Hatu	Segmen VII	128°03'40.1"E sampai dengan 3°43'31.6"S 128°03'33.8"E 3°45'49.4"S	272,08
Allang	Segmen IV	127°56'20.8"E sampai dengan 3°45'40.2"S 127°56'20.7"E 3°44'41.9"S	492,48
Larike	Segmen III	127°55'48.2"E sampai dengan 3°44'36.5"S 127°55'44.7"E 3°44'41.9"S	202,82
Larike	Segmen VII	127°55'48.2"E sampai dengan 3°44'36.5"S 127°55'44.7"E	818,65
Total panjang kerusakan bangunan pantai:			2.135,29

Penilaian kerusakan bangunan pelindung pantai di Kecamatan Leihitu Barat terhadap 41 segmen di 5 negeri/desa dan terdapat 6 segmen yang mengalami kerusakan amat sangat berat (ASB), juga dilengkapi dengan titik koordinat awal dan akhir dari bangunan pelindung, seperti terlihat pada Tabel 9.

Penilaian Kerusakan pantai di Kecamatan Leihitu Barat dengan parameter penilaian yaitu

kerusakan bangunan pelindung pantai/EA-2. Panjang Bangunan pantai di Kecamatan Leihitu Barat yang mengalami kerusakan yaitu 2.135,29 meter dari total 6 segmen yang mengalami kerusakan amat sangat berat, seperti terlihat pada tabel 10.

Tabel 10. Penilaian kerusakan pantai

Foto Dokumentasi Lapangan	Uraian Kerusakan	Bobot	Koefisien bobot tingkat kepentingan (f)
	Kondisi bangunan pantai pada segmen V Negeri Hatu sudah rusak parah/struktur bangunan hancur (structure failure), dengan bobot Kerusakan yaitu 250 atau kerusakan amat sangat berat (amat sangat diutamakan).	250	1,50
	Kondisi bangunan pantai pada segmen VI Negeri Hatu yaitu, sudah rusak parah/struktur bangunan hancur (structure failure).	250	1,50
	Kondisi bangunan pada segmen VII di Negeri Hatu yaitu, kerusakan berat, adanya patahan pada dinding bangunan pantai dan kehilangan armour (major damage, some lose armour)	200	1,50
	Kondisi bangunan pantai pada segmen IV di Negeri Allang sudah rusak parah/struktur bangunan sudah hancur (structure failure).	250	1,50

	Kondisi bangunan pantai pada segmen III di Negeri Larike yaitu, adanya kerusakan pada pondasi bangunan tetapi struktur masih berfungsi (structure still function).	200	1,50
	Kondisi bangunan pantai pada segmen VII di Negeri Larike yaitu, ada keruntuhan bangunan atau bangunan pantai telah mengalami kerusakan berat/structure bangunan hancur (structural failure).	250	1,50

Berdasarkan hasil interpretasi visual langsung di lapangan dan hasil analisis bobot kerusakan dan koefisien tingkat kepentingan pantai berdasarkan pemanfaatan ruangnya, maka segmen yang amat sangat prioritas untuk segera dilakukan rehabilitasi bangunan pantai, redesain ulang bangunan pantai

atau pembangunan konstruksi pelindung karena tingkat kerusakannya amat sangat berat (ASB) yaitu, segmen V, VI, VII di Negeri Hatu, segmen IV di Negeri Allang, dan segmen III, segmen VII di Negeri Larike, seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Penilaian kerusakan pantai dan prioritas penanganannya

Negeri/ Segmen pantai	Bobot tingkat kerusakan pantai							Berdasarkan kerusakan erosi/abrasi dan tingkat kepentingannya		
	Lingkungan		Erosi/abrasi dan kerusakan bangunan		Sedimentasi		Koefisien bobot tingkat kepentingan	Bobot akhir (4) X (8)	Prioritas	Keterangan
	Bobot	kode	Bobot	kode	Bobot	kode				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kecamatan Leihitu Barat, Kabupaten Maluku Tengah										
Seg. V (N. Hatu)	-	-	250	EA-2	-	-	1,50	375	A	A (amat sangat diutamakan)
Seg. VI (N. Hatu)	-	-	250	EA-2	-	-	1,50	375	A	A (amat sangat diutamakan)
Seg. VII (N. Hatu)	-	-	200	EA-2	-	-	1,50	300	A	A (amat sangat diutamakan)
Seg. IV (N. Allang)	-	-	250	EA-2	-	-	1,50	375	A	A (amat sangat diutamakan)
Seg. III (N. Larike)	-	-	200	EA-2	-	-	1,50	300	A	A (amat sangat diutamakan)
Seg. VII (N. Larike)	-	-	250	EA-2	-	-	1,50	375	A	A (amat sangat diutamakan)

4. KESIMPULAN

Penilaian kerusakan pantai dan prioritas penanganannya di 5 negeri/desa di Kecamatan Leihitu Barat terhadap 41 segmen bangunan pantai, maka terdapat 6 yang mengalami kerusakan amat sangat berat (ASB) dan prioritasnya amat sangat diutamakan (A) untuk segera dilakukan penanganan

yaitu, segmen V di Negeri Hatu, segmen VI di Negeri Hatu dan segmen VII di Negeri Hatu, segmen IV di Negeri Allang, dan di Negeri Larike pada segmen III dan segmen VII.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Awang, Y. 2014. Penentuan Skala Prioritas Penanganan Kerusakan Pantai Dengan Metode Skoring. Jurnal Ilmiah.
- [2] Irfandi, (2021). Identifikasi Kerusakan Garis Pantai Desa Toini Kabupaten Poso dengan Google Earth Pro Dan Metode Perbaikannya. Skripsi Teknik Sipil.
- [3] Jasin, M. 2015. Studi Tingkat Kerusakan Garis Pantai Dan Prioritas Penanganan di SWPP Minahasa. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 1.
- [4] Lisdianty. 2015. Penilaian Kerusakan Pantai Dan Prioritas Penanganannya. (Studi Kasus Pada Satuan Wilayah Pengamanan Pantai (SWPP) Banda Aceh). Jurnal Teknik Sipil, Volume.4, No.2.
- [5] Mardi, W. 2016. Penilaian Tingkat Kerusakan Dan Prioritas Penanganan Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XIII ISOI 2016.
- [6] Panjaitan, S.W. 2022. Analisis Indeks Kerusakan Pantai Dan Prioritas Penanganannya Di Desa Muara Gading. Jurnal Ilmiah.
- [7] Pedoman Pemberlakuan Menteri Pekerjaan Umum No. 08/SE/M/2010. Tentang Pemberlakuan Pedoman Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya.
- [8] Ratulangi, G., Fabian, Manoppo, J., Debby, W. 2017. Penetapan Prioritas Penanganan Pantai Berdasarkan Pemilihan Jenis Bangunan Pada Proyek-Proyek Konstruksi Balai Wilayah Sungai Sulawesi-I (BWSS-I). Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.7 No.3.
- [9] Rifda, R. 2022. Kajian Prioritas Pengelolaan Pesisir Berdasarkan Bahaya Perubahan Garis Pantai Pada Pesisir Kecamatan Bantan. Tugas Akhir.
- [10] Zulkifli, M.G. 2019. Inventaris Kerusakan, Permasalahan Dan Pola Pengamanan Pantai Di Kota Mataram. Jurnal Ilmiah.

PENGARUH PANJANG PIPA EVAPORATOR R-32 TERHADAP UNJUK KERJA UNIT PEMBUAT ES

Zulrizal Mulyadi¹, Cendy S.E Tupamahu² dan Benjamin G. Tentua³

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: zulrizalmulyadi@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : tupamahucendy@gmail.com

³ Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura, Ambon 97234.

Email : tentuabenny@gmail.com

Abstrak Pada mesin refrigrerasi siklus kompresi uap (SKU), pipa evaporator merupakan alat yang berfungsi menurunkan suhu udara atau cairan melalui proses penguapan refrigeran. Oleh sebab itu ukuran panjang pipa evaporator dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah mesin pendingin. Penentuan panjang pipa evaporator yang paling optimal diperlukan untuk mencapai temperatur evaporasi yang lebih rendah, efek pendinginan, dan coefficient off performance (COP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa evaporator terhadap unjuk kerja unit pembuat es menggunakan refrigerant R-32. Metode yang digunakan yaitu eksperimental dengan memvariasikan panjang pipa evaporator 12,16 dan 20 meter yang di tempatkan didalam coolbox berkapasitas 100 Liter dan dicelupkan pada larutan brine 23% basis massa garam. Hasil perhitungan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap unjuk kerja unit pembuatan es yaitu untuk panjang pipa evaporator 12 meter COP sebesar 3,412, panjang pipa evaporator 16 meter COP sebesar 3,401 dan untuk panjang pipa evaporator 20 meter COP sebesar 3,383. Dapat disimpulkan bahwa variasi panjang pipa evaporator dengan nilai COP optimal pada panjang pipa evaporator 12 meter dengan nilai COP sebesar 3,412 dengan nilai kerja kompresi (wk) sebesar 76,050 kJ/kg dan temperatur evaporasi sebesar 11,09°C dan semakin panjang pipa evaporator semakin menurun nilai COP.

Kata kunci: Panjang pipa, evaporator, unjuk kerja mesin pembuat es, R-32

Abstract In the vapor compression cycle (SKU) refrigeration machine, the evaporator pipe is a device that functions to reduce the temperature of air or liquid through the process of evaporation of refrigerant. therefore, the length of the evaporator pipe can affect the performance of a refrigeration machine. Determination of the most optimal evaporator pipe length is needed to achieve lower evaporation temperatures, cooling effects, and coefficient off performance (COP). This study aims to determine the effect of variations in evaporator pipe length on the performance of ice making units using R-32 refrigerant. The method used is experimental by varying the length of the evaporator pipe 12, 16 and 20 meters which are placed in a coolbox with a capacity of 100 liters and dipped in a brine solution of 23% salt mass base. The results of the calculation of the effect of the length of the evaporator pipe on the performance of the ice making unit, namely for the length of the evaporator pipe 12 meters COP of 3.412, the length of the evaporator pipe 16 meters COP of 3.401 and for the length of the evaporator pipe 20 meters COP of 3.383. It can be concluded that the variation in the length of the evaporator pipe with the optimal COP value at the length of the 12 meter evaporator pipe with a COP value of 3.412 with a compression work value (wk) of 76,050 kJ / kg and an evaporation temperature of 11.09 °C and the longer the evaporator pipe the COP value decreases.

Keywords: Pipe length, evaporator, ice making machine performance, R-32

1. PENDAHULUAN

Proses pendinginan ikan hasil tangkapan pada kapal nelayan besar dilakukan dengan cara memasukan hasil tangkapan ke “*Cold Storage*” sedangkan untuk kapal nelayan kecil menggunakan “es batu” sebagai media pendingin [1], dengan tujuan untuk mengkondisikan ikan hasil tangkapan agar berada pada suhu rendah (di bawah 0°C) dimana bakteri tidak aktif dan tidak dapat berkembang biak, sehingga proses pembusukan ikan tidak dapat berlangsung [2]. Secara nyata proses pengawetan ikan hasil tangkapan dengan proses pendinginan tidak hanya dilakukan selama dalam perairan laut akan tetapi juga dilakukan selama di darat untuk menjaga kondisi ikan tetap segar sampai kepada konsumen. Kendala yang sering dialami adalah penyediaan media pendingin (es batu) untuk daerah-daerah terpencil sehingga diperlukan adanya pabrik es mini (unit pembuat es) yang dapat memenuhi kebutuhan para nelayan akan media pendingin (es batu). Salah satu terobosan yang dapat ditempuh untuk memenuhi kebutuhan ini yakni pembuatan unit pembuat es dengan memanfaatkan outdoor AC (Air Condition) sebagai condensing unit yang dirangkai dengan evaporator yang ditempatkan di dalam kotak pendingin (coolbox) guna proses pembuatan es [3-4]. Siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap (SKU), pipa evaporator merupakan alat yang berfungsi menurunkan suhu udara atau cairan melalui proses penguapan refrigeran. Oleh sebab itu ukuran Panjang pipa evaporator juga mempengaruhi kinerja dari sebuah mesin pendingin, pentingnya menentukan panjang pipa evaporator yang paling optimal untuk mencapai temperatur evaporasi yang lebih rendah, efek pendinginan, dan coefficient of performance (COP) yang tinggi [5].

Beberapa peneliti telah melakukan eksperimen terkait pengaruh pipa evaporator terhadap kinerja mesin pendingin antara lain Pengaruh Variasi Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant R134a. Penelitian ini menggunakan variasi panjang pipa evaporator dengan panjang 1 meter, 2 meter, dan 3 meter. Parameter lainnya adalah panjang pipa kondensor 10 meter, panjang pipa kapiler 1,6 meter, dan tekanan freon 10 Psi. Berdasarkan hasil penagukuran dan perhitungan dari 3 jenis variasi pipa evaporator, dapat disimpulkan bahwa variasi dengan panjang pipa evaporator 1 meter mendapatkan hasil terbaik yaitu dengan suhu rendah rata-rata $0,92^{\circ}\text{C}$, efek

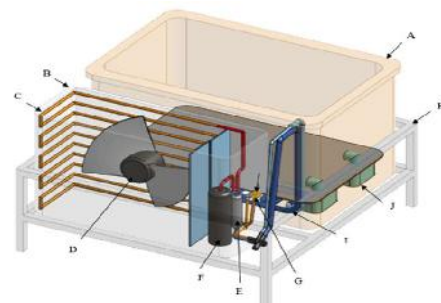
refrigerasi $113,53 \text{ kJ/kg}$, serta COP 2,62. Penelitian lainnya yaitu dengan perbandingan evaporator lemari pendingin yang menggunakan refrigerant R-22 dan R-134a. Penelitian berikutnya menyajikan metode perhitungan panjang pipa evaporator untuk mencapai temperatur kabin hingga -40°C dengan menggunakan refrigeran R404A. Kapasitas kompresor yang digunakan adalah 250 W, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur tersebut dapat dicapai setelah 120 menit operasi. Perbedaan antara hasil perancangan dan pengujian tidak lebih dari 10% [6]. Selanjutnya menghitung panjang pipa evaporator pada chest freezer menggunakan refrigeran R290 agar temperatur kabin dapat mencapai di bawah -35°C . Hasil yang didapat Panjang pipa evaporator optimal adalah 3,57 meter, dengan diameter 9,52 mm. Dengan desain ini, freezer mencapai suhu -36°C dalam waktu 36 menit.

Mengacu pada penelitian yang telah diuraikan atas, maka penelitian ini dibuat untuk mendapatkan Pengaruh Variasi Panjang Pipa Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Unit Pembuatan Es Menggunakan Refrigerant R-32. Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan variasi panjang pipa evaporator dan efek pendinginan unit pembuatan es.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Pendingin dan Pengkondisian Udara Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi panjang pipa evaporator (12m, 16m, dan 20m). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja unit pembekuan yang mencakup dampak refrigerasi (qc), kerja kompresi (wk) dan koefisien kinerja (COP).



Gambar 1. Skema alat uji

A = Coolbox	E = Akumulator	I = Evaporator
B = Outdoor AC	F = Kompresor	J = pompa
C = Kondensor	G = Pipa Kapiler	K = Rangka
D = Fan	H = Filter-Dryer	

Adapun langkah-langkah penelitian yang di lakukan antara lain:

1. Lepaskan sambungan pipa evaporator dengan pipa kapiler.
2. Persiapkan pipa evaporator yang akan digunakan pada percobaan dalam hal ini pipa evaporator dengan panjang 12m, 16, dan 20m.
3. Sambungkan pipa evaporator dengan pipa kapiler.
4. Lakukan proses *charging* atau pengisian kembali refrigerant pada sistem pendingin unit pembuat es.
5. Lakukan pengukuran tekanan dengan menggunakan manifold gauge pada tekanan suction/tekanan rendah dan tekanan discharge/tekanan tinggi pada sistem pendingin unit pembuatan es.
6. Lakukan pengukuran temperatur refrigerant pada pipa sebelum masuk ke kompresor (T1), pipa keluaran dari kompresor (T2), pipa keluaran kondensor (Tkond) dan pipa keluaran dari pipa kapiler (Tevap).
7. Lakukan pencatatan data pada tiap panjang pipa evaporator yang digunakan pada sistem pendingin unit pembuatan es dengan selang waktu 10 menit.

Perhitungan Besaran Kerja Unit Pendingin

➤ Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi dihitung sebagai selisih entalpi pada titik 1 dengan titik 4, yaitu:

$$q_c = (h_1 - h_4) \quad (1)$$

➤ Kerja kompresi

Kerja kompresi aktual dihitung dengan rumus:

$$W_k = (h_2 - h_1) \quad (2)$$

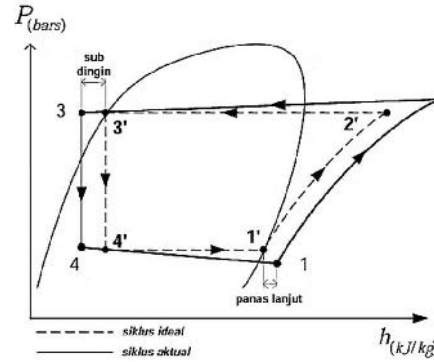
➤ Kalor yang dilepas oleh kondensor

Kalor yang dilepaskan oleh kondensor dihitung dengan dengan persamaan [9]:

$$q_k = (h_2 - h_3) \quad (3)$$

➤ Koefisien performansi (COP)

$$COP = \frac{q_c}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$



Gambar 2. Diagram P-h siklus kompresi uap [7]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

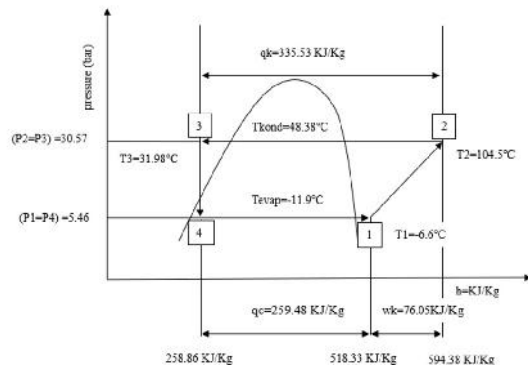
Tabel 1. Hasil penelitian

Variabel kerja mesin pendingin	Panjang pipa evaporator			satuan	keterangan
	12 m	16 m	20 m		
Tekanan kondensasi, $p_2=p_3$	443.43	431.92	426.34	Psia	sesuai hasil pengukuran
Tekanan evaporasi, $p_1=p_4$	79.20	77.16	75.54	Psia	sesuai hasil pengukuran
Penurunan tekanan ekspansi, $\Delta P = (P_3 - P_4)$	364.23	354.76	350.80	Psia	dihitung
Rasio Kompresi, $Cr = p_2/p_1$	5.60	5.60	5.64		dihitung
Temperatur evaporasi, T_{evap}	-11.9	-12.6	-13.6	°C	sesuai sifat refrigeran
Temperatur awal kompresi, T_1	-6.6	-5.7	-5.1	°C	sesuai hasil pengukuran
$\Delta T_{SH} = (T_{evap} - T_1)$	-5.25	-6.89	-8.50	°C	dihitung
Temperatur akhir kompresi, T_2	104.50	105.59	107.34	°C	sesuai hasil pengukuran
Temperatur kondensasi, T_{kond}	48.83	47.80	47.15	°C	sesuai hasil pengukuran
Temperatur akhir kondensasi, T_3	31.98	31.58	31.63	°C	sesuai hasil pengukuran
$\Delta T_{SC} = (T_{kond} - T_3)$	16.85	16.22	15.52	°C	dihitung
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi, h_1	518.33	519.85	521.74	kJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entalpi akhir kompresi, h_2	594.38	596.87	599.7	KJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi $h_3 = h_4$	258.85	257.88	257.99	KJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entropi awal kompresi, $s_1=s_2s$	2.2207	2.2301	2.2402	KJ/(K g.C)	sesuai sifat refrigeran
Entropi akhir kompresi, s_2	2.2218	2.2319	2.2411	KJ/(K g.C)	sesuai sifat refrigeran
Produksi entropi, Δs	0.0011	0.0018	0.0009	KJ/(K g.C)	dihitung
Dampak refrigerasi, $q_c = (h_1 - h_4)$	259.5	262.0	263.8	KJ/Kg	dihitung

3.2 Pembahasan

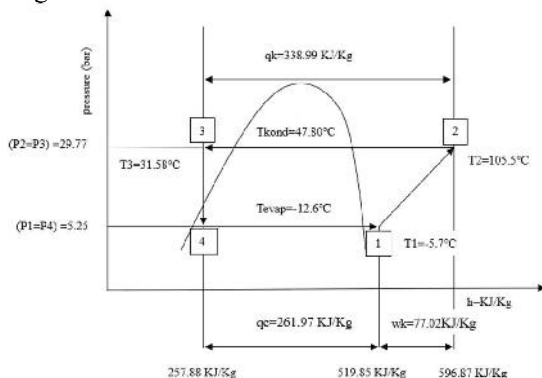
A. Pengaruh Panjang Pipa Evaporator Terhadap Kondisi Kerja Unit Pendingin

Pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kondisi kerja unit pendingin siklus kompresi uap yang di teliti, secara keseluruhan dapat di telusuri sesuai perubahan sifat-sifat termodinamika refrigerant R-32 yang di gunakan pada tingkat keadaan 1 (akhir evaporasi/awal kompresi), tingkat keadaan 2 (akhir kompresi/awal kondensasi), tingkat keadaan 3 (akhir kondensasi/awal ekspansi) dan tingkat keadaan 4 (akhir ekspansi/awal evaporasi). untuk penelitian dengan panjang pipa evaporator 12m, 16m, dan 20m yang diteliti, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



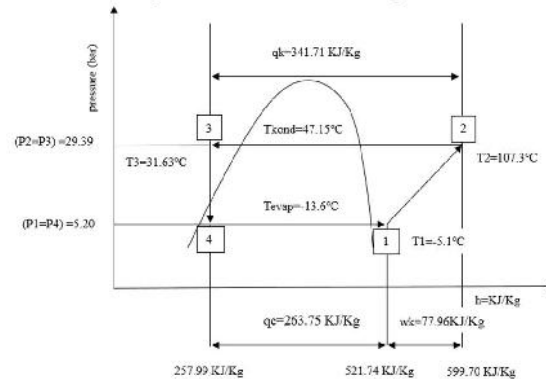
Gambar 3. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 12 m

Berdasarkan Gambar 3 diatas, menunjukkan nilai tekanan $P_1 = 5,46$ bar dan $P_2 = 30,57$ bar, dengan suhu $T_1 = -6,6^\circ\text{C}$, $T_2 = 104,5^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,98^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 48,38^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -11,9^\circ\text{C}$. Nilai entalpi $h_1 = 518,33$ kJ/kg, $h_2 = 594,38$ kJ/kg dan $h_3 = 258,86$ kJ/kg sehingga di dapatkan nilai $q_k = 335,53$ kJ/kg, $q_c = 259,48$ kJ/kg dan $w_k = 76,05$ kJ/kg.



Gambar 4. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 16 m

Gambar 4, menunjukan data penggunaan pipa evaporator dengan panjang 16 m, nilai tekanan $P_1 = 5,25$ bar dan $P_2 = 29,77$ bar, dengan suhu $T_1 = -5,7^\circ\text{C}$, $T_2 = 105,5^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,58^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 47,80^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -12,6^\circ\text{C}$ dari data tersebut, diperoleh nilai entalpi $h_1 = 519,85$ kJ/kg, $h_2 = 596,87$ kJ/kg dan $h_3 = 257,88$ kJ/kg sehingga nilai $q_k = 338,99$ kJ/kg, $q_c = 261,97$ kJ/kg dan $w_k = 77,02$ kJ/kg.

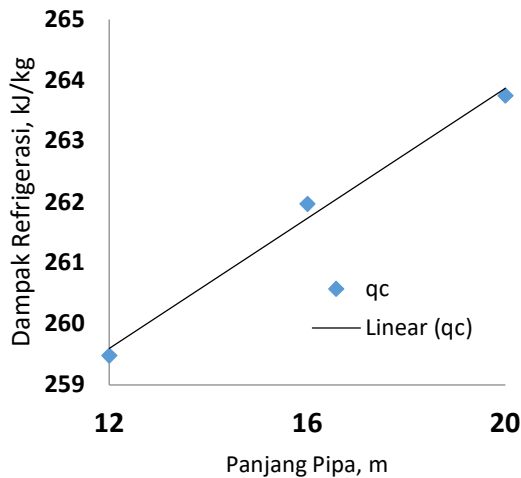


Gambar 5. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 20 m

Gambar 5. Menunjukkan perolehan data variasi panjang pipa evaporator 20 m. Tekanan $P_1 = 5,20$ bar dan $P_2 = 29,39$ bar, dengan suhu $T_1 = -5,1^\circ\text{C}$, $T_2 = 106,1^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,63^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 47,15^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -13,6^\circ\text{C}$. berdasarkan data tersebut, diperoleh nilai entalpi $h_1 = 521,75$ kJ/kg, $h_2 = 599,70$ kJ/kg dan $h_3 = 257,99$ kJ/kg sehingga nilai $q_k = 341,71$ kJ/kg, $q_c = 263,75$ kJ/kg dan $w_k = 77,96$ kJ/kg.

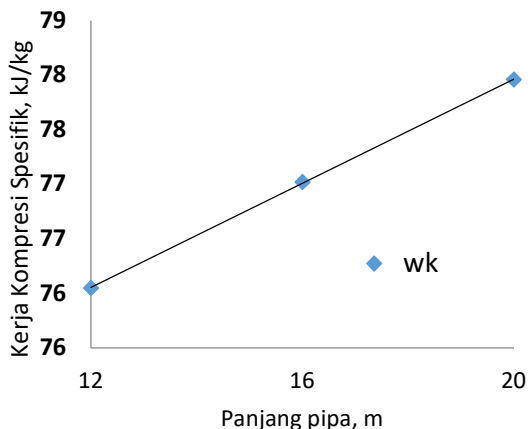
➤ Pengaruh Terhadap Variabel Kerja Siklus

Gambar 6, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap efek refrigerasi (q_c). Nampak bahwa semakin panjang pipa evaporator, efek refrigerasi sedikit meningkat. Meskipun peningkatan ini bervariasi, terlihat bahwa panjang pipa evaporator mempengaruhi proses evaporasi, yang mengakibatkan peningkatan temperatur evaporasi dan berdampak pada efek refrigerasi.



Gambar 6. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap dampak refrigerasi, q_c

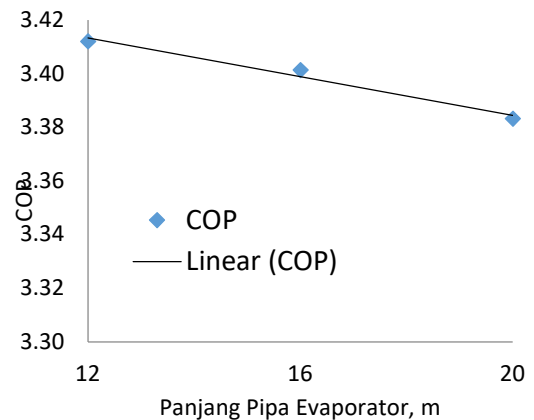
Gambar 7, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kerja kompresi spesifik (w_k). Terlihat bahwa dengan bertambahnya panjang pipa evaporator, kerja kompresi spesifik juga meningkat. Rata-rata peningkatan ini sebesar 76,99 %. Hal ini terjadi oleh pergeseran titik akhir kompresi (titik 2) ke arah kanan, sehingga selisih entalpi antara awal dan akhir kompresi (h_2-h_1), yang menentukan kerja kompresi spesifik, menjadi lebih besar..



Gambar 7. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kerja kompresi, w_k

Gambar 8, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap *Coefficient Of Performance* (COP). Tampak semakin panjang pipa evaporator, COP semakin menurun, dengan rata-rata penurunan sekitar 3,40%. Sesuai dengan rumus COP, penurunan ini disebabkan oleh menurunnya efek

refrigerasi dan meningkatnya kerja kompresi spesifik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 8. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap COP

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian pengaruh variasi panjang pipa evaporator terhadap karakteristik siklus kompresi uap yang dikaji dapat disimpulkan sebagai berikut: Pengujian panjang pipa evaporator terhadap nilai COP dengan panjang pipa evaporator yang digunakan 12 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,412 dengan nilai kerja kompresi (w_k) sebesar 76,050 kJ/kg, sedangkan panjang pipa evaporator 16 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,401 dengan nilai kerja kompresi (w_k) sebesar 77,020 kJ/kg, dan untuk panjang pipa evaporator 20 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,383 dengan nilai kerja kompresi sebesar 77,960 kJ/kg. Dapat disimpulkan bahwa nilai COP akan semakin menurun seiring dengan penambahan panjang pipa evaporator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo Kusbandono, PK Purwadi. “COP Mesin Pendingin Refrigeran Sekunder”. Jurnal Penelitian. Vol. 19, No. 1, pp. 79-86, 2015.
- [2] R. Ufie. Cendy S.E Tupamahu Dan Muhammad Mas’ud Tohepaly, “Uji Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Skala Kecil Menggunakan Outdoor Ac 2 Pk. Seminar Nasional“, Archipelago Engineering, 2022

- [3] Cendy S.E Tupamahu., B.G. Tentua., “Variasi Lilitan Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Menggunakan Outdoor AC 1 PK”. Teknobiz Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin 14 (3), 202-206, 2024
- [4] Suyanto, Ari Setiawan, “Pengaruh Variasi Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant R134a”, Marine Science and Technology Journal
- [5] Sumeru, K., Markus, M., Pratama, N. F., Muliawan, R., & Hikmat, Y. P. (2023). Metode Praktis Perancangan Panjang Pipa Evaporator pada Mini Freezer Bertemperatur Rendah Menggunakan Refrigeran R404A. Jurnal Rekayasa Mesin, 18(1), 9–18.
- [6] Sumeru, K., Nugraha, R., Badarudin, A., Simbolon, L. M., Sukri, M. F. bin, & Yuningsih, N. (2023). *Designing of Evaporator Length in Very Low Temperature Chest Freezer by using Environmentally Friendly Refrigerant R290*. Jurnal Polimesin, 21(5)
- [7] Ufie, R., Tupamahu, C., Sarwuna, S., & Frans, J. (2021). Kaji Performansi Refrigeran R-290, R-32, Dan R-410a Sebagai Alternatif Pengganti R-22. ALE Proceeding, 4, 133-139. <https://doi.org/10.30598/ale.4.2021.133-139>
- [8] Cendy S.E Tupamahu, R.Ufie.,Ajit Tuasikal., “Kaji teoritik Kebutuhan Es Bagi Kebutuhan Pendinginan Ikan Cakalang Segar Sesuai Massa, Suhu Dan Lama Waktun Penyimpanan”. Jurnal ,Tek Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains, 3 (1), 17-27, 2023
- [9] Faozan Imam, “Analisi Perbandingan Evaporator Kulkas (Lemari Es) Dengan Menggunakan Refrigerant R-22 Dan R-134a”, Jurnal Teknik Meisn, Vol. 04, No. 3, Pp. 99-103, 2015

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU PADA RUAS JALAN DR. SIWABESSY BERDASARKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN TAHUN 2024

Christini Lawalata¹, Juliet G Metekohy² dan, Febrino Wangean³

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: lawalatachristini@gmail.com

Abstrak Jalan merupakan infrastruktur utama dalam pengembangan wilayah yang mendukung aktivitas ekonomi, sosial, dan mobilitas masyarakat. Jalan Dr. Siwabessy yang berlokasi di depan PDAM merupakan salah satu jalan utama dengan peran strategis dalam mendukung arus lalu lintas serta mobilitas penduduk di Kota Ambon. Dalam beberapa tahun terakhir, perkerasan lentur pada jalan tersebut mengalami kerusakan berupa retakan, lubang, dan deformasi yang disebabkan oleh ketidakmampuan menahan beban kendaraan berat dan kondisi cuaca ekstrem dan adanya tempat pengisian air disamping jalan yang mengakibatkan jalan sering terendam air. Kondisi ini menimbulkan keluhan masyarakat dan mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan tebal perkerasan kaku yang optimal sebagai alternatif pengganti perkerasan lentur dengan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024. Data primer yang diperoleh yaitu data lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk mendapatkan nilai California Bearing Ratio (CBR). Analisis dilakukan untuk menentukan ketebalan perkerasan optimal dengan mempertimbangkan faktor kondisi tanah dasar, beban lalu lintas, serta spesifikasi material yang digunakan dengan umur rencana 40 Tahun. Hasil penelitian. Diperoleh nilai CBR sebesar 3,07%, sehingga memerlukan perbaikan tanah dasar setebal 400 mm. untuk mencapai CBR desain 10%, Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) untuk umur rencana 40 tahun sebesar 18.007.796, sehingga diperoleh tebal yaitu: Tebal beton semen 250 mm, Lapis fondasi beton kurus 150 mm, Lapis Drainase Agregat kelas A 200 mm dan Timbunan pilihan berbutir kasar 200 mm.

Kata kunci: Perkerasan kaku, Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

Abstract Road is the main infrastructure in regional development that supports economic, social, and community mobility activities. Dr. Siwabessy Road located in front of PDAM is one of the main roads with a strategic role in supporting traffic flow and population mobility in Ambon City. In recent years, the flexible pavement on the road has been damaged in the form of cracks, holes, and deformation caused by the inability to withstand heavy vehicle loads and extreme weather conditions and the presence of a water filling station beside the road which results in the road often being submerged in water. This condition causes public complaints and disrupts the smooth flow of traffic. This research aims to plan the optimal thickness of rigid pavement as an alternative to flexible pavement using the 2024 Pavement Design Manual. Primary data obtained were average daily traffic (LHR) data and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) testing to obtain California Bearing Ratio (CBR) values. The analysis was carried out to determine the optimal pavement thickness by considering the factors of subgrade conditions, traffic loads, and material specifications used with a 40-year plan life. Obtained a CBR value of 3.07%, so it requires a 400 mm thick subgrade improvement. to achieve a design CBR of 10%, the Number of Commercial Vehicle Axes (JSKN) for a 40-year plan life of 18,007,796, so that the thickness is obtained: 250 mm thick cement concrete, 150 mm thin concrete foundation layer, 200 mm class A Aggregate Drainage Layer and 200 mm coarse grained selected backfill.

Keywords: Rigid pavement, Road Pavement Design Manual 2024

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang mempunyai peran sangat penting dalam pengembangan suatu wilayah. Jalan juga merupakan infrastruktur utama dalam pembangunan suatu wilayah baik dalam bidang ekonomi, sosial, budaya, lingkungan hidup, politik, pertahanan dan keamanan. Secara sosial, jalan berfungsi sebagai penghubung antar wilayah, memfasilitasi interaksi dan komunikasi, serta mendukung mobilitas penduduk untuk berbagai keperluan seperti pendidikan, kesehatan, dan aktivitas sosial lainnya. Menurut Kosim et al. (2022), jalan telah menjadi bagian integral dari kehidupan manusia karena kemampuannya memperlancar berbagai aktivitas sehari-hari.

Secara ekonomi, jalan berperan sebagai tulang punggung distribusi barang dan jasa, yang mendukung pertumbuhan ekonomi melalui kelancaran arus perdagangan. Jalan yang berkualitas memungkinkan pengiriman barang tepat waktu, pengurangan biaya transportasi, serta peningkatan efisiensi produksi, termasuk sektor pariwisata. Akses jalan yang baik berkontribusi pada peningkatan kunjungan wisatawan, sehingga memberikan dampak positif terhadap ekonomi lokal. Dari perspektif lingkungan, jalan yang dirancang dengan baik dapat meminimalkan dampak negatif seperti polusi udara dan kebisingan, serta mendukung pembangunan berkelanjutan. Tanpa keberadaan jalan yang memadai, perkembangan wilayah dan peningkatan kualitas hidup masyarakat akan terhambat.

Kerusakan jalan merupakan salah satu tantangan infrastruktur yang sering dihadapi kota-kota besar di Indonesia, termasuk Kota Ambon. Sebagai ibu kota provinsi Maluku, Kota Ambon memiliki peran penting sebagai pusat pemerintahan ekonomi, dan kebudayaan. Infrastruktur jalan di kota ini menjadi elemen vital mendukung aktivitas masyarakat serta pertumbuhan ekonomi daerah. Namun, kondisi geografis yang berbukit serta tanah yang cenderung labil menyebabkan beberapa ruas jalan retan mengalami kerusakan.

Salah satu ruas jalan yang mengalami kerusakan adalah Jalan Dr. Siwabessy Wainitu, yang memiliki fungsi strategis sebagai penghubung beberapa kawasan penting di Kota Ambon. Jalan ini mengalami kerusakan signifikan, terutama pada bagian perkerasan lentur, yang tidak mampu lagi menahan beban kendaraan berat serta retakan, lubang, dan deformasi yang berdampak pada kelancaran arus lalu lintas serta keselamatan pengguna jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ketebalan perkerasan kaku pada ruas Jalan Dr. Siwabessy berdasarkan pedoman manual desain perkerasan jalan tahun 2024, guna memberikan solusi infrastruktur yang lebih tahan lama dan mendukung kelancaran arus lalu lintas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Dr. Siwabessy yang berlokasi di depan PDAM, Kota Ambon. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei langsung di lapangan yang meliputi data volume kendaraan yang dilakukan selama 2 minggu dan data Uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP) yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tanah dasar dan menghitung nilai California Bearing Ratio (CBR). Serta data sekunder yang berupa informasi pendukung seperti peta lokasi, spesifikasi teknis material jalan dan manual desain perkerasan jalan tahun 2024.

2.1. Tahapan Analisis

Analisis perencanaan tebal perkerasan kaku dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Analisis LHR dan Konversi ke JSKN.

Data kendaraan dikonversikan ke JSKN untuk menentukan beban lalu lintas selama umur rencana.

$$JSKN = LHR \times JSKN \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (1)$$

Keterangan :

- LHR : Lintasan harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)
- JSKN : Sumbu total kendaraan niaga tiap jenis kendaraan niaga
- DD : Faktor distribusi arah
- DL : Faktor distribusi lajur
- R : Faktor pengalih pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2. Tanah Dasar

Pengujian daya dukung tanah dasar dilakukan dengan Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk mendapatkan nilai California Bearing Ratio (CBR).

Perhitungan DCP dihitung menggunakan persamaan :

$$DCP = \frac{\text{Kumulatif penetrasi (mm)}}{\text{Kumulatif tumbukan}} \times 1 \quad (2)$$

Perhitungan CBR dengan conus 60° dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log}_{10} = 10 \times 2,815 - 1,313 \times \log_{10} \quad (3)$$

3. Perhitungan Tebal perkerasan

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024, ditentukan tebal lapisan perkerasan kaku yang terdiri dari lapisan beton semen, beton kurus, agregat drainase kelas A, dan timbunan pilihan.

s

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Data

Tabel 1. Data lalu lintas harian rata – rata (LHR)

Golongan	Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari)
Golongan 1	Sepeda Motor	20.909
Golongan 2	Sedan, Jeep, Statin Wagon	775
Golongan 3	Angkutan	672
Golongan 4	Mobil <i>pick up</i>	483
Golongan 5a	Bus Kecil	1
Golongan 5b	Bus Besar	5
Golongan 6a	Truk Ringan	22
Golongan 6b	Truk Sedang	407

Berdasarkan hasil survei lapangan yang dilakukan selama 14 hari pada ruas jalan Dr. Siwabessy Dari data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sepeda motor merupakan jenis kendaraan yang paling dominan di ruas jalan ini, sedangkan kendaraan besar seperti bus dan truk memiliki jumlah yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa ruas Jalan Dr. Siwabessy Wainitu lebih banyak digunakan oleh kendaraan pribadi dan angkutan ringan dibandingkan angkutan berat.

Data California Bearing Ratio (CBR) diperoleh melalui pengujian tanah dasar menggunakan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Namun, karena keterbatasan lahan untuk pengujian, penelitian ini hanya mengambil data pada satu titik, yaitu STA 0+150. Pengambilan data CBR dilakukan berdasarkan pedoman cara uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) yang tercantum dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (MDP 2024). Untuk

memperoleh nilai CBR (%), terlebih dahulu dihitung nilai DCP (mm/blow) yang menunjukkan kedalaman penetrasi tanah per tumbukan. Nilai DCP ini kemudian dikonversikan menjadi nilai CBR menggunakan persamaan logaritmik berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan CBR STA 0+ 150

N o	Ban yak Tu mbu kan	Kum ulatif Tum bukn	Penet rasi (hi) (mm)	Kumu latif Penetr asi	DCP (mm/ Tum buka n)	CR R (%)
1	0	0	0	0	-	-
2	5	5	156	256	51,20	3,71
3	5	10	287	543	54,30	3,43
4	5	15	222	765	51,00	3,73
5	5	20	135	900	45,00	4,39

Perhitungan DCP (dynamic cone Penetrometer) dapat dihitung menggunakan persamaan 2 Maka, didapat perhitungan sesuai data pada tabel yaitu:

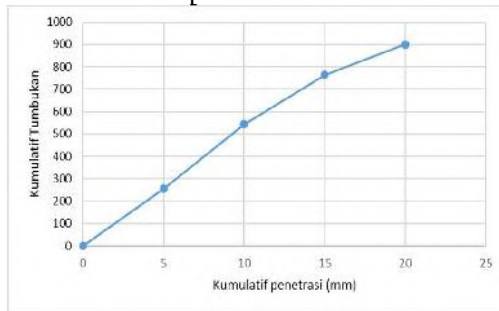
- $\text{DCP} = \frac{256}{5} \times 1 = 51,20 \text{ mm}$
- $\text{DCP} = \frac{287}{10} \times 1 = 54,30 \text{ mm}$
- $\text{DCP} = \frac{222}{15} \times 1 = 51,00 \text{ mm}$
- $\text{DCP} = \frac{135}{20} \times 1 = 45,00 \text{ mm}$

Perhitungan CBR dengan Conus 60° dapat dihitung Maka, didapat perhitungan CBR sesuai data pada tabel dengan persamaan 3 yaitu:

- $\text{CBR} = 10 \times (2,815 - 1,313 \times \log 51,20) = 3,71$
- $\text{CBR} = 10 \times (2,815 - 1,313 \times \log 54,30) = 3,43$
- $\text{CBR} = 10 \times (2,815 - 1,313 \times \log 51,00) = 3,73$
- $\text{CBR} = 10 \times (2,815 - 1,313 \times \log 51,00) = 4,39$

Berdasarkan data serta perhitungan kumulatif tumbukan dan penetrasi diatas sesuai dengan nilai DCP dan CBR dari data STA 0+150. Maka, dapat ditarik grafik perhitungan tersebut sebagai berikut:

Gambar 1. Grafik kumulatif tumbukan dan penetrasi



Berdasarkan hasil perhitungan nilai CBR menggunakan metode Conus 60°, diperoleh nilai CBR yang bervariasi tergantung pada nilai penetrasi yang digunakan. Nilai CBR yang diperoleh berkisar antara 3,43 hingga 4,39, yang menunjukkan bahwa kondisi tanah di lokasi tersebut memiliki daya dukung sedang. Grafik hubungan antara kumulatif tumbukan dan kumulatif penetrasi menunjukkan adanya tren kenaikan yang konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar nilai penetrasi, semakin besar pula jumlah tumbukan yang diperlukan untuk mencapai penetrasi tersebut. Dengan kata lain, tanah yang diuji memiliki karakteristik yang menunjukkan perlawanan terhadap penetrasi seiring dengan bertambahnya kedalaman.

3.2 Perhitungan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024

A. Umur Rencana

Tabel 3 Umur rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan Lentur	Lapis aspal dan lapis berbutir	20
	Fondasi Jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	
	<i>Cemen Treated Base (CTB)</i>	

Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis fondasi beton semen, dan lapis fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Umur rencana merupakan periode waktu yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan analisis kinerja suatu infrastruktur, khususnya dalam perkerasan jalan. Berdasarkan Tabel 3 untuk menetapkan umur perkerasan jalan baru maka diambil dari hasil hubungan antara jenis perkerasan dengan elemen perkerasan sesuai dengan ketentuan tersebut maka didapat umur rencana untuk perkerasan kaku adalah 40 tahun. Pada perencanaan ini dihitung dari tahun 2025-2065

B. Pemilihan Struktur Perkerasan

Perkerasan harus mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Oleh karena itu, jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) dihitung berdasarkan proyeksi lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang dikonversikan kedalam tabel dan pertumbuhan lalu lintas tahunan Desain Perkerasan kaku menggunakan Jumlah Data Lalulintas Harian Rata-rata dikonversi ke Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) menggunakan Tabel 4 Konfigurasi Sumbu Kendaraan, sehingga didapatkan hasil seperti tabel dibawah

Tabel 4 Pehitungan Nilai JSKN umur rencana 40 tahun

Gol Kendaraan	LH R	JSK N	HVA G	STR T	STR G
Gol 5B	4	2	10	5	5
Gol 6A	22	2	44	44	0
Gol 6B	407	2	814	407	407
Gol 7A1	0	2	0	0	0
Gol 7A2	0	2	0	0	0
Gol 7A3	0	2	0	0	0
Gol 7B1	0	4	0	0	0
Gol 7B2	0	4	0	0	0
Gol 7B3	0	4	0	0	0
Gol 7C1	0	3	0	0	0
Gol 7C2A	0	3	0	0	0
Gol 7C2B	0	3	0	0	0
Gol 7C3	0	3	0	0	0

Gol 7C4	0	3	0	0	0
Total	434		868	456	412
R	113,678				
Proposi jenis kendaraa n (%)	100			53	47

Maka dapat dihitung jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana berdasarkan persamaan 1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 JSKN &= LHR \times JSKN \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 JSKN &= 434 \times 868 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 113,678 \\
 JSKN &= 18.007.796
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, nilai JSKN (Jumlah Standar Kendaraan Niaga) yang diperoleh sebesar 18,007,796. Nilai ini didapatkan berdasarkan data LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) tahun 2025 yang digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah standar kendaraan selama umur rencana 40 tahun. Nilai R yang diperoleh sebesar 113,678. Hasil ini memberikan gambaran bahwa tingkat pertumbuhan lalu lintas yang cukup signifikan selama umur rencana dapat berdampak pada kinerja jalan di masa depan. Oleh karena itu, hasil perhitungan ini akan menjadi acuan penting dalam perencanaan tebal perkerasan yang sesuai dengan standar Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024, guna memastikan daya dukung jalan tetap optimal dalam menampung volume kendaraan yang diproyeksikan.

C. Pertumbuhan lalu lintas (i)

Berdasarkan acuan dari Buku Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024, maka didapatkan pertumbuhan lalu lintas pada daerah Maluku sebesar 4,75%.

D. Faktor Pertumbuhan Kumulatif (R)

Faktor pertumbuhan kumulatif (R) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung total akumulasi pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana. Dimana faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan diasumsikan sebesar 4,75% selama 40 tahun. Maka nilai R dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(1+0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i} \\
 R &= \frac{(1+0,01 \times 4,75)^{40} - 1}{0,01 \times 4,75} \\
 R &= 113,678
 \end{aligned}$$

E. Lalu lintas pada jalur rencana

Ruas Jalan Dr. Siwabessy merupakan jalan yang terdiri 2 lajur dan 2 arah, Mengacu pada Manual

Desain perkerasan jalan Tahun 2024. Untuk jalan dua arah faktor distribusi Arah (DD) umumnya diambil 0,5 dan untuk faktor distribusi lajur (DL) pada lajur desain adalah 80%.

F. Data nilai CBR Subgrade (Tanah Dasar)

Dari hasil perhitungan CBR tanah dasar pada ruas Jalan Dr. Siwabessy, didapat hasil bacaan DCP sebesar 4,39% dengan faktor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim sebesar 0,70 untuk musim kemarau. Maka didapatkan nilai CBR Desain adalah sebagai berikut:

$$\text{CBR desain} = \text{hsl bacaan} \times \text{faktor penye}$$

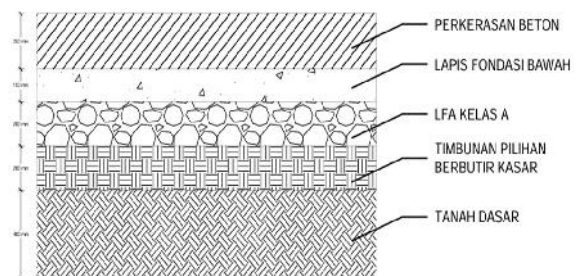
$$\text{CBR desain} = 4,39 \times 0,70$$

$$\text{CBR desain} = 3,07 \%$$

G. Desain pondasi jalan

Pelebaran perkerasan pada galian biasanya meliputi pembentukan tanah dasar yang sempit atau tidak teratur sehingga menyulitkan pelaksanaan stabilisasi. Dalam kasus yang demikian sebaiknya digunakan perbaikan dengan material timbunan pilihan. di karenakan CBR tanah dasar pada Jalan dr. Siwabessy sebesar 3,07% maka digunakan tebal perbaikan tanah dasar sebesar 400 mm sebagai lapis penopang ketebalan minimum beton perkerasan yang direkomendasikan adalah 180 mm. Namun, untuk memastikan keamanan dan ketahanan perkerasan terhadap beban yang lebih tinggi, dicoba menggunakan tebal beton sebesar 250 mm.

Gambar 2. Struktur perkerasan kaku



H. Struktur Perkerasan

Struktur perkerasan jalan dirancang dengan mempertimbangkan faktor beban lalu lintas yang akan diterima selama umur rencana jalan. Salah satu aspek penting dalam perencanaan ini adalah perhitungan repetisi beban yang diizinkan, yaitu jumlah siklus beban yang dapat ditanggung oleh

perkerasan sebelum mengalami kegagalan struktural.

Tabel 5 hasil hitungan repetisi beban yang diizinkan- STRT

Beban sumbu	Proporsi Beban (% 100)	Proporsi kelompok sumbu (% 100)	Desain lalu lintas (JSKN)	Repetisi beban yang diizinkan
10	0,0015	0,53	18007796	14190,48
20	0,2582	0,53	18007796	2441707,81
30	0,3957	0,53	18007796	3743447,43
40	0,1952	0,53	18007796	1846653,88
50	0,0693	0,53	18007796	604514,26
60	0,0447	0,53	18007796	422876,17
70	0,0304	0,53	18007796	287593,64
80	0,0065	0,53	18007796	61492,06
90	0,0038	0,53	18007796	35,949,20
100	0,0003	0,53	18007796	2838,10

Tabel ini menunjukkan bahwa semakin besar beban sumbu kendaraan, semakin cepat perkerasan jalan mengalami kelelahan struktural. Oleh karena itu, desain perkerasan harus mempertimbangkan distribusi beban dan repetisi beban yang diizinkan untuk memastikan ketahanan jalan selama umur rencana.

I. Faktor kelelahan (*fatigue*) dan faktor erosi

Tabel 6 Hasil hitung faktor fatigue dan erosi

Tabel H. Hasil hitung faktor fatigue dan erosi – STRG						
Beban Sumbu (KN)	Repetisi Beban L _{st} (Beban Reneana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ek. Fak. Fatigue (S _e)	1.00	Ekuiv. Fak. Erosi (F ₂)	2.10
			Analisis Faktor Fatigue		Analisis Faktor Erosi (N _e)	
			Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
10	11	2.31E+04	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
20	22	0.00E+00	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
30	33	8.03E+05	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
40	44	1.93E+06	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
50	55	1.40E+06	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
60	66	1.48E+06	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
70	77	1.30E+06	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
80	88	8.56E+05	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
90	99	2.46E+05	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
100	110	1.58E+05	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
110	121	8.72E+04	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
120	132	7.09E+04	UNLIMITED	0.00	3.56E+14	0.00
130	143	2.14E+04	UNLIMITED	0.00	9.10E+07	0.02
140	154	1.44E+05	UNLIMITED	0.00	1.44E+07	1.00
150	165	2.39E+04	9716088.846	0.25	5.42E+06	0.44
Total Tabel H			Fatigue (%)	0.25	Erosi (%)	1.46

Perkerasan kaku pada jalan ini dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang tinggi dengan menggunakan lapisan beton semen sebagai lapisan utama. Berdasarkan hasil analisis, ketebalan yang dibutuhkan untuk beton semen adalah 250 mm, dengan mempertimbangkan faktor fatigue sebesar 0,25% dan faktor erosi sebesar 1,46%. Hal ini menunjukkan bahwa struktur perkerasan memiliki ketahanan yang baik terhadap kelelahan akibat beban berulang serta erosi akibat beban kendaraan berat:

Tabel 7 Susunan konstruksi desain perkerasan kaku

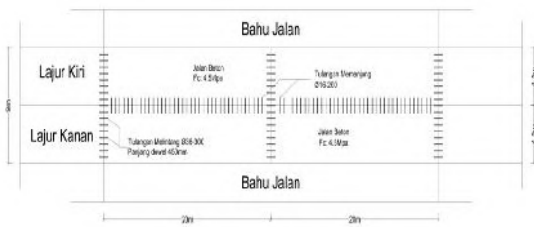
Material	Tebal (mm)
Beton semen : 4,5 Mpa	250 mm
Lapis Fondasi Bawah : Beton kurus	150 mm
LFA Kelas A : CBR 90 %	200 mm
Timbunan pilihan berbutir kasar : CBR 30%	200 mm (Untuk mencegah pumping MDP J 2024 halaman 73)
Tanah Dasar : 3,07 %	400 mm

J. Sambungan perkerasan beton dengan tulangan (JRCP)

Dari hasil perhitungan diatas maka digunakan tulangan ϕ 8 dengan jarak 200 mm Hal ini menghasilkan luas penampang tulangan yang efektif sebesar 251 mm²/m, yang sudah memenuhi persyaratan minimum. Dengan penggunaan tulangan ϕ 8 mm dengan jarak 200 mm, perkerasan beton semen bersambung ini dapat mengontrol retak dengan baik serta meningkatkan ketahanan terhadap beban lalu lintas dan perubahan lingkungan. Pemilihan tulangan yang sesuai dengan standar memastikan bahwa perkerasan akan memiliki umur layanan yang lebih panjang dan kinerja yang optimal untuk tulangan memanjang

Dan untuk tulangan melintang, Berdasarkan standar Pd T-14-2003, diameter tulangan yang digunakan adalah 8 mm, dengan jarak pemasangan 200 mm. Pemilihan ini dilakukan untuk memastikan luas penampang tulangan yang digunakan memenuhi persyaratan desain dan memberikan ketahanan yang cukup terhadap retak akibat beban lalu lintas serta perubahan lingkungan.

Gambar 3. Pembesian perkerasan jalan



4. KESIMPULAN

Tebal perkerasan kaku pada ruas jalan Dr. Siwabessy Kota Ambon STA 0+400 Sampai STA 0+641 menggunakan metode MDPJ 2024 didapatkan tebal perkerasan kaku yang terdiri dari tebal perkerasan 250 mm. Tebal lapisan pondasi kelas A (Ukuran butir nominal maksimum 30 mm) yaitu 200 mm. Karena nilai CBR tanah dasar sebesar 3,07%. maka diperoleh perbaikan tanah dasar dengan timbunan dipadatkan setebal 400 mm.

DAFTAR PUSTAKA

Penyitiran pustaka dilakukan dengan memberi nomor yang diletakkan pada kurung besar seperti berikut [1] bukan sebagai superscript. Nomor daftar

pustaka disesuaikan dengan urutan penyitiran. Daftar pustaka harus ditulis semuanya pada akhir naskah dengan informasi yang cukup agar pembaca dengan mudah mencarinya. Daftar pustaka yang ditulis hanya yang terkait secara langsung dengan isi naskah. Jumlah minimal daftar pustaka adalah 9 judul. 80% dari jumlah daftar pustaka berasal dari jurnal ilmiah atau prosiding terbitan 5 tahun terakhir. Tidak diperbolehkan menggunakan buku teks sebagai daftar pustaka.

- [1] Kamil, F., Setiawan, A., & Purnomo, J. (2023). Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) pada Kerusakan Jalan Wolter Monginsidi. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 16(1), 28–36. <https://doi.org/10.23917/dts.v16i1.21404>
- [2] Kirom, I., & Siswoyo, S. (2020). Perencanaan Jalan Soekarno Hatta Pasuruan Dengan Sistem Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dan Rencana Anggaran Biaya. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(1), 69. <https://doi.org/10.30742/axial.v8i1.1028>
- [3] Kosim, K., Fikri, J., Indra, S., Amalia, K. R., Sari, I. P., & Prasetya, Y. (2022). Design of Geometric and Rigid Pavement Thickness on Jalan Lingkar Barat Sp. Sports Center - Bukit Sulap STA 0+100 - STA 7+583 Lubuklinggau City, South Sumatera Province. *Proceedings of the 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*, 9, 19–25. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.220205.004>
- [4] Kurniawan, R., Mochtar, I. B., & Siagian, F. (2023). Evaluation and Planning of Strong and Durable Roads Due to Overloaded Vehicle (Case Study: The National Road Bts. Kab. Konawe Utara/Kab. Konawe – Pohara). *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management*, 5(1), 19–28. <https://doi.org/10.12962/jifam.v5i1.20528>
- [5] Letsoin, M. T., Hamkah, & Lewakabessy, G. (2019). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Bina Marga 2017 Pada Ruas Jalan Pantai Mardika Ambon. *Live and Applied Science*, 2(September 2022), 2964–772

- [6] Suparyanto dan Rosad (2015. (2020). Rencana Pengkerasan Jalan. In Suparyanto dan Rosad (2015 (Vol. 5, Issue 3)
- [7] Syah, A., Abdillah, N., & Abrar, A. (2023). Perencanaan Telab Sruktur Perkerasan Kaku Pada Subgrade Yang Berdaya Dukung Rendah Studi Kasus Jl Gaharu, Basilam Baru Kota Dumai. SLUMP TeS : Jurnal Teknik Sipil, 2(1), 9–18.

PENGARUH SOUND LEVEL TERHADAP KETEBALAN REINFORCE FIBRE GLASS PLASTIC PADA JARAK TUMPUAN 400 mm

Eliza. R. De Fretes¹, L.M. Kelwulan², D.S. Pelupessy³

¹Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: defretesera@gmail.com

²Program Studi Teknik Transportasi Laut Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : kelwulanlm@gmail.com

³ Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : autoboxy@gmail.com

Abstrak Ketebalan Pelat Fibre Reinforce Plastik (FRP) glass menentukan kekuatan konstruksi dari suatu kapal, selanjutnya mempengaruhi kekuatan kapal dan berpengaruh pada umur pakai kapal. Hal ini merupakan sesuatu yang sangat krusial bagi pemilik kapal jika pengawasannya tidak serius dengan seksama diperhatikan, dalam beberapa masalah kapal yang terbuat dari FRP untuk menguji ketebalan pelat dilakukan pelobangan yang sangat berpengaruh pada kebocoran suatu kapal, apalagi pada kapal yang sedang beroperasi di laut. Gauge thickness yang ada di pasaran digunakan untuk mengukur ketebalan benda yang mempunyai permukaan yang licin atau bersih tanpa ada pori-pori. Untuk kapal yang mempunyai permukaan tidak mulus atau sebaliknya mulus dan bahagian lainnya tidak mulus terutama untuk kapal-kapal yang terbuat dari FRP, dimana pada satu sisi mulus karena adanya gelcoat sedangkan sisi yang lain tidak mulus. Metode yang dilakukan eksperimental dengan mengukur tingkat bervariasi ketebalan FRP tanpa menggunakan damping dengan besar sound level yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh adalah persamaan antara ketebalan dan sound level pada jarak 50 mm dan 100 mm. Yaitu Persamaan untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 50 mm pada sisi depan (coating) adalah $\text{tebal} = 0,5429\text{SL}^3 + 172,99\text{SL}^2 - 18375 \text{SL} + 650671$ dengan nilai $R^2=0,9997$, untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 50 mm pada sisi belakang yang tidak ada coating (coating) adalah $\text{tebal} = 0,1322\text{SL}^4 - 57,894\text{SL}^3 + 9505\text{SL}^2 - 693487\text{SL} + 2\text{E}+07$ dengan nilai $R^2 = 0,9951$, untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada sisi depan (coating) adalah $\text{tebal} = 4,0234\text{SL}^2 - 814,77\text{SL} + 41253$ dengan nilai $R^2= 0,9989$, untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada sisi belakang (tidak ada coating ating) adalah $\text{tebal} = -17,094\text{SL}^3 + 5241\text{SL}^2 - 535648\text{SL} + 2\text{E}+07$ dengan nilai $R^2= 0,9994$ dapat disimpulkan bahwa makin besar jarak sound level meter terhadap benda kerja maka makin kecil besarnya sound level meter, kedudukan permukaan material juga sangat berpengaruh pada besarnya sound level meter.

Kata kunci: sound level, FRP, sound gauge, gelcoat

Abstract The thickness of the Plastic Fibre Reinforced (FRP) glass plate determines the construction strength of a ship, further affecting the strength of the ship and affecting the service life of the ship. This is something very crucial for ship owners if the supervision is not taken seriously and carefully considered. In some problems ships made of FRP to test the thickness of plates, perforations are carried out which greatly affect the leakage of a ship, especially on ships that are operating at sea. The thickness gauge available in the market is used to measure the thickness of objects that have a smooth or clean surface without any pores. For ships that have a surface that is not smooth or next to it is smooth and other parts are not smooth, especially for ships made of FRP, where on one side it is smooth due to the presence of gelcoat while the other side is not smooth. The experimental method by measuring the level varies the thickness of the FRP with the size of the sound level produced. The result obtained are the equations between thickness and sound level at distances of 50 mm and 100 mm. The equation for a pile distance of 400 mm with a sound level meter distance of 50 mm

on the front side (coating) is thickness = $0.5429SL_3 + 172.99SL_2 - 18375SL + 650671$ with an R2 value of 0.9997. for a pile distance of 400 mm with a sound level meter distance of 50 mm on the uncoated (coating) rear side is thickness $0.1322SL_4 - 57.894SL_3 + 9505SL_2 - 693487SL + 2E+07$ with an R2 value of 0.9951, for a pile distance of 400 mm with a sound level meter distance of 1000 mm on the front side (coating) is thickness = $4.0234SL_2 - 814.77SL + 41253$ with an R2 value of 0.9989, For a pile distance of 400 mm with a sound level meter distance of 1000 mm on the back side (no coating), the thickness is = $-17.094SL_3 + 5241SL_2 - 535648SL + 2E+07$ with an R2 value of 0.9994. It can be concluded that the greater the distance of the sound level meter from the workpiece, the smaller the sound level meter reading becomes. The position of the material surface also has a significant effect on the sound level meter reading.

Keywords: sound level, FRP, sound gauge, gelcoat

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal Fibre Glass adalah kapal yang konstruksinya terbuat dari Reinforce Fibre Glass Plastic (FRP). FRP ini terbuat dari susunan material dengan berbagai lapisan seperti Gellcoat, Standart Choped Mat dan Waver Rovin. Bahan penyerap suara diklasifikasikan menjadi dua jenis: tipe berpori dan tipe resonator. Bahan berpori seperti busa poliuretan, kain bukan tenunan, dan busa termoplastik memiliki pori-pori yang saling berhubungan, yang memungkinkan gelombang suara bergerak melalui bahan berpori. penurunan sound level dari redaman dari suatu sifat material yang merupakan dasar dari material teknik. bahan isolasi suara atau kedap suara mencegah gelombang suara masuk atau keluar dari ruang, bertindak sebagai penghalang akustik ke sumber suara (Tao et al. (2021), Desain isolasi suara pada bangunan masih diinformasikan oleh kinerja akustik bahan konvensional, di mana hukum massa bertentangan dengan bobot ringan dalam hal desain akustik. Isolasi ruangan termasuk untuk mengurangi transmisi suara dari satu ruang ke ruang lain dan mengontrol karakteristik gema dalam suatu ruang (Arjunan et. al, 2024).

(Kishore et.al, 2021) Dalam bidang engineering suatu hal yang penting adalah Sound level, dan menurut surajit et al. (2021), tingkat penurunan tingkat suara tergantung dari ketebalan dan pelapisan material. Selain itu menurut De Salis (2002) itu jarak antara material dengan peralatan juga merupakan suatu hal yang sangat berpengaruh pada tingkat sound level. Nakayama (2024) berat material sangat berpengaruh pada tingkat noise level suatu benda.

Ketebalan Pelat Fibre Reinforce Plastik (FRP) glass menentukan kekuatan konstruksi dari suatu kapal, selanjutnya mempengaruhi kekuatan kapal dan berpengaruh pada umur pakai kapal. Hal ini merupakan sesuatu yang sangat krusial bagi pemilik kapal jika pengawasannya tidak serius dengan seksama diperhatikan, dalam beberapa masalah kapal yang terbuat dari FRP untuk menguji ketebalan pelat dilakukan pelobangan yang sangat berpengaruh pada kebocoran suatu kapal, apalagi pada kapal yang sedang beroperasi di laut. Gauge thickness yang ada di pasaran digunakan untuk mengukur ketebalan benda yang

mempunyai permukaan yang licin atau bersih tanpa ada pori-pori

2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah Fibre glass Reinforce Plastic, yang terdiri dari lapisan-lapisan glass wool, Glasswool terdiri atas Stopped Mat dan over Rovin dengan tingkat ketebalan yang di ambil berdasarkan berat spesifik dari tiap material. Material ini diisi atau dilapisi dengan resin dan pengeras berupa catalis, tanpa menggunakan damping seperti pengisi dari kayu atau stereofoam dan tanpa menggunakan media air.

Metodologi yang digunakan adalah dengan studi eksperimental di laboratorium SlipWay Universitas Pattimura. Setelah dilakukan survey lapangan, diperoleh bahwa ketebalan pelat dan jarak frame dan stiffener kapal bervariasi untuk setiap ukuran kapal berbeda. Sehingga pembuatan spesimen dibuat dalam skala 1 : 1, dengan variasi ukuran ketebalan dari 4 mm sampai dengan 16 mm, selain itu variasi ukuran yang diberikan adalah 400 mm dari depan yaitu pada bagian FRP dengan menggunakan coating, sedangkan dari belakang tidak menggunakan coating. Pada saat pengujian ditemukan bahwa jarak peralatan pengukur ke spesimen juga sangat berpengaruh, sehingga dalam penelitian ini melakukan pengujian untuk jarak 5 cm dan jarak 1 m sesuai dengan standart kebisingan yang berlaku.

Menurut Muardaka (2008) bunyi memiliki dua arti, yaitu sebagai berikut:

- Secara fisik, karena pergerakan partikel dalam media elastis seperti udara, suara mendistorsi tekanan.
- Secara fisiologis, suara adalah salah satu jenis pendengaran, biasanya disebabkan oleh beberapa benda yang bergetar (seperti tekanan udara yang menyimpang).

. Pengukuran dilakukan pada keseluruhan variasi ketebalan membran yang digunakan, yaitu 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Nilai STL diperoleh dengan memasukkan ke dalam Pers. (1), (2) dan (3).berikut ini (Rahmawati et al, 2021) :

$$STL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

$$NR = L_{p1} - L_{p2} \quad (2)$$

$$STL = NR + 10 \log \frac{S}{A} \quad (3)$$

dimana

STL = Sound transmission loss (dB)

L = SPL rata-rata ruang sumber bunyi (dB)

L_{p1} = SPL rata-rata ruang penerima bunyi

(dB)

S = Luas sampel bahan peredam (m^2)

A = Total penyerapan bunyi pada ruang

penerima (m sabine)

NR = Noise reduction (dB)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

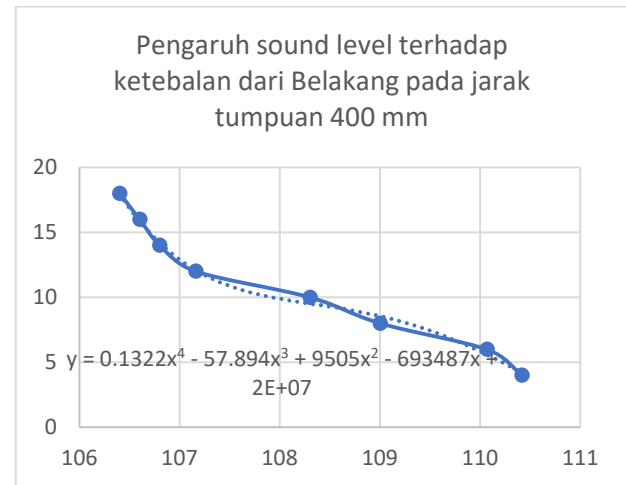
Hasil Penelitian ini dibuat dalam bentuk grafik hubungan antara besarnya jarak dan besarnya tingkat level suara. Yang bervariasi untuk ketebalan.



Grafik 1. Hubungan sound level terhadap ketebalan dari depan untuk jarak pengukuran 50 mm untuk tumpuan 400 mm pada bidang depan (coating)

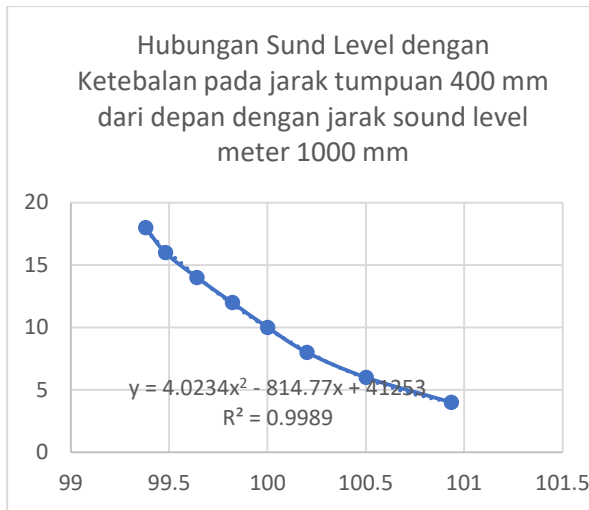
Dari grafik 1 diatas untuk ketebalan 18 mm, mempunyai nilai sound level yang kecil (104,3 dB) dan semakin tipis material 4 mm besar nilai sound level makin besar (108 dB) dengan jarak tumpuan adalah 400 mm, dari grafik diatas dapat diperoleh bahwa semakin tebal nilai sound level meter semakin kecil dan sebaliknya, dari hasilnya dapat ditemukan bahwa penurunan sound level tidak linier tetapi polinomial, dan dengan memperhatikan nilai

R yang ditemukan diperoleh order yang diperoleh adalah orde 3 dengan persamaan garisnya adalah $-0,5429SL^3 + 172,99SL^2 - 18375 SL + 650671$ dengan nilai $R^2=0,9997$



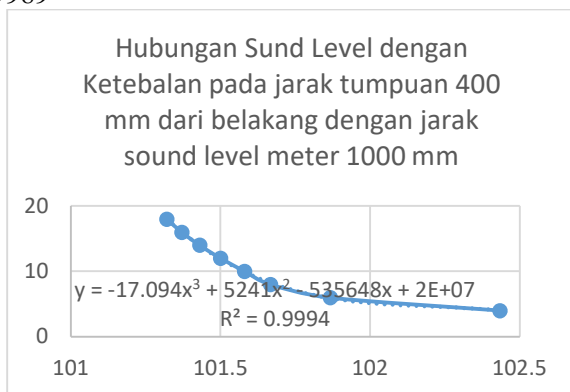
Grafik 2. Hubungan sound level terhadap ketebalan dari belakang untuk jarak pengukuran 50 mm untuk tumpuan 400 mm pada bagian belakang, yaitu bagian yang tidak ada coating

Dari grafik 2 diatas untuk ketebalan 18 mm, mempunyai nilai sound level yang kecil (106,6 dB) dan semakin tipis material 4 mm besar nilai sound level makin besar (110,5 dB) pada jarak tumpuan 400 mm. dari grafik diatas dapat diperoleh bahwa semakin tebal nilai sound level meter semakin kecil dan sebaliknya, dengan persamaan garisnya terjadi penurunan yang signifikan pada keebalan 18 sampai dengan 12 mm, sedang untuk 10 mm sampai dengan 4 mm penurunannya tidak begitu signifikan, persamaan yang dihasilkan adalah polinomial dan dengan memperhatikan nilai R , maka diperoleh ordernya 4, dengan persamaannya adalah $0,1322SL^4 - 57,894SL^3 + 9505SL^2 - 693487SL + 2E+07$ dengan nilai $R^2 = 0,9951$



Grafik 3. Hubungan Sound level dengan ketebalan dari depan pada jarak tumpuan 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada bagian depan (coating)

Dari grafik 3 diatas untuk ketebalan 18 mm, mempunyai nilai sound level yang kecil (99,3 dB) dan semakin tipis material 4 mm besar nilai soud level makin besar (100,9 dB) dengan jarak tumpuan adalah 400 mm, dari grafik diatas dapat diperoleh bahwa semakin tebal nilai sound level meter semakin kecil dan sebaliknya, dari hasilnya dapat ditemukan bahwa peurunan sound level tidak linier tetapi polinomial, dan dengan memperhatikan nilai R yang ditemukan diperoleh order yang diperoleh adalah orde 2 degan persamaan garisnya adalah $-4,0234SL^2 - 814,77SL + 41253$ dengan nilai $R^2 = 0,9989$



Grafik 4. Hubungan Sound level dengan ketebalan dari belakang pada jarak tumpuan 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada bagian belakang yang tidak ada coating

Dari grafik 4 diatas untuk ketebalan 18 mm, mempunyai nilai sound level yang kecil (102,433 dB) dan semakin tipis material 4 mm besar nilai soud level makin besar (101,32 dB) dengan jarak tumpuan adalah 400 mm, dari grafik diatas dapat diperoleh bahwa semakin tebal nilai sound level meter semakin kecil dan sebaliknya, dari hasilnya dapat ditemukan bahwa peurunan sound level tidak linier tetapi polinomial, dan dengan memperhatikan nilai R yang ditemukan diperoleh order yang diperoleh adalah orde 2 degan persamaan garisnya adalah $-17,094SL^3 + 5241SL^2 - 535648SL + 2E+07$ dengan nilai $R^2 = 0,9994$

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Persamaan untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 50 mm pada sisi depan (coating) adalah tebal = $0,5429SL^3 + 172,99SL^2 - 18375SL + 650671$ dengan nilai $R^2 = 0,9997$
2. Persamaan untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 50 mm pada sisi belakang yang tidak ada coating (coating) adalah tebal $0,1322SL^4 - 57,894SL^3 + 9505SL^2 - 693487SL + 2E+07$ denan nilai $R^2 = 0,9951$
3. Persamaan untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada sisi depan (coating) adalah tebal = $4,0234SL^2 - 814,77SL + 41253$ dengan nilai $R^2 = 0,9989$
4. Persamaan untuk jarak tumpun 400 mm dengan jarak sound level meter 1000 mm pada sisi belakang (tidak ada coating ating) adalah tebal = $-17,094SL^3 + 5241SL^2 - 535648SL + 2E+07$ dengan nilai $R^2 = 0,9994$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmawati, F., Rahmadiansah, A., and Asmoro, W.A.. Optimasi Kualitas Akustik Room to Room Berdasarkan Nilai Transmission Loss. *Jurnal Teknik ITS*, 2 D175–D180. 2013
- [2] Surajit Sengupta, Gautam Basu, Mallika Datta, Sayandeep Debnat, Devarun Nath, *Noise Control Material Using Jute, Effect of Bulk density and thickness*, The Journal Of The Textile Institute, Volume 112, 2021

- [3] S.E.Kishore, R. Sujithra, B. Dathyeri, *A Review of Latest Acoustic Noise Mitigation Materials*, Materialstoday Proceedings, Volume 47 Part 14, page 4700-4707, 2021
- [4] Yinping Tao, Muzu Ren, Han Zhang, Ton Peijs, *Recent Progress in acoustic Materials and Noise Control Strategies*, Applied Materialstoday, Volume 24, 101141, 2021
- [5] Arun Arjunan, Ahmat Baroutaji, John Robinson, Aaron Vanse, Abul Arafat, *Acoustic Matematerials of Sound absorption and Insulation in Buildings, Building and Environment*, Volume 251 113250, Elsevier, 2024
- [6] A. Roberts, B. Thomas, P. Sewell, Z. Khan, S. Balmain, J. Gillman. (2016). Current Tidal Power Technologies And Their Suitability For Applications In Coastal And Marine Areas, *Journal Of Ocean Engineering and Marine Energy* No 2 PP 227–245
- [7] Munch, C., Vonlanthen, M., Gomes, J., Luque, R., Guinard, P. and Avellan, F. (2009), Design and performance assessment of a tidal ducted turbine, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)* Granada (Spain), 23th to 25th March, 2010.
- [8] Clarissa Belloni, *Hydrodynamics of Ducted and Open-Centre Tidal Turbines*, Balliol College, University of Oxford, Trity, 2013.
- [9] Michael Shives, Curran Crawford Overall Efficiency of Ducted tidal current turbines, *OCEANS CONFERENCE* on October 2010.
- [10] Yu-Chia Chang, Peter C. Chu, Ruo-Shan Tseng, (2015). Site selection of ocean current power generation from drifter measurements. *Renewable Energy* No 80 PP 737-745 International Journal Elsevier.

ANALISA PENGARUH KOMPOSISI PASIR SUNGAI NEGERI MAMALA TERHADAP KUAT TEKAN BATAKO

Chairia latukau¹ (chairia.latukau@gmail.com)

Rabiyatul uzda² (rabiyatiluzda@gmail.com) Ishak Latuconsina³ (ishak.ltc@gmail.com)

Abstrak

Batako adalah salah satu unsur bangunan berbentuk bata yang komposisi campuran utamanya berupa semen *portland*, air, dan agregat yang umumnya digunakan sebagai bahan dinding non-struktural. Selain komposisi campuran, yang mempengaruhi kualitas batako adalah jenis pasir yang digunakan, ada banyak jenis pasir yang ada di Kota Ambon salah satunya adalah pasir gunung negeri mamala. Berdasarkan hasil survei pada beberapa tempat produksi batako di Kota Ambon, Produsen batako cenderung kurang cermat dalam memperhatikan komposisi campuran yang digunakan, sehingga hal ini dapat mempengaruhi kualitas dari batako yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelas batako berdasarkan nilai kuat tekan. Penelitian ini dilakukan dengan menguji kuat tekan dan penyerapan air batako dengan menggunakan lima buah sampel dari empat varian komposisi, dengan rasio perbandingan semen dan pasir 1: 6 antara pasir di cuci, 1:6 pasir tidak dicuci. 1 : 8 pasir dicuci 1 : 8 pasir tidak dicuci.

Kata Kunci: Batako, Batako Pejal, Kuat Tekan, Kelas Batako, Penyerapan Air, Komposisi, Pasir sungai.

1. PENDAHULUAN

Negeri mamala adalah salah satu negeri adat yang terletak di bagian utara pulau ambon, kecamatan leihitu kabupaten maluku tengah. negeri mamala juga memproduksi usaha industri kecil seperti batako yang layak di pakai untuk bahan bangunan struktur dan jenis konstruksi lainnya.

Berdasarkan SNI 03-0349-1989, bata beton atau batako adalah suatu jenis unsur bangunan berbentuk bata yang dibuat dari bahan utama semen *portland*, air, dan agregat halus, yang dipergunakan untuk pasangan dinding. Dalam proses pembuatan batako, pasir merupakan komponen utama yang digunakan sebagai agregat untuk mencapai kekuatan dan kepadatan yang diinginkan.

Salah satu faktor penting dalam pembuatan batako pada umumnya dibuat dengan bahan baku campuran yang terdiri dari pasir, semen dan air dengan perbandingan tertentu. Dari hasil survei peneliti selain bahan baku campuran, jenis pasir juga menentukan kualitas dari batako. ada beberapa jenis pasir yang digunakan dalam pencampuran salah satunya pasir sungai negeri mamala. pasir sungai negeri mamala merupakan salahsatu jenis pasir yang digunakan oleh masyarakat negeri morella dan sekitarnya dalam membuat batako, Karena akses tempat lokasi pengambilan pasir sungai negeri mamala lebih dekat dengan tempat produksi batako di negeri morella.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental merupakan suatu metode penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil atau data dari variabel-variabel yang diteliti.

Penelitian ini akan dilakukan dengan melalui uji laboratorium untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan. data-data ini kemudian akan diolah dengan cermat agar mendapatkan hasil yang diinginkan.

2.1 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan suatu nilai, objek, atau kegiatan yang sengaja diberikan variasi oleh peneliti yang mana tujuannya adalah untuk mengetahui tentang bagaimana perubahan atau perbedaan dalam variabel-variabel ini dapat memengaruhi objek yang sedangditeliti. Dengan mengamati variasi ini, peneliti dapat mengidentifikasi pola, tren, atau hubungan yang ada, sehingga peneliti dapat mengambil kesimpulan mengenai topik penelitian yang dilakukan.

Umumnya terdapat dua jenis variable, yakni:

1. Variable terikat (Y)

Variabel terikat pada penelitian ini adalah

Y_1 : Kuat tekan batako

2. Variable Bebas (X)

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi komposisi campuran batako dicuci dan tidak di cuci

X_1 : Variasi komposisi campuran

X_2 : Variasi perlakuan terhadap agregat

2.2 Tahap Persiapan Penelitian

1. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dalam penelitian ini berpedoman pada SK SNI 03-0691-1996 tentang tata cara pembuatan benda uji.

2. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dalam penelitian ini berpedoman pada SK SNI 03-0691-1996 tentang tata cara perawatan benda uji.

3. Pengujian Kuat Tekan.

Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini berpedoman pada SK SNI 03 –0691 – 1996 tentang uji kuat tekan bata beton (batako).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Analisis Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan material dilakukan untuk mengetahui sifat atau karakteristik agregat. Pengujian ini mencakup pemeriksaan

ukuran butiran agregat (analisa saringan), pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan kadar air dan kadar lumpur dalam agregat, serta pemeriksaan bobot isi atau berat volume agregat. Seluruh pelaksanaan pemeriksaan dilakukan berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

3.2 Hasil dan Analisa Pemeriksaan

Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah pasir sungai yang berasal dari salah satu quarry yaitu negeri mamala. Pasir dari daerah ini menjadi salah satu jenis pasir yang paling banyak diambil dan digunakan sebagai bahan bangunan ataupun sebagai bahan pembuatan batako oleh masyarakat mamala, morella dan sekitarnya.

Analisis saringan agregat merupakan suatu metode yang digunakan untuk menilai persentase berat butiran agregat yang dapat melewati serangkaian saringan. Dengan menggunakan rangkaian saringan yang berbeda, metode ini memungkinkan pengukuran berat relatif dari setiap fraksi butiran yang berhasil melewati saringan tersebut. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memperoleh distribusi ukuran butiran dalam suatu sampel agregat, yang nantinya dapat digunakan untuk evaluasi karakteristik fisik dan teknis material.

1. Pengujian analisa saringan agregatt halus pasir tidak dicuci

Tabel 3.1 hasil pengujian analisis saringan agregat halus

Analisa saringan agregat halus pasir tidak dicuci
Berat kering = 2500 (kg)

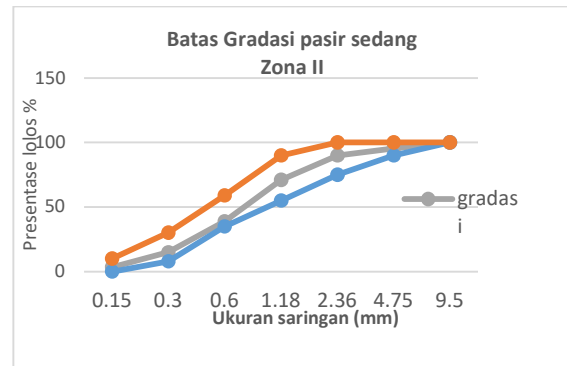
no saringan	ukuran saringan (inch)	berat tertahan	Berat saringan+ material	kumulatif			spesifikasi
				Tertahan (gr)	Tertahan (%)	lolos	
3/8	9,5	0	485,69	0	0	100%	
4	4,75	86,28	643,44	86,28	14,05 %	95,44 %	100-90
8	2,36	122,77	665,68	122,77	22,05 %	89,99 %	100-75
16	1,18	205,68	693,24	205,68	26,99 %	71,09 %	90-55
30	0,60	231,44	684,92	231,44	51,83 %	38,98 %	59-35
50	0,30	2413,31	2833,81	2413,31	94,43 %	15,05 %	30-8
100	0,15	91,69	490,54	91,69	97,21 %	3,46 %	10-0
sisa	-	62,69	510,46	62,69	100 %	0,00 %	0-0
Modulus kehalusan				3,00 %			

Untuk mencari nilai modulus kehalusan (MK) dapat digunakan persamaan (3.1).

$$MK = \frac{\sum P_{\text{presentase tertahan komilatif}}}{100}$$

$$MK = \frac{14,05 + 22,05 + 26,99 + 51,83 + 94,43 + 97,21 + 100}{100}$$

$$= 3,0 \%$$



Gambar 3.1 Grafik batas gradasi

Setelah dilakukan uji analisis saringan pada agregat halus, didapatkan nilai modulus kehalusan (MK) ada pada kisaran nilai 3,0 %, yang mana nilai ini memenuhi standar spesifikasi sesuai dengan ketentuan SNI 03-1968-1990, yang menyatakan bahwa nilai modulus kehalusan harus berkisar antara 1,5% hingga 3,8%. Berdasarkan hasil analisis saringan, dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut memenuhi batas gradasi ukuran pasir Zona II (agak halus), sedangkan hasil analisis saringan pada agregat halus pasir dicuci dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut memenuhi batas gradasi ukuran pada Zona II sesuai dengan klasifikasi yang diatur oleh SNI 03-2834-2000.

2. Berat jenis dan penyerapan

Standar pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air sesuai dengan SNI 03-1970-1990. Setelah dilakukan penelitian didapat hasil berupa data-data pada tabel berikut.

Tabel 3.2 hasil pengujian berat jenis dan penyerapan (pasir tidak dicuci)

No	sampel	Ket	Hasil	Satuan
1	Berat Jenuh Kering Permukaan (SSD)	Bt	5000	Gr
2	Berat Kering Oven	Bk	490,26	Gr
3	Berat Picnometer + Air Temperatur (25°C)	Ba	653,45	Gr
4	Berat picnometer + air temperatur (25°C) + contoh SSD	Bt	935,08	gr
Analisis data lab				
1	Berat Jenis Bulk (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	Bjb	2,2	-
2	Berat Jenis SSD	Bjk	2,2	-
3	Berat Jenis Semu	Bjs	2,3	-
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	Pa	1,9	%

(Sumber: Hasil Penelitian Lab politeknik negeri ambon)

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai Berat jenis bulk, Berat jenis SSD, Berat jenis semu, dan Penyerapan adalah sebagai berikut.

$$Bjb = \frac{Bk}{Bj - (Bt - Ba)}$$

$$Bjb = \frac{490,23}{(500 - (935,08 - 653,45))} = 2,2$$

$$Bjk = \frac{Bj}{(Bj - (Bt - Ba))}$$

$$Bjk = \frac{500}{(500 - (935,08 - 653,45))} = 2,2$$

$$Bjs = \frac{Bk}{(Bk - (Bt - ba))}$$

$$Bjs = \frac{490,23}{490,23 - (935,08 - 653,45)} = 2,3$$

$$Pa = \frac{(Bj) - (Bk)}{(Bk)} \cdot 100\%$$

$$Pa = \frac{(500) - (490,23)}{(490,23)} \cdot 100\% = 1,9$$

Tabel 3.3 hasil pengujian berat jenis dan penyerapan (pasir tidak dicuci)

No	sampel	Ket	Hasil	Satuan
1	Berat Jenuh Kering Permukaan (SSD)	Bt	500	Gr
2	Berat Kering Oven	Bk	490,21	Gr
3	Berat Picnometer + Air Temperatur (25°C)	Ba	653,32	Gr
4	Berat picnometer + air temperatur (25°C) + contoh SSD	Bt	925,69	gr
Analisis data lab				
1	Berat Jenis Bulk (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	Bjb	2,1	-
2	Berat Jenis SSD	Bjk	2,2	-
3	Berat Jenis Semu	Bjs	2,2	-
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	Pa	1,9	%

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai Berat jenis bulk, Berat jenis SSD, Berat jenis semu, dan Penyerapan adalah sebagai berikut.

$$Bjb = \frac{Bk}{Bj - (Bt - Ba)}$$

$$Bjb = \frac{490,19}{(500 - (925,69 - 653,32))} = 2,1$$

$$Bjk = \frac{Bj}{(Bj - (Bt - Ba))}$$

$$Bjk = \frac{500}{(500 - (925,69 - 653,32))} = 2,2$$

$$Bjs = \frac{Bk}{(Bk - (Bt - ba))}$$

$$Bjs = \frac{490,21}{490,21 - (925,69 - 651,32)} = 2,2$$

$$Pa = \frac{(Bj) - (Bk)}{(Bk)} \cdot 100\%$$

$$Pa = \frac{(500) - (490,21)}{(490,21)} \cdot 100\% = 1,9 \%$$

Berdasarkan data dari tabel diatas, diperoleh berat jenis SSD dari pengujian agregat pasir tidak dicuci sebesar 2,2 dan berat jenis SSD dari pengujian agregat pasir dicuci sebesar 2,2 sehingga dapat dikategorikan sebagai agregat normal karena masih memenuhi standar SNI 03-1970-1990. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa nilai penyerapan air untuk pasir tidak dicuci sebesar 1,9%, dan untuk pasir dicuci sebesar 1,9. mengindikasikan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan. Persentase penyerapan sebesar 1,9% tersebut memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, yaitu maksimal 3% penyerapan air dari berat kering agregat.

3. Kadar air

Tabel 3.4 hasil pengujian kadar air (pasir tidak dicuci)

No	sampel	ket	obsevasi			satuan
			I	II	III	
1.	Berat tin box	A	12,43	12,36	12,43	gr
2.	Berat contoh basah	B	36,55	38,08	46,40	gr
3.	Berat contoh kering	C	33,76	35,29	42,54	gr
Analisis data lab						
1	Berat air	D = (B - C)	2,79	2,79	3,86	Gr
2	Berat contoh kering	E = (C - A)	21,33	22,93	30,11	Gr
3	Kadar air	Ka = (D/E).100%	13,08 %	12,16 %	12,81 %	%
Rata-rata			W		12,68 %	

(Sumber: Hasil Penelitian Lab. Politeknik negeri ambon)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar air adalah sebagai berikut.

$$Ka = \frac{D}{E} \cdot 100 \%$$

$$Ka1 = \frac{2,79}{21,33} \cdot 100 \% = 13,08 \%$$

$$Ka2 = \frac{2,79}{22,93} \cdot 100 \% = 12,16 \%$$

$$Ka3 = \frac{3,86}{30,11} \cdot 100 \% = 12,81 \%$$

$$W = \frac{ka1+ka2+ka}{22,9n}$$

$$Ka2 = \frac{13,08 + 12,16 + 12,81}{3} = 12,68 \%$$

Tabel 3.5 hasil pengujian kadar air (pasir dicuci)

No	sampel	Ket	obsevasi			satu an
			I	II	III	
1	Berat tin box	A	12,33	12,21	12,30	gr
2	Berat contoh basah	B	36,35	37,04	45,80	gr
3	Berat contoh kering	C	33,53	34,41	42,40	gr
Analisis data lab						
1	Berat air	D = (B-C)	2,82	2,63	2,68	Gr
2	Berat contoh kering	E = (C-A)	21,2	22,2	30,1	Gr
3	Kadar air	Ka = (D/E).100%	13,3	11,84	8,90	%
Rata-rata		W	11,34 %			

(Sumber: Hasil Penelitian Lab. Polteknik negeri ambon)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar air adalah sebagai berikut.

$$Ka = \frac{D}{E} \cdot 100 \%$$

$$Ka = \frac{D}{E} \cdot 100 \%$$

$$Ka1 = \frac{2,82}{21,2} \cdot 100 \% = 13,3 \%$$

$$Ka2 = \frac{2,63}{22,2} \cdot 100 \% = 11,84 \%$$

$$Ka3 = \frac{2,68}{30,1} \cdot 100 \% = 8,90 \%$$

$$W = \frac{ka1+ka2+ka}{3}$$

$$Ka2 = \frac{13,3+11,84+8,90}{3} = 11,34 \%$$

Berdasarkan tabel 3.4 dan 3.5 diatas diketahui nilai kadar air rata-rata yang terkandung dalam agregat (pasir tidak dicuci) sebesar 12,68%. Dan nilai kadar air rata-rata yang terkandung dalam agregat (pasir dicuci) sebesar 11,34%.

4. Kadar lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat dilakukan sesuai ketentuan SNI 03-4141-1996. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai persentase gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat yang akan digunakan. Spesifikasi untuk kadar lumpur sendiri tidak boleh lebih dari 5%.

Tabel 3.6 hasil pengujian kadar lumpur (pasir tidak dicuci)

No	Sampel	Ket	hasil	Satu an
1	Berat agregat kering oven sebelum dicuci	A	1000	gr
2	Berat agregat kering oven setelah dicuci	B	981,97	gr
Analisis data lab				
3	Kadar lumpur	K1	1,80 %	%

(sumber : hasil penelitian lab. Polteknik negeri ambon)

Persamaan yang digunakan untuk mendaoatkan kadar lumpur adalah sebagai berikut.

$$K1 = \frac{A-B}{A} \cdot 100$$

$$K1 = \frac{1000-981,97}{1000} \cdot 100 = 1,83 \%$$

Tabel 3.6 hasil pengujian kadar lumpur (pasir tidak dicuci)

No	Sampel	Ket	hasil	Satu an
1	Berat agregat kering oven sebelum dicuci	A	1000	gr
2	Berat agregat kering oven setelah dicuci	B	989,31	gr
Analisis data lab				
3	Kadar lumpur	K1	1,69 %	%

(sumber : hasil penelitian lab. Polteknik negeri ambon)

Persamaan yang digunakan untuk mendaoatkan kadar lumpur adalah sebagai berikut.

$$K1 = \frac{A-B}{A} \cdot 100$$

$$K1 = \frac{1000-98,31}{1000} \cdot 100 = 1,69 \%$$

Dari tabel 3.6 dan tabel 3.7 diatas diketahui nilai kadar lumpur dalam agregat (pasir tidak dicuci) adalah 1,80% dan untuk agregat pasir (dicuci) adalah 1,69. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai kadar lumpur antara pasir dicuci dan pasir tidak dicuci nilai lebih rendah adalah pasir dicuci, karena kadar lumpur yang terkandung lebih rendah di banding pasir tidak dicuci. Selain itu hal ini juga menunjukkan bahwa agregat tersebut masih memenuhi spesifikasi berdasarkan SNI 03-4141-1996.

5. Bobot isi atau volume

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-1973-2008. Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk menentukan berat isi agregat halus, atau campuran yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volume material tersebut. Spesifikasi minimal untuk berat volume adalah 0,4 gr/cm³ dan maksimal 1,9 gr/cm³.

Tabel 4.8 hasil pengujian berat volume lepas (pasir tidak dicuci)

No	Sampel	Kondisi lepas	Kondisi padat	Satan
1	Volume wadah	7518	7518	cm ³
2	Berat wadah	6860	6860	gr
3	Beraat wadah + benda uji	16360	17360	gr
4	Berat benda uji D = (C-B)	9501	10500	gr
5	Berat volume Bv = (D/A)	1,26	1,39	gr

(sumber : hasil penelitian lab. Politeknik negeri ambon)

Tabel 4.8 hasil pengujian berat volume lepas (pasir tidak dicuci)

No	Sampel	Kondisi lepas	Kondisi padat	Satan
1	Volume wadah	7518	7518	cm ³
2	Berat wadah	6860	6860	gr
3	Beraat wadah + benda uji	16320	17330	gr
4	Berat benda uji D = (C-B)	9460	10470	gr
5	Berat volume Bv = (D/A)	1,25	1,39	gr

(sumber : hasil penelitian lab. Politeknik negeri ambon)

Berdasarkan tabel 4.8 dan 4.9 di atas hasil pemeriksaan berat material kering agregat (pasir tidak dicuci) dengan berat volume pada kondisi lepas adalah 1,26 dan kondisi padat 1,39. Sedangkan untuk hasil pemeriksaan berat material kering agregat (pasir dicuci) dengan berat volume pada kondisi lepas adalah 1,25 dan kondisu padat 1,39. yang mana hal ini menunjukkan bahwa agregat tersebut masih memenuhi spesifikasi berdasarkan SNI 03-1973-2008.

4. PENGUJIAN PENYERAPAN AIR BATAKO

Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap oleh agregat jika direndam. Pada penelitian ini, untuk mengetahui nilai penyerapan air benda uji akan direndam dalam bak air selama 24 jam. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982) dan SNI 03-0349-1989 nilai persentase penyerapan air batako tidak boleh lebih dari 25% untuk batako pejal kelas I dan tidak boleh lebih dari 35% untuk batako pejal kelas II.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh data-data penyerapan air batako seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Penyerapan Air

Variasi komposisi	Sampel	Berat kering (gr)	Berat setelah direndam (gr)	Penyerapan		
				Nilai (gr)	persentase	Rata-rata
1 : 6 dicuci	1	8400	8900	500	5,9 %	8,5 %
	2	7980	8640	660	8,2 %	
	3	7970	8760	790	9,9 %	
	4	7890	8610	720	9,1 %	
	5	7880	8560	680	8,6 %	
1 : 6 Tidak dicuci	1	7920	8620	700	8,8 %	9,4 %
	2	7560	8290	730	9,5 %	
	3	7650	8400	750	9,8 %	
	4	7980	8760	780	9,7 %	
	5	7950	8710	760	9,5 %	
1 : 8 dicuci	1	7620	8240	620	8,1 %	8,4 %
	2	7440	8010	570	7,6 %	
	3	7820	8510	690	8,8 %	
	4	7340	8000	660	8,9 %	
	5	7540	8220	680	9,0 %	
1 : 8 Tidak dicuci	1	7330	8000	670	9,1 %	9,6 %
	2	7670	8420	750	9,7 %	
	3	7300	8010	710	9,7 %	
	4	7430	8120	690	9,2 %	
	5	7580	8200	620	8,1 %	

(Sumber: Hasil Penelitian Lab politeknik negeri ambon)

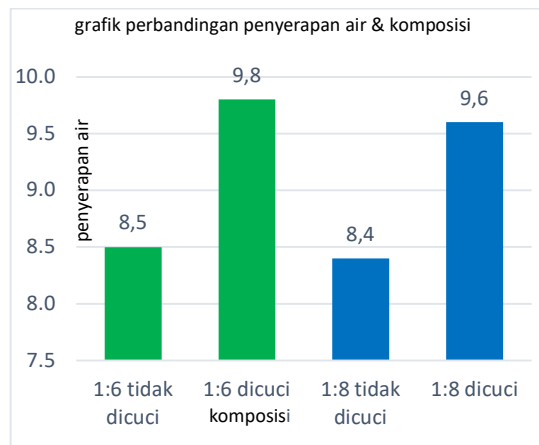
Dari data-data yang diperoleh setelah pengujian penyerapan air pada tabel 4,1 diatas, selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai penyerapan air pada batako.

Untuk mendapatkan nilai penyerapan air batako maka digunakan rumus berikut :

$$\frac{A-B}{B} 100\%$$

$$\frac{8900-8400}{8400} 100\% = 5,9\%$$

Proses berikutnya adalah menghitung setiap sampel dari masing-masing varian komposisi batako yang ada, dengan tujuan untuk menentukan nilai rata-rata penyerapan air batako dari tiap-tiap varian komposisinya. Selanjutnya informasi yang terkandung dapat disajikan secara lebih intuitif dan mudah dipahami, memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terkait dengan perbandingan penyerapan air batako antar variasi komposisi yang telah diuji.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan penyerapan air

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai penyerapan air rendah ada pada batako antara pasir tidak dicuci dan pasir dicuci adalah nilai penyerapan agregat pasir tidak dicuci. Karena pasir yang tidak dicuci biasanya mengandung lebih banyak lumpur dan kotoran, sehingga kadar lumpur yang tinggi dapat mengganggu struktur pori pada batako dan mengurangi kemampuan batako untuk menyerap air.

Nilai yang di dapat dari hasil pengujian ini masih memenuhi standar spesifikasi berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982) dan SNI 03-0349-1989 yang mengisyaratkan nilai penyerapan rata-rata air tidak boleh melebihi 35% untuk beton dengan kategori B1 dan 25% untuk batako kategori B2.

5. PENGUJIAN KUAT TEKAN BATAKO BATAKO

Pada pengujian kuat tekan akan digunakan 5 buah sampel untuk tiap-tiap variasi campuran batako. Terdapat 4 varian komposisi campuran batako yang akan dilakukan pengujian, sehingga total akan terdapat 20 buah sampel. Sampel tersebut akan dilakukan pengujian setelah berumur 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium polteknik negeri ambon.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian kuat tekan batako

Variasi komposisi	Sampel	Berat kering (gr)	Luas penampang (cm ²)	Beban maksimum (kg)	Kuat tekan (kg/cm ²)	Rata - rata
1 : 6 dicuci	1	8108	300	140	46,6	35,28
	2	7890	300	110	36,6	
	3	7930	300	100	33,3	
	4	7990	300	100	33,3	
	5	7920	300	80	26,6	
1 : 6 Tidak dicuci	1	7840	300	130	43,3	39,28
	2	7480	300	110	36,6	
	3	7520	300	130	43,3	
	4	7920	300	110	36,6	
	5	7980	300	110	36,6	
1 : 8 dicuci	1	7590	300	80	26,6	27,94
	2	7040	300	70	23,3	
	3	7700	300	110	36,6	
	4	7330	300	80	26,6	
	5	7090	300	80	26,6	
1 : 8 Tidak dicuci	1	7460	300	100	33,3	29,28
	2	7060	300	80	26,6	
	3	7150	300	80	26,6	
	4	7540	300	100	33,3	
	5	7260	300	80	26,6	

(Sumber: Hasil Penelitian Lab politeknik negeri ambon)

Berdasarkan data pada tabel 4.2 diatas diketahui nilai kuat tekan rata-rata dari 5 buah sampel untuk variasi komposisi campuran 1:6 pasir tidak dicuci adalah 35,28 kg/cm² , campuran 1:6 pasir diuci adalah 39,28 kg/cm² , campuran 1:8 pasir tidak dicuci adalah 27,94 kg/cm² , campuran 1:8 dicuci adakah 29,28

kg/cm² . Persamaan yang digunakan untuk mendapat nilai kuat tekan adalah persamaan 2.1 sebagai contoh akan dilakukan perhitungan untuk sampel 1 pada variasi komposisi campuran 1:6 tidak dicuci.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

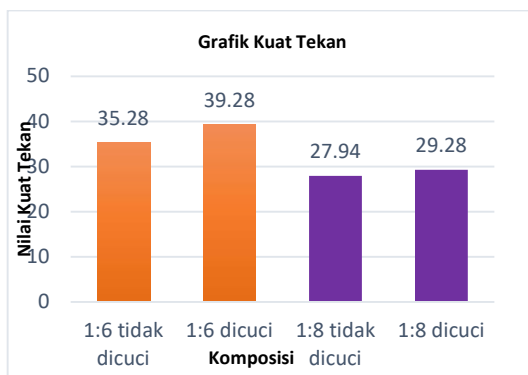
$$f'c = \frac{140}{300} \cdot 100 = 46,6 \text{ kg/cm}^2$$

Setelah diketahui nilai kuat tekan rata-rata untuk masing-masing varian komposisi batako, maka akan dilakukan pengklasifikasian kelas batako berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982). Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan seperti yang tertera pada tabel 4.10 maka batako dari tiap-tiap varian komposisi dapat di klasifikasikan kelasnya seperti pada tabel berikut.

Variasi komposisi	Nilai kuat tekan Rata-Rata	Kategosi
1:6 pasir tidak dicuci	35,28	A2
1:6 pasir dicuci	39,28	A2
1:8 pasir tidak dicuci	27,94	A1
1:8 pasir dicuci	29,28	A1

(Sumber: Hasil Penelitian Lab. Politeknik negeri ambon)

Grafik hubungan antara kuat tekan dan klasifikasi batako dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5.1 Grafik hubungan kuat tekan & komposisi

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan pada perbandingan komposisi campuran antara pasir dicuci dan pasir tidak dicuci nilai kuat tekan pasir dicuci lebih tinggi dibanding pasir tidak dicuci, karena pasir yang dicuci biasanya memiliki kadar lumpur yang lebih rendah, yang padapat meningkatkan kekuatan beton, sedangkan pada komposisi pasir tidak dicuci mimiliki kadar lumpur lebih tinggi.

Selain itu, dari hasil nilai kuat tekan batako juga dapat mengindikasikan bahwa semakin jauh rasio perbandingan antara pasir dan semen maka akan mempengaruhi nilai kuat tekannya. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan batako turun secara konstan sesuai dengan rasio perbandingan semen dan pasir, dimana semakin tinggi rasio pasir dalam suatu campuran maka nilai kuat tekannya akan menurun. Analisis ini sesuai dengan prinsip dasar pembuatan beton, di mana semen berfungsi sebagai bahan pengikat utama yang memadatkan campuran, sedangkan pasir berperan sebagai agregat halus yang mengisi ruang kosong dan memberikan stabilitas struktural. Ketika perbandingan pasir meningkat, jumlah semen per unit volume campuran menjadi lebih sedikit, mengurangi kekuatan ikatan antarpartikel dalam beton. Akibatnya, beton menjadi lebih rentan terhadap tekanan dan kehilangan kekuatan struktural. Oleh karena itu, perlu adanya perhatian khusus terhadap perbandingan rasio semen dan pasir dalam campuran batako untuk memastikan kekuatan dan kualitas batako yang dihasilkan.

6. POLA RETAK

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan, benda uji akan mengalami kehancuran, pola kehancuran benda uji ini akan diamati dan akan dibedakan berdasarkan SNI 1974-2011, berikut ditampilkan sketsa dari pola kehancuran benda uji.



Gambar 6.1 Sketsa Pola Retak campuran 1: 6 pasir tidak dicuci

Berdasarkan sketsa pola retak pada benda uji di atas, pada sampel 1 2 dan 4 masuk dalam kategori jenis kehancuran jenis kerucut dan membelah benda uji. Sedangkan sampel arah retakannya lurus ke bawah sehingga dapat dikatakan termasuk dalam jenis kehancuran sejajar sumbu tegak (*kolumnar*).



Gambar 4.5 Sketsa pola retak campuran 1: 6 pasir dicuci

Berdasarkan sketsa pola retak pada benda uji di atas, pada sampel 1 2 dan 4 masuk dalam kategori jenis kehancuran jenis kerucut disertakan dengan retak yang membelah benda uji sedangkan sampel arah retakannya lurus ke bawah sehingga dapat dikatakan termasuk dalam jenis kehancuran sejajar sumbu tegak (*kolumnar*).



Gambar 4.6 Sketsa pola retak campuran 1:8 pasir tidak dicuci

Berdasarkan sketsa pola retak pada benda uji di atas, pada sampel di atas masuk dalam kategori pola kehancuran jenis kerucut dan disertakan dalam retak membelah benda uji sedangkan sampel arah retakannya lurus ke bawah sehingga dapat dikatakan termasuk dalam jenis kehancuran sejajar sumbu tegak (*kolumnar*).



Gambar 4.7 Sketsa pola retak campuran 1:8 pasir dicuci

Berdasarkan sketsa pola retak pada benda uji di atas sampel arah retakannya lurus ke bawah sehingga dapat dikatakan termasuk dalam jenis kehancuran sejajar sumbu tegak (*kolumnar*).

7. KESIMPULAN DAN SARAN

• Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Batako pasir sungai negeri mamala dengan komposisi perbandingan campuran 1 semen : 6 pasir tidak dicuci, memiliki nilai kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian 5 buah sampel adalah $35,28 \text{ kg/cm}^2$, batako dengan komposisi campuran 1 semen : 6 pasir dicuci memiliki nilai kuat tekan rata-rata $39,28 \text{ kg/cm}^2$, batako dengan komposisi campuran 1 semen : 8 pasir tidak dicuci, memiliki nilai kuat tekan rata-rata $27,94 \text{ kg/cm}^2$, batako dengan komposisi campuran 1 semen : 8 pasir dicuci, memiliki nilai kuat tekan rata-rata $29,28 \text{ kg/cm}^2$.
2. Berdasarkan nilai kuat tekan rata-rata dari analisa hasil dan pembahasan, maka batako dari pasir sungan negeri mamala diklasifikasikan menjadi beberapa kategori berdasarkan PUBI-1982. Batako dengan komposisi perbandingan campuran 1 semen : 6 pasir tidak dicuci masuk di kategori A2 yang mana batako kategori ini diperuntukan untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat, serta konstruksi yang terlindung dari cuaca luar, untuk konstruksi yang menggunakan batako kategori ini permukaan dindingnya boleh tidak diplester. batako dengan komposisi perbandingan campuran 1 semen : 6 pasir dicuci masuk kategori A2 sama halnya dengan batako campuran 1 semen : 6 pasir tidak dicuci. batako dengan komposisi perbandingan campuran 1 semen : 8 pasir tidak dicuci juga termasuk dalam kategori A1 yang mana batako kategori ini diperuntukan untuk konstruksi seperti kategori A2 hanya saja dalam kategori ini permukaan dindingnya harus diplester. Batako dengan komposisi campuran 1 semen : 8 pasir dicuci masuk kategori A1 yang mana batako kategori ini

diperuntukan untuk konstruksi seperti A2 hanya saja dalam kategori ini permukaan dindingnya harus diplester.

3. Nilai penyerapan dari batako dengan komposisi campuran 1 semen : 6 pasir tidak dicuci memiliki nilai penyerpan air rata-rata sebesar 8,5%, nilai penyerapan air rata-rata batako dengan perbandingan komposisi campuran 1 semen : 6 pasir dicuci sebesar 9,4%, nilai penyerapan air rata-rata batako dengan perbandinga 1 semen : 8 tidak pasir dicuci sebesar 8,4%, nilai penyerapan air rata-rata batako dengan perbandingan komposisi campuran 1 seme : 8 pasir dicuci sebesar 9,6%. Nilai ini masih memenuhi standar spesifikasi berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982) dan SNI 03-0349-1989 yang mengisyaratkan nilai penyerapan rata-rata air tidak boleh melebihi 35%.

• **Saran**

1. Pada saat proses pengadukan campuran harus dilakukan dengan cermat agar adukan menjadi homogen sehingga tercampur merata.
2. Pada saat proses pencetakan sebaiknya dilakukan dengan mesin press batako atau jika dilakukan secara manual buatlah alat pemadat agar tidak ada rongga pada batako sehingga kualitas batako dapat lebih maksimal.
3. Pada pengujian penyerapan air setelah batako direndam selama 24 jam, lap permukaan batako dengan cermat agar tidak ada sisa air pada permukaan batako sehingga tidak mempengaruhi nilai penyerapan batako.
4. Sebaiknya penelitian juga dilakukan dengan menggunakan pasir jenis lain agar dapat dibuat perbandingan dari kedua jenis pasir.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Adhy warjiman buton (2019) *analisa pengaruh komposisi pasir gunung dusun wailette desa hative besar terhadap kekuatan dan penyerapan batako*.
- Arafah, M. (2012). Memahami Bahan Bangunan. SMK Negeri 1 Karossa.
- Ardiansyah, D., Amran, Y., & Dewi, S. U. (2021). *Optimasi Sifat Fisik dan Mekanis Batako Menggunakan Sekam Padi. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 11(1), 67–73.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *Spesifikasi Bata Beton untuk Pasangan Dinding. Sni 03-0349-1989, 1, 1–6*.
- Darmayasa, G. (2019). *Analisis Penerapan Target Costing dalam Efisiensi Biaya Produksi Batako pada UD Darma Yasa Di Desa Panji, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng. Jurnal Pendidikan Ekonomi Volume 11 No. 2 Tahun 2019*, 11(2), 383–395.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2014). Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI - 1982). In Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (Vol. 2, Nomor 1). Dini, Restian. 2008. *Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal Terhadap Lebar Retak Pada Bangunan. Laporan Skripsi. Jurusan*

- Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.*
- Diberi Lapisan Cat Keramik. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(1), 346–357.
- Panennungi, T., & Pertiwi, N. (2018). Ilmu bahan Bangunan. In Badan Penerbit UNM.
- Prasetyo, A. (2022). *Pengaruh Fly Ash Pada Batako Terhadap Kuat Tekan, Penyerapan Air Dan Redaman Suhu* (The Effect Of Fly Ash In Brickwork On Compressive Strength, Water. Fakultas Teknik, Universitas Islam Indonesia.
- Putra, Y., Leonard, V., Wijatmiko, I., & N, C. R. (2017). *Analisis Regangan dan Pola Retak yang Diakibatkan Beban Geser pada Beton Ringan Beragregat Kasar Batu Apung yang RR. Estuti*. (2014). Teknologi Bahan. Ft 11, 1–12.
- Sombalatu, I. (2023). Analisis Biaya Produksi Batako Press dari Berbagai Jenis Pasir di Kota Ambon. Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
- SNI 03-0349-1989. (1989). *Spesifikasi Bata Beton Untuk Pasangan Dinding*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar* (hal. 1–5). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990. (1990). *Pengujian Kadar Air*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1973-2008. (2008). *Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Machine Learning-Based Hierarchical Clustering for Priority CCUS Zones in Indonesia

Geovanny B. Imasuly¹, Wilma Latuny² dan, Marcia V. Rikumahu³

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: gimasuly@gmail.com

²Jurusan Teknik Industri dan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : wlatuny@gmail.com

³Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: Rikumahumanuhutu@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia's upstream oil and gas industry is facing significant challenges due to climate change, alongside the global shift toward clean energy transition to reduce CO₂ emissions and achieve the Net Zero Emission target by 2060. One of the key strategies in this effort is the implementation of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS). The adoption of the CCUS program is an integral part of SKK Migas' strategic plan to reach a production target of 1 million barrels of oil per day (BOPD) and 12 billion standard cubic feet of natural gas per day (BSCFD) by 2030. This study applies machine learning-based hierarchical clustering to analyze and classify CCUS project zones in Indonesia, utilizing data from the IEA CCUS Projects Database 2024. The methodology includes data collection, pre-processing, and clustering using a hierarchical algorithm to group projects with similar characteristics in CCUS implementation. The clustering process, interpreted through a dendrogram, considers key factors such as Announced Capacity (Mt CO₂/yr) and Estimated Capacity by IEA (Mt CO₂/yr). The Silhouette Coefficient after applying hierarchical clustering is 0.746, indicating well-defined cluster separation. The findings of this study provide valuable insights into the relationships among CCUS projects in Indonesia, categorizing them into priority zones. Additionally, this research supports strategic decision-making regarding CCUS project development, contributing to the achievement of the Net Zero Emission target and long-term energy security.

Keywords: CCUS, Hierarchical Clustering, Machine Learning, Carbon Storage, Indonesia

Industri hulu migas di Indonesia tengah menghadapi tantangan besar akibat perubahan iklim, seiring dengan pergeseran global menuju transisi energi bersih untuk mengurangi emisi CO₂ dalam mencapai target *Net Zero Emission* pada 2060 dengan menerapkan *Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)*. Penerapan program CCUS ini menjadi bagian dari rencana strategis SKK Migas untuk pencapaian target produksi minyak sebesar 1 juta BOPD dan gas alam sebesar 12 BSCFD pada tahun 2030. Dalam Studi ini diterapkan *hierarchical clustering* berbasis *machine learning* dalam menganalisis dan mengklasifikasikan zona proyek CCUS di Indonesia menggunakan data dari *IEA CCUS Projects Database 2024*. Metodologi yang digunakan meliputi *collection data*, *pre-processing data*, dan *clustering* menggunakan *algoritma hierarchical clustering* guna mengklasifikasi proyek dengan karakteristik serupa dalam penerapan CCUS. Proses *clustering* dengan interpretasi *dendrogram* dengan faktor-faktor utama: *Announced capacity (Mt CO₂/yr)* dan *Estimated capacity by IEA (Mt CO₂/yr)* dengan *Silhouette Coefficient* setelah menerapkan *hierarchical clustering* adalah 0,746, menunjukkan pemisahan cluster yang baik. Hasil penelitian ini memberikan wawasan dalam memahami hubungan antar proyek CCUS di Indonesia yang dikategorikan ke dalam zona prioritas. Selain itu, membantu dalam pengambilan keputusan strategis terkait pengembangan proyek CCUS dalam berkontribusi terhadap pencapaian target *Net Zero Emission* serta ketahanan energi jangka panjang.

Kata kunci: CCUS, Hierarchical Clustering, Machine Learning, Carbon Storage, Indonesia

1. INTRODUCTION

The upstream oil and gas industry in Indonesia is facing significant challenges due to climate change, in line with the global shift toward clean energy transition aimed at reducing CO₂ emissions and achieving Net Zero Emissions by 2060 through the implementation of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) (Putri et al., 2024 ; Soesanto et al., 2025). CCUS technology captures CO₂ from major emission sources, repurposes it for industrial use, or stores it permanently underground to prevent its release into the atmosphere. The application of this technology plays a crucial role in carbon emission reduction efforts, both nationally and globally. Worldwide, CCUS adoption has become a key focus in transitioning to clean energy, particularly in countries still reliant on fossil fuels (Kemen. ESDM, 2023; Putri et al., 2024, (Vishal et al., 2024).

Indonesia, as one of Southeast Asia's largest oil and gas producers, has taken strategic steps in implementing CCUS. Through SKK Migas, the government has integrated CCUS into the Indonesia Oil and Gas 4.0 Strategic Plan (Renstra IOG 4.0) as part of its climate change mitigation efforts, formulating various policies to reduce carbon emissions (Laporan Keberlanjutan, 2022). The

upstream oil and gas industry actively contributes to carbon emission reduction efforts, particularly through CCUS implementation. This initiative aligns with SKK Migas' strategic plan to achieve a production target of 1 million barrels of oil per day (BOPD) and 12 billion standard cubic feet per day (BSCFD) of natural gas by 2030 to strengthen national energy security (Reforminer, n.d; Kemen. ESDM, 2021; Kemen. ESDM, 2023).

In this effort, the implementation of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) serves as a strategic solution to support sustainable production by utilizing CO₂ injection as an Enhanced Oil Recovery (EOR) method, as illustrated in **Fig 1**. This technique aims to improve oil recovery factors (Migas & Profile, n.d.). CO₂-EOR has the potential to increase domestic oil production, create job opportunities, and support environmental protection efforts. The method involves injecting CO₂ into mature oil fields, where the gas interacts with oil, facilitating its extraction from the reservoir and enabling it to flow toward production wells. Once the oil is processed, the CO₂ is separated using surface equipment and reinjected in a closed-loop system throughout the EOR operation (Policy, 2012).

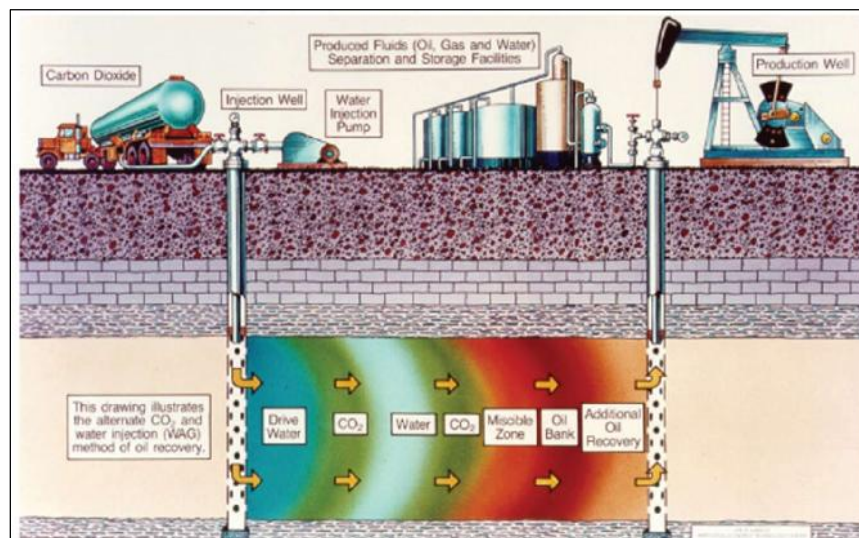


Fig 1. CO₂ injection and oil recovery process
(Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2010)

Enhanced oil recovery through CO₂ flooding (by injection) has been well developed and has the potential to significantly increase oil production while providing economic benefits. This method can enhance additional oil recovery in the range of 7% to

23%. However, to maximize CO₂ storage in the EOR process, oil reservoirs may need to meet additional criteria (Goel et al., 2019). As a result, the government has started implementing CCUS. Although CCUS implementation has not been fully

realized in Indonesia, several studies have been conducted to analyze its potential, challenges, environmental impacts, and contributions to the sustainable energy industry in Indonesia. CCUS aims to capture up to 85% of CO₂ emissions from the power generation and industrial sectors before being stored underground at depths of up to 700 meters (Adisaputro & Bastian, 2017; Anggraini et al., 2022; Prasetyo & Windarta, 2022; Putri et al., 2024).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Material (*Literature Review*)

a. CCS/CCUS

Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technology is one of the key pillars in accelerating greenhouse gas emission reduction and achieving global carbon neutrality. As a promising decarbonization technology, CCUS is used to capture CO₂ from flue gases or the atmosphere, then transport it for reuse or permanent storage (S. Chen et al., 2022). Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS), also known as Carbon Capture, Utilization, and Sequestration, is an innovative technology for climate change mitigation. This technology works by capturing CO₂ emissions from various sources, such as fossil fuel power plants and industrial processes, and then either reusing or storing them to prevent their release into the atmosphere (*Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)*, 2019).

CCS/CCUS plays a crucial role in addressing two major challenges of today: (i) climate change and (ii) energy security. According to a report by the International Energy Agency (IEA), there is significant potential to store up to 360 gigatons (Gt) of CO₂ through enhanced oil recovery (EOR) applications (Tontiwachwuthikul, 2017).

The technology of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) has become a crucial element in climate change mitigation policies, particularly for reducing emissions from the industrial sector and fossil-based energy production to limit global warming to 1.5°C. According to the 2021 report by the International Energy Agency (IEA), the global CO₂ capture capacity in the heavy industry sector needs to reach 375 megatons (Mt) per year by 2030. However, over the past decade, the number of active or developing CCUS projects has stagnated. In 2020, the globally installed CO₂ capture capacity was approximately 40 Mt per year, with most of this capacity utilized for enhanced oil recovery (EOR) applications. Consequently, governments, researchers, and intergovernmental organizations

have called for a significant acceleration in the scaling and implementation of CCUS. However, CCUS projects have had a mixed history, with several high-profile technical failures, public opposition, and cost overruns hindering their deployment. As a result, an increasing number of studies are focusing on documenting and addressing the various challenges affecting the implementation of CCUS (Storrs et al., 2023).

b. CO₂-EOR

CO₂-EOR encompasses several specific methods of oil production that involve injecting CO₂ into oil-bearing formations through injection wells (Water, n.d.). CO₂-EOR is a displacement process in which CO₂ is injected into deep subsurface reservoir rocks through injection wells to drive oil toward production wells. The CO₂ produced along with reservoir fluids is separated at the surface and is typically reinjected or recycled back into the reservoir. This cycle continues throughout the operation (Núñez-lópez & Moskal, 2019).

The key technologies in CO₂-EOR (**Fig. 1**) include:

- Continuous CO₂ injection;
- Continuous CO₂ injection followed by water injection;
- Water-Alternating-Gas (WAG) injection, the most common CO₂-EOR method, in which fresh water or produced water (wastewater from oil fields) is alternately injected with CO₂;
- WAG followed by gas injection, a method in which a cheaper gas, such as nitrogen, is injected after the CO₂ injection cycle.

c. Machine learning

Machine Learning (ML) is a branch of Artificial Intelligence (AI) that studies computer algorithms enabling programs to automatically improve through experience. The advantages of ML include ease in identifying trends and patterns, minimal human intervention (automation), continuous performance improvement, and high efficiency in handling high-dimensional and diverse data types. However, its application is sometimes limited by factors such as ethics, lack of physical constraints, data availability and quality, implementation errors, and limitations in result interpretation (Hassanien, 2020; Yongliang et al., 2021; Swaminathan & Parente, 2023). **Fig 2** illustrates various types of Machine Learning (ML) along with their application areas. ML is categorized into three main types: Supervised learning

• Supervised Learning

Supervised learning, the most commonly used type, involves a known relationship between input

and output data, meaning the data is already labeled.

- **Unsupervised learning**

If a dataset contains only input data without labels, unsupervised learning can be used to identify patterns, structures, trends, or clusters within the data.

- **Reinforcement learning**

Reinforcement learning enables an agent to learn through interaction with the environment using a trial-and-error approach, receiving feedback based on its actions and experiences.

The application of each ML type involves selecting appropriate algorithms.

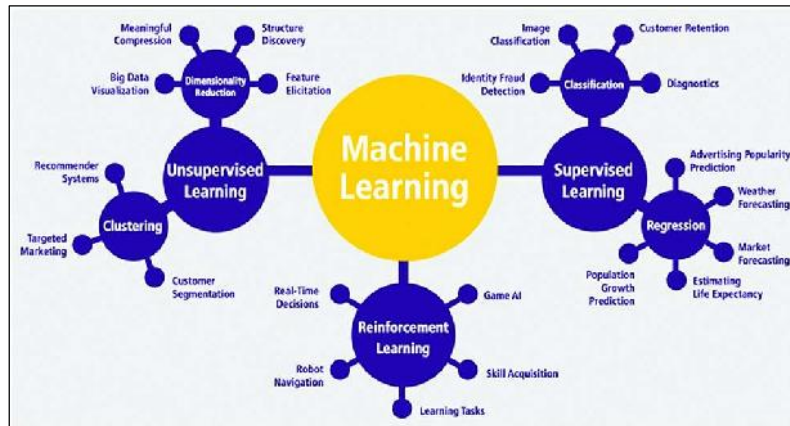


Fig 2. Types and applications of ML (Yongliang et al., 2021)

d. Hierarchical Clustering

This algorithm divides clusters into a hierarchical tree structure to build a classification system. Similar to k-means clustering, hierarchical clustering uses distance-based methods to determine the proximity between clusters. In general, there are two main types of hierarchical clustering (Rahmawati et al., n.d.; Zeng et al., 2020; Xu et al., 2021; Kumarahadi et al., 2023), Namely:

**1) Agglomerative hierarchical clustering
(additive hierarchical clustering)**

In this method, each data point is initially treated as an individual cluster. For example, if there are 10 data points in a dataset, the hierarchical clustering process begins with 10 separate clusters. Subsequently, using a distance function such as the Euclidean distance, the closest pair of clusters is merged. This merging process continues iteratively until only a single main cluster remains (Z. Chen & Msezane, 2020; Li et al., 2022; Kumarahadi et al., 2023; Jáñez-martino et al., 2023).

2) Divisive hierarchical clustering

This method operates by dividing a large group into smaller clusters. If there are 10 data points, all points initially belong to a single cluster. Subsequently, the data point with the farthest distance is separated from the main cluster, and this process continues until each cluster contains only a single data point (Yamada et al., 2020; Manuel et al., 2023).

A dendrogram is used to represent the hierarchical relationships among objects and is the result of the hierarchical clustering process. This tool helps determine the optimal number of clusters and understand the overall data structure. For example, a dendrogram can be created to illustrate hierarchical clustering. In **Fig 3**, the distance between wells 1 and 2 is 0.2 (as shown on the y-axis), while the distance between wells 3 and 4 is 0.5. Finally, the merged clusters, (1,2) and (3,4), have a distance of 1.1 (Harb et al., 2022; Labbé et al., 2023).

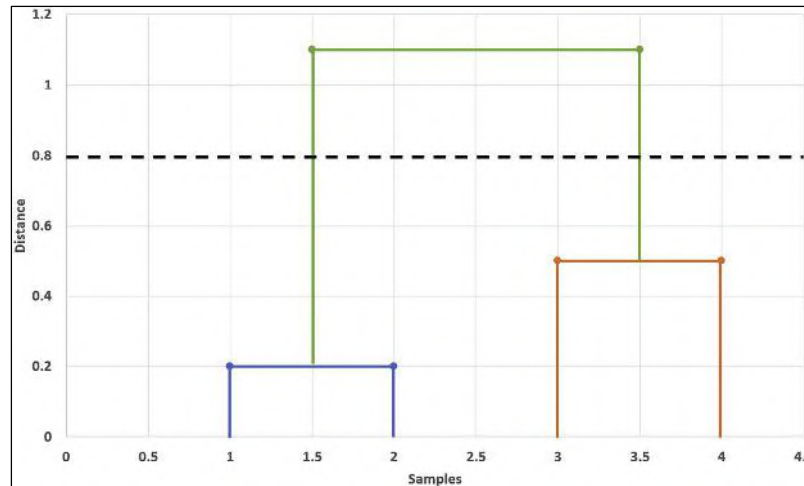


Fig. 3. A dendrogram illustration

e. Silhouette Coefficient

Another approach to evaluating clustering quality is silhouette analysis, which can be applied to various clustering algorithms. The silhouette coefficient ranges from -1 to 1, where higher values indicate more cohesive clusters. Specifically, a coefficient close to +1 suggests that a sample is well-separated from neighboring clusters. A value of 0 indicates that the sample is on or very close to the boundary between two adjacent clusters, while a negative value implies a possible misclassification of the sample into a cluster (Rousseeuw, 1987). To compute the silhouette coefficient, two key aspects must be considered: cluster cohesion (a) and cluster separation (b). Cluster cohesion measures the average distance between a sample and all other data points within the same cluster, whereas cluster separation refers to the average distance between the sample and the points in the nearest cluster. The silhouette coefficient is obtained by dividing the difference between cluster separation and cohesion by the maximum of the two values (Rousseeuw, 1987).

2.2. Methods

In this study, a machine learning-based hierarchical clustering method was applied to group CCUS projects in Indonesia using data from the IEA CCUS Projects Database 2024, with a global dataset of 844 projects, which was filtered specifically for analyzing Indonesian projects. The analytical process includes data collection, pre-processing, and the application of the hierarchical clustering algorithm, considering the key factors:

- **Announced capacity (Mt CO₂/yr)**

The announced or actual capture, transport, and/or storage CO₂ capacity, in Mt CO₂ per year. When the capture capacity is announced as a range or multiple values are available, the announced capacity is entered accordingly.

- **Estimated capacity by IEA (Mt CO₂/yr)**

The estimated capture capacity based on other plant details (e.g., fuel production capacity) or potential deployment plans. See conversion factors for further assumptions.

This approach facilitates the identification of priority zones for CCUS implementation. The methodology follows these steps:

a. Data Collection

Research data was obtained from the IEA CCUS Projects Database 2024, which was used for further processing before the preprocessing stage.

b. Data Preprocessing

The collected data underwent a cleaning process to remove irrelevant attributes for model building. Additionally, a completeness check was conducted before classifying the Indonesian projects for post-processing. The results are presented in **Table 1**.

c. Post-processing hierarchical clustering

The post-processing stage is the final step for interpreting results. This study applied hierarchical clustering using a dendrogram and evaluated cluster separation using the Silhouette Coefficient after clustering.

Table 1. Indonesia Project CCUS

Project name	ID	Country	Partners	Project type	Announcement	FID	Operation	Suspension /decommissioning	Project Status	Project phase	Announced capacity (Mt CO ₂ /yr)	Estimated capacity by IEA (Mt CO ₂ /yr)	Sector	Fate of carbon	Part of CCUS hub	Region
Abadi CCS/CCUS	227	Indonesia	Inpex Masela 65%, Shell (trying to find a buyer...	Full chain	2018	NaN	2027	NaN	Planned	NaN	2.41	2.41	Natural gas processing/LNG	Unknown/unspecified	NaN	Other Asia Pacific
Arun CCS	37	Indonesia	Carbon Aceh, PEMA (JV)	Storage	2022	NaN	2029	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	Arun CCS	Other Asia Pacific
Balikpapan Refinery	43	Indonesia	Pertamina, Air Liquide	Full chain	2022	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	1.4	1.4	Other fuel transformation	Mixed	Kutai Basin CCUS hub	Other Asia Pacific
Banggai ammonia plant Central Sulawesi	342	Indonesia	JOGMEC, Mitsubishi, PT Panca Amara Utama, ITB...	Full chain	2021	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Hydrogen or ammonia	Unknown/unspecified	NaN	Other Asia Pacific
CCS Sakakemang	353	Indonesia	Repsol, Petronas, MOECO	Full chain	2021	2024	2028	NaN	Planned	NaN	0.5	0.5	Natural gas processing/LNG	Dedicated storage	NaN	Other Asia Pacific
Central Sumatera Basin CCUS hub	761	Indonesia	Pertamina, Mitsui	Storage	2022	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	Central Sumatera Basin CCUS hub	Other Asia Pacific
East Kalimantan CCUS hub	947	Indonesia	Kalim Parna Industry, ITB	Storage	2022	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	1	1	Storage	Dedicated storage	East Kalimantan CCUS hub	Other Asia Pacific
Gas power CCUS MoU	857	Indonesia	GE Vernova, CARBONCO, BP, PLN Nusantara (Jawa 1)	Capture	2023	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Power and heat	Dedicated storage	NaN	Other Asia Pacific
Gemah field EOR	764	Indonesia	Petrochina (Daqing Petroleum Services), PT Gem...	Storage	2022	2025	2031	NaN	Planned	1	NaN	NaN	Storage	EOR	NaN	Other Asia Pacific
Gundih CCUS EGR	187	Indonesia	Pertamina, ITB, JGC, J-Power, JANUS (supported...	Full chain	2020	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	0.3	0.3	Natural gas processing/LNG	EOR	NaN	Other Asia Pacific
JSA Pertamina Chevron East Kalimantan	948	Indonesia	Pertamina, Chevron	Storage	2023	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Unknown/unspecified	NaN	Other Asia Pacific
Kutai Basin CCUS hub	765	Indonesia	Pertamina	Storage	2022	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	Kutai Basin CCUS hub	Other Asia Pacific
Nagoya port cluster (capture sources under eva...	858	Japan-Indonesia	BP, Chubu Electric	T&S	2023	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	T&S	Unknown/unspecified	Nagoya port cluster	Other Asia Pacific
Ramba CCUS/EOR	760	Indonesia	Pertamina	Full chain	2022	NaN	2032	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Natural gas processing/LNG	EOR	NaN	Other Asia Pacific
Sukowati CO ₂ -EOR (Jemberan Tiung Biru gas proc...	230	Indonesia	Pertamina, Lemigas, JAPEX (supported by METI)...	Full chain	2020	2024	2025	NaN	Planned	NaN	0.47 - 0.93	0.93	Natural gas processing/LNG	EOR	NaN	Other Asia Pacific
Sunda Asri Basin CCUS hub	762	Indonesia	Pertamina, ExxonMobil	Storage	2022	NaN	2030	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	Sunda Asri Basin CCUS hub	Other Asia Pacific
Tambak Lorok Gas-Fired Power Plant	998	Indonesia	JERA, JGC Holdings, PLN	Full Chain	2023	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Power and heat	Unknown/unspecified	NaN	Other Asia Pacific
Tangguh CCUS hub	860	Indonesia	BP	Storage	2023	NaN	NaN	NaN	Planned	2	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	Tangguh CCUS hub	Other Asia Pacific
Tangguh LNG EGR	388	Indonesia	BP (Mitsubishi, Inpex, JX Nippon, KG Mitsui...	Full chain	2021	2024	2027	NaN	Planned	1	2.5 - 3.3	3.3	Natural gas processing/LNG	EOR	Tangguh CCUS hub	Other Asia Pacific
West Java sea rig-to-CCS JSA	1022	Indonesia	Pertamina, KNOOC	Storage	2024	NaN	NaN	NaN	Planned	NaN	NaN	NaN	Storage	Dedicated storage	NaN	Other Asia Pacific

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained from the hierarchical clustering process using the dendrogram in Figure 4 represent the analysis for grouping CCUS projects in Indonesia based on similarities in data, including project type, operation, and sector, with the main factors being Announced Capacity (Mt CO₂/yr) and Estimated Capacity by IEA (Mt CO₂/yr). As a result, CCUS projects with similar characteristics will be grouped together earlier, while those that are more different will merge at a higher level in the hierarchy. By examining the dendrogram structure, it is possible to determine the optimal number of clusters and understand the relationships between projects, which can be utilized for more effective CCUS strategy planning. This contributes to the national

strategic project that can be implemented to support Net Zero Emission and National Energy Security.

Based on Fig 4, the dendrogram shows that there are 15 CCUS projects in Indonesia, each with different distances between them. A smaller distance between projects indicates a higher similarity, allowing them to be grouped together before merging into a larger cluster. For example, the Abadi CCS/CCUS field, with participating interests of INPEX (65%), Pertamina (20%), and Petronas (15%), and Tangguh LNG EGR, operated by BP with participating interests of BP Berau Ltd (40.22%), Mitsubishi INPEX (16.30%), CNOOC Muturi Limited (13.90%), Nippon Oil Exploration (Berau) Ltd (12.23%), KG Mitsui (10.00%), and LNG Japan (7.35%), have a small distance and share similarities in implementation, particularly in full-chain and natural gas processing (LNG), before merging into a larger cluster.

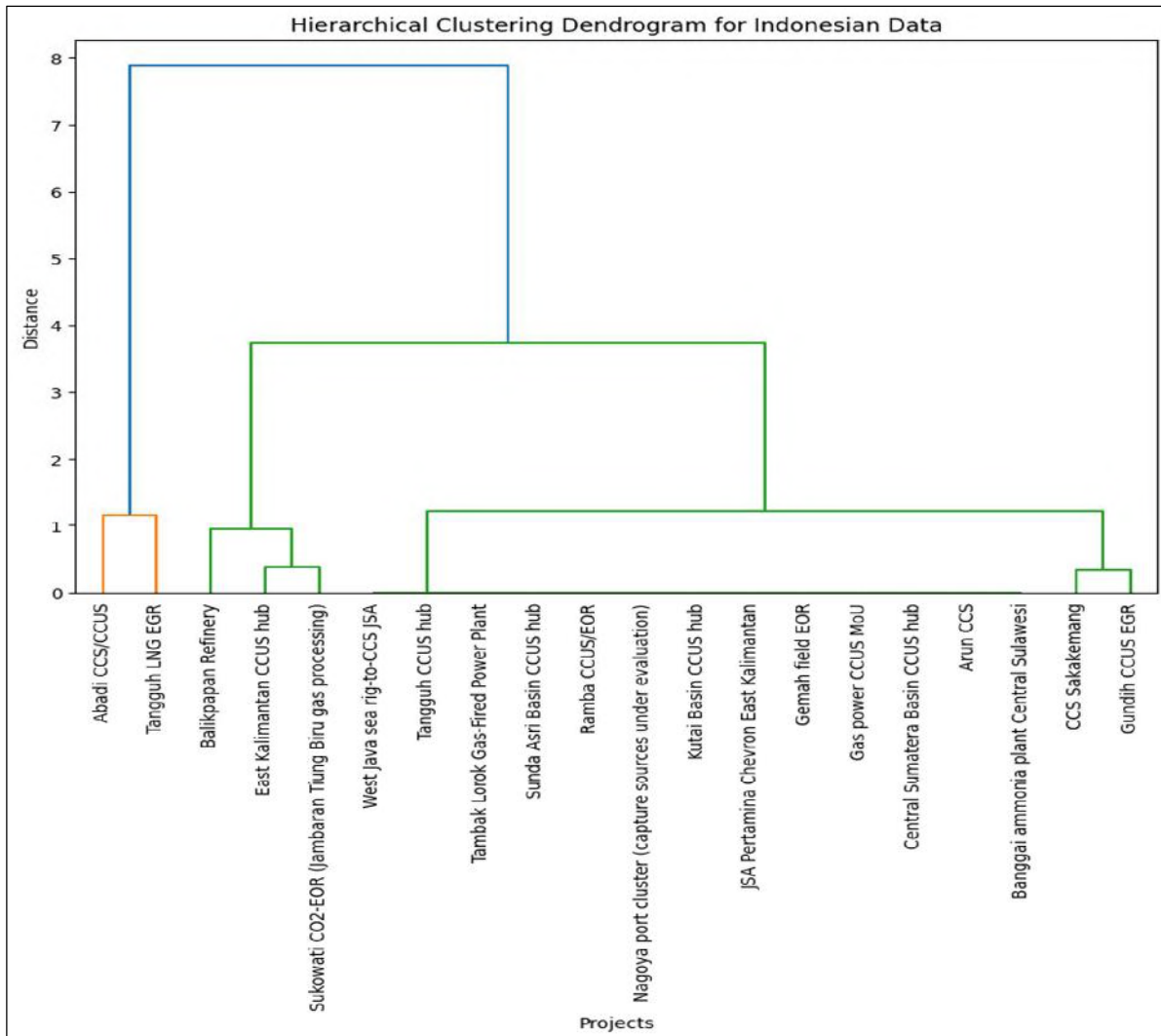


Fig. 4. A dendrogram Results to for Priority CCUS Zones in Indonesia

The results of the Hierarchical Clustering application indicate that the obtained Silhouette Coefficient (**Fig. 5**) is 0.746, as marked by the red dashed line, indicating good cluster separation. The Silhouette Coefficient value approaching 1 suggests that the data points are well assigned to their respective clusters. Additionally, **Fig 6** presents an overview of the national strategic projects for 2023 before the year 2030.

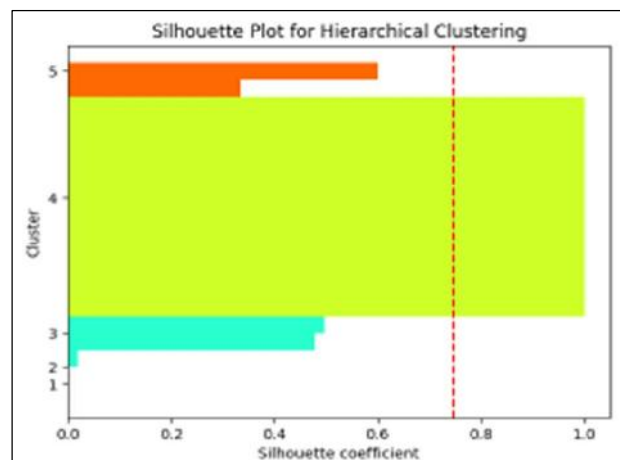


Fig. 5. Silhouette Coefficient

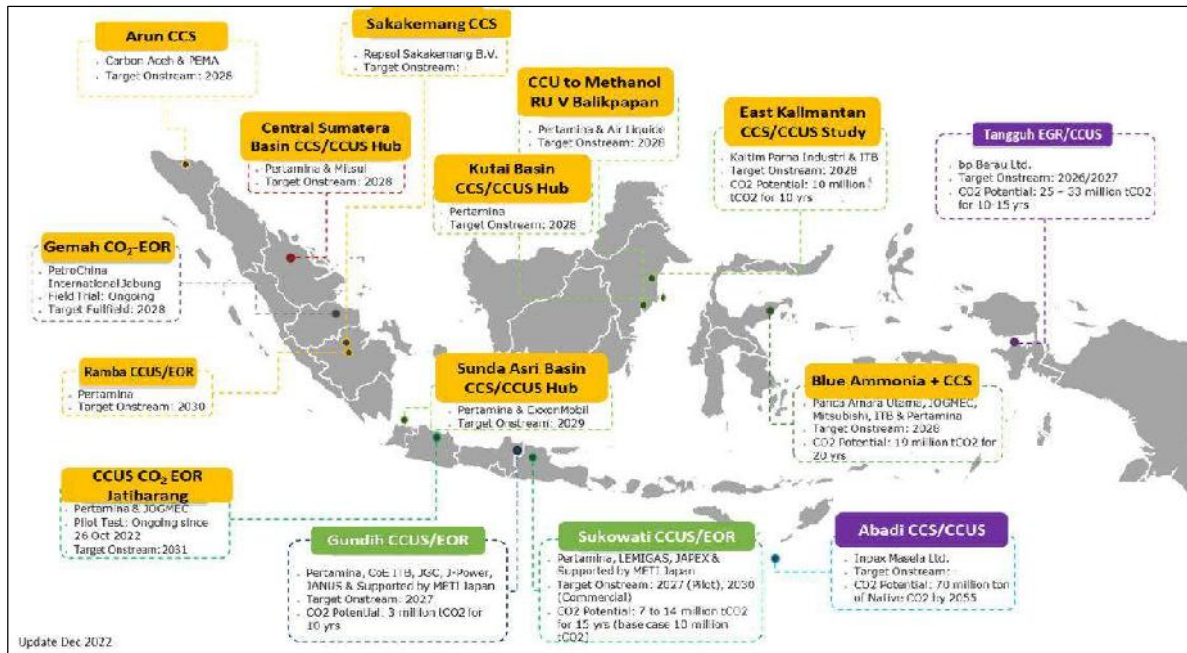


Fig 6. CCS/CCUS Project Locations in Indonesia (Kemen. ESDM, 2023)

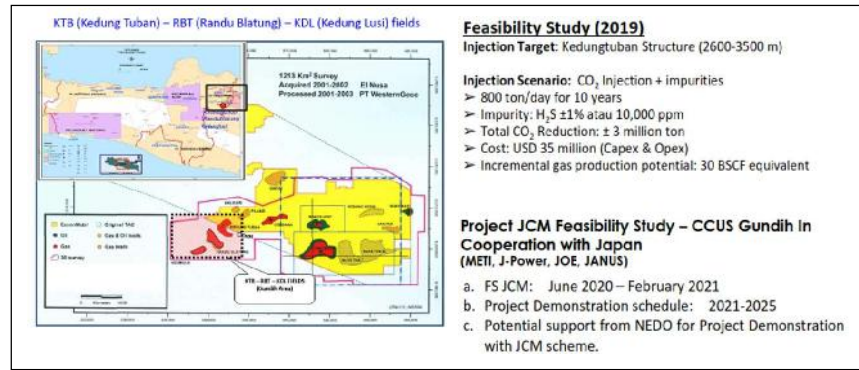
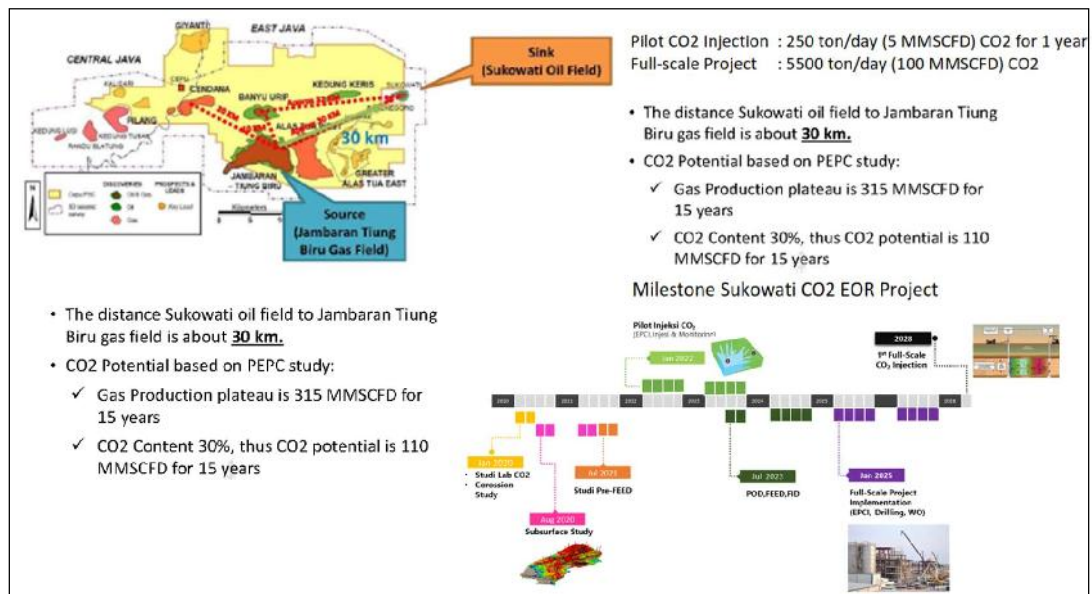
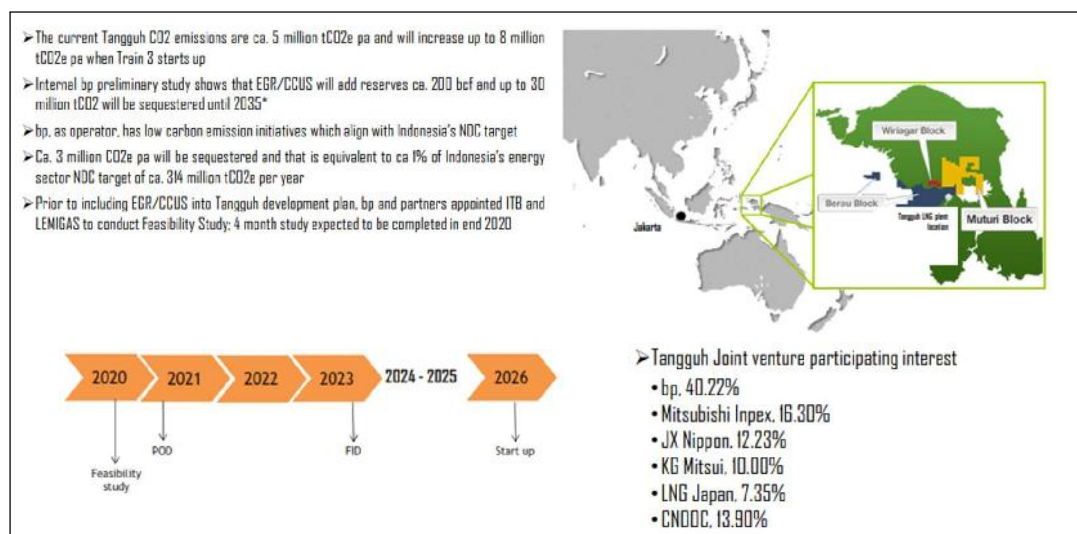
Based on **Fig 6**, there are 15 CCS/CCUS projects in Indonesia that are still in the study or preparation stage, but most are targeted to be operational before 2030.

The implementation of Carbon Capture and Storage (CCS) and Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) in Indonesia is governed by several key regulations. These include the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation No. 16 of 2024 concerning the administration of carbon storage activities within carbon storage permit areas, as part of broader CCS initiatives, and Regulation No. 2 of 2023 concerning the administration of CCS and CCUS in upstream oil and gas business activities. Furthermore, Presidential Regulation No. 14 of 2024 on the Implementation of Carbon Capture and Storage Activities (hereinafter referred to as Presidential Regulation 14/2024) serves as the primary legal foundation for CCS activities in Indonesia. This regulation provides a comprehensive legal framework for both the government and oil and gas companies operating in the upstream sector, outlining the licensing mechanisms, involved stakeholders, and investment regulations necessary to support CCS implementation. The linkage between CCS implementation and upstream oil and gas activities, as stipulated in Article 4, paragraph (1) of Presidential Regulation 14/2024, as well as the allowance for CCS implementation outside the upstream oil and gas sector, as set forth in Article 9,

underscores the importance of strict compliance with the provisions of the regulation when undertaking carbon storage initiatives.

Between 2030 and 2035, the combined potential of CCS and CCUS technologies is estimated to reach 25.5 million to 68.2 million tons of CO₂. Currently, several CCS/CCUS projects are being conducted as pilot projects, such as those carried out by Pertamina in Gundih (**Fig 7**) and Sukowati (**Fig 8**), as well as the ongoing CO₂ Enhanced Gas Recovery (EGR) project in the Tangguh Field (**Fig 9**) by BP Tangguh. Additionally, there are several other potential projects, including initiatives led by Panca Amara Utama, JOGMEC, Mitsubishi, and ITB; CCS research in Sakakemang by Repsol; CCS/CCUS projects in the Abadi Field by Inpex; and blue ammonia production with CO₂ storage conducted by Toyo Engineering Corporation, Pupuk Kalimantan Timur, and Pertamina Hulu Indonesia.

These technologies also contribute to increasing oil and gas production through Enhanced Oil Recovery (EOR) and Enhanced Gas Recovery (EGR) methods. EOR is a technique used to enhance oil production by injecting external energy, while EGR involves the injection of CO₂ gas into reservoirs experiencing production decline to optimize oil and gas recovery.

Fig 7. Gundih CO₂ – EOR Project (Wibowo, 2020)Fig 8. Sukowati CO₂ – EOR Project (Wibowo, 2020)Fig 9. Tangguh CO₂ – EOR Project (Wibowo, 2020)

4. CONCLUSION

In this study, the clustering process was conducted using dendrogram interpretation with two main factors: Announced Capacity (Mt CO₂/yr) and Estimated Capacity by IEA (Mt CO₂/yr). The Silhouette Coefficient after applying hierarchical clustering was 0.746, indicating a well-separated clustering. This method was used to identify priority zones for CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage) projects in Indonesia, aligning with global initiatives in energy conservation and efforts to achieve net-zero carbon emissions to mitigate global warming.

This study also discusses the challenges and opportunities Indonesia faces in achieving net-zero emissions while providing insights into the interconnections among CCUS projects categorized into priority zones. The results of this analysis support strategic decision-making in CCUS project development, contributing to the achievement of Net Zero Emission targets and national energy security. Additionally, ongoing projects and Indonesia's significant CO₂ storage potential offer promising solutions for reducing greenhouse gas emissions, particularly from the oil and gas energy sector.

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses gratitude to God Almighty for the smooth completion of this research. Sincere appreciation is also extended to Universitas Pattimura, Ambon, particularly the Department of Geology and the Petroleum Engineering Study Program, for their support and the facilities provided to assist this research.

REFERENCES

- [1]. Adisaputro, D., & Bastian, S. (2017). *Carbon Capture and Storage and Carbon Capture and Utilization: What Do They Offer to Indonesia?* 5(March 2017), 2012–2015. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00006>
- [2]. Anggraini, R. C. P. K., Kuntjoro, Y. D., & Sasongko, N. A. (2022). *THE POTENCY OF MICROALGA TO MITIGATE CO₂ EMISSION (CASE STUDY: CILACAP COAL FIRED POWER PLANT)*. May.
- [3]. *Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)*. (2019). 235, 1289–1299. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.019>
- [4]. Chen, S., Liu, J., Zhang, Q., Teng, F., & Mclellan, B. C. (2022). A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167(May), 112537. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112537>
- [5]. Chen, Z., & Msezane, A. Z. (2020). *The comparative study on agglomerative hierarchical clustering using numerical data*. *The comparative study on agglomerative hierarchical clustering using numerical data*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/2/022071>
- [6]. ESDM, K. (2023). *STRATEGI TRANSISI ENERGI INDONESIA MENUJU NET ZERO INDONESIA*. September.
- [7]. Goel, M., Sudhakar, M., & Shahi, R. V. (2019). *Carbon Capture, Storage, AND UTILIZATION A possible climate change solution for energy industry*.
- [8]. Harb, P., Silva, L., Ayass, T., Vijaykumar, N., Silva, M., & Renato, C. (2022). *Dendrograms for Clustering in Multivariate Analysis: Applications for COVID-19 Vaccination Infodemic Data in Brazil*.
- [9]. Hassanien, A. E. (2020). *Advances in Intelligent Systems and Computing 1141 Advanced Machine Learning Technologies and Applications*.
- [10]. Jáñez-martino, F., Alaiz-rodríguez, R., González-castro, V., Fidalgo, E., & Alegre, E. (2023). Classifying spam emails using agglomerative hierarchical clustering and a topic-based approach. *Applied Soft Computing*, 139, 110226. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110226>
- [11]. Keberlanjutan, L. (n.d.). *SECURITY THROUGH SUSTAINABLE OIL & GAS EXPLORATION AND*.
- [12]. KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, D. J. M. D. G. B. (2021). *Kejar Produksi Minyak 1 Juta Barell*. 08.
- [13]. Kumarahadi, B. M., Pratiwi, H., & Subanti, S. (2023). *Penerapan Metode Hierarchical Clustering Untuk Pengelompokan Kota / Kabupaten Di Indonesia Berdasarkan Indikator Kemiskinan*. 11(2).
- [14]. Labbé, M., Landete, M., & Leal, M. (2023). *Dendrograms, minimum spanning trees and feature selection*. 308, 555–567. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.11.031>
- [15]. Li, T., Rezaeipanah, A., Tag, E. M., & Din, E. (2022). An ensemble agglomerative

- hierarchical clustering algorithm based on clusters clustering technique and the novel similarity measurement Single linkage Average linkage. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(6), 3828–3842. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.04.010>
- [16]. Manuel, S., Santiago, G., Valverde, F., Ferrer-albero, A., Saur, I., & Fern, A. (2023). *Towards a personalized health care using a divisive hierarchical clustering approach for comorbidity and the prediction of conditioned group risks*. 1–17. <https://doi.org/10.1177/14604582231212494>
- [17]. Migas, S. K. K., & Profile, C. (n.d.). Skk migas company profile. *Laporan Tahunan 2023*.
- [18]. MINERAL, K. E. D. S. D. (2023). *Potensi CCS/CCUS. 11*.
- [19]. Núñez-lópez, V., & Moskal, E. (2019). *Potential of CO₂ -EOR for Near-Term Decarbonization*. 1(September). <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00005>
- [20]. Policy, U. S. (2012). *CARBON DIOXIDE ENHANCED OIL RECOVERY: A CRITICAL DOMESTIC ENERGY, ECONOMIC, AND ENVIRONMENTAL OPPORTUNITY*. February.
- [21]. Prasetyo, A. W., & Windarta, J. (2022). *Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (CCS) dalam Upaya Mendukung Produksi Energi yang Berkelanjutan*. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14509>
- [22]. Putri, A. D., Sasongko, N. A., & Yoesgiantoro, D. (2024). *Carbon Capture Storage dan Carbon Capture Utilization Storage (CCS / CCUS) sebagai Solusi Transisi Energi Fosil di Indonesia*. 8(2), 191–203.
- [23]. Rahmawati, L., Sihwi, S. W., & Suryani, E. (n.d.). *ANALISA CLUSTERING MENGGUNAKAN METODE K-MEANS DAN HIERARCHICAL CLUSTERING (STUDI KASUS: DOKUMEN SKRIPSI JURUSAN KIMIA, FMIPA, UNIVERSITAS SEBELAS MARET)*.
- [24]. Reforminer. (n.d.). *Target Produksi Migas Tahun 2030 dan Reformasi Pengelolaan Hulu Migas Nasional Target Produksi Migas Tahun 2030*.
- [25]. Soesanto, E., Raihan, A., & Angga, S. (2025). *Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Keberlanjutan Industri Migas di Era Transisi Energi*.
- [26]. Storrs, K., Lyhne, I., & Drustrup, R. (2023). A comprehensive framework for feasibility of CCUS deployment: A meta-review of literature on factors impacting CCUS deployment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 125(March), 103878. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103878>
- [27]. Swaminathan, N., & Parente, A. (2023). *Machine Learning and Its Application to Reacting Flows*.
- [28]. Tontiwachwuthikul, P. (2017). *Special issue on, Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS): Technological developments and future opportunities for petroleum industry*. 3, 4–5. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2017.02.002>
- [29]. Vishal, V., Sakai, A., Prasad, P., Torres, J. B., Ombudstvedt, I., Esposito, R., Koperna, G., & Tomski, P. (2024). *Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon Buku Panduan untuk Para Pembuat Kebijakan*.
- [30]. Water, C. (n.d.). *Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery (CO₂ -EOR): A Threat to Drinking Water and the Environment*. 2–3.
- [31]. Wibowo, A. (2020). *CCUS Activities in Indonesia*.
- [32]. Xu, N., Finkelman, R. B., Dai, S., Xu, C., & Peng, M. (2021). *Average Linkage Hierarchical Clustering Algorithm for Determining the Relationships between Elements in Coal*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05758>
- [33]. Yamada, Y., Masuyama, N., Amako, N., Nojima, Y., Loo, C. K., & Ishibuchi, H. (2020). *Divisive Hierarchical Clustering Based on Adaptive Resonance Theory*.
- [34]. Yongliang, Y., Borhani, T. N., Subraveti, S. G., Pai, K. N., Prasad, V., Rajendran, A., Nkulikiyinka, P., Asibor, J. O., Zhang, Z., Shao, D., Wang, L., Zhang, W., Yan, Y., Ampomah, W., You, J., Wang, M., Anthony, E. J., Manovic, V., & Clough, P. T. (2021). Harnessing the power of machine learning for carbon capture, utilisation, and storage (CCUS) – a state-of-the-art review. *Energy & Environmental Science*, 6122–6157. <https://doi.org/10.1039/d1ee02395k>
- [35]. Zeng, K., Ning, M., & Wang, Y. (2020). *Hierarchical Clustering with Hard-batch Triplet Loss for Person*. 13654–13662. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.01367>

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODE MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2024 PADA RUAS JALAN R. SUPRAPTO, RUMAH TIGA, KOTA AMBON, MALUKU

Erdyd S. Bakarbessy¹, Juliet G Metekohy,² Febrino Wangean³

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: erdydstevano@gmail.com

Abstrak Jalan merupakan infrastruktur utama dalam pengembangan wilayah yang mendukung aktivitas ekonomi, sosial, dan mobilitas masyarakat. Jalan R. Suprpto di Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku, merupakan salah satu jalan utama yang berperan strategis mendukung arus lalu lintas serta akses menuju Rumah Sakit Dr. J. Leimena. Dalam beberapa tahun terakhir, jalan ini mengalami kerusakan seperti retakan, lubang, dan deformasi akibat ketidakmampuan menahan beban kendaraan serta kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini menyebabkan keluhan masyarakat dan mengganggu kelancaran lalu lintas. Penelitian ini bertujuan merencanakan tebal perkerasan kaku yang optimal sebagai alternatif pengganti perkerasan lentur dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2024. Data primer yang digunakan meliputi data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) dan hasil pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk nilai California Bearing Ratio (CBR). Dari hasil analisis, ditemukan bahwa nilai CBR sebesar 13,98%, dengan perkerasan beton semen tebal 180 mm, lapis fondasi beton kurus 100 mm, lapis drainase agregat kelas A 200 mm, serta timbunan pilihan berbutir kasar 200 mm. Perencanaan ini juga mempertimbangkan kondisi tanah dasar, beban lalu lintas, dan spesifikasi material dengan umur rencana 40 tahun. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) untuk umur rencana tersebut mencapai 3.929.943, sehingga jalan lebih tahan lama dan mampu menahan beban lalu lintas yang terus meningkat.

Kata kunci: *Rigid Pavement*, Manual Desain Perkerasan Jalan, LHR, CBR, Infrastruktur Jalan.

Abstract Roads are the main infrastructure in regional development that supports economic, social, and community mobility activities. Jalan R. Suprpto in Rumah Tiga, Ambon City, Maluku, is one of the main roads that plays a role in the strategy of supporting traffic flow access to Dr. J. Leimena Hospital. In recent years, this road has experienced damage such as cracks, holes, and noise due to the inability to withstand vehicle loads and extreme weather conditions. This condition causes public complaints and disrupts traffic flow. This study aims to plan the optimal rigid pavement thickness as an alternative to flexible pavement with the 2024 Road Pavement Design Manual. The primary data used include Average Daily Traffic (LHR) data and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) test results for the California Bearing Ratio (CBR) value. From the analysis results, it was found that the CBR value was 13.98%, with a 180 mm thick cement concrete pavement, a 100 mm thin concrete foundation layer, a 200 mm class A aggregate drainage layer, and a 200 mm coarse-grained selected embankment. This plan also considers the condition of the base soil, traffic load, and material specifications, with a planned life of 40 years. The number of Commercial Vehicle Axles (JSKN) for the scheduled life reaches 3,929,943 so the road is more durable and able to withstand increasing traffic loads.

Keywords: *Rigid Pavement*, Road Pavement Design Manual, LHR, CBR, Road Infrastructure.

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, sebagaimana tercantum dalam undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004. Pengguna jalan seharusnya memiliki kenyamanan dan keamanan, maka dari itu jalan harus didukung oleh suatu perencanaan dan konstruksi perkerasan yang baik. Perkerasan jalan merupakan bahan campuran antara material agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk menahan beban kendaraan. Salah satu perkerasan jalan yang menggunakan material bahan ikat semen, pelat, tulangan maupun tidak memakai tulangan adalah jenis perkerasan kaku (*Rigid Pavement*). Dengan sebagian besar beban pada jalan dipikul oleh plat beton. (Tenriajeng, 1999). Perkerasan jalan dalam kondisi yang baik akan membuat arus lalu lintas berjalan dengan lancar sedangkan jika sebaliknya dimana jalan tersebut rusak lalu lintas akan sangat terganggu. Pemeliharaan perkerasan merupakan praktik penting untuk menjaga dan memulihkan kapasitas struktural perkerasan. Pentingnya pemeliharaan perkerasan adalah agar meningkatkan kekuatan perkerasan karena seiring berjalannya waktu semakin lama semakin meningkat juga volume kendaraan dan beban roda meningkat dalam sistem jalan raya. (Fikali Maklas, 2019).

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang menghubungkan berbagai wilayah dan mendukung aktivitas perekonomian. Kondisi jalan yang baik sangat berpengaruh terhadap kelancaran lalu lintas, keselamatan pengguna jalan, serta efisiensi transportasi. Namun, banyak ruas jalan di Indonesia yang mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang semakin meningkat, kondisi cuaca ekstrem, dan kurangnya perawatan. Salah satu alternatif untuk meningkatkan kualitas dan daya dukung jalan adalah dengan menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*). *Rigid pavement* memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan *flexible pavement*, seperti daya tahan yang lebih tinggi terhadap beban berat, deformasi yang lebih kecil, dan umur layanan yang lebih panjang. Oleh karena itu, perencanaan *rigid pavement* yang tepat sangat penting untuk memastikan jalan raya dapat berfungsi secara optimal dalam jangka waktu yang lama. Ruas Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku sebagai salah satu jalan utama di kota Ambon. Jalan ini merupakan jalan kolektor kabupaten/kota yang menghubungkan jalan lokal dengan arteri, dan jalan saat ini mengalami kerusakan seperti berlubang, retak dan Jalan ini merupakan jalan

penghubung untuk akses ke Rumah Sakit Dr. J. Leimena. Jalan ini memiliki kondisi perkerasan jalan semakin memburuk dan berpotensi menimbulkan berbagai masalah seperti kerusakan jalan, kecelakaan lalu lintas, dan peningkatan biaya perawatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi perkerasan yang lebih tahan lama dan efisien untuk Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku, dengan mempertimbangkan kondisi spesifik wilayah dan kebutuhan pengguna jalan. Justifikasi ini didasarkan pada pentingnya meningkatkan kualitas infrastruktur jalan untuk mendukung mobilitas dan perekonomian lokal.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Metodologi Penelitian

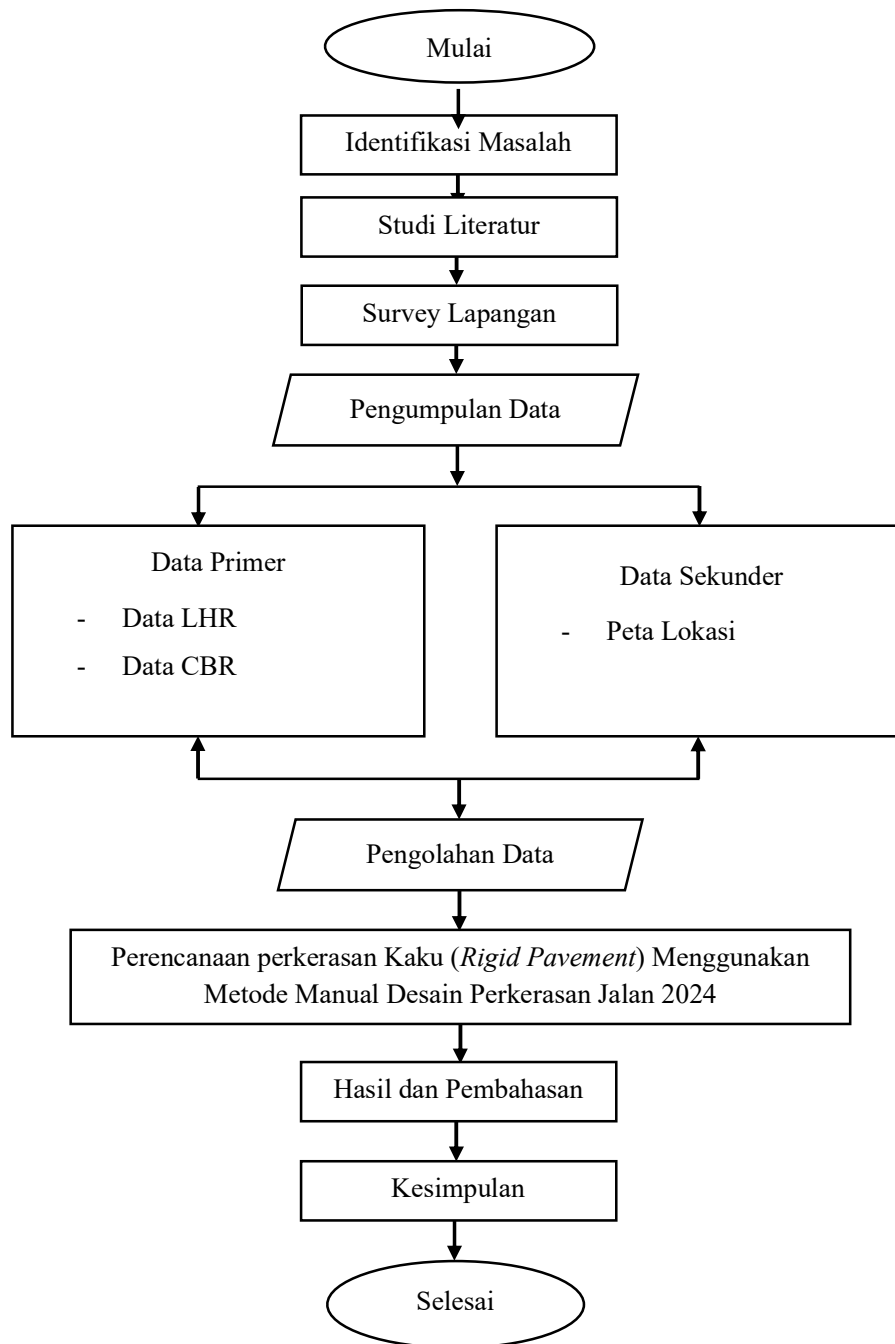
Metode yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif adalah metode pengukuran data kuantitatif melalui perhitungan ilmiah berasal dari survei secara langsung di lapangan dan beberapa data penunjang perhitungan dari instansi yang terkait. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tebal perkerasan kaku yang optimal pada ruas Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku dengan menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.

2.2. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), digunakan untuk pengujian nilai kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dalam nilai CBR.
- Smartphone*, digunakan untuk menghitung kendaraan pada lokasi penelitian menggunakan aplikasi *traffic counter* dan untuk mendokumentasikan kegiatan penelitian di lapangan.
- Form*, digunakan untuk mencatat hasil data-data saat melakukan penelitian di lapangan.
- Alat tulis, digunakan untuk mencatat berbagai hal yang dibutuhkan.

2.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Data

Tabel 1. Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Golongan	Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari)
Golongan 1	Sepeda Motor	4825
Golongan 2	Sedan, Jeep, Statin Wagon	1094
Golongan 3	Angkutan	55
Golongan 4	Mobil <i>pick up</i>	51
Golongan 5a	Bus Kecil	49
Golongan 5b	Bus Besar	0
Golongan 6a	Truk Ringan	23
Golongan 6b	Truk Sedang	23
Total		6120

Sumber: Hasil Survei

Tabel 1. merupakan rekapitulasi LHR kendaraan hasil survey lapangan selama 7 hari, dapat dilihat bahwa ruas Ruas Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku memiliki volume lalu lintas untuk kendaraan niaga (truk dan bus) cenderung lebih rendah. Pada ruas jalan ini lebih didominasi oleh kendaraan golongan 1 dan golongan 2.

Tabel 2. Data *California Bearing Ratio* (CBR) dengan Alat DCP STA 00+600

STA	CBR
00+025	19.98
00+050	39.56
00+075	27.94
00+100	24.92
00+125	28.97
00+150	52.03
00+175	42.00
00+200	66.53
00+225	57.12
00+250	61.91
00+275	50.57
00+300	92.48
00+325	50.57
00+350	72.51

00+375	60.85
00+400	63.86
00+425	74.34
00+450	73.59
00+475	42.86
00+500	69.41
00+525	84.84
00+550	50.57
00+575	63.58
00+600	69.08
Jumlah	141.36
Rata-rata	19.98
Deviasi Standar	5.05

Sumber: Hasil Survei

Berdasarkan data CBR yang diambil dari STA 00+000 – STA 00 + 600 untuk mendapatkan Nilai CBR% terlebih dahulu, Nilai CBR (%) didapat dari $\text{Log}_{10} (2,8135 - 1,313)$ log nilai DCP karena menggunakan konus 6. Setiap tumbukan mempunyai kedalaman penetrasi yang berbeda-beda pada setiap lapisan tanah, kemudian dari variasi penetrasi yang ada maka dapat dicari nilai DCP untuk mengetahui nilai CBR dari setiap kedalaman lapisan tanah. Penelitian ini hanya mengambil contoh perhitungan di STA 00 + 025:

Tabel 3. Hasl Perhitungan CBR STA 00+25

Sumber: Hasil Survei

No	Banyak Tumbukkan	Kumulatif Tumbukan	Penetrasi (hi) (mm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	DCP (mm/tumbukan)	CBR (%)
0	0	0	0	0	-	
1	5	5	71	71	14.20	19.98
2	5	10	14	85		-
3	5	15	9	94		-
4	5	20	29	123		-
5	5	25	17	140	3.45	128.04
6	5	30	51	191		-
7	5	35	51	242		-
8	5	40	79	321		-
9	5	45	71	392		-
10	5	50	64	456	12.64	23.28
				456		

Perhitungan DCP dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5 halaman 25. Maka, didapat perhitungan sesuai data pada tabel yaitu :

$$DCP = \frac{71}{5} \times 1 = 14,20 \text{ mm}$$

$$DCP = \frac{17}{25} \times 1 = 3,45 \text{ mm}$$

$$DCP = \frac{64}{50} \times 1 = 12,64 \text{ mm}$$

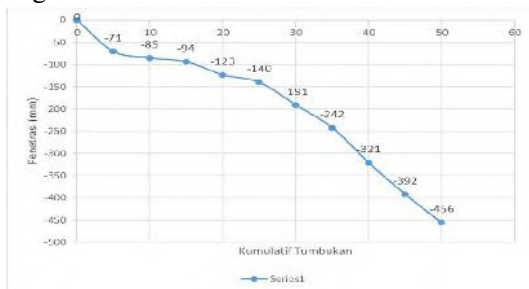
Perhitungan CBR dengan Conus 60° dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 halaman 25. Maka, didapat perhitungan CBR sesuai data pada tabel yaitu :

$$CBR = 2,8135 - 1,313 \times \log 14,20 = 19.98$$

$$CBR = 2,8135 - 1,313 \times \log 3,45 = 128.04$$

$$CBR = 2,8135 - 1,313 \times \log 12,64 = 23.28$$

Berdasarkan data serta perhitungan kumulatif tumbukan dan penetrasidiatas sesuai dengan nilai DCP dan CBR dari data STA 00 + 025. Maka, dapat ditarik grafik perhitungan tersebut sebagai berikut :



Gambar 3.1 Grafik Kumulatif Tumbukan dan Penetrasi

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai CBR menggunakan metode Conus 60°, diperoleh nilai CBR yang bervariasi tergantung pada nilai penetrasi yang digunakan. Nilai CBR yang diperoleh berkisar 19.98, 128.04 hingga 23.28, yang menunjukkan bahwa kondisi tanah di Lokasi tersebut memiliki daya dukung baik. Grafik hubungan antara kumulatif tumbukan dan kumulatif penetrasi menunjukkan adanya tren kenaikan yang konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar nilai penetrasi, semakin besar pula jumlah tumbukan yang diperlukan untuk mencapai penetrasi tersebut. Dengan kata lain, tanah yang diuji memiliki karakteristik yang menunjukkan perlawanan terhadap penetrasi seiring dengan bertambahnya kedalaman.

3.2. Perhitungan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

A. Umur Rencana

Tabel 4. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Lapisan fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan perlapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, dan terowongan	
	Lapis fondasi berpengikat semen, <i>cement Treated based</i> (CTB)	
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	10

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

Umur rencana merupakan periode waktu yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan analisis kinerja suatu infrastruktur, khususnya dalam pekerjaan jalan. Berdasarkan tabel 4 untuk menetapkan umur perkerasan jalan baru maka diambil dari hasil hubungan antara jenis perkerasan dengan elemen perkerasan sesuai dengan ketentuan tersebut maka didapat umur rencana untuk

perkerasan kaku adalah 40 tahun. Pada perencanaan ini dihitung dari tahun 2025-2065.

B. Pemilihan Struktur Perkerasan

Desain Perkerasan kaku menggunakan Jumlah Data Lalulintas Harian Rata-rata dikonversi ke Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN), sehingga didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini.

Tabel 5. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Gol Kendaraan	LHR	JSKN	HVAG	STRT	STdRT	STdRG	STrRG	SOrgRG
Gol 5B	49	99	49	49	0	0	0	0
Gol 6A	23	46	46	0	0	0	0	0
Gol 6B	23	45	23	23	0	0	0	0
Gol. 7A1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7A2	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7A3	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7B1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7B2	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7B3	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7C1	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7C2A	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7C2B	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7C3	0	0	0	0	0	0	0	0
Gol. 7C4	0	0	0	0	0	0	0	0
R	113.678							
Proposi jenis kendaraan (%)			100	62,07	37,93	0,00	0,00	0,00

Sumber: Hasil Survei

Perhitungan nilai R:

$$R(25-65) = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} = \frac{(1 + 0,01 \times 4,75)^{40} - 1}{0,01 \times 4,75} = 113,678$$

Maka dapat dihitung Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana. Sebagai berikut:

$$\begin{aligned} JSKN &= LHR \times JSKN \times 365 \times DD \times DL \times R \\ JSKN &= 94,7 \times 189 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times \\ &113,678 \\ JSKN &= 3.929.943 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, nilai JSKN yang diperoleh sebesar 3,929,943. Nilai ini didapatkan berdasarkan data LHR (Lalulintas Harian Rata-rata) tahun 2025 yang digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah standar kendaraan selama umur rencana 40 tahun (2025-2065). Dalam perhitungan ini, faktor-faktor seperti nilai konversi JSKN, distribusi arah (DD), serta faktor distribusi lintasan (DL) turut diperhitungkan. Nilai R (25-65) yang diperoleh sebesar 113,678, menunjukkan Tingkat pertumbuhan lalu lintas yang digunakan dalam proyeksi kebutuhan kapasitas jalan. Hasil ini memberikan gambaran bahwa tingkat pertumbuhan lalu lintas yang cukup signifikan selama umur rencana dapat berdampak pada kinerja jalan di masa depan. Oleh karena itu, hasil perhitungan ini akan menjadi acuan penting dalam perencanaan tebal perkerasan yang sesuai dengan standar Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024, guna memastikan daya dukung jalan tetap optimal dalam menampung volume kendaraan yang diproyeksikan.

C. Pemilihan Struktur Perkerasan (i)

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 mengacu pada pertumbuhan lalu lintas pada daerah Maluku sebesar 4,75%. Menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas dapat digunakan jika tidak tersedia data dan dapat digunakan dari tahun 2025-2065.

D. Faktor Pertumbuhan Kumulatif (R)

Faktor pertumbuhan kumulatif (R) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung total akumulasi pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana. Nilai R dihitung

menggunakan persamaan yang mengacu pada referensi yang relevan, di mana faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan diasumsikan sebesar 4,75% selama 40 tahun umur rencana. Nilai R dihitung menggunakan rumus faktor pertumbuhan kumulatif dengan i setiap jenis kendaraan sebesar 4,75% selama umur rencana.

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} = \frac{(1+0,01(4,75))^{40}-1}{0,01 \times 4,75} \\ &= 113,678 \end{aligned}$$

E. Lalu Lintas Pada Jalur Rencana

Untuk jalan dua arah, Faktor Distribusi Arah (DD) umumnya diambil 0,05 kecuali pada Lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada suatu arah tertentu. Untuk Faktor Distribusi Lajur (DL). Dengan jumlah lajur setiap arah 2 maka Kendaraan niaga pada lajur desain adalah 80%

F. Data Nilai CBR Tanah Dasar

Dari hasil perhitungan CBR tanah dasar pada ruas Ruas Jalan R. Suprpto, Rumah Tiga, Kota Ambon, Maluku yang dapat dilihat dari table 2 . Maka, selanjutnya digunakan persamaan Untuk menentukan nilai CBR karakteristik agar didapatkan CBR keseragaman tanah dasar, maka; CBR Karakteristik = CBR Rata – rata – fx Devisi standar. Pengujian DCP dilakukan pada musim kemarau sehingga diperoleh nilai. faktor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim untuk CBR dari pengujian DCP yaitu 0,70. Selanjutnya untuk mendapatkan Nilai CBR Desain digunakan persamaan sebagai berikut :

CBR Desain = Hasil Baca DCP x Faktor penyesuaian

$$CBR \text{ Desain} = 19,98 \times 0,70 = 13,98\%$$

Perkerasan kaku dipilih sebagai Solusi utama dalam Pembangunan jalan yang akan menerima beban lalu lintas berat dalam jangka waktu panjang. Penentuan ketebalan perkerasan beton dilakukan berdasarkan nilai JSKN dan standar tabel perencanaan tebal beton. Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 mengacu pada perhitungan dan perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas rendah, ketebalan minimum beton perkerasan yang direkomendasikan adalah 150 mm.

Namun, untuk memastikan keamanan dan ketahanan perkerasan terhadap beban

lebih tinggi, dicoba menggunakan tebal beton sebesar 180 mm.

G. Struktur Perkerasan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Repetisi Beban yang Diizinkan-STRT

Beban Sumbu	Proporsi Beban (100%)	Proporsi Kelompok Sumbu (100%)	Desain lalu lintas (JSKN)	Repetisi beban yang diizinkan
10	0,0015	0,62	3929943,711	3658,78
20	0,2582	0,62	3929943,711	629550,61
30	0,3957	0,62	3929943,711	965180,84
40	0,1952	0,62	3929943,711	476126,61
50	0,0693	0,62	3929943,711	155863,17
60	0,0447	0,62	3929943,711	109031,04
70	0,0304	0,62	3929943,711	74150,87
80	0,0065	0,62	3929943,711	15854,63
90	0,0038	0,62	3929943,711	9268,86
100	0,0003	0,62	3929943,711	731,75

Sumber: hasil pengelolaan data

Terlihat bahwa beban sumbu 20 KN memiliki repetisi tertinggi, yaitu 629.550,61 kali, sedangkan 100 KN memiliki repetisi terendah, yaitu 731,75 kali. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban sumbu, semakin kecil jumlah siklus beban yang bisa di terima oleh pekerasan. SKN, proposi beban, dan faktor kelompok sumbu.

Tabel ini menunjukkan bahwa semakin besar beban sumbu kendaraan, semakin cepat pekerasan jalan mengalami kelelahan struktural.

Oleh karena itu, desain perkerasan harus mempertimbangkan distribusi beban dan repetisi beban yang diizinkan untuk memastikan ketahanan jalan selama umur rencana.

H. Faktor Kelelahan dan Faktor Erosi

Dengan menggunakan tabel perencanaan tebal beton sebesar 180 mm dan kekuatan tanah efektif 75% maka ekuivalensi faktor *fatigue* (S_e) dan ekuivalensi faktor erosi (F_3) dapat di lihat pada tabel di bawah ini.:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Ekuivalen Faktor *Fatigue* (S_e) dan Ekuivalen Faktor Erosi (F_3)

Ekuivalen	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
S_e	0,94	1,30	0,94	1,10	0,93	0,93
F_3	1,83	2,43	2,37	2,37	2,37	2,37

Sumber: hasil perhitungan

$$S_e \text{ atau } f_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(Ef) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln(Ef)]^2 + f \frac{\ln(Ef)}{D} + \frac{g}{D^3} + h[\ln(Ef)]^3 + i \frac{[\ln(Ef)]^2}{D} + j \frac{\ln(Ef)}{D^2}$$

$$S_e \text{ atau } f_3 = -0,51 + \frac{26,0}{250} + 0,0899 \cdot \ln(75\%) + \frac{35,77}{250^2} + -0,0376 \cdot [\ln(75\%)]^2 + 14,57 \frac{\ln(75\%)}{250} + \frac{-861,54}{250^3} + 0,0031[\ln(75\%)]^3 + 1,30 \frac{[\ln(75\%)]^2}{250} \pm 4,00 \frac{\ln(75\%)}{250^2} = 0,94$$

Tabel 8A. Hasil Perhitungan Faktor *Fatigue* dan Erosi-STRT

Beban Sumbu (KN)	Repetisi Beban L_S (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ek. Fak Fatigue (S_e)	0.94	Ek. Fak Erosi (F_3)	1.83
			Analisis Faktor Fatigue (N_f)		Analisis Faktor Erosi (N_e)	
			Repetisi yang diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang diizinkan	Kerusakan (%)
10	11	3658.76	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
20	22	629550.61	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
30	33	965180.84	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
40	44	476126.61	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
50	55	155863.17	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
60	66	109031.04	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
70	77	74150.87	Unlimited	0.00	3555526688325653.00	0.00
80	88	15854.63	10741643.33	0.15	3555526688325653.00	0.00
90	99	9268.86	370186.3942	2.50	69491783.09	0.01
100	110	731.75	70466.69345	1.04	8014337.39	0.01
Total Tabel			Fatigue (%)	3.69	Erosi(%)	0.02

Sumber: hasil perhitungan

Tabel B. Hasil hitung faktor fatigue dan erosi – STRG						
Beban Sumbu (KN)	Repetisi Beban L_{SF} (Beban Rencana)	Repetisi Beban yang Diizinkan	Ek. Fak. Fatigue (S_e)	1.30	Ekuiv. Fak. Erosi (F_3)	2.43
			Analisis Faktor Fatigue (N_f)		Analisis Faktor Erosi (N_e)	
			Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
10	11	4.03E+03	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
30	33	1.40E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
40	44	3.37E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
50	55	2.44E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
60	66	2.59E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
70	77	2.27E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
80	88	1.49E+05	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
90	99	4.29E+04	UNLIMITED	0.00	66850183.00	0.06
100	110	2.76E+04	UNLIMITED	0.00	7891742.88	0.35
110	121	1.52E+04	43624134.68	0.03	2655222.70	0.57
120	132	1.24E+04	1244744.073	0.99	1222409.50	1.01
130	143	3.73E+03	237597.7821	1.57	658733.31	0.57
140	154	2.50E+04	77449.00093	32.34	390877.30	6.41
150	165	4.17E+03	26922.9134	15.50	247703.42	1.69

Total Tabel H	Fatigue (%)	50.44	Erosi (%)	10.66
----------------------	--------------------	--------------	------------------	--------------

Tabel 8.B. Hasil hitung faktor fatigue dan erosi – STRG

Tabel C. Hasil hitung faktor fatigue dan erosi – SQdRG						
Beban Sumbu (KN)	Repetisi Beban	Repetisi	Ek. Fak. Fatigue (S_e)	0.93	Ekuiv. Fak. Erosi (F_3)	2.37
	L_{SF}	Beban	Analisis Faktor Fatigue (N_f)		Analisis Faktor Erosi (N_e)	
	(Beban Rencana)	yang Diizinkan	Repetisi yang Diizinkan	Fatigue (%)	Repetisi yang Diizinkan	Kerusakan (%)
10	11	0.00	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
20	22	0.00	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
30	33	0.00	UNLIMITED	0.00	355526638325653.00	0.00
Total Tabel L			Fatigue (%)	0.00	Erosi (%)	0.00
Jumlah Total			Fatigue (%)	54.13	Erosi (%)	10.68

Sumber: Hasil Perhitungan

Perkerasan kaku pada jalan ini dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang tinggi dengan menggunakan lapisan beton semen sebagai lapisan utama. Berdasarkan hasil analisis, ketebalan yang dibutuhkan untuk beton semen adalah 180 mm, dengan mempertimbangkan faktor *fatigue* sebesar 54,13% dan faktor erosi sebesar 10,68%. Hal ini menunjukkan bahwa struktur perkerasan memiliki ketahanan yang baik terhadap kelelahan akibat beban berulang serta erosi akibat beban kendaraan berat.:

Tabel 9. Susunan konstruksi desain perkerasan kaku

Material			Tebal (mm)
Beton Semen	: 4,5 Mpa		180 mm
Lapis Fondasi	: Beton		100 mm
Bawah	: kurus		
LFA Kelas A	: CBR 90		200 mm
	: %		
Timbunan pilihan	: CBR 90		200 mm
berbutir kasar	: %		
Tanah Dasar	: 13,98 %		0

I. Faktor Kelelahan dan Faktor Erosi

Perkerasan di desain sebagai beton bersambung dengan tulangan maka : Rumus Tulangan :

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2f_s}$$

Keterangan :

A_s : Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

f_s : Kuat tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya sebesar 0,6 kali tegangan leleh

g : Percepatan gravitasi (m/detik^2)

h : Tebal plat beton (m)

L : Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)

M : Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

μ : Koefisien gesekan antara pelat beton dan fondasi

Diketahui :

Lebar pelat : 3-4 m = 3 x 3(digunakan 3 meter di karenakan lebar jalan 9)

Panjang pelat : 8-15 m = 15 meter

Jarak sambungan : 8- 15 m = 15 meter

susut : 1,00 (Tabel 2.5)

Koef. gesek antara pelat beton dengan pondasi bawah (μ) :

Kuat Tarik ijin baja : 240 MPa

f_s :

Berat isi beton (M) : 2400 kg/m^3

Gravitasi (g) : 9,81 m/dtk^3

:

:

:

a) Tulangan Memanjang

Pada perkerasan semen bersambung dengan tulangan diperlukan tulangan dengan luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\text{Maka } A_s = \frac{1,00 \times 15 \times 2400 \times 9,81 \times \left(\frac{180}{1000}\right)}{2 \times 240}$$

$$A_s = 132,44 \text{ m}$$

$$A_s \text{ min} = 180 \text{ m}$$

Maka jarak tulangan yang diperlukan sebagai berikut

$$= \phi^2 \times 1000 / A_s$$

$$= 8^2 \times 1000 / 132,44$$

$$= 380 \text{ mm}$$

Maka diameter tulangan yang dipakai adalah 8 mm lihat pada tabel 10 ukuran dan berat tulangan polos pada Pd T -14 – 2003

Dari hasil perhitungan diatas maka digunakan tulangan ϕ 8 dengan jarak 200 mm Hal ini menghasilkan luas penampang tulangan yang efektif sebesar **251 mm²/m**, yang sudah memenuhi persyaratan minimum. Dengan penggunaan tulangan ϕ 8 mm dengan jarak 200 mm, perkerasan beton semen bersambung ini dapat mengontrol retak dengan baik serta meningkatkan ketahanan terhadap beban lalu lintas dan perubahan lingkungan. Pemilihan tulangan yang sesuai dengan standar memastikan bahwa perkerasan akan memiliki umur layanan yang lebih panjang dan kinerja yang optimal.

b) Tulangan Melintang

Pada perkerasan semen bersambung dengan tulangan diperlukan tulangan dengan luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\text{Maka } A_s = \frac{1,00 \times 9 \times 2400 \times 9,81 \times \left(\frac{180}{1000}\right)}{2 \times 240}$$

$$A_s = 79,46 \text{ m}$$

$$A_s \text{ min} = 180 \text{ m}$$

Maka jarak tulangan yang diperlukan sebagai berikut:

$$= \phi^2 \times 1000 / A_s$$

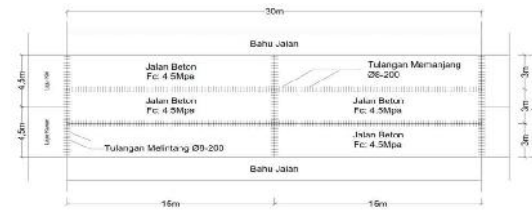
$$= 8^2 \times 100 / 79,46$$

$$= 633 \text{ mm}$$

Maka diameter tulangan yang dipakai adalah 8 mm lihat pada tabel 10 ukuran dan berat tulangan polos pada Pd T -14 – 2003

Berdasarkan standar Pd T-14-2003, diameter tulangan yang digunakan adalah 8 mm, dengan jarak pemasangan 200 mm. Pemilihan ini dilakukan untuk memastikan luas penampang tulangan yang digunakan memenuhi persyaratan

desain dan memberikan ketahanan yang cukup terhadap retak akibat beban lalu lintas serta perubahan lingkungan.



Gambar Denah Pembesian



4. KESIMPULAN

Setelah menghitung tebal perkerasan kaku pada Jalan R. Suprpto, Rumah tiga, Kota Ambon, Maluku menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Hasil perhitungan menggunakan metode MDPJ 2024 didapatkan tebal perkerasan kaku yang terdiri dari tebal perkerasan 180 mm. Tebal lapisan pondasi kelas A (Ukuran butir nominal maksimum 30 mm) yaitu 200 mm. Karena nilai CBR tanah dasar sebesar 13,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan pada Pasal 1. 2004. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [2] Fikali Maklas, Erizal. 2019. *Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor-Ciawi-Sukabumi*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Pertanian. Institut Pertanian Bogor
- [3] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. Pemerintah Republik Indonesia. Jakarta. 43 hlm.
- [4] Sukirman. S (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Erlangga, Jakarta
- [5] Sukirman, S., (1992), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung
- [6] Lulie, Y. *Desain Perkerasan Kaku*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, 2004.
- [7] Aly, M. A, 2004. *Teknologi Perkerasan Jalan Beton Semen 2004*. Yayasan Pengembang

- Teknologi dan Manajemen. Jakarta Barat. Jakarta
- [8] Hardiyatmo, H.C. 2015. *Perancangan perkerasan jalan & penyelidikan tanah*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
 - [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2024.
 - [10] Direktorat Jenderal Cipta Karya. 1971. Peraturan Beton Indonesia 1971. Bandung:Departemen Pekerjaan Umum.
 - [11] ASTM C33-03. 2002, Standard Specification for Concrete Aggregates. USA: Annual Books of ASTM Standards.
 - [12] ASTM C39-86. 2002, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. USA: Annual Books of ASTM Standards.
 - [13] Indonesia, Standar Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 Semen Portland. Badan Standar Nasional Indonesia, 1–128.
 - [14] Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Dan Pengembangan Research Dan Development. Bandung : Alfabeta.
 - [15] Pradana Bayu Putra (2021). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Tol Binjai - Langsa (Sta 0+500 – Sta 1+000) (Studi Kasus).
 - [16] Muhammad Agus Mahardika dan Siswoyo (2024). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Jalan Pada Ruas Sukodadi – Sumberwudi Kab. Lamongan Menggunakan Metode Bina Marga.
 - [17] Ros Anita Sidabutar, dkk (2021) Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Sm Raja Medan Dengan Metode Bina Marga.
 - [18] Rika Herliana, dkk (2021). Analisis Perencanaan Perkerasan Kaku Jalan Khatulistiwa Kota Pontianak Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 Dan Metode Aashto 1993.
 - [19] Firdaus Girsang (2022). Analisa Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Studi Kasus : Jalan Kim 4 Medan.
 - [20] Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010, surat edaran pemberlakuan pedoman cara uji california bearing ratio (CBR) dengan Dynamic cone penetrometer (DCP). Nomor 04/SE/M/2010. (Hal 5&9)

PENGENDALIAN PERSEDIAAN BAHAN BAKU SPRING BED MENGGUNAKAN METODE EOQ PADA PT XYZ

N. E. Maitimu¹, M. L. Pattiapon²

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : edwinmaitimu@yahoo.com

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : marcylolita1974@gmail.com

Abstrak. PT. XYZ telah melaksanakan perencanaan persediaan bahan baku melalui bagian *Production Planning Inventory Control* (PPIC). Namun, perusahaan mengalami penumpukan bahan baku dan barang jadi di gudang, yang mengakibatkan penghentian kegiatan produksi. Hal ini disebabkan oleh perencanaan kebutuhan bahan baku yang belum optimal, di mana bahan baku yang diterima tidak sesuai dengan waktu pemesanan dan standar yang diharapkan. Akibatnya, produksi terganggu dan terjadi penumpukan bahan baku. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung total biaya persediaan dengan menggunakan metode *Economic Order Quantity* (EOQ). Hasil analisis menunjukkan bahwa dari delapan jenis bahan baku yang diteliti, terdapat delapan bahan baku yang menunjukkan efisiensi biaya ketika menggunakan metode EOQ, yaitu Per, kawat, busa roll, kain woven, benang *quilting*, cotton cheet 165, pipa foam, dan benang extra jeans.

Kata Kunci : *Economic Order Quantity, Spring Bed, Bahan baku, benang quilting.*

Abstract. PT. XYZ has implemented raw material inventory planning through the *Production Planning Inventory Control* (PPIC) section. However, the company experienced a strengthening of raw materials and finished goods in the warehouse, which resulted in production activities being abandoned. This is due to suboptimal raw material requirements planning, where the raw materials received do not match the expected ordering time and standards. As a result, production is disrupted and there is freezing of raw materials. This study aims to calculate the total inventory cost using the *Economic Order Quantity* (EOQ) method. The results of the analysis show that of the eight types of raw materials studied, there are eight raw materials that show cost efficiency when using the EOQ method, namely Per, wire, foam roll, woven fabric, quilting thread, cotton cheet 165, foam pipe, and extra jeans thread.

Keywords: *Economic Order Quantity, Spring Bed, Raw materials, quilting thread*

1. PENDAHULUAN

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin modern, dunia usaha di Indonesia mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Perkembangan ini mendorong tingkat persaingan antar perusahaan semakin tajam. Untuk menghadapi kondisi tersebut, setiap perusahaan baik skala besar, menengah, maupun kecil dituntut untuk meningkatkan efisiensi di berbagai aspek operasional. Upaya ini menjadi kunci untuk

bertahan dan mempertahankan kelangsungan bisnis di tengah persaingan yang semakin kompetitif.

Terdapat berbagai strategi yang bisa diterapkan untuk memastikan kelangsungan operasional sebuah perusahaan. Salah satu cara yang paling efektif adalah dengan menjaga proses produksi agar tetap stabil dan terus mengalami peningkatan. Dengan langkah ini, keberlangsungan perusahaan dapat lebih terjamin dalam jangka panjang.

Kelangsungan proses produksi dalam sebuah perusahaan dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah

satunya adalah ketersediaan bahan baku yang merupakan elemen kunci dalam menjaga kelancaran produksi. Oleh karena itu, setiap perusahaan perlu Menyusun perencanaan kebutuhan bahan baku secara matang guna memastikan proses produksi dapat berjalan tanpa hambatan.

Bahan baku merupakan sejumlah barang-barang yang dibeli dari pemasok (*supplier*) dan akan dipergunakan atau diolah menjadi produk yang akan dihasilkan oleh perusahaan [1]. Jumlah dan variasi bahan baku yang dimiliki perusahaan dapat berubah seiring dengan pertumbuhan dan outpnya. Bahan baku, bersama dengan modal dan tenaga kerja, sangat penting bagi kemampuan perusahaan untuk berjalan secara efisien selama fase produksi. Sumber daya ini harus ditangani dengan baik dan ekonomis untuk menghasilkan keuntungan bagi perusahaan [2].

PT. XYZ adalah perusahaan furnitur yang memproduksi tiga jenis produk utama, yakni spring bed, kasur busa, dan sofa. Untuk memenuhi kebutuhan produksinya, perusahaan ini mendapatkan pasokan bahan baku dari 20 pemasok yang berbeda.

Perencanaan persediaan bahan baku di perusahaan ditangani oleh bagian *Production Planning Inventory Control* (PPIC). Namun, saat ini perusahaan menghadapi masalah berupa penumpukan bahan baku dan barang jadi di gudang. Kondisi ini berdampak pada terhentinya aktivitas produksi. Salah satu penyebabnya adalah perencanaan kebutuhan bahan baku yang belum berjalan secara optimal. Memprediksikan permintaan secara tepat sangatlah sulit dikarenakan perusahaan tidak dapat memprediksikan keinginan konsumennya, oleh sebab itu perusahaan harus merencanakan dengan matang dalam mengendalikan bahan baku agar tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil [3].

Pasokan bahan baku yang diterima sering kali tidak sesuai dengan jadwal pemesanan maupun standar kualitas yang telah ditetapkan, sehingga proses produksi terganggu dan stok bahan baku menumpuk di gudang.

Salah satu tantangan utama yang sering dihadapi PT. XYZ dalam sistem persediaannya berkaitan dengan penentuan jumlah pesanan, pengelolaan stok, serta perhitungan biaya yang timbul dari aktivitas tersebut.

Kekurangan stok persediaan dapat menimbulkan beberapa kerugian, seperti mesin yang menganggur atau peralatan yang dapat mengakibatkan penghambatan pada proses produksi. Jika

menetapkan stok persediaan secara berlebihan, maka dapat mengakibatkan pemborosan pada biaya pemesanan, pembelian, dan penyimpanan [4].

Melihat permasalahan yang dihadapi oleh PT. XYZ terkait penumpukan bahan baku di gudang, diperlukan analisis mendalam terhadap pengendalian persediaan bahan baku. Tujuannya adalah untuk mengatasi ketidakefisienan tersebut dengan memastikan ketersediaan persediaan dalam jumlah yang optimal. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mencapai efisiensi tersebut adalah dengan menggunakan metode *Economic Order Quantity* (EOQ), yang terbukti efektif dalam menentukan jumlah pesanan yang ideal bagi PT. XYZ.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Pengertian Pengendalian Persediaan

Persediaan atau inventory adalah suatu bagian yang penting dari bisnis perusahaan. Inventory ini tidak hanya penting untuk produksi, tetapi berkontribusi untuk pencapaian kepuasan pelanggan [5].

Pengendalian persediaan adalah serangkaian kebijakan pengendalian untuk menentukan tingkat persediaan yang harus dijaga, kapan pesanan untuk menambah persediaan harus dilakukan dan berapa besar pesanan harus diadakan, jumlah atau tingkat persediaan yang dibutuhkan berbeda-beda untuk setiap perusahaan pabrik, tergantung dari volume produksinya, jenis perusahaan dan prosesnya[6].

2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengendalian Persediaan

Agar dapat mencapai tujuannya, setiap perusahaan perlu memperhatikan sejumlah faktor yang berkaitan dengan persediaan bahan baku. Menurut [7], besar kecilnya persediaan bahan baku dan bahan penolong dipengaruhi oleh faktor:

- a. Volume atau jumlah yang dibutuhkan, yakni persediaan ditaksir berdasarkan ramalan kebutuhan proses produksi per periode (misalnya berdasarkan anggaran penjualan) dengan tujuan menjaga kelangsungan (kontinuitas) proses produksi.
- b. Kontinuitas produksi tidak terhenti, diperlukan tingkat persediaan bahan baku yang tinggi dan sebaliknya.
- c. Sifat bahan baku/penolong, perlu diketahui apakah cepat rusak (*durable good*) atau tahan lama (*undurable good*). Apabila bahan atau persediaan termasuk kedalam kategori barang

cepat rusak maka persediaan yang disimpan tidak perlu terlalu banyak.

Sedangkan untuk bahan baku yang memiliki sifat tahan lama, maka tidak ada salahnya perusahaan menyimpannya dalam jumlah besar.

2.3. Peramalan (*Forecasting*)

Peramalan adalah proses memperkirakan permintaan dimasa depan yang diantaranya kebutuhan (kuantitas), waktu dan tempat yang membutuhkan barang atau jasa [8]. Definisi lain dari peramalan adalah metode pendekatan yang memprediksi kemungkinan pada masa mendatang dengan menguji data historis [9].

1. pembelian, persediaan, personal, keuangan serta penjualan.
2. *Time lines* (ketetapan waktu), hasil pengukuran mengandung nilai informasi yang lebih besar bagi pihak manajemen untuk mengambil tindakan perbaikan.
3. *Cost effectiveness* (keefektifan biaya), pengukuran harus dilakukan dengan memperhatikan biaya-biaya yang berhubungan baik secara langsung maupun tidak langsung dan tidak menggunakan proses produksi.

2.4 Economic Order Quantity (EOQ)

Economic Order Quantity (EOQ) adalah jumlah yang efisien dalam pembelian bahan baku agar dapat menghasilkan biaya persediaan seminimal mungkin [10]. Penggunaan metode *Economic Order Quantity* (EOQ) bertujuan untuk memastikan ketersediaan bahan baku secara optimal dengan menekan biaya seminimal mungkin, tanpa mengorbankan kualitas. Penerapan EOQ dalam perencanaan persediaan perusahaan membantu menekan pengeluaran terkait stok bahan baku dengan mencegah terjadinya kekurangan stok yang bisa menghambat kelancaran produksi. Selain itu, metode ini juga efektif dalam mengurangi biaya penyimpanan, memaksimalkan pemanfaatan ruang gudang, dan mengatasi masalah kelebihan stok agar tidak menimbulkan risiko penumpukan bahan baku yang berlebihan.

Ada beberapa langkah untuk menyelesaikan metode ini yaitu :

1. Langkah pertama adalah mengetahui cara menentukan kuantitas pesanan yang optimal dan waktu pemesanan yang akan dilakukan. Dimana persamaan dalam model EOQ dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

EOQ : Kuantitas Optimal (*Quantity Optimal*) ;

D : Permintaan Per-Tahun (*Demand*) ;

S : Biaya Pemesanan (*Cost Of Ordering*) ;

H : Biaya Penyimpanan (*Cost Of Holding*).

2. Langkah berikutnya adalah menghitung frekuensi pembelian.

Berdasarkan hasil dari metode *Economic Order Quantity* (EOQ), frekuensi pembelian dapat ditentukan dengan membagi total permintaan tahunan dengan jumlah unit yang dibeli setiap kali pemesanan dilakukan. Adapun rumus untuk menghitung frekuensi pembelian adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{D}{EOQ} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

I : frekuensi pembelian

EOQ : Kuantitas Optimal (*Quantity Optimal*) ;

D : Permintaan Per-Tahun (*Demand*)

3. Menghitung Persediaan Pengaman (*Safety Stock*). Langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah *safety stock* atau persediaan pengaman. Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengantisipasi fluktuasi permintaan dan waktu pemesanan agar tidak terjadi kehabisan stok. Perhitungannya dapat dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$SS = Z \times \sqrt{L} \times \sigma \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

SS : Persediaan Pengamanan (*Safety Stock*);

Z : Tingkat Pelayanan (*Service Level*);

L : *Lead Time*;

σ : Standar Deviasi.

4. Menentukan Titik Pemesanan Ulang (*Reorder Point*).

Tahapan berikutnya adalah menghitung *Reorder Point* atau titik pemesanan kembali. Langkah ini penting untuk memastikan pemesanan dilakukan tepat waktu sebelum stok habis. Perhitungan titik pemesanan ulang dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$ROP = SS + d \times L \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

ROP : Titik pemesanan ulang (*reorder point*);

d : Rata-rata pemakaian selama satuan waktu;

SS : Persediaan pengaman (*safety stock*).

5. Langkah selanjutnya adalah menghitung Total Biaya Persediaan Bahan Baku (TIC), yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$TC = TIC + DC \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

TC : Total Biaya Persediaan

TIC : Biaya variabel persediaan

DC : Harga Persediaan yang diperlukan dalam 1 tahun

Sebelum menghitung total biaya persediaan, terlebih dahulu perlu ditentukan Biaya Variabel Persediaan serta Nilai Persediaan yang dibutuhkan selama satu tahun. Perhitungan ini menggunakan rumus berikut:

$$TIC = \sqrt{2 \times D \times S \times H} \dots\dots\dots (6)$$

$$DC = D \times \text{rata-rata harga bahan baku} \dots\dots (7)$$

Keterangan :

TIC : Biaya variabel persediaan;

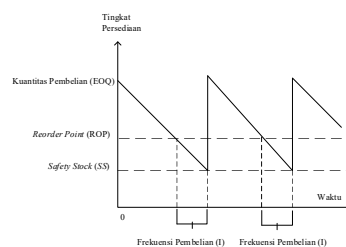
DC : Harga Persediaan yang diperlukan dalam 1 tahun;

D : Permintaan Per-Tahun (*Demand*);

S : Biaya Pemesanan (*Cost Of Ordering*);

H : Biaya Penyimpanan (*Cost Of Holding*).

Setelah menghitung Kuantitas Pembelian, Frekuensi Pembelian, *Safety Stock*, *Reorder Point*, serta Total Biaya Persediaan, tahap berikutnya adalah menyusun grafik EOQ (*Economic Order Quantity*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini :



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *Economic Order Quantity* (EOQ) memanfaatkan data terkait konsumsi bahan baku, riwayat pemesanan, serta informasi biaya penyimpanan. Proses perhitungan EOQ untuk setiap jenis bahan baku disajikan sebagai berikut:

1. Kuantitas Pembelian

Perhitungan metode EOQ untuk setiap jenis bahan baku dilakukan dengan menggunakan rumus 1, yang dijelaskan sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

a. Per

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 225.000 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{502455,41}$$

$$Q^* = 708,84 \text{ Kg}$$

b. Kawat

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 225.000 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{44216,07}$$

$$Q^* = 210,27 \text{ Kg}$$

c. Busa Roll

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 6780 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{14825,22}$$

$$Q^* = 121,75 \text{ Kg}$$

d. Cotton cheet 165

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 1200 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = 51,22 \text{ Kg}$$

$$Q^* = \sqrt{2623,93}$$

e. Kain woven

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 2820 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{466,47}$$

$$Q^* = 21,59 \text{ Kg}$$

f. Pipa *foam*

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 2400 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{5359,52}$$

$$Q^* = 73,20 \text{ Kg}$$

g. Benang *quilting*

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 480 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{1049,57} = 16,19 \text{ Kg}$$

$$Q^* = 32,39 \text{ Kg}$$

h. Benang *extra jeans*

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 120 \times 4.230}{3.869}}$$

$$Q^* = \sqrt{262,39}$$

$$Q^* = 16,19 \text{ Kg}$$

2. Frekuensi Pembelian

Frekuensi pembelian dapat dihitung berdasarkan jumlah pembelian yang dilakukan, dengan menggunakan rumus 2 seperti yang dijelaskan berikut ini:

$$I = \frac{D}{EOQ}$$

a. Per

$$I = \frac{225.000}{708,84}$$

$$I = 317,42 \text{ kali/tahun}$$

$$I = 26,45 \text{ kali/bulan}$$

b. Kain *Woven*

$$I = \frac{2820}{21,59}$$

$$I = 130,61 \text{ kali/tahun}$$

$$I = 10,88 \text{ kali/bulan}$$

c. Kawat

$$I = \frac{19800}{210,27}$$

$$I = 94,16 \text{ kali/bulan}$$

$$I = 7,84 \text{ kali/bulan}$$

d. Benang *quilting*

$$I = \frac{480}{32,39}$$

$$I = 1 \text{ kali/bulan}$$

$$I = 14,81 \text{ kali/bulan}$$

e. Busa *roll*

$$I = \frac{6780}{121,75}$$

$$I = 55,68 \text{ kali/bulan}$$

$$I = 4,64 \text{ kali/bulan}$$

f. Cotton *cheet 165*

$$I = \frac{1200}{51,22}$$

$$I = 23,42 \text{ kali/bulan}$$

$$I = 1 \text{ kali/bulan}$$

g. Pipa *foam*

$$I = \frac{2400}{73,20}$$

$$I = 32,78 \text{ kali/bulan}$$

$$I = 2,73 \text{ kali/bulan}$$

h. Benang *extra jeans*

$$I = \frac{120}{16,19}$$

$$I = 7,08 \text{ kali/tahun}$$

$$I = 1 \text{ kali/bulan}$$

3. Persediaan Pengamanan (*Safety Stock*)

Penghitungan *Safety Stock* untuk bahan baku roti ini menggunakan nilai Z-tabel atau tingkat deviasi sebesar 95%, yang setara dengan nilai Z sebesar 1,65. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan mampu mencukupi kebutuhan bahan bakunya. Karena seluruh bahan baku dipesan dari satu pemasok, maka waktu tunggu (*lead time*) untuk setiap jenis bahan baku dianggap sama. Informasi yang digunakan dalam penghitungan *Safety Stock* disajikan dalam tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. *Data Safety Stock*

Bahan Baku	Lead Time	Lead Time	Z-Tabel	Standar Deviasi
Per	1	1	1.65	324,76
Kawat	1	1	1.65	22,06
Busa Roll	1	1	1.65	10,17
Kain Woven	1	1	1.65	4,23
Benang Quilting	1	1	1.65	0,72
Cotton Cheet 165	1	1	1.65	1,80
Pipa Foam	1	1	1.65	1,80
Benang Extra Jeans	1	1	1.65	26,30

Mengacu pada data yang terdapat dalam tabel *safety stock*, perhitungan cadangan pengaman (*safety stock*) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 3 yang dijelaskan sebagai berikut:

$$SS = Z \times \sqrt{L} \times \sigma$$

a. Per

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 324,76 \\ &= 535,854 \text{ pcs} \end{aligned}$$

b. Benang *quilting*

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 0,72 \\ &= 1,188 \text{ rol} \end{aligned}$$

c. Kawat

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 22,06 \\ &= 36,399 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Busa Roll

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 10,17 \\ &= 16,7805 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Kain Woven

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 4,23 \\ &= 6,9795 \text{ rol} \end{aligned}$$

f. *Cotton Cheet* 165

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 1,80 \\ &= 2,97 \text{ lembar} \end{aligned}$$

g. Pipa Foam

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 1,80 \\ &= 2,97 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

h. Benang *Extra Jeans*

$$\begin{aligned} \text{Safety Stock} &= 1,65 \times 1 \times 26,30 \\ &= 43,395 \text{ rol} \end{aligned}$$

4. Titik Pemesanan Kembali (*Reorder point*)

Berdasarkan informasi dari data persediaan pengaman (*safety stock*), titik pemesanan ulang (*Reorder Point*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus 4 yang ditunjukkan sebagai berikut :

$$ROP = SS + d \times L$$

a. Per

$$\begin{aligned} ROP &= 535,854 + 50 \times 1 \\ &= 585,854 \text{ pcs} \end{aligned}$$

b. Kawat

$$\begin{aligned} ROP &= 36,399 + 50 \times 1 \\ &= 86,399 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Busa roll

$$\begin{aligned} ROP &= 16,7805 + 50 \times 1 \\ &= 66,7805 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Kain *woven*

$$\begin{aligned} ROP &= 6,9795 + 50 \times 1 \\ &= 56,9795 \text{ rol} \end{aligned}$$

e. Benang *quilting*

$$\begin{aligned} ROP &= 1,188 + 50 \times 1 \\ &= 51,188 \text{ rol} \end{aligned}$$

f. *Cotton cheet* 165

$$\begin{aligned} ROP &= 2,97 + 50 \times 1 \\ &= 52,97 \text{ lembar} \end{aligned}$$

g. Pipa Foam

$$\begin{aligned} ROP &= 2,97 + 50 \times 1 \\ &= 52,97 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

h. Benang *Extra Jeans*

$$\begin{aligned} ROP &= 43,395 + 50 \times 1 \\ &= 93,395 \text{ rol} \end{aligned}$$

5. Total Biaya Persediaan (*Total Cost*)

Dalam menghitung total biaya persediaan, data yang diperhitungkan meliputi biaya penyimpanan, biaya pemesanan. Kebutuhan bahan baku dapat dihitung menggunakan rumus yang tercantum pada poin ke-5 berikut ini:

$$TC = TIC + DC$$

Sebelum menghitung total biaya persediaan, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan terlebih dahulu biaya variabel persediaan. Komponen yang digunakan dalam perhitungan ini mencakup biaya penyimpanan serta biaya untuk persediaan bahan baku, sebagaimana dijelaskan berikut:

$$TIC = \sqrt{2 \times D \times S \times H}$$

a. Per

$$\begin{aligned} TIC &= \sqrt{2 \times 225.000 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{7364641500000} \\ &= Rp. 2.713.787,29 \end{aligned}$$

b. Kawat

$$\begin{aligned} TIC &= \sqrt{2 \times 19800 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{648088452000} \\ &= Rp. 805.039,41 \end{aligned}$$

c. Busa *roll*

$$\begin{aligned} TIC &= \sqrt{2 \times 6.780 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{221921197200} \\ &= Rp. 471.085,12 \end{aligned}$$

d. Kain *woven*

$$\begin{aligned} TIC &= \sqrt{2 \times 2.820 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{92303506800} \\ &= Rp. 303.814,92 \end{aligned}$$

e. Benang *quilting*

$$\begin{aligned} \text{TIC} &= \sqrt{2 \times 480 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{15711235200} \\ &= \text{Rp. } 303.814,92 \end{aligned}$$

f. *Cotton cheet* 165

$$\begin{aligned} \text{TIC} &= \sqrt{2 \times 1.200 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{39278088000} \\ &= \text{Rp. } 198.187,002 \end{aligned}$$

g. Pipa *foam*

$$\begin{aligned} \text{TIC} &= \sqrt{2 \times 2.400 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{78556176000} \\ &= \text{Rp. } 280.278,74 \end{aligned}$$

h. Benang *extra jeans*

$$\begin{aligned} \text{TIC} &= \sqrt{2 \times 120 \times 4.230 \times 3.869} \\ &= \sqrt{3927808800} \\ &= \text{Rp. } 62.673,23 \end{aligned}$$

Setelah menghitung biaya variabel persediaan, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai persediaan yang dibutuhkan selama satu tahun

$$\text{DC} = \text{D} \times \text{rata-rata harga bahan baku}$$

a. Per

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 225.000 \times 360 \\ &= \text{Rp. } 81.000.000 \end{aligned}$$

b. Kawat

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 19.800 \times 1.212 \\ &= \text{Rp. } 23.997.600 \end{aligned}$$

c. Busa *roll*

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 6.780 \times 2.380 \\ &= \text{Rp. } 16.136.400 \end{aligned}$$

d. Kain *woven*

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 2.820 \times 15.957 \\ &= \text{Rp. } 44.998.740 \end{aligned}$$

e. Benang *quilting*

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 480 \times 172.500 \\ &= \text{Rp. } 82.800.000 \end{aligned}$$

f. *Cotton cheet* 165

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 1.200 \times 16.000 \\ &= \text{Rp. } 19.200.000 \end{aligned}$$

g. Pipa *foam*

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 2.400 \times 56.600 \\ &= \text{Rp. } 135.840.000 \end{aligned}$$

h. Benang *extra jeans*

$$\begin{aligned} \text{DC} &= 1.220 \times 110.000 \\ &= \text{Rp. } 13.200.000 \end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan biaya variabel persediaan serta harga persediaan itu sendiri, maka perhitungan total biaya persediaan dapat hitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{TC} = \text{TIC} + \text{DC}$$

a. Per

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 2.713.787,29 + 81.000.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 83.713.787,29 \end{aligned}$$

b. Kawat

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 805.039,41 + 23.997.600 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 24802.639,41 \end{aligned}$$

c. Busa *roll*

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 471.085,12 + 44.998.740 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 45.469.825,12 \end{aligned}$$

d. Kain *woven*

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 303.814,92 + 124.200.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 124.503.814,92 \end{aligned}$$

e. Benang *quilting*

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 125.344,46 + 82.800.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 82925344,46 \end{aligned}$$

f. *Cotton cheet* 165

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 198.187,002 + 19.200.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 19.398.187,002 \end{aligned}$$

g. Pipa *foam*

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 280.278,74 + 135.840.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 136.120.278,74 \end{aligned}$$

h. Benang *extra jeans*

$$\begin{aligned} \text{TC} &= 62.672,23 + 13.200.000 \\ \text{TC} &= \text{Rp. } 13.262.672,23 \end{aligned}$$

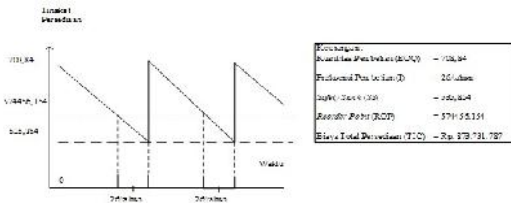
Berdasarkan total persediaan bahan baku yang dimiliki oleh PT. XYZ, berikut ini adalah hasil perhitungan menggunakan metode *Economic Order Quantity* (EOQ):

Tabel 2 Persediaan Bahan Baku Springbed Pada PT. XYZ

Keterangan	Kuantitas Pembelian (Kg)	Frekuensi Pembelian	Safety Stock	Reorder Point	Total Biaya Persediaan (Rp)
Per	708,84	26/bulan	535,854	585,854	83.713.78
Kawat	210,27	8/bulan	36,399	86,399	24.802.63
Busa roll	121,75	5/bulan	16,7805	66,7805	45.469.82
Kain woven	21,59	1/bulan	6,9795	56,9795	124.503.8
Benang quilting	32,39	2/bulan	1,188	51,188	82.925.34
Cotton cheet 165	51,22	1/bulan	2,97	52,97	19.398.187,002
Pipa foam	73,20	3/bulan	2,97	52,97	136.120.2
Benang extra jeans	16,19	7/bulan	43,395	93,395	13.262.67

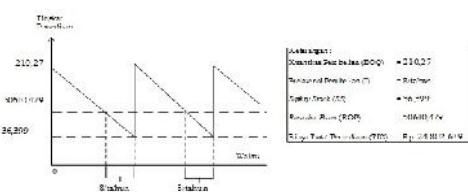
Mengacu pada tabel 2 persediaan bahan baku *springbed* milik PT. XYZ, diperoleh data mengenai pengendalian stok bahan baku menggunakan metode *Economic Order Quantity* (EOQ). Berikut grafik EOQ untuk masing-masing jenis bahan baku dapat disajikan sebagai berikut:

a. Per



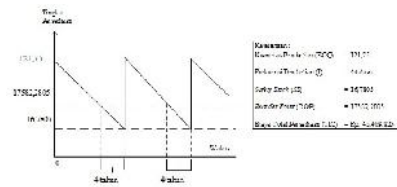
Gambar 2. Grafik EOQ Per

b. Kawat



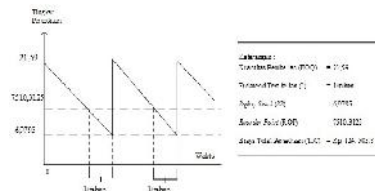
Gambar 3. Grafik EOQ Kawat

c. Busa roll



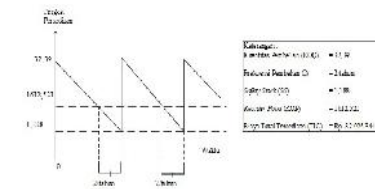
Gambar 4. Grafik EOQ Busa roll

d. Kain woven



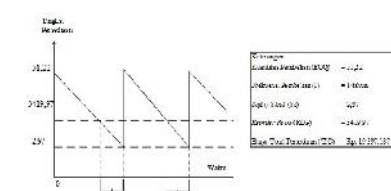
Gambar 5. Grafik EOQ Kain woven

e. Benang quilting



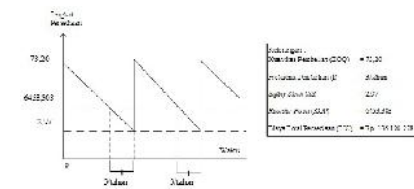
Gambar 6. Grafik EOQ Benang quilting

f. Cotton cheet 165



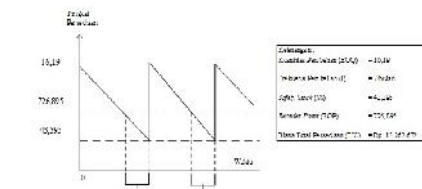
Gambar 7. Grafik EOQ Cotton cheet 165

g. Pipa foam



Gambar 8. Grafik EOQ Pipa foam

h. Benang extra jeans



(Kode Topik) | 95 Gambar 9. Grafik EOQ Benang extra jeans

KESIMPULAN

Hasil analisis data dengan pendekatan metode *Economic Order Quantity* (EOQ) menunjukkan bahwa pengelolaan persediaan terhadap delapan jenis bahan baku menghasilkan efisiensi biaya yang signifikan. Dari perbandingan total biaya persediaan, diperoleh delapan bahan baku yang menunjukkan performa terbaik dalam pengendalian stok menggunakan metode EOQ, yaitu:

- a. Per dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 873.731.787
- b. Kawat dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 24.802.639
- c. Busa *roll* dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 45.469.825
- d. Kain *woven* dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 124.503.814
- e. Benang *quilting* dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 82.925.344
- f. *Cotton cheet* 165 dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 19.397.187
- g. Pipa *foam* dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 136.120.278
- h. Benang *extra jeans* dengan total biaya persediaan sebesar Rp. 13.262.672

Temuan ini menegaskan bahwa penerapan metode EOQ dapat membantu PT. XYZ mengoptimalkan manajemen persediaan sekaligus menekan pengeluaran operasional secara efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, peneliti menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah meluangkan waktu serta memberikan data dan informasi yang diperlukan dalam proses penulisan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. L Pattiapon, N. E Maitimu (2023). Penerapan Economic Order Quantity dalam Pengendalian Persediaan Bahan Baku pada Rumah Produksi XYZ. Jurnal Arika 7 (2), 93-99.
- [2] Ihsanuddin, M. (2015). Simulasi Metode Pengendalian Persediaan Bahan Baku Biji Kopi (Studi Kasus di Restoran "Sweet Corner" Hotel Atlet Century Park Jakarta). Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta, Hal. 1.
- [3] N. E Maitimu, M. L Pattiapon (2019). Penerapan Economic Order Quantity (Eoq) Guna Menganalisa Pengendalian Persediaan Bahan Baku Daging Buah Pala Pada Usaha

Kecil Menengah (Ukm) Hunilai Di Dusun Toisapu Desa Hutumuri. Prosiding Archipelago Engineering (ALE), Ambon 10 Agustus 2019. Hal. 167-171.

- [4] Eunike, Agus Tina, dkk. 2018. Perencanaan Produksi Dan Pengendalian Persediaan. UB Press, Malang.
- [5] Assauri, S. 2016. Manajemen Operasi Produksi. PT. RajaGrafindo Persada : Jakarta.
- [6] Herjanto, Eddy. 2008. Manajemen Operasi. Edisi Sembilan Buku 2. Salemba Empat : Jakarta.
- [7] Agus, Ristonon. 2009. Manajemen Persediaan. Edisi 1 Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [8] A. H. Nasution and Y. Prasetyawan, Perencanaan & pengendalian produksi. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [9] A. Nurlifa and S. Kusumadewi, “Sistem Peramalan Jumlah Penjualan Menggunakan Metode *Moving Average* Pada Rumah Jilbab Zaky,” INOVTEK Polbeng - Seri Inform., vol. 2, no. 1, p. 18, 2017.
- [10] Suryawati, B. N, Permadi, L. A., Wardani, L., Watrianthos, R., & Simarmata, J (2021). Buku Ajar Manajemen Operasional Yayasan Kita Menulis

Superior Performance in Reactive Distillation Method for Industrial Application: A Case Study of Ethyl Lactate Production

Muhammad Ikhsan Taipabu^{1*}, Gerald Rahanra², Alif Nur Laili Rachmah³, Sabrianah Badaruddin⁴, Tamaratritania C. Trisnantaria⁵, Clarissa Tan⁶

¹Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

¹Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: ikhsanchemy@gmail.com

²Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: geraldirahanra@gmail.com

³Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: alifnurlaili11@gmail.com

⁴Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: rhynasb@gmail.com

⁵Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: tamaratritania@mail.ugm.ac.id

⁶Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97134, Indonesia
E-mail: pariurytan@gmail.com

Abstract. Ethyl lactate, a biodegradable and environmentally friendly solvent, offers a sustainable alternative to conventional petroleum-based solvents. This study presents a comprehensive evaluation of ethyl lactate production through both conventional and intensified process designs using rigorous process simulation. The reactive distillation column (RDC) was identified as the most efficient configuration, achieving notable reductions in total capital cost (57.3%) and total operating cost (40.2%) compared to traditional setups. The NRTL thermodynamic model was employed to accurately capture non-ideal behavior among reactive components, and kinetic parameters were validated against experimental data. The results demonstrate that RDC-based process intensification significantly enhances economic performance while promoting sustainable chemical manufacturing, positioning it as a promising approach for future green solvent production.

Keywords: Reactive distillation, Ethyl Lactate, Green Solvent, Process intensification, Aspen Plus.

1. INTRODUCTION

Green solvents are essential for promoting environmentally sustainable and safer chemical processes. Unlike traditional petroleum-based solvents, which are often toxic, volatile, and non-biodegradable, green solvents are typically derived from renewable resources, biodegradable, and exhibit low toxicity [1]. Their use significantly reduces the environmental impact of industrial operations by minimizing air and water pollution, as well as soil contamination. In addition, green solvents enhance workplace safety by lowering exposure to hazardous substances. They also support global efforts toward sustainability by decreasing reliance on finite fossil fuels and aligning with green chemistry principles. As regulatory frameworks become increasingly strict regarding environmental

and occupational safety, the adoption of green solvents like ethyl lactate becomes not only beneficial but necessary for compliance and long-term industrial viability [2].

Ethyl lactate is a biodegradable and environmentally friendly solvent derived from renewable resources, making it an attractive alternative to traditional petroleum-based solvents. It is an ester formed through the reaction of lactic acid and ethanol, typically via esterification in the presence of an acid catalyst [3].

Lactic acid can be obtained from fermentation of carbohydrates such as glucose or starch using *Lactobacillus* species, while ethanol is commonly produced from biomass through fermentation [4]. The production of ethyl lactate is of growing interest due to its low toxicity, high solvency power, and

biodegradability, making it useful in applications ranging from pharmaceuticals and food processing to industrial cleaning and green chemistry.

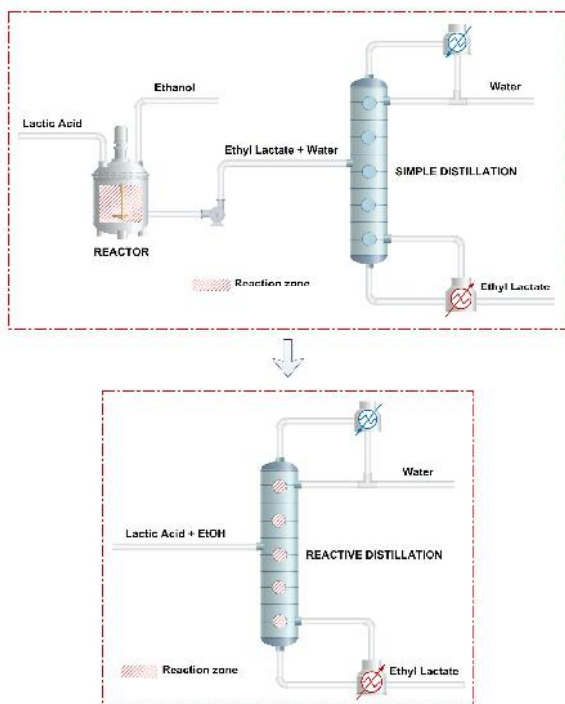


Figure 1. Hierarchy of the process design.

Recent research in this field focuses on optimizing production processes, such as using reactive distillation, enzymatic catalysis, or heterogeneous catalysts, to improve yield, reduce energy consumption, and make the process more sustainable and cost-effective [5], [6].

Several studies have explored ethyl lactate production using various reactor setups. Pereira et al. [7] used a batch reactor focusing on kinetics and adsorption, without detailed process modeling. Delgado et al. [2] combined a batch reactor with a pervaporation unit but only at the experimental scale. Daengpradab and Rattanaphanee [8] investigated small-scale synthesis via esterification of magnesium lactate using one reactive distillation column (RDC) and three separation units, considering only the primary reaction. Adams and Seider [9] proposed semicontinuous, continuous (PFR and CSTR), and batch (RBatch) processes, but ignored oligomeric reactions. Tusson-Pizzon et al. [1] analyzed the process using the LHHW kinetic model, addressing economic, safety, and sustainability aspects but excluding oligomers. Dai et al. [3] evaluated a process using RDC and pervaporation, yet no study has compared conventional and intensified designs in terms of

capital and operating costs. This work addresses that gap by simulating a conventional PFR-based design and comparing it with RDC-based intensified processes using direct and extractive distillation strategies. Fig. 1 shows the conceptual design of conventional design transforms to RDC. Residue curve map analysis is also conducted, followed by a comprehensive economic evaluation of all designs.

2. MODEL VALIDATION

2.1. Thermodynamic Model

In the production of ethyl lactate, accurate thermodynamic modeling is essential for simulating reaction and separation processes, particularly when using reactive distillation or extractive distillation systems. The choice of a thermodynamic model depends on the phase behavior, polarity, and non-ideality of the components involved, namely lactic acid, ethanol, ethyl lactate, and water.

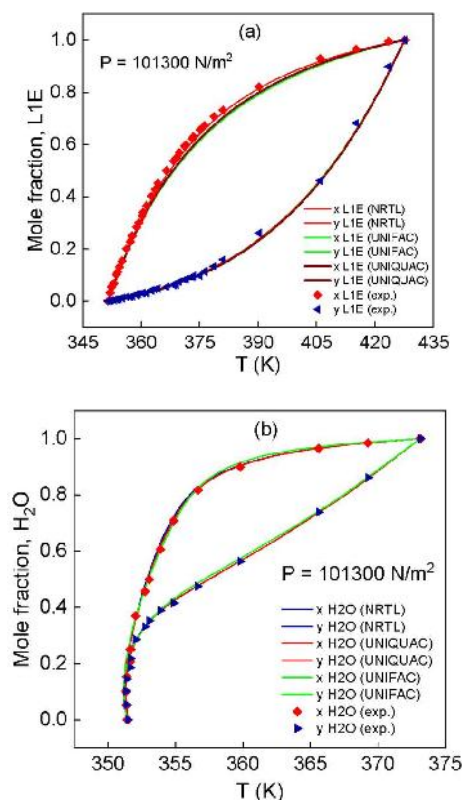


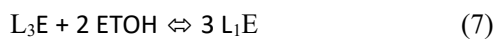
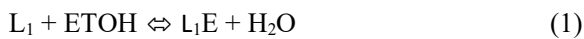
Figure 2. Thermodynamic models validation: (a) L1E-ETOH with the experimental data by Pena-Tejedor et al. [10]; (b) H₂O-ETOH with the experimental data by Lai et al. [11].

For ethyl lactate production involving esterification and separation (e.g., reactive distillation), the NRTL model is most commonly recommended due to its ability to handle non-ideal

interactions, particularly in aqueous-organic polar mixtures like those involving lactic acid, ethanol, ethyl lactate, and water [10], [12]. Fig. 2 shows the accurate prediction of the component interaction by several thermodynamic models. Although all three models are qualified for the model prediction, NRTL is more suitable once the separation process by extractive distillation is considered [6].

2.2. Kinetic Model

The primary reaction involved in ethyl lactate production is the esterification process (Eq. (1)). Nonetheless, several side reactions may also take place, as shown in Eqs. (2) to (8). Among these, oligomerization reactions are represented by Eqs. (2) and (3). Due to the relatively low equilibrium constants for L₂E and L₃E [19] and the limited availability of kinetic data for the esterification reactions in Eqs. (4) to (8), these side reactions are excluded to simplify the model. As a result, only the kinetic parameters for Eqs. (1) through (3) are considered. Amberlyst-15 is used as the catalyst, with kinetic data sourced from existing literature [20]. Although heterogeneous catalysts derived from materials such as empty fruit bunch, montmorillonite, and diatomaceous earth have demonstrated excellent reusability, their kinetic parameters have not yet been reported [21].



The kinetic parameters were validated using experimental data from Asthana et al. [19], under the following reaction conditions: a feed composed of 50 mol% lactic acid solution (0.152 L₁, 0.843 H₂O, 0.005 L₂), an ethanol-to-lactic acid molar ratio (ETOH/L₁) of 3, and a reaction temperature of 80°C. The reaction was simulated in a batch reactor using the RBatch module in Aspen Plus. As shown in Fig. 5, the model results (solid line) closely match the experimental data (dots), confirming that the model accurately represents the experimental behavior.

3. PROCESS DESIGN

3.1. Conventional Process

Before designing RDC for ethyl lactate production, a conventional setup using a Plug Flow Reactor (PFR) in Aspen Plus is first developed for comparison. Operating conditions are listed in Table 1, and the conversion of lactic acid (L₁) and yield of ethyl lactate (L₁E) are calculated using Eqs. (9) and (10).

$$L_1 \text{ conversion} = \frac{F_{L_1, \text{in}} - F_{L_1, \text{out}}}{F_{L_1, \text{in}}} \times 100\% \quad (9)$$

$$L_1E \text{ yield} = \frac{F_{L_1E, \text{out}}}{F_{L_1, \text{in}}} \times 100\% \quad (10)$$

Table 1. Operating conditions and design specifications of conventional design [6].

Parameter	Value	
Operating pressure (atm)	PFR	1
	DC-1	1
	DC-2	1
	DC-3	1
Feed flow rate L ₁ (kg/h)	-	175.79
Feed flow rate ETOH (kg/h)	-	321.882
Feed composition L ₁ 50% (mass fraction)	L ₁	0.461
	L ₂	0.027
	H ₂ O	0.512
	ETOH	0.958
Feed composition ETOH 90 % (mass fraction)	H ₂ O	0.042
	L ₁ E	0.99
Product specification (mole fraction)	L ₁ E	0.99
	DC-1	15
	DC-2	12
	DC-3	26
Number of stages	DC-1	13
	DC-2	25
	DC-3	4
	DC-3	4

In this study, the conventional reactor refers to a plug flow reactor (PFR), with four key design variables analyzed for their impact on ethyl lactate (L₁E) production: ethanol flow rate, reactor temperature, diameter, and length.

The results show that the L₁ conversion and L₁E yield reach 69.37% and 66.1%, respectively, with a final L₁E yield of 60.92% after separation losses. In comparison, a CSTR setup yields around 65%

conversion [13], while Tusson-Pinzón et al. [11] reported a higher conversion of 83%, likely due to their model excluding oligomerization reactions and using pure L1 feed, which simplifies the reaction environment. In contrast, this study uses a 50 wt% L1 feed and includes oligomer formation, making the model more representative but less idealized. Additionally, Amberlyst 15 resin, used as a catalyst, selectively absorbs water and swells, adding unpredictability to the reaction phase [14].

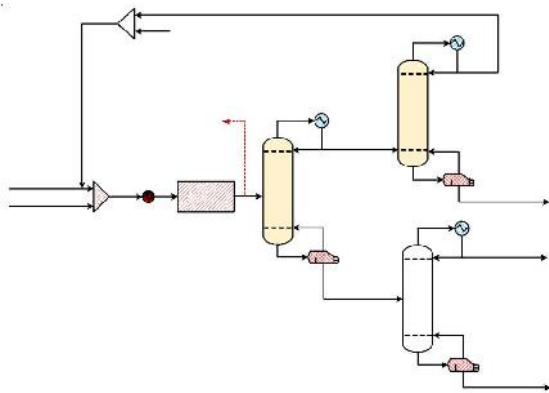


Figure 3. Conventional design of ethyl lactate production combined with direct separation. The make-up streams are required to meet the fresh feed compositions.

Fig. 3 summarizes the conventional design, which includes a PFR and three distillation columns. Operating conditions were selected based on prior sensitivity analysis, though full process optimization was not performed. With a reaction temperature of 80°C, preheating is required with a heating duty of 27.56 kW. Based on boiling points, distillation is suitable for separating products and unreacted components. In contrast to Tusson-Pinzón's design, which used 100 wt% L1 and allowed DC-2 bottoms recycling due to high purity (99.99%), this study's 50 wt% L1 feed leads to more complex behavior. During separation in DC-1, water removal changes the composition significantly (e.g., to XL1 = 0.877), making control difficult. If recycling is intended, extra treatment—such as water addition—would be necessary.

Fig. 5 presents the composition profiles for ethyl lactate production using direct separation in the conventional design. In DC-1, ETOH/H₂O is separated from heavier components (L1/L2/L3/L1E) using 15 stages and 226.7 kW of reboiler duty (Fig. 5a). This is more energy-efficient than DC-3, which separates ETOH and H₂O directly with 26 stages and 283.6 kW due to their small boiling point difference (22°C) (Fig. 5b). DC-2, with only 14.33 kW of

reboiler duty, benefits from a larger boiling point gap (62°C) between L1 and L1E and a lower feed flow (0.56 kmol/h). L1E is obtained at the top of DC-2 with 99% purity (Fig. 5c), while the bottom stream, mainly L1 (0.877 mol fraction), is not recycled.

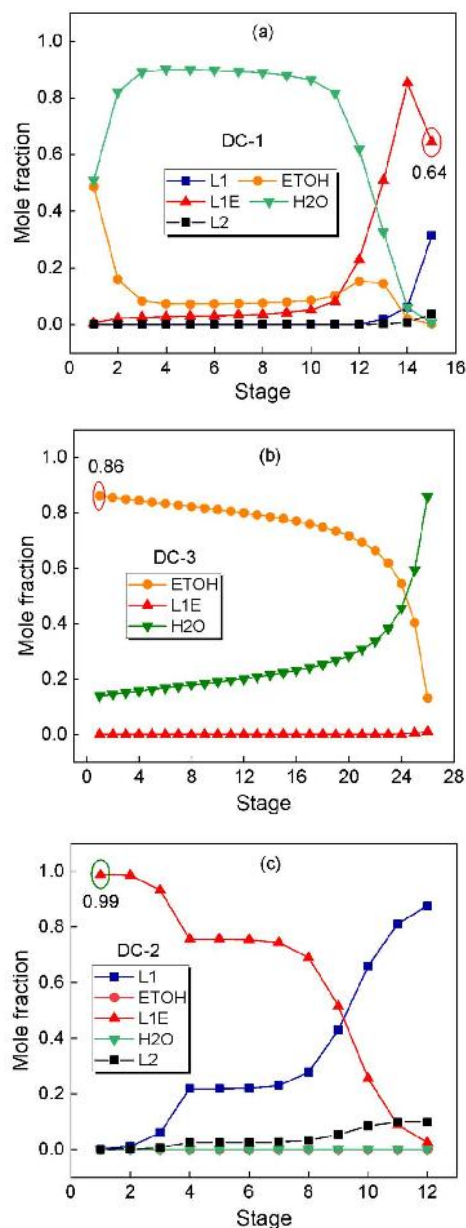


Figure 5. Composition profile of ethyl lactate production: (a) DC-1 separates ETOH/H₂O mixture and L₁E/L₁/L₂ mixture; (b) DC-2 separates L₁E and L₁/L₂ mixture; (c) DC-3 separates ETOH and H₂O.

3.2. Reactive Distillation

The RDC offers a process intensification alternative to conventional designs. This study proposes an RDC-based process for ethyl lactate production, combined with various separation strategies, followed by an economic evaluation. The initial RDC setup is adapted from Miller et al. [15] and Da'an et al. [16], and simulations are performed on a mole basis for easier comparison. As shown in Fig. 6, the top product stream closely matches reference data, while the bottom stream shows minor deviations but maintains a similar trend (Figs. 7). A high mole fraction of ethyl lactate (L1E) is observed at stage 56, suggesting the use of a side stream for improved product withdrawal. This side stream approach enhances separation efficiency, reduces CO₂ emissions, and lowers total annual costs [17].

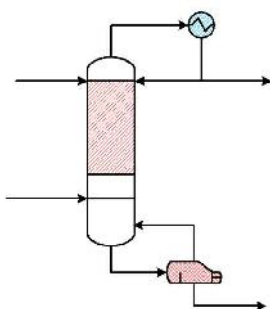


Figure 6. Comparison results of RDC for ethyl lactate production in the present work and the reference [16].

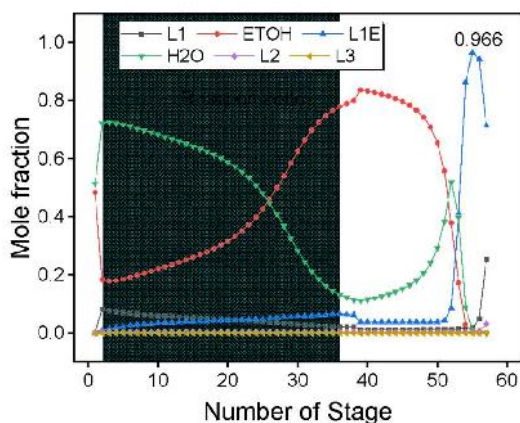


Figure 7. Composition profile of RDC: (a) Present study; (b) Reference by Dai et al. [16].

The RDC design with a side stream is shown in Fig. 8, with product composition closely matching the reference. After optimizing operating conditions, product purity increased to 96.7% at stage 50 (Fig. 9). L1E yields were 88.43% and 91.63% for the current study and reference, respectively—both higher than those from the RDC without a side stream, which gave 72.06% and 93.64%.

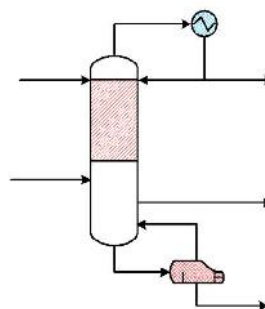


Figure 8. RDC for ethyl lactate production with side stream product. The reference referred to studied by Dai et al. [16].

The top RDC product was an ETOH/H₂O mix (0.47/0.52 mole fraction), while the bottom contained unreacted L1 (0.678) and oligomer L2 (0.321). RDC's key advantage is simultaneous reaction and separation, allowing product separation by boiling points. Fig. 10 shows the RDC with direct separation setup, where ETOH/H₂O is separated in a single column, but unreacted L1 is not recycled due to high L2 content (32.1 mol%). Recycling in the process design helps reduce material costs. With an ETOH-to-feed (L1, 50 mol%) molar ratio of 1.3 and an L1 mole fraction of 0.152 (0.899 kmol/h), only 0.899 kmol/h of ETOH reacts based on stoichiometry. This means about 6 kmol/h of the 7.44 kmol/h ETOH feed must be recycled. However, the recycled ETOH has a lower purity (86.1 mol%) than the fresh feed (90 mol%), so a 1.19 kmol/h make-up stream of high-purity ETOH (95 mol%) is added to restore the desired composition.

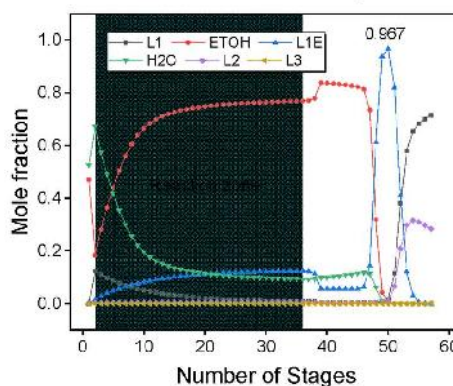


Figure 9. Composition profile of RDC with side stream.

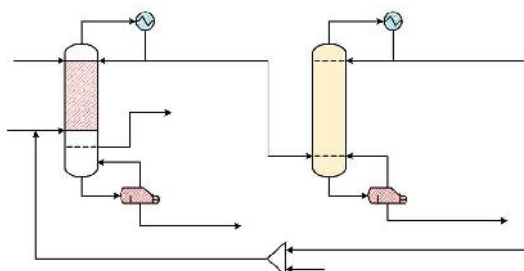


Figure 10. RDC design: using side steam combined with direct separation 1.

4. ECONOMIC ANALYSIS

For a fair comparison of process performance, all designs use the same feed flow rate and composition. The lactic acid (50%) feed is set at 5.921 kmol/hr (175.792 kg/hr), and ethanol (90%) at 7.44 kmol/hr (321.882 kg/hr). Feed material costs are excluded from the cost analysis. Fig. 11 presents the total reboiler duty for each design, with energy consumption in the conventional process covering the heater (HT), DC-1, DC-2, and DC-3.

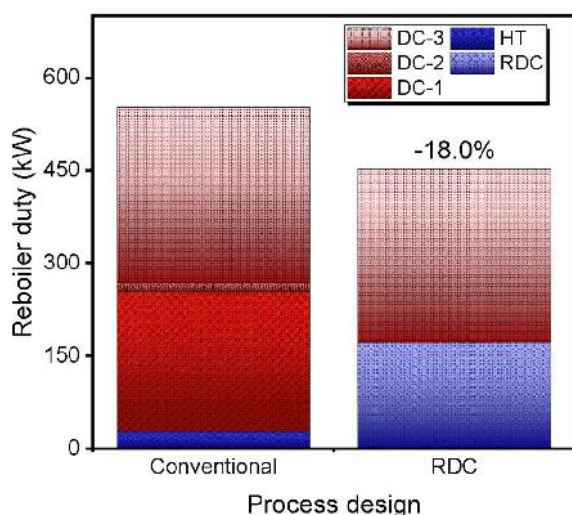


Figure 11. Reboiler duty comparison.

The total annual cost (TAC) in this study is the sum of the total operating cost (TOC) and total capital cost (TCC). TOC covers steam, cooling water, and electricity, while TCC includes equipment, installation, and catalyst costs. TAC is calculated using Eq. (21) [18], [19] with an 8-year payback period [34]. Cost estimation is performed using Aspen Plus Economic Analyzer (APEA), which provides capital and operating cost estimates, investment analysis, and visual process comparisons [60].

$$TAC = TOC + \frac{TCC}{\text{payback period}} \quad (11)$$

Fig. 12 presents a comparative analysis of total costs across two process designs. The conventional design incurs the highest equipment costs, with DC-3 being the most expensive unit at 820.1 kUSD, followed by the PFR (698.1 kUSD), DC-1 (641.5 kUSD), DC-2 (500.4 kUSD), and the heater (60.8 kUSD) (Fig. 12a). These capital costs reflect the larger number of equipment units required. The total capital cost (TCC) for the conventional process is higher than that of the RDC designs, primarily because the reactor is separate from the separation units, necessitating at least one standalone reactor and three distillation columns. In contrast, the RDC design significantly reduces TCC by 57.3%, requiring only two main units: the RDC and DC-3. This reduction is achievable because the product is withdrawn as a side stream, leaving only the ethanol/water mixture to be separated.

Although the RDC offers a substantial reduction in total capital cost (TCC), achieving savings of 57.3%, its impact on the TOC is comparatively modest, with a savings of only 7.27% as illustrated in Fig. 12b. Additionally, the reduction in reboiler duty—a key factor influencing energy consumption—is limited to just 18%. This suggests that while RDC-based designs are highly effective in minimizing capital investment due to process intensification and equipment integration, they do not provide equally significant reductions in ongoing operational expenses or energy usage [20]. Consequently, further optimization or hybrid process strategies may be needed to enhance overall efficiency.

Based on the TCC and TOC analyses, the most significant cost reduction in terms of TAC was observed in the RDC design. Specifically, the RDC configuration achieved the highest savings in TCC, reducing capital investment by 57.3% compared to the conventional design. Furthermore, the RDC also demonstrated superior economic performance in terms of operating cost, with a TOC reduction of up to 40.2%, as illustrated in Fig. 12c. These findings highlight the economic advantages of process intensification using RDC, offering a more cost-effective and efficient alternative for ethyl lactate production by minimizing both equipment investment and long-term operational expenses.

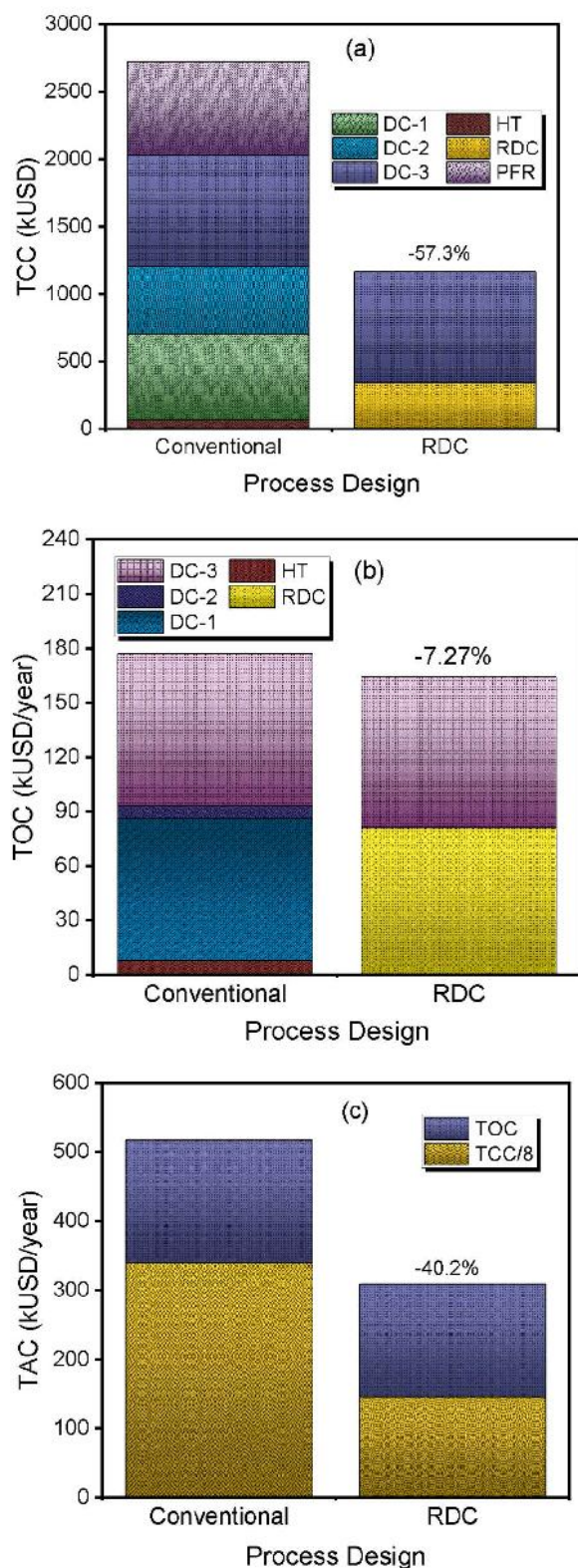


Figure 12. Total comparison cost analysis: (a) Total capital cost, TCC; (b) Total operating cost, TOC; (c) Total annual cost, TAC. Noted: the payback period is set to 8 years.

5. CONCLUSION

The production of ethyl lactate, a green and biodegradable solvent, presents a sustainable alternative to conventional petroleum-based solvents, aligning with global efforts toward environmentally friendly chemical processes. The adoption of green solvents is increasingly important due to their lower toxicity, renewable origins, and reduced environmental impact. In this study, a comprehensive evaluation was conducted, comparing conventional and intensified process designs using rigorous simulation. Among the alternatives, the reactive distillation column (RDC) emerged as the most promising, offering significant reductions in both total capital cost (TCC) and total operating cost (TOC)—by 57.3% and 40.2%, respectively. The use of the NRTL thermodynamic model enabled accurate representation of the non-ideal interactions among components, while kinetic parameters were successfully validated against experimental data from the literature.

Overall, the findings confirm that process intensification through RDC not only improves economic feasibility but also supports the broader goal of sustainable chemical manufacturing. This positions RDC-based ethyl lactate production as a viable and efficient solution for future green solvent applications.

ACKNOWLEDGE

The author gratefully acknowledges that this research was fully supported through self-funding. The dedication and commitment to advancing sustainable chemical processes were made possible by personal resources and independent effort.

REFERENCES

- [1] R. A. Tusso-Pinzón, A. Castillo-Landero, L. G. Matallana-Pérez, and A. Jiménez-Gutiérrez, “Intensified synthesis for ethyl lactate production including economic, sustainability and inherent safety criteria,” *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.*, vol. 154, no. July, p. 108041, 2020, doi: 10.1016/j.cep.2020.108041.
- [2] P. Delgado, M. T. Sanz, S. Beltrán, and L. A. Núñez, “Ethyl lactate production via esterification of lactic acid with ethanol combined with pervaporation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 165, no. 2, pp. 693–700, 2010, doi: 10.1016/j.cej.2010.10.009.
- [3] Industry_ARC, “Ethyl Lactate Market Size And Forecast,” *Analytics Research*

- Consulting*, 2023.
<https://www.verifiedmarketresearch.com/product/ethyl-lactate-market/> (accessed May 06, 2023).
- [4] H. G. Nam, G. W. Lim, and S. Mun, "Separation of acetic acid, formic acid, succinic acid, and lactic acid using adsorbent resin," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 57, no. 8, pp. 2102–2108, 2012, doi: 10.1021/je201065u.
 - [5] A. Komesu, P. F. M. Martinez, B. H. Lunelli, R. M. Filho, and M. R. W. Maciel, "Lactic acid purification by reactive distillation system using design of experiments," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 95, pp. 26–30, 2015, doi: 10.1016/j.cep.2015.05.005.
 - [6] M. I. Taipabu, K. Viswanathan, H. T. Chen, and W. Wu, "Green solvent production of ethyl lactate via process intensification," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 146, no. March, p. 104876, 2023, doi: 10.1016/j.jtice.2023.104876.
 - [7] C. S. M. Pereira, S. P. Pinho, V. M. T. M. Silva, and A. E. Rodrigues, "Thermodynamic equilibrium and reaction kinetics for the esterification of lactic acid with ethanol catalyzed by acid ion-exchange resin," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 47, no. 5, pp. 1453–1463, 2008, doi: 10.1021/ie071220p.
 - [8] B. Daengpradab and P. Rattanaphanee, "Process Intensification for Production of Ethyl Lactate from Fermentation-Derived Magnesium Lactate: A Preliminary Design," *Int. J. Chem. React. Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 407–412, 2015, doi: 10.1515/ijcre-2014-0133.
 - [9] T. A. Adams and W. D. Seider, "Semicontinuous Distillation for Ethyl Lactate Production," *AIChE J.*, vol. 54, no. 10, pp. 2539–2552, 2008, doi: 10.1002/aic.
 - [10] S. Pena-Tejedor, R. Murga, M. T. Sanz, and S. Beltrán, "Vapor–liquid equilibria and excess volumes of the binary systems ethanol + ethyl lactate, isopropanol + isopropyl lactate and n-butanol + n-butyl lactate at 101.325 kPa," *Fluid Phase Equilib.*, vol. 230, pp. 197–203, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2005.02.015>.
 - [11] H. S. Lai, Y. F. Lin, and C. H. Tu, "Isobaric (vapor + liquid) equilibria for the ternary system of (ethanol + water + 1,3-propanediol) and three constituent binary systems at P = 101.3 kPa," *J. Chem. Thermodyn.*, vol. 68, pp. 13–19, 2014, doi: 10.1016/j.jct.2013.08.020.
 - [12] C. Puentes, X. Joulia, P. Paricaud, P. Giampaoli, V. Athès, and M. Esteban-Decloux, "Vapor-Liquid Equilibrium of Ethyl Lactate Highly Diluted in Ethanol-Water Mixtures at 101.3 kPa. Experimental Measurements and Thermodynamic Modeling Using Semiempirical Models," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 63, no. 2, pp. 365–379, 2018, doi: 10.1021/acs.jced.7b00770.
 - [13] Y. Tavan and S. H. Hosseini, "Design and simulation of a reactive distillation process to produce high-purity ethyl acetate," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 44, no. 4, pp. 577–585, 2013, doi: 10.1016/j.jtice.2012.12.023.
 - [14] N. S. Asthana, A. K. Kolah, D. T. Vu, C. T. Lira, and D. J. Miller, "A kinetic model for the esterification of lactic acid and its oligomers," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 45, no. 15, pp. 5251–5257, 2006, doi: 10.1021/ie0513604.
 - [15] Miller et al, "(12) United States Patent Date of Patent :", US 7652167B2, 2010.
 - [16] S. B. Dai, H. Y. Lee, and C. L. Chen, "Design and Economic Evaluation for the Production of Ethyl Lactate via Reactive Distillation Combined with Various Separation Configurations," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 15, pp. 6121–6132, 2019, doi: 10.1021/acs.iecr.8b03343.
 - [17] Y. Ma et al., "Effect of entrainers with different boiling point sequences on the design and performance for side-stream extractive distillation processes," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 143, no. January, p. 104698, 2023, doi: 10.1016/j.jtice.2023.104698.
 - [18] W. Luyben and C. C. Yu, *Reactive distillation design and control*. John Wiley & Sons Inc. : Hoboken, New Jersey, 2008.
 - [19] M. I. Taipabu, F. J. Novita, H. Y. Lee, and R. Handogo, "Improvement of Cyclohexene/Cyclohexane separation process design via chemical looping technology using reactive distillation and thermally coupled configurations," *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.*, vol. 168, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.cep.2021.108587.
 - [20] A. A. Kiss, M. Jobson, and X. Gao, "Reactive Distillation: Stepping Up to the Next Level of Process Intensification," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 15, pp. 5909–5918, 2019, doi: 10.1021/acs.iecr.8b05450.

V's Diamond: An Innovative Framework for Assessing the Competitive Advantages of Fish Processing Industry Clusters in Archipelagic Regions

Ariviana Lientje Kakerissa

Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Pattimura University, Ambon 97234

E-mail: ariviana.kakerissa@lecturer.unpatti.ac.id

Abstract The fish processing sector on Ambon Island faces significant challenges in strengthening its competitiveness in both domestic and international markets. This study introduces the V's Diamond model, an adaptation of Porter's Diamond that integrates social capital as a key element in assessing the competitiveness of fish processing industry clusters in archipelagic regions. The research aims to develop and apply this model to Ambon Island, evaluating its relevance and implications for small island economies. A mixed-methods approach was employed, combining interviews with industry stakeholders, government representatives, and trade associations with an extensive literature review. Findings highlight the critical role of infrastructure, raw material availability, government policies, and social capital in enhancing the competitiveness of the fish processing industry cluster. The incorporation of social capital within the V's Diamond framework emphasizes the importance of collaboration in driving efficiency and innovation. Based on these insights, the study offers strategic recommendations to strengthen the fish processing industry on Ambon Island and explores the model's broader applicability to other archipelagic regions.

Keywords: : *V's Diamond Model, Social Capital, Competitive Advantages, Archipelagic Regions, Industry Clusters.*

1. INTRODUCTION

Archipelagic regions' economies are heavily reliant on the fish processing, including Ambon Island. As a prominent fish processing center in Eastern Indonesia, the sector holds significant potential to enhance the welfare of coastal communities and fortify the national fisheries supply chain. However, the competitiveness of the fish processing industry in Ambon Island continues to face numerous challenges, including infrastructure deficiencies, restricted market access and an absence of effective coordination among industry stakeholders.

A widely utilized framework for analyzing the competitive advantage of industry clusters is Michael Porter's Diamond Model (1990), which identified four critical determinants that influence industry competitiveness: factor conditions, demand conditions, related and supporting industries, and firm strategy, structure, and rivalry [1]. While this model provides a solid analytical framework, it exhibits certain limitations, particularly when applied to resource-based industry clusters in archipelagic regions.

Critics of Porter's Diamond Model highlight several key shortcomings, especially in the context

of resource-dependent and island-based industries. Notably, the model does not account for the significance of social capital—defined as the networks, trust, and collaboration among industry actors, which serves a vital function in strengthening relationships within community-based industry clusters. Previous research has emphasized the critical significance of social capital in fostering collaboration among organizations, particularly within industries that rely on local resources. Moreover, social capital facilitates collective action within communities, a critical factor for sustainable development and social empowerment [2-4].

Furthermore, Porter's Diamond Model is typically more applicable to industries driven by innovation and technology, whereas resource-based industries, such as fish processing, are more reliant on factors such as raw material availability and supply chain efficiency. This discrepancy is underscored by the view that fishing communities are often marginalized in the face of modernization and globalization, despite their essential role in local livelihoods [5]. Additionally, cultural values focused on growth can promote stronger collaboration between stakeholders in the supply chain, thereby improving overall industry

performance [6-8]. Furthermore, [9] notes that the fisheries industry faces unique supply chain challenges, including fluctuations in demand and natural constraints, which cause significant variability in catch volume and timing, particularly during the initial phases of the supply chain.

The specific challenges faced by archipelagic regions—such as limited logistics infrastructure, difficult market access, and heavy reliance on government policies—further exacerbate the competitiveness of the local fish processing sector. These geographical conditions, which are crucial to the industry’s success, are not adequately addressed in Porter model, which is designed for industries with more integrated geographical conditions. According to [10], geographical factors significantly influence transportation development and shape the exploitation of natural resources, as well as the availability of infrastructure and human resources.

To address these limitations, this study introduces the V’s Diamond model, a modified version of Porter’s Diamond, which incorporates social capital as a central element for enhancing the competitiveness of industry clusters. Developed through the author’s dissertation, the V’s Diamond model derives its name from both the author’s personal nickname and the visual shape of the model, which resembles the letter “V.” In this model, social capital encompasses the relationships, trust, and collaborative networks among industry stakeholders, which together strengthen the overall business ecosystem within the cluster. The inclusion of social capital is intended to significantly enhance the competitiveness of resource-dependent industries, particularly those operating in archipelagic regions.

The aim of this study is to apply the V’s Diamond model to assess the competitive advantage of fish processing industry clusters on Ambon Island, with a specific emphasis on the function of social capital in facilitating collaboration among industry stakeholders. Additionally, the study will provide strategic recommendations to enhance the competitiveness of the fish processing industry in both local and global markets.

This research is anticipated to make both academic and practical contributions. Academically, it will enrich the theoretical framework of industrial cluster analysis by incorporating social capital into the evaluation of competitive advantage and offer a new method for comprehending the competitiveness of resource-based industries in archipelagic regions. Practically, it will provide strategic insights for stakeholders in the fish processing industry on

Ambon Island, offering recommendations to improve competitiveness, and inform policymakers in crafting regulations that aid in the growth of industrial clusters in archipelagic areas.

2. METHODOLOGY

This study utilizes a mixed-methods approach, integrating both qualitative and quantitative methodologies to examine the competitive dynamics of the fisheries processing industry cluster on Ambon Island through the V’s Diamond model. The dual approach was chosen to offer a thorough examination of the determinants that influence the competitive advantage of the fisheries sector, drawing from both descriptive and numerical data.

The qualitative component of the study is aimed at exploring the social dynamics and interactions between key stakeholders within the industry, including government representatives and industry associations, that contribute to the sustainability of the cluster. This aspect of the research incorporates comprehensive interviews, focus group discussions (FGDs), and systematic document analysis, including industry reports. The quantitative element is employed to quantify key variables outlined in the V’s Diamond model, such as infrastructure availability, market access, and aspects of social capital. These variables are measured through surveys and statistical data, offering a more empirical understanding of the factors influencing the competitiveness of the fisheries processing industry in Ambon Island. The combination of these methodologies provides a more holistic view of the various determinants affecting the industry’s competitiveness.

Primary data for this research is obtained directly from stakeholders involved in the fisheries processing industry cluster, including industry participants, government officials, and representatives from industry associations. The data collection methods include conducting in-depth interviews with fish processing entrepreneurs, fishers, distributors, as well as government and association representatives to gain insights into the social dynamics and challenges present within the cluster. FGDs are also held to explore the level of collaboration among industry actors and to assess the role of social capital in enhancing industry competitiveness.

Secondary data utilized in this research consists of a comprehensive literature review of existing studies on industrial cluster theory, competitive advantage, and the fisheries sector, particularly focusing on resource-based industries. In addition,

industry reports, including annual reports, market studies, and publications from relevant government agencies and organizations pertaining to the fisheries industry in Ambon and Maluku, are analyzed to provide additional context.

The V's Diamond Model serves as the principal analytical framework for examining the competitive advantage of the fisheries processing industry cluster on Ambon Island. The model's key components are as follows:

1. **Factor Conditions:** This involves an evaluation of the availability and quality of human capital, infrastructure, and technological resources within the fisheries processing industry in Ambon Island.
2. **Demand Conditions:** This section assesses both domestic and international market demand trends for processed fish products originating from Ambon Island.
3. **Related and Supporting Industries:** The focus here is on analyzing the fisheries industry's supply chain, including the role of raw material suppliers and the contribution of related industries such as transportation and logistics.
4. **Firm Strategy, Structure, and Rivalry:** This component explores the business strategies employed by firms within the fisheries industry cluster and examines the nature of competition within the sector.
5. **Government:** This section evaluates the impact of government policies, regulations, and support mechanisms on the development and competitiveness of the fisheries processing industry cluster on Ambon Island.
6. **Opportunities:** This component explores external factors that could potentially enhance the competitiveness of the fisheries processing sector, such as emerging market trends, technological innovations, and opportunities in international trade.
7. **Social Capital:** This key element measures the relationships and levels of trust between industry actors, as well as the degree of collaboration among businesses, government entities, and local communities within the industrial ecosystem.

Each of these components will be analyzed in detail to assess its effect on the competitiveness of the fisheries processing industry cluster in Ambon Island. Additionally, the study will incorporate a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) analysis to further enrich the examination. The SWOT analysis will identify the internal strengths and weaknesses of the fisheries processing industry in Ambon Island, alongside the external

opportunities and threats that may influence its competitive position. This analysis will contribute to a deeper understanding of the industry's strategic positioning and the external factors affecting the long-term sustainability of the cluster.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Evaluation of Competitive Advantage Using the V's Diamond Model

The analysis of the competitive advantage of the fisheries processing industry cluster on Ambon Island is presented through the lens of the V's Diamond model. The key findings are structured according to the model's elements, which are represented in Figure 1.

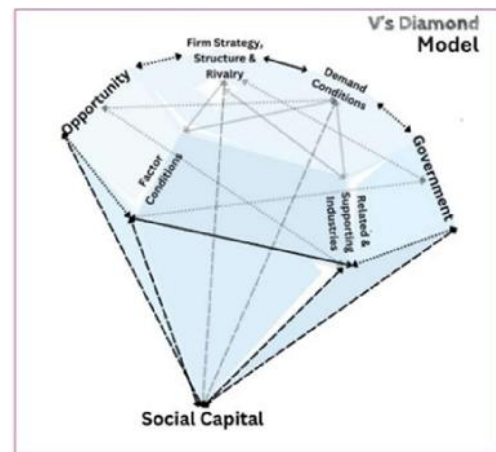


Figure 1. V's Diamond Model

- **Factor Conditions**
The availability of essential infrastructure—such as ports, roadways, and processing facilities—plays an important role in improving the efficiency of the production process. While certain regions of Ambon Island are equipped with adequate infrastructure, significant challenges persist regarding accessibility and infrastructure quality, necessitating improvements to facilitate the smooth distribution of products. Labor quality is another important determinant of product standards in the fisheries sector. There is a pressing need for more targeted training and skills development programs to elevate workforce competencies and thus, the industry's competitiveness. Moreover, the abundance of marine resources represents a distinct advantage for the fisheries industry on Ambon Island. However, challenges such as seasonal fluctuations in supply and deterioration in raw material quality pose risks to production

stability, indicating a need for robust supply chain management strategies [11-13].

- Demand Conditions

Domestic demand for fishery products is relatively stable but constrained by limited purchasing power among the local population. Conversely, international markets present substantial growth potential, particularly for premium processed fish products. Gaining access to these markets, however, requires significant improvements in product quality, packaging, and distribution systems to align with international standards[14].

- Firm Strategy, Structure, and Rivalry

The fisheries processing industry on Ambon Island is largely dominated by the production of smoked and frozen fish, leading to a narrow product range. This market structure fosters intense competition among local producers but also presents opportunities for product innovation and differentiation to add value. Larger firms enjoy economies of scale, which provide them with a competitive advantage, while small- and medium-sized enterprises (SMEs) constitute the majority of industry players. The enduring sustainability and competitive advantage of these SMEs are largely contingent upon maintaining consistent product quality and developing strong relationships with raw material suppliers and consumers [15-18].

- Related and Supporting Industries

The fisheries processing industry on Ambon Island faces multiple challenges related to its supply chain, particularly concerning the stability of raw material supply and logistical infrastructure. Underdeveloped cold storage facilities and inadequate transportation systems exacerbate price volatility and fluctuations in raw material quality. Moreover, marketing and logistics represent major bottlenecks; the distribution of processed fishery products to both domestic and international markets is hindered by inefficiencies in the logistics system. Additionally, marketing efforts remain limited to existing networks, highlighting the need for more structured, digital marketing strategies to expand market reach and improve the industry's competitiveness [19-22].

- Government

The Indonesian government has implemented policies aimed at supporting the development of the fisheries industry, such as port revitalization initiatives and the provision of incentives for industry stakeholders. However, the regulatory

framework for the fisheries sector on Ambon Island still requires further alignment with industry practices to enhance efficiency and foster greater competitiveness. Inconsistent policy implementation and overlapping regulations have created administrative bottlenecks, slowing down industry growth. Moreover, limited access to financial resources and technical support hampers the ability of small and medium-sized enterprises (SMEs) to scale up their operations. Addressing these regulatory and structural challenges through policy harmonization and targeted capacity-building programs is essential for ensuring long-term sustainability and competitiveness in the fisheries sector [23-24].

- Opportunities

The fisheries processing industry cluster on Ambon Island possesses considerable opportunities to strengthen its competitive position. The global market is becoming increasingly accessible due to rising demand for sustainable fishery products, coupled with free trade agreements that facilitate export opportunities. Government policies continue to play a crucial role, with initiatives that support the fisheries industry and improve logistical infrastructure—particularly in transportation and port access—thereby enhancing distribution efficiency. Technological innovations, such as advanced processing systems, the digitalization of supply chains, and technology-driven marketing strategies, offer potential for improving product quality. The island's abundant natural resources, including fish, shrimp, and seaweed, present opportunities for value-added product diversification. Furthermore, Ambon's natural beauty provides a foundation for eco-tourism initiatives and sustainable product marketing. Changing consumer preferences, particularly a growing demand for sustainable fishery products, create an opportunity for local industries to adopt environmentally responsible production methods. Additionally, the strengthening of social capital through increased collaboration with industry associations and social organizations can improve industrial networks, enhance production efficiency, and broaden market access [25-25].

- Social Capital

Social capital is a critical factor in the success of the fish processing industry cluster on Ambon Island. The mutually supportive relationships among entrepreneurs, fishermen, the

government, and local communities provide a solid basis for sustainable collaboration. However, there is a need to further develop trust and transparency among industry participants to fully harness the potential of social capital in improving the competitiveness of the cluster. Additionally, fostering capacity-building through knowledge exchange and joint innovation could enhance the cooperation among stakeholders. Findings from the field suggest that the level of trust between fishermen and fish processing entrepreneurs, particularly in the smoked fish small and medium-sized industry (SMI), is exceptionally strong. A clear example of this is seen when entrepreneurs face capital shortages and cannot afford to purchase fresh fish; fishermen are willing to provide fish on credit, trusting that they will be paid once the smoked fish products are sold or once profits are made. This high level of trust not only ensures the continuity of operations in the fish processing industry but also cultivates a collaborative environment that strengthens the cluster's resilience and adaptability. With the appropriate policy support and active participation from all stakeholders, this industry cluster has the potential to become even more adaptive and sustainable in response to global market shifts [29-30].

3.2 Comparison between V's Diamond and Porter's Diamond

Porter's Diamond model has both strengths and limitations when applied to the analysis of the fisheries processing industry on Ambon Island. While it emphasizes macroeconomic factors such as production conditions and market demand, it fails to adequately account for the role of social capital, which is particularly significant in island-based industrial clusters. Within the context of Ambon's fisheries processing sector, the social interactions and collaborative efforts among industry stakeholders play a decisive role in enhancing competitiveness, a factor that is not fully addressed in Porter traditional framework.

In response to this gap, the V's Diamond model introduces social capital as an additional element, providing a more comprehensive and contextually relevant perspective for industries situated in archipelagic regions. The model emphasizes how relationships among industry participants, whether between producers, suppliers, or government agencies, are critical for fostering a more sustainable and competitive cluster system. The inclusion of

social capital in the V's Diamond model has proven beneficial in enhancing the competitiveness of the fisheries processing industry on Ambon Island. Strong partnerships between fishers and processors, along with collaborative efforts between the private sector and government, have led to a more resilient business ecosystem. Social capital fosters knowledge exchange, enhances market access, and strengthens distribution networks, collectively boosting the sector's competitiveness.

3.3 Social Capital Influences in Enhancing the Competitiveness of the Fisheries Industry on Ambon Island

Social capital is crucial for increasing competitiveness of the fisheries industry on Ambon Island. Trust, social networks, and collaboration among industry participants contribute to production efficiency, supply chain stability, and broader market access. In a SWOT analysis, social capital can be categorized as both a Strength and an Opportunity for industry development, although it also presents certain Weaknesses and Threats that require careful management.

1. Strengths: Advances of Social Capital in the Fisheries Industry Cluster

The fisheries industry cluster benefits significantly from social capital, which is evident through the following key strengths:

- **Strong Networks and Partnerships:** Effective collaboration among fishers, processors, and distributors facilitates efficient communication and coordination throughout the production and distribution process.
- **Community Trust and Solidarity:** The prevailing culture of mutual cooperation and collaboration among industry participants helps to streamline supply chain operations and promote product innovation.
- **Government and Institutional Support:** Empowerment initiatives, such as cooperatives and joint business groups (KUB), further strengthen the role of social capital in sustaining industry development.

2. Weaknesses: Challenges in Leveraging Social Capital

Despite the strong foundation of social capital, several weaknesses hinder its full potential in the fisheries industry cluster:

- **Lack of Effective Formal Organizations:** Although strong social relationships exist, cooperatives and associations have yet to fully

optimize their potential in enhancing industry competitiveness.

- **Limited Knowledge Transfer and Innovation:** Insufficient structured educational and training opportunities constrain the adoption of new technologies and innovative practices within the sector.

3. Opportunities: Enhancing Social Capital to Improve Competitiveness

Several opportunities exist for strengthening social capital to boost the competitiveness of the fisheries industry:

- **Digital Technology Utilization:** The integration of digital platforms can enhance marketing networks, streamline supply chain operations, and expand market access, both domestically and internationally.
- **Regulatory Support:** Government programs that promote the fisheries industry and encourage community-based empowerment initiatives provide significant opportunities to strengthen social capital.

4. Threats: External Factors Impeding Social Capital Enhancement

Several external factors present threats to the strengthening of social capital within the fisheries industry cluster:

- **Lack of Innovation and Modernization:** Business management practices that fail to innovate risk falling behind competitors in more advanced regions.
- **Competition from More Advanced Producers:** Larger, better-capitalized competitors from other regions provide substantial issues for small and medium-sized organizations (SMEs) in Ambon Island.

A weighted analysis of the impact of social capital on the SWOT factors (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) provides further insights into its influence on the competitiveness of the fisheries processing industry. Findings from this study are shown in Table 1.

Table 1. Weighted Analysis of SWOT Factors

SWOT Factor	Weight	Rating	Score Weight x Rating
Strengths (S)			
Strong Partnership Network	0.30	4	1.20
Community Trust and Solidarity	0.25	3	0.75

SWOT Factor	Weight	Rating	Score Weight x Rating
Government and Institutional Support	0.20	4	0.80
Weaknesses (W)			
Lack of Effective Formal Organizations	0.35	2	0.70
Limited Knowledge Transfer and Innovation	0.30	2	0.60
Opportunities (O)			
Digital Technology Utilization	0.40	4	1.60
Regulatory Support	0.35	3	1.05
Threats (T)			
Lack of Innovation and Modernization	0.30	2	0.60
Competition from More Advanced Producers	0.40	2	0.80

The score calculation results show the following:

- Total score of internal factors (S - W):
 - (S) = 1.20 + 0.75 + 0.80 = 2.75
 - (W) = 0.70 + 0.60 = 1.30
 - Total IFE (S - W) = 2.75 - 1.30 = +1.45
- Total score of external factors (O - T):
 - (O) = 1.60 + 1.05 = 2.65
 - (T) = 0.60 + 0.80 = 1.40
 - Total EFE (O - T) = 2.65 - 1.40 = +1.25

These results indicate that the cluster has a strong foundation and many opportunities for growth.

3.4 Strategies for Enhancing Social Capital in the Fisheries Industry Cluster

Building upon the SWOT analysis, a variety of strategies can be employed to fortify social capital within the fisheries processing industry on Ambon Island:

1. SO Strategy (Strength-Opportunity)

The SO (Aggressive) strategy aims to capitalize on the internal strengths of the industry while seizing external opportunities. A fundamental component of this strategy involves the digitization of marketing networks to extend market reach, leveraging the existing trust embedded in social capital. Implementing this strategy entails utilizing digital platforms, such as social media and e-commerce sites, to promote

local products with the support of fishing communities and entrepreneurs. A community-based approach will ensure the development of a more inclusive and sustainable business model. Additionally, it is crucial to optimize government policies to enhance the role of cooperatives, thereby improving industry competitiveness. This strategy is expected to broaden the market reach of fisheries products, both domestically and internationally, thereby boosting the welfare of industry stakeholders and strengthening the cluster's position in the global value chain.

2. **WO Strategy (Weakness-Opportunity)**

The WO (Turnaround) strategy addresses internal weaknesses while leveraging external opportunities through the promotion of collaboration and capacity-building within the fisheries processing industry cluster. A key initiative is formalizing cooperation among industry participants by establishing well-structured associations. With the backing of government-supported training and mentorship, these collaborations can enhance operational efficiency and expedite the adoption of new technologies. Furthermore, expanding training and educational programs for industry stakeholders is essential to overcoming knowledge transfer limitations. Continuous professional development will ensure the enhancement of workforce skills and overall sector competitiveness. Additionally, the establishment of robust institutions is important to ensure the long-term sustainability of social capital within the cluster. A solid institutional foundation will provide better access to resources and supportive policies, facilitating the sustainable development of the fisheries processing industry. This strategy is expected to enhance industrial efficiency, accelerate the integration of new technologies, and strengthen human resource capacity and resource accessibility.

3. **ST Strategy (Strength-Threat)**

In response to increasing competition, the fisheries processing industry cluster must reduce its reliance on traditional business models by implementing the ST (Diversification) strategy, which focuses on fostering stronger partnerships. A key initiative in this strategy is promoting innovation in processed fishery products through the active involvement of various stakeholders in production and distribution processes. This approach will lead to product differentiation, thereby improving the competitiveness of local

industries. Additionally, leveraging strong social networks can improve the bargaining power of local industries in the face of market pressures. By cultivating a community-based business ecosystem, the fisheries industry can enhance collaboration and expand its market reach. Furthermore, fostering community-driven innovation is crucial for developing value-added products that can compete effectively in both domestic and international markets. The expected outcome of this strategy is that the fisheries processing industry will become more adaptable to market changes, thereby reinforcing its competitive edge and driving sustainable economic growth.

4. **WT Strategy (Weakness-Threat)**

To mitigate internal weaknesses and external threats, the fisheries processing industry cluster must reduce its dependence on traditional markets and business practices by enhancing capacity and quality through increased collaboration, as outlined in the WT (Defensive) strategy. A crucial initiative involves enhancing the efficiency of the distribution system, both locally and internationally, to expand market access and ensure the stability of production processes. Additionally, adopting advanced technology in production and distribution is a strategic solution for improving operational efficiency and competitiveness. By incorporating modern technologies, businesses can optimize production workflows, reduce waste, and enhance product quality. Establishing trust and communication mechanisms among industry participants is also crucial to maintaining the stability of social capital over the long term. Through improved coordination, the industry can create a stronger and more resilient business ecosystem capable of withstanding market fluctuations. The anticipated outcome of this strategy is that the fisheries processing industry will become more adaptive, competitive, and better positioned to sustain itself in an ever-changing market environment.

3.5 Strategic Implications for the Competitiveness of Fisheries Processing Industry Clusters in Archipelagic Regions

Based on the comparative evaluation of various models, several strategic recommendations can be put forward to improve the competitiveness of the fisheries processing industry cluster on Ambon Island:

1. Infrastructure Development

The improvement of infrastructure is of paramount importance, particularly the enhancement of storage and transportation facilities, which are essential for ensuring a stable supply of raw materials and facilitating efficient product distribution. Additionally, the development of digital infrastructure, such as real-time supply chain monitoring systems, can enhance logistics efficiency and mitigate the risk of distribution delays. The establishment of modern storage facilities, such as cold storage units with advanced temperature control technology, will help preserve the quality of both raw materials and final products. In terms of transportation, strengthening connectivity between production hubs and markets through integrated sea, land, and air routes will accelerate deliveries and reduce logistics costs. Collaborative efforts among governmental entities and the private sector are crucial for investing in this infrastructure to create a sustainable, competitive system. This will enable the industry to operate more efficiently and meet market demands [31-32].

2. **Workforce Quality Enhancement**

Improving workforce quality is vital through the provision of continuous training and education to equip workers with the necessary skills to support efficient and innovative production processes. In addition to technical training, strengthening soft skills such as time management, teamwork, and problem-solving is equally important to ensure adaptability in the face of industry dynamics. The implementation of certification programs and the standardization of competencies will help ensure that workers meet industry standards. Furthermore, collaborations between universities, training institutions, and businesses can assist in developing curricula that are both relevant and practical. Integrating of technology into training, such as e-learning platforms and digital simulations, can further accelerate the development of workforce skills. A highly skilled and innovative workforce will enhance industry competitiveness, leading to greater productivity and efficiency [33-34].

3. **Enhancing Collaboration Among Industry Stakeholders**

Strengthening collaboration among industry participants, including fishers, entrepreneurs, and government officials—is essential to foster more productive partnerships. Through closer cooperation, the exchange of information and technology will occur more effectively, enabling

fishers and entrepreneurs to adopt the best practices in production and distribution. The role of the Government is pivotal in providing favorable regulations and incentives to encourage collaboration. Furthermore, establishing communication forums and networking platforms will facilitate regular dialogue on industry challenges and opportunities. The utilization of social capital, such as trust and established community norms, will bolster coordination within the supply chain and enhance operational efficiency. With strong partnerships, the industry will be able to grow sustainably and generate broader economic benefits for all stakeholders involved [35-38].

4. **Product Diversification**

Product Diversification is essential for developing a broader range of processed fish products, which will expand market share both domestically and internationally, thereby improving overall industry competitiveness. Innovations in processing techniques can result in higher-value products, such as ready-to-eat seafood meals, functional fish-based products, or long-lasting seafood snacks. Diversification could also include the development of eco-friendly products, such as biodegradable packaging or the utilization of fish by-products for value-added products like animal feed or collagen. By aligning products with consumer preferences across various market segments, the fisheries processing industry will become more adaptable to market demand fluctuations. The adoption of modern processing technologies, coupled with comprehensive market research, will also help produce competitive products that meet international standards. A successful product diversification strategy will allow the fish processing industry to expand export opportunities and enhance the welfare of industry stakeholders across the value chain [39-43].

4. **CONCLUSION**

Several key conclusions can be drawn from this study. First, the V's Diamond Model, which incorporates social capital as a central element, is more appropriate for analyzing resource-based and archipelagic industrial clusters than the traditional Porter's Diamond Model. By integrating social capital as a core driver of competitiveness, this model provides a more holistic understanding of the dynamics within industrial clusters in archipelagic regions. Second, the competitiveness of the fisheries processing industry on Ambon Island is influenced

by several critical factors: adequate infrastructure to support production processes and distribution, abundant raw materials and product diversity, social capital that facilitates collaboration among industry stakeholders, and the government's role in formulating policies and regulations that promote sustainable industry development.

To enhance competitiveness, it is crucial for the fisheries processing industry cluster on Ambon Island to focus on strengthening relationships among industry participants, improving workforce quality, and developing infrastructure that supports sustainable production and distribution. The government has a critical role in developing policies that foster the growth of marine and archipelagic industrial clusters. Policies that encourage public-private partnerships and provide sufficient infrastructure will significantly enhance the cluster's competitiveness in both domestic and global markets.

Several strategic recommendations can be made to bolster the competitiveness of the fish processing industry cluster on Ambon Island, which could also serve as a model for similar industries in other archipelagic regions. First, partnership between governmental institutions and industry stakeholders is essential to enhance supporting infrastructure, such as cold storage facilities, ports, and transportation networks, to facilitate efficient product distribution and maintain raw material quality. Second, social capital should be prioritized in efforts to improve industry competitiveness. Strengthening collaboration among stakeholders, including fishers, entrepreneurs, and the government—through discussion forums and strategic partnerships will expedite decision-making and drive innovation. Third, the fisheries processing industry on Ambon Island should focus on the development of new processed products to expand the market reach both domestically and internationally. Innovations in high-end processed fish products and improved packaging techniques will enhance industry competitiveness. Fourth, the implementation of continuous training programs and vocational education initiatives related to fisheries and seafood processing should be promoted to support efficient, high-quality production processes. Finally, academic researchers and institutions can play a vital role in offering research-driven solutions to the challenges faced by industry. Collaboration between industry and academia will accelerate innovation and lead to improvements in production techniques and industrial management.

Future research could further test the V's Diamond Model on fish processing industry clusters in other archipelagic regions to validate the model's applicability in different local and regional contexts. Additionally, employing quantitative methods, such as regression analysis or structural modeling, could offer a more profound understanding into the impact of social capital on industrial cluster competitiveness, thereby offering a more deeper and more sophisticated comprehension of the dynamic interplay between social capital and other factors influencing competitiveness.

REFERENCES

- [1] Porter, M.E. (1990). *The Competitive Advantage Of Nations*, New York. The Free Press.
- [2] Laksmi, Elnumeri Farli. (2020). Issues Of Social Capital In Developing Collaboration Of Information Professional Organizations In Indonesia, *Libraria*, Vol. 8, No. 2, Desember 2020, <http://Dx.Doi.Org/10.21043/Libraria.V8i2.7379>
- [3] Hidalgo, G., Monticelli, J., Bortolaso, I. (2021). Social Capital As A Driver Of Social Entrepreneurship. *Journal Of Social Entrepreneurship*. 15. <https://doi.org/10.1080/19420676.2021.1951819>.
- [4] Odesanmi, A. F., Olusegun, D. I., Babatunde, O. S., Asamu, F. F., Kayode, O. E., Arowolo, O. T. (2025). Community Service Entrepreneurship, Social Capability, And Sustainable Development: A Social Capital Perspective. *Ilorin Journal Of Education*, 45(1), 248–265. <https://ije.unilorinedu.sch.ng/index.php/ije/article/view/218>.
- [5] Irsan (2022). Relations Between Social Capital And Human Capital Of The Fishermen Community, *Hasanuddin Journal Of Sociology*, Volume 4, Issue 1. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/hjs/issue/view/1131>.
- [6] Braunscheidel, M.J., Suresh, N.C., Boisnier A.D. (2010). Investigating The Impact Of Organizational Culture On Supply Chain Integration, *Hum. Resour. Manag.*, 49 (5), Pp. 883-911. <https://doi.org/10.1002/Hrm.20381>.
- [7] Cao, Z., Huo, B., Li, Y., Zhao, X. (2015). The Impact Of Organizational Culture On Supply Chain Integration: A Contingency And Configuration Approach, *Supply Chain*

- Manag.: Int. J.*, 20 (1), Pp. 24-41. <https://doi.org/10.1108/Scm-11-2013-0426>.
- [8] Porter, M.G. (2019). Supply Chain Integration: Does Organizational Culture Matter?, *Operations And Supply Chain Management-An International Journal*, 12(1), 49–59. <https://doi.org/10.1108/Scm-11-2013-0426>
- [9] Hameri, Ari-P., Pålsson, J. (2003). Supply Chain Management In The Fishing Industry: The Case Of Iceland, *International Journal Of Logistics Research And Applications*, 6(3):137-149, September 2003, <https://doi.org/10.1080/1367556031000123098>.
- [10] Tukan, M., Esmail, H.A.H., Hozairi, Camerling, B., Alim, S., Manapa, E.S., Berhutu, P. (2024). Modeling Of Ship Sailing Patterns In Maluku To Support The Sea Highway, *International Journal Of Technology (Ijtech)*, Vol 15, No 1. <https://doi.org/10.14716/Ijtech.V15i1.6231>.
- [11] Tukan, M. (2021). *Optimalisasi Dimensi Transportasi Laut Berbasis Potensi Ekonomi Wilayah Pulau (Optimizing Sea Transportation Dimensions Based On The Economic Potential Of Island Regions)* Archipelago Engineering Proceeding, 4, August 17th 2021, Pattimura University Ambon, 1-8. <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/Ale/Article/View/4343>. (Original In Indonesian)
- [12] Matena, M., Raffel, C. (2021). Merging Models With Fisher-Weighted Averaging, *Advances In Neural Information Processing Systems*, Vol. 35, Pp. 17703-17716. <http://dx.doi.org/10.48550/Arxiv.2111.09832>.
- [13] Cooke, S.J., Nguyen, V.M., Chapman, J.M., Andrea, J.R., Landsman, S.J., Young, N., Hinch, H.G., Schott, S., Mandrak, N.E., Semeniuk, C.A.D. (2021). Knowledge Co-Production: A Pathway To Effective Fisheries Management, Conservation, And Governance, *Fisheries*, Vol. 46, No. 2, Pp. 89-97. <https://doi.org/10.1002/Fsh.10512>.
- [14] Luhur, E. S., Mulatsih, S., Puspitawati, E. (2019). Competitiveness Analysis Of Indonesian Fishery Products In The Asean And Canada Market. *Signifikan: Jurnal Ilmu Ekonomi*. Vol. 8 (1): 105 – 120. <http://dx.doi.org/10.15408/Sjie.V8i1.7301>.
- [15] Kakerissa, A. L., Hiariey, J., Abrahamsz, J., Lopulalan, Y. (2024). Value Chain Model Of The Smoked Fish Industry In Small Island, *Acta Logistica*, Volume: 11, Issue: 2 Pages: 211-220. <https://doi.org/10.22306/Al.V11i2.498>.
- [16] Hermundsdottir, F., Aspelund, A. (2021). Sustainability Innovations And Firm Competitiveness: A Review, *Journal Of Cleaner Production*, Volume 280, Part 1. <https://doi.org/10.1016/J.jclepro.2020.124715>.
- [17] Osei, M. B., Papadopoulos, T., Acquaye, A., Stamati, T. (2023). Improving Sustainable Supply Chain Performance Through Organisational Culture: A Competing Values Framework Approach, *Journal Of Purchasing And Supply Management*, Volume 29, Issue 2. <https://doi.org/10.1016/J.pursup.2023.100821>.
- [18] Chauhan, C., Kaur, P., Arrawatia, R., Ractham, P., Dhir, A. (2022). Supply Chain Collaboration And Sustainable Development Goals (Sdgs). Teamwork Makes Achieving Sdgs Dream Work, *Journal Of Business Research*, Volume 147, Pages 290-307. <https://doi.org/10.1016/J.jbusres.2022.03.044>.
- [19] Shaadikin, R., Mastu, L.O.K., Zunardin, Fitria, A., Yadir. (2022). Peran Pelabuhan Perikanan Terhadap Kemajuan Sosial Ekonomi Masyarakat Nelayan Di Wangi-Wangi Selatan Kabupaten Wakatobi, *Jurnal Kapalamada*, Vol. 1, No. 1, Pp. 116-126. (Original In Indonesian).
- [20] Kusdiantoro, Fahrudin, A., Wisudo, S.H., Juanda, B. (2019). The Economic Impact Of Capture Fisheries Development In Indonesia, *Aacl Bioflux*, Vol. 12, No. 5, Pp. 1698-1709. <https://www.bioflux.com.ro/Aacl>.
- [21] Sirajuddin, R.F., Salim, A., Saleh, H. (2022). Pengaruh Industri Perikanan Terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat Di Kawasan Pesisir Kota Kendari, *Journal Of Aquaculture And Environment*, Vol. 5, No. 1, Pp. 29-33. <https://doi.org/10.35965/Jae.V5i1.2022> (Original In Indonesian).
- [22] Zulkipli, Ujianto, Andjarwati, T. (2021). The Effect Of Fisheries Productivity, Socioeconomic Factor, Non-Fisheries Business Opportunity On Vulnerability And Poverty: Small-Scale Fisheries In Riau Islands, Indonesia, *International Journal Of Entrepreneurship And Business Development*, Vol. 4, No. 1, Pp. 7-18. <https://doi.org/10.29138/Ijebd.V3i4.1252>.
- [23] Rohani, A. A., Mohamad, F., Jaya, B. P. M. (2023). Impact Of Indonesia Government Policy

- In Pp No. 27 Of 2021 Concerning The Implementation Of The Marine And Fisheries Sector, *Supremasi Hukum*, 19, 27-36. [Http://Dx.Doi.Org/10.33592/Jsh.V19i1.3344](http://dx.doi.org/10.33592/jsh.v19i1.3344).
- [24] Achmadi, T., Nugroho, R. (2022). *Navigating Indonesian Maritime Policies: Constructive, Distortive, And Accelerative*, Its, Indonesia. https://www.its.ac.id/seatrans/wp-content/uploads/sites/41/2018/10/2023-11-15-Memetakan-Kebijakan-Kemaritiman_Final_Rev.Pdf.
- [25] Soumokil, R. (2021). Strategy To Improve The Class Of Ambon Archipelago Fisheries Port Into An Ocean Fishery Port Using Swot Analysis, *Arika*, 15(1), 1-14. <https://doi.org/10.30598/Arika.2021.15.1.1>.
- [26] Kakerissa, A.L., Hahury, H.D., Louhenapessy, F.H. (2022). Potential Of Smoked Fish Industrial Cluster In The Islands Areas, *Acta Logistica*, Vol. 9, No. 4, Pp. 457-466. <https://doi.org/10.22306/Al.V9i4.347>.
- [27] Qingmei, L., Hong, Z. (2021). The Effect Of Maritime Cluster On Port Production Efficiency, *Maritime Policy & Management*, Vol. 48, No. 1, Pp. 61-74. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1754479>.
- [28] Athaya, M. F., Yushafirra, M., Rahman, R. A., Ardhillah, F., Savitri, H. D., Maharani, T. F., Putri, T. F. (2023). *The Analysis Of Manufacturing Industry Sector In Maluku Province*, E3s Web Of Conferences 468, Ict Ugm. <https://doi.org/10.1051/E3sconf/202346806015>.
- [29] Ririmasse, P. M., Retraubun, A. S. W., Hiariey, J., Lopulalan, Y. (2023). Social Capital Relationship Model And The Empowerment Of Fishery Institutional Identity: A Study Of Purse Seine Group Of Hitu Village, Ambon, *Aacl Bioflux*, 15(4), 1843-1849. <http://www.bioflux.com.ro/Aacl>.
- [30] Wiber, M., Charles, A., Kearney, J., Berkes, F. (2009). Enhancing Community Empowerment Through Participatory Fisheries Research, *Marine Policy*, 33, 172-179. <https://doi.org/10.1016/J.Marpol.2008.05.009>.
- [31] Burgess, P. R., Sunmola, F. T. (2023). Wertheim-Heck, S.: A Review Of Supply Chain Quality Management Practices In Sustainable Food Networks, *Heliyon*, Volume 9, Issue 11. <https://doi.org/10.1016/J.Heliyon.2023.E21179>.
- [32] Calderón, W., Ortiz, D., Pazmiño, A., Naranjo, I. (2022). *Distribution Of Facilities To Improve The Raw Material Storage System*. In: García, M.V., Gordón-Gallegos, C. (Eds) Cse: International Conference On Computer Science, Electronics And Industrial Engineering (Csei). Lecture Notes In Networks And Systems, Vol 678. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30592-4_37.
- [33] Mehner, L., Rothenbusch, S., Kauffeld, S. (2024). How To Maximize The Impact Of Workplace Training: A Mixed-Method Analysis Of Social Support, Training Transfer And Knowledge Sharing, *European Journal Of Work And Organizational Psychology*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/1359432x.2024.2319082>.
- [34] Yong, Y., Lee, P. K. C., Cheng, T. C. E. (2016). Continuous Improvement Competence, Employee Creativity, And New Service Development Performance: A Frontline Employee Perspective, *International Journal Of Production Economics*, Volume 171, Part 2, Pp. 275-288. <https://doi.org/10.1016/J.Ijpe.2015.08.006>.
- [35] Richmond, L., Casali, L. (2022). The Role Of Social Capital In Fishing Community Sustainability: Spiraling Down And Up In A Rural California Port, *Marine Policy*, Volume 137. <https://doi.org/10.1016/J.Marpol.2021.104934>.
- [36] Baka, W. K., Rianse, I. S., La Zulfikar, Z. (2024). Palm Oil Business Partnership Sustainability Through The Role Of Social Capital And Local Wisdom: Evidence From Palm Oil Plantations In Indonesia. *Sustainability*, 16(17), 7541. <https://doi.org/10.3390/Su16177541>.
- [37] Sekhar, N.U. (2007). Social Capital And Fisheries Management: The Case Of Chilika Lake In India. *Environmental Management* 39, 497–505. <https://doi.org/10.1007/S00267-006-0183-0>.
- [38] Sanmugam, A., Pradeep, P., Selim, A., Rajinder, D., Ilham, S., Thillai, R.P., Farid, S., Baharudin, K., Kalisri, L.A., Murali, R., Wong, C.H., Prakash, S. (2023). The Role Of Open Innovation And A Normalizing Mechanism Of Social Capital In The Tourism Industry, *Journal Of Open Innovation: Technology*,

Market, And Complexity, Volume 9, Issue 2.
<https://doi.org/10.1016/J.Joitmc.2023.100056>

- [39] Sari, R. A., Harahap, R. D., Jannah, N. (2024). Fishermen Empowerment Through Product Diversification Viewed From The Maqashid Syariah Perspective In Pantai Labu District. *Baskara: Journal Of Business And Entrepreneurship*, 7(1), Pp. 105–117. <https://doi.org/10.54268/Baskara.V7i1.24367>
- [40] Patmawati, Saputra, E., Sahidu, A.M., Samara, S.H., Leonard, R., Agustina, M., Rahmawati, G.A., A'yun, S.N., Ibrahim, Z. And Husein, M.A.A. (2024). Introducing The Diversification Of Fishery Products From Cultivated Milkfish As A Trigger For The Creative Economy In The Former Prostitution Area Of Kampung Dolly, Surabaya, *Journal Of Aquaculture And Fish Health*, 13, 407-415. <http://dx.doi.org/10.20473/Jafh.V13i3.40369>
- [41] Mendo, A.Y., Abdul, I., Selvi. (2024). Diversification Strategy Of Processed Tuna Fish Products For Coastal Community Empowerment In Bone Bolango Regency, *International Journal Of Social Science And Human Research*, 07. <http://dx.doi.org/10.47191/Ijsshr/V7-I11-27>
- [42] Delechat, C.C., Melina, G., Newiak, M., Papageorgiou, C., Wang, K., Spatafora, N. (2024). Economic Diversification In Developing Countries – Lessons From Country Experiences With Broad-Based And Industrial Policies, *Departmental Papers*, 2024 (006), A001. <https://doi.org/10.5089/9798400240201.087.A001>
- [43] Purwanto, E., Isdiantoni, I., Syahril, S. (2025). Processed Fish Products Based On Diversification And Standardization, *Journal Of Community Service And Empowerment*, 3, 18-25. <https://doi.org/10.22219/Jcse.V3i1.18590>

ANALISIS KINERJA KOLAM PELABUHAN DAN PROYEKSI KEBUTUHAN IDEAL UNTUK MENDUKUNG OPERASIONAL PELABUHAN PERIKANAN BERKELANJUTAN (STUDI KASUS: PPN AMBON)

Ruth P. Soumokil¹

¹Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: ut.soumokil@gmail.com

Abstrak Pertumbuhan aktivitas perikanan di Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Ambon menuntut ketersediaan kolam labuh yang memadai untuk menjamin kelancaran dan keselamatan operasional kapal. Namun, keterbatasan kapasitas kolam pelabuhan menjadi tantangan dalam mendukung pelabuhan perikanan yang berkelanjutan. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana kondisi eksisting kapasitas kolam pelabuhan saat ini, bagaimana proyeksi kebutuhan ideal kolam pelabuhan berdasarkan kunjungan kapal, dan bagaimana rekomendasi kebijakan yang dapat diberikan untuk optimalisasi kolam labuh di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas eksisting kolam pelabuhan, memperkirakan kebutuhan ideal kolam labuh hingga tahun 2035, serta merumuskan rekomendasi kebijakan pengelolaan kolam pelabuhan secara berkelanjutan. Metode yang digunakan bersifat kuantitatif-deskriptif dengan analisis data menggunakan metode *moving average* terhadap data kunjungan kapal tahun 2019–2023. Hasil analisis menunjukkan bahwa kolam pelabuhan seluas $\pm 25.000 \text{ m}^2$ dengan panjang dermaga aktif 250 meter hanya mampu melayani 125–145 kapal per tahun secara efektif. Proyeksi kunjungan kapal menggunakan *moving average* menunjukkan tren penurunan moderat, dari 467 kapal pada tahun 2025 menjadi 344 kapal pada tahun 2035. Dengan kebutuhan ruang tambat konservatif sebesar 500 m^2 per kapal per hari, estimasi kebutuhan kolam labuh mencapai 470–660 m^2 , dan direkomendasikan buffer tambahan 10–20% menjadi sekitar 750–800 m^2 . Kesimpulan dari penelitian ini adalah kapasitas kolam eksisting masih cukup untuk memenuhi proyeksi jangka menengah, namun perlu optimalisasi pengelolaan ruang tambat dan mitigasi terhadap potensi konflik penggunaan ruang. Rekomendasi yang diberikan meliputi penataan sistem tambat, pengembangan sistem informasi manajemen tambat berbasis digital, serta integrasi prinsip keberlanjutan dalam pengelolaan pelabuhan perikanan.

Kata kunci: kolam pelabuhan, pelabuhan perikanan, proyeksi kapal, *moving average*, keberlanjutan

Abstract. The growth of fishing activities at the Ambon Nusantara Fishing Port (PPN Ambon) demands adequate anchorage basin capacity to ensure safe and efficient vessel operations. However, the limited harbor basin capacity poses challenges in supporting a sustainable fishing port. This study addresses the following research questions: what is the current condition of the harbor basin capacity, what is the projected ideal basin requirement based on vessel arrivals, and what policy recommendations can be proposed to optimize the anchorage in the future. The objectives of this study are to analyze the existing harbor basin capacity, estimate the ideal anchorage requirements through 2035, and develop policy recommendations for sustainable harbor basin management. The research uses a quantitative-descriptive method with moving average analysis based on vessel arrival data from 2019 to 2023. The results indicate that the harbor basin area of $\pm 25,000 \text{ m}^2$ with an active quay length of 250 meters can only accommodate 125–145 vessels per year effectively. Projections using the moving average method show a moderate downward trend, from 467 vessels in 2025 to 344 in 2035. Using a conservative estimate of 500 m^2 mooring space per vessel per day, the required anchorage area ranges from 470 to 660 m^2 , with an additional

buffer of 10–20%, resulting in a total requirement of approximately 750–800 m². The study concludes that while the current basin capacity may still accommodate medium-term needs, optimization of mooring arrangements and mitigation of spatial conflicts are necessary. Recommendations include restructuring the mooring system, developing a digital mooring management system, and integrating sustainability principles into fishing port management.

Keywords: harbor basin, fishing port, vessel projection, moving average, sustainability

1. PENDAHULUAN

Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Ambon merupakan pelabuhan perikanan strategis yang melayani aktivitas penangkapan, bongkar muat hasil tangkapan, dan distribusi logistik perikanan di wilayah Indonesia Timur. Seiring meningkatnya jumlah kapal penangkap ikan, terutama pada kelompok kapal berukuran 10-30 GT, kebutuhan terhadap fasilitas tambat dan kolam pelabuhan menjadi semakin mendesak. Kepadatan kolam dan terbatasnya ruang manuver kapal sering menimbulkan konflik ruang serta memperpanjang waktu tunggu. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam terkait kapasitas ideal kolam pelabuhan. Purwanto et al. [1] menambahkan bahwa pelabuhan perikanan memiliki fungsi strategis sebagai pusat pengendalian aktivitas perikanan, sehingga kinerjanya sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pengelolaan sumber daya ikan secara berkelanjutan.

Menurut Safitri dan Lestari [2], kapasitas kolam pelabuhan yang ideal harus mempertimbangkan aspek jumlah dan jenis kapal, manuver kapal, serta waktu layanan tambat.

Rahman dan Taufik [3] juga menyebutkan bahwa kapasitas kolam yang tidak memadai dapat menimbulkan antrian kapal dan menghambat kelancaran operasional pelabuhan perikanan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi eksisting kapasitas kolam pelabuhan di PPN Ambon?
2. Berapa kebutuhan ideal kolam pelabuhan?
3. Apa rekomendasi kebijakan untuk optimalisasi kolam pelabuhan PPN Ambon?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kapasitas eksisting kolam pelabuhan PPN Ambon.
2. Mengestimasi kebutuhan ideal kolam berdasarkan data kunjungan kapal.

3. Menyusun rekomendasi kebijakan pengelolaan kolam pelabuhan secara optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan teknis dan manajerial pelabuhan perikanan, khususnya dalam pengelolaan kolam pelabuhan yang efisien dan berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian difokuskan pada kolam pelabuhan, pada PPN Ambon, dengan data kunjungan kapal tahun 2019–2023 sebagai acuan utama.

1.6 Kajian Pustaka

Kolam pelabuhan merupakan area perairan tenang di dalam pelabuhan yang berfungsi untuk melakukan kegiatan tambat, labuh, manuver, dan rotasi kapal. Kolam pelabuhan harus dirancang dengan mempertimbangkan ukuran kapal, kedalaman perairan, sistem tambat, dan perputaran kapal.

Fungsi Teknis Kolam Pelabuhan Perikanan

a. Fasilitas Kegiatan Sandar, Tambat, dan Manuver Kapal

Kolam pelabuhan perikanan merupakan perairan tenang yang dirancang untuk:

- sandar: tempat kapal berhenti di sisi dermaga.
- tambat: kapal ditambatkan dengan tali ke dermaga atau *mooring buoy*.
- manuver: area cukup luas agar kapal dapat berputar, berpindah tempat, atau bergerak menuju/meninggalkan dermaga.

Oleh karena hal-hal tersebut di atas, dimensi kolam (panjang, lebar, kedalaman) harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran kapal yang beroperasi di pelabuhan tersebut.

b. Menjamin Keamanan Navigasi dan Operasi

Kolam harus memberikan perlindungan terhadap gelombang dan arus agar kapal:

- tidak goyah saat sandar/bongkar muat.
- aman saat berlabuh sementara.
- tidak mengalami tabrakan antar kapal.

Karena itu, kolam biasanya dilindungi oleh pemecah gelombang (*breakwater*) dan memiliki arus yang minimal.

c. Memungkinkan Zonasi Operasional

Kolam pelabuhan memungkinkan pengaturan zona pergerakan kapal, seperti:

- zona keluar masuk kapal.
- zona manuver dan putar balik.
- zona sandar kapal besar dan kecil.
- zona tambat untuk waktu lama.

Dengan adanya kolam yang cukup luas dan terstruktur, potensi kemacetan lalu lintas laut dalam pelabuhan bisa dihindari.

d. Sebagai Buffer Area

Kolam pelabuhan juga berfungsi sebagai *buffer* antara laut terbuka dan daratan, tempat:

- kapal menunggu antrean bongkar muat.
- pemeriksaan dokumen atau inspeksi dilakukan oleh otoritas pelabuhan (PPNS/KKP).
- kapal mendapatkan layanan pendukung seperti pengisian BBM, air tawar, es, dan logistik.

e. Fasilitasi Perawatan dan Perbaikan Ringan Kapal

Beberapa pelabuhan perikanan menyediakan kolam tenang untuk pemeriksaan dasar kapal oleh nelayan atau teknisi sebelum *docking*. Dalam beberapa kasus, juga ada kolam yang terhubung dengan galangan untuk perbaikan lebih besar.

f. Sarana Penataan Armada dan Efisiensi Ruang

Dengan adanya kolam yang cukup dan didesain baik:

- kapal-kapal bisa ditata berdasarkan fungsi dan ukuran (misalnya kapal purse seiner di sisi timur, kapal longline di sisi barat).
- proses bongkar muat, distribusi es, BBM, dan logistik bisa dilakukan lebih efisien.

Sistem Tambat dan Rotasi Kapal dalam Operasional Pelabuhan Perikanan

a. Pengertian Sistem Tambat Kapal

Sistem tambat merupakan metode penempatan dan penambatan kapal di dermaga atau kolam pelabuhan untuk mendukung kegiatan operasional seperti bongkar muat hasil tangkapan, pengisian bahan bakar, perawatan ringan, dan istirahat awak kapal. Pemilihan sistem tambat harus mempertimbangkan efisiensi ruang, keselamatan kapal, serta waktu tunggu kapal agar operasional pelabuhan berjalan optimal.

b. Jenis Sistem Tambat

Beberapa sistem tambat yang umum digunakan di pelabuhan perikanan antara lain:

– Tambat Sejajar (*Alongside*)

Kapal tambat langsung sejajar dengan dermaga. Sistem ini memberikan kemudahan akses untuk bongkar muat karena kapal bersentuhan langsung dengan dermaga. Namun, kapasitas terbatas pada panjang dermaga.

– Sistem Tendreng (*Rafting System*)

Pada sistem ini, kapal tidak hanya tambat ke dermaga tetapi juga ke kapal yang sudah tambat sebelumnya, membentuk barisan ke arah laut. Sistem ini umum digunakan di pelabuhan dengan keterbatasan panjang dermaga namun memiliki kolam yang luas. PPN Ambon menerapkan sistem ini untuk menambah kapasitas tambat secara horizontal.

– Tambat ke Buoy (*Mooring Buoy*)

Kapal tambat ke pelampung yang ditambatkan di kolam pelabuhan, bukan ke dermaga. Sistem ini digunakan ketika dermaga penuh atau untuk kapal ukuran kecil.

– Tambat Lepas Jangkar (*Anchorage*)

Kapal melepaskan jangkar di area kolam atau perairan sekitar pelabuhan tanpa tambat ke dermaga atau buoy. Digunakan sebagai alternatif saat semua titik tambat penuh.

Proyeksi Kebutuhan Kolam

Wibowo & Maulana [4] menyatakan proyeksi kebutuhan kolam pelabuhan perikanan harus memperhitungkan tren kunjungan kapal, baik berdasarkan data historis maupun estimasi pertumbuhan ke depan. Desain kolam pelabuhan juga perlu disesuaikan dengan kebutuhan operasional kapal serta karakteristik perairan

lokal untuk menjamin efisiensi manuver kapal (Luhung & Setyawan, 2022)[5].

Perikanan Berkelanjutan (*Sustainable Fisheries*)

Perikanan berkelanjutan merupakan konsep pengelolaan sumber daya perikanan yang bertujuan untuk menjaga keberlanjutan stok ikan dan ekosistem laut, sekaligus memastikan manfaat ekonomi dan sosial dapat terus dinikmati oleh generasi sekarang dan mendatang (FAO, 2020)[6]. Dalam konteks ini, aktivitas perikanan tidak boleh melebihi kemampuan alam untuk memulihkan diri.

Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan [7], perikanan berkelanjutan di Indonesia diwujudkan melalui kebijakan Penangkapan Ikan Terukur (PIT)[8] yang berbasis pada kuota, zona, musim, dan jenis alat tangkap. Kebijakan ini tidak hanya bertujuan menjaga stok ikan, tetapi juga meningkatkan kesejahteraan nelayan, efisiensi logistik, dan penguatan peran pelabuhan perikanan.

Prinsip utama perikanan berkelanjutan mencakup:

1. Konservasi stok sumber daya ikan melalui pengendalian penangkapan.
2. Pengelolaan ekosistem laut agar tetap sehat dan produktif.
3. Keadilan sosial dan ekonomi bagi pelaku usaha perikanan, termasuk nelayan dan pembudidaya.
4. Efisiensi sistem pendukung, termasuk pelabuhan perikanan, logistik, dan infrastruktur tambat.

Dalam kaitannya dengan pelabuhan perikanan, keberlanjutan tidak hanya menyangkut pengelolaan ikan, tetapi juga optimalisasi infrastruktur dan fasilitas pendukung seperti kolam pelabuhan, dermaga, sistem tambat, tempat pendaratan ikan, dan pelayanan operasional. Pelabuhan yang memiliki kinerja baik berperan penting dalam mendukung penangkapan yang efisien, pengelolaan ikan yang berkualitas, serta pemantauan dan pengendalian aktivitas perikanan secara real-time.

Pelabuhan perikanan berkelanjutan ditandai oleh:

- Efisiensi kapasitas tambat dan manuver kapal.
- Fasilitas bongkar muat yang memadai dan higienis.
- Dukungan sistem logistik rantai dingin.
- Kemudahan akses informasi dan pengawasan kapal.

Kajian tentang perikanan berkelanjutan penting dijadikan dasar dalam analisis kebutuhan ideal kolam pelabuhan. Semakin baik tata kelola dan kinerja fasilitas pelabuhan, semakin besar kontribusinya terhadap pencapaian tujuan perikanan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan kolam pelabuhan berbasis prinsip berkelanjutan menjadi penting, sebagaimana disarankan oleh Marzuki dan Hanif (2023)[9] dalam rencana pengembangan pelabuhan perikanan jangka panjang.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif untuk menganalisis kondisi eksisting kolam pelabuhan dan memperkirakan kebutuhan ideal berdasarkan data kunjungan kapal tahun 2019–2023. Data tersebut dianalisis melalui metode statistik dan pemodelan teknis guna memberikan rekomendasi berbasis fakta. Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis kapasitas kolam eksisting dan memproyeksikan kebutuhan idealnya berdasarkan data kunjungan kapal. Metode serupa digunakan oleh Wibowo dan Maulana (2023)[4] dalam studi proyeksi pelabuhan perikanan. Selain itu, aspek perencanaan dimensi kolam mengacu pada standar desain teknis yang dikaji oleh Luhung dan Setyawan (2022)[5], yang mempertimbangkan panjang, lebar, dan ruang putar kapal.

2.2 Jenis dan Sumber Data

- Data primer: Observasi lapangan terkait ukuran kolam dan panjang dermaga aktif.
- Data sekunder: Data jumlah dan jenis kapal berdasarkan ukuran GT dari tahun 2020–2024 yang diperoleh dari instansi pengelola PPN Ambon.

2.3 Teknik Analisis

- Analisis Eksisting: Menghitung kapasitas tampung kapal dengan rumus empiris berdasarkan luas kolam (25.000 m²) dan asumsi kebutuhan ruang manuver per kapal.
- Proyeksi Kebutuhan Ideal: Menggunakan metode *Moving Average* [10] untuk memproyeksikan jumlah kapal hingga tahun 2035.

– Estimasi Kebutuhan Luasan Kolam:

$$A = N \times \alpha \quad (1)$$

Di mana:

- A = kebutuhan luas kolam (m^2)
 N = jumlah kapal yang diproyeksikan
 α = luas manuver/tambat per kapal (rata-rata 100–150 m^2 tergantung ukuran kapal)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambar Umum PPN Ambon

Pelabuhan Perikanan Nusantara Ambon terletak di dalam wilayah Teluk Ambon, tepatnya di Dusun Pandan Kasturi, Desa Batu Merah, Kecamatan Sirimau kota Ambon, provinsi Maluku, dengan letak geografis 128°11'20, 36''BT dan 03°40'32,05''LS. PPN Ambon memiliki areal seluas $\pm 6\text{Ha}$ (60.000 m^2) yang terdiri dari luas daratan/lahan 35.000 m^2 (3,5Ha) dan luas areal dermaga (kolam Pelabuhan) $\pm 25.000m^2$ (2,5Ha).



Gambar 3.1 Peta Lokasi Wilayah Penelitian Pelabuhan Perikanan Nusantara Ambon (*Sumber PPN Ambon*)

3.2 Tren kunjungan kapal

Berdasarkan data historis kunjungan kapal di PPN Ambon dari tahun 2019 hingga 2023, terlihat adanya fluktuasi jumlah kapal masuk. Kunjungan kapal sempat meningkat hingga 854 kapal pada 2021, namun mengalami penurunan tajam menjadi 636 kapal pada 2022 dan turun lagi menjadi 496 kapal pada 2023. Penurunan ini disinyalir akibat berbagai faktor, seperti efisiensi operasional armada, kebijakan perikanan, dan dampak pandemi.

Tabel 3.1 Data Kunjungan Kapal 2019-2023

	Tahun				
	2019	2020	2021	2022	2023
Jumlah	770	772	852	636	496
< 5	0	0	0	0	0
5 – 10	6	6	5	16	3
10 – 30	622	636	717	501	410
30 – 50	39	13	28	27	28
50 – 100	75	54	59	56	29
100 – 200	26	41	23	21	10
200 – 300	2	21	16	6	4
300 – 500	0	0	4	9	12
500 -	0	1	0	0	0
> 1000	0	0	0	0	0

Sumber : PPN Ambon

Dari data yang diperoleh dapat dilihat bahwa kapal terbanyak yaitu berasal dari kelompok ukuran 10–30 GT. Tertinggi pada tahun 2021 yaitu 852 kapal. Karena dominasi ini maka ukuran 10-30 GT dipakai untuk proyeksi kebutuhan kolam.

3.3 Kondisi Eksisting Kolam Pelabuhan

- Luas kolam: $\pm 25.000 m^2$
- Panjang dermaga aktif: 250 m
- Berdasarkan estimasi kebutuhan ruang manuver/tambat rata-rata 120 m^2 per kapal, maka kapasitas maksimal teoritis:

$$\frac{25.000}{120} = 208$$

Namun, dalam praktiknya, efisiensi penggunaan ruang biasanya hanya sekitar 60–70%. Maka, kapasitas efektif adalah sekitar 125–145 kapal.

3.4 Analisis Tren dan Proyeksi Kunjungan Kapal

Tabel 3.2 Data kunjungan kapal 2019-2023

Tahun	Jumlah Kapal Masuk
2019	770
2020	772
2021	854
2022	636
2023	496

Tren penurunan tajam pada data aktual tahun 2022 dan 2023 sangat mempengaruhi hasil regresi, sehingga digunakan pendekatan regresi *moving average*, atau pembatasan rentang proyeksi).

3.4.1 Moving Average (3 Tahun Terakhir):

Diambil rata-rata dari 3 tahun terakhir (2021–2023):

$$\text{Rata-rata} = \frac{852 + 636 + 493}{3} = 661 \text{ kapal/tahun}$$

3.4.2 Proyeksi Alternatif (2025–2030):

Tabel 3.3 berikut menyajikan hasil proyeksi jumlah kapal selama periode 2025–2035: Dengan asumsi tren penurunan moderat 3% per tahun dari angka 2023.

Tabel 3.3 Proyeksi Jumlah kapal 2025-2035

Tahun	Proyeksi Jumlah Kapal
2025	467
2026	453
2027	439
2028	426
2029	413
2030	401
2030	401
2031	389
2032	377
2033	366
2034	355
2035	344

$$\text{Proyeksi}_n = \text{Proyeksi}_{n-1} \times (1-0.03)$$

Pendekatan ini menghasilkan proyeksi yang masuk akal dan positif. Cocok digunakan untuk merencanakan kebutuhan tambat jangka panjang. Nilai proyeksi dapat disesuaikan jika ada program revitalisasi, perbaikan fasilitas, atau kebijakan peningkatan armada kapal. Proyeksi menunjukkan adanya penurunan bertahap dalam jumlah kunjungan kapal, yang mengindikasikan kemungkinan stabilisasi

atau pengurangan intensitas aktivitas kapal di PPN Ambon pada masa mendatang.

3.5. Rumus Perkiraan Kebutuhan Tambat (Luas Kolam Labuh):

Untuk memperkirakan kebutuhan ideal kolam labuh, digunakan standar konservatif sebesar 500 m² per kapal per hari (kapal ukuran <30 GT mendominasi). Rumus perhitungan:

$$\text{Luas kolam labuh} = \text{jumlah kapal per hari} \times A$$

di mana:

- Jumlah Kapal per Hari = Jumlah Kapal per Tahun ÷ 365
- A = Kebutuhan ruang tambat per kapal (tergantung ukuran kapal). Dipakai nilai konservatif 500 m²/kapal (untuk kapal <30 GT mendominasi)

3.6. Proyeksi dan Perhitungan Luas Kolam Labuh (2024–2035)

Tabel 3.4. Proyeksi dan Perhitungan Luas Kolam Labuh (2025–2035)

Tahun	Proyeksi Kapal	Kapal/Hari	Luas Kolam Labuh (m ²)
2025	467	1.28	640
2026	453	1.24	620
2027	439	1.20	600
2028	426	1.17	585
2029	413	1.13	565
2030	401	1.10	550
2031	389	1.07	535
2032	377	1.03	515
2033	366	1.00	500
2034	355	0.97	485
2035	344	0.94	470

- kebutuhan ideal kolam labuh ke depan berada dalam kisaran 470–660 m², jika tren kapal tetap menurun seperti proyeksi.
- untuk perencanaan jangka panjang (hingga 2035), pertimbangkan kebutuhan maksimum (sekitar 660 m²) + buffer 10–20% = ~750–800 m² untukantisipasi lonjakan musiman atau kebijakan baru.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap kinerja kolam pelabuhan di PPN Ambon menggunakan

metode deskriptif kuantitatif dan peramalan jumlah kapal dengan metode *Moving Average*, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Kondisi eksisting kolam pelabuhan di PPN Ambon menunjukkan keterbatasan ruang dalam melayani kapal. Dengan luas kolam $\pm 25.000 \text{ m}^2$ dan panjang dermaga aktif 250 meter, kapasitas efektif kolam berada di kisaran 125–145 kapal per tahun (dengan asumsi efisiensi 60–70% dari kapasitas teoritis).
2. Data kunjungan kapal tahun 2019–2023 menunjukkan tren fluktuatif dengan penurunan signifikan pada tahun 2022 dan 2023. Proyeksi jumlah kapal hingga tahun 2035 menggunakan pendekatan konservatif (penurunan 3% per tahun) menunjukkan bahwa kunjungan kapal diperkirakan terus menurun, dari 467 kapal pada 2025 menjadi 344 kapal pada 2035. Estimasi kebutuhan ideal kolam labuh mengikuti penurunan jumlah kapal. Perkiraan kebutuhan kolam berkisar antara 470–660 m^2 untuk tahun 2025–2035. Namun, dalam konteks perencanaan jangka panjang, perlu disediakan ruang tambahan sebesar 10–20% ($\pm 750\text{--}800 \text{ m}^2$) untuk mengantisipasi lonjakan musiman, perubahan kebijakan armada, atau peningkatan aktivitas pelabuhan.
3. Rekomendasi Kebijakan
 - Optimalisasi penggunaan kolam labuh yang ada, dengan pengaturan sistem tambat yang efisien, penggunaan zona tambat berdasarkan ukuran kapal, dan pengawasan intensif terhadap pergerakan kapal di area kolam.
 - Perencanaan peningkatan kapasitas kolam secara bertahap tidak perlu difokuskan pada perluasan fisik dalam jangka pendek, mengingat tren penurunan jumlah kapal. Namun, tetap perlu disiapkan cadangan ruang (*buffer*) untuk menghadapi potensi lonjakan jumlah kapal akibat perubahan regulasi atau program revitalisasi armada.
 - Evaluasi berkala terhadap tren kunjungan kapal, agar proyeksi kebutuhan kolam selalu diperbarui berdasarkan data aktual. Sistem manajemen data dan monitoring kunjungan kapal perlu ditingkatkan.
 - Pengembangan sistem informasi tambat berbasis digital guna mengatur rotasi kapal, mempercepat proses tambat-sandar, dan menghindari tumpang tindih ruang di kolam pelabuhan.

- Integrasi kebijakan pengelolaan pelabuhan perikanan dengan prinsip keberlanjutan, termasuk pengendalian kepadatan aktivitas pelabuhan, pengelolaan limbah kapal, dan pemanfaatan ruang yang efisien serta ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. et al. Purwanto, “Pelabuhan Perikanan sebagai Pusat Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan,” *Jurnal Kebijakan Perikanan*, vol. 13, no. 2, pp. 45–58, 2022.
- [2] D. Safitri, N., & Lestari, “Kapasitas Kolam Pelabuhan Perikanan dalam Mendukung Kegiatan Tambat dan Bongkar Kapal,” *Jurnal Teknologi Kelautan*, vol. 9, no. 2, pp. 123–134, 2021.
- [3] A. Rahman, S., & Taufik, “Kinerja Kolam Pelabuhan dalam Mendukung Operasional Kapal Perikanan,” *Jurnal Ilmu Perikanan*, vol. 8, no. 3, pp. 200–210, 2020.
- [4] R. Wibowo, A., & Maulana, “Analisis Proyeksi Kunjungan Kapal Perikanan di Pelabuhan X,” *Jurnal Transportasi Laut*, vol. 15, no. 1, pp. 55–66, 2023.
- [5] Y. Luhung, R., & Setyawan, “Kajian Desain Kolam Pelabuhan untuk Kapal Perikanan di Indonesia,” *Jurnal Teknologi Perkapalan*, vol. 18, no. 1, pp. 45–58, 2022.
- [6] FAO, “The State of World Fisheries and Aquaculture,” 2020.
- [7] Kementerian Kelautan dan Perikanan., *Kebijakan Penangkapan Ikan Terukur untuk Perikanan Berkelanjutan*. 2022.
- [8] *Kebijakan Penangkapan Terukur Dalam Pengelolaan Perikanan Tangkap*. 2021.
- [9] D. Marzuki, M., & Hanif, “Rencana Pengembangan Pelabuhan Perikanan Berkelanjutan,” *Jurnal Infrastruktur Kelautan*, vol. 11, no. 2, pp. 77–89, 2023.
- [10] D. Widodo, S., & Hartati, “Implementasi Moving Average dalam Analisis Tren Volume Kunjungan Kapal di Pelabuhan Niaga,” *Jurnal Transportasi Maritim dan Logistik*, vol. 7, no. 2, pp. 75–82, 2023.

PEMETAAN ZONA PROSPEKIF *GEOTHERMAL* DI PULAU MAKIAN MENGUNAKAN ANALISIS MULTISPEKTRAL LANDSAT-8

Hanifa Usman¹, Dian Putri Auliya², Raudhatul Zahra Awan³ dan, Resti Limehuwey,⁴.

¹Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: hanimuay@gmail.com

²Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura

Email : dianputriauliya20@gmail.com

³Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura

Email : raraawan23@gmail.com

⁴Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura

Email : resti.limehuwey@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang besar, terutama di daerah dengan aktivitas vulkanik tinggi, seperti Pulau Makian di Halmahera Selatan. Pemanfaatan energi panas bumi dapat menjadi solusi bagi keterbatasan pasokan listrik di daerah terpencil. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi panas bumi di Pulau Makian dengan menggunakan analisis citra satelit Landsat 8. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan citra satelit Landsat 8 untuk menganalisis *Land Surface Temperature* (LST) dan identifikasi anomali termal di permukaan. Selain itu, analisis geologi regional dilakukan untuk memahami kondisi litologi dan struktur geologi yang berperan dalam sistem panas bumi. Data citra satelit diolah menggunakan metode algoritma suhu permukaan tanah dengan mempertimbangkan nilai emisivitas dan koreksi atmosferik. Hasil penelitian menunjukkan adanya anomali suhu tinggi yang terkonsentrasi di sekitar Gunung Kie Besi, yang merupakan gunung api aktif di Pulau Makian. Peta LST yang dihasilkan menunjukkan kisaran suhu antara 14,5601°C hingga 32,64°C, dengan nilai tertinggi berada di area puncak gunung dan sekitarnya. Selain itu, keberadaan mata air panas yang ditemukan di sekitar area dengan anomali termal semakin menguatkan indikasi potensi panas bumi di wilayah ini. Hasil ini mengindikasikan bahwa Pulau Makian memiliki potensi *geothermal* yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pengembangan energi berkelanjutan.

Kata kunci: Panas bumi, Landsat 8, *Land Surface Temperature*, Pulau Makian.

Abstract Indonesia has great *geothermal* energy potential, especially in areas with high volcanic activity, such as Makian Island in South Halmahera. Utilization of *geothermal* energy can be a solution to the limited electricity supply in remote areas. This study aims to identify the *geothermal* potential on Makian Island using Landsat 8 satellite imagery analysis. The method used in this study is Landsat 8 satellite imagery processing to analyze *Land Surface Temperature* (LST) and identify thermal anomalies on the surface. In addition, regional geological analysis was carried out to understand the lithology and geological structure conditions that play a role in the *geothermal* system. Satellite imagery data was processed using the *Land Surface Temperature* algorithm method by considering emissivity values and atmospheric corrections. The results showed a high-temperature anomaly that ranged around Mount Kie Besi, which is an active volcano on Makian Island. The resulting LST map shows a temperature range between 14.5601°C and 32.64°C, with the highest value in the mountain peak area and its surroundings. In addition, the presence of hot springs found around the area with thermal anomalies further strengthens the indication of *geothermal* potential in this region. These results indicate that Makian Island has *geothermal* potential that can be further utilized for sustainable energy development.

Keywords: Geothermal, Landsat 8, Land Surface Temperature, Makian Island.

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang masih bergantung pada energi berbahan bakar fosil, Indonesia perlu segera beralih ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Salah satu solusi utama dalam transisi energi ini adalah pengembangan energi terbarukan, yang juga dikenal sebagai energi hijau atau energi bersih ^[1]. Energi terbarukan mencakup sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami, seperti sinar matahari, angin, dan air. Berbeda dengan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara yang jumlahnya terbatas dan berdampak buruk terhadap lingkungan, energi terbarukan tidak akan habis dalam waktu dekat serta memiliki dampak minimal terhadap pemanasan global ^[2].

Di antara berbagai jenis energi terbarukan, energi panas bumi atau *geothermal* menjadi salah satu yang paling potensial di Indonesia. *Geothermal* merupakan energi yang terbentuk dalam kerak bumi akibat aktivitas geologi, seperti pergerakan lempeng tektonik. Indonesia memiliki potensi *geothermal* yang sangat besar, dengan estimasi mencapai 23,7 GW berdasarkan data Badan Geologi Kementerian ESDM pada Desember 2020 ^[3]. Salah satu wilayah dengan potensial geothermal yang signifikan adalah Provinsi Maluku Utara, termasuk Pulau Makian di Halmahera Selatan.

Maluku Utara terdiri dari 805 pulau, di mana sebagian besar desa-desa pesisirnya belum mendapatkan pasokan listrik yang memadai ^[4]. Meskipun rasio elektrifikasi nasional pada Triwulan 1 Tahun 2022 telah mencapai 99,52%, Provinsi Maluku Utara yang sebagian besar merupakan daerah 3T (terdepan, terluar, dan tertinggal) hanya mencapai 96,27% ^[5]. Hal ini menunjukkan bahwa masih bergantung pada bahan minyak (BBM) untuk kebutuhan listriknya. Ketergantungan ini menyebabkan pasokan listrik yang tidak stabil dan pemadaman yang berulang-ulang, sehingga menimbulkan keresahan bagi masyarakat ^[6].

Salah satu upaya dalam memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara berkelanjutan adalah dengan mengembangkan potensi energi *geothermal*. Pemanfaatan energi *geothermal* memiliki keunggulan karena ketersediaannya yang stabil sepanjang waktu dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Sebelum dilakukan melalui analisis citra satelit dengan metode penginderaan jauh. Teknik ini memungkinkan deteksi zona alterasi hidrotermal

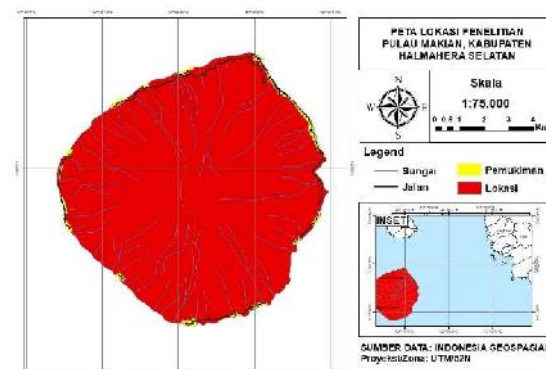
yang menjadi indikasi keberadaan sistem *geothermal*, salah satunya dengan memanfaatkan data Landsat 8 OLI TIRS ^[7].

Pemanfaatan citra satelit, khususnya data Landsat-8, telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian eksplorasi *geothermal*. Teknologi penginderaan jauh ini memungkinkan identifikasi anomali suhu, struktur geologi, serta perubahan komposisi batuan tanpa perlu melakukan survei langsung ke lokasi penelitian ^[8]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi geothermal di pulau Makian dengan menggunakan citra satelit landsat 8 sebagai langkah awal sebelum dilakukan studi lebih lanjut di lapangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Pulau Makian, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Titik koordinat pengambilan adalah 0,32°LS – 0,50°LS dan 127,28°BT – 127,40°BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Penelitian ini menggunakan data Landsat-8 yang diperoleh dari USGS. Data satelit yang digunakan merupakan data pada tahun 2023. Data yang digunakan untuk penelitian merupakan citra Landsat 8, khususnya band 4 (*Red*) dan band 5 (*Near Infrared*) yang dihasilkan oleh sensor *Operational Land Imager* (OLI), serta band 10 (*Thermal Infrared*) yang dihasilkan oleh sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) ^[9]. Menurut Paruntung, Landsat 8 TIRS memiliki dua *thermal infrared band*, yaitu band 10 dan band 11. Namun, band 10 pada citra Landsat 8 TIRS lebih unggul mengidentifikasi area dengan suhu tinggi dibandingkan band 11 ^[10]. Oleh karena itu, pada penelitian ini hanya menggunakan band 10. Selain

itu, band 4 dan band 5 digunakan untuk menghitung nilai NVDI.

Pengolahan ini diawali dengan melakukan koreksi radiometrik. Koreksi ini digunakan untuk mengkonversi *Digital Number* (DN) ke *Top of Atmosphere* (TOA) *Radiance* dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini ^[11].

$$L\lambda = ML \times Qcal + Al - O1 \quad (1)$$

Dimana :

$L\lambda$ = TOA spectral radiance (watts/(m²*sr*μm))

ML = Radiance multiplicative band

AL = Radiance add band

Qcal = Quantized and calibrated standart product pixel values (DN)

O₁ = Nilai koreksi band 10 yaitu 0.29

Selanjutnya dilakukan konversi ke *Top of Atmosphere* (TOA) *Brightness Temperature* (BT) dengan menggunakan nilai konstanta termal ^[12]. Proses konversi ini menggunakan persamaan 2 berikut.

$$BT = \frac{K2}{in} \left(\frac{K1}{L\lambda} + 1 \right) - 273.15 \quad (2)$$

Dimana :

BT = Top of Atmosphere Brightness Temperature (°C)

$L\lambda$ = TOA spectral radiance (Watts/(m²*sr*μm))

K1 = K1 constant band

K2 = K2 constant band

Setelah itu, dihitung nilai *Normalized Difference Vegetarian Index* (NDVI) untuk mengetahui ukuran kepadatan vegetasi pada suatu area dengan persamaan 3 berikut ^[13].

$$NDVI = \frac{RNIR - RR}{RNIR + RR} \quad (3)$$

Dimana :

NDVI = Nilai Indeks Vegetasi

RNIR = Radiasi cahaya inframerah dari piksel (band 5)

RR = Radiasi cahaya merah dari piksel (band 4)

Nilai NVDI harus berkisar antara -1 dan 1, dimana nilai dibawah 0.2 menunjukkan tanah kosong, di atas 0.5 menunjukkan vegetasi penuh, dan antara 0.2 hingga 0.5 menunjukkan area campuran. Berikutnya dilakukan Perhitungan *Land Surface Emissivity* (LSE) yang dihitung dari

nilai NDVI ^[14]. Nilai ini dihitung menggunakan persamaan 4 berikut.

$$PV = \frac{NDVI - NVDI_{min}}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})^2} \quad (4)$$

Dimana :

PV = Proporsi dari vegetasi

NDVI = Nilai DN dari gambar NDVI

NDVI_{min} = Nilai DN dari gambar NDVI minimum

NDVI_{max} = Nilai DN dari gambar NDVI maximum

Kemudian, nilai emisivitas (e) dapat dihitung dengan mempertimbangkan keragaman tutupan lahan dengan persamaan 5 berikut ^[15].

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

Dimana :

E = Land Surface Emissivity (emisi permukaan darat)

PV = Proporsi dari vegetasi

0.986 = nilai koreksi persamaan

Setelah itu, dilakukan konversi dari *satellite temperature* menjadi *Land Surface Temperature* (LST) dengan persamaan 6 berikut ^[16].

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda * \frac{BT}{C2}) * LN(e))} \quad (6)$$

Dimana :

BT = Top of Atmosphere Brightness Temperature (°C)

λ = Panjang gelombang radiasi yang dipancarkan

E = Land Surface Emissivity (emisi permukaan darat)

C2 = $h * c / s = 1.4338 * 10^{-2} \text{ mK} = 1438 \text{ mK}$

H = konstan plank $6.626 * 10^{-34} \text{ Js}$

S = konstan boltzman = $1.38 * 10^{-23} \text{ Jk}$

C = kecepatan Cahaya : $2.998 * 10^8 \text{ m/s}$

Setelah didapatkan nilai suhu permukaan dari data citra Landsat, dilakukan pemotongan (*cropping*) berdasarkan batas administrasi area studi. Peta *Land Surface Temperature* (LST) yang dihasilkan menunjukkan distribusi suhu permukaan tanah yang dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kondisi penutup lahan, radiasi matahari, dan aktivitas penggunaan lahan ^[17].

Karena penelitian ini berfokus pada potensi *geothermal*, perlu dilakukan pemisahan suhu

permukaan yang tidak berkaitan dengan aktivitas *geothermal*. Pemisahan ini dilakukan melalui *overlay* peta LST dengan area pemukiman. Hal ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pengaruh pemukiman penduduk terhadap nilai suhu permukaan daerah penelitian [18].

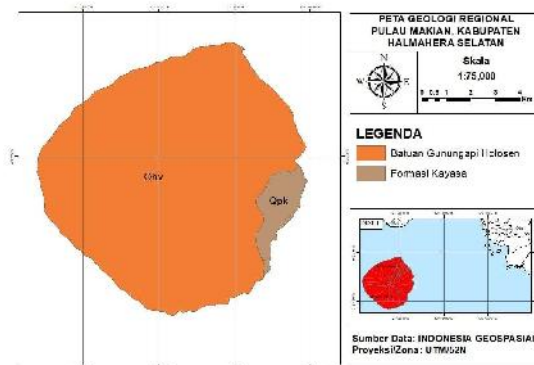
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geologi Regional

Berdasarkan hasil pemetaan geologi yang dilakukan dalam penelitian ini (gambar 2), litologi utama Pulau Makian terdiri dari batuan gunungapi Holosen yang terdiri dari breksi andesit, lava andesit – basal, dan tufa [19]. Di bagian timur pulau terdapat formasi Kayasa, litologinya terdiri dari breksi, lava, dan tufa [20].

Pulau Makian juga memiliki indikasi manifestasi *geothermal* yang ditandai dengan keberadaan mata air panas Waya Makawa terletak di Desa Ploly yang memiliki kandungan silika lebih dari 50% dan bertipe fluida alkali klorida serta merupakan *immature water* [21].

Struktur geologi di wilayah ini memperlihatkan kehadiran tiga sesar utama. Dua sesar teridentifikasi di lereng bagian utara dengan arah relatif utara–selatan, di mana blok bagian timur merupakan blok yang turun. Sesar lainnya berada di lereng timur-tenggara dengan arah barat–tenggara dan blok yang turun berada di bagian utara [22]. Sesar-sesar ini berperan sebagai pengontrol keluarnya fluida panas bumi ke permukaan [23].



Gambar 2. Peta Geologi Regional Pulau Makian

3.2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI dihitung berdasarkan perbedaan penyerapan cahaya pada panjang gelombang inframerah dekat (band 5) dan merah (band 4) oleh klorofil dalam tanaman [24]. Nilai NDVI memiliki rentang antara -1,0 sampai 1,0. Kelas-

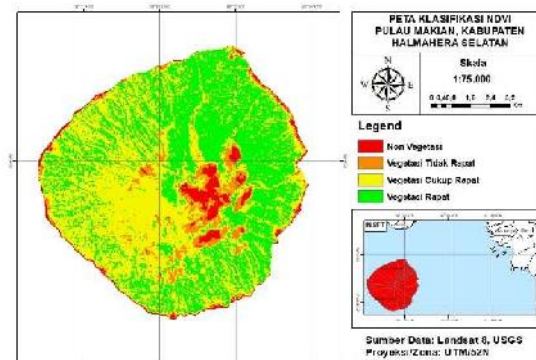
kelas klasifikasi yang digunakan mengacu pada Sunaryo & Iqmi [25].

Hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 tahun 2023 menunjukkan sebaran nilai NDVI di Pulau Makian berada pada rentang -0,12 - 0,64. Berdasarkan nilai tersebut, klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi di daerah pulau makian dibagi menjadi:

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDVI di Pulau Makian tahun 2023

Rentang NDVI	Klasifikasi
-0,12 – 0,17	Non-vegetasi
0,18 – 0,32	Vegetasi tidak rapat
0,33 – 0,44	Vegetasi cukup rapat
0,52 – 0,64	Vegetasi rapat

Area sekitar gunung api termasuk dalam klasifikasi non vegetasi dengan rentang nilai NDVI -0,12 – 0,17. Bagian barat pulau didominasi oleh vegetasi cukup rapat yang divisualisasikan dengan warna kuning dengan nilai NDVI 0,33 – 0,44. Sementara itu, bagian timur pulau didominasi oleh warna hijau yang merupakan klasifikasi vegetasi rapat dengan nilai NDVI 0,52 – 0,64. Adapun klasifikasi yang memiliki cakupan area terkecil yaitu area vegetasi tidak rapat ditunjukkan dengan warna *orange* dengan nilai NDVI 0,18 -0,32.



Gambar 3. Peta NDVI tahun 2023

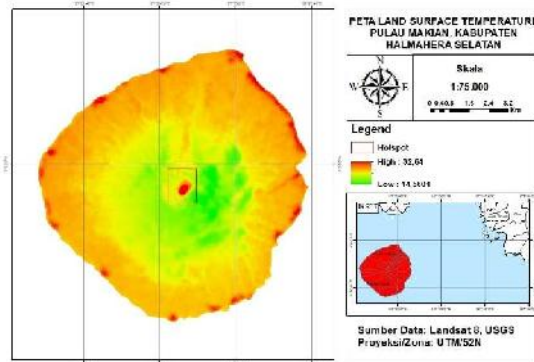
3.3. Land Surface Temperature (LST)

Suhu permukaan suatu wilayah dapat diidentifikasi dari citra satelit Landsat yang diekstrak dari kanal thermal. Dalam penginderaan jauh, suhu permukaan darat dapat didefinisikan sebagai suatu temperatur rata-rata dari suatu permukaan, yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda [11].

Hasil pemetaan LS (Gambar 3) menunjukkan bahwa nilai LST di Pulau Makian berkisar antara 14,5601°C hingga 32,6°C. Daerah dengan suhu tertinggi ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan daerah dengan suhu lebih rendah ditampilkan dalam warna hijau hingga kuning.

Dari hasil analisis peta LST, terdapat konsentrasi suhu tinggi yang berada di sekitar Gunung Kie Besi. Daerah ini berpotensi menjadi hotspot geotermal, yang diindikasikan oleh warna merah pada peta. Konsentrasi suhu tinggi ini diduga berkaitan dengan aktivitas vulkanik serta kemungkinan adanya sistem *geothermal* di bawah permukaan.

Hal ini didukung juga dengan penjelasan pada geologi regional sebelumnya, dimana Pulau Makian memiliki manifestasi air panas dan sesar-sesar yang berperan sebagai pengontrol keluarnya fluida ke permukaan [21],[22],[23].



Gambar 4. Peta LST tahun 2023

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan *Land Surface Temperature* (LST) serta didukung oleh geologi regional, dapat disimpulkan bahwa Pulau Makian memiliki potensi *geothermal*, terutama di area sekitar Gunung Kie Besi. Nilai LST menunjukkan suhu 32,64°C di sekitar Gunung Kie Besi, sementara nilai NDVI di area yang sama termasuk klasifikasi non vegetatif. Di Pulau Makian juga ditemukan adanya manifestasi *geothermal* dan sesar.

Pemanfaatan citra satelit dan penginderaan jauh terbukti menjadi alat eksplorasi awal yang efisien dalam mengidentifikasi area prospek panas bumi tanpa survei langsung. Namun diperlukan adanya penelitian lebih lanjut seperti survei gaya berat untuk memastikan prospek *geothermal* terduga.

Pengembangan energi di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), dan menjadi solusi jangka panjang bagi keberlanjutan pasokan listrik di daerah terpencil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Resti selaku dosen pembimbing dan penulis keempat yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan yang sangat berarti dalam penyusunan jurnal ini.

Penghargaan juga kami sampaikan atas kerja sama tim yang solid antara penulis utama dan rekan-rekan satu tim, yang telah bekerja secara aktif dalam proses pengolahan data dan penyusunan keseluruhan isi jurnal. Segala bentuk usaha, diskusi, dan dedikasi yang diberikan merupakan kunci dalam terselesaikannya penelitian ini.

Semoga jurnal ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan potensi energi *geothermal* di Indonesia, khususnya pada wilayah-wilayah yang memiliki prospek *geothermal* seperti Pulau Makian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Tugus, "Transisi Energi Menuju Energi Baru dan Terbarukan," Kementerian Keuangan Direktorat Jendral Kekayaan Negara. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpknl-jambi/baca-artikel/16932/Transisi-Energi-Menuju-Energi-Baru-dan-Terbarukan.html>
- [2] Pertamina, "Energi Terbarukan," Pertamina. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: https://onesolution.pertamina.com/Insight/Page/Energi_Terbarukan.
- [3] "Potensi Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia," Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE), Kementerian ESDM. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasi-ebtke/sektor-panas-bumi/potensi>
- [4] S. Ridzki, "Tidak Hanya Terpasang, PLTS di Halmahera Selatan Perlu Dirawat agar Tidak Rusak," Mongabay.co.id. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.mongabay.co.id/2023/08/13/tidak-hanya-terpasang-plts-di-halmahera-selatan-perlu-dirawat-agar-tidak-rusak/amp/>
- [5] B. Setiaji, "Potensi Panas Bumi (*Geothermal*) di Desa Idamdehe Jailolo Kabupaten Halmahera Barat Provinsi Maluku Utara," Direktorat Jenderal Kekayaan Negara (DJKN) kementerian Keuangan Republik Indonesia. Accessed:

- Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpknl-ternate/baca-artikel/15242/Potensi-Panas-Bumi-Geothermal-di-Desa-Idamdehe-Jailolo-Kabupaten-Halmahera-Barat-Provinsi-Maluku-Utara.html>
- [6] penamalut, “Pemadaman Listrik Berulang-ulang, PLN Pulau Makian Dikecam,” penamalut.com. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://penamalut.com/2025/02/06/pemadaman-listrik-berulang-ulang-pln-pulau-makian-dikecam/>
- [7] D. A. K. Rizdinanti, W. Jhanesta, Identifikasi Persebaran Alterasi Hidrotermal Menggunakan Komposit Band Landsat 8 OLI TIRS (Studi Kasus: Gunung Papandayan, Garut, Indonesia), Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2021, Yogyakarta, 20 Maret 2021, D-12–D-19.
- [8] S. H. Siombone and M. U. S. Maba, “*Land Cover, Land Surface Temperature and Geomorphology Structure at Tulehu Geothermal Area*, Ambon, Indonesia,” no. November 2021, 2023.
- [9] A. N. A. Aos and N. Putri, “Dinamika Vegetasi dan Suhu Permukaan Lahan Berbasis *Remote Sensing* di Waduk Jatigede Provinsi Jawa Barat: Studi Pendahuluan,” *J. Geosains dan Remote Sens.*, vol. 4, no. 2, pp. 67–76, 2023, doi: 10.23960/jgrs.ft.unila.112.
- [10] Paruntu, S., Bujung, C. A. N., & Medellu, C. (2014). Identifikasi Sebaran Temperatur Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi Melalui Analisa Citra Landsat 8 TIRS (Studi Kasus Daerah Gunung Soputan dan Sekitarnya). JSME MIPA UNIMA, Vol. 2, No. 5, 19 September 2014.
- [11] A. Pemetaan, P. Panas, and T. Barat, “METODE PENGINDERAAN JAUH (STUDI KASUS : KECAMATAN HU’U, KABUPATEN DOMPU, NUSA METODE PENGINDERAAN JAUH (STUDI KASUS : KECAMATAN HU’U, KABUPATEN DOMPU, NUSA,” 2021.
- [12] A. R. Sagita, A. S. C. Margaliu, F. Rizal, dan H. P. Mazzaluna, “Analisis Korelasi Suhu Permukaan, NDVI, Elevasi dan Pola Perubahan Suhu Daerah Panas Bumi Rendingan-Ulubelu-Waypanas, Tanggamus Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS,” *Jurnal Geosains dan Remote Sensing* (JGRS), vol. 3, no. 1, pp. 43–51, 2022. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.72>
- [13] R. F. Ramadhan and R. A. Saputra, “Identifikasi Area Prospek Panas Bumi Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM : Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan,” *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 11, no. 2, pp. 37–50, 2021, doi: 10.37525/sp/2021-2/294.
- [14] H. Hanifa, “Estimasi *LAND SURFACE TEMPERATURE* DI DUSUN REALOLO, DESA SAMAENRE, KECAMATAN MALLAWA, KABUPATEN MAROS,” *Https://Medium.Com/*, 2021, [Online]. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- [15] F. Abdullah, M. Yanis, A. Vahreza, M. Isa, and N. Zaini, “Pemetaan potensi *geothermal* Seulawah Agam berdasarkan data DEMNAS dan Landsat 8,” *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 12, no. 2, p. 151, 2022, doi: 10.13057/ijap.v12i2.49158.
- [16] A. N. Saputri, L. Rahmawati, dan A. N. Aziza, “Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Mengidentifikasi Keberadaan *Heat Flow* di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat,” *Jurnal Geosains dan Remote Sensing* (JGRS), vol. 3, no. 1, pp. 36–42, 2022. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.73>
- [17] H. Rakuasa and S. Pertuack, “Pola Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah, Kota Ternate Tahun 2013 dan 2023 Menggunakan *Google Earth Engine*,” *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 78–85, 2023, doi: 10.56211/sudo.v2i2.271.
- [18] S. A. Niken, “Analisis Potensi Panas Bumi Suoh Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP),” 2023, [Online]. Available: <http://digilib.unila.ac.id/76100/>
- [19] R. Wulansari, F. N. F. Athallah, and S. W. L. Pambudi, “Karakteristik Geomorfologi Tanah pada Formasi Geologi Kuartir Gunung Api Holocen di Wilayah Kepulauan Maluku Utara,” *J. Ecosolum*, vol. 11, no. 2, pp. 168–178, 2022, doi: 10.20956/ecosolum.v13i2.39868.

- [20] R. Irzon, “Proses Pembentukan dan Asal Material Formasi Kayasa di Halmahera Berdasarkan Unsur Jejak dan Unsur Tanah Jarang *Genesis and Material Source of Kayasa Formation in Halmahera Based on Trace and Rare Earth Elements* yang memanjang ke Pulau Gebe hingga ke rela,” vol. 40, no. 1, pp. 19–32, 2019.
- [21] R. W. Ningrum, S. Taib, M. Aswan, F. Teknik, and U. P. Morotai, “Kajian Kandungan Mineral Sinter Silika , Suhu Permukaan , dan Tipe Fluida Air Panas Waya Makawa Desa Ploly , Pulau Makian , Maluku Utara,” vol. 21, pp. 118–127, 2024.
- [22] Y. Sasongko dan A. R. Mulyana, “Laporan Pemetaan Geologi Gunungapi Kie Besi (Makian), Kab. Maluku Utara, Prov. Maluku,” *Laporan Lapangan, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi*, 1999.
- [23] T. Hartini, *Interpretasi Gradient Horizontal Dan Second Vertical Derivative Serta Pemodelan 2,5D Anomali Geomagnetik Di Area Hot Spring Natar, Lampung*. 2024.
- [24] E. R. Sri dan H. Dian, “Analisis Komparatif Penggunaan Indeks Vegetasi Daerah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dalam Mendeteksi Tingkat Vegetasi di Areal Bekas Tambang,” pp. 709–720, 2023.
- [25] A. Hardianto, P. U. Dewi, T. Feriansyah, N. F. S. Sari, and N. S. Rifiana, “Pemanfaatan Citra Landsat 8 Dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung),” *J. Geosains dan Remote Sens.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2021, doi: 10.23960/jgrs.2021.v2i1.38.

TINJAUAN KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH NEGERI SEILALE KECAMATAN NUSANIWE KOTA AMBON

Venesya Damaris Tehupuring¹, Warniyati², Monica Rina Tutkey³, Tri Octaviani Sihombing⁴

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: maristehupuring@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: warniyaties@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: monicatutkey@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: sihombing.octaviani@gmail.com

Abstrak. Pemenuhan kebutuhan air bersih sangat bergantung pada ketersediaan sumber air bersih yang ada. Negeri Seilale memiliki tiga sumber air bersih yaitu mata air Pancuran Tujuh, mata air Weslaur dan sumur bor. Sumber air tersebut hanya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan lima RT dari sepuluh RT yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau kebutuhan dan ketersediaan air bersih di Negeri Seilale untuk seluruh warga sampai tahun 2032. Penelitian ini menggunakan metode aritmatik dan geometrik untuk menghitung laju pertumbuhan penduduk. Pengukuran debit pada mata air dilakukan dengan menggunakan metode tampung. Analisis kebutuhan air bersih dilakukan berdasarkan Kriteria Perencanaan Dirjen Cipta Karya Dinas Pekerjaan Umum tahun 2000 untuk kategori desa. Berdasarkan hasil penelitian, jumlah ketersediaan air dari ketiga sumber air adalah 3,33 liter/detik, sedangkan kebutuhan air bersih di Negeri Seilale pada tahun 2032 adalah 1,81 liter/detik. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah ketersediaan air pada Negeri Seilale mampu untuk memenuhi kebutuhan air bersih sampai tahun 2032. Dengan demikian pemerintah setempat perlu mengupayakan untuk merancang jaringan pipa distribusi ke rumah-rumah penduduk supaya seluruh warga mendapatkan pelayanan air bersih.

Kata Kunci: Sumber air; debit air; kebutuhan air; ketersediaan air.

Abstract. The fulfillment of clean water needs is highly depend on the availability of existing clean water sources. The country of Seilale has three sources of clean water, namely the Pancuran Tujuh spring, the Weslaur spring and the deep well. The three water sources are only used to meet the needs of five RTs out of the ten existing RTs. This study aims to calculate the demand and availability of clean water in Seilale Village until 2032. This study uses arithmetic and geometric methods to calculate the population growth rate. Discharge measurements at springs are carried out using the reservoir method. The analysis of clean water needs was carried out based on the Planning Criteria of the Director General of Cipta Karya of the Public Works Office in 2000 for the village category. Based on the results of the study, the total water availability from the three water sources is 3.33 liters/second, while the water demand in the Seilale Village in 2032 is 1.81 liters/second. This shows that the amount of water availability in the Seilale Country is able to meet the water demand until 2032. Thus, the local government needs to strive to design a distribution pipeline network to residents' homes so that all residents get clean water services.

Keywords: Water source; water discharge, water demand; water availability.

1. PENDAHULUAN

Air memegang peranan penting di dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, kebutuhan akan air untuk keberlangsungan hidup manusia sangat tinggi. Hal ini terlihat dari pemanfaatan air untuk pemenuhan kebutuhan belum dapat digantikan dengan barang lainnya. Air memberikan manfaat bagi kehidupan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung dalam hal ini digunakan untuk keperluan domestik rumah tangga seperti mandi, masak, minum dan lain sebagainya (Lopis et al, 2017). Pemenuhan kebutuhan air bersih sangat bergantung pada ketersediaan sumber air bersih yang diantaranya dapat diperoleh dari air tanah dan air permukaan seperti Mata air dan Sungai. Mengingat air bersih merupakan kebutuhan yang tidak terbatas dan berkelanjutan yang harus terpenuhi setiap saat dengan bertambah jumlah penduduk setiap tahunnya, tidak hanya menyangkut debit yang cukup tetapi secara kualitas memenuhi standar yang berlaku dan secara kuantitas maupun kontinuitas harus dapat memenuhi kebutuhan masyarakat yang dilayaninya (Surti dan Yunus, 2021). Menurut Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 Tentang Sumber Daya Air bahwa Sumber air adalah tempat atau wadah alami dan atau buatan yang terdapat pada diatas, atau di bawah permukaan tanah.

Baik negara maju maupun negara berkembang kini mengkhawatirkan masalah penyediaan air bersih. Sebagai negara berkembang, Indonesia terutama tidak bisa mengabaikan masalah penyediaan air bersih bagi warganya. Salah satu masalah yang paling serius adalah kelangkaan air bersih yang aman, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, yang semakin tidak mampu memenuhi permintaan yang semakin meningkat baik untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Tidak dapat disangkal bahwa masih banyak lokasi di Indonesia yang mengalami kekurangan air bersih. Kualitas hidup masyarakat, serta produktivitas ekonomi dan sosialnya, dapat dipengaruhi oleh kurangnya sumber air bersih yang layak (Nugroho & Sinatriya, 2022).

Dalam penelitian ini hasil observasi dan hasil pengamatan sumber air dan jaringan pipa distribusi, berdasarkan data dari kantor Negeri Seilale, Kecamatan Nusaniwe, Kota Ambon, Negeri Seilale terdiri dari tiga (3) RW dan sepuluh (10) RT dengan luas wilayah Negeri Seilale 2,14 Km², berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku data jumlah penduduk Negeri Seilale adalah 1606 jiwa pada tahun 2022 dengan jumlah kepala keluarga 418 (KK). Sumber air bersih yang

dimanfaatkan oleh penduduk Negeri Seilale yaitu yang dimanfaatkan dari mata air Pancuran Tujuh, mata air Weslaur dan 1 sumur bor. Berdasarkan tinjauan lapangan sumber air tersebut belum memenuhi kebutuhan seluruh masyarakat Negeri Seilale, mengingat masyarakat sangat membutuhkan air bersih. Pada sumber air dari observasi lapangan terlihat sumber air ini belum dapat memenuhi keseluruhan kebutuhan masyarakat Negeri Seilale, karena hanya dapat disuplai untuk 5 RT. Sistem suplaian pun menggunakan sistem buka tutup per hari dengan pembagian 7 jaringan pipa distribusi, satu hari untuk satu jaringan pipa. Sementara kelima RT yang belum mendapatkan akses air bersih tersebut, masyarakat akhirnya membeli air dari mobil tanki air dengan harga sebesar Rp.170.000 (seratus tujuh puluh ribu rupiah) per tangki dengan kapasitas 5000 liter.

Melihat kondisi yang ada maka tujuan dari penelitian ini yaitu Menganalisis ketersediaan air bersih untuk Negeri Seilale dan menghitung jumlah kebutuhan air bersih di Negeri Seilale untuk 10 tahun kedepan. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemecahan masalah air bersih untuk Negeri Seilale.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Negeri Seilale, Kecamatan Nusaniwe, Kota Ambon.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Jenis Dan Sumber Data

Adapun jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari data primer dan data sekunder:

- 1 Data primer, yaitu data debit sumber air yang diperoleh dengan cara pengukuran langsung di lapangan.
- 2 Data sekunder, yaitu data yang diperoleh peneliti yang berasal dari referensi-referensi dan

literatur lainnya, serta data yang dikumpulkan dari berbagai instansi-instansi terkait yang memiliki data yang diperlukan dalam studi ini. Data sekunder meliputi: data jumlah penduduk yang didapat dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku dan data fasilitas umum yang didapat dari Kantor Negeri Seilale.

2.3 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu antara lain :

1. Analisis Proyeksi Jumlah penduduk

Untuk menentukan kebutuhan air bersih pada masa mendatang pada masing-masing zona perlu terlebih dahulu diperhatikan keadaan pertumbuhan penduduk yang ada pada saat ini dan proyeksi jumlah penduduk pada masa mendatang.

Adapun analisis yang akan dilakukan, yaitu :

1) Perhitungan rerata pertumbuhan penduduk di Negeri Seilale sampai dengan tahun rencana berdasarkan jumlah dan kepadatan penduduk di wilayah tersebut.

2) Memprediksi/ memproyeksikan jumlah penduduk di Negeri Seilale sampai tahun rencana dengan menggunakan metode pilihan yang menghasilkan koefisien korelasi terbesar atau standar deviasi terkecil.

perhitungan metode yang diantaranya:

a. Metode Aritmatika

Rumus perhitungannya :

$$P_n = P_o(1 + r \times n) \quad (1)$$

$$r = \left(\frac{P_n - P_o}{P_o \times n} \right) \quad (2)$$

dimana P_n adalah jumlah pertumbuhan penduduk, P_o adalah jumlah penduduk (jiwa), r adalah laju pertumbuhan penduduk, dan n adalah periode waktu antara tahun dasar dan tahun akhir

b. Metode Geometrik

Rumus perhitungannya :

$$P_n = P_o(1 + r)^n \quad (3)$$

$$r = \left(\left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (4)$$

dimana P_n adalah jumlah pertumbuhan penduduk, P_o adalah jumlah penduduk (jiwa), r adalah laju pertumbuhan penduduk, dan n adalah periode waktu antara tahun dasar dan tahun akhir

2. Analisis Ketersediaan air bersih

Dalam menentukan ketersediaan jumlah air bersih dilakukan dengan menghitung debit sumber air, data debit diperoleh dengan cara pengukuran langsung di lapangan diantaranya.

1) Pengukuran debit mata air

Pengukuran debit mata air menggunakan

metode tampung. Sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu melakukan kalibrasi menggunakan gelas ukur 1 liter khusus air pada wadah volume tampung. Air yang akan di ukur di tampung dalam wadah yang relatif besar dan waktunya dicatat dengan *stop watch* pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali dan diambil rata-ratanya. Perhitungan debit dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5)$$

dimana Q adalah debit air (liter/detik), V adalah volume tampungan (liter), dan t adalah waktu tampungan (detik).

2) Pengukuran debit sumur bor

Pengukuran debit pada sumur bor dilakukan dengan cara mengukur volume bak penangkap (*brongcaping*) dan mencatat durasi waktu ketika air dialirkan hingga bak penangkap penuh. Perhitungan debit dilakukan dengan menggunakan persamaan (5).

3. Analisis kebutuhan air bersih

Dalam analisis kebutuhan air bersih dihitung berdasarkan Kriteria Perencanaan Dirjen Cipta Karya Dinas Pekerjaan Umum tahun 2000 untuk kategori Desa. Langkah-langkah perhitungan kebutuhan air bersih adalah sebagai berikut :

1) Menentukan dasar-dasar perhitungan diantara yaitu Jumlah penduduk di wilayah penelitian

2) Perhitungan jumlah kebutuhan air bersih

- Kebutuhan domestik
- Kebutuhan non domestik
- Kebutuhan air bersih total
- Kehilangan air
- Kebutuhan air rata-rata
- Kebutuhan air maksimum dan jam puncak

2.4 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2023.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Jumlah Penduduk

Dalam menghitung kebutuhan air bersih diperlukan data jumlah penduduk yang menjadi pengguna layanan/konsumen. Data jumlah penduduk Negeri Seilale adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah penduduk Negeri Seilale

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2016	1816
2	2017	1622
3	2018	1622
4	2019	1632
5	2020	1535

6	2021	1532
7	2022	1606

Sumber: BPS Provinsi Maluku

Dari data Tabel 1, menunjukan bahwa tingkat pertumbuhan Negeri Seilale dari tiap tahun mengalami peningkatan yang tidak konsisten atau naik turun.

3.1.1 Laju Pertumbuhan Penduduk Rata-rata

Laju pertumbuhan penduduk Negeri Seilale berdasarkan jumlah penduduk yang telah ada ialah dari tahun 2016-2022.

Perhitungan laju pertumbuhan penduduk (r) dapat dihitung dengan menggunakan rumus dari metode aritmatik dan metode geometrik.

a) Metode aritmatik

Menghitung laju pertumbuhan penduduk 2016 - 2017 menggunakan persamaan 2.

$$r = \left(\frac{P_n - 1}{P_0} \right) = \left(\frac{P_{2017} - 1}{P_{2016}} \right)$$

$$r = \left(\frac{1622 - 1}{1816} \right) = -0,0153$$

b) Metode geometrik

Menghitung laju pertumbuhan penduduk 2016 - 2017 menggunakan Persamaan 4.

$$r = \left(\left(\frac{P_n}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right) - 1 = \left(\left(\frac{P_{2017}}{P_{2016}} \right)^{\frac{1}{7}} \right) - 1$$

$$r = \left(\left(\frac{1622}{1816} \right)^{\frac{1}{7}} \right) - 1 = -0,0160$$

Dengan cara yang sama maka diteruskan perhitungan laju pertumbuhan penduduk untuk tahun-tahun selanjutnya, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Laju pertumbuhan penduduk Negeri Seilale

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk (%)	
		Aritmatik	Geometrik
2016	1816		
2017	1622	-0,0153	-0,0160
2018	1622	0,0000	0,0000
2019	1632	0,0009	0,0009
2020	1535	-0,0085	-0,0087
2021	1532	-0,0003	-0,0003
2022	1606	0,0069	0,0068
Total	11365	-0,0163	-0,0174
Rata-rata ratio		-0,23%	-0,25%

Sumber: Hasil Analisa 2023

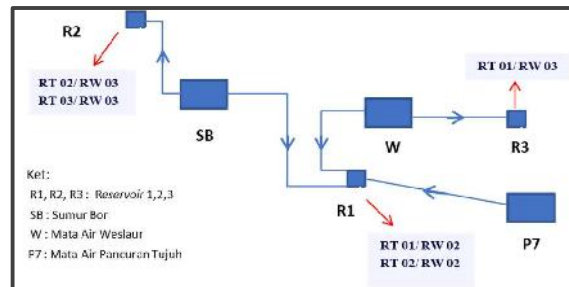
Dari Tabel 2, rata-rata rasio laju pertumbuhan penduduk Negeri Seilale

mendapatkan hasil negatif yang dimana metode aritmatik mendapatkan hasil -0,23% dan metode geometrik -0,25%.

Dari hasil tersebut maka perhitungan proyeksi untuk 10 tahun kedepan tidak dihitung lagi. Maka digunakan data penduduk tahun 2022 sebagai prediksi untuk 10.

3.2 Ketersediaan Air Bersih

Dalam menentukan ketersediaan jumlah air bersih dilakukan dengan menghitung debit sumber air. Sumber air bersih yang dimanfaatkan oleh penduduk Negeri Seilale yaitu dari mata air Pancuran Tujuh, mata air Weslaur dan 1 sumur bor. Dari hasil observasi lapangan untuk sarana air bersih Desa Seilale terdiri dari tiga buah *broncaptering* dan tiga buah *reservoir*. Untuk ukuran *Broncaptering* di mata air pancuran tujuh 6m×2,5m×2m, di daerah mata air weslaur menggunakan profil tank 5000 L, dan untuk sumur bor ukuran *Broncaptering* adalah 3,05m×2m×2,5m. Sedangkan untuk ukuran ketiga *reservoir* adalah 9m×3×2,5m; 3m×3m×3m; dan 2m×2m×1,5m. Skema alur pembagian air dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pembagian Air

3.2.1 Debit air pada mata air Pancuran Tujuh

Perhitungan pengukuran debit menggunakan Persamaan 5. Hasil perhitungan bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran debit mata air Pancuran Tujuh

Pengukuran	Waktu (T) (detik)	Volume Penampung (V) (Liter)	Q (Liter/detik)
P1	18,85	23	1,22
P2	18,45	23	1,25
P3	18,49	23	1,24
P4	18,42	23	1,25
P5	18,89	23	1,22
Rata-rata			1,24

Sumber: Hasil Analisa 2023

3.2.2 Debit air pada mata air Weslaur

Pengukuran debit dilakukan sebanyak 5 kali percobaan dan perhitungannya menggunakan

Persamaan 5. Hasil perhitungan bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran debit mata air Weslaur

Pengukuran	Waktu (T) (detik)	Volume Penampung (V) (Liter)	Q (Liter/detik)
P1	18,41	23	125
P2	18,64	23	1,23
P3	18,11	23	1,27
P4	18,60	23	1,24
P5	18,66	23	1,23
Rata-rata			1,24

Sumber: Hasil Analisa 2023

3.2.3 Debit air pada Sumur Bor

Pengukuran debit pada sumur bor dilakukan dengan cara mengukur volume bak penangkap (*broncaptering*) yang berbentuk balok dan mencatat durasi waktu ketika air dialirkan hingga bak penangkap tersebut penuh.

Perhitungan volume *broncaptering* menggunakan rumus volume balok, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= P \times L \times T \\
 &= 3,05\text{m} \times 2\text{m} \times 2,5\text{m} \\
 &= 15,25 \text{ m}^3 = 15.250 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Kriteria perencanaan air bersih

No	Uraian	Kategori Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.000	100.000	20.000	<20.000
			s/d	s/d	s/d	
		1.000.000	500.000	100.000	20.000	
		Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1.	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (liter/jiwa/hari)	190	170	150	130	80
2.	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) (liter/jiwa/hari)	30	30	30	30	30
3.	Konsumsi Unit Non Domestik (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4.	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5.	Faktor Harian Maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6.	Faktor Jam Puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7.	Jumlah Jiwa Per SR (Jiwa)	5	5	5	5	5
8.	Jumlah Jiwa Per HU (Jiwa)	100	100	100	100	100
9.	Sisa Tekan Di Penyediaan	10	10	10	10	10

Waktu = 5 jam = 18.000 detik

Perhitungan pengukuran debit menggunakan Persamaan 1, sebagai berikut:

$$Q = \frac{15.250 \text{ liter}}{18.000 \text{ detik}} = 0,85 \text{ liter/detik}$$

3.2.4 Total debit air

Total debit air diperoleh dari penjumlahan antara ketiga sumber air. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Total debit air

No	Sumber Air	Q (Liter/detik)
1	Mata air pancuran tujuh	1.24
2	Mata air weslaur	1.24
3	sumur bor	0.85
Total		3.33

Sumber: Hasil Analisa 2023

3.3 Kebutuhan Air Bersih

Untuk menghitung kebutuhan air bersih Negeri Seilale dihitung berdasarkan Kriteria Perencanaan Dirjen Cipta Karya Dinas Pekerjaan Umum tahun 2000 kategori Desa.

		Kategori Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
No	Uraian	>1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	<20.000
		Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
		Distribusi (mka)				
10.	Jam Operasi (Jam)	24	24	24	24	24
11.	Volume Reservoir (%) (max Demand)	20	20	20	20	20
12.	SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13.	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70

Sumber : Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000 dalam Arianto et al, 2019

3.3.1 Cakupan pelayanan

Berdasarkan Tabel 6 untuk kategori Desa, jumlah cakupan pelayanan 70% maka jumlah jiwa disesuaikan dengan cakupan layanannya. Untuk perhitungannya digunakan data jumlah penduduk tahun 2022 yang di proyeksi sama untuk 10 tahun kedepan. Hasil perhitungan dibawah ini.

Cakupan pelayanan jiwa
 $= \text{Jml penduduk 2022} \times 70\%$
 $= 1606 \times 70\%$
 $= 1124 \text{ jiwa}$

3.3.2 Sambungan rumah (SR)

Berdasarkan Tabel 6 untuk kategori Desa, tingkat pelayanan untuk Sambungan Rumah (SR) adalah 70%, dengan kebutuhan air adalah 80 liter/jiwa/hari, dengan mengasumsikan dalam satu keluarga terdapat 5 jiwa maka jumlah sambungan rumah (SR) dan kebutuhan air dapat di hitung.

Berikut ini adalah perhitungan cakupan pelayanan sambungan rumah, jumlah sambungan rumah dan kebutuhan air sambungan rumah untuk Negeri Seilale tahun 2022.

Cakupan Pelayanan SR $= 1124 \times 70\%$
 $= 787 \text{ jiwa}$

Sambungan Rumah (SR) $= \frac{787 \text{ jiwa}}{5 \text{ (jiwa)}} = 157 \text{ unit}$

Kebutuhan Air (SR) $= \frac{787 \text{ jiwa} \times 80 \text{ liter/jiwa/hari}}{86400 \text{ detik/hari}}$
 $= 0,73 \text{ liter/detik}$

3.3.3 Hidran umum (HU)

Berdasarkan Tabel 6 untuk kategori Desa, tingkat pelayanan untuk Hidran Umum (HU) adalah 30% , dengan kebutuhan air adalah 30 liter/jiwa/hari, dengan jumlah jiwa adalah 100 jiwa. Dengan data ini maka jumlah Hidran Umum (HU) dan kebutuhan air dapat di hitung.

Berikut ini adalah perhitungan cakupan pelayanan hidran umum, jumlah hidran umum dan kebutuhan air hidran umum untuk Negeri Seilale tahun 2022.

Cakupan Pelayanan HU $= 1124 \times 30\%$
 $= 337 \text{ jiwa}$

Hidran Umum (HU) $= \frac{337 \text{ jiwa}}{100 \text{ (jiwa)}} = 3,37 \text{ unit} \approx 4 \text{ unit}$

Kebutuhan Air (HU) $= \frac{337 \text{ jiwa} \times 30 \text{ liter/jiwa/hari}}{86400 \text{ detik/hari}}$
 $= 0,12 \text{ liter/detik}$

3.3.4 Kebutuhan air domestik

Perhitungan kebutuhan air domestik dihitung untuk tahun 2022 dan untuk 10 tahun kedepan diasumsikan sama.

Perhitungan tahun 2022:

Kebutuhan Air (SR) $= 0,73 \text{ liter/detik}$

Kebutuhan Air (HU) $= 0,12 \text{ liter/detik}$

Jumlah Kebutuhan Air Domestik

$= \text{Kebutuhan Air (SR)} + \text{Kebutuhan Air (HU)}$

$= 0,73 \text{ liter/detik} + 0,12 \text{ liter/detik}$

$= 0,85 \text{ liter/detik}$

Dari hasil analisa kebutuhan air untuk Sambungan Rumah (SR) dan Hidran Umum (HU) maka di dapatkan jumlah kebutuhan air domestik yaitu 0,85 liter/detik.

3.3.5 Kebutuhan air non domestik

Kebutuhan air non domestik Negeri Seilale termasuk dalam kategori Desa dengan kriteria perencanaan pada Dinas PU dapat dilihat dalam Tabel 7.

Tabel 7. Kebutuhan air non domestik untuk kategori desa

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	5	Liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
Puskesmas	1.200	Liter/unit/hari
Hotel/ Losmen	90	Liter/ hari
Komersial/Industri	10	Liter/hari

Sumber : Kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000 dalam Arianto et al, 2019

1. Fasilitas Pendidikan

Fasilitas pendidikan dari peraturan Ditjen Cipta Karya Dep. PU tahun 2000 faktor yang diperhitungkan adalah jumlah murid dengan kebutuhan air 5 liter/jiwa/hari. Fasilitas pendidikan pada Negeri Seilale ada terdapat 4 Sekolah diantaranya Paud Melbukrani, Paud Velove Vexia, Tk Kristen Seilale dan SD Negeri Seilale. Data jumlah pelajar dipakai data tahun ajaran 2022/2023-2 yang dihitung dan dipakai untuk kebutuhan air sampai 10 tahun kedepan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kebutuhan air fasilitas pendidikan

Fasilitas Pendidikan	Tahun Ajaran	Jumlah Pelajar	Konsumsi Air (liter/jiwa/hari)	Jumlah Kebutuhan Air (liter/detik)
Paud Melbukrani	2022/2023-2	32	5	0,0019
Paud Velove Vexia	2022/2023-2	32	5	0,0019
TK Kristen Seilale	2022/2023-2	16	5	0,0009
SD Negeri Seilale	2022/2023-2	110	5	0,0064
Total			Σ	0,0110

Sumber: Hasil Analisa 2023

2. Fasilitas Peribadatan

Fasilitas peribadatan yang digunakan masyarakat Negeri Seilale yaitu terdapat 1 unit Gereja dengan konsumsi air 500 liter/unit/hari dan untuk proyeksi jumlah gereja diasumsikan untuk 10 tahun kedepan tidak ada pertambahan atau pembangunan gereja baru. Perhitungan Kebutuhan air untuk fasilitas Peribadatan dapat dilihat dibawah ini.

Kebutuhan Air Fasilitas Peribadatan

$$= \frac{\text{Jumlah Unit} \times \text{Konsumsi Air}}{86400 \text{ detik/hari}}$$

$$= \frac{1 \text{ unit} \times 500 \text{ liter/unit/hari}}{86400 \text{ detik/hari}} = 0,0058 \text{ liter/detik}$$

3. Fasilitas Perkantoran

Berdasarkan Kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000, konsumsi air untuk perkantoran adalah 10 liter/pegawai/hari. Negeri Seilale memiliki 1 kantor Negeri. Bersumber dari Profil Negeri Seilale jumlah pegawai pemerintah adalah 8 pegawai dan untuk proyeksi diasumsikan jumlah pegawai perkantoran 10 tahun kedepan tidak bertambah. Perhitungan Kebutuhan air untuk fasilitas perkantoran dapat dilihat dibawah ini.

Kebutuhan Air Fasilitas Perkantoran

$$= \frac{\text{Jumlah Pegawai} \times \text{Konsumsi Air}}{86400 \text{ detik/hari}} = \frac{8 \text{ Pegawai} \times 10 \text{ liter/pegawai/hari}}{86400 \text{ detik/hari}} = 0,0009 \text{ liter/detik}$$

4. Fasilitas Kesehatan

Perkembangan fasilitas kesehatan Negeri Seilale sampai tahun 2032 diasumsikan bersifat konstan, artinya tidak ada pertambahan untuk fasilitas jenis ini, maka jumlah kebutuhan air untuk fasilitas ini tetap dari tahun 2022-2032. Negeri Seilale memiliki satu puskesmas. Berdasarkan Kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000 Konsumsi air untuk puskesmas adalah 1200 liter/unit/hari. Perhitungan Kebutuhan air untuk fasilitas kesehatan dapat dilihat dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air Fasilitas Kesehatan} &= \frac{\text{Jumlah Unit} \times \text{Konsumsi Air}}{86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}}} \\ &= \frac{1 \text{ unit} \times 1200 \text{ liter/unit/hari}}{86400 \text{ detik/hari}} \\ &= 0,0139 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

5. Jumlah kebutuhan air non domestik

Perhitungan Total kebutuhan air non domestik dapat dilihat dibawah ini.

Kebutuhan Air Non domestik

$$\begin{aligned} &= \text{Fasilitas Pendidikan} + \text{Fasilitas Peribadatan} + \\ &\quad \text{Fasilitas Perkantoran} + \text{Fasilitas Kesehatan} \\ &= 0,0110 + 0,0058 + 0,0009 + 0,0139 \\ &= 0,03 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa kebutuhan air untuk setiap fasilitas maka didapatkan jumlah kebutuhan air non domestik yaitu 0,03 liter/detik. Perhitungan kebutuhan air non domestik dihitung untuk tahun 2022 dan untuk 10 tahun kedepan diasumsikan sama.

3.3.6 Total kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik

Perhitungan Total kebutuhan air dapat dilihat dibawah ini.

Total Kebutuhan Air

= Kebutuhan Air Domestik + Kebutuhan Air Non Domestik

= 0,85 liter/detik + 0,03 liter/detik

= 0,88 liter/detik

Dari hasil analisa kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik maka di dapatkan jumlah total kebutuhan air Negeri Seilale sampai tahun 2032 yaitu 0,88 liter/detik.

3.3.7 Kebutuhan air rata-rata

Sebelum masuk ke perhitungan kebutuhan air rata-rata terlebih dulu dihitung untuk perhitungan kehilangan air yaitu sebagai berikut.

Kehilangan Air = Total Kebutuhan Air $\times$ 25%

= 0,88 liter/detik $\times$ 25%

= 0,22 liter/detik.

Dari hasil perhitungan diatas kemudian, dihitung kebutuhan air rata-rata sebagai berikut.

Kebutuhan Air Rata-rata

= Total Kebutuhan Air + Kehilangan Air

= 0,88 liter/detik + 0,22 liter/detik

= 1,1 liter/detik

3.3.8 Kebutuhan air harian maksimum

Kebutuhan air harian maksimum merupakan pemakaian air tertinggi pada hari tertentu pada 1 tahun. Perhitungan kebutuhan air harian maksimum dapat dilihat dibawah ini.

Kebutuhan air harian maksimum

= Faktor harian maksimum $\times$ Kebutuhan Air Rata-rata

= 1,1 $\times$ 1,1 liter/detik

= 1,21 liter/detik

3.3.9 Kebutuhan air jam puncak

Kebutuhan air jam puncak merupakan pemakaian air tertinggi pada jam tertentu selama periode 1 hari. Perhitungan kebutuhan air jam puncak dapat dilihat dibawah ini.

Kebutuhan air jam puncak

= Faktor jam puncak $\times$ Kebutuhan harian maksimum

= 1,5 $\times$ 1,21 liter/detik

= 1,81 liter/detik

Dari perhitungan di atas didapat hasil kebutuhan air jam puncak yaitu 1,81 liter/detik.

3.3.10 Perbandingan antara kebutuhan air dan debit pada sumber air

Kebutuhan air jam puncak di Negeri Seilale yang telah di analisa untuk 10 tahun mendatang akan di dibandingkan terhadap total debit air dari ketiga sumber air yang ada di Negeri Seilale. Hasil perbandingannya, berikut ini.

Tahun 2032 = Kebutuhan Air Jam Puncak 1,81 liter/detik < Total Debit Air 3,33 liter/detik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan diatas, jumlah ketersediaan air di Negeri Seilale adalah 3,33 Liter/detik. Sedangkan, kebutuhan air pada tahun 2032 adalah 1,81 liter/detik. Hal ini menunjukan bahwa jumlah ketersediaan air pada Negeri Seilale masih mampu untuk memenuhi kebutuhan air bersih sampai tahun 2032

Tetapi kenyataan yang terjadi di Negeri Seilale tidak semua warga kebutuhan airnya terpenuhi hal ini disebabkan karna saat ini sumber air tersebut masih dimanfaatkan oleh lima RT. Melihat potensi ketersediaan air yang ada maka masih bisa dimanfaatkan untuk lima RT yang lainnya. Sehingga pemerintah setempat perlu mengupayakan untuk merancang jaringan pipa distribusi ke rumah-rumah penduduk, sehingga dapat menjangkau daerah yang belum mendapatkan akses air bersih

DAFTAR PUSTAKA [Times New Roman, 11 pt, Bold]

- [1] Arianto, A., Sundari, Y. S., Nur, A., 2019. *Perencanaan Instalasi Pipa Distribusi Air Bersih Di Desa Laham Kecamatan Laham Kabupaten Mahakam Ulu Provinsi Kalimantan Timur*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda. <http://ejurnal.untagsmd.ac.id/index.php/TEK/article/view/4086/3923>
- [2] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Ambon. Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku, 2022. Data Penduduk Desa Seilale Tahun 2016-2022.
- [3] Kaimudin, R., 2021. *Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih (Studi Kasus Pada PDAM IKK Unit Desa Hila Kecamatan Leihitu, Maluku Tengah)*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. **Fakultas Teknik**. Universitas Pattimura.
- [4] Latuputty, J. 2022. *Perencanaan Distribusi Air Bersih Desa Airlouw Atas (Lapang), Kecamatan Nusaniwe, Kota Ambon*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. **Fakultas Teknik**. Universitas Kristen Indonesia Maluku.
- [5] Lopis, R. A. C., Laoh, O. E. H., Sondakh, M. L., 2017. *Valuasi Sumber daya Air (Studi Kasus Kawasan Mata Air Tataneyan Di Kelurahan Kinilow I, Kecamatan Tomohon Utara, Kota Tomohon)*. Jurnal Agri-SosioEkonomi Unsrat, ISSN 1907– 4298, Volume 13 Nomor 1A.

- https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/ji_sep/article/view/14961/14533
- [6] Nugroho, H. A., & Sinatriya, M. 2022. *Analisis Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Bersih Di Kecamatan Sumber Kabupaten Rembang*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. **Fakultas Teknik**. Universitas Sultan Agung Semarang.
https://repository.unissula.ac.id/25455/1/30201604414_fullpdf.pdf
- [7] Nussy, S. M., Sakliressy, A. Tiweri, C. J. 2019. *Analisa Kebutuhan Air Bersih Desa Leahari Kecamatan Leitimur Selatan Kota Ambon*. Jurnal Manumata Vol 5, No 2, Universitas Kristen Indonesia Maluku.
<https://ojs.ukim.ac.id/index.php/manumata/article/view/249/177>
- [8] Profil Desa Seilale Tahun (2021). Desa Seilale.
- [9] Sahertian, D. F. W., Warniyati, Tutkey, M.R., Sihombing, T.O. 2023. Potensi Mata Air Aer Babunyi Dan Rancangan Sistem Pipa Untuk Penyediaan Air Bersih Di Negeri Porto, Provinsi Maluku. Jurnal Manumata Vol. 9, No. 2, Universitas Kristen Indonesia Maluku.
<https://ojs.ukim.ac.id/index.php/manumata/article/view/1186/850>
- [10] Surti & Yunus. 2021. *Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Air Bersih di Daerah Duri Kabupaten Enrekang*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Pengairan. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Makasar.
<https://id.scribd.com/document/592503437/13307-Full-Text>
- [11] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2019 tentang *Sumber Daya Air*.
https://jdih.esdm.go.id/storage/document/UU_Nomor_17_Tahun_2019.pdf

STUDI EKSPERIMEN SIFAT MEKANIS KOMPOSIT YANG DIPERKUAT SERAT ALAM COCONUT BARK FIBER DENGAN ORIENTASI SERAT MEMANJANG

Arthur Y. Leiwakabessy¹⁾, Sefnath J. Etwan Sarwuna²⁾, W. M. E. Wattimena³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: arthur.leiwakabessy@gmail.com,

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: etwansarwuna19@gmail.com,

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

Email: wmewattimena273@gmail.com,

Abstrak Potensi produksi kelapa yang cukup luas ini selain bermanfaat untuk sumber pendapatan masyarakat tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai potensi serat alam menggunakan limbah pelapah kelapa tersebut sebagai salah satu bahan penguat pembuatan material komposit. Serat pelepah kelapa sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang di distribusikan oleh matrik. Orientasi serat pelepah kelapa yang dikombinasi dengan polyester sebagai matrik, akan dapat menghasilkan komposit alternatif yang bermanfaat dalam dunia industri. Penelitian ini dilakukan secara ekperimental menggunakan variasi volume 10:90%, 20:80%, 30:70%, 40:60%, 50:50%. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekuatan impact menunjukkan nilai kekuatan impact maksimal diperoleh pada fraksi 50:50% matriks dengan nilai 0,19, selanjutnya terjadi penurunan untuk variasi fraksi volume 10:90% matriks dengan nilai 0,12, hasil ini dianalisis masih layak untuk digunakan sebagai material pembuatan lambung kapal karena nilai kekuatan impact sesuai standar yang ditentukan. Penambahan fraksi volume serat menunjukkan serat penguat semakin banyak dalam komposit sehingga gaya yang diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat penguatnya. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar komposit bahwa serat berfungsi sebagai penguat.

Kata kunci : Serat Pelepah Kelapa, Fraksi Volume, Komposit

Abstract The potential of coconut production is quite extensive, in addition to being useful as a source of income for the community, it can also be utilized as a potential natural fiber using coconut stem waste as one of the reinforcing materials for making composite materials. Coconut stem fiber as a reinforcing element greatly determines the mechanical properties of the composite because it transmits the load distributed by the matrix. The orientation of coconut stem fiber combined with polyester as a matrix will be able to produce alternative composites that are useful in the industrial world. This study was conducted experimentally using volume variations of 10:90%, 20:80%, 30:70%, 40:60%, 50:50%. The test results showed that the impact strength value showed that the maximum impact strength value was obtained at a 50:50% matrix fraction with a value of 0.19, then there was a decrease for the 10:90% matrix volume fraction variation with a value of 0.12, these results were analyzed as still suitable for use as a material for making ship hulls because the impact strength value was in accordance with the specified standards. The addition of fiber volume fraction shows that there are more reinforcing fibers in the composite so that the force received by the matrix will be transmitted to the reinforcing fibers. This is in accordance with the basic principle of the composite that fibers function as reinforcement.

Keywords: Coconut Stem Fiber, Volume Fraction, Composite

1. PENDAHULUAN

Potensi serat alam dari tumbuhan dapat diperoleh dari produk unggulan maupun pada limbahnya. Potensi serat alam dari limbah pertanian, perkebunan dan hutan juga besar di Indonesia. Limbah perkebunan yang mempunyai potensi cukup besar meliputi kelapa sawit, kelapa, karet dan kakao. Sehubungan potensi serat alam cukup luas, maka untuk kedalaman kajian dan analisa, pendalaman potensi serat alam sebagai serat komposit hanya difokuskan pada analisa pelepah kelapa. Potensi produksi kelapa cukup melimpah di Indonesia. Di tingkat internasional, areal perkebunan kelapa Indonesia terbesar di dunia yakni pada tahun 1999 seluas 3,712 juta ha (31,2 persen) dari total areal dunia 11,909 juta ha (100 persen). [1][2]

Penggunaan serat dari pelepah kelapa sendiri belum banyak dilakukan dan dikembangkan serta informasinya masih sangat terbatas. Dengan demikian pengembangan serat pelepah kelapa sebagai material komposit ini sangat dimaklumi mengingat dari segi ketersediaan bahan baku serat alam, Indonesia memiliki bahan baku yang cukup melimpah. Serat pelepah kelapa sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang di distribusikan oleh matrik. Orientasi serat pelepah kelapa yang dikombinasi dengan polyester sebagai matrik, akan dapat menghasilkan komposit alternatif yang bermanfaat dalam dunia industri. [3][4]

Perlu adanya pengembangan bahan baku material penguat komposit yang ramah lingkungan. Bahan alternatif

tersebut nantinya harus berorientasi pada harga yang murah, jumlah yang melimpah, kualitas yang tinggi serta ramah lingkungan. Serat pelepah kelapa adalah serat alami alternatif dalam pembuatan komposit, yang pemanfaatannya terus dikembangkan agar dihasilkan komposit yang lebih sempurna dikemudian hari. Serat kelapa ini mulai dilirik penggunaannya karena selain mudah didapat, murah, dapat mengurangi polusi lingkungan (biodegradability) sehingga komposit ini mampu mengatasi permasalahan lingkungan yang mungkin timbul dari banyaknya serat kelapa yang tidak dimanfaatkan, serta tidak membahayakan kesehatan. Pengembangan serat kelapa sebagai material komposit ini sangat menarik mengingat ketersediaan bahan baku di Indonesia cukup melimpah. Potensi produksi kelapa cukup melimpah di Indonesia. Sentral produksi kelapa Indonesia terdapat di daerah Sumatra, Jawa dan Sulawesi dengan luas 2,841 juta ha (76,5% dari areal total Indonesia [5][6]

Penelitian ini dititik beratkan untuk mengetahui kekuatan impact dan bending material sesuai dengan aplikasi yang diinginkan. Arah dan aplikasi dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan material baru yang merupakan campuran *epoxy* dengan serat pelepah kelapa sehingga diharapkan dapat bermanfaat sebagai alternatif untuk pembuatan lambung kapal ikan. Kapal ikan yang digunakan di wilayah Maluku sebagian besar masih menggunakan material kayu, Sesuai dengan peraturan pemerintah dalam hal pembatasan pembangunan kapal ikan berbahan kayu pada tahun 2016, maka

penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi terhadap anjuran pemerintah dengan memanfaatkan serat alami untuk proses pembangunan kapal ikan di wilayah Maluku.

Urgensi dari penelitian ini karena penggunaan komposit berbasis serat sangat beragam Mulai dari variasi jenis matrik dan serat. Penelitian juga berkembang dengan penggunaan bahan serat alam untuk beberapa variasi matrik sintesis dan alami. Komposit dengan penguat serat alam ini semakin intensif dikembangkan. Ini berkaitan dengan meluasnya penggunaan komposit pada berbagai bidang kehidupan serta tuntutan penggunaan material yang murah, ringan, sifat mekanik yang kuat dan tidak korosif, sehingga dapat menjadi bahan alternatif selain logam. Mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga sampai sektor industri baik industri skala kecil maupun industri skala besar seperti dalam industri pesawat terbang, otomotif, maupun untuk alat-alat olah raga [7][8][9]

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Karakteristik Material Komposit

Salah satu faktor penting dalam menentukan karakteristik material komposit adalah kandungan atau presentasi antara matriks dan serat. Sebelum melakukan pencetakan komposit, terlebih dahulu harus dilakukan penentuan volume komposit (V_c), volume serat (V_{SOTI}), massa serat dan massa matriks sebelum dicetak.[9]

Volume Komposit (V_c):

$$v_c = P.l.t \quad (1)$$

Volume fraksi serat (V_r):

Dimana :

$$v_f = \frac{v_f}{v_c} \quad (2)$$

Volume fraksi matriks (V_m):

$$v_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (3)$$

Bila pendulum pada kedudukan h_1 dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan fungsi akhir pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula h_1 dimana pendulum mengayun bebas. Pada uji impact, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali, semakin besar energi yang terserap, semakin rendah ayunan kembali dari bandul. Nilai harga impact pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji. Persamaannya sebagai berikut;[9]

$$HI = \frac{E}{A} = \frac{M \cdot G (H_1 - H_2)}{A} \quad (4)$$

Rumus untuk energi serap untuk uji

impak

$$E = m.g.r.(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (5)$$

Analisis kekuatan impact di lakukan dengan menggunakan pengujian charpy. besatrnnya kekuatan impact pada komposit dapat di tentukan dengan persamaan:

$$a_{CN} = \frac{W}{h \times b_N} \quad (6)$$

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh fraksi volume komposit serat pelapah

kelapa dengan orientasi serat memanjang dengan menggunakan resin epoksi terhadap sifat mekanis kekuatan impact.

Serat pelepah kelapa diambil dan dipisahkan kemudian dibersihkan dan dikeringkan di udara terbuka. Serat kemudian direndam dalam suatu wadah pada larutan NaOH dengan aquades selama 120 menit. Setelah melalui proses alkalisasi, serat dicuci dengan air bersih yang mengalir ± 20 menit lalu dikeringkan. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up*, antara lain: penimbangan serat pelepah kelapa dan resin epoksi sesuai fraksi volume yang ditentukan, penyiapan cetakan, pencampuran epoksi dengan katalis (2:1), matrik dituang ke dalam cetakan sesuai fraksi volume yang ditentukan, pengeringan komposit menggunakan suhu ruangan, lakukan pengamatan pada spesimen dan pengambilan data penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hasil Energi Serap

Hasil pengujian impact serat pelepah kelapa dan di peroleh nilai energy serap untuk masin-masing specimen dengan setiap perbandingan fraksi volume.

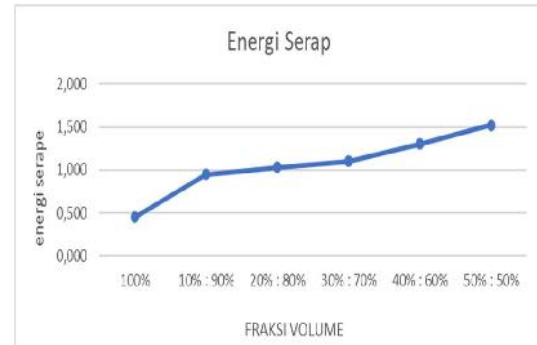
Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Specimen Untuk Nilai Energy Serap

Fraksi Volume	Energi Serap
10:90%	0,85
20:80%	1,03
30:70%	1,10
40:60%	1,30
50:50%	1,52

3.2. Analisa Grafik Energi Serap

Energi serap yang di dapat dari pengujian Impact komposit serat pelepah

kelapa terhadap setiap perbandingan fraksi volume dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik energi serap pengujian impact

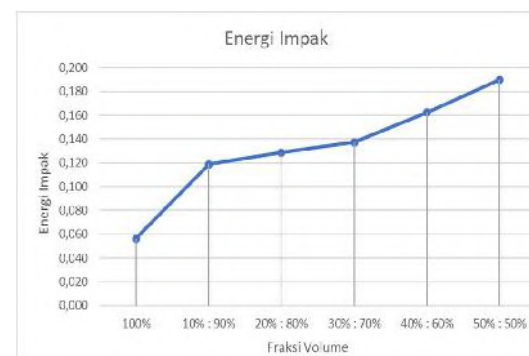
3.3 Analisa Hasil Nilai Kekuatan Impact

Pengujian Impact komposit serat pelepah kelapa terhadap setiap perbandingan fraksi volume dapat di lihat pada gambar 2.

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian Specimen Untuk Nilai Energi Impact

Fraksi Volume	Harga Impact (J/mm²)
10:90%	0,12
20:80%	0,13
30:70%	0,14
40:60%	0,16
50:50%	0,19

3.4 Analisa Grafik Nilai Impact



Gambar 2. Grafik harga impact

3.5 Pembahasan

Dari hasil pengujian impact yang dilakukan dapat nilai untuk energy serap terendah pada fraksi volume 10:90 yaitu 0,85 j, dan cenderung bertambah pada variasi fraksi volume, 20:80% yaitu 1,03 j, dan bertambah pada variasi fraksi volume 30:70%, yaitu 1,10 j, dan terus bertambah pada variasi fraksi volume 40:60% yaitu 1,30 j, dan yang tertinggi yaitu pada variasi fraksi volume, 50:50% yaitu 1,52 j.

Untuk harga impact yang didapat yang paling rendah yaitu pada fraksi volume 10:90% yaitu 0.12j, dan bertambah pada fraksi volume 20:80% yaitu 0.13 j, dan bertambah pada fraksi volume 30:70% yaitu 0.14 j, dan bertambah pada fraksi volume 40:60% yaitu 0.16 j, dan tertinggi yaitu pada fraksi volume 50:50% yaitu 0.19 j. sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi volume maka semakin besar nilai energy serap dan kekuatan impact.

Dari hasil ini kita dapat menganalisa kekuatan yang terdapat pada komposit epoksi murni dan komposit dengan campuran serat pelepah kelapa untuk menahan beban impact yang diberikan pada komposit pada saat melakukan pengujian. Penambahan serat pelepah kelapa efektif untuk ketahanan kekuatan impact.

Hal ini terjadi karena material epoksi murni rambatan patahan yang terjadi akibat beban impact, merambat terus menerus hingga terjadinya patahan tanpa ada penghalang. Sedangkan untuk penambahan serat pada material komposit rambatan patahan akibat beban impact terhambat oleh keberadaan serat. dan semakin banyak presentasi serat yang digunakan maka rambatan terhadap patahan juga semakin besar, sehingga kekuatan impact meningkat



Gambar 3. specimen 10 : 90%



Gambar 4. specimen 20 : 80%



Gambar 5. specimen 30 : 70%



Gambar 6. specimen 40 : 60%



Gambar 7. specimen 50 : 50%

Dari bentuk patahan dapat dikatakan semuanya berbentuk patahan getas atau (*brittle*) dan menunjukkan pola patahan yang segaris dan tampak mengkilap. Patah getas atau (*brittle*) seperti pada gambar, terjadi akibat karakteristik matriks yang memang

getas (*briettle*). Sifat matriks yang getas (*briettle*) sehingga memungkinkan elastisitas komposit menjadi menurun. hal ini mengindikasikan bahwa matriks masih mampu bekerja sama menerima beban impact. Bukti lain yaitu pada sepanjang permukaan komposit tidak mengalami retak.

4. SIMPULAN

Penambahan fraksi volume serat menunjukkan serat penguat semakin banyak dalam komposit sehingga gaya yang diterima oleh matriks akan diteruskan kepada serat penguatnya. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar komposit bahwa serat berfungsi sebagai penguat. Dari hasil pengujian impact di dapat nilai energy serap yang terendah dari fraksi volume 10:90%, 20:80%, 30:70%, 40:60%, 50:50% yaitu 0,85 j, dan yang tertinggi dari fraksi volume 10:90%, 20:80%, 30:70%, 40:60%, 50:50% yaitu 1,52 j. Dan untuk pengujian impact didapat kekuatan impact serat pelepah kelapa tertinggi pada fraksi volume 50:50% dengan kekuatan impact rata-rata 0,19 J, sedangkan kekuatan impact terendah pada fraksi volume 10:90% yang mempunyai kekuatan impact rata-rata 0,12.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura atas dukungan dana untuk membiayai kegiatan penelitian melalui skema PNBPF Fakultas Teknik Tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Iswidodo, A. Lungiding, and T. Prasetyo, “Pemanfaatan Serat Pelepah Kelapa dalam Pembuatan Komposit sebagai Bahan Lambung Kapal,” *Semin. Nas. TREN D Technol. Renew. Energy Dev.*, vol. 1, no. 1, pp. 50–58, 2022.
- [2] S. Darmanto, W. Sediono, B. Setyoko, and Murni, “KAJIAN PELEPAH KELAPA SEBAGAI SERAT KOMPOSIT (STUDY OF COCONUT BRANCH AS COMPOSITE FIBER) Seno Darmanto, Windu Sediono, Bambang Setyoko, Murni *),” vol. 28, no. 1, pp. 66–71, 2007.
- [3] I. P. G. Suartama, I. N. P. Nugraha, and K. R. Dantes, “Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polimer Polyester Diperkuat Serat Pelepah Gebang,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.23887/jjtm.v4i1.8312.
- [4] N. Akhmad, Hastuti Sri, P. Henanto, and H. Rino, “Pengaruh Alkali dan Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy,” *ROTASI*, vol. 21, no. 1, pp 30 – 35, 2019.
- [5] M. Budha, Sonief A. As’ad, and W. Slamet, “Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 2, no. 2, 123 – 129, 2011.
- [6] Hastuti Sri, Budiono H. S, Ivadiyanto D. I, and Nahar M. N, “Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable,” *J. Ilmiah Teknik Sipil & Teknik Kimia*, vol. 6, no. 1, page 30 – 37, 2021.
- [7] Yulian N. Dwi, Masdani, Pranandita N, “Analisis Beda Rata-rata Pengaruh Fraksi Volume Komposit pada Pengujian Impact Berpenguat Serat Resam dan Serat Pinang,” *J.*

Inovasi Teknologi Terapan, vol. 1, no. 2, 2023.

- [8] Hastuti Sri, P. Catur, and A. Yafi, “Sifat Mekanis Serat Eceng Gondok Sebagai Material Komposit Serat Alam yang *Biodegradable*,” *J. of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [9] M. Arsyad and A. Salam, “Analisis Pengaruh Konsentrasi Larutan Alkali Terhadap Perubahan Diameter Serat Sabut Kelapa, *J. Ilmiah Teknik Sipil & Teknik Kimia*, vol. 6 no. 1, page 30-37, 2021.

ANALISIS KINERJA PEGAWAI BERDASARKAN KOMPETENSI PADA UNIVERSITAS PATTIMURA.

Annalyse Picauly

Tenaga Kependidikan Universitas Pattimura

Email : annalysehetharia2003@gmail.com

Abstrak. Kinerja pegawai merupakan bentuk kegiatan yang dilakukan oleh seorang ASN dalam memberikan pelayanan kepada masyarakat. Hal ini merupakan pengaduan yang dilakukan oleh seorang ASN Pada lembaga dimana ASN tersebut bekerja. Hasil penelitian menunjukan bahwa kinerja seorang ASN ditentukan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja pegawai adalah kompetensi Pegawai tersebut . Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pegawai Universitas Pattimura berdasarkan kompetensi yang dimiliki. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif. Populasi dan sampel digunakan adalah Tenaga Kependidikan Universitas Pattimura dengan jumlah 76 orang. Hasil penelitian menunjukan bahwa kompetensi sangat mempengaruhi Kinerja ASN, dari hasil uji hipotesis diperoleh bahwa H_0 ditolak dan H_a yang berarti bahwa kompetensi sangat mempengaruhi kinerja pegawai universitas pattimura.

Kata kunci : Kompetensi, Uji Hipotesis.

1. PENDAHULUAN

Pegawai sebuah instansi merupakan komponen yang penting dalam aktivitas suatu instansi dalam memberikan pelayanan kepada publik. Sehingga diperlukan kinerja pegawai yang optimal guna mendukung pelaksanaan tugas instansi yang bersangkutan sehingga seluruh rencana yang telah ditetapkan instansi dapat tercapai. Kualitas Sumberdaya Manusia (SDM) merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan produktivitas kinerja suatu organisasi atau instansi. Oleh karena itu, diperlukan Sumberdaya Manusia yang mempunyai kompetensi tinggi karena keahlian atau kompetensi akan dapat mendukung peningkatan prestasi kinerja pegawai. Kompetensi menentukan aspek-aspek proses kinerja pekerjaan. yang meliputi, pengetahuan, keahlian, dan kemampuan yang dimiliki, dicapai seseorang yang menjadi bagian dari dirinya. Sehingga dia bisa menjalankan penampilan, kognisi, afeksi, dan perilaku psikomotorik tertentu. (Sudarmanto 2009-46).

Pada umumnya di instansi pemerintahan belum mempunyai pegawai dengan kompetensi yang memadai, ini dibuktikan dengan masih rendahnya produktivitas pegawai dan sulitnya

mengukur kinerja pegawai di lingkup instansi pemerintahan.

Universitas Pattimura merupakan salah satu instansi pemerintah yang melayani masyarakat. Jumlah pegawai pada universitas pattimura 263 PNS dengan tingkat pendidikan yang berbeda. Hal ini sangat mempengaruhi kinerja pegawai. banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pegawai di bagian administrasi universitas pattimura baik di Rektorat maupun di Fakultas-fakultas. Untuk itu dalam penelitian ini akan dikaji analisis kinerja pegawai berdasarkan kompetensi pegawai. Budaya instansi dilingkungan kerja diantara berbagai faktor dapat mempengaruhi kinerja pegawai pada Universitas Pattimura. Sehingga fokus dalam penelitian ini adalah Kompetensi pegawai terhadap kinerjanya.

2. Bahan dan Metode

2.1 Kinerja Pegawai

Kinerja Pegawai Dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 30 Tahun 2019, kinerja PNS adalah hasil kerja yang dicapai oleh setiap PNS pada organisasi/unit sesuai dengan SKP dan Perilaku Kerja. Sedangkan Sinambela (2018:480) mengemukakan bahwa kinerja pegawai didefinisikan sebagai kemampuan pegawai

dalam melakukan sesuatu keahlian tertentu. Kinerja Pegawai sangatlah perlu, sebab dengan kinerja ini akan diketahui seberapa jauh kemampuan mereka dalam melaksanakan tugas yang dibebankan kepadanya. Untuk itu, perlu penentuan kriteria yang jelas dan terukur, serta ditetapkan secara bersama-sama untuk dijadikan sebagai acuan. Kinerja pekerja atau pegawai adalah hal yang memerlukan pertimbangan yang penting sebab kinerja individual seorang pegawai dalam organisasi merupakan bagian dari kinerja organisasi dan dapat menentukan kinerja dari organisasi tersebut. Berhasil tidaknya kinerja pegawai yang telah dicapai organisasi tersebut akan dipengaruhi oleh tingkat kinerja dari pegawai secara individu maupun kelompok. Berdasarkan definisi diatas, kinerja dipandang sebagai hasil yang bersifat kualitatif dan kuantitatif. Berhasil tidaknya kinerja yang telah dicapai oleh organisasi dipengaruhi oleh tingkat kinerja pegawai secara individu maupun kelompok, dimana kinerja diukur dengan instrument yang dikembangkan dalam studi yang tergantung dengan ukuran kinerja secara umum. Kemudian diterjemahkan kedalam penilaian perilaku secara mendasar yang dapat meliputi berbagai hal yaitu : kuantitas pekerjaan, kualitas pekerjaan, 14 pendapat atau pernyataan yang disampaikan, keputusan yang diambil dalam melakukan pekerjaan dan deskripsi pekerjaan. Menurut Hussein Fattah (2017:25-26) kinerja pegawai yaitu unjuk kerja seseorang pegawai dalam melaksanakan keseluruhan tugas-tugas yang menjadi tanggung-jawabnya. Dengan dimensi dan indikator kinerja pegawai adalah : (1) hasil kerja, dengan indikator : kuantitas hasil kerja, kualitas hasil kerja, dan efisiensi dalam melaksanakan tugas; (2) perilaku kerja, dengan indikator : disiplin kerja, inisiatif, dan ketelitian; (3) sifat pribadi, dengan indikator : kepemimpinan, kejujuran, dan kreativitas

2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Pegawai

Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Pegawai Menurut Gibson dkk dalam Priansa (2017:50) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pegawai adalah variable individu, variable psikologis, variable organisasi. Variable individu meliputi

kemampuan dan keterampilan fisik ataupun mental; latar belakang, seperti keluarga, tingkat social dan pengalaman; demografis, menyangkut umur, asal-usul, dan jenis kelamin. Variable psikologis meliputi sumberdaya, kepemimpinan, imbalan, struktur, dan desain pekerjaan. Menurut Sutermaister dalam Priansa (2017:51) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pegawai terdiri atas motivasi, kemampuan, pengetahuan, keahlian, pendidikan, pengalaman, pelatihan, minat, sikap 20 kepribadian kondisi-kondisi fisik dan kebutuhan psikologis, kebutuhan social, serta kebutuhan egoistic.

2.3 Regresi Linear

Analisis regresi linier digunakan untuk memprediksi nilai suatu variabel berdasarkan nilai variabel lain. Variabel yang ingin Anda prediksi disebut variabel dependen. Variabel yang Anda gunakan untuk memprediksi nilai variabel lain disebut variabel independen.

Langkah-langkah analisis regresi linier sederhana yaitu :

1. Uji asumsi klasik (uji prasyarat) meliputi uji normalitas, uji linearitas, dan uji heteroskedastisitas.
2. Menentukan persamaan regresi
3. - Uji nyata koefisien regresi menggunakan uji-F, digunakan untuk menguji apakah model fit (tepat) atau tidak untuk memprediksi variabel Y. Nilai F ini disebut ukuran goodness of fit
- Uji parsial (uji-t), digunakan untuk mengetahui apakah ada pengaruh variabel X terhadap variabel Y
4. Menentukan koefisien determinasi, digunakan untuk mengetahui besarnya kontribusi variabel X dalam mempengaruhi variabel Y.
5. Pengambilan kesimpulan

Bentuk persamaan Regresi linear sederhana bernilai

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : Y = variabel dependen,
 X = variabel independen,
 a = konstanta (intercept),
 b = koefisien regresi (slope),

Untuk penelitian kuantitatif, terdapat beberapa uji statistik yang dapat digunakan. Berikut ini adalah beberapa uji statistik yang umum digunakan:

1. **Uji t-test:** Uji ini digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan yang signifikan antara dua sampel yang diambil dari dua populasi yang berbeda.
2. **Analysis of Variance (ANOVA):** Uji ini digunakan untuk menguji perbedaan signifikan antara lebih dari dua sampel yang diambil dari lebih dari dua populasi yang berbeda.
3. **Regresi linier:** Uji ini digunakan untuk menguji hubungan linier antara dua variabel atau lebih.
4. **Chi-square:** Uji ini digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan signifikan antara dua distribusi frekuensi.
5. **Uji Normalitas:** Uji ini digunakan untuk menguji apakah distribusi data sesuai dengan distribusi normal.

Pilihan uji statistik yang tepat tergantung pada tujuan penelitian, jenis data yang tersedia, dan hipotesis yang ingin diuji. Selalu penting untuk memahami asumsi yang mendasari setiap uji statistik dan untuk mengevaluasi apakah asumsi tersebut sesuai dengan data yang tersedia.

2.4. Metode Penelitian

Populasi yang penulis gunakan yaitu Tenaga Kependidikan Universitas Pattimura yang berjumlah 72 orang pegawai dan merupakan jumlah sampel yang penulis gunakan.

Variabel penelitian yaitu :

Variabel Bebas : Tingkat Pendidikan

Variabel Terikan : Kinerja Pegawai.

Langkah-langkah Analisis yaitu

1. Uji Validitas

Uji validitas adalah analisa untuk mengetahui tingkat kevalidan dari instrumen kuisioner yang digunakan dalam pengumpulan data. Uji validitas ini dilakukan untuk mengetahui apakah item-item yang terdapat dalam kuisioner benar-benar mampu mengungkapkan dengan pasti apa yang akan diteliti menggunakan program SPSS.

Uji validitas ini diperoleh dengan cara mengkorelasi setiap skor indikator dengan total skor indikator variabel, kemudian hasil korelasi dibandingkan dengan nilai kritis pada taraf signifikan 0,05. Syarat minimum untuk dianggap valid adalah nilai r hitung $> r$ tabel.

1. Uji Reliabilitas

Uji Reliabilitas bertujuan untuk mengetahui adanya konsistensi alat ukur dalam penggunaannya, atau dengan kata lain alat ukur tersebut mempunyai hasil yang konsisten apabila digunakan berkali-kali dalam penelitian selanjutnya.

Mengukur uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan uji statistik *cronbach alpha*. Suatu variabel dikatakan reliabel jika nilai koefisien $\alpha > 0,6$ (Ghozali, 2006:59)

3. Uji Normalitas

Uji Normalitas menurut Ghozali (2013:160) uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing variabel berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas diperlukan karena untuk melakukan pengujian-pengujian variabel lainnya dengan mengasumsikan bahwa nilai residual mengikuti distribusi normal. Jika data menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal, ini menunjukkan pola distribusi normal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas.

2. Uji t

Uji statistik t pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel penjelas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh dengan melakukan beberapa pengujian secara statistik yaitu :

1. Uji validitas

Uji Validitas sebagai alat untuk mengukur sah atau valid tidaknya suatu kuesioner. Suatu kuesioner dikatakan valid jika pertanyaan pada kuesioner mampu untuk mengungkapkan sesuatu yang akan diukur oleh kuesioner tersebut.

2. Uji Reliabilitas

Uji Reliabilitas merupakan alat untuk mengukur suatu kuesioner yang merupakan indikator dari

variable atau konstruk. Suatu kuesioner dikatakan reliable atau handal jika jawaban seseorang terhadap pernyataan adalah konsisten atau stabil dari waktu ke waktu (Ghozali, 2005). Pengukuran reliabilitas dilakukan dengan cara *oneshot* atau pengukuran sekali saja dengan alat bantu SPSS uji statistik *Cronbach Alpha* (α). Suatu konstruk atau variabel dikatakan reliable jika memberikan nilai *Cronbach Alpha* > 0.6 (Nunnally dalam Ghozali, 2005).

Berdasarkan tabel 1 Hasil pengujian reliabilitas di atas diperoleh hasil yang menunjukkan nilai *Cronbach Alpha* $> 0,6$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel dalam penelitian ini reliabel.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Variabel

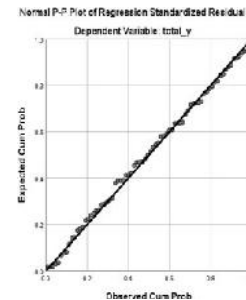
No	Variabel	Alpha	Reliabilitas	Item variable	Nilai Korelasi	sig.	Validitas
1	Kompetensi	0.891	Reliabel	X1.1	0.831	0.000	Valid
				X1.2	0.835	0.000	Valid
				X1.3	0.696	0.000	Valid
				X1.4	0.759	0.000	Valid
				X1.5	0.769	0.000	Valid
				X1.6	0.664	0.000	Valid
				X1.7	0.724	0.000	Valid
				X1.8	0.780	0.000	Valid
2	Kinerja	0.827	Reliabel	Y1.1	0.609	0.000	Valid
				Y1.2	0.575	0.000	Valid
				Y1.3	0.707	0.000	Valid
				Y1.4	0.725	0.000	Valid
				Y1.5	0.752	0.000	Valid
				Y1.6	0.599	0.000	Valid
				Y1.7	0.550	0.000	Valid
				Y1.8	0.638	0.000	Valid
				Y1.9	0.590	0.000	Valid
				Y1.10	0.676	0.000	Valid

3. Uji Normalitas

Uji Normalitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel pengganggu atau residual memiliki distribusi normal. Model regresi yang baik adalah data distribusi yang normal.

Cara untuk mendeteksi normalitas adalah dengan melihat penyebaran data (titik-titik) pada sumbu diagonal dari grafik. Dasar pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

- Jika data menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas
- Jika data menyebar jauh dari garis diagonal dan tidak mengikuti arah garis diagonal, maka model regresi tidak memenuhi asumsi normalitas.



Gambar 1. Grafik Uji Normalitas Data

4. Uji t

Pada dasarnya uji t menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel independent secara parsial dalam menerangkan variasi variabel dependent (Ghozal, 2006). $H_0 : b_i = 0$, artinya suatu variabel independent tidak berpengaruh terhadap variabel dependent. $H_a : b_i < 0$, artinya variabel independent berpengaruh terhadap variabel dependent.

Tabel 2. Hasil Uji t

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	10.918	2.839		3.846 .000
	total_x1	.941	.057	.942	16.375 .000

a. Dependent Variable: total_y

5. Pengujian Hipotesis

Uji hipotesis adalah sebuah prosedur statistik yang digunakan untuk membuat keputusan tentang nilai sebuah parameter populasi berdasarkan sampel data yang diambil dari populasi tersebut. Proses uji hipotesis melibatkan formulasi hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak adanya efek atau perbedaan, serta hipotesis alternatif (H_a) yang mengusulkan adanya efek, perbedaan, atau hubungan antara variabel yang diteliti. Uji hipotesis bertujuan untuk menentukan apakah bukti yang diperoleh dari data cukup untuk menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif, atau sebaliknya.

Hasil Uji Hipotesis dalam penelitian ini yaitu :

	Hipotesis	Nilai	Status
1.	Kompetensi berpengaruh positif terhadap Kinerja Aparatur Sipil Negara Tenaga kependidikan Unpati	t = 16.375 t tabel = 1.991 Sig = 0.000	H_0 ditolak dan H_a diterima (H_1)

Variabel Kompetensi (X1) memiliki nilai t statistik hitung sebesar 16.375, nilai ini lebih besar dari t tabel ($16.375 > 1.991$). Hasil uji t, mengandung makna analisis yakni menunjukkan secara statistik bahwa, tolak H_0 dan terima H_a

atau hipotesis yang diajukan dapat diterima. Hasil ini membuktikan bahwa variabel kompetensi berpengaruh nyata atau secara signifikan terhadap kinerja aparatur sipil negara tenaga kependidikan Universitas Pattimura

3.2. Pembahasan

Hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa kompetensi berpengaruh terhadap kinerja. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, menandakan bahwa kompetensi yang diwakili oleh indikator kompetensi intelektual, kompetensi emosional, kompetensi sosial, dan kompetensi spiritualitas pegawai memberi peran langsung terhadap kinerja. Artinya, semakin baik kompetensi yang dimiliki seorang pegawai semakin baik hasil kerja yang ditunjukkan. Dengan demikian temuan ini memperkuat penelitian sebelumnya dan didukung oleh beberapa fakta dan data empiris yang menyatakan bahwa kompetensi berupa kompetensi intelektual, kompetensi emosional, kompetensi sosial, dan kompetensi spiritualitas pegawai (Umar Makawi, Normajatun dan Abdul Haliq, 2015. Boy Aulia Sastra, 2017. Ineu Indriani, 2018)

Kompetensi atau kualitas sumber daya manusia (SDM) aparatur sipil negara tenaga kependidikan pada perguruan tinggi negeri merupakan salah satu faktor untuk meningkatkan produktivitas kinerja suatu organisasi atau instansi. Oleh karena itu, diperlukan sumber daya manusia yang mempunyai kompetensi tinggi karena kompetensi akan dapat mendukung peningkatan prestasi kinerja pegawai. Selama ini perguruan tinggi negeri belum mampu menyediakan pegawai dengan kompetensi yang memadai, ini dibuktikan dengan rendahnya produktivitas pegawai dan sulitnya mengukur kinerja pegawai di lingkup perguruan tinggi. Harapan terhadap profesionalisme ASN ini dilatarbelakangi oleh adanya kesenjangan antara kinerja yang diharapkan dengan kinerja nyata yang dihasilkan oleh ASN.

Masih ditemukan tingkat inefisiensi dalam pelaksanaan tugas merupakan bukti nyata kompetensi yang masih rendah. ASN yang kurang profesional dan kurang memiliki kesadaran moral cenderung melakukan penyalahgunaan wewenang. Untuk

menghasilkan kinerja yang optimal dalam organisasi dapat diukur dari hasil pekerjaan yang telah dilakukannya dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh organisasi, karena keberhasilan suatu organisasi dipengaruhi oleh kinerja pegawainya.

Kinerja merupakan hasil kerja yang dicapai oleh pegawai dalam melakukan tugas sesuai dengan tanggung jawabnya. Untuk mencapai hal tersebut, maka harus didukung oleh kompetensi yang memadai. Hal itu dijelaskan oleh Mathis dan Jackson (2001) menyatakan bahwa kompetensi adalah karakteristik dasar yang harus dimiliki oleh seseorang pegawai dalam hal ini tenaga kependidikan Universitas Pattimura.

4. Kesimpulan

Sesuai hasil dan pembahasan dapat disimpulkan :

1. Kompetensi berpengaruh signifikan positif terhadap kinerja pada aparatur sipil Negara tenaga kependidikan Universitas Pattimura. Hipotesis diterima atau terbukti.
2. Hasil uji t dimana nilai hitung tabel ($16.375 > 1.991$), dengan angka signifikan $0,000 < 0,05$ yang menunjukkan bahwa kompetensi berpengaruh signifikan dan positif terhadap kinerja pegawai tenaga kependidikan Universitas Pattimura.

Daftar Pustaka

- A.A Made Bintang Cahyaningrat, Tedi Erviantono dan Kadek Wiwin Dwi Wismayanti (2017). Pengaruh Kompetensi Terhadap Kinerja Pegawai Di Badan Perpustakaan, Arsip dan Dokumentasi Kota Denpasar. eJurnal. Penribit Citizen Carther
- Boy Aulia Sastra (2017). Pengaruh Kompetensi Karyawan dan Beban Kerja terhadap Kinerja Karyawan Bank Danamon Cabang Tuanku Tambusai Pekanbaru. Jurnal Onlile Mahasiswa. Riau.
- Heru Riyadi, Bambang Sapto Utomo, Anwari Masatip. (2018). Pengaruh Komunikasi, Motivasi Kerja Dan Kompetensi Terhadap Kepuasan Kerja Serta

Implikasinya Pada Kinerja Dosen pada Perguruan Tinggi Pariwisata Swasta Di Jawa Barat. *The Journal, Tourims and Hospitality Essential Joournal*

Ineu Indriani (2018). Pengaruh Kompetensi dan Beban Kerja Terhadap Kinerja Pelaksanaan Asuhan Keperawatan Pada Bagian Rawat inp Rumah Sakit Umum Dr.Slamet Garut.

Irmawati, B. H., & Adda, H. (2017). Pengaruh Kompetensi Dan Motivasi Terhadap Kinerja Petugas Lapangan Keluarga Berencana (PLKB) Dalam Pengelolaan Program KB Di Kota Palu. *Universitas Tadulako*.

Ineu Indriani (2018). Pengaruh Kompetensi dan Beban Kerja Terhadap Kinerja Pelaksanaan Asuhan Keperawatan Pada Bagian Rawat inp Rumah Sakit Umum Dr.Slamet Garut. *Jurnal Wacana Ekonomi*. Universitas Garut.

Nisa' Ulur Mafra (2018). Pengaruh Kompetensi dan Komunikasi terhadap Kinerja Pegawai PT Bukit Asam, TBK Unit Dermaga Kertapati Palembang. *Jurnal Ecoment Global*.

Prawirosentono, Suryadi. 2008, Kebijakan Kinerja Karyawan. Yogyakarta BPFE

Sutrisno, Edy. 2011, Manajemen Suber Daya Manusia Jakrta Kencana Prenada Media Group

IMPLEMENTASI SISTEM HYBRID PLTS-PLN PADA *POWER STATION MOBILE* UNTUK MOBILITAS ENERGI MANDIRI

Antoni Simanjuntak¹, Jonny Latuny², Jandri Louhenapessy, Isak Aponno⁴

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: antoni.simanjuntak.s15@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: jonnylatuny@gmail.com

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

jandrileonora@yahoo.co.id

⁴Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: isakaponno@gmail.com

Abstrak. Kebutuhan akan sumber energi yang andal dan fleksibel semakin penting, terutama di daerah terpencil dan situasi darurat yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan sumber energi terbarukan berbasis energi surya dan konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa sistem hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan PLN dalam pengisian serta pengosongan baterai pada sistem *power station mobile* sebagai solusi mobilitas energi mandiri. Pengujian dilakukan dengan dua metode pengisian yaitu menggunakan modul surya dan listrik PLN, serta dua skenario pengosongan dengan menggunakan beban pompa air dan lampu LED. Hasil menunjukkan bahwa pengisian dengan modul surya selama 7 jam 15 menit mampu meningkatkan tegangan baterai dari 11,9 V hingga 12,52 V dengan energi maksimal 1.252 Wh, menunjukkan efisiensi tinggi saat radiasi matahari optimal. Sementara itu, pengisian menggunakan listrik PLN selama 11 jam 30 menit menunjukkan kestabilan tinggi, dengan tegangan meningkat hingga 12,97 V dan energi mencapai 1.297 Wh. Pengosongan baterai menggunakan pompa air berlangsung selama 2,5 jam dengan penurunan tegangan hingga 10,77 V dan arus mencapai 22,8 A, sedangkan pengosongan dengan lampu LED selama 4 jam 45 menit menunjukkan penurunan tegangan hingga 10,91 V dengan arus stabil sekitar 13 A. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem hybrid mampu menyediakan dan menyimpan energi secara efisien serta menunjang kebutuhan daya beban secara konsisten. Sistem ini potensial untuk diimplementasikan di daerah terpencil dan kondisi darurat yang memerlukan sumber energi mandiri.

Kata kunci: *Power station mobile*, sistem hybrid, energi surya, listrik PLN, kemandirian energi.

Abstract. The need for reliable and flexible energy sources is becoming increasingly critical, especially in remote areas and emergency situations that are difficult to access by conventional power grids. One solution being developed is a hybrid power generation system that combines renewable solar energy with conventional sources. This study aims to analyze the performance of a hybrid system integrating a Solar Power Plant (PLTS) and the national grid (PLN) in charging and discharging batteries within a mobile power station system as a solution for independent energy mobility. The testing involved two charging methods—solar modules and PLN electricity—as well as two discharging scenarios using a water pump and LED lights as loads. The results show that solar module charging for 7 hours and 15 minutes increased the battery voltage from 11.9 V to 12.52 V, delivering a maximum energy output of 1,252 Wh, indicating high efficiency under optimal sunlight conditions. Meanwhile, charging with PLN electricity over 11 hours and 30 minutes demonstrated high stability, increasing the voltage to 12.97 V and reaching an energy

output of 1,297 Wh. Battery discharge using the water pump lasted 2.5 hours, with voltage dropping to 10.77 V and current reaching 22.8 A. Discharge using LED lights over 4 hours and 45 minutes resulted in a voltage drop to 10.91 V with a stable current of around 13 A. These findings indicate that the hybrid system can efficiently provide and store energy while consistently supporting load power demands. The system has strong potential for implementation in remote areas and emergency conditions that require independent energy sources.

Keywords: Power station mobile, hybrid system, solar energy, PLN electricity, energy independence

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik merupakan faktor krusial dalam mendukung aktivitas manusia di berbagai sektor, [1]. Meskipun tingkat elektrifikasi di Indonesia terus meningkat, pasokan listrik masih belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat secara merata [2]. Hal ini menjadi tantangan, terutama di daerah terpencil, pulau-pulau kecil, dan wilayah terdampak bencana. Keterbatasan infrastruktur jaringan listrik dan kondisi geografis yang sulit dijangkau menyebabkan sebagian masyarakat masih belum memperoleh akses listrik yang stabil dan berkelanjutan [3]. Situasi ini mendorong perlunya pengembangan sistem penyediaan energi alternatif yang mampu menjawab kebutuhan listrik secara fleksibel dan mandiri.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang semakin banyak dikembangkan karena bersifat ramah lingkungan dan memanfaatkan sumber daya yang melimpah di Indonesia [4]. Energi surya sebagai sumber energi terbarukan memiliki keunggulan dalam hal keberlanjutan dan efisiensi biaya operasional jangka panjang, namun bergantung pada kondisi cuaca dan waktu [5]. Untuk mengatasi keterbatasan ini, integrasi antara PLTS dan sumber energi konvensional seperti listrik dari PLN menjadi pendekatan yang efektif. Sistem kombinasi ini dikenal sebagai sistem hybrid, di mana dua sumber energi bekerja secara saling melengkapi untuk menjamin kontinuitas suplai daya listrik [6].

Dalam konteks mobilitas dan fleksibilitas penggunaan, pengembangan *Power Station Mobile* menjadi sangat relevan. *Power Station Mobile* merupakan sistem kelistrikan portabel yang dirancang untuk dapat digunakan di berbagai lokasi tanpa bergantung pada jaringan listrik tetap. Dengan mengintegrasikan sistem hybrid PLTS-PLN, *Power Station Mobile* tidak hanya mampu menyediakan energi listrik yang stabil, tetapi juga mendukung prinsip kemandirian dan keberlanjutan energi,

khususnya pada kondisi darurat, kegiatan lapangan, atau daerah tanpa infrastruktur listrik.

Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem hybrid PLTS-PLN pada *Power Station Mobile* dan mengevaluasi kinerjanya dalam mendukung mobilitas energi mandiri. Fokus utama meliputi proses pengisian dan pengosongan baterai sebagai penyimpan energi, serta analisis parameter teknis seperti arus, tegangan, dan efisiensi sistem selama pengoperasian. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut terhadap teknologi sistem kelistrikan portabel yang ramah lingkungan, efisien, dan dapat diterapkan secara luas di berbagai kondisi geografis di Indonesia.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Komponen Utama *Power Station Mobile*

2.1.1. Modul Surya

Modul surya merupakan kumpulan sel surya yang disusun secara seri atau paralel. Modul surya berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik DC.

Daya masuk (P_{in}) pada modul surya adalah energi matahari yang diterima oleh permukaan modul dalam bentuk intensitas cahaya matahari sebelum dikonversi menjadi listrik oleh sel surya dan dihitung menggunakan persamaan (1) [7].

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya masuk modul surya (W)

I_r : Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

A : Luas permukaan modul surya (m^2)

Daya keluaran (P_{out}) pada modul surya merupakan besaran nilai dari hasil perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh modul surya dan dihitung menggunakan persamaan (2) [8].

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

Penelitian ini menggunakan 1 buah modul surya jenis *monocrystalline* dengan daya 100 Wp (Gambar 1). Adapun data modul surya yang digunakan dalam penelitian adalah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data modul surya

Spesifikasi	Nilai
Model	SM100-18P
Peak Power (Pmax)	100 Wp
Cell Efficiency	16.93 %
Max Power volt (V _{mp})	17.8 V
Max Power Current (I _{sc})	6.05 A
Power Tolerance	± 3 %
Max System Voltage	1000V
Series Fuse Rating (A)	12
Number of By Pass Diode	2
Operating Temperature	-4°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
ITC Irradiance	1000W/m ²
Module Temperature	25°C
Standard Test Condition	Temperature 25°C AM = 1,5 Irradiance 1000W/m ²



Gambar 1. Modul surya 100 Wp *monocrystalline*

2.1.2. Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya, sehingga memungkinkan listrik tetap dapat digunakan pada malam hari. Energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat dihitung dengan persamaan [9]. Waktu pengisian baterai dengan PLTS dihitung dengan persamaan (4), waktu pengisian baterai dengan listrik PLN dihitung dengan persamaan (5), dan waktu pengosongan baterai dihitung dengan persamaan (6).

$$Wh = Ah \times V \quad (3)$$

Keterangan:

Wh : Energi baterai

Ah : Kapasitas baterai

V : Tegangan nominal baterai

$$t_{\text{pengisian baterai dari plts}} = \frac{Ah \times V}{Wp \times \eta} \quad (4)$$

Keterangan:

Wp : Daya modul surya

η : Efisiensi sistem

$$t_{\text{pengisian baterai dari PLN}} = \frac{Ah}{I_{\text{out charger}} \times \eta} \quad (5)$$

Keterangan:

I_{out charger}: Arus keluaran charger

η : Efisiensi pengisian baterai

$$t_{\text{pengosongan baterai}} = \frac{Ah \times V \times \eta}{P_{\text{beban listrik}}} \quad (6)$$

Keterangan:

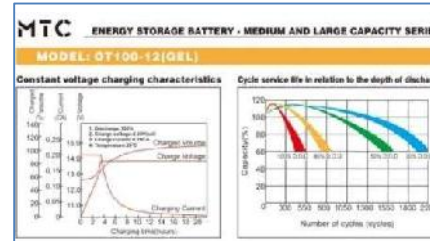
η : Efisiensi inverter

P_{beban listrik} : Daya beban listrik.

Baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah baterai *Lead-Acid* merk MTC 12 volt 100 Ah sejumlah 1 buah (Gambar 2). Karakteristik pengisian dan umur siklus baterai disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Baterai merk MTC 12 V 100 Ah



Gambar 3. Karakteristik pengisian dan umur siklus baterai MTC OT100-12(GEL)

2.1.3. Solar Charge Controller

Solar charge controller (SCC) adalah alat elektronik yang berfungsi untuk mengatur dan mengontrol arus listrik yang masuk dari modul surya ke baterai dalam sistem PLTS [10]. Penentuan kapasitas SCC adalah berdasarkan arus maksimum yang dihasilkan oleh modul surya.

$$I_{SCC} > I_{mpp} \quad (7)$$



Gambar 4. Solar charge controller jenis MPPT

Tabel 2. Data solar charge controller

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	MPPT (Maximum Power Point Tracking)
Kapasitas Arus	40A
Jenis Sistem	Off-Grid Solar Charge Controller
Input	Panel Surya (PV)
Output	Baterai dan Beban (Load)
Tegangan Sistem	12V / 24V (otomatis)
Layar LCD	Ya, untuk pemantauan dan pengaturan
Port Koneksi	Solar, Battery, Load (masing-masing 2 terminal)

2.1.4. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang memiliki fungsi utama untuk mengubah arus listrik searah (*Direct Current/DC*) menjadi arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) [11].

Penelitian ini menggunakan inverter daya 5000 watt, tegangan *input* 12 V DC dan tegangan *output* 220 V AC dengan bentuk gelombang sinus murni atau *Pure Sine Wave* (Gambar 5).

Tabel 3. Data inverter

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	Power Inverter
Wave Form	Pure Sine Wave
Daya Puncak (Peak Power)	5000 W
Rekomendasi Maksimum Daya Puncak	3500 W
Daya Nominal	2500 W
Rekomendasi Maksimum Daya Nominal	1750 W
Tegangan Input	12 V DC
Tegangan Output	220 V AC
Frekuensi Output	50/60 Hz
Dimensi	290 mm x 180 mm x 140



Gambar 5. Inverter

2.1.5. Charger Baterai

Charger yang digunakan pada *power station mobile* ini adalah *smart battery charger* yang dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis untuk keamanan dan efisiensi pengisian (Gambar 6).



Gambar 6. Smart battery charger

Tabel 4. Data Smart battery charger

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Input	220V AC
Tegangan Output	12V DC
Arus Output Maksimum	20 Ampere
Tipe Baterai	Lead Acid
Tipe Charger	Smart Charger (otomatis berhenti saat penuh)
Perlindungan	Overcharge, overheat, short circuit
Fitur Tambahan	Indikator LED/LCD, cooling fan, pengatur arus/tegangan

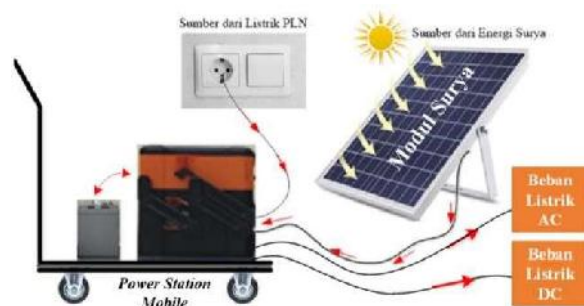
2.2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental yang berlokasi di *rooftop* gedung Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen rekayasa (*engineering experiment*) dan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem hybrid PLTS–PLN berbasis *power station mobile* sebagai solusi mobilitas energi mandiri.

2.3 Tahapan Penelitian

1. Studi Pendahuluan
Kajian literatur terkait teknologi PLTS–PLN hybrid, sistem penyimpanan energi, dan sistem kelistrikan portabel.
2. Perancangan Sistem
Merancang konfigurasi sistem hybrid berdasarkan kebutuhan daya dan kondisi operasional.
3. Pembuatan *Prototype*
Perakitan sistem hybrid PLTS–PLN dalam bentuk portabel (*power station mobile*).
4. Pengujian
Melakukan pengujian langsung terhadap sistem *power station mobile*.
5. Analisis Data
Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk menilai performa sistem.

2.4 Prototype Penelitian



Gambar 7. Power station mobile

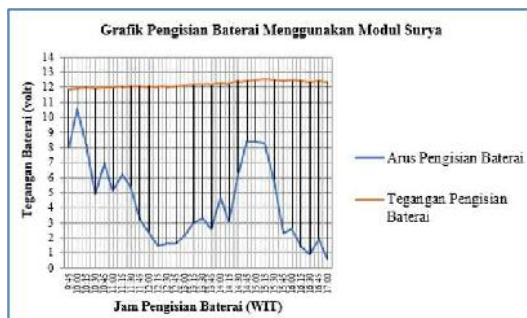


Gambar 8. Skema sistem *power station mobile*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengisian Baterai Menggunakan Modul Surya

Gambar 9 merupakan grafik pengisian baterai menggunakan modul surya. Pengisian berlangsung selama 7 jam 15 menit yaitu mulai dari jam 09:15 WIT sampai dengan jam 17:00 WIT.



Gambar 9. Grafik pengisian baterai menggunakan modul surya

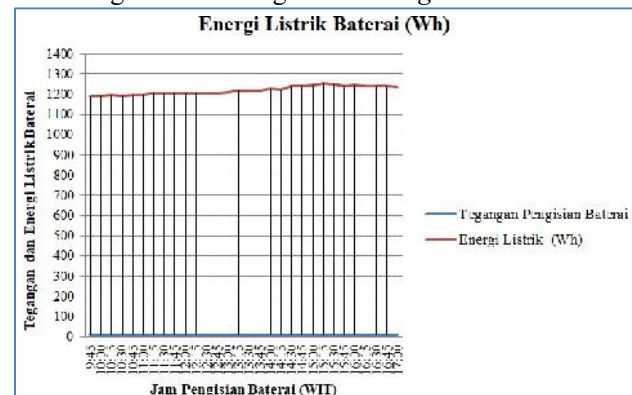
Arus pengisian tertinggi terjadi sekitar pukul 10:00 WIT (10,5 A), lalu menurun secara bertahap hingga pukul 12:45 WIT. Arus pengisian mulai meningkat kembali pada pukul 14:30 WIT hingga 15:15 WIT, dengan puncak kedua di angka 8,4 A dan pukul 15:15 WIT, arus mulai menurun secara konsisten hingga pukul 17:00 WIT.

Tegangan pengisian berkisar antara 11,9 V hingga 12,52 V. Tegangan awal pada pukul 9:45 adalah 11,9 V, lalu secara bertahap meningkat hingga mencapai puncaknya pada pukul 15:15 WIT (12,52 V). Setelah mencapai puncak, tegangan mulai sedikit menurun dan stabil di sekitar 12,4 V hingga akhir pengisian pukul 17:00 WIT.

Pada umumnya, ketika arus meningkat, tegangan juga cenderung ikut naik. Namun, setelah mencapai puncaknya, arus cenderung

menurun sementara tegangan masih relatif stabil atau sedikit menurun. Ini dapat menunjukkan bahwa baterai sedang mendekati kondisi penuh di mana arus pengisian berkurang namun tegangan tetap tinggi.

Dari pukul 9:45 WIT hingga sekitar 15:15 WIT, pengisian berlangsung dengan arus yang cukup besar, menandakan fase pengisian awal atau fase *bulk*. Setelah pukul 15:15 WIT, ketika arus mulai turun namun tegangan tetap tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa baterai telah memasuki fase akhir atau fase *float*, di mana baterai sudah hampir penuh dan arus pengisian berkurang untuk mencegah *overcharge*.



Gambar 10. Grafik energi baterai dari pengisian menggunakan modul surya

Gambar 10 merupakan grafik energi yang tersimpan dalam baterai selama pengisian menggunakan modul surya. Dari nilai tegangan pengisian setiap waktu dikalikan dengan kapasitas baterai sebesar 100 Ah, maka diperoleh besar energi listrik yang tersimpan dalam baterai.

Dari grafik yang ditampilkan, tegangan awal pada pukul 9:45 WIT adalah 11,9 V dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncaknya pada pukul 15:15 dengan tegangan 12,52 V. Setelah pukul 15:15 WIT, tegangan cenderung mengalami fluktuasi, tetapi tetap berada di atas 12,3 V hingga pukul 17:00 WIT. Energi listrik awal pada pukul 9:45 WIT adalah 1.190 Wh dan terus meningkat seiring waktu hingga mencapai puncaknya pada pukul 15:15 WIT dengan nilai 1.252 Wh. Setelah pukul 15:15 WIT, energi listrik mengalami sedikit penurunan, namun masih relatif stabil di sekitar 1.240 Wh hingga 1.245 Wh menjelang akhir pengisian.

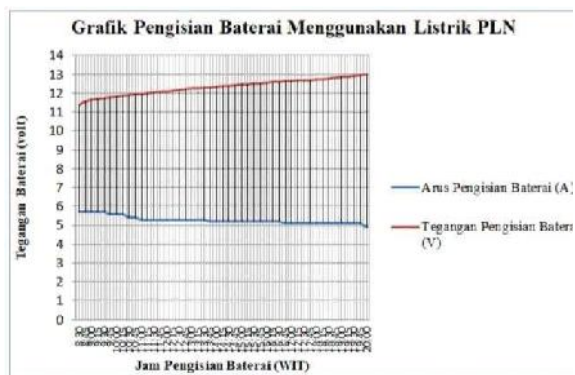
Korelasi antara tegangan dan energi listrik, terlihat adanya hubungan positif antara peningkatan tegangan dengan peningkatan energi listrik. Pada periode antara pukul 13:00 WIT

hingga 15:15 WIT, terlihat peningkatan yang signifikan baik dalam tegangan maupun energi listrik, menunjukkan efisiensi pengisian baterai yang optimal.

Pengisian pada pukul 9:45 WIT – 12:15 WIT menunjukkan kenaikan energi listrik yang relatif lebih stabil dan bertahap. Puncak efisiensi terjadi pada pukul 14:30 WIT – 15:15 WIT, di mana tegangan dan energi mencapai nilai tertinggi. Setelah pukul 15:15 WIT, meskipun tegangan masih tinggi, energi listrik menunjukkan kecenderungan menurun atau stabil, yang bisa menunjukkan bahwa baterai mulai mendekati kapasitas penuh.

3.2 Pengisian Baterai Menggunakan Listrik PLN

Gambar 11 merupakan grafik pengisian baterai menggunakan listrik PLN. Pengisian berlangsung selama 11 jam 30 menit yaitu mulai dari jam 09:15 WIT sampai dengan jam 17:00 WIT. Grafik tersebut menunjukkan bahwa arus pengisian relatif stabil pada kisaran 5,7 A dari pukul 8:30 WIT hingga sekitar pukul 10:15. Setelah pukul 10:15 WIT, arus mulai sedikit menurun ke sekitar 5,3–5,2 A dan bertahan di level tersebut hingga pukul 20:00 WIT. Penurunan arus menjadi 4,9 A terlihat pada pukul 20:00 WIT, menunjukkan kemungkinan akhir pengisian atau perubahan kondisi.



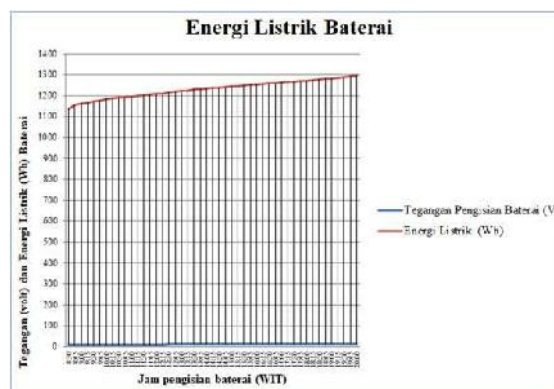
Gambar 11. Grafik pengisian baterai menggunakan listrik PLN

Tegangan pengisian mulai dari 11,39 V pada pukul 8:30 dan secara bertahap meningkat sepanjang hari. Peningkatan tegangan cenderung konsisten, mencapai 12,97 V pada pukul 20:00 WIT, menunjukkan proses pengisian yang efisien dengan peningkatan bertahap hingga baterai hampir terisi penuh.

Meskipun arus pengisian stabil atau sedikit menurun, tegangan pengisian terus meningkat.

Ini menunjukkan bahwa baterai secara bertahap mendekati kapasitas penuh, sehingga tegangan meningkat untuk mempertahankan pengisian. Arus yang konstan mendukung proses pengisian yang stabil, sedangkan peningkatan tegangan menandakan bahwa resistansi internal baterai meningkat seiring pengisian.

Gambar 12 merupakan grafik energi yang tersimpan dalam baterai selama pengisian menggunakan listrik PLN. Dari nilai tegangan pengisian setiap waktu dikalikan dengan kapasitas baterai sebesar 100 Ah, maka diperoleh besar energi listrik yang tersimpan dalam baterai.



Gambar 12. Grafik energi baterai dari pengisian menggunakan listrik PLN

Tegangan baterai menunjukkan kenaikan yang konsisten dari 11,39 V pada pukul 8:30 WIT hingga mencapai 12,97 V pada pukul 20:00 WIT. Kenaikan tegangan cukup stabil, dengan perubahan kecil antara setiap interval waktu, menunjukkan bahwa pengisian berlangsung dengan efisien dan stabil. Tidak ada fluktuasi besar dalam tegangan yang menunjukkan gangguan atau ketidakseimbangan yang signifikan selama pengisian, yang menandakan bahwa baterai sedang menerima daya secara lancar.

Energi listrik yang tersimpan dalam baterai meningkat secara bertahap dari 1,139 Wh pada pukul 8:30 WIT hingga mencapai 1,297 Wh pada pukul 20:00 WIT. Rata-rata peningkatan energi listrik setiap 15 menit berkisar antara 0,017 Wh hingga 0,03 Wh, yang mencerminkan tingkat pengisian yang cukup stabil. Data ini menunjukkan bahwa pengisian berlangsung secara stabil sepanjang waktu, dengan sedikit perubahan dalam laju pengisian, yang menandakan fase pengisian yang terkontrol dengan baik. Peningkatan energi yang hampir linier, tanpa penurunan signifikan, menunjukkan

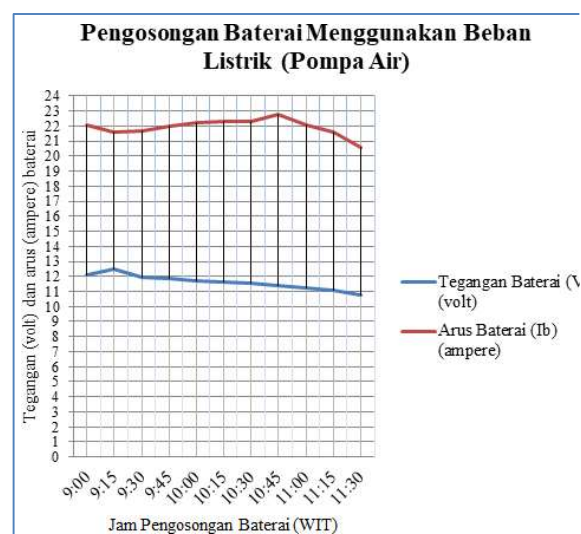
bahwa sistem pengisian bekerja dengan efisiensi tinggi, mendekati pengisian penuh pada akhir periode. Dengan energi yang tersimpan mencapai 1.297 Wh pada pukul 20:00 WIT, pengisian dapat dianggap berhasil dan berakhir dengan baik, sesuai dengan kapasitas baterai yang digunakan.

Secara keseluruhan, pengisian baterai ini menunjukkan kinerja yang sangat stabil dan efisien. Peningkatan tegangan dan energi yang konsisten mengindikasikan bahwa baterai sedang mengisi dengan baik tanpa adanya gangguan besar, dan mencapai kapasitas penuh secara bertahap hingga akhir periode pengisian pada pukul 20:00 WIT.

3.3 Pengosongan Baterai Menggunakan Beban Listrik (Pompa Air)

Gambar 13 merupakan grafik pengosongan baterai menggunakan beban listrik pompa air daya 125 watt. Pengosongan berlangsung selama 2,5 jam yaitu mulai dari jam 09:00 WIT sampai dengan jam 11:30 WIT. Dari grafik yang disajikan, terdapat informasi mengenai pengosongan baterai yang mencakup waktu, arus, dan tegangan pengosongan. Selama proses pengosongan, arus beban listrik yaitu pompa air konstan sebesar 1 ampere, sedangkan tegangan suplai dari inverter tertinggi 225 volt dan terendah 212 volt.

Tegangan baterai secara umum mengalami penurunan dari 12,12 volt pada pukul 9:00 WIT menjadi 10,77 volt pada pukul 11:30 WIT. Penurunan ini menunjukkan bahwa baterai perlahan-lahan kehabisan daya seiring waktu.



Gambar 13. Grafik pengosongan baterai menggunakan beban listrik (pompa air)

Arus baterai awalnya sebesar 22,1 ampere pada pukul 9:00 WIT, dan nilai arus ini berfluktuasi selama periode pengosongan. Arus tertinggi tercatat pada pukul 10:45 WIT sebesar 22,8 ampere, sementara arus terendah adalah 20,6 ampere pada pukul 11:30 WIT.

Tren penurunan tegangan dan stabilitas relatif arus menunjukkan bahwa baterai sedang digunakan dalam kondisi pengosongan beban konstan. Penurunan tegangan yang signifikan mendekati akhir periode bisa mengindikasikan bahwa baterai mendekati level pengosongan penuh.

3.4 Pengosongan Baterai Menggunakan Beban Listrik (Lampu LED)

Gambar 14 merupakan grafik pengosongan baterai menggunakan beban listrik lampu LED 125 watt. Pengosongan berlangsung selama 4 jam 45 menit yaitu mulai dari jam 09:15 WIT sampai dengan jam 14:00 WIT. Dari grafik yang disajikan, terdapat informasi mengenai pengisian baterai yang mencakup waktu, arus, dan tegangan pengosongan. Selama proses pengosongan, arus beban listrik yaitu lampu LED konstan sebesar 0,6 ampere, sedangkan tegangan suplai dari inverter tertinggi 225 volt dan terendah 221 volt.

Grafik pada gambar 14, merupakan grafik perubahan tegangan dan arus baterai selama periode pengosongan terjadi. Tegangan baterai secara konsisten menurun dari 12,25 volt pada pukul 9:15 WIT hingga 10,91 volt pada pukul 14:00 WIT. Penurunan bertahap ini menunjukkan proses pengosongan yang stabil seiring berjalannya waktu. Arus baterai relatif stabil di kisaran 12,9 hingga 13,5 ampere selama periode pengosongan. Terdapat sedikit peningkatan arus pada akhir periode pengosongan, yaitu sebesar 13,5 ampere pada pukul 13:45 WIT dan 14:00 WIT, dibandingkan dengan awal periode.

Penurunan tegangan yang konsisten dengan arus yang relatif stabil mengindikasikan bahwa baterai dipakai untuk mendukung beban dengan kebutuhan arus yang hampir konstan. Penurunan tegangan yang mencapai 10,91 volt pada pukul 14:00 WIT menunjukkan bahwa baterai mendekati batas pengosongan kritisnya. Perubahan arus yang cukup stabil mengindikasikan bahwa sistem menggunakan daya secara konsisten, tanpa fluktuasi beban yang signifikan.



Gambar 14. Grafik pengosongan baterai menggunakan beban listrik (lampu LED)

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan pengosongan baterai dengan arus yang stabil dan tegangan yang menurun secara bertahap. Hal ini menggambarkan penggunaan energi yang berkelanjutan selama periode pengosongan. Baterai mendekati level pengosongan penuh

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem hybrid PLTS-PLN pada *power station mobile* menunjukkan kinerja yang memadai dalam mendukung pengisian dan pengosongan energi baterai. Sistem ini cocok digunakan pada *power station mobile* untuk keperluan energi mandiri di wilayah terpencil atau situasi darurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Simanjuntak dan J. Louhenapessy, "Penggunaan DC-AC Converter Sebagai Alternatif Pengganti Genset Untuk Mensuplai Beban Listrik Saat Terjadi Pemadaman Listrik," *Seminar Nasional "Archipelago Engineering" (ALE)*, 2018.
- [2] Sansuadi, "Evaluasi Ketimpangan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan Di Indonesia Dampak dan Upaya Pemerataan Akses Energi," *JIRK (Jurnal of Innovation Research and Knowledge)*, vol. 4, hlm. 8209–8224, Apr 2025.
- [3] S. Kasus dkk., "Kajian Teknis dan Analisis Ekonomis PLTS Off-grid Solar System sebagai Sumber Energi Alternatif," 2015.
- [4] J. E. Elektro, H. B. Nurjaman, dan T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," Nov 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [5] S. Purnomo, Y. Z. Arief, A. Jaenul, dan S. Wilyanti, "Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Efisiensi Panel Surya Grid Tie Menggunakan Konfigurasi Micro Inverter dan String Inverter Terhadap Energi Yang Dihasilkan," *Jurnal Media Elektro*, hlm. 100–110, Okt 2023, doi: 10.35508/jme.v12i2.12648.
- [6] Hendrayana, "Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 1, No.1, hlm. 26–43, Feb 2017.
- [7] Dahliyah, Samsurizal, dan N. Pasra, "Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu dan Kecepatan Angin," *JURNAL ILMIAH SUTET*, vol. 11, hlm. 71–80, Des 2021.
- [8] A. Simanjuntak, W. M. E. Wattimena, dan I. Aponno, "Analisis Pengaruh Variasi Laju Aliran Volumetrik Air Pendingin Terhadap Efisiensi Modul Surya," *Seminar Nasional "ARCHIPELAGO ENGINEERING" 2023*, hlm. 92, 2023.
- [9] M. Khumaidi Usman, "Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya," *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, vol. 9, no. 2, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerielektro>
- [10] Akmal, A. Simanjuntak, J. Louhenapessy, dan I. Aponno, "Uji Eksperimental Modul Surya 130 Wp Untuk Suplai Listrik Lemari Pendingin Vaksin Di Daerah Terpencil," Mei 2022.
- [11] R. B. P. Simanjuntak, M. Safii, F. Anggraini, S. Sumarno, dan I. Gunawan, "Rancang Bangun Inverter Mengubah Arus Listrik DC ke AC Berbasis Arduino Uno," *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 2, hlm. 295–299, Agu 2021, doi: 10.47065/josyc.v2i4.838.