

ALE 2023



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

E-ISSN 2798-7310
P-ISSN 2620-3995

**Aplikasi Teknologi dalam Pengembangan
Industri Kemaritiman di Era Society 5.0**

ALE PROCEEDING

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON



**Fakultas Teknik Universitas Pattimura
Kampus Poka, Ambon**



DAFTAR ISI

No.	JUDUL/PENULIS	Hal
1	DESAIN DEWI-DEWI RADIAL BERBAHAN DASAR PIPA PADA KAPAL KM. CAKRAWALA MARITIM <i>Reico H. Siahainenia, Phatiwarisang Lubis</i>	1-4
2	ANALISIS UJI TARIK LAS SMAW POSISI 3G UPHILL DENGAN VARIASI ARUS PENGELASAN <i>Niko Agung Franata T, O. Metekohy, Sonja Treisje Anthonia Lekatompessy</i>	5-8
3	KAJI SIFAT MEKANIS KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT ALAM DENGAN VARIASI FRAKSI VOLUME <i>Arthur Y Leiwakabessy, Sefnath J E Sarwuna</i>	9-14
4	EKSPERIMENTAL STUDI VARIASI PUTARAN SPINDEL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA ST-42 <i>Benjamin G Tentua, Cendy S.E Tupamahu, Frans Silooy</i>	15-19
5	STUDI PERBANDINGAN EFEKTIVITAS BERBAGAI MODEL TUBE PENUKAR KALOR SEBAGAI SISTEM PEMULIHAN LIMBAH PANAS <i>Nicolas Titahelu, Jandri Louhenapessy, Samy Junus Litolily, Arson Arson</i>	20-31
6	PENILAIAN DAN MITIGASI RESIKO RANTAI PASOK DENGAN PENDEKATAN METODE HOUSE OF RISK <i>Willem Pelmelay, Daniel B. Paillin, Johan Marcus Tupan</i>	32-41
7	DESAIN STRATEGI BISNIS UD. ARSITA: PENERAPAN INVIVO DALAM COMPETITIVE FIVE FORCE (C5F) <i>Nyong Faturachman Laisi, Victor O Lawalata, Wilma Latuny</i>	42-50
8	ESTIMASI UMUR DAN PREDIKSI PERILAKU KELELAHAN POROS BALING-BALING KAPAL LCT ANDROS <i>Nuraini Nuraini, Novitha Leonora T. Thenu</i>	51-61
9	MODEL PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI LAUT UNTUK PERJALANAN ANTAR-PULAU PADA RUTE TULEHU – AMAHAI <i>Firda M Sanaky, Stevianus Titaley, Hanok Mandaku</i>	62-67
10	PERENCANAAN FASILITAS PELABUHAN KAMARIAN UNTUK MENUNJANG PELAYARAN RAKYAT ANTAR-PULAU DI PROVINSI MALUKU <i>Izak R Kakerisa, Pieter Th Berhitu, Hanok Mandaku</i>	68-75

No.	JUDUL/PENULIS	Hal
11	ANALISIS PENERAPAN KONSEP BUILDING INFORMATION MODELLING PADA PROYEK GEDUNG POLTEKKES KEMENKES, MALUKU <i>Andi Rizky Vanath, Christy Gery Buyang, Fauzan A Sangadji</i>	76-83
12	IDENTIFIKASI KRITERIA PRASYARAT GREEN BUILDING PADA GEDUNG OJK PROVINSI MALUKU <i>Alwin A Lerebulan, Fauzan A Sangadji, Christy Gery Buyang</i>	84-91
13	ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN VOLUMETRIK AIR PENDINGIN TERHADAP EFISIENSI MODUL SURYA <i>Antoni Simanjuntak, W. M. E. Wattimena, Isak Aponno</i>	92-97
14	EVALUASI UMUR PAKAI SPROKET RODA BELAKANG SEPEDA MOTOR JUPITER Z1 <i>Benjamin G Tentua, Cendy S.E Tupamahu</i>	98-101
15	APLIKASI MIKROKONTROLER BERBASIS SENSOR RADIO FREKUENSI IDENTIFICATION (RFID) SEBAGAI SISTEM PENGAMAN OTOMATIS <i>Latuhorte Wattimury, Fany Laamena, Charlos Mozes Tehubijuluw</i>	102-109
16	ANALISIS PENGGUNAAN FLAP BURITAN SPEED BOAT UNTUK MENDAPATKAN TRIM YANG EVEN KEEL <i>Eliza R. de Fretes</i>	110-114
17	PENGARUH MODIFIKASI KEMUDI PLAT MENJADI KEMUDI NACA 0010 PADA KM. HARAPAN MUJUR 04 <i>La Ode Ruju, Eliza R. de Fretes, G. R. Latuhihin</i>	115-120
18	ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN POROS BALING-BALING TERHADAP KECEPATAN PERAHU KETINTING YANG MENGGUNAKAN MESIN DI LUAR DENGAN MESIN DI DALAM LAMBUNG PERAHU <i>Efrat P. Lamerkabel, Eliza R. de Fretes, R. B. Luhulima</i>	121-124
19	ANALISIS PERHITUNGAN BALLAST MATI PADA KAPAL KN. KALAWAI <i>Stephen H. Hutagalung, Eliza R. de Fretes, Fella Gaspersz</i>	125-132
20	ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEJA APUNG PENGOLAHAN GARAM <i>Sutiyo Sutiyo, B. Suwasono, R. B. Luhulima</i>	133-139
21	ANALISIS INSUBMERSIBILITAS KAPAL RAKYAT: TINJAUAN KASUS PADA KM. SAFIRA <i>A. M. A. Daeng Parany, Reico H. Siahainenia, Debby R. Lekatompessy</i>	140-144

No.	JUDUL/PENULIS	Hal
22	STRATEGI BERSAING KOMUNITAS RUMAH FILM WALANG KREATIF <i>Aditya Hardianto Muin, Ariviana L. Kakerissa, Alfredo Tutuhatunewa</i>	145-149
23	ANALISIS TARIF PELAYARAN KAPAL RAKYAT RUTE PULAU KAPOTA – PULAU WANGI-WANGI DI KABUPATEN WAKATOBI PROVINSI SULAWESI TENGGARA <i>Syarifangi Wabi, L. M. Kelwulan, Ruth Phetrosina Soumokil</i>	150-153
24	STUDI REGIM ALIRAN FLUIDA DAN PENENTUAN HEAD LOSS AKIBAT GESEKAN PADA INSTALASI PERPIPAAN <i>Edwina Jerusalem Rumaherang, W. M. E. Wattimena, Sesilia M. Rawulun, Excelsis Noya</i>	154-161
25	PENGARUH BIAYA KOMPONEN NONTEKNIS TERHADAP BIAYA LOGISTIK PELABUHAN WILAYAH KEPULAUAN <i>Marcus Tukan, Hozairi Hozairi, Roland Koswara, Billy J Camerling</i>	162-166
26	PEMETAAN POTENSI SPASIAL PERKEBUNAN CENGIH DALAM PENGOLAHAN MINYAK ATSIRI DI KEPULAUAN LEASE <i>Margie Civitaria Siahay, Stevianus Titaley, Francois Lekransy</i>	167-174
27	IDENTIFIKASI KRITERIA PRASYARAT GREEN BUILDING PADA GEDUNG LABORATORIUM TERPADU PENDUKUNG BLOK MASELA <i>Susiana Aprilia Tehuayo, Chirsty Gery Buyang, Fauzan A Sangadji</i>	175-182
28	EVALUASI BIAYA PEMELIHARAAN JEMBATAN BAJA WAI BOYAN NEGERI SEITH DENGAN PEDOMAN BINAMARGA <i>Celine Vellia Frans, C. G. Buyang, Febrino Wangean</i>	183-192
29	IDENTIFIKASI KENDALA-KENDALA KONEKTIVITAS TRANSPORTASI LAUT DI WILAYAH KEPULAUAN(Studi Kasus Provinsi Maluku) <i>Lodewyk Matheos Kelwulan, Ruth P. Soumokil, Monalisa Manuputty</i>	193-197
30	SEPARATION OF ETHANOL-WATER AZEOTROPE MIXTURES USING EXTRACTIVE DISTILLATION METHOD <i>Muhammad Ikhsan Taipabu, Wei Wu, Karthickeyan Viswanathana, Nikmans Hattu, Ervina Rumpakwakra, Micky Kololu</i>	198-203

DESAIN DEWI-DEWI RADIAL BERBAHAN DASAR PIPA PADA KAPAL KM. CAKRAWALA MARITIM

R. H. Siahainenia¹, Phatiwarisang Lubis²

¹Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail: ekoadvmal@gmail.com

²Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail: phatiwarisanglubis10@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini dilakukan dalam rangka merancang-bangun dewi-dewi bagi operasional sekoci dinas pada kapal KM. Cakrawala Maritim. Dewi-dewi tipe radial tunggal direkomendasi berdasarkan pertimbangan: kemampuan akomodasi spasial, kesederhanaan konstruksi dan cara kerja, serta biaya rendah, dan kemudahan memperoleh material. Tujuan penelitian ini untuk menetapkan diameter, \emptyset , dan tebal pipa (t) dewi-dewi, pipa tiang dan lengan, dewi-dewi yang optimal berdasarkan beban 500Kg yang disyaratkan pemilik kapal. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif-komparatif. Penelitian spasial menggunakan software SkechUp untuk menemukan tinggi tiang dan panjang lengan dewi-dewi, sedangkan penelitian kekuatan dewi-dewi menggunakan simulasi komputasi untuk menemukan hubungan antara diameter dewi-dewi dengan tegangan (σ) dan deformasi (ΔV) desain, yang memenuhi syarat kekuatan struktur, $\sigma = k \cdot |\sigma|$. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa baik tegangan dan deformasi desain yang terjadi menurun seiring pertambahan diameter dan ketebalan pipa. Perubahan signifikan terjadi pada diameter 1,5” dan 2,5”. Rekomendasi diberikan kepada pipa diameter 5”, tebal 9,5mm sebagai pipa pembuat dewi-dewi.

Kata kunci: *dewi-dewi radial, diameter pipa, syarat kekuatan, tegangan desain, tegangan ijin*

Abstract. This research was conducted in order to design and build davit for the operation of the ship's service lifeboat. KM. Cakrawala Maritim. The single radial type davit is recommended based on the following considerations: spatial accommodation ability, simplicity of construction and operation, low cost, and ease of obtaining materials. The purpose of this research is to determine the optimum diameter, \emptyset , and pipe thickness (t) of davit, mast and arm pipes, davit based on the 500Kg load required by the ship owner. The research method used is quantitative-comparative. Spatial research uses SkechUp software to find pile height and davit arm length, while davit strength research uses computational simulation to find the relationship between davit diameter and design stress (σ) and deformation (ΔV), which fulfills structural strength requirement, $\sigma = k \cdot |\sigma|$. The experimental results show that the design stresses and deformations decrease with increasing pipe diameter and thickness. Significant changes occurred in the diameter of 1.5” and 2.5”. Recommendations are given for pipes with a diameter of 5”, 9.5mm thick as davit-forming pipes.

Keywords: *radial davit, pipe diameter, strength requirement, design stress, allowable stress*

1. PENDAHULUAN

Kapal KM. Cakrawala Maritim tidak memiliki dewi-dewi untuk operasional sekoci dinas kapasitas 7 penumpang dengan berat maksimum 500 Kg. Selama ini proses menurunkan sekoci dari geladak

ke air dan sebaliknya dari air ke geladak dilakukan secara manual. Proses operasional yang rumit dan memakan waktu lama ini akan semakin sulit dan berbahaya bila dilakukan saat laut sedang bergelora karena ombak besar disertai hujan dan angin

kencang. Masalah inilah yang mendorong pemilik kapal meminta mendesain dewi-dewi radial untuk pengoperasian sekoci.

Dewi-dewi radial konvensional dikenal selama ini terdiri dari dua konstruksi tiang dan lengan dari besi pejal. Lengan dewi-dewi radial diputar bergantian sehingga sekoci berada di luar lambung kapal, siap diturunkan ke air [1]. Sekoci dinas tunggal di atas kapal bisa berfungsi sebagai sekoci penyelamat pada kondisi darurat [2]. Perkembangan terbaru dewi-dewi radial telah dibuat satu lengan (*single arm davit*) dengan konstruksi dan sistem lebih kompleks, lebih berat dan lebih mahal [3]. Perencanaan dewi-dewi sekoci hendaknya mengacu pada kapasitas maksimum sekoci. Rancang bangun dewi-dewi sering disertai penentuan dimensi yang belum optimal, dapat terjadi *under desain* juga *over design* [4].

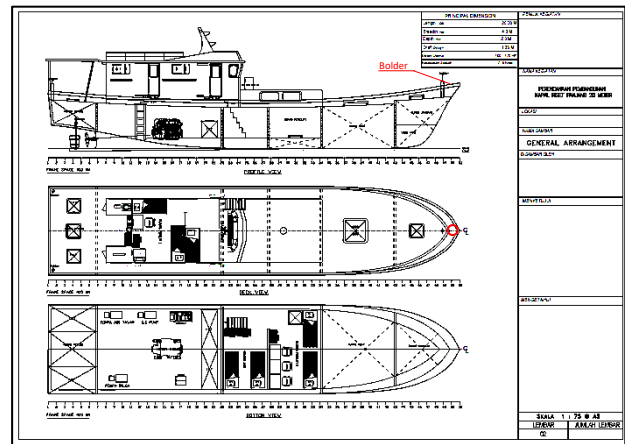
Dewi-dewi umumnya dibuat menggunakan besi pejal atau pelat besi yang dibentuk menjadi profil yang beragam sesuai hasil desain kekuatan terhadap beban [5], [6], [7], [8]. Setiap material yang digunakan mempunyai kekurangan dan kelebihan dari berbagai segi sehingga oleh beberapa peneliti telah melakukan kajian berupa perhitungan mengenai kemungkinan menerapkan material pipa berongga [9], [10].

Analisis kekuatan dewi-dewi dilakukan banyak pihak untuk mendapatkan tegangan dan deformasi desain terhadap variasi beban dan posisi sekoci, naik, turun, dan berayun terhadap beban maksimum 1950Kg orang dan modifikasi untuk kapasitas 20, 28, dan 40 orang, terhadap bagian-bagian konstruksi kritis [11]. Analisis kekuatan struktur davit untuk menemukannya beban-beban struktur, momen dan gaya lintang dari kondisi menurunkan sekoci saat kapal miring menggunakan software Ansys® [12]. Mengetahui kemampuan topang dewi-dewi terhadap variasi beban kapasitas sekoci sampai dengan pembebanan maksimum davit, ≤ 85 penumpang menggunakan metode elemen hingga. [4]. Analisis kekuatan struktur dapat menunjukkan besarnya tegangan sebagai akumulasi gaya dan momen yang terjadi, dimana besarnya tegangan desain struktur adalah sama dengan tegangan ijin dikali dengan faktor keamanan, $\sigma < k|\sigma|$, sebagai syarat kekuatan struktur [13]. Kekuatan struktur penopang konstruksi tambahan di atas geladak Kapal-kapal bermaterial kayu perlu dikaji karena kapal objek penelitian tidak didesain dengan beban terpusat yang besar.

2. BAHAN DAN METODE

Rencana Umum kapal KM. Cakrawala Maritim seperti terlihat pada Gambar 1. Kedudukan dewi-dewi pada geladak akil, disarung pada tiang bolder. Di belakang dewi-dewi terdapat rumah geladak,

tinggi 2,4m, lebar 3,4m, panjang 4m. Spasi tersisa Bentuk dewi-dewi yang didesain dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Rencana Umum KM. Cakrawala Maritim

Data teknis kapal adalah sebagai berikut :

Nama kapal	: KM. Cakrawala Maritim
Material utama	: Kayu govasa
Jenis	: Kapal penelitian
Panjang (LOA)	: 20m
Lebar (B)	: 4,3m
Tinggi Sarat (T)	: 1,35m
Tinggi geladak (H)	: 2m

Dewi-dewi radial lengan tunggal yang terpasang pada geladak akil kapal KM. Cakrawala Maritim terlihat pada Gambar 2.



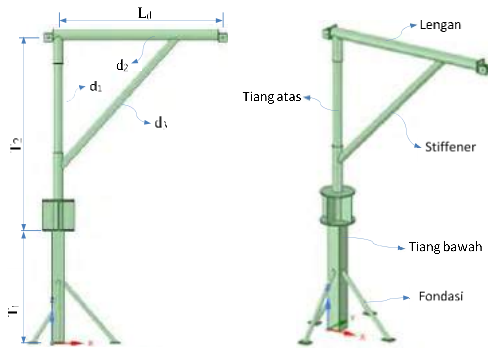
Gambar 2. Dewi-dewi hasil rancangan

Prosedur Penelitian

Panjang lengan dan tinggi dewi-dewi ditetapkan berdasarkan hasil analisis spasial pada daerah geladak akil, tempat meletakkan dewi-dewi. Analisis spasial menunjukkan sekoci terpasang pada dewi-dewi dalam berbagai sudut dan arah putar dewi-dewi serta kemiringan kapal (*list*) hingga 15° [14].

Penelitian untuk mendapatkan kekuatan dewi-dewi menggunakan aplikasi berbasis metode elemen hingga yang umum digunakan menganalisis kekuatan struktur. Pemodelan dewi-dewi dengan

diameter dan ketebalan pipa divariasikan berdasarkan data pipa di pasaran.



Gambar 3. Model dewi-dewi pada program simulasi komputasi berbasis elemen hingga.

Besarnya gaya maksimum sebagai beban dalam operasional dewi-dewi adalah 500Kg. Bahan dewi-dewi adalah besi hitam. Dimensi konstruksi terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi dewi-dewi

Variasi	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	d ₁ (inch)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	T ₁ (mm)	T ₂ (mm)	Ld (mm)
1	5,1	5,1	5,0	82,55	82,55	38,1	964	1602	1598
2	7,0	7,0	5,0	82,55	82,55	38,1	964	1602	1598
3	8,6	8,6	5,0	82,55	82,55	38,1	964	1602	1598
4	9,5	9,5	5,0	82,55	82,55	38,1	964	1602	1598
5	11,0	11,0	5,0	82,55	82,55	38,1	964	1602	1598

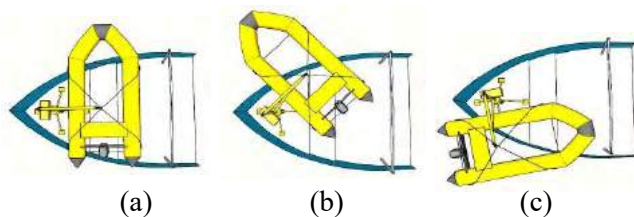
Input untuk simulasi komputasi adalah material baja hitam dengan properti sebagai berikut :

- Density = 7850 Kg/m³
- Young's modulus = 203GPa
- Poisson's ratio = 0,3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Tinggi dan Panjang Lengan dewi-dewi

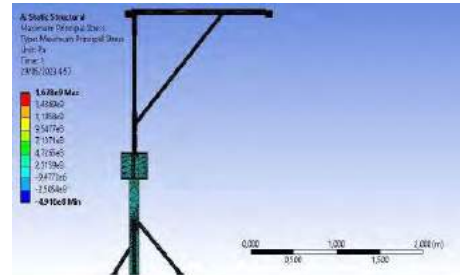
Hasil simulasi spasial sekoci dan dewi-dewi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



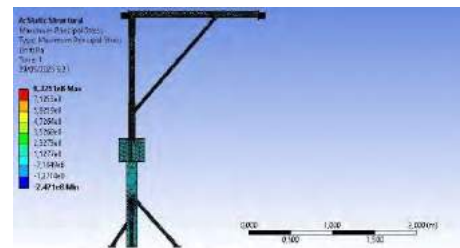
Gambar 4 (a) Dewi-dewi posisi 0°
(b) Dewi-dewi posisi 45° (putar kiri)
(c) Dewi-dewi posisi 80° (putar kanan)

Analisis spasial menunjukkan bahwa dewi-dewi dengan tinggi 2,6m, panjang lengan =1,6m dalam gerakan berputar ke kiri atau ke kanan tidak tersangkut/membentur bangunan atas di geladak akil.

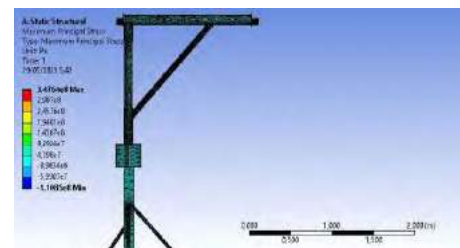
Analisis kekuatan memperlihatkan bahwa tegangan desain struktur menurun dengan pertambahan diameter dan ketebalan pipa.



Gambar 5. Tegangan pada pipa 2,5”



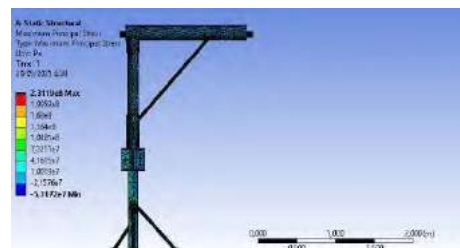
Gambar 6. Tegangan pada pipa 3,5”



Gambar 7. Tegangan pada pipa 4”



Gambar 7. Tegangan pada pipa 5”

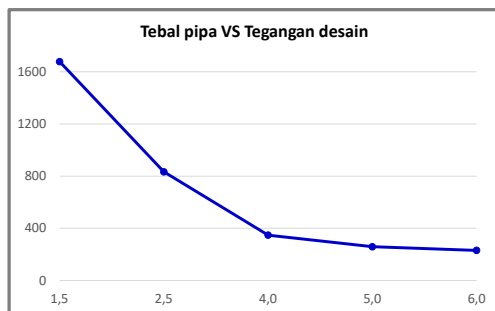


Gambar 8. Tegangan pada pipa 6”

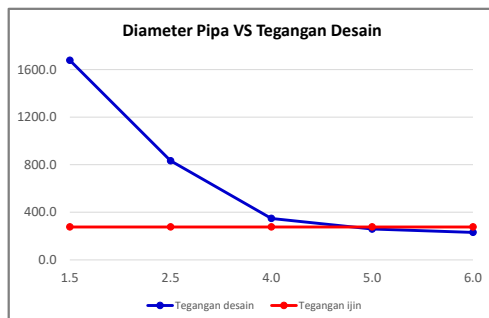
Merujuk pada tegangan ultimate pipa baja hitam, 415 MPa, juga pertimbangan gaya eksitasi gelombang dan angin, faktor keamanan diambil 1,5. Syarat kekuatan struktur dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perhitungan syarat kekuatan dewi-dewi

Variasi	Ø pipa (Inch)	Tebal pipa	Tegangan desain		Syarat Kekuatan
			Pa	MPa	
1	1,5	5,10	1,68E+09	1678	Tidak sesuai
2	2,5	7,00	8,33E+08	833	Tidak sesuai
3	4	8,60	3,48E+08	347,6	Tidak sesuai
4	5	9,50	2,59E+08	259,2	Sesuai
5	6	11,00	2,31E+08	231,2	Sesuai



Gambar 9. Tegangan desain/diameter pipa



Gambar 10. Tegangan desain dan tegangan ijin

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi kekuatan struktur, menunjukkan bahwa tegangan desain menurun proporsional dengan naiknya diameter dan ketebalan pipa. Mengambil faktor keamanan sebesar 1,5 maka pipa diameter 5 inch adalah pipa paling ringan yang direkomendasikan untuk menjadi material pembuat dewi-dewi pada KM. Cakrawala Maritim

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dalam kapasitas kami sebagai dosen Fakultas Teknik Universitas Pattimura, juga sebagai Ketua Pusat Unggulan Inovasi Unpatti. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Pattimura.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kantharia R., Wankhede A. (2014). Apocket Guide to Life Boat Operation and Maintenance. www.marineinsight.com
- [2] Rudiana, Safitri R. Junita R. (2020). Optimasi Perawatan dan Pengoperasian Alat Keselamatan Sekoci Sebagai Penunjang Keselamatan di MV Kartini Baruna. *Jurnal Meteor Stip Marunda* 13(1) 32-38.
- [3] Ferguson A.A. (1998). *Naval Ships' Technical Manual Chapter 583 Boat and Smal Craft*. Digital Media Publishing. Yokosuka-Japan
- [4] Wahyudin A., Yudho A., Zakki A.F. (2019) Analisa Kekuatan Struktur Gravity Davit pada Kapal Perintis 1200 GT dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*. 7(1) 25-37.
- [5] Ramachandran R., Rohotith K.R., Rupak C.K., Saran R., Saran S. Aravin S.V. (2022). Life Boat Launching Gravity Davit. A Project Report in Parsial Fulfilment for Award of Degree of Bachelor of Technology in Marine Engineering.
- [6] Roquel K. (2019). 2a David Calculation. [https:// id.scribd.com/doc/196131043/Davit-With-Elbow](https://id.scribd.com/doc/196131043/Davit-With-Elbow)
- [7] Viking Norsafe (2022), NDSC-25-Rescue Boat Davit. Brosure. Viking Norsafe Life-Saving Equipment Norway. Arendal Norway.
- [8] Wright C.H. (1988). *Survival at Sea. The Lifeboat and Liferaft. Acompanion Book To: The Effisient Deckhand*. Brown, Son & Ferguson, LTD, 4-10 Darnley Street. Glasgow.
- [9] Kulsherestha S. (2014). Deign of Columns Davit. <https://id.scribd.com/doc/196131043/Davit-With-Elbow>
- [10] Riyadi R. (2019). Manway Davit Calculation. <https://dokumen.tips/documents/davit-calculation.html?page=1>
- [11] Sunaryo. (2008). Analisis Kekuatan Gravity Boat Davit Dengan Variasi Beban Pada Sekoci. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII.
- [12] Panjaitan, Anggiat, Sunarto, Sitepu. (2014). Analisis Kekuatan Struktur Davit (Dewi-dewi) dan Penunjangnya. *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik UNHAS*.
- [13] Wulandari A.I., Alamsyah, Agusty C.L. (2021). Analisis Tegangan Regangan Pada Pelat Deck dan Bottom Kapal Ferry Ro-Ro Menggunakan Finite Elemen Methode. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim* 15(1) 45-51.
- [14] Wright C.H. (1988). *Survival at Sea. The Lifeboat and Liferaft. Acompanion Book To: The Effisient Deckhand*. Brown, Son & Ferguson, LTD, 4-10 Darnley Street. Glasgow.

ANALISIS UJI TARIK LAS SMAW POSISI 3G UPHILL DENGAN VARIASI ARUS PENGELASAN

Niko Agung Franata T¹, O. Metekohy² dan, S. T. A. Lekatompessy³

¹ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: npanata49@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 : sonja.lekatompessy@gmail.com

Abstrak Arus pengelasan sangatlah penting karena dapat mempengaruhi kekuatan sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik baja karbon rendah ABS Grade A 12 mm dengan menggunakan variasi arus las dan sifat mekanis. Penelitian ini menggunakan mesin las SMAW dengan posisi pengelasan 3G Uphill. Kampuh yang digunakan adalah kampuh X dengan Gepht 2 mm. Arus las yang digunakan 75A, 112A dan 160A. Hasil ultimate tensile strength raw material didapat nilai 443 Mpa, nilai ultimate tensile strength untuk arus 75A adalah 340,37 Mpa, mengalami penurunan dari nilai ultimate tensile strength raw material. Nilai ultimate tensile strength untuk arus 112A adalah 481,56 Mpa, mengalami kenaikan 48,56 Mpa dari kelompok raw material. Nilai ultimate tensile strength pada arus 160A adalah 524,52 Mpa, mengalami kenaikan 81,52 Mpa. kekuatan tarik tertinggi terdapat pada arus las 160A dengan nilai kekuatan tarik 524,52 Mpa dan terendah pada arus pengelasan 75A dengan nilai kekuatan tarik 340,37 Mpa. Menunjukkan semakin besar arus las yang digunakan maka kekuatan tariknya semakin besar.

Kata kunci: Arus las, SMAW, uji tarik

Abstract Welding current is very important because it can affect the strength of the welded joint. This study aims to determine the tensile strength of ABS Grade A 12 mm low carbon steel using weld current variance and mechanical properties. This research uses SMAW welding machine with 3G Uphill welding position. The potency used is X potency with Gepht 2 mm. The weld currents used are 75A, 112A and 160A. The ultimate tensile strength raw material result is obtained at a value of 443 Mpa, the ultimate tensile strength value for a current of 75A is 340.37 Mpa, decreased from the value of the ultimate tensile strength raw material. The ultimate tensile strength value for 112A current is 481.56 Mpa, an increase of 48.56 Mpa from the raw material group. The ultimate tensile strength value at 160A current is 524.52 Mpa, an increase of 81.52 Mpa. The highest tensile strength is found in the welding current 160A with a tensile strength value of 524.52 Mpa and the lowest in the welding current 75A with a tensile strength value of 340.37 Mpa. Indicates the greater the welding current used, the greater the tensile strength.

Keywords: Welding current, SMAW, tensile test

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan adalah salah satu proses terpenting dalam industri manufaktur. Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam

induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Salah satu proses pengelasan yang paling umum dan sering kali digunakan yaitu pengelasan SMAW (Shield

Metal Arc Welding). Yang sering menjadi permasalahan ialah ketika kekuatan dari hasil lasan tidak sesuai dengan yang ditargetkan [1].

Penampang spesimen yang dianalisis ialah permukaan patahan yang terjadi setelah patah ketika dilakukan uji tarik. Dari hasil permukaan terlihat apakah spesimen mengalami patah ulet atau patah getas. Patah ulet menunjukkan bahwa spesimen mempunyai daerah deformasi plastis disertai penyerapan energi yang besar. Sebaliknya patah getas mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis dengan penyerapan energi yang kecil [2].

Hasil nilai kekuatan tarik untuk kelompok spesimen uji dengan pendinginan udara terbuka mengalami peningkatan kekuatan tarik dibandingkan dengan spesimen pendingin di dalam air. Hasil pengujian visual, kelompok spesimen uji dengan pendingin udara terbuka mempunyai porositas lebih sedikit dibandingkan kelompok pendingin di dalam air [3].

Mutu dari hasil pengelasan ini tergantung dari pengerjaan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan, karena pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas [4].

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan [5].

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material ABS Grade A sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan (kekuatan tarik atau kekuatan luluh), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan presentase perpanjangan dan presentase kontraksi atau reduksi penampang [6].

Salah satu hal penting yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan adalah besarnya arus las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus pengelasan terhadap kualitas hasil pengelasan melalui pengujian tarik. Dari hasil

penelitian semakin besar arus pengelasan semakin besar pula kekuatan tarik [7].

2. BAHAN DAN METODE

Proses pengelasan berkaitan dengan lempengan baja yang dibuat dari Kristal besi dan karbon sesuai struktur mikronya, dengan bentuk dan arah tertentu. Lalu sebagai dari lempengan logam tersebut dipanaskan hingga meleleh. Jika tepi lempengan logam itu disatukan, terbentuklah sambungan. Umumnya pada proses pengelasan juga ditambahkan dengan bahan penyambung seperti kawat atau batang las [8].

Energi listrik pada las busur nyala listrik diukur dalam tegangan (volt) dan arus (ampere). Tegangan pengelasan ditentukan oleh panjang busur nyala listrik. Panjang nyala busur listrik bergantung pada ukuran dan jenis elektroda yang digunakan. Panjang busur nyala listrik yang baik kurang lebih setengah dari diameter elektroda. stabilitas busur nyala listrik dapat dirasakan dari suara pengelasan yang stabil [9].

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Karya Teknik Utama Batam untuk pengelasan dan proses pengujian uji tarik dilaksanakn di PT. Profesional Technology Specialist Batam. Bahan penelitian yang digunakan adalah pelat baja karbon rendah ABS Grade A 12mm, cairan penetran dan elektroda 3,2 mm ESAB 6013. Alat yang digunakan adalah mesin uji tarik, mesin las smaw, gerinda gosok, mteran dan palu ketok.

Proses pengelasan dimulai dengan mempersiapkan material dan mesin las smaw, pengelasan dilakukan dengan posisi 3G *up hill* dengan kampuh X Geph 2 mm menggunakan elektroda 3,2 mm. Mesin las dinyalakan dan elektroda digoreskan sampai menyala, arus yang digunakan dalam pengelasan 75A, 112A dan 160 A.

Proses pengujian uji tarik dimulai dengan mempersiapkan spesimen uji tarik sesuai standar AWS D1.1. Setelah itu mesin uji tarik dinyalakan kemudian memasang sesimen uji pada mesin uji tarik dengan cara menjepit pada ragum kemudian diberikan beban terhadap masing-masing spesimen sampai benda uji putus. Spesimen yang putus dilepaskan dari mesin uji tarik dan disatukan seperti semula kemudian hasil data di *dial indicator* dicatat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Uji Tarik

Standar spesimen uji mekanik yang digunakan adalah AWS D1.1. Kriteria dari AWS D1.1 untuk uji tarik adalah kuat tarik harus tidak

boleh kurang dari spesifikasi kuat tarik minimum dari logam dasar yang digunakan atau standar dari material tersebut [10].



Gambar 1. Spesimen uji tarik

Penelitian ini menggunakan variasi arus pengelasan sebesar 75A, 112A dan 160A. Hasil pengujian tarik masing – masing variasi arus dapat dilihat pada tabel 1. Masing-masing pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

Tabel 1. Data hasil uji tarik

No	Arus (A)	Jumlah spesimen	Area (mm ²)	Yield Point (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
1	Raw Material	1	200	300,00	443,00	29
2	75	1	200	254,57	325,90	12,78
		2	200	256,34	341,72	11,80
		3	200	274,11	353,49	13,95
	Rata - rata	200	261,68	340,37	12,84	
3	112	1	200	329,11	473,81	22,52
		2	200	359,89	487,93	25,85
		3	200	365,65	482,95	21,86
	Rata - rata	200	351,55	481,56	23,41	
4	160	1	200	345,52	491,67	26,38
		2	200	386,21	589,06	27,04
		3	200	366,60	492,81	27,20
	Rata - rata	200	366,11	524,52	26,87	

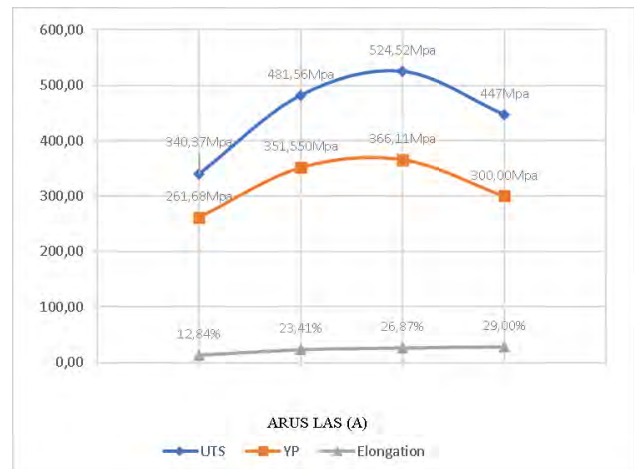
Kekuatan tarik pada arus 75A terdapat nilai tertinggi pada spesimen A3 sebesar 353,49 Mpa, kemudian pada spesimen A2 sebesar 341,72 Mpa dan yang paling terendah pada spesimen A1 sebesar 325,90 Mpa. Dari ke 3 spesimen tersebut di dapat nilai rata-rata kekuatan tarik dengan arus 75A sebesar 340,37 Mpa.

Kekuatan tarik pada arus 112A terdapat nilai tertinggi pada spesimen B2 sebesar 487,93 Mpa, kemudian pada spesimen B3 sebesar 482,95 Mpa dan yang paling rendah pada spesimen B1 sebesar 473,81 Mpa. Dari ke 3 spesimen tersebut didapat nilai rata-rata kekuatan tarik dengan arus 112 A sebesar 481,56 Mpa.

Kekuatan tarik pada arus 160 A terdapat nilai tertinggi pada spesimen C2 sebesar 589,06 Mpa, kemudian pada spesimen C3 sebesar 492,82 Mpa dan yang paling rendah pada spesimen C1 sebesar 491,67 Mpa. Dari ke 3 spesimen tersebut didapat nilai rata-rata kekuatan tarik dengan arus 160 A sebesar 524,52 Mpa.

Nilai tersebut didapatkan dari hasil uji tarik menggunakan perangkat lunak Avery Denison di mana hasilnya keluar dan langsung di cetak. Untuk

waktu pengelasannya diperkirakan berkisar 21 menit per arus pengelasan.



Gambar 2. Grafik karakteristik uji tarik

Berdasarkan grafik di atas didapat Yield Point untuk raw material adalah 300 Mpa. Nilai Yield Point untuk arus 75A adalah 261,68 Mpa, ini berarti mengalami penurunan sebesar 38,32 Mpa dari kelompok raw material. Nilai Yield Point untuk arus 112A adalah 351,55 Mpa, ini berarti mengalami kenaikan 51,55 Mpa dari kelompok raw material. Nilai Yield Point pada arus 160A adalah 366,11 Mpa. Berarti nilai Yield Point pada arus 160A lebih besar dari raw material, 75A, dan 112A.

Berdasarkan grafik di atas didapat ultimate tensile strength untuk raw material adalah 443 Mpa. Nilai ultimate tensile strength untuk arus 75A adalah 340,37 Mpa, ini berarti mengalami penurunan dari kelompok raw material. Nilai ultimate tensile strength untuk arus 112A adalah 481,56 Mpa, ini berarti mengalami kenaikan 34,56 Mpa dari kelompok raw material. Nilai ultimate tensile strength pada arus 160A adalah 524,52 Mpa. Berarti nilai Yield Point pada arus 160A lebih besar dari raw material, 75A, dan 112A.

Berdasarkan grafik di atas didapat nilai elongation untuk raw material sebesar 29%. Nilai elongation pada arus 75A sebesar 12,84 %. Mengalami penurunan sebesar 16,16%. Pada arus 112A nilai elongationnya adalah 23,41%. Mengalami kenaikan sebesar 10,57% dari pada perpanjangan arus 75A, tetapi nilai elongation ini masih di bawah raw material. Nilai elongation pada arus 160A adalah sebesar 26,87%, mengalami kenaikan sebesar 14,03% dan 3,46% dari pada perpanjangan arus 75A dan 112A, tetapi nilai perpanjangan ini masih di bawah raw material.

Hasil uji dengan perangkat lunak Avery Denison dengan validasi AWS D1.1 per setiap spesimen. Hasil pengujian yang ditentukan dengan perangkat

lunak dapat diverifikasi dan divalidasi dengan kumpulan data yang terkordinasi secara internasional dan hasil pengujian yang terkoordinasi secara internasional.

Kriteria dari AWS D1.1 untuk uji tarik adalah kuat tarik harus tidak boleh kurang dari spesifikasi kuat tarik minimum dari logam dasar yang digunakan atau standar dari material tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian Untuk nilai yield point dengan arus pengelasan 75A dengan nilai rata rata 261,68 Mpa, arus pengelasan 112A dengan nilai rata-rata 351,55 Mpa dan arus pengelasan 160A dengan nilai rata-rata 366,11 Mpa. Untuk nilai ultimate tensile strength dengan arus pengelasan 75A dengan nilai rata rata 340,37 Mpa, arus pengelasan 112A dengan nilai rata-rata 481,56 Mpa dan arus pengelasan 160A dengan nilai rata-rata 524,52 Mpa. Untuk nilai elongation dengan arus pengelasan 75A dengan nilai rata rata 12,84%, arus pengelasan 112A dengan nilai rata-rata 23,41% dan arus pengelasan 160A dengan nilai rata-rata 26,87%. Hasil uji penetran menunjukkan bahwa hasil dari las dengan menggunakan arus 75A terdapat cacat las porosity sebanyak 4 porosity, 112A dan 160A keduanya tidak terdapat cacat las.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Restu (2019). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja AISI 1050. [<https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/25136>]
- [1] Almuzikri, W. A., Usman, U., & Bukhari, B. (2021). Analisis pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan material SM 400 B. [http://e-jurnal.pnl.ac.id/Welding_Technology/article/view/2510]
- [2] Lekatompessy, S. (2013). Tinjauan Pengaruh Pendinginan Spesimen Uji Las Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan. *Jurnal Arika*, 7(2), 133-141. [<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/arika/article/view/386>]
- [3] Obed M. (2022). Job Sheet Praktikum Teknologi Las Pada Laboratorium Teknologi Las Fakultas Teknik Universitas Pattimura.
- [4] Arifin, S, 1982. Las Listrik dan Otogen. Ghalia Indonesia. Jakarta [<https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=146264>]
- [5] Azwinur, A., Jalil, S. A., & Husna, A. (2017). Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW. [<http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/polimesin/article/view/372>]
- [7] Lekatompessy, S. (2019). Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan. *ALE Proceeding*, 2, 6-8. [<https://doi.org/10.30598/ale.2.2019.6-8>]
- [8] Wijaya Silalahi (2022). Pengaruh Pendinginan Spesimen Uji Las Terhadap Kekuatan Tarik, Skripsi, Tidak Diterbitkan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura: Ambon.
- [9] Obed M. (2022). Job Sheet Praktikum Teknologi Las Pada Laboratorium Teknologi Las Fakultas Teknik Universitas Pattimura.
- [10] AWS D1.1/D1.1M (2020) Structural Welding Code Steel, Type of Qualification Test Required. [<https://istasazeh-co.com/wp-content/uploads/2022/02/AWS-D1.1-D1.1M-2020.pdf>]

KAJI SIFAT MEKANIS KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT ALAM DENGAN VARIASI FRAKSI VOLUME

Arthur Yanny Leiwakabessy¹, Sefnath Josep Etwan Sarwuna²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: arthur.leiwakabessy@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : etwansarwuna19@gmail.com

Abstrak. Indonesia menjadi negara yang kaya akan sumber daya alam baik di laut maupun di darat. Salah satu nya tumbuhan Daun Lamun (*Enhalus Acoroides*) yang hidup laut dangkal perairan Maluku. Daun Lamun memiliki konstruksi daun, batang, maupun akar sama dengan tumbuhan lainnya. Namun kenyataannya Hamparan ekosistem daun lamun belum dimaksimalkan pemanfaatannya pada daerah Maluku. Terkait dengan hal itu maka dalam penelitian akan membahas terkait pemanfaatan serat daun lamun sebagai penguat material komposit yang dipadukan dengan resin polyester. Tujuan penelitian ini mengetahui harga *impact* dan energi serap yang dihasilkan melalui pengujian *impact* (beban kejut) dengan variasi komposisi campuran. Metode penelitian yang digunakan secara eksperimen pada laboratorium. Dari hasil penelitian untuk komposisi campuran 0%:100% diperoleh nilai *impact* 0,08 J/mm² dan nilai energi serap 0,45 J, untuk komposisi campuran 10%:90% nilai *impact* 0,32 J/mm² dan nilai energi serap 1,758 J, untuk komposisi campuran 20%:80% nilai *impact* 0,38 J/mm² dan nilai energi serap 2,08 J, dan untuk komposisi campuran 30%:70% nilai *impact* 0,56 J/mm² dan nilai energi serap 3,07 J. Komposisi campuran 30%:70% memiliki nilai *impact* dan nilai energi serap tertinggi diantara komposisi campuran yang lain. Hal sesuai dengan prinsip dasar komposit bahwa serat berfungsi sebagai penguat selama matrik mengikat dengan baik.

Kata kunci: Material Komposit, Serat Alam, Harga Impak, Energi Serap

Abstract. Indonesia is a country rich in natural resources, both at sea and on land. One of the seagrass leaves (*Enhalus Acoroides*) that lives in the shallow seas of Maluku Seagrass leaves have the same leaf, stem, and root construction as other plants. However, in reality, the expanse of seagrass leaf ecosystems has not been maximized in the Maluku region. Related to this, the research will discuss the use of seagrass leaf fiber as a reinforcement for composite materials combined with polyester resin. The purpose of this research is to know the value of the impact and absorption energy produced through impact testing (shock load) with variations in the composition of the mixture. The research method used experimentally in the laboratory. From the research results, for a mixture composition of 0%:100%, an impact value of 0,08 J/mm² and an absorption energy value of 0,45 J are obtained; for a mixture composition of 10%:90%, an impact value of 0,32 J/mm² and an absorption energy value of 1,758 J; for a mixed composition of 20%:80%, the impact value is 0,38 J/mm² and an absorption energy value of 2,08 J; and for a mixed composition of 30%:70%, the impact value is 0,56 J/mm² and an absorption energy value of 3,07 J. The composition of the mixture 30%:70% has the highest impact value and absorption energy value among the other mixture compositions. This is in accordance with the basic principle of composites, which states that fiber functions as a reinforcement as long as the matrix binds properly.

Keywords: Composite Materials, Natural Fibers, Impact Prices, Absorbed Energy

1. PENDAHULUAN

Indonesia Sebagai Negera yang kaya akan berbagai sumber daya alam, salah satu yang terpenting adalah tanaman. Karena dapat memanfaatkan bagian – bagian mulai dari akar sampai pada daunnya. Daun Lamun (*Enhalus Acoroides*) sebagai tumbuhan berbunga yang dapat hidup mulai dari substrat berlumpur sampai dengan patahan karang.[1] Seperti halnya tumbuhan lain di darat, lamun mempunyai tunas berdaun yang tegak, tangkai – tangkai yang merayap dan efektif untuk berkembang biak, berbunga, berbuah dan menghasilkan biji. Serta memiliki akar dan sistem internal untuk mengangkut gas & zat – zat hara. Dalam ekologi laut yang dekat dengan garis pantai lamun memiliki peran dan fungsi penting sebagai produsen utama, tempat berlindung dan sebagai sumber makanan bagi beberapa populasi di laut. [2] Selain itu pemanfaatan tumbuhan lamun dalam hal ini serat daun lamun dapat dikembangkan lebih jauh sebagai bahan material komposit. Dengan mempertimbangkan bentuk fisik daun lamun, memungkinkan lembaran tersebut dapat digunakan sebagai bahan penguat pada komposit.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari penggabungan dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen.[3] Penggunaan bahan komposit dengan serat alam memiliki kelebihan antara lain, sifat mekanis kuat dan tidak korosif, mudah didapat, biaya pembuatan relatif lebih murah, serta ramah lingkungan.[4] Serat pada material komposit berfungsi menjadi komponen yang menahan beban, yang mana besar kecil kekuatan dari material komposit bergantung dari serat. Kandungan serat yang digunakan pada komposit harus menjadi perhatian guna mendapatkan jenis komposit dengan kekuatan yang baik diperlukan distribusi dari serat terhadap matrik merata dengan proses penggabungan supaya minimalisir adanya void. [5]

Penelitian mengenai komposit serat alam dilakukan pada tahun 2017 menggunakan serat kayu gelam dengan variasi panjang serat dan fraksi volume berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat mekanis dalam hal ini kekuatan tarik material komposit. Dengan demikian hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik 16,81% pada variasi fraksi volume 10% ke 30% sampai dengan 98,91% pada variasi fraksi volume 70% ke 0%. [6]

Penelitian mengenai ketangguhan impact komposit serat alam tahun 2022 menggunakan serat daun nanas berdasarkan model anyaman. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kekuatan impact komposit berpenguat serat daun nanas berdasarkan

jenis anyaman. Hasil penelitian menunjukkan nilai ketangguhan impact rata – rata komposit serat daun nanas dengan model anyaman *plain* sebesar 0,202 J/mm² lebih besar dari jenis anyaman *twill* dengan harga impact 0,144 J/mm². [7]

Penelitian mengenai sifat mekanis dan sifat fisis pada serat sabut kelapa dan serat bambu sebagai material bumper mobil. Penelitian ini bertujuan untuk kekuatan tarik dari kombinasi dua serat alam tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik terbesar diperoleh pada fraksi 20% serat bambu, 0% serat sabut kelapa, 80% matrik dengan nilai 95,578 Mpa, diikuti penurunan kekuatan tarik pada fraksi volume 5% serat sabut kelapa, 15% serat bambu, 80% matrik, 20% serat sabut kelapa, 0% serat bambu, 80% matrik. Komposit yang dianalisis masih layak digunakan sebagai material pembuat bumper mobil karena kekuatannya tidak kurang dari standar bumper mobil yaitu 8,09 Mpa. [8]

Penelitian mengenai materi komposit serabut kelapa merah dengan fraksi volume. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tarik serabut kelapa merah sebagai bahan material komposit. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan tarik, regangan tarik dan modulus elastisitas. Spesimen I 10%:90% dengan nilai kekuatan tarik mencapai 84,75 N/mm², regangan tarik 0,10 dan modulus elastisitas 847,5 N/mm². Spesimen II 20%:80% dengan nilai kekuatan tarik 89,75 N/mm², regangan tarik 0,14 dan modulus elastisitas 641,07 N/mm². Untuk spesimen III 30%:70% dengan nilai kekuatan tarik mencapai 93,5 N/mm², regangan tarik 0,19 dan modulus elastisitas 492,10 N/mm². Jadi spesimen yang baik dan memiliki kekuatan tarik tertinggi pada komposit dengan fraksi volume 30%:70%. [9]

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka dalam penelitian ini akan dianalisis sifat mekanis komposit polyester yang diperkuat serat alam daun lamun dengan variasi fraksi volume. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan impact dan energi serap yang dihasilkan berdasarkan variasi fraksi volume serat daun lamun. Manfaat dari penelitian ini kemudian diperoleh sebuah material yang ringan dengan kekuatan tinggi dan bisa dimanfaatkan sebagai bahan mebel.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Material Komposit

Material komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya. Berdasarkan jenis penguatnya maka komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yakni;

Komposit partikel (*particulate Composite*), penguatnya berbentuk partikel, Komposit serat (*Fiber Composite*) penguatnya berbentuk serat dan Komposit Struktur (*Structur composite*), cara penggabungan material komposit.[10]

2.2. Serat Lamun *Enhalus Acoroides*

Lamun adalah jenis tumbuhan berbunga yang sepenuhnya menyesuaikan diri dengan hidup terbenam dalam laut. Tumbuhan ini terdiri dari rhizoma, daun dan akar.[11] Diameter rhizoma sekitar 1,5 cm dan ditutupi oleh serabut hitam. Akarnya berbentuk seperti kabel tak bercabang dengan panjang sekitar 18,50 157,65 mm. Panjang daun *Enhalus Acoroides* sendiri dapat mencapai 2m dengan lebar daun 2cm. Ujung daun membulat dan terkadang agak bergerigi utamanya pada tanaman muda.

2.3. Aspek Geometri

Perhitungan geometri komposit menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (4):

a. Massa Komposit

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung massa komposit sebagai berikut:[12]

$$m_c = m_f + m_m \quad (1)$$

b. Massa Jenis Komposit

Menggunakan persamaan (2) untuk menghitung massa jenis komposit sebagai berikut:[12]

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} \quad (2)$$

c. Fraksi Serat

Menggunakan persamaan (3) untuk menghitung fraksi berat serat, sebagai berikut:[12]

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \quad (3)$$

Menggunakan persamaan (4) untuk menghitung fraksi volume serat sebagai berikut:[12][13]

$$V_f = \frac{(m_f/\rho_f)}{(m_f/\rho_f + m_m/\rho_m)} \times 100\% \quad (4)$$

2.4. Pengujian Impact

Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Dan merupakan upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban selamanya tidak terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba – tiba. Pada pengujian *impact* ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadi perpatahan merupakan ukuran ketahanan *impact* dan ketangguhan bahan tersebut.[14] Besarnya energi terserap pendulum saat mematahkan spesimen material komposit dihitung menggunakan persamaan (5) sebagai berikut:[12][14]

$$E_{serap} = m \cdot g \cdot R (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (5)$$

Setelah diketahui besarnya energi yang diserap pendulum saat mematahkan spesimen, maka besarnya kekuatan/energi *impact* dapat dihitung dengan persamaan (6) sebagai berikut;

$$HI = \frac{E}{A} \quad (6)$$

2.5. Metode

Objek penelitian ini adalah material komposit yang diperkuat serat alam daun lamun *Enhalus Acoroides* dengan perbandingan variasi fraksi volume serat daun lamun dan polyester yakni 10%:90%, 20%:80 dan 30%:70%, dengan melakukan pengujian *impact*.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen:

1. Variabel bebas: komposisi serat lamun dan resin polyester 10%:90%, 20%:80% dan 30%:70%
2. Variabel terikat: Harga *Impact* (HI) dan Energi Serap (ES)
3. Variabel kontrol: perlakuan larutan alkalin yaitu larutan NaOH 5% terhadap serat lamun yakni 2 jam, Ukuran serat lamun 5cm untuk spesimen uji *impact* dengan arah searah.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

Bahan Penelitian: Serat daun lamun, resin *unsaturated polyester* BQTN, Katalis, *mirror glaze*, Larutan NaOH, Akuades.

Alat Penelitian: Timbangan digital, cetakan untuk komposit, gelas beker, gelas ukur, pipet tetes, pengaduk, jangka sorong dan mikrometer sekrup.

Prosedur pengujian didasarkan pada ASTM E.23 dengan urutan sebagai berikut:

1. Meletakkan benda uji di tempat benda uji pada alat uji *impact*.
2. Mengatur posisi jarum penunjuk pada 0°
3. Mengangkat pendulum sejauh 140° dengan cara memutar berlawanan arah jarum jam secara perlahan – lahan.
4. Melepaskan pendulum untuk mengayun dan mengenai benda uji/spesimen.
5. Melihat dan mencatat hasil data yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk pada busur derajat.
6. Melakukan perhitungan dari data pengujian yang telah diperoleh, yaitu menghitung usaha (W) dan harga *impact* (K).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Perhitungan Volume Serat Lamun

Fraksi volume serat lamun menjadi objek penting dalam penelitian ini, dalam hal ini perlu diketahui harga fraksi volume serat lamun untuk dipadukan dengan resin polyester. Melalui tahapan perhitungan untuk masing – masing komposisi, maka diperoleh data hasil perhitungan yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan volume serat & resin

Volume serat (gram)	Volume resin (gram)
0 (0%)	0 (0%)
0,45 (10%)	6,01 (90%)
0,90 (20%)	5,34 (80%)
1,36 (30%)	4,67 (70%)

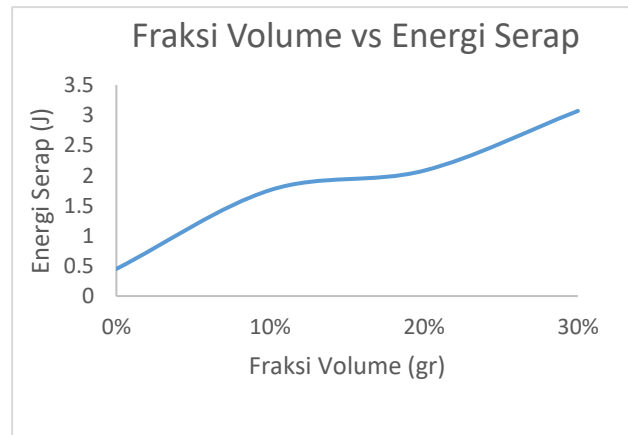
3.2. Data Hasil Pengujian Impact

Pengujian *impact* telah dilakukan sesuai dengan tahapan prosedur pengujian untuk tiap – tiap benda uji yang ditunjukkan pada tabel 2. Nilai yang diperoleh dari hasil uji menunjukkan komposit polyester yang diperkuat serat daun lamun memiliki nilai *impact* rata – rata 0,08 J/mm² untuk komposisi serat 0%, 0,32 J/mm² untuk komposisi serat 10%, 0,38 J/mm² untuk komposisi serat 20% dan 0,56 J/mm² untuk komposisi serat 30%.

Tabel 2. Hasil pengujian *impact*

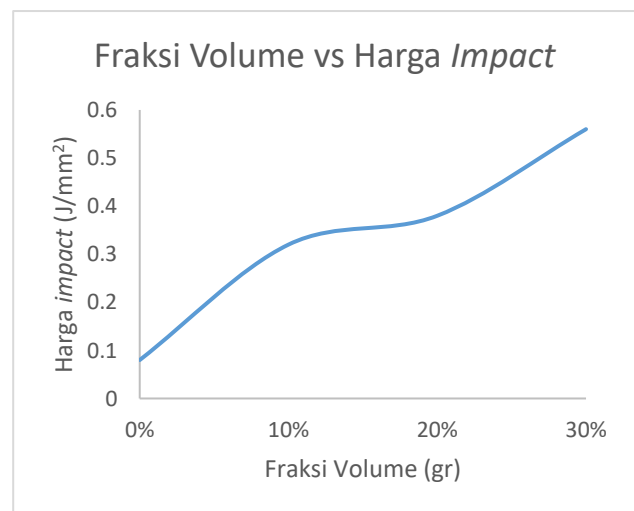
Komposisi serat (%)	Berat Spesimen (gr)	Serap Energi (J)	Kekuatan <i>impact</i> (J/mm ²)
0	9,89	0,45	0,08
10	12,19	1,758	0,32
20	10,31	2,08	0,38
30	13,23	3,07	0,56

Berdasarkan data gambar 1 yang ditampilkan, diketahui bahwa hasil pengujian pada 4 benda uji komposit polyester dengan 4 variasi komposisi serat, komposisi 30% serat daun lamun dan 70% resin memiliki nilai energi serap yang lebih tinggi dibandingkan dengan 0%, 10%:90% dan 20%:80%.



Gambar 1. Grafik fungsi hubungan fraksi volume dan energi serap

Berdasarkan data gambar 1 yang ditampilkan, diketahui bahwa hasil pengujian pada 4 benda uji komposit polyester dengan 4 variasi komposisi serat, komposisi 30% serat daun lamun dan 70% resin memiliki nilai harga *impact* yang lebih tinggi dibandingkan dengan 0%, 10%:90% dan 20%:80%. Hal ini relevan dengan penelitian sebelumnya [10][15][14] yang menyatakan bahwa jumlah fraksi volume berpengaruh terhadap kekuatan *impact*, karena semakin banyak jumlah fraksi volume serat maka semakin tinggi kekuatan *impact* material komposit.



Gambar 2. Grafik fungsi hubungan fraksi volume dan energi serap

Analisa makro pola patahan pada benda uji *impact* komposit dengan komposisi serat 0% dan resin 100% terlihat patahan halus pada benda uji. Permukaannya terasa halus dan terlihat permukaan butiran serbuk campuran resin terasa halus.



Gambar 3. Pola patahan benda uji *impact* komposit dengan komposisi 0%:100%

Analisa makro pola patahan pada benda uji *impact* komposit dengan komposisi serat 10% dan resin 90%. Terlihat bahwa kondisi permukaan patahan kasar. Pada benda uji komposit ini serat daun lamun tampak tersebar secara merata. Dan terlihat pada permukaan benda uji terdapat butiran serat daun lamun yang akan terlepas.



Gambar 4. Pola patahan benda uji *impact* komposit dengan komposisi 10%:90%

Analisa makro pola patahan pada benda uji *impact* komposit dengan komposisi serat 20% dan resin 80%. Terlihat bahwa kondisi permukaan patahan kasar. Pada benda uji komposit ini serat daun lamun tampak tersebar secara merata. Dan terlihat pada permukaan benda uji terdapat butiran serat daun lamun yang akan terlepas.



Gambar 5. Pola patahan benda uji *impact* komposit dengan komposisi 20%:80%

Analisa makro pola patahan pada benda uji *impact* komposit dengan komposisi serat 30% dan resin 70%. Terlihat bahwa kondisi permukaan patahan kasar. Pada benda uji komposit ini serat daun lamun tampak tersebar secara merata. Dan terlihat pada permukaan benda uji terdapat butiran serat daun lamun yang akan terlepas.



Gambar 6. Pola patahan benda uji *impact* komposit dengan komposisi 30%:70%

Pola patahan untuk uji *impact* dari komposit tunggal untuk setiap benda uji terlihat adanya ikatan antara serat dan polyester yang apabila diberi beban terus bertambah akan mengalami patahan. Pada benda uji mengalami kegagalan dalam hal ini patahan, serat masih dapat menahan beban, sehingga proses terjadinya patahan tidak berlangsung bersamaan.

4. KESIMPULAN

Dari uraian hasil dan pembahasan maka dapat dibuat Kesimpulan sebagai berikut:

Penambahan fraksi volume serat daun lamun yang digunakan sebagai penguat pada material komposit akan diterima oleh matrik yang diteruskan pada serat penguatnya. Ditunjukkan dengan nilai tertinggi $HI = 0,56 \text{ J/mm}^2$ pada komposisi serat 30% serat lamun dan 70% resin polyester dengan nilai $ES = 3,07 \text{ J}$, dengan berat benda uji 13,23gr. Penelitian relevan dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya.

Hal ini sesuai dengan prinsip dasar komposit, bahwa serat berfungsi sebagai penguat selama matrik mengikat dengan baik. Dan semakin banyak serat yang digunakan dalam maka gaya yang diterima oleh material komposit akan semakin kecil sedangkan kekuatan tahan akan semakin besar.

Kajian penting pada penelitian selanjutnya yang perlu menjadi perhatian masih terkait dengan campuran antara serat daun lamun dan resin jika komposisi campurannya seimbang untuk melihat

berapa peningkatan harga *impact* dan kekuatan tarik yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura atas dukungan dana untuk membiayai kegiatan Penelitian melalui PNPB Fakultas Teknik tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. H. Sermatang, C. I. Tupan, and L. Siahainenia, “MORFOMETRIK LAMUN *Thalassia hemprichii* BERDASARKAN TIPE SUBSTRAT DI PERAIRAN PANTAI TANJUNG TIRAM, POKA, TELUK AMBON DALAM,” *Trit. J. Manaj. Sumberd. Perair.*, vol. 17, no. 2, pp. 77–89, 2021, doi: 10.30598/tritonvol17issue2page77-89.
- [2] I. F. Suleman, R. Sulistijowati, S. H. Manteu, and W. R. Nento, “IDENTIFIKASI SENYAWA SAPONIN DAN ANTIOKSIDAN EKSTRAK DAUN LAMUN (*Thalassia hemprichii*),” *Jambura Fish Process. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 94–102, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.ung.ac.id/index.php/jfpj/issue/archive>
- [3] Y. Gunawan and E. Penulis, “Sarudin, Sudarsono dan Yuspian G., 2019,” vol. 4, no. 4, pp. 124–128, 2019.
- [4] W. Iswidodo, A. Lungiding, and T. Irmiyana, “Pengaruh Komposit Serat Daun Lontar Terhadap Redaman Suara Pada Kapal Nelayan,” *Semin. Nas. Terap. Ris. Inov. ke-VII*, pp. 252–259, 2021.
- [5] M. I. Koto, N. Erizon, and H. Nurdin, “MENGUNAKAN METODE HAND LAY UP DENGAN BERBAGAI VARIASI FRAKSI TENSILE STRENGTH ANALYSIS OF FIBER GLASS COMPOSITE MATERIALS USING HAND LAY UP METHOD WITH VARIOUS FRACTIONAL VARIATIONS,” vol. 5, no. 1, pp. 26–31, 2023.
- [6] S. Arief and A. Sidiq, “Pengaruh Variasi Panjang Serat Serat Kayu Gelam (*Melaleuca Leucandendra*) Terhadap Kekuatan,” vol. 03, no. 01, pp. 42–48, 2017.
- [7] L. Widodo, K. Priyanto, and B. Margono, “Analisis Ketangguhan Impak Komposit Polyester Berpenguat Serat Daun Nanas Berdasarkan Jenis Anyaman,” *Teknika*, vol. 7, no. 4, pp. 217–227, 2022, doi: 10.52561/teknika.v7i4.207.
- [8] R. Saputra, K. Kardiman, D. T. Santoso, and A. I. Imran, “Analisis Sifat Mekanis dan Sifat Fisis pada Komposit Serat Sabut Kelapa Serat Bambu Matriks Epoxy Sebagai Material Bumper Mobil,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 37, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i1.3014.
- [9] B. Tomi, M. Budha, and K. A. Siska, “Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serabut Kelapa Merah dengan Fraksi Volume Menggunakan Resin Epoxy,” *J. Rekayasa Mesin dan Inovasi Teknologi*, vol. 02, no. 02, p. 123, 2021.
- [10] Fikran, B. Muhammad, and Mardin, “Analisis Sifat Mekanis Bahan Komposit Lamina Serat Sisal (*Sisalana Agave*) Bermatriks Polimer,” *J. Technol. Process*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2022.
- [11] S. Rawung, F. F. Tilaar, and A. B. Rondonuwu, “The Inventory of Seagrasses in Marine Field Station of Faculty of Fisheries and Marine Science in Subdistrict of East Likupang District North Minahasa,” *J. Ilm. Platax*, vol. 6, no. 2, p. 38, 2018, doi: 10.35800/jip.6.2.2018.20619.
- [12] Gundara, “Sifat Tarik, Bending dan Impak Komposit Serat Sabut Kelapa-Polyester dengan Variasi Fraksi Volume: Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 3, no. 1, pp. 10–19, 2019.
- [13] C. Gautama, M. Fa’iz Alfatih, and S. Alimi, “Eksperimen Uji Bending Pada Komposit Resin Polyester Dan Epoxy Serat Jerami Padi Dengan Proses Hand Lay Up,” *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 2, pp. 237–242, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i2.623.
- [14] C. Iswan, B. Maryanti, and K. Arifin, “Analisis Perbandingan Kekuatan Variasi Fraksi Volume Komposit Serat Ijuk Terhadap Sifat Mekanis Komposit Dengan Matriks Resin Epoksi,” *Snitt*, vol. c, pp. 36–43, 2018.
- [15] C. B. Wiranegara, X. Salahudin, and S. Hastuti, “Pemanfaatan Serat Alam Dan Serat Sintetis Sebagai,” *J. ...*, vol. 5, no. 2, pp. 30–37, 2022, [Online]. Available: <http://www.e-journal.polmanceper.ac.id/index.php/Foundry/article/view/57>

EKSPERIMENTAL STUDI VARIASI PUTARAN SPINDEL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA ST-42

Benjamin G Tentua¹, Cendy S.E. Tupamahu², Frans Silooy³

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: tentuabenny@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: tupamahucendy@gmail.com

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Abstrak. Kualitas permukaan hasil pembubutan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan putaran spindel dan pemilihan sudut sisi potong. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar tingkat kekasaran permukaan pada proses bubut material ST 42. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan mesin bubut konvensional Huvema Model HU 460 X 2000 VAC. Material benda kerja adalah ST-42 dengan diameter 25 mm, panjang 80 mm, pahat HSS $\frac{3}{4} \times 6$. Variasi putaran spindel 275 rpm, 400 rpm, 605 rpm dan sudut sisi potong 75° . Data yang dihasilkan dari proses penelitian dianalisis menggunakan Desain eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada putaran spindel 605 Rpm menghasilkan nilai rata-rata kekasaran permukaan ($\bar{x}RaTotal$) = 4,200 μm , putaran 400 rpm menghasilkan nilai rata-rata ($\bar{x}RaTotal$) = 4.471 μm dan untuk putaran spindel 273 rpm, menghasilkan nilai rata-rata kekasaran permukaan tertinggi ($\bar{x}RaTotal$) = 6.752 μm . Tingkat kekasaran permukaan yang dicapai putaran 605 rpm dan putaran 400 rpm adalah N8, putaran 275 rpm adalah N10, yang mana masih diizinkan sesuai ISO Roughness Number.

Kata kunci: kekasaran permukaan, putaran spindel, sudut potong, ST 42

Abstract. The surface quality of turning results can be influenced by several factors such as determining the spindle rotation speed and cutting edge angle. The purpose of this study is to determine the best variation to produce a low level of surface roughness in the lathe process of ST 42 material. This research is an experimental study using a conventional lathe Huvema Model HU 460 X 2000 VAC. The workpiece material is ST-42 with a diameter of 25 mm, length of 80 mm, HSS tool $\frac{3}{4} \times 6$. Variation of spindle rotation 275 rpm, 400 rpm, 605 rpm and cutting edge angle 75° . Data analysis using experimental statistics. The results showed that the 605 rpm spindle rotation produced the lowest average value of surface roughness ($\bar{x}RaTotal$) = 4,200 μm , the 400 rpm rotation produced an average value ($\bar{x}RaTotal$) = 4,471 μm for the 273 rpm spindle rotation, producing the highest average value of surface roughness ($\bar{x}RaTotal$) = 6,752 μm . The surface roughness level achieved by 605 rpm and 400 rpm spindles is N8, 275 rpm spindle is N10, which is still within the theoretical allowable of the lathe process results (ISO Roughness Number).

Keywords: surface roughness, spindle rotation, cutting angle, ST 42

1. PENDAHULUAN

Proses permesinan merupakan salah satu proses yang utama dalam industri manufaktur[1]–[3]. Seiring perkembangan teknologi maka peranan proses permesinan dalam meningkatkan kualitas hasil terus ditingkatkan. Mesin-mesin produksi yang

banyak digunakan dalam proses permesinan seperti drilling, milling, dan mesin bubut [4]–[6]. Hasil produksi yang baik merupakan tujuan utama dari setiap pekerjaan yang menggunakan mesin-mesin produksi tersebut. Untuk Mendapatkan hasil yang terbaik harus memperhitungkan langkah-langkah

yang lebih efisien atau yang lebih tepat untuk melakukannya. Hal yang harus dipenuhi ialah tingkat kekasaran permukaan hasil proses pembubutan, karena berpengaruh terhadap fungsi produk atau komponen [7]. Kekasaran permukaan merupakan ukuran kualitas dari proses manufaktur. Meskipun saat ini mesin bubut sudah semakin canggih, namun mesin bubut konvensional masih dipergunakan di dunia industri karena mesin tersebut pada dasarnya fungsinya adalah sama yaitu untuk memproduksi benda kerja yang outputnya harus memiliki kekasaran permukaan yang rata dan halus [8].

Untuk mempersingkat waktu produksi, kecepatan putaran spindel [9][10] adalah salah satu faktor utama yang harus diperhatikan oleh operator, tetapi sering dilupakan oleh operator. Dimana agar proses pembubutan dapat selesai dengan cepat seringkali operator tidak mengontrol seberapa cepat putaran spindel yang digunakan dan tidak memperhatikan tingkat kekasaran dan kualitas hasil bubutan. Selain putaran spindel faktor yang sering tidak diperhatikan adalah sudut potong [11], [12].

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengaruh sudut potong antara lain Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST 37. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan putaran 440, 540, dan 740 sedangkan variasi sudut potong 80, 85, dan 90 dengan jumlah specimen uji ada 9 buah dan direplika sebanyak 3 kali, maka ada 27 data penelitian dengan menggunakan pahat bubut HSS. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran spindel 740 rpm dengan sudut potong 80° menghasilkan permukaan yang lebih halus yaitu $(\Sigma Ra) = 5,76 \mu m$ atau pada kelas kekasaran N9 sedangkan kecepatan putaran spindel 440 rpm dengan sudut potong 80° menghasilkan permukaan yang kasar $(\Sigma Ra) = 11,47 \mu m$ dengan kelas kekasaran permukaan N10 [13].

Selanjutnya penelitian Pengaruh Variasi Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemoangan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 60 Pada Proses Bubut Konvensional [8]. Penelitiannya menyatakan bahwa variasi pengukuran dibedakan sebanyak tiga variasi yaitu Putaran Spindel $(n) = 155, 275, 550$ Rpm dan kedalaman potong $(a) = 0.25, 0.5, 0.75$ mm. dengan menggunakan metode pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat ukur Surface roughness tester Type mitutoyo SV-400 menghasilkan nilai kekasaran permukaan terhalus yang dicapai yaitu $(Ra) = 3.99 \mu m$ yang terjadi pada putaran spindel $(n) = 275$ Rpm dan kedalaman pemotongan $(a) = 0.25$ mm. Sedangkan nilai kekasaran terkasar yang dicapai yaitu $(Ra) = 10.796$

μm yang terjadi pada putaran spindel $(n) = 550$ Rpm dan kedalaman pemotongan $(a) = 0.75$ mm.

Penelitian lainnya menggunakan baja karbon ST42 dengan memvariasikan kecepatan spindel 412 Rpm, 510 Rpm, 668 Rpm, menggunakan variasi jenis pendingin collant, udara bertekanan dan tanpa pendinginan. Hasil pengujian terbaik atau terendah adalah $2.11 \mu m$ dengan kedalaman pemakanan terkecil 0.1mm, jenis pendinginan menggunakan coolant dan kecepatan spindel tertinggi 668 Rpm [14].

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka dari itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian Eksperimental Study Variasi Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja ST-42, dengan putaran spindel dengan variasi 275 rpm, 400 rpm, dan 605 rpm, dengan sudut potong dibuat tetap yakni 75° .

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat dan Bahan

Mesin bubut yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin bubut yang terdapat di laboratorium Proses Produksi Universitas Pattimura Ambon, merk Huvema Model HU 460 X 2000 VAC.



Gambar 1. Mesin bubut

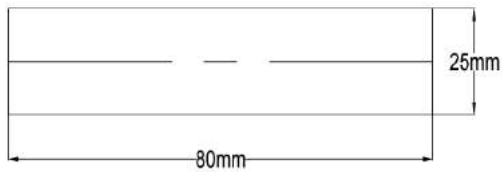
Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat HSS Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pahat HSS 3/4x6 merek Bohler.

Tabel 1. Sifat Mekanis dan Fisik Pahat HSS

Sifat Mekanis	Pahat HSS
<i>Young's Modulus</i>	229-27 GPa
Ekspansi Thermal	$8,4-10,7 \times 10^{-6} K^{-1}$
Kekerasan	700-1000 HB
Sifat Fisik	
<i>Density</i>	$8,16-8,26 g/cm^3$
<i>Melting Temperature</i>	1450-1500°C
Konduktivitas Thermal	16,8-23,9 W/m·K

Material benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah ST-42 dengan diameter 25 mm dan panjang 80 mm. Berdasarkan gambar yang ada

dibawah dilakukan panjang penyayatan 25 mm dan dibubut hingga 20 mm dan setiap sample akan dilakukan pengambilan nilai kekasaran pertitik sepanjang 8 mm sebanyak 3 kali.



Gambar 2. Panjang penyayatan

2.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan ialah metode eksperimental, dimana variabel bebas yaitu putaran spindel dengan variasi 275 rpm, 400 rpm, dan 605 rpm, dengan sudut potong dibuat tetap yakni 75°. Variabel terikatnya adalah tingkat kekasaran permukaan berdasarkan hasil sumbangan efektif. Sumbangan efektif (SE) adalah ukuran sumbangan suatu variabel predictor atau variabel independent terhadap variabel kriterium (dependent) dalam analisis regresi. Penjumlahan dari sumbangan efektif untuk semua variabel independent adalah sama dengan nilai yang ada pada koefisien determinasi atau R square (R²). Syarat untuk mendapatkan nilai SE adalah memiliki hasil analisis korelasi dan regresi. Rumus menghitung nilai SE adalah sebagai berikut :

$$SE_{(x)} = \beta (x) \times \text{Koefisien Korelasi}(x) \times 100\% \quad (1)$$

Variabel kontrol adalah Gerak makan = 0,076 (mm/rev) dan kedalaman potong = 0,2 (mm).

2.3. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen uji dan peralatan-peralatan yang digunakan pada proses eksperimen.
2. Melakukan pemotongan specimen dengan panjang 80 mm
3. Memasang spesimen uji coba pada chuck yang terdapat pada mesin
4. Menghidupkan mesin bubut dan melakukan trial and error
5. Setelah mendapatkan kombinasi parameter yang tepat kemudian melepaskan specimen uji coba.

6. Memasang pahat baru yang telah diasah dengan sudut pemotongan 75°.
7. Memasang spesimen pada chuck dan menyeting parameter pada mesin bubut.
8. Menghidupkan mesin.
9. Melepaskan benda kerja dari chuck setelah proses pembubutan selesai.
10. Mengumpulkan hasil pemotongan dan memberikan nomor sesuai dengan spesimen uji.
11. Benda kerja yang telah dibubut diambil untuk melaksanakan proses pengujian kekasaran.
12. Spesimen uji hasil pemotongan diletakkan pada meja yang rata.
13. Surface roughness tester diaktifkan untuk melakukan proses pengukuran kekasaran permukaan sepanjang 8 mm sebanyak 3 kali.
14. Hasil kekasaran permukaan dapat dilihat pada layar display surface roughness tester.
15. Mencatat ulang kembali hasil pengukuran, untuk mendapatkan hasil kekasaran permukaan pada spesimen uji yang sama. Hal ini dilakukan berulang hingga mendapatkan 3 data nilai kekasaran aritmatika (Ra) pada tiap spesimen uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat ukur surface tester mitutoyo SJ-310 yang dilakukan pengujian sebanyak 3 kali pada variasi putaran spindel dan sudut sisi potong yang sama pada Material baja ST-42 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian

Sudut Potong	Putaran Spindel (rpm)	Benda Uji	Tingkat Kekasaran (µm)			$\bar{x}Ra$
			A	B	C	
75	275	1	3.533	3.519	3.528	3.523
		2	5.814	5.723	5.777	5.771
		3	5.477	5.444	5.470	5.463
	400	1	3.743	3.670	3.66	3.691
		2	4.463	4.561	4.560	4.528
		3	5.254	5.251	5.084	5.196
	605	1	3.055	2.865	2.893	2.937
		2	4.523	4.523	4.525	4.523
		3	5.147	5.134	5.144	5.141

Data penelitian kemudian dihitung nilai rata-rata kekasaran permukaan per spesimen dan rata-rata kekasaran permukaan berdasarkan putaran spindel dan sudut sisi potong, menggunakan persamaan berikut:

1. Perhitungan rata-rata per specimen ($\bar{x} Ra$):

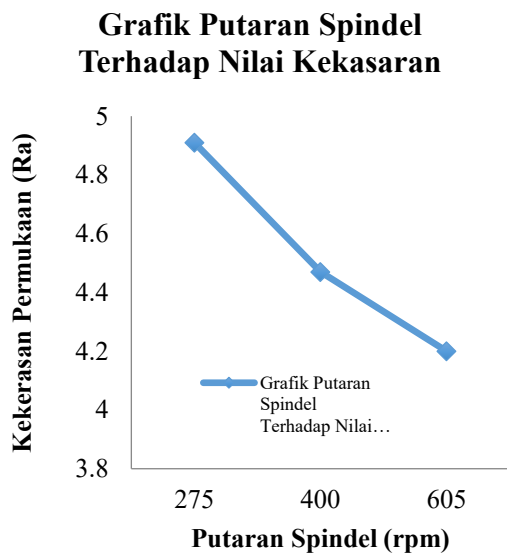
$$\bar{x} Ra = (Ra A + Ra B + Ra C) / 3$$

2. Perhitungan rata-rata per putaran spindle dan sudut potong (\bar{x} Ra Total)

$$\bar{x} \text{ Ra Total} = \frac{\bar{x} \text{ Ra } 1 + \bar{x} \text{ Ra } 2 + \bar{x} \text{ Ra } 3}{3}$$

3.2 Pembahasan

Sesuai hasil penelitian diperoleh hasil bahwa semakin besar kecepatan putaran spindle maka kekasaran permukaan material baja ST 42 akan semakin kecil yaitu sebesar 4,2 μm pada putaran spindle 605 rpm. Seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik putaran spindle terhadap nilai kekasaran

Berdasarkan hasil uji statistik desain eksperimental diperoleh analisis menggunakan statistik eksperimental diperoleh nilai β sebesar -0.312 dan koefisien korelasinya 0,09 atau 90% sehingga dihitung sumbangan efektif pada sudut sisi potong 75° yang artinya pengaruh sudut 75° tidak mempengaruhi kekasaran permukaan material baja st 42.

Tabel 3. Kekasaran Permukaan berdasarkan ISO

Hasil	Kekasaran permukaan (μm)		
	275	400	605
Rata-rata	6.752	4.471	4.200
Angka Kekasaran	N10	N8	N8
ISO Roughness	3.2-12.5		

Nilai kekasaran permukaan rata-rata berdasarkan hasil perhitungan sumbangan efektif terkecil pada variasi putaran spindle dan sudut sisi potong, dimana

sumbangan efektif terkecil pada variasi putaran spindle 605rpm dan sudut sisi potong 75° yaitu menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling rendah dengan nilai rata-rata kekasaran adalah 4,200 μm , menurut tabel toleransi kekasaran nilai tersebut termasuk kelas kekasaran N8 (ISO roughness number).

4. KESIMPULAN

Pencapaian tingkat kekasaran permukaan pada proses bubut konvensional dengan variasi putaran spindle = 275, 400, 605 Rpm dan sudut sisi potong 75° terhadap material baja ST 42 dengan menggunakan pahat HSS adalah N8-N10 yang tingkat kekasarannya dikategorikan normal dan kasar sesuai dengan cara pengerjaan. Tingkat kekasaran permukaan yang dicapai N8 – N10 masih dalam teoritis yang diizinkan dari hasil proses bubut (ISO Roughness Number)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Raharjo, T. Widodo, and R. Bintarto, “Desain Manufaktur Bracket Aluminium,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 119–125, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.02.8.
- [2] M. Rizal, J. A. Ghani, Husni, and Husaini, “Design and construction of a strain gauge-based dynamometer for a 3-axis cutting force measurement in turning process,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 4072–4087, 2018, doi: 10.15282/jmes.12.4.2018.07.0353.
- [3] A. Rudi Nasution and W. Septiawan Damanik, “Analisa Gaya Potong Pada Proses Pemesinan Turning Menggunakan Bahan Politetrafluoroetilena (PTFE),” *SiNTESa CERED Semin. Nas. Teknol. Edukasi dan Hum.*, vol. 2021, p. 1, 2021.
- [4] A. Fauzi and W. Sumbodo, “Pengaruh Parameter Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 pada Mesin Bubut CNC,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 46–57, 2021, doi: 10.21831/dinamika.v6i1.38114.
- [5] R. M. Ratlalan, “Variasi Kecepatan Putaran Dan Kedalaman Gaya Potong Mesin Bubut Gedee Weiler LZ 330 G Terhadap Permukaan Baja Karbon ST 37,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 113–120, 2019.
- [6] K. Anas, B. Maryanti, and K. Arifin, “Analisis Perbandingan Laju Spindle Terhadap Kekasaran Permukaan AISI 4140 Menggunakan Face Mill Analysis

- Comparison Of Spindle Rate Surface Roughness AISI 4140 Using Face Mill,” vol. 500, pp. 202–204, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.ftm.uniba-bpn.ac.id/index.php/REMIT/article/view/45/29>
- [7] A. Zubaidi, I. Syafa, and Darmanto, “Analisis Pengaruh Kecepatan Putar Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material F 4CD0 Pada Mesin Bubut CNC,” *Momentum*, vol. 8, no. 1, pp. 40–47, 2017.
- [8] M. Sabil, I. Yusuf, and Sumardi, “Pengaruh Variasi Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 60 Pada Proses Bubut Konvensional,” *J. Mesin Sains Terap. Vol.1 No. 1*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [9] R. Wawanto, E. -, and A. -, “Studi Pengaruh Kecepatan Potong Dan Kedalaman Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Hasil Pembubutan Menggunakan Pahat HSS Terhadap Material St41,” *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 58–64, 2021, doi: 10.36655/sprocket.v3i1.570.
- [10] B. Suroso and D. Prayogi, “Pengaruh Kecepatan Putaran Spindle Dan Kedalaman Penggerindaan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja St 37 Menggunakan Mesin Bubut Bergerinda,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 24–33, 2019, doi: 10.30596/rmme.v2i1.3066.
- [11] I. Vol, “Propeller Jurnal Permesinan (PJP) THE EFFECT OF VARIATION OF ANGLE OF CUTTING TOOLS AND,” vol. I, no. 1, pp. 41–48, 2023, doi: 10.33172/pjp-v1.i1.
- [12] E. Apriansyah, T. Widagdo, and Z. Zainuddin, “Pengaruh Variasi Pendingin Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Aluminium 6061,” *Austenit*, vol. 12, no. 1 SE-Articles, pp. 14–20, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/1964>
- [13] Y. A. E. Indrawan, N. Helmi, A. Aziz, and Y. A. Putra, “Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST 37,” *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 19, no. 2, pp. 29–36, 2019, doi: 10.24036/invotek.v19i2.582.
- [14] G. A. Rachman and A. M. Sakti, “Pengaruh Kedalaman Pemakanan, Jenis Pendinginan Dan Kecepatan Spindel Terhadap Kerataan Dan Kekasaran Permukaan Baja St 42 Pada Proses Bubut Konvensional,” *Pengaruh Kedalaman Pemakanan, Jenis Pendinginan dan Kecepatan Spindel*, vol. 2, no. 3, pp. 11–20, 2014.

STUDI PERBANDINGAN EFEKTIVITAS BERBAGAI MODEL TUBE
PENUKAR KALOR SEBAGAI SISTEM PEMULIHAN LIMBAH PANAS

Nicolas Titahelu^{1*}, Jandri Louhenapessy², Samy Junus Litolily³, Arson⁴

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: titahelun@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: jandrileonora@yahoo.com

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: sj.litolily@fatek.unpatti.ac.id

⁴Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: arson020899@gmail.com

Abstrak. Fokus utama penelitian ini adalah memodifikasi tube pipa lurus menggunakan berbagai model (serpentin, paralel dan helikal) tube penukar kalor sebagai sistem pemulihan limbah panas yang berasal dari generator listrik 5 kVa, Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecepatan udara sisi shell yang efektif, dimana efektivitas berbagai model (serpentin, paralel dan helikal) tube penukar kalor yang maksimal. Kecepatan udara sisi shell bervariasi dari 0.5 hingga 2.5 m/s pada panjang shell penukar kalor konstan. Pencatatan data berupa suhu, kecepatan udara sisi shell, dan laju aliran massa fluida panas (gas bekas) setelah tercapai kondisi tunak. Metode penelitian ini menggunakan kajian simulasi berdasarkan data eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas menurun dengan peningkatan kecepatan udara sisi shell, dimana efektivitas maksimum pada kecepatan udara minimum untuk ketiga model (serpentin, paralel dan helikal) tube penukar kalor masing-masing sebesar 50.2%, 57.1% dan 84.7%. Dapat disimpulkan bahwa model tube helikal paling efektif dimana efektivitas penukar kalor maksimum pada kecepatan udara sisi shell 0.5 m/s dan dapat digunakan selanjutnya dalam aplikasi.

Kata Kunci: Efektivitas penukar kalor, tube serpentin, tube paralel, tube helikal, pemulihan limbah panas.

Abstract. The main focus of this research is to modify straight pipe tubes using various models (serpentine, parallel and helical) heat exchanger tubes as a waste heat recovery system originating from a 5 kVa power generator. maximum tube heat exchanger models (serpentine, parallel and helical). The shell side air velocity varies from 0.5 to 2.5 m/s at a constant heat exchanger shell length. Recording of data in the form of temperature, shell side air velocity, and mass flow rate of hot fluid (used gas) after steady state is reached. This research method uses a simulation study based on experimental data. The results showed that the effectiveness decreased with increasing shell side air velocity, where the maximum effectiveness at minimum air velocity for the three models (serpentine, parallel and helical) tube heat exchanger were 50.2%, 57.1%, and 84.7% respectively. It can be concluded that the helical tube model is the most effective where the heat exchanger effectiveness is maximum at shell side air velocity of 0.5 m/s and can be used further in the application.

Keywords: Effectiveness of heat exchanger, serpentine tube, parallel tube, helical tube, waste heat recovery.

1. PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade terakhir, pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri yang sangat pesat menyebabkan ketergantungan manusia terhadap energi semakin meningkat, mengakibatkan krisis energi di seluruh dunia [1]. Energi yang dikonsumsi didominasi oleh bahan bakar fosil, sebesar 66,4%, dengan persentase konsumsi minyak bumi 40,8%, gas alam 15,5%, dan batu bara 10,1% [2]. Tingginya penggunaan bahan bakar fosil memicu masalah lingkungan seperti peningkatan emisi gas rumah kaca [3], pemanasan global, perubahan iklim, hujan asam dan kerusakan ozon di stratosfer [4]–[8]. Ada dua pendekatan utama untuk mengatasi masalah lingkungan [1]. Pendekatan pertama yakni mengembangkan dan meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan seperti energi biomassa [9]–[11], energi matahari [11]–[13], energi arus laut [14], energi angin [15], dan energi panas bumi [16]–[19]. Pendekatan kedua yakni meningkatkan sistem konversi energi sehingga sistem tersebut efisien menggunakan energi yang dapat diterima dari suatu sumber [20]–[26]. Fakta menunjukkan bahwa lebih dari 50% energi yang digunakan terbuang sia-sia sebagai limbah panas dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi [1], [27]–[28]. Umumnya, aplikasi sistem pemulihan limbah panas banyak menggunakan penukar kalor [28], diantaranya; penukar kalor pelat [23], [30], penukar kalor berputar [25], [31]–[32], penukar kalor helikal [32]–[36], penukar kalor *shell and tube* [37]–[40], dan penukar kalor pipa ganda [41]–[43].

Untuk meningkatkan efektivitas penukar kalor sangat dipengaruhi oleh parameter geometri diantaranya *pitch* sirip, *pitch tube longitudinal*, *pitch tube transversal* [44], tebal sirip, diameter *tube*, panjang *tube* [45], jumlah baris, jumlah kolom [46], dan konfigurasi *tube in-line* dan *staggered* [47]–[49]. Parameter aliran diantaranya bilangan Reynold, kecepatan fluida [50], sedangkan parameter fluida adalah bilangan Prandtl [51]. Secara umum, ada empat kategori limbah panas berdasarkan prespektif suhu, antara lain aliran cairan; 50 – 300 °C, gas buang; 150 – 800 °C, uap; 10 – 250 °C, gas dan uap proses; 80 – 500 °C [52]. Selain itu limbah panas memiliki potensi faktor pemanfaatan yang tinggi [53]–[56].

Berbagai kajian untuk meningkatkan kinerja penukar kalor dengan berbagai model *tube* sebagai sistem pemulihan limbah panas, diantaranya kajian CFD penukar kalor *tube-in-tube* guna memulihkan limbah panas yang berasal dari ICE untuk pengeringan makanan [41], kajian eksperimental penukar kalor *tube* lurus guna memulihkan limbah panas yang berasal dari genset listrik untuk

pengeringan berbagai produk [57], kajian eksperimental penukar kalor *tube* lurus gravitasi [58], kajian eksperimental dan teoritis karakteristik limbah panas dan pemulihan air menggunakan penukar kalor *tube* lurus [59], kajian teknologi dan dasar-dasar pemulihan limbah panas dari bahan *granule* menggunakan penukar kalor *tube bank* [60], kajian numerik *charge* dan *discharge* energi panas laten menggunakan penukar kalor *tube* serpentin [61], kajian kemajuan dan prospek manajemen termal dan limbah panas menggunakan penukar kalor *tube* serpentin [62], kajian kondisi operasi optimal penukar kalor serpentin sebagai sistem pemulihan limbah panas industri [63], kajian eksperimental dan teoritis pemulihan limbah panas dari sistem refrigerant menggunakan penukar kalor *tube* helikal [64], kajian eksperimental pemulihan limbah panas menggunakan penukar kalor *tube* helikal [65], kajian perpindahan panas nano fluida *graphene* berbasis air deionisasi dalam penukar kalor *tube* helikal sebagai sistem pemulihan limbah panas [66], kajian fenomena perpindahan panas berbasis air deionisasi pada penukar kalor *tube* helikal sebagai sistem pemulihan limbah panas dari *stack* gas pembakaran [67], dan kajian karakteristik termal penukar kalor helikal koil dengan air *graphen*-deionisasi pada pemanfaatan limbah panas *stack* gas pembakaran [68].

Meskipun banyak penelitian tentang berbagai model *tube* penukar kalor sebagai sistem pemulihan limbah panas yang berkorelasi dengan koefisien konveksi dan efektivitas, namun belum banyak informasi terkait perbandingan efektivitas model *tube* (serpentin, paralel dan helikal) penukar kalor sebagai sistem pemulihan limbah panas, dimana fluida panas sisi *tube* (gas buang) generator listrik 5 kVa dan fluida dingin (udara) sisi *shell*. Inovasi baru yang dilakukan dalam penelitian ini adalah introduksi model *tube* serpentin, paralel dan helikal penukar kalor, karena koefisien konveksi pada *tube* serpentin, paralel dan helikal lebih besar dari pada *tube* lurus akibat adanya gerakan aliran sekunder yang disebabkan oleh pengaruh kelengkungan dan gaya sentrifugal [69]–[76].

Untuk itu, fokus utama penelitian ini adalah introduksi model *tube* (serpentin, paralel dan helikal) penukar kalor sebagai sistem pemulihan limbah panas dengan memvariasikan kecepatan udara fluida dingin sisi *shell* 0,5 hingga 2,5 m/s. Kajian penelitian ini dilakukan secara teoritis berdasarkan data eksperimen dan simulasi. Penelitian ini diawali dengan mengkaji koefisien konveksi sisi *tube* untuk tiap model dan koefisien konveksi sisi *shell* yang akan bermuara pada perhitungan koefisien konveksi menyeluruh dan efektivitas.

1. BAHAN DAN METODE

2.1. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan CFD (*Computer Fluid Dynamic*) berdasarkan data eksperimen. Untuk desain model tube penukar kalor menggunakan *SolidWorks 2022*, sedangkan simulasi menggunakan *Ansys Fluent 2021 R2* yang dijalankan pada Dekstop Windosws 10 Pro 64bit dengan spesifikasi prosesor Intel® Core™ i3-1005G1@1.20GHz 1.19GHz dan 12.0 GB RAM.

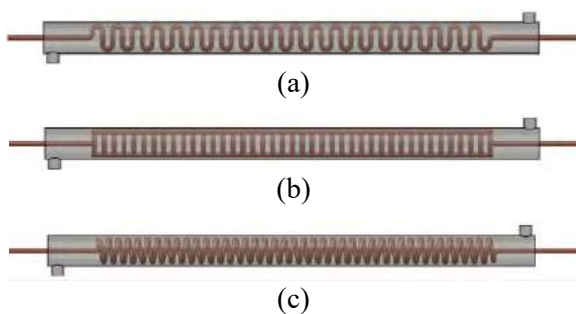
2.2. Model

Tabel 1. Rentang parameter operasional

Diameter shell, d _{sh} (m)	Diameter tube, d _t (m)	Model tube	Kecepatan udara, V (m/s)
0,127	0,009525	Serpentine (Sr)	0.5
			1.0
			1.5
			2.0
			2.5
0,127	0,009525	Pararel (Pa)	0.5
			1.0
			1.5
			2.0
			2.5
0,127	0,009525	Helical coil (Hc)	0.5
			1.0
			1.5
			2.0
			2.5

Bagian uji (penukar kalor) dirancang dan dibuat untuk melakukan beberapa percobaan guna menyelidiki parameter efektivitas dalam kisaran parameter operasional yang disajikan pada Tabel 1.

Penelitian ini telah didesain penukar kalor shell dan berbagai model tube sebagai sistem pemulihan limbah panas dengan mempertimbangkan hasil simulasi. Gambar 1 menyajikan model geometri tube.



Gambar 1. Model geometri tube (a) serpentin, (b) paralel dan (c) helikal.

2.3. Material

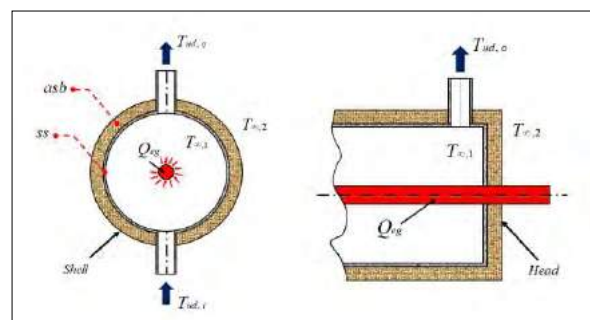
Sistem yang dianalisis dalam penelitian ini menggunakan material, untuk shell adalah *stainless steel 304* dan tube adalah *copper* dengan data propertis seperti yang diuraikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Material properties penukar kalor

Material	Properties	Nilai
Copper	Specific heat	390.0 J/(kg*K)
	Conductivity type	Isotropic
	Thermal conductivity	390.0000 W/(m*K)
	Electrical Conductivity	Dielectric
	Density	8900.00 kg/m ³
	Specific heat	502.416 J/(kg*K)
Stainless Steel	Conductivity type	Isotropic
	Thermal conductivity	16.2 W/(m*K)
	Electrical Conductivity	Dialectic
	Density	0.008 kg/m ³

2.4. Data Reduksi

Kondisi operasi keadaan tunak, efektivitas penukar kalor digambarkan oleh keseimbangan energi dari fluida panas (gas buang) genset listrik yang mengalir melalui berbagai model tube (serpentin, paralel dan helikal) ke fluida dingin (udara) sisi shell, yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema neraca energi penukar kalor

2.4.1. Neraca energi penukar kalor

Berdasarkan Gambar 2, maka neraca energi dari penukar kalor pada kondisi tunak dinyatakan dalam persamaan (1), yang diperoleh dari [77]:

$$E_i - E_o = \frac{dE}{dt} \Rightarrow E_i - E_o = 0 \Rightarrow E_i = E_o \quad (1)$$

Persamaan (1) ditulis dalam neraca panas dalam persamaan (2), yang diperoleh dari [78]:

$$Q_{eg} = Q_x + Q_c + Q_r \quad (2)$$

Jika Q_x dan Q_r pada penukar kalor diabaikan, maka persamaan (2), $Q_{eg} = Q_c$, dimana $Q_c = Q_{ud} + Q_p$ dapat ditulis sebagai:

$$Q_{eg} = Q_{ud} + Q_p \quad (3)$$

Dimana $Q_{ud} + Q_p$ merupakan mekanisme perpindahan panas konveksi dari fluida panas (gas bekas) sisi *tube* ke fluida dingin (udara) sisi *shell*.

Perpindahan panas konveksi fluida panas (gas bekas) dapat dihitung dengan persamaan (4), yang diperoleh dari [79]:

$$Q_{eg} = \dot{m}_{eg} \cdot c_{p,eg} \cdot (T_{eg,i} - T_{eg,o}) \quad (4)$$

Laju aliran massa fluida panas (gas bekas) dihitung menggunakan persamaan (5), yang diperoleh dari [80]:

$$\dot{m}_{eg} = \rho_{eg} \cdot V_{eg} \cdot A_t \quad (5)$$

dimana $c_{p,eg}$ adalah panas spesifik gas bekas (J/kg.K), $T_{eg,i}$ dan $T_{eg,o}$ adalah suhu gas bekas yang memasuki dan meninggalkan penukar kalor (K), ρ_{eg} adalah densitas gas bekas (kg/m³), V_{eg} adalah kecepatan gas bekas (m/s), A_t adalah luas penampang tube (m²).

2.4.2. Perhitungan Sisi Tube

Pada sisi *tube* diawali dengan menghitung nilai Bilangan Reynold (Re), yang merupakan perbandingan laju aliran massa (\dot{m}_h) terhadap viskositas dinamik (μ_h) dan diameter hidrolis (D_h), dinyatakan dalam persamaan (6) yang diperoleh dari [81].

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi \cdot \mu \cdot D_h} \quad (6)$$

Dimana D_h adalah diameter hidrolis (m) [75], μ adalah viskositas dinamik (kg/m.s).

Bilangan Nusselt (Nu_h) pada sisi *tube* dari ketiga model dihitung dengan persamaan (7, 8 dan 9) diperoleh dari:

- Untuk model *Serpentine tube* [82]:

$$Nu_h = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{0.4} \quad (7)$$

- Untuk model *Parallel tube* [83]:

$$Nu_h = 0.024(Re)^{0.786}(Pr)^{0.45} \left[1 + \frac{2.424554}{\left(\frac{L}{d_{i,t}}\right)} \right] \quad (8)$$

- Untuk model *Helical coil* [84]:

$$Nu_h = 0.0456(Re_h)^{0.8}(Pr_h)^{1/3} \left(\frac{d_{t,h}}{d_c}\right)^{0.16} \quad (9)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi tube dapat dihitung dengan persamaan (10) yang diperoleh dari [85].

$$h_i = \frac{Nu_h \cdot k_h}{L} \quad (10)$$

dimana, L adalah panjang karakteristik (m).

2.4.3. Perhitungan Sisi Shell

Pada sisi shell diawali dengan menghitung bilangan Reynold (Re), dinyatakan dalam persamaan (11) yang diperoleh dari [81].

$$Re = \frac{4\dot{m}_c}{\pi \cdot \mu_c \cdot D_{h,c}} \quad (11)$$

dimana, \dot{m}_c (kg/m³) adalah laju aliran massa, μ_c viskositas dinamik (kg/m.s) dan $D_{h,c}$ adalah diameter hidrolis (m).

Bilangan Nusselt (Nu_c) pada sisi shell dapat dihitung dengan persamaan (12) yang diperoleh dari [86]:

$$Nu_{sh} = 19.64(Re_{sh})^{0.513} Pr_c^{0.129} \gamma^{0.938} \quad (12)$$

dimana, Pr_c adalah bilangan Prandtl pada sisi *shell*, γ adalah dimensi pitch ($P/\pi d_c$).

Koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi *shell* dapat dihitung dengan persamaan (13) yang diperoleh dari [87]:

$$h_o = \frac{Nu_c \cdot k_c}{L} \quad (13)$$

dimana, k_c adalah konduktivitas termal fluida dingin (W/m.K).

2.4.4. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Kemampuan penukar kalor dalam melakukan proses transfer panas dari fluida panas (CO₂) terhadap fluida dingin (udara) digambarkan dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) sisi *tube* dari ketiga model (*Serpentine*, *Parallel* dan *Helical coil*) dan sisi shell dapat dinyatakan dalam persamaan (14) yang diperoleh dari [88]:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_{i,i}} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi k_t L} + \frac{1}{h_o A_{i,o}} \quad (14)$$

dimana, $A_{i,i}$ dan $A_{i,o}$ adalah luas permukaan bagian dalam dan luar *tube* (m), k_t konduktivitas termal tube (W/m.K).

2.4.5. Perbedaan suhu rata-rata logaritmik (ΔT_{LM})

Untuk perbedaan suhu rata-rata logaritmik (ΔT_{LM}) ditentukan berdasarkan jenis aliran, dimana untuk aliran berlawanan dapat dihitung dengan persamaan (15) yang diperoleh dari [81].

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i}) - (T_{h,i} - T_{c,o})}{\ln(T_{h,o} - T_{c,i} / T_{h,i} - T_{c,o})} \tag{15}$$

2.4.6. Efektivitas penukar kalor

Efektivitas penukar kalor merupakan sebuah perbandingan antara rasio perpindahan panas aktual (Q_{act}) terhadap laju perpindahan panas maximum (Q_{max}) dan dapat dinyatakan dalam persamaan (16) yang diperoleh dari [89]:

$$\varepsilon = Q_{act} / Q_{max} \tag{16}$$

Untuk menghitung laju perpindahan panas aktual dapat dinyatakan dalam persamaan (17) yang diperoleh dari [90]:

$$Q_{act} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \tag{17}$$

Untuk menghitung laju perpindahan panas maximum dapat dinyatakan dalam persamaan (18) yang diperoleh dari [91]:

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{h,o}) \tag{18}$$

dimana:

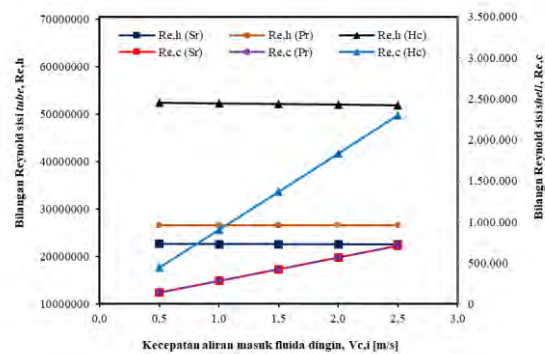
$$C_{min} = \text{Min}[\dot{m}_{eg} \times Cp_{eg} \text{ atau } \dot{m}_{ud} \times Cp_{ud}] \tag{19}$$

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bilangan Reynold Penukar Kalor

Berdasarkan hasil analisis simulasi dengan lima variasi kecepatan aliran masuk fluida dingin ($V_{c,i}$) untuk ketiga model *tube* (*Serpentine* (Sr), *Helical Coil* (Hc) dan *Parallel* (Pr)), dimana seperti yang diilustrasikan pada gambar 2, memperlihatkan bahwa meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin dari ketiga model *tube* akan berpengaruh pada penurunan bilangan Reynold pada sisi fluida panas ($Re_{,h}$). Hal ini disebabkan oleh gradient suhu permukaan *tube* dan suhu fluida dingin pada sisi *shell* seperti yang diilustrasikan pada gambar 3 dan 4 menyatakan bahwa gradient suhu dari permukaan tube (T_s) dan fluida dingin ($T_s - T_o$) berbanding lurus dengan ($Re_{,h}$). Nilai maksimum ($Re_{,h}$) terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s dari ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) sebesar 22633537, 27901824 dan 52373763 sedangkan nilai minimum

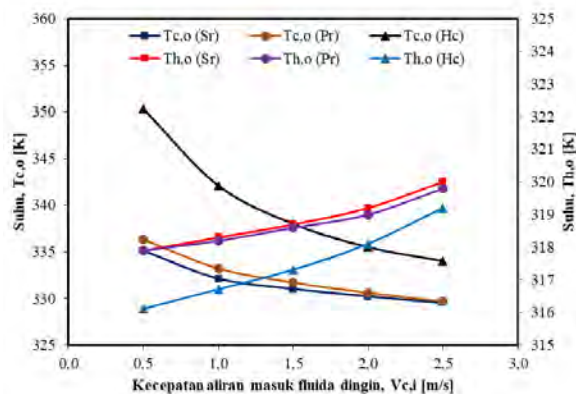
pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 22488624, 27769350 dan 51906767 masing-masing.



Gambar 2. Perilaku kurva bilangan Reynold terhadap kecepatan aliran masuk fluida dingin

Sedangkan bilangan Reynold sisi fluida dingin ($Re_{,c}$) berbanding terbalik dengan gradient suhu (T_s) dan ($T_s - T_o$). Nilai maximum ($Re_{,c}$) terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s dari ketiga model tube (Sr, Pr dan Hc) sebesar 708488, 708506 dan 2298608 sedangkan nilai minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s sebesar 140491, 140296 dan 446209 masing-masing.

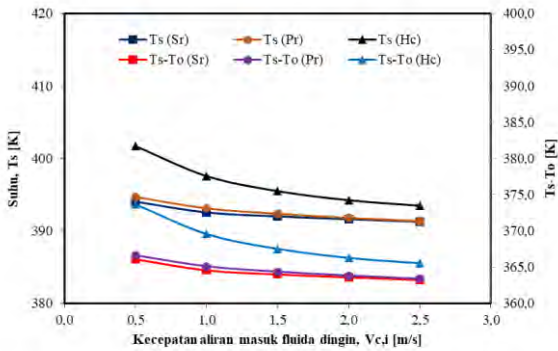
Gambar 3 mengilustrasikan perilaku kurva suhu fluida panas ($T_{h,o}$) dan fluida dingin ($T_{c,o}$), dimana $T_{h,o}$ cenderung meningkat seiring meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin seperti sebaliknya $T_{c,o}$ cenderung menurun. Suhu maksimum $T_{h,o}$ untuk ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 320, 319.8, 319.2 K sedangkan suhu minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s sebesar 317.9, 317.9, 316.1 K masing-masing.



Gambar 3. Perilaku kurva suhu fluida panas dan fluida dingin terhadap kecepatan aliran masuk fluida dingin.

Sedangkan suhu maksimum $T_{c,o}$ didapat pada kecepatan aliran fluida masuk 0.5 m/s untuk ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) sebesar 335, 336.3 dan 350 K sedangkan suhu minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 329.5, 329.7, 334 K masing-masing.

Gambar 4 mengilustrasikan perilaku kurva suhu permukaan ketiga model *tube* (T_s) dan suhu lingkungan (fluida dingin sisi *shell*) (T_s-T_o), dimana kedua parameter tersebut berbanding lurus seiring meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin. Suhu maksimum T_s dari ketiga model (Sr, Pr dan Hc) terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s sebesar 394.1, 394.7 dan 401.7 K sedangkan suhu minimum terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 391.3, 391.4 dan 393.5 K masing-masing.



Gambar 4. Perilaku kurva gradien suhu permukaan dari ketiga model *tube* dan suhu sekeliling terhadap kecepatan aliran masuk fluida dingin.

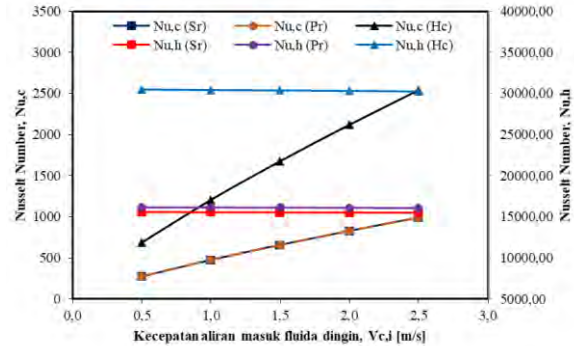
Sedangkan suhu maksimum (T_s-T_o) terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s dari ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) sebesar 366.1, 366.7 dan 373.7 K sedangkan suhu minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar masing-masing 363.3, 363.4 dan 365.5 K.

3.2. Bilangan Nusselt Penukar Kalor (Nu)

Perilaku kurva bilangan Nusselt fluida panas ($Nu_{,h}$) untuk ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) mengalami penurunan seiring meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin. Sebaliknya bilangan Nusselt fluida dingin ($Nu_{,c}$) mengalami peningkatan seiring meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin. Nilai $Nu_{,h}$ maksimum diperoleh pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s dari ketiga model *tube* sebesar 15574.40, 15574.40 dan 30472.34 sedangkan nilai minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 15494.39, 16085.20 dan 30254.17 masing-masing.

Sedangkan nilai maksimum ($Nu_{,c}$) diperoleh dari kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s dari

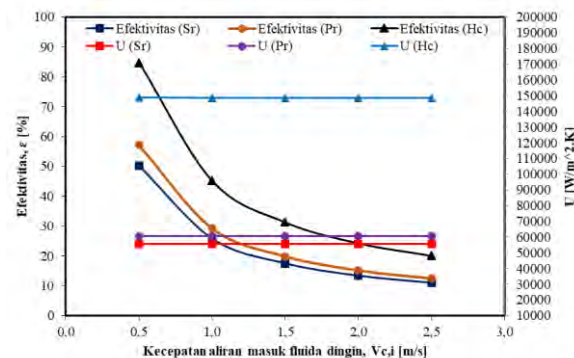
ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) sebesar 991.69, 991.70 dan 2542.28 sedangkan nilai minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin sebesar 271.74, 271.43 dan 684.67 masing-masing.



Gambar 5. Perilaku kurva bilangan Nusselt sisi fluida panas dan fluida dingin terhadap kecepatan aliran masuk fluida dingin.

3.3. Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan dan Efektivitas

Berdasarkan ilustrasi perilaku kurva koefisien perpindahan panas keseluruhan dan efektivitas penukar kalor seperti pada gambar 6 menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut berbanding lurus, dimana terjadi penurunan seiring meningkatnya kecepatan aliran masuk fluida dingin. Nilai maksimum koefisien perpindahan panas keseluruhan dan efektivitas terdapat pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 0.5 m/s dari ketiga model *tube* (Sr, Pr dan Hc) sebesar 55690, 60683, 148875 $W/m^2.K$ dan 50.2, 57.1, 84.7% sedangkan nilai minimum pada kecepatan aliran masuk fluida dingin 2.5 m/s sebesar 55571, 60622, 148570 $W/m^2.K$ dan 10.9, 12.5, 20.1% masing-masing.



Gambar 6. Perilaku kurva koefisien perpindahan panas keseluruhan dan efektivitas terhadap kecepatan aliran masuk fluida dingin.

3. KESIMPULAN

Kajian penelitian simulasi yang telah dilakukan berdasarkan data eksperimen berbagai model *tube*

(serpentin, parallel dan helikal) penukar kalor, pada berbagai kecepatan udara sisi shell, disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin meningkat kecepatan udara sisi *shell*, maka semakin minimal efektivitas penukar kalor untuk ketiga model *tube*.
2. Efektivitas maksimal penukar kalor pada kecepatan udara 0,5 m/s untuk ketiga model *tube*.
3. Model *tube* helikal yang paling efektif sebesar 84.7%, sedangkan model *paralel* dan *serpentine tube* masing-masing sebesar 57.1% dan 50.2%.

DAFTAR NOTES

V_c	: Velocity of cold fluid (m/s)
V_h	: Velocity of hot fluid (m/s)
T_c	: Temperature of cold fluid (K)
T_h	: Temperature of hot fluid (K)
μ	: viscosity Dynamic (kg/m.s)
ρ	: Density (kg/m ³)
k	: Conductivity of terminal (W/m.K)
D_h	: hydraulic diameter (m)
A	: heat transfer area (m ²)
L	: Characteristic length (m)
Re	: Reynold Number
Pr	: Prandtl Number
Nu	: Nusselt Number
h_i	: Inlet convection coefficient (W/m ² .K)
h_o	: Outlet convection coefficient (W/m ² .K)
U	: overall heat transfer coefficient (W/m ² .K)
ΔT_{lm}	: Logarithmic mean temperature difference
Q_{aktual}	: Actual heat transfer rate
Q_{max}	: Maximum heat transfer rate
ε	: Heat exchanger effectiveness (%)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mahmoudi, M. Fazli, and M. R. Morad, “A recent review of waste heat recovery by Organic Rankine Cycle,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 143, no. July, pp. 660–675, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.07.136.
- [2] T. E. Bimanatya and T. Widodo, “Fossil fuels consumption, carbon emissions, and economic growth in Indonesia,” *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 8, no. 4, pp. 90–97, 2018.
- [3] E. Abokyi, P. Appiah-Konadu, F. Abokyi, and E. F. Oteng-Abayie, “Industrial growth and emissions of CO₂ in Ghana: The role of financial development and fossil fuel consumption,” *Energy Reports*, vol. 5, pp. 1339–1353, 2019, doi: 10.1016/j.egyr.2019.09.002.
- [4] Y. W. Huang, M. Q. Chen, and L. Jia, “Assessment on thermal behavior of municipal sewage sludge thin-layer during hot air forced convective drying,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 96, pp. 209–216, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.11.090.
- [5] R. Moreira, F. Chenlo, J. Sineiro, S. Arufe, and S. Sexto, “Water Sorption Isotherms and Air Drying Kinetics of *Fucus vesiculosus* Brown Seaweed,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 41, no. 4, Aug. 2017, doi: 10.1111/jfpp.12997.
- [6] M. Stramarkou, S. Papadaki, K. Kyriakopoulou, and M. Krokida, “Effect of drying and extraction conditions on the recovery of bioactive compounds from *Chlorella vulgaris*,” *J. Appl. Phycol.*, vol. 29, no. 6, pp. 2947–2960, 2017, doi: 10.1007/s10811-017-1181-8.
- [7] E. Uribe *et al.*, “Effect of drying methods on bioactive compounds, nutritional, antioxidant, and antidiabetic potential of brown alga *Durvillaea antarctica*,” *Dry. Technol.*, vol. 38, no. 14, pp. 1915–1928, Oct. 2020, doi: 10.1080/07373937.2019.1679830.
- [8] M. H. Masud, A. A. Ananno, A. M. E. Arefin, R. Ahamed, P. Das, and M. U. H. Joardder, “Perspective of biomass energy conversion in Bangladesh,” *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 21, no. 4. Springer Verlag, pp. 719–731, May 15, 2019. doi: 10.1007/s10098-019-01668-2.
- [9] I. B. Alit, I. G. B. Susana, and I. M. Mara, “Utilization of rice husk biomass in the conventional corn dryer based on the heat exchanger pipes diameter,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 22, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100764.
- [10] M. C. Ndukwu, M. Simo-Tagne, F. I. Abam, O. S. Onwuka, S. Prince, and L. Bennamoun, “Exergetic sustainability and economic analysis of hybrid solar-biomass dryer integrated with copper tubing as heat exchanger,” *Heliyon*, vol. 6, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03401.
- [11] H. Hassan and S. Abo-Elfadl, “Experimental study on the performance of double pass and two inlet ports solar air heater (SAH) at different configurations of the absorber plate,” *Renew. Energy*, vol. 116, pp. 728–740, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.renene.2017.09.047.

- [12] N. Titahelu, C. S. E. Tupamahu, and S. J. E. Sarwuna, "Evaluasi Kinerja Pelat Kolektor Datar Dengan Berbagai Model Tube Kolektor Sebagai Pemanas Air Surya Aktif," *ALE Proceeding*, vol. 5, pp. 53–58, 2022, doi: 10.30598/ale.5.2022.53-58.
- [13] N. S. F. Syatauw, A. Simanjuntak, and N. Titahelu, "Analisis kinerja panel surya akibat pendinginan aktif," *Isometri*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [14] W. M. Rumaherang, "Pengaruh rasio diameter terhadap parameter-parameter energi turbin arus laut horizontal," *Din. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.29303/dtm.v10i1.306.
- [15] W. M. Rumaherang, B. Laconawa, N. Titahelu, and J. Louhenapessy, "Kajian Perbandingan Performance Energi Turbin Angin Model Ducted Dengan Un-Ducted," *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 56–64, 2022, doi: 10.30598/metiks.2022.2.1.56-64.
- [16] P. Wan, L. Gong, and Z. Bai, "Thermodynamic analysis of a geothermal-solar flash-binary hybrid power generation system," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2019, pp. 3–8. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.023.
- [17] M. Sandali, A. Boubekri, D. Mennouche, and N. Gherraf, "Improvement of a direct solar dryer performance using a geothermal water heat exchanger as supplementary energetic supply. An experimental investigation and simulation study," *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 186–196, May 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.11.086.
- [18] Y. Yao, J. H. Xu, and D. Q. Sun, "Untangling global levelised cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy," *J. Clean. Prod.*, vol. 285, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124827.
- [19] R. Loni, G. Najafi, E. Bellos, F. Rajaei, Z. Said, and M. Mazlan, "A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook," *J. Clean. Prod.*, vol. 287, p. 125070, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125070.
- [20] G. V. Ochoa, J. P. Rojas, and J. D. Forero, "Advance Exergo-economic analysis of a waste heat recovery system using ORC for a bottoming natural gas engine," *Energies*, vol. 13, no. 1, 2020, doi: 10.3390/en13010267.
- [21] C. Wang, Q. Li, C. Wang, Y. Zhang, and W. Zhuge, "Thermodynamic analysis of a hydrogen fuel cell waste heat recovery system based on a zeotropic organic Rankine cycle," *Energy*, vol. 232, p. 121038, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121038.
- [22] O. Arsenyeva, J. J. Klemeš, P. Kapustenko, O. Fedorenko, S. Kusakov, and D. Kobylnik, "Plate heat exchanger design for the utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process," *Energy*, vol. 233, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121186.
- [23] O. Chibuike, D. N. Olisaemeka Chukwudozie, D. N. Nnaemeka Reginald, D. O. Chukwunenye Anthony, D. I. Onyechege Johnson, and P. E. Enyioma Anyanwu, "ENERGY CONSUMPTION OF YAM SLICE DRYING IN AN EXHAUST GAS WASTE HEAT RECOVERY HOT AIR TRAY DRYER," *Sci. Res. J.*, vol. 9, no. 8, pp. 1–7, Aug. 2021, doi: 10.31364/scirj/v9.i08.2021.p0821872.
- [24] A. Akbari, S. Kouravand, and G. Chegini, "Experimental analysis of a rotary heat exchanger for waste heat recovery from the exhaust gas of dryer," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 138, pp. 668–674, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.103.
- [25] M. Aktaş, L. Taşeri, S. Şevik, M. Gülcü, G. Uysal Seçkin, and E. C. Dolgun, "Heat pump drying of grape pomace: Performance and product quality analysis," *Dry. Technol.*, vol. 37, no. 14, pp. 1766–1779, 2019, doi: 10.1080/07373937.2018.1536983.
- [26] A. E. Arefin, M. H. Masud, M. U. H. Joardder, and M. Mourshed, "Waste heat recovery systems for internal combustion engines : A review," *Int. Conf. Mech. Eng. Appl. Sci.*, no. February, pp. 3–5, 2017.
- [27] M. Masud *et al.*, "Feasibility of utilizing waste heat in drying of plant-based food materials Renewable Energy View project Intermittent Microwave convective drying View project Feasibility of utilizing waste heat in drying of plant-based food materials," *Int. Conf. Mech. Ind. Mater. Eng.*, vol. 2017, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/325>

- 321933
- [28] J. D. Abraham, A. S. Dhoble, and C. K. Mangrulkar, “Numerical analysis for thermo-hydraulic performance of staggered cross flow tube bank with longitudinal tapered fins,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 118, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104905.
- [29] M. S. Khan and A. Singhai, “THERMAL ANALYSIS OF CORRUGATED PLATE HEAT EXCHANGER BY USING ANSYS SOFTWARE THROUGH FEA METHOD,” pp. 2200–2210, 2019.
- [30] F. J. Gómez-de la Cruz, J. M. Palomar-Carnicero, Q. Hernández-Escobedo, and F. Cruz-Peragón, “Determination of the drying rate and effective diffusivity coefficients during convective drying of two-phase olive mill waste at rotary dryers drying conditions for their application,” *Renew. Energy*, vol. 153, pp. 900–910, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.02.062.
- [31] H. Jouhara, N. Khordehgah, S. Almahmoud, B. Delpech, A. Chauhan, and S. A. Tassou, “Waste heat recovery technologies and applications,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 6. Elsevier Ltd, pp. 268–289, Jun. 01, 2018. doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.
- [32] C. Wang, Z. Cui, H. Yu, K. Chen, and J. Wang, “Intelligent optimization design of shell and helically coiled tube heat exchanger based on genetic algorithm,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 159, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120140.
- [33] N. Titahelu, J. Latuny, C. S. E. Tupamahu, and S. J. E. Sarwuna, “Pitch ratio effect on the effectiveness of condenser for essential oil distillation,” *J. Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 145–154, 2021.
- [34] G. Kumar, Gagandeep, A. Kumar, N. A. Ansari, and M. Zunaid, “Comparative numerical study of flow characteristics in shell & helical coil heat exchangers with hybrid models,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 10831–10836. doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.775.
- [35] A. D. Tuncer, A. Sözen, A. Khanlari, E. Y. Gürbüz, and H. İ. Variyenli, “Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 184, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116272.
- [36] N. Titahelu, D. S. Pelupessy, and A. F. Rumagutawan, “Meningkatkan efektivitas kondensor vertikal pipa helikal koil untuk destilasi minyak atsiri sereh,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 235–249, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1219.
- [37] B. Delpech, B. Axcell, and H. Jouhara, “Experimental investigation of a radiative heat pipe for waste heat recovery in a ceramics kiln,” *Energy*, vol. 170, pp. 636–651, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.12.133.
- [38] M. Parsazadeh and X. Duan, “Numerical study on the effects of fins and nanoparticles in a shell and tube phase change thermal energy storage unit,” *Appl. Energy*, vol. 216, no. October, pp. 142–156, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.052.
- [39] T. W. Lim and Y. S. Choi, “Thermal design and performance evaluation of a shell-and-tube heat exchanger using LNG cold energy in LNG fuelled ship,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 171, May 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115120.
- [40] R. Said, N. Titahelu, and R. Ufie, “Analisis laju aliran massa fluida dingin terhadap efektivitas penukar kalor shell and tube destilasi minyak atsiri cengkeh (*Syzygium aromaticum*),” in *Archipelago Engineering (ALE)*, 2021, pp. 140–145.
- [41] M. H. Masud, T. Islam, M. U. H. Joardder, A. A. Ananno, and P. Dabnichki, “CFD analysis of a tube-in-tube heat exchanger to recover waste heat for food drying,” *International Journal of Energy and Water Resources*, vol. 3, no. 3, pp. 169–186, 2019. doi: 10.1007/s42108-019-00032-w.
- [42] M. M. Ellaban, M. A. Abdelrahman, M. R. Salem, M. A. Moawed, and K. M. Elshazly, “Study of Convective Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics inside Shell and Semi-Circular Tubes Heat Exchanger,” *J. Homepage.WWW.Feng.bu.edu*, vol. 1, no. 39, pp. 39–45, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/333203810>
- [43] I. E. L. Ghandouri, A. El Maakoul, M. Meziane, N. Choab, Y. Nairn, and S. Saadeddine, “Numerical study of shell and tube heat exchangers with different baffle

- cuts,” in *Proceedings of 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2018. doi: 10.1109/IRSEC.2018.8702876.
- [44] X. L. Tian, H. Jin, K. W. Song, L. C. Wang, S. Liu, and L. B. Wang, “Effects of fin pitch and tube diameter on the air-side performance of tube bank fin heat exchanger with the fins punched plane and curved rectangular vortex generators,” *Exp. Heat Transf.*, vol. 31, no. 4, pp. 297–316, Jul. 2018, doi: 10.1080/08916152.2017.1410503.
- [45] T. A. Tahseen, M. Ishak, and M. M. Rahman, “An overview on thermal and fluid flow characteristics in a plain plate finned and unfinned tube banks heat exchanger,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43. Elsevier Ltd, pp. 363–380, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.070.
- [46] J. Xu, J. Li, Y. Ding, Q. Fu, M. Cheng, and Q. Liao, “Numerical simulation of the flow and heat-transfer characteristics of an aligned external three-dimensional rectangular-finned tube bank,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 145, pp. 110–122, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.09.022.
- [47] M. J. Ashraf, H. M. Ali, H. Usman, and A. Arshad, “Experimental passive electronics cooling: Parametric investigation of pin-fin geometries and efficient phase change materials,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 115, pp. 251–263, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.07.114.
- [48] L. Chai and S. A. Tassou, “A review of airside heat transfer augmentation with vortex generators on heat transfer surface,” *Energies*, vol. 11, no. 10. MDPI AG, Oct. 01, 2018. doi: 10.3390/en11102737.
- [49] S. Bhattacharyya, A. C. Benim, M. Pathak, S. Chamoli, and A. Gupta, “Thermohydraulic characteristics of inline and staggered angular cut baffle inserts in the turbulent flow regime,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 140, no. 3, pp. 1519–1536, May 2020, doi: 10.1007/s10973-019-09094-8.
- [50] A. M. González, M. Vaz, and P. S. B. Zdanski, “A hybrid numerical-experimental analysis of heat transfer by forced convection in plate-finned heat exchangers,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 148, pp. 363–370, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.11.068.
- [51] C. K. Mangrulkar, A. S. Dhoble, J. D. Abraham, and S. Chamoli, “Experimental and numerical investigations for effect of longitudinal splitter plate configuration for thermal-hydraulic performance of staggered tube bank,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 161, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120280.
- [52] N. Galanis, E. Cayer, P. Roy, E. S. Denis, and M. Désilets, “Electricity generation from low temperature sources,” *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 2, no. 2, pp. 55–67, 2009, doi: 10.36884/jafm.2.02.11870.
- [53] L. Miró, J. Gasia, and L. F. Cabeza, “Thermal energy storage (TES) for industrial waste heat (IWH) recovery: A review,” *Appl. Energy*, vol. 179, pp. 284–301, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.147.
- [54] M. Wahlroos, M. Pärssinen, J. Manner, and S. Syri, “Utilizing data center waste heat in district heating – Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks,” *Energy*, vol. 140, pp. 1228–1238, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.08.078.
- [55] M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, U. La Commare, and G. Micale, “Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 138, pp. 207–216, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043.
- [56] Z. Su *et al.*, “Opportunities and strategies for multigrade waste heat utilization in various industries: A recent review,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 229, no. January, p. 113769, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113769.
- [57] M. H. Masud, A. A. Ananno, N. Ahmed, P. Dabnichki, and K. N. Salehin, “Experimental investigation of a novel waste heat based food drying system,” *J. Food Eng.*, vol. 281, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110002.
- [58] E. Tian, Y. L. He, and W. Q. Tao, “Research on a new type waste heat recovery gravity heat pipe exchanger,” *Appl. Energy*, vol. 188, pp. 586–594, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.029.
- [59] Y. Qin, H. Fu, J. Wang, M. Liu, and J. Yan, “Waste heat and water recovery characteristics of heat exchangers for dryer exhaust,” *Dry. Technol.*, vol. 36, no. 6, pp.

- 709–722, Apr. 2018, doi: 10.1080/07373937.2017.1351451.
- [60] Z. Cheng, Z. Tan, Z. Guo, J. Yang, and Q. Wang, “Technologies and fundamentals of waste heat recovery from high-temperature solid granular materials,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 179, Elsevier Ltd, Oct. 01, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115703.
- [61] H. Gürbüz and D. Ateş, “A numerical Study on Processes of Charge and Discharge of Latent Heat Energy Storage System Using RT27 Paraffin Wax for Exhaust Waste Heat Recovery in a SI Engine,” *Int. J. Automot. Sci. Technol.*, vol. 4, pp. 314–327, 2020, doi: 10.30939/ijastech..800856.
- [62] A. Baroutaji *et al.*, “Advancements and prospects of thermal management and waste heat recovery of PEMFC,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 9, p. 100064, 2021, doi: 10.1016/j.ijft.2021.100064.
- [63] H. Ma *et al.*, “Assessment of the optimum operation conditions on a heat pipe heat exchanger for waste heat recovery in steel industry,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. March, pp. 50–60, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.122.
- [64] B. K. Roomi, “Experimental and theoretical study of waste heat recovery from a refrigeration system using a finned helical coil heat exchanger,” no. February, 2020, doi: 10.1002/htj.21788.
- [65] A. A. Ayare and S. D. Anjarlekar, “Experimental Study on Helical Coil Heat Exchanger,” vol. 7, no. 5, pp. 56–59, 2017.
- [66] R. Kong, A. Asanakham, T. Deethayat, and T. Kiatsiriroat, “Heat transfer characteristics of deionized water-based graphene nanofluids in helical coiled heat exchanger for waste heat recovery of combustion stack gas,” 2018.
- [67] R. Kong, T. Deethayat, A. Asanakham, and T. Kiatsiriroat, “Heat transfer phenomena on waste heat recovery of combustion stack gas with deionized water in helical coiled heat exchanger,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, pp. 213–222, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.04.010.
- [68] R. Kong, T. Deethayat, and A. Asanakham, “Thermal Characteristics of Helical Coiled Heat Exchanger with Graphene-Deionized Water on Waste Heat Recovery of Combustion Stack Gas,” vol. 18, pp. 50–67, 2019.
- [69] P. Coronel and K. P. Sandeep, “Heat transfer coefficient in helical heat exchangers under turbulent flow conditions,” *Int. J. Food Eng.*, vol. 4, no. 1, 2008, doi: 10.2202/1556-3758.1209.
- [70] N. D. Shirgire1 and P. Vishwanath Kumar, “Review on Comparative Study between Helical Coil and Straight Tube Heat Exchanger,” *IOSR J. Mech. Civ. Eng. (IOSR-JMCE)*, vol. 8, no. 2, pp. 55–59, 2013, [Online]. Available: www.iosrjournals.org
- [71] D. G. Prabhanjan, G. S. V Ragbavan, T. J. Kennic, J. P. Hartnett, and W. J. Minkowycz, “COMPARISON OF HEAT TRANSFER RATES BETWEEN A STRAIGHT TUBE HEAT EXCHANGER AND A HELICALLY COILED HEAT EXCHANGER.”
- [72] S. R. Gurav, “Parametric Comparison of Heat Transfer in Helical and Straight Tube-In-Tube Heat Exchanger,” 2013. [Online]. Available: www.ijsr.net
- [73] R. N. Xu, F. Luo, and P. X. Jiang, “Experimental research on the turbulent convection heat transfer of supercritical pressure CO₂ in a serpentine vertical mini tube,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 91, pp. 552–561, 2015, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.001.
- [74] H. Mirgolbabaie, “Numerical investigation of vertical helically coiled tube heat exchangers thermal performance,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 136, pp. 252–259, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.02.061.
- [75] X. Cui, J. Guo, X. Huai, H. Zhang, K. Cheng, and J. Zhou, “Numerical investigations on serpentine channel for supercritical CO₂ recuperator,” *Energy*, vol. 172, pp. 517–530, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.01.148.
- [76] S. A. Nada, R. Khater, and M. A. Mahmoud, “Thermal characteristics enhancement of helical cooling-dehumidifying coils using strips fins,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 16, May 2020, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100482.
- [77] N. Titahelu, “Perpindahan kalor konveksi natural dari silinder horisontal isothermal set dalam saluran vertikal,” *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 30–38, 2021, doi:

- 10.30598/metiks.2021.1.1.30-38.
- [78] M. S. SADEGHIPOUR and M. ASHEGHI, “Free convection heat transfer from arrays of vertically separated horizontal cylinders at low Rayleigh numbers,” *Internatonal J. Heat Mass Transf.*, vol. 37, pp. 103–109, 1994.
- [79] S. R. Yan *et al.*, “A critique of effectiveness concept for heat exchangers; theoretical-experimental study,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 159, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120160.
- [80] S. A. Nada, H. F. Elattar, A. Fouda, and H. A. Refaey, “Numerical investigation of heat transfer in annulus laminar flow of multi tubes-in-tube helical coil,” *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, vol. 54, no. 3, pp. 715–726, Mar. 2018, doi: 10.1007/s00231-017-2163-8.
- [81] D. Mondal, M. O. Ikram, M. F. Rabbi, and M. N. A. Moral, “Experimental Investigation and Comparison of Bend Tube Parallel & Counter Flow and Cross Flow Water to Air Heat Exchanger,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 5, no. 7, pp. 686–695, 2014.
- [82] S. Rostami, A. S. A. Hamid, K. Sopian, H. Jarimi, A. Bassim, and A. Ibrahim, “Heat Transfer Analysis of the Flat Plate Solar Thermal Collectors with Elliptical and Circular Serpentine Tubes,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 9, 2022, doi: 10.3390/app12094519.
- [83] Ł. Amanowicz and J. Wojtkowiak, “Approximated flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers for thermal analysis under variable airflow conditions,” *Renew. Energy*, vol. 158, pp. 585–597, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.125.
- [84] N. H. Abu-Hamdeh, R. A. R. Bantan, and I. Tlili, “Analysis of the thermal and hydraulic performance of the sector-by-sector helically coiled tube heat exchangers as a new type of heat exchangers,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 150, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.106229.
- [85] A. Banasode, S. Valmiki, and V. S. Desai, “Design and Analysis of Bagasse Dryer to Recover Energy of Water Tube Boiler in a Sugar Factory,” *Int. J. Innov. Technol. Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 6645–6652, 2017.
- [86] A. Alimoradi and F. Veysi, “Prediction of heat transfer coefficients of shell and coiled tube heat exchangers using numerical method and experimental validation,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 107, pp. 196–208, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.04.010.
- [87] J. Fernández-Seara, C. Piñeiro-Pontevedra, and J. A. Dopazo, “On the performance of a vertical helical coil heat exchanger. Numerical model and experimental validation,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 62, no. 2, pp. 680–689, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.09.054.
- [88] M. Attalla and H. M. Maghrabie, “Investigation of effectiveness and pumping power of plate heat exchanger with rough surface,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 211, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ces.2019.115277.
- [89] M. S. Mahdi, H. B. Mahood, A. A. Khadom, A. N. Campbell, M. Hasan, and A. O. Sharif, “Experimental investigation of the thermal performance of a helical coil latent heat thermal energy storage for solar energy applications,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 10, pp. 287–298, May 2019, doi: 10.1016/j.tsep.2019.02.010.
- [90] A. S. Rao, S. Sujeesh, A. Sanyal, P. K. Tewari, and L. M. Gantayet, “Effect of agitation speed and fluid velocity on heat transfer performance in agitated Bunsen reactor of iodine-sulphur thermo-chemical cycle,” *Int. J. Nucl. Hydrog. Prod. Appl.*, vol. 3, no. 1, p. 65, 2016, doi: 10.1504/ijnhpa.2016.078425.
- [91] R. Ramesh, S. N. Murugesan, C. Narendran, and R. Saravanan, “Experimental investigations on shell and helical coil solution heat exchanger in NH₃-H₂O vapour absorption refrigeration system (VAR),” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 87, pp. 6–13, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.06.010.

PENILAIAN DAN MITIGASI RESIKO RANTAI PASOK DENGAN PENDEKATAN METODE HOUSE OF RISK

Willem Pelmelay¹, Daniel B. Paillin² dan, Johan M. Tupan³

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

E-mail: willempelmelay@gmail.com

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

Email : dani.ti.fatek@gmail.com

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

Email : johan.tupan@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menilai dan memitigasi risiko pada aktivitas rantai pasok rumput laut yang ada di Desa Nuruwe Kabupaten Seram Bagian Barat (SBB). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan House of Risk (HOR) dengan mengidentifikasi setiap aktivitas proses bisnis rantai pasok berdasarkan model supply chain operation reference. Model HOR terdiri dari dua tahap yaitu HOR fase 1 untuk menjelaskan peringkat setiap penyebab risiko berdasarkan nilai Aggregate Risk Potential (ARP) dan HOR fase 2 untuk memberikan prioritas tindakan yang bersifat proaktif untuk mencegah risiko terjadi. HOR fase 1 menunjukkan lima penyebab resiko akan diprioritaskan untuk ditangani berdasarkan nilai ARP tertinggi, yang selanjutnya pada HOR fase 2 diusulkan delapan strategi mitigasi. Berdasarkan nilai Effectiveness to Difficulty (ETD), terpilih empat strategi mitigasi yang akan digunakan untuk mencegah penyebab risiko.

Kata kunci: house of risk, risiko rantai pasok, penyebab resiko, kejadian resiko, rumput laut

***Abstract.** This study aims to assess and mitigate risks to seaweed supply chain activities in Nuruwe Village, Seram Bagian Barat (SBB) Regency. The method used in this study is the House of Risk (HOR) approach by identifying each supply chain business process activity based on the supply chain operation reference model. The HOR model consists of two stages, namely HOR phase 1 to explain the ranking of each risk agent based on the Aggregate Risk Potential (ARP) value and HOR phase 2 to prioritize proactive actions to prevent risks event. HOR phase 1 shows five risk agents that will be prioritized to be addressed based on the highest ARP value, and then in HOR phase 2, eight mitigation strategies are proposed. Four mitigation strategies were selected based on the Effectiveness to Difficulty (ETD) score to prevent the risk agent.*

Keywords: house of risk, risk supply chain, risk agent, risk event, seaweed

1. PENDAHULUAN

Provinsi Maluku merupakan salah satu dari 16 provinsi yang memiliki potensi pengembangan budidaya rumput laut yang besar dengan jumlah produksi rumput laut ditahun 2020 sebesar 71.928,65 ton dengan nilai produksi sebesar Rp.224.634.529.000 [1]. Berdasarkan hasil studi kelayakan yang dilakukan oleh [2], menjelaskan bahwa potensi luas areal budidaya rumput laut di Provinsi Maluku diperkirakan seluas 206.000 Ha, dimana salah satu wilayah budidaya rumput laut

berada di Kabupaten Seram Bagian Barat dengan jenis rumput laut yang paling banyak dibudidayakan adalah Euchema Cottonii dan Euchema Spinusim, dikarenakan nilai jual rumput laut ini lebih tinggi dibanding dengan jenis lainnya.

Potensi budi daya rumput laut yang besar ini harus dapat dikelola, dan dikembangkan secara berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat pesisir serta dapat bersaing di pasar global. [3] menjelaskan bahwa supply chain rumput laut terdiri dari dua bagian yakni inbound dan outbound

yang merupakan simpul-simpul petani, pedagang lokal, pedagang menengah atau antar pulau, eksportir, logistic service provider, yang hampir merupakan model yang sama untuk jenis rumput laut di Indonesia. Supply chain rumput laut yang panjang, dengan aktifitas-aktifitas bisnis yang kompleks pada setiap rantai, mengakibatkan munculnya ketidakpastian dan resiko seperti disparitas harga yang tinggi pada tingkat petani dan konsumen [4], [5], pencemaran pantai, kebijakan pemerintah kurang mendukung industri rumput laut, kualitas yang menurun, dan biaya distribusi mahal [6]. Sehingga perlu dilakukannya pengelolaan resiko supply chain untuk mengelola seluruh aktifitas-aktifitas yang terkait dalam proses bisnis rumput laut.

Salah satu isu terpenting dalam manajemen rantai pasokan adalah bagaimana menghadapi ketidakpastian dan resiko [7], [8]. Risiko adalah kemungkinan terjadinya sesuatu yang tidak diinginkan atau ketidakpastian tentang kejadian di masa depan. Risiko tidak dapat dihindari, namun dampak risiko terhadap efisiensi rantai pasok secara keseluruhan dapat diminimalkan melalui manajemen risiko yang tepat [9].

Penelitian tentang manajemen resiko rantai pasok banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. [10], [11], [12] Mengidentifikasi resiko rantai pasok menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) berdasarkan occurrence, severity, dan detection yang menghasilkan urutan prioritas masalah (RPN), yang dikombinasikan dengan beberapa metode multicriteria decision making untuk melihat faktor-faktor resiko yang penting untuk dilakukan mitigasi [13]. Metode supply chain operation reference (SCOR) digunakan oleh [9] dalam mengidentifikasi resiko berdasarkan aktivitas proses rantai pasok seperti plan, source, make, deliver dan return. Resiko yang telah teridentifikasi kemudian dilakukan penilaian resiko menggunakan metode House of Risk (HOR). Metode HOR ini dikembangkan oleh [14] dengan mengintegrasikan model FMEA dan model House of Quality (HOQ) pada Quality Function Deployment (QFD).

Banyak penelitian dilakukan dalam manajemen resiko rantai pasok, namun belum banyak penelitian yang tersedia pada manajemen resiko rantai pasok untuk rumput laut. [3] Memodifikasi HOR multistakeholder dalam dalam pengelolaan resiko komoditas rumput laut di Jawa Timur dan [15] melakukan identifikasi resiko rantai pasok rumput laut di Sabah pada pelaku – pelaku supply chain (petani, pengumpul, dan konsumen) dengan mengintegrasikan metode fuzzy dan FMEA guna

menghasilkan strategi-strategi mitigasi dalam pengelolaan resiko supply chain. Pada penelitian ini mencoba mengidentifikasi resiko berdasarkan aktivitas proses rantai pasok seperti plan, source, make, deliver dan return pada supply side dan selanjutnya digunakan metode HOR untuk penilaian dan mitigasi resiko rantai pasok.

Dari uraian di atas, maka dianggap perlu untuk dilakukan suatu analisis yang komprehensif dengan merancang model manajemen resiko rantai pasok rumput laut. Tujuan dari penelitian ini adalah penilaian prioritas resiko yang paling tinggi berdasarkan nilai Agregat Risk Potential (ARP) pada perusahaan yang selanjutnya menghasilkan strategi mitigasi guna mendukung berbagai keputusan yang diambil.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Supply Chain Risk Management

Supply chain risk management (SCRM) merupakan perpaduan antara supply chain management dan risk management. Supply chain disruptions adalah peristiwa atau gangguan tak terencana yang dapat memengaruhi aliran bahan dan komponen dalam supply chain [16]. Gangguan dalam supply chain dapat mengakibatkan timbulnya masalah pada proses supply chain dan dapat merugikan stakeholder supply chain tersebut.

Tujuan dari supply chain risk management adalah untuk memastikan bahwa supply chain terus berjalan seperti yang telah dirancang, dengan aliran barang yang tidak terputus dari supplier awal hingga customer akhir [17]. Pada situasi yang berbeda supply chain risk management dapat untuk mencegah kejadian yang berisiko atau menerima risiko yang akan terjadi dan menormalkan kembali kinerja supply chain secepat mungkin. Supply chain risk management yang efektif adalah yang bertujuan untuk mengelola risiko, bukan menghilangkan risiko.

Goh *et al.* [18] mengemukakan bahwa risiko pada supply chain terdiri dari dua jenis, yaitu risiko yang timbul pada internal supply chain dan risiko yang berasal dari lingkungan eksternal supply chain. Sementara Tang [19] mengklasifikasikan risiko pada supply chain menjadi dua jenis risiko, yaitu risiko operasional yang merupakan risiko yang berasal dari internal supply chain dan risiko gangguan (disruptions) yang merupakan risiko akibat gangguan yang diakibatkan oleh alam dan manusia maupun krisis ekonomi. Christopher *et al.* [20] mengklasifikasikan risiko supply chain menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Risiko internal perusahaan, meliputi risiko dari kegiatan operasional dan risiko yang timbul

akibat kesalahan dalam menerapkan aturan yang ditetapkan.

2. Risiko eksternal perusahaan tetapu masih dalam supply chain, meliputi risiko permintaan dan risiko suplai yang timbul akibat terganggunya aliran produk dan informasi.
3. Risiko eksnernal supply chain, meliputi risiko lingkungan yang diakibatkan oleh bencana alam, politik, dll.

2.2 House of Risk (HOR)

Penelitian ini membahas resiko rantai pasok pada komoditas rumput laut di desa Nuruwe kabupaten Seram Bagian Barat (SBB). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah HOR. Ada beberapa tahapan dalam penelitian ini mengacu pada manajemen risiko. Pertama, melakukan identifikasi risk event dan risk agent pada aktifitas rantai pasok yaitu plan, source, make, deliver dan return, dengan melakukan brainstorming dan observasi langsung yang selanjutnya di validasi melalui focus group discussion (FGD) atau deep interview. Selanjutnya dilakukan penilaian dampak resiko (severity), tingkat probabilit terjadinya resiko (occurance), korelasi antara risk event dan risk agent, dan strategi mitigasi menggunakan HOR. Model HOR terdiri dari dua tahap [8].

HOR Fase 1

HOR1 untuk menjelaskan peringkat setiap penyebab risiko berdasarkan potensi risiko agregat. Langkah-langkah dalam pembuatan model HOR 1 adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi risiko-risiko yang mungkin terjadi pada bisnis proses. Hal ini dilakukan dengan

pemetaan proses supply chain dan identifikasi kejadian risiko pada masing-masing proses. E_i pada tabel 1 menunjukkan kejadian risiko (risk event) yang terjadi.

2. Melakukan penilaian dampak akibat risiko yang terjadi (*severity*) pada masing-masing kejadian risiko. Penilaian dilakukan dengan rentang nilai 1-10, dimana nilai 10 mewakili dampak yang ekstrim. Nilai dampak untuk masing-masing risiko yang terjadi dijelaskan dengan tanda S_i .
3. Identifikasi penyebab risiko (risk agent) dan melakukan penilaian skala 1- 10 terhadap kemungkinan kejadian (occurrence) untuk masing-masing penyebab risiko, nilai 10 mewakili penyebab risiko tersebut sering terjadi. Penyebab risiko dijelaskan dengan tanda A_j dan kemungkinan kejadian penyebab risiko dijelaskan dengan tanda O_j .
4. Melakukan penilaian hubungan antara penyebab risiko dengan kejadian risiko, dijelaskan dengan tanda R_{ij} dengan skala 0,1,3,9 dimana 0 menunjukkan tidak adanya keterkaitan dan nilai 1,3,9 menunjukkan keterkaitan rendah, sedang, tinggi.
5. Perhitungan ARP_j yang merupakan hasil perkalian dari kemungkinan kejadian penyebab risiko (O_j) dan agregat dampak dari kejadian risiko yang disebabkan oleh penyebab risiko, dengan formulasi sebagai berikut:
$$ARP_j = O_j \sum_i S_i R_{ij} \tag{1}$$
6. Menentukan peringkat penyebab risiko berdasarkan nilai ARP terbesar hingga terkecil.

Tabel 1. Model House of Risk 1

Business Process	Risk Event (E_i)	Risk Agent (A_j)				Severity of Risk Event (S_i)
		A_1	A_2	...	A_{n+1}	
Plan	E_1	R_{11}	R_{12}	...	$R_{1(n+1)}$	S_1
Source	E_2	R_{21}	R_{22}	...		S_2
Make	E_3	R_{31}		...		S_3
Deliver	E_4	R_{41}		...		S_4
Return	E_5	R_{51}		...		S_5
Occurance of Agent j (O_j)		O_1	O_2	...	O_{n+1}	
Agregat Risk Potential (ARP_j)		ARP_1	ARP_2	...	ARP_{n+1}	
Priority Rank of Agent j						

HOR fase 2

HOR2 untuk memberikan prioritas tindakan yang bersifat proaktif untuk meminimalkan biaya dan mencegah risiko terjadi. Langkah-langkah dalam pembuatan model HOR 2 adalah sebagai berikut:

1. Memilih penyebab risiko yang prioritas, pemilihan penyebab risiko dapat menggunakan analisis Pareto terhadap ARP_j

2. Identifikasi tindakan mitigasi yang relevan untuk pencegahan. Tindakan mitigasi pada tabel 2 dijelaskan dengan tanda PA_k .
3. Melakukan penilaian hubungan masing-masing tindakan mitigasi dan masing masing penyebab risiko (*risk agent*), dimana pada Tabel HOR 2 dijelaskan dengan tanda E_{jk} . Penilaian dilakukan dengan skala 0,1,3,9 dimana 0 menunjukkan

tidak adanya keterkaitan dan nilai 1,3,9 menunjukkan keterkaitan rendah, sedang, tinggi.

- Menghitung nilai total efektifitas untuk masing-masing tindakan mitigasi, dengan menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$TE_k = \sum_i ARP_j E_{jk}, \forall k \tag{2}$$

- Melakukan penilaian terhadap besarnya tingkat kesulitan pelaksanaan tindakan mitigasi yang dijelaskan dengan tanda D_k . Penilaian dapat menggunakan pendekatan skala *likert* (1-5). Penilaian tingkan kesulitan pelaksanaan

tindakan mitigasi mempertimbangkan biaya yang dibutuhkan dan jumlah sumber daya yang dibutuhkan

- Mehitung rasio nilai total efektifitas tindakan mitigasi dengan tingkat kesulitan tindakan mitigasi dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$ETD_k = TE_k / D_k \tag{3}$$

- Menentukan peringkat prioritas tindakan mitigasi, peringkat pertama yaitu tindakan mitigasi dengan nilai ETD_k tertinggi.

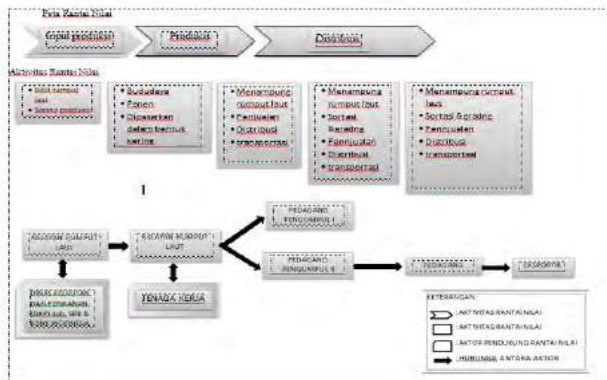
Tabel 2. Model House of Risk 2

Priority Risk (A_j)	Preventive Action (PA_k)				ARP $_j$
	PA $_1$	PA $_2$	...	PA $_{(n+1)}$	
A $_1$	E $_{11}$				ARP $_1$
A $_2$					ARP $_2$
A $_3$					ARP $_3$
A $_{(n+1)}$					ARP $_{n+1}$
Total Effectifness (TE $_k$)	TE $_1$	TE $_2$	...	TE $_{(n+1)}$	
Degree of Difficulty (Dk)	D $_1$	D $_2$	...	D $_{(n+1)}$	
Effectifness to Difficulty (ETD $_k$)	ETD $_1$	ETD $_2$	...	ETD $_{(n+1)}$	
Rank of Priority	R $_1$	R $_2$	...	R $_{(n+1)}$	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

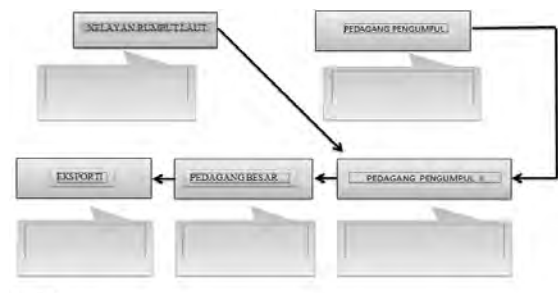
3.1. Rantai Nilai Komoditas Rumput Laut

Peta rantai nilai komoditas rumput laut peta aktivitas dan aktor rantai nilai rumput laut di desa Nuruwe dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta rantai nilai komoditas rumput laut peta aktivitas dan aktor rantai nilai rumput laut di desa Nuruwe

Analisis rantai nilai rumput laut dimulai dengan menggambarkan aktor dan aktivitas, mengingat titik masuk utama dalam analisis rantai nilai dalam penelitian ini ialah untuk mengurangi kemiskinan dan menghasilkan capaian yang pro-kaum miskin. Rantai nilai rumput laut yang terbentuk melibatkan 4 aktor, yakni nelayan rumput laut, pedagang pengumpul, pedagang besar dan eksportir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta aktivitas rantai nilai komoditi rumput laut dari Kabupaten SBB

Rantai nilai rumput laut di kab. SBB dapat dilihat dari beberapa tahap yaitu input produksi, produksi dan distribusi. Pada tahap input produksi, komoditas rumput laut di kab. SBB memerlukan bibit untuk membantu produksi rumput laut. Bibit rumput laut pada saat penelitian ini dilakukan berasal dari desa Nuruwe kecamatan kairatu barat dan bantuan dinas kelautan dan perikanan kab. SBB. Sarana produksi rumput laut didapatkan nelayan rumput laut dari dkp kab. SBB dan DKP Provinsi Maluku serta bantuan desa binaan Bank Indonesia Ambon, diantaranya tali tambang, tali ris untuk mengikat bibit rumput laut, pelampung, jangkar, mesin ketinting dan perahu.

Budidaya rumput laut di kec. Kairatu Barat (Desa Nuruwe) masih menggunakan metode longline yaitu pembudi dayaan rumput laut di kolom air dekat perairan laut dengan menggunakan tali yang dibentangkan dari satu titik ke titik lain dengan

panjang rata-rata 40x50m–50x50m, dalam bentuk terangkai berbentuk segi empat dengan bantuan pelampung dan jangkar. Secara teknis, budi daya rumput laut dibantu oleh tenaga kerja pengikat tali ris dan tenaga kerja pengikat rumput laut ke tali/tambang. Tenaga kerja tersebut bersifat tenaga kerja lepas atau bahkan pembudidaya itu sendiri yang mengerjakannya. Harga upah rata-rata untuk tenaga kerja tersebut adalah Rp.5.000–8.000/bentang/orang. Rata-rata pengikatan bibit rumput laut yang dibutuhkan untuk satu tali bentang tali berukuran 50m adalah 9 kg. Budi daya rumput laut ini memerlukan waktu 45 hari maksimal agar rumput laut besar dan bisa dipanen sesuai dengan kebutuhan pasar.

Rata-rata panen rumput laut sebanyak 5–6 kali dalam setahun. Rumput laut yang diproduksi oleh nelayan rumput laut umumnya dijual dalam bentuk kering. Nelayan rumput laut melakukan pengeringan terhadap rumput laut dengan dijemur dibawah matahari sehingga menghasilkan rendemen sekitar 1/6 dari berat awal. Penjualan dilakukan ke pedagang pengumpul yang ada di lokasi budi daya rumput laut. Pedagang pengumpul ini umumnya yang mengambil atau menjemput rumput laut ke nelayan dengan menggunakan mobil truk yang kemudian ditampung di sebuah gudang untuk dijual ke pedagang besar di kota ambon. Rumput laut tersebut kemudian didistribusikan ke pedagang eksportir di surabaya. Dari penampung gudang ini rumput laut hanya ditampung untuk sementara waktu karena biasanya langsung di kirim ke eksportir. Perusahaan-perusahaan eksportir ini biasa memasarkan rumput laut dalam bentuk kering.

Adapun negara yang menjadi tujuan ekspor perusahaan ini adalah Filipina, Cina, Hongkong, Jepang, Malaysia Dan Amerika Latin (Chili). Seperti dikemukakan pada rantai nilai di atas dimana komoditas rumput laut memiliki beberapa tahapan mulai dari input produksi, produksi dan distribusi. Pada masing-masing tahapan ini terdiri dari beberapa aktor utama yaitu pada tahapan input produksi nelayan rumput laut sebagai pembibit dan DKP kab. SBB dan BI Ambon sebagai aktor pendukung pemberi sarana produksi budi daya rumput laut. Masing-masing aktor ini memiliki fungsi yaitu pembibit memiliki fungsi sebagai penyedia bibit rumput laut, sedangkan instansi dinas terkait berfungsi sebagai penyedia sarana produksi rumput laut, seperti tali tambang, tali ris, pelampung, jangkar, mesin ketinting dan perahu. Kedua aktor ini memiliki tujuan yang berbeda untuk mendapatkan keuntungan. Nilai yang diperoleh dari pembibitan adalah berupa bibit yang siap tanam sedangkan nilai yang didapatkan dari aktor pendukung penyedia

sarana produksi adalah peningkatan produktivitas dan kesejahteraan nelayan. Pada tahap produksi, aktor utama yang terlibat yaitu nelayan rumput laut selaku pembudidaya dan tenaga kerja pengikat tali ris dan tenaga kerja pengikat bibit sebagai aktor pendukung. Nelayan rumput laut berfungsi untuk menanam dan memanen rumput laut, sedangkan tenaga kerja pengikat tali ris berfungsi sebagai pengikat alat dan bibit untuk budi daya rumput laut. Aktor utama memiliki tujuan untuk mendapatkan keuntungan bagi nelayan rumput laut, sedangkan aktor pendukung bertujuan untuk mendapatkan upah.

Nilai yang diperoleh dari nelayan rumput laut adalah pembesaran dan pengeringan rumput laut, sedangkan untuk tenaga kerja pengikat tali ris dan pengikat bibit memiliki nilai yaitu sarana produksi yang siap pakai dan rumput laut yang siap tanam. Permasalahan pada produksi ini adalah kurangnya informasi harga dan peluang pasar. Penyebab lain adalah terjadi aktivitas penangkapan ikan dengan menggunakan bom dan potasium, serta pencemaran limbah sagu, bahkan hama yang menyebabkan pertumbuhan rumput laut lambat dan gagal panen.

Untuk menangani permasalahan tersebut, DKP kab. SBB akan melakukan pembersihan lahan dan memberikan bibit di setiap lokasi budi daya untuk penanaman masal. Selanjutnya pada tahap distribusi aktor utama yang terlibat adalah pedagang pengumpul, pedagang besar dan eksportir. Masing-masing aktor utama ini memiliki fungsi yaitu: pedagang pengumpul berfungsi menampung rumput laut dari nelayan rumput laut dan menyalurkannya ke pedagang besar. Pedagang besar berfungsi menampung rumput laut dari pedagang pengumpul serta menyalurkan ke eksportir. Eksportir memiliki fungsi sebagai pengumpul bahan baku rumput laut kering dari pedagang besar untuk diekspor dalam bentuk kering. Komoditas rumput laut dari kabupaten seram bagian barat ini memiliki banyak permasalahan yang timbul di setiap aktor utama. Untuk nelayan rumput laut masalah yang ada ialah panjangnya rantai nilai rumput laut, akses terhadap pasar, teknologi, input produksi, harga jual, lemahnya posisi tawar nelayan dan kurangnya informasi harga dan pasar. Pada tingkat pedagang pengumpul adanya hubungan bisnis yang bersifat patron klien dengan pedagang besar sehingga tidak dapat menjual rumput laut kepada pedagan besar yang lain. Pedagang besar memiliki hambatan yang dihadapi yaitu tidak mengetahui harga di pasar ekspor sehingga hal ini menyulitkan pedagang besar dalam menentukan harga pada tingkat pedagang pengumpul dan nelayan rumput laut

3.2. Identifikasi Risiko Dan Penilaian Risiko

Proses identifikasi risiko pada supply chain perusahaan dilakukan dengan cara brainstorming dan wawancara terhadap pihak-pihak terkait (nelayan, pedagang pengumpul, dan DKP SBB) mengenai risiko yang terjadi, sumber penyebab risiko dan dimana risiko itu terjadi. Proses identifikasi risiko dengan cara brainstorming dilakukan dengan para ahli pada setiap proses pada supply chain yang kemudian diverifikasi satu dengan yang lain untuk mendapatkan satu pernyataan yang disetujui oleh semua pihak.

Terdapat 13 potensi risiko yang mungkin terjadi pada aktivitas setiap proses supply chain di desa Nuruwe. Selanjutnya dilakukan identifikasi agen risiko dari kejadian risiko-risiko yang ada, dan terdapat 19 agen risiko. Potensi risiko dan agen risiko dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Identifikasi risk event

SCOR	Sub proses	Risk event	E _j
Plan	Perencanaan produksi	Produksi tidak konsisten [21]	E1
		Peralatan terbatas dan rusak [21]	E2
	Perencanaan persediaan	Sistem persediaan yang tidak tepat [8], [9]	E3
		Kurangnya permintaan dan informasi pasar di dalam dan di luar daerah [9], [21]	E4
		Harga jual rendah dan berfluktuasi [3], [22]	E5
Source	Pengadaan	Pembeli sangat terbatas [21]	E6
		Kinerja pemasok yang tidak konsisten [9], [15], [21]	E7
		Hasil tidak konsisten karena hama [6], [22]	E8
Make	Produksi	Peralatan terbatas tidak sebanding dengan jangkauan luas pemanenan. [21]	E9
		Panen premature [21], [22]	E10
Delivery	Pengiriman	Pengiriman barang (bibit dan rumput laut kering) terlambat [9]	E11
		Ongkos kirim mahal [6], [21]	E12
Return	Kebijakan pengembalian	Bahan baku atau rumput laut cacat atau defect [9]	E13

Setelah diketahui potensi risiko dari masing-masing aktivitas supply chain, maka perlu mengidentifikasi penyebab dari timbulnya risiko-risiko diatas. Proses identifikasi agen risiko dilakukan dengan proses yang sama pada saat identifikasi risiko. Risk agent yang ada di desa Nuruwe dapat dilihat pada tabel 4. di bawah ini.

Tabel 4. Identifikasi risk agent

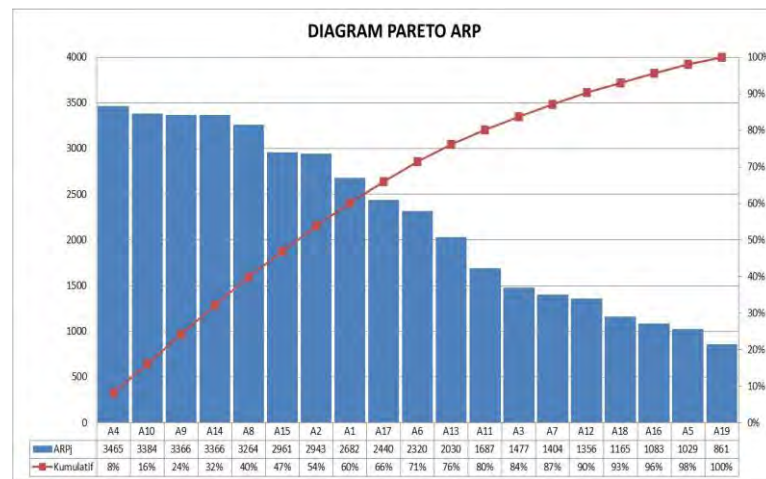
Risk agent / penyebab risiko	A _i
Permintaan tidak stabil [3], [8], [22]	A1
Perubahan cuaca dan musim [6], [9], [21]	A2
Serangan predator [5]	A3
Terbatasnya modal dan kurangnya perawatan [8]	A4
Kurangnya pengetahuan peramalan persediaan (expert opinion)	A5
Kurangnya persediaan bibit rumput laut (expert opinion)	A6
Kurangnya konektivitas antar wilayah [21]	A7
Terbatasnya penggunaan market place [5]	A8
Permainan harga oleh tengkulak [5]	A9
Kurangnya quality control atau kualitas rumput laut menurun [3], [22]	A10
Kurangnya promosi (expert opinion)	A11
Keterlambatan bahan baku dari supplier [9]	A12
Kurangnya inovasi alat pengusir hama rumput laut (expert opinion)	A13
Kurangnya akses permodalan [5]	A14
Pencemaran air (banjir, limbah sagu) [8]	A15
Jarak yang terlalu jauh antara desa pasar dan pemasok [21], [22]	A16
Transportasi terbatas [15], [21]	A17
Keterbatasan infrastruktur transportasi maupun pelabuhan serta kurangnya jasa penyedia logistic [3]	A18
Kesalahan pada proses packing [9]	A19

Selanjutnya dimasukkan pada model HOR fase 1. Matriks HOR fase1 merupakan tahapan untuk identifikasi risiko yang akan mendapatkan prioritas untuk ditangani. Hal ini didapatkan dari nilai masing-masing risiko baik itu nilai severity, occurrence maupun nilai korelasi. Dari nilai severity, occurrence dan nilai korelasi kemudian dapat diidentifikasi nilai ARP untuk masing-masing agen risiko. Nilai ARP ini dijadikan acuan untuk menentukan prioritas agen risiko yang perlu untuk ditangani terlebih dulu. Hasil dari HOR Fase 1 ditunjukkan pada tabel 5.

Dari Matriks HOR fase 1 dapat dilihat peringkat dari 19 agen risiko. Peringkat pertama menunjukkan risk agent yang paling berpengaruh pada risk event, dan peringkat terakhir menunjukkan risk agent yang memiliki efek terkecil pada peristiwa risiko. Tindakan penanganan hanya untuk risiko yang menjadi prioritas, sehingga untuk menentukan risiko prioritas digunakan Diagram Pareto. Yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 5. House of Risk fase 1

Risk Event	Risk Agen																			Severity
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	
E1	9	9	9	9	3	9	0	3	9	9	3	9	9	9	9	0	3	0	0	7
E2	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	8
E3	3	3	1	3	0	9	0	9	3	0	0	9	3	9	3	3	3	0	0	9
E4	9	1	0	1	0	0	9	9	9	0	9	1	0	1	3	9	9	0	1	6
E5	9	9	1	0	0	0	9	9	9	9	3	1	3	9	3	9	3	0	8	
E6	1	0	0	1	0	0	9	9	9	0	9	0	0	0	9	9	9	0	8	
E7	0	0	0	3	9	0	3	9	1	3	1	3	9	9	9	3	0	0	7	
E8	3	3	9	3	3	0	0	0	1	9	0	3	9	0	9	1	1	0	8	
E9	0	1	1	9	0	1	0	0	1	0	0	9	1	9	0	1	9	0	5	
E10	1	9	9	3	3	0	0	0	0	0	0	1	9	1	9	0	0	0	6	
E11	3	1	0	9	9	9	9	9	1	1	0	9	0	3	0	9	9	9	7	
E12	3	3	0	1	0	3	9	9	9	3	0	0	9	0	9	9	9	0	5	
E13	0	9	0	9	0	0	0	0	9	0	1	9	9	9	0	3	0	9	6	
Occurance	9	9	7	9	7	8	6	8	9	9	7	4	7	9	7	3	5	5	7	
ARP	2682	2943	1477	3465	1029	2320	1404	3264	3366	3384	1687	1356	2030	3366	2961	1083	2440	1165	861	
Ranking	8	7	13	1	18	10	14	5	3	2	12	15	11	3	6	17	9	16	19	



Gambar 3. Diagram Pareto ARP

Diagram pareto tersebut menunjukkan risk agent yang menjadi prioritas untuk diberikan penanganan. Dalam evaluasi risiko ini digunakan prinsip 80:20. Pada penelitian ini, diambil sebanyak 26,32% risk agent untuk dilakukan perancangan strategi

penanganan yang diharapkan dapat mempengaruhi perbaikan 73,68% risk agent lainnya. Berikut adalah 5 risk agent yang menyebabkan kejadian resiko dari aliran rantai pasok ikan serta 8 strategi mitigasi resiko (Tabel 6)

Tabel 6. Strategi penanganan

No	Risk agent	Strategi penanganan	Kode
1	A4 (terbatasnya modal dan kurangnya perawatan)	Pemberian bantuan peralatan dan bibit dan gudang penyimpanan untuk budidaya rumput laut	PA1
2	A10 (kurangnya quality control atau kualitas rumput laut menurun)	Maintenance peralatan secara berkala	PA2
		Pelatihan secara berkala pada nelayan untuk proses pengolahan pasca panen	PA3
3	A9 (permainan harga oleh tengkulak)	Menggunakan oven pengering untuk alat pengukur kadar air	PA4
		Pengaturan keseluruhan tataniaga rumput laut oelh disperindag kab. SBB	PA5
4	A14 (kurangnya akses permodalan)	Memperluas peranan perusahaan daerah dalam pemasaran tingkat provinsi dan kabupaten	PA6
		Mengaktifkan koperasi berskala kabupaten dalam akses permodalan bagi nelayan	PA7
5	A8 (terbatasnya penggunaan market place	Pelatihan penggunaan market place atau digital marketing	PA8

Tahapan selanjutnya HOR fase 2 yaitu fase penanganan risiko. Dalam HOR fase 2 ini akan ditentukan beberapa strategi penanganan dari risk agent yang mendapatkan prioritas untuk ditangani. Tahap-tahap dalam HOR fase 2 yaitu perancangan strategi penanganan, penilaian tingkat hubungan

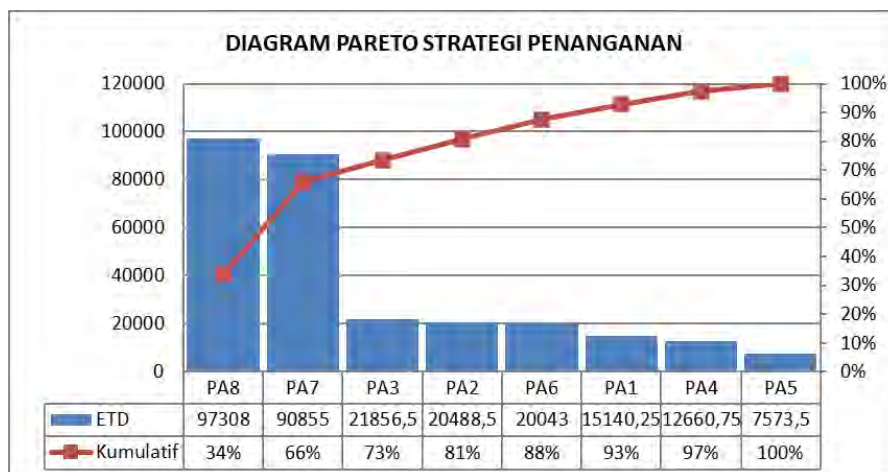
antara strategi penanganan dengan risk agent yang ada, menghitung nilai Total Effectifness (TEk) dan Degree of Difficulty (Dk) serta menghitung rasio Effectifness to Difficulty (ETDk) yang ditunjukkan pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. House of Risk fase 2

Risk Agen	Preventive Action								ARP
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	PA8	
A4	9	9	1	3	0	0	9	9	3465
A10	0	0	9	9	0	0	0	0	3384
A9	0	0	0	0	9	9	9	3	3366
A14	9	3	3	3	0	3	9	9	3264
A8	0	0	0	0	0	0	0	9	2961
TEk	60561	40977	43713	50643	30294	40086	90855	97308	
Dk	4	2	2	4	4	2	1	1	
ETDk	15140,25	20488,5	21856,5	12660,75	7573,5	20043	90855	97308	
Rank	6	4	3	7	8	5	2	1	

Nilai ETD terbesar menjadi indikator bahwa strategi penanganan tersebut memiliki efektifitas tertinggi untuk dilakukan. Untuk mempermudah

dalam mengetahui strategi penanganan yang dilakukan maka dibuat diagram pareto seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Pareto strategi penanganan

Dengan pertimbangan dan harapan efektifnya strategi penanganan yang diterapkan, maka hanya 80% dari total kumulatif nilai ETD yang akan diambil. Sehingga ada 4 strategi teratas yang direkomendasikan untuk dilakukan. Strategi penanganan pertama yang mungkin dilakukan adalah pelatihan penggunaan market place atau digital marketing (PA8) dengan nilai ETD sebesar 97.308 atau 34%, mengaktifkan koperasi berskala kabupaten dalam akses permodalan bagi nelayan (PA7) dengan nilai ETD sebesar 90.855 atau 66%, pelatihan secara berkala pada nelayan untuk proses pengolahan pasca panen (PA3) dengan nilai ETD sebesar 21.857 atau 73%, dan strategi maintenance peralatan secara berkala (PA2) dengan nilai ETD sebesar 20.489 atau 81%.

Untuk memotong mata rantai distribusi, nelayan dapat memanfaatkan market place yang tersedia seperti toko pedia, bukalapak, shopee, lazada, dan lain-lain, atau pun dapat memanfaatkan aplikasi media sosial lainnya dalam memasarkan produknya. Selain itu juga pemerintah daerah dapat mengaktifkan koperasi dalam memberikan akses permodalan bagi nelayan yang memang selama ini diberikan oleh tengkulak kepada nelayan dengan bunga yang tinggi serta hasil panennya akan dijual kepada tengkulak. Selain itu pemerintah dapat memberikan pelatihan pengolahan rumput laut secara berkala kepada petani pasca panen sehingga kualitas rumput laut lebih baik dan berdampak pada harga jual rumput laut yang tinggi, dan diharapkam nelayan rumput laut dapat melakukan maintenance

peralatan produksi, pengeringan dan gudang penyimpanan secara berkala agar dapat meningkatkan produktivitas nelayan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

Terdapat total 13 risk event dan 19 risk agent yang teridentifikasi, dengan menggunakan HOR1 diperoleh nilai ARP dari masing-masing agen risiko yang akan menjadi prioritas untuk diusulkan strategi penanganan. Berdasarkan diagram pareto dengan aturan 80:20, maka ada 5 agen risiko yang menjadi prioritas untuk ditangani, yaitu A4 (terbatasnya modal dan kurangnya perawatan) dengan total ARP adalah 3.465 atau mewakili 8% dari total agen risiko, A10 (kurangnya quality control atau kualitas rumput laut menurun) dengan total ARP sebesar 3.384 atau 16%, A9 (permainan harga oleh tengkulak) dengan total ARP sebesar 3366 atau 24%, A14 (kurangnya akses permodalan) dengan total ARP sebesar 3.366 atau 32%, A8 (terbatasnya penggunaan market place (pemasaran online)) dengan total ARP sebesar 3.264 atau 40%.

House of risk fase II merupakan tahapan untuk mendapatkan strategi penanganan yang bisa dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya agen risiko. Berdasarkan 5 agen risiko dari HOR fase I, diusulkan 8 strategi penanganan yang mungkin dilakukan dan setelah dihitung nilai ETD didapatkan 4 strategi penanganan dengan nilai efektifitas tertinggi, yaitu pelatihan penggunaan market place atau digital marketing (PA8) dengan nilai ETD sebesar 97.308 atau 34%, mengaktifkan koperasi berskala kabupaten dalam akses permodalan bagi nelayan (PA7) dengan nilai ETD sebesar 90.855 atau 66%, pelatihan secara berkala pada nelayan untuk proses pengolahan pasca panen (PA3) dengan nilai ETD sebesar 21.857 atau 73%, dan strategi maintenance peralatan secara berkala (PA2) dengan nilai ETD sebesar 20.489 atau 81%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan dan Staf Fakultas Teknik Universitas Pattimura yang telah memberikan Dana penelitian PNBPN 2022 dalam pelaksanaan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Maluku, “Provinsi Maluku dalam angka,” 2021.
- [2] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Maluku, “Feasibility Study Rumput Laut di Kabupaten Seram Bagian Barat. Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Maluku,” Ambon, 2006.
- [3] P. N. C. Iswarin, “Strategi Mitigasi Risiko Rantai Pasok Dengan Mempertimbangkan Kepentingan Multistakeholder: Studi Kasus Pada Industri Rumput Laut,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [4] D. B. Paillin and T. Talib, “Alternatif Penanggulangan Tengkulak Dalam Usaha Budidaya Rumput Laut Di Kabupaten Seram Bagian Barat,” *ARIKA*, vol. 07, no. 1, 2013.
- [5] D. B. Paillin, J. M. Tupan, J. B. Paillin, V. O. Lawalata, and W. Latuny, “Priority Strategies Selection To Prevent Middlemen Domination In Shortening The Distribution Chain,” *Acta Logistica*, vol. 9, no. 3, pp. 279–290, Sep. 2022, doi: 10.22306/al.v9i3.309.
- [6] H. Mulyati and J. Geldermann, “Managing risks in the Indonesian seaweed supply chain,” *Clean Technol Environ Policy*, vol. 19, no. 1, pp. 175–189, Jan. 2017, doi: 10.1007/s10098-016-1219-7.
- [7] R. A. Hadiguna, *Manajemen Rantai Pasok Agroindustri: Pendekatan Berkelanjutan untuk Pengukuran Kinerja dan Penilaian Risiko*. 2016. doi: 10.25077/car.16.16.
- [8] D. Paillin, J. Tupan, J. Paillin, W. Latuny, and V. Lawalata, “Risk Assessment And Risk Mitigation In A Sustainable Tuna Supply Chain,” *Acta logistica*, vol. 9, no. 1, pp. 51–61, Mar. 2022, doi: 10.22306/al.v9i1.270.
- [9] D. B. Paillin and J. M. Tupan, “The supply chain risk assessment for tuna during the Covid-19 pandemic in Ambon by using the House of Risk Method,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ambon, 2021, pp. 1–11. doi: 10.1088/1755-1315/797/1/012024.
- [10] N. Perlekar and J. J. Thakkar, “Risk management framework for outsourcing in the defence sector: a case from India,” *Int J Prod Res*, vol. 57, no. 18, pp. 5892–5919, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1555381.
- [11] R. Rathore, J. J. Thakkar, and J. K. Jha, “Evaluation of risks in foodgrains supply chain using failure mode effect analysis and fuzzy VIKOR,” *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 38, no. 2, pp. 551–580, 2020, doi: 10.1108/IJQRM-02-2019-0070.
- [12] P. Zandi, M. Rahmani, M. Khanian, and A. Mosavi, “Agricultural risk management using fuzzy topsis analytical hierarchy process (Ahp) and failure mode and effects analysis

- (fmea),” *Agriculture (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, pp. 1–28, 2020, doi: 10.3390/agriculture10110504.
- [13] K. Govindan, R. Khodaverdi, and A. Jafarian, “A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach,” *J Clean Prod*, vol. 47, pp. 345–354, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.04.014.
- [14] I. N. Pujawan and L. H. Geraldin, “House of risk: A model for proactive supply chain risk management,” *Business Process Management Journal*, vol. 15, no. 6, pp. 953–967, 2009, doi: 10.1108/14637150911003801.
- [15] M. M. Mansor and N. H. Kamarulzaman, “Seaweed Supply Chain Risk Identification in Sabah Using Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Sep. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/549/1/012096.
- [16] G. Svensson, “A conceptual framework for the analysis of vulnerability in supply chains,” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 30, no. 9, pp. 731–750, 2000, doi: 10.1108/09600030010351444.
- [17] D. Waters, *Supply Chain Risk Management: Vulnerability and Resilience in Logistic*. London: Kogan Page Publishers., 2011.
- [18] M. Goh, J. Y. S. Lim, and F. Meng, “A stochastic model for risk management in global supply chain networks,” *Eur J Oper Res*, vol. 182, no. 1, pp. 164–173, 2007, doi: 10.1016/j.ejor.2006.08.028.
- [19] C. S. Tang, “Perspectives in supply chain risk management,” *Int J Prod Econ*, vol. 103, no. 2, pp. 451–488, 2006, doi: 10.1016/j.ijpe.2005.12.006.
- [20] M. Christopher, H. Peck, C. Rutherford, and U. Jüttner, *Understanding Supply Chain Risk : A Self- assessment Workbook*. Department for Transport. Cranfield University, 2003.
- [21] W. A. Teniwut, K. D. Betaubun, M. Marimin, and T. Djatna, “Mitigasi Rantai Pasok Rumput Laut dengan Pendekatan House of Risk dan Fuzzy AHP di Kabupaten Maluku Tenggara,” *agriTECH*, vol. 40, no. 3, pp. 242–253, Dec. 2020, doi: 10.22146/agritech.27770.
- [22] H. Mulyati, “Supply Chain Risk Management Study of the Indonesian Seaweed Industry,” 2015.

DESAIN STRATEGI BISNIS UD. ARSITA: PENERAPAN INVIVO DALAM COMPETITIVE FIVE FORCE (C5F)

N. F. Laisi¹, V. O. Lawalata², W. Latuny³

¹Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: nyongfaturachman13@gmail.com

²Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : victor.lawalata@fatek.unpatti.ac.id

³Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : wilma.latuny@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Tantangan yang dihadapi UD. Arsita mencakup lingkup pasar yang terbatas di Kecamatan Teluk Ambon, adanya produk-produk sejenis di pasar dan kecenderungan dari konsumen membeli produk pesaing baru di pasar. Inisiatif perusahaan membuka 2 pabrik roti baru untuk perluasan pasar, belum dapat memaksimalkan keuntungan yang ditargetkan. Penelitian ini dilakukan untuk menyajikan rancangan strategi bisnis baru yang kompetitif menggunakan pendekatan C5F. Data hasil wawancara terhadap pimpinan dan seluruh karyawan diolah menggunakan metode Nvivo untuk mengidentifikasi strategi menurut komponen C5F. Hasil penelitian berupa 20 strategi bisnis kompetitif mencakup 9 strategi ancaman pendatang baru, 3 strategi ancaman produk atau jasa pengganti, 2 strategi kekuatan penawaran pemasok, 4 strategi kekuatan penawaran pembeli, dan 2 strategi persaingan industri.

Kata kunci: UD. Arsita, strategi bisnis, Nvivo, *competitive five force*

Abstract Business challenges faced by UD. Arsita are a limited market in Teluk Ambon District, there are similar products in the market and the tendency of consumers to buy products from newcomers in the market. Following up on those circumstances, the owner of company built 2 new bakery factories in to expand the market, but has not been able to maximize the targeted profit. This research was conducted to present the design of new competitive business strategy using the C5F approach. Interviews data from leaders and all employees were processed using the Nvivo method to identify strategies according to the C5F components. The results of the research are 19 competitive business strategies consist of 9 new entrants threat strategies, 2 substitute product or service threats strategies, 2 supplier capture strategies, 4 buyers supply strength strategies, and 2 industry competitive strength strategies.

Keywords: UD. Arsita, business strategy, Nvivo, competitive five force

1. PENDAHULUAN

Strategi bisnis telah banyak digunakan oleh manajer perusahaan untuk mencapai tujuan bisnisnya. Strategi bisnis menjadi ketrampilan yang harus dimiliki para manajer perusahaan untuk mengelola semua elemen utama usahanya (pelanggan, produk, layanan distribusi, tanggung jawab keuangan dan manajemen puncak) menuju kesuksesan [1]. Berdasarkan studi kepustakaan Silva dan Nunes [2], maksimalisasi keuntungan jangka pendek tidak cukup untuk menjamin kelangsungan hidup dari pe-

rusahaan, tetapi juga bergantung pada ukuran non finansial seperti teknologi proses, kompetensi pembelajaran dan inovasi. Dalam jangka panjang diperlukan perubahan di perusahaan yang diinternalisasikan ke strategi bisnisnya untuk membangun daya saing.

Strategi daya saing kemudian menjadi isu penting dari berbagai perusahaan termasuk UD. Arsita. Perusahaan ini merupakan salah satu usaha pembuatan makanan ringan (roti) lokal yang memproduksi roti dalam beberapa rasa (coklat, mocca dan coklat pan-

dan) di Kota Ambon. Variasi produk ini dimaksudkan agar pelanggan dapat memilih jenis produk sesuai dengan selera dan menjadi salah satu faktor daya saing bisnisnya. Target produksi terpasang adalah 15.000 buah roti per hari sedangkan realisasi penjualan antara 8.000 sampai 12.000 buah per hari atau baru memenuhi 53-80% target. Inovasi yang dilakukan berupa perluasan pasar dengan membuka 2 cabang pabrik baru (UD. Sangrela dan UD. Alvin) belum dapat memaksimalkan keuntungan yang ditargetkan. Tantangannya bahwa (1) lingkup pasar sangat terbatas pada wilayah terpusat di beberapa wilayah pada Kecamatan Teluk Ambon seperti Desa Wayame, Rumahtiga, Poka, Waiheru, dan lain-lain; (2) banyak produk sejenis dari pesaing (Sarinda, Cindirela dan lain-lain) yang beredar di pasar yang sama dengan UD. Arsita dan juga meluas sampai swalayan di wilayah ini yang mana lebih sering dikunjungi masyarakat; (3) maraknya minat beli masyarakat untuk produk makanan termasuk roti, mendorong muncul pendatang baru selama periode bisnis UD. Arsita (seperti Mutiara dan Hilya) dengan kekuatan tawar (keragaman produk dan dominasi pasar), akses saluran distribusi yang baik dan memiliki pelanggan yang loyal. Tindak lanjut terhadap fenomena ini selaras dengan hasil studi kepustakaan Ambarwati *et al.* [3], bahwa untuk memenangkan kompetisi bisnis, diperlukan strategi daya saing (*competitive strategy*); yang berfokus pada peningkatan posisi daya saing produk dan layanan di suatu perusahaan atau segmen pasar tertentu; sehingga strategi daya saing bukan hanya merupakan respon terhadap lingkungan tetapi juga merupakan upaya untuk membentuk lingkungan sesuai dengan keinginan perusahaan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan merancang strategi daya saing bagi bisnis UD. Arsita dengan menggunakan pendekatan Nvivo dalam model *competitive five force* (C5F) dari Porter.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Strategi Organisasi

Strategi merupakan alat untuk mencapai suatu tujuan tertentu [4]. Strategi menyatakan seperangkat komitmen dan tindakan yang terintegrasi dan terkoordinasi, yang dirancang untuk mengeksplorasi kompetensi inti (*core competence*) dan mendapatkan keunggulan daya saing (*competitive advantages*) [5]. Dalam praktek organisasi, strategi dibuat oleh manajemen puncak dan diterapkan ke semua jajaran dalam organisasi untuk pencapaian tujuan organisasi [6]. Cichocki dan Irwin berpendapat bahwa (1) strategi bersumber dari hasil pemahaman mengenai faktor-faktor eksternal yang bekerja pada organisasi serta kekuatan-kekuatan dari

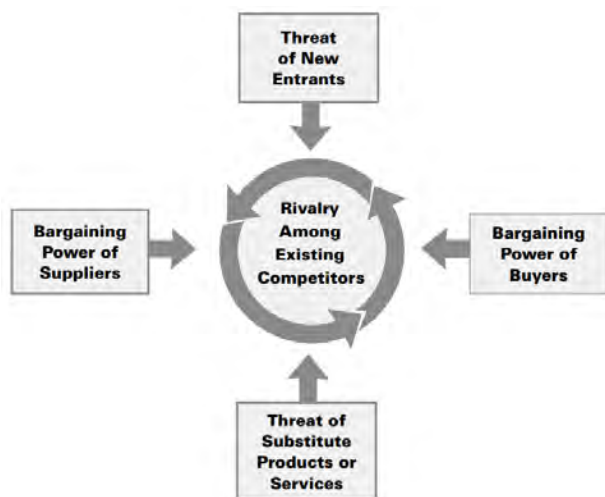
organisasi itu yang mampu merubah dirinya sendiri; (2) kekuatan perubahan dapat muncul dari banyak arah, yaitu politik, teknologi, sosial atau persaingan, dan mereka dipandang sebagai tantangan, masalah atau peluang bagi organisasi [7].

Tujuan strategi adalah untuk mendapatkan keunggulan daya saing [8]. Keunggulan daya saing merupakan kemampuan untuk menawarkan nilai yang lebih baik kepada pelanggan melalui harga yang lebih rendah atau manfaat dan layanan yang lebih besar dari yang dapat dilakukan pesaing [9]. Menurut Jones [10], strategi digunakan untuk memanfaatkan dan mengembangkan kompetensi dasar (*core competence*) organisasi mendapatkan daya saing dan meningkatkan pangsa sumber daya langkanya di lingkungan; strategi dijabarkan dalam 4 tingkatan yaitu strategi tingkat operasional, tingkat bisnis, tingkat korporat (perusahaan) dan ekspansi global. Untuk mencapai keunggulan daya saing, Michael Porter merekomendasikan dua hal dasar yang dapat dilakukan oleh organisasi, yaitu memiliki biaya struktural lebih rendah dibandingkan pesaingnya; atau memiliki produk atau layanan yang dibedakan dari produk atau layanan pesaing dengan cara yang sangat dihargai oleh pelanggan sehingga dapat membebaskan harga yang lebih tinggi yang menutupi biaya tambahan diferensiasi [11]. Untuk itu terdapat tiga strategi umum dari Porter mencakup strategi biaya rendah, strategi diferensiasi, dan strategi fokus [12].

2.2. Model *Competitive Five Force* (C5F)

Model C5F dikembangkan berbasis pada teori organisasi industri yang menganggap bahwa struktur pasar dimana suatu organisasi industri itu beroperasi akan mempengaruhi perilaku pelaku pasarnya dan menentukan daya tarik organisasi industri tersebut [13]. Menurut Porter, daya tarik ini ditentukan oleh 5 kekuatan utama yang mempengaruhi sejauh mana daya saing organisasi meliputi (1) persaingan industri, (2) kekuatan penawaran pemasok, (3) kekuatan penawaran pembeli, (4) ancaman pendatang baru, dan (5) ancaman produk atau layanan pengganti [14] (Gambar 1).

Berikut ini adalah penjabaran Porter tentang 5 kekuatan daya saing tersebut [15]. **Persaingan di antara pesaing yang ada** (persaingan industri) mengambil banyak bentuk yang sudah dikenal, termasuk diantaranya diskon harga, pengenalan produk baru, kampanye iklan, dan peningkatan layanan. Persaingan yang tinggi membatasi profitabilitas suatu industri. Sejauh mana suatu persaingan menurunkan potensi keuntungan industri bergantung pada (1) intensitas persaingan industri, dan (2) dasar persaingan industri tersebut.



Gambar 1. Model C5F Porter

Pada **kekuatan penawaran pesaing**, pemasok yang kuat menangkap lebih banyak nilai untuk diri mereka sendiri dengan membebaskan harga yang lebih tinggi, membatasi kualitas atau layanan, atau mengalihkan biaya ke peserta industri. Pemasok yang kuat, termasuk pemasok tenaga kerja, dapat memeras profitabilitas dari industri yang tidak dapat menanggung kenaikan biaya dalam harganya sendiri. Pada **kekuatan penawaran pembeli**, pelanggan yang kuat—sisi lain dari pemasok yang kuat—dapat memperoleh lebih banyak nilai dengan memaksa menurunkan harga, menuntut kualitas yang lebih baik atau lebih banyak layanan (sehingga menaikkan biaya), dan secara umum mengadu pelaku industri satu sama lain, semuanya dengan mengorbankan profitabilitas industri. Pembeli sangat kuat jika mereka memiliki pengaruh negosiasi relatif terhadap peserta industri, terutama jika mereka sensitif terhadap harga, menggunakan pengaruh mereka terutama untuk menekan penurunan harga. Terkait **ancaman pendatang baru**, pendatang baru dalam suatu industri membawa kapasitas baru dan keinginan untuk mendapatkan pangsa pasar yang memberikan tekanan pada harga, biaya, dan tingkat investasi yang diperlukan untuk bersaing. Terutama ketika pendatang baru melakukan diversifikasi dari pasar lain, mereka dapat memanfaatkan kemampuan dan arus kas yang ada untuk mengguncang persaingan. Untuk **ancaman produk atau layanan pengganti**, Pengganti melakukan fungsi yang sama atau serupa sebagai produk industri dengan cara yang berbeda. Terkadang, ancaman substitusi bersifat hilir atau tidak langsung, ketika produk pengganti menggantikan produk industri pembeli. Pengganti selalu ada, tetapi mudah diabaikan karena mungkin terlihat sangat

berbeda dari produk industri. Ketika ancaman pengganti tinggi, profitabilitas industri menderita. Produk atau layanan pengganti membatasi potensi keuntungan industri dengan menetapkan batas atas harga. Jika suatu industri tidak menjauhkan diri dari produk pengganti melalui kinerja produk, pemasaran, atau cara lain, ia akan menderita dalam hal profitabilitas—dan seringkali potensi pertumbuhan. Pengganti tidak hanya membatasi keuntungan di waktu normal, mereka juga mengurangi keuntungan yang bisa dipetik industri di waktu yang baik.

2.3. Nvivo

Berdasarkan studi literatur Kraiwanit, Limna dan Siripipatthanakul [16] dapat disimpulkan: (1) untuk memahami lebih dalam fenomena kompleks tentang pengalaman, kepercayaan, dan perilaku orang, serta mengungkapkan pola dan makna yang mendasarinya, penelitian kualitatif menggunakan Nvivo; (2) Nvivo diperlukan oleh para peneliti untuk memperoleh wawasan yang lebih dalam dari data yang tidak terstruktur, antara lain dokumen teks, transkrip wawancara, rekaman audio dan video, dan gambar. Aplikasi ini dapat meningkatkan kualitas hasil penelitian dengan cara [17]: (1) Nvivo memberikan satu tempat untuk menyimpan semua data (teks, gambar, video, atau audio). Data yang ditampilkan dapat dibaca dan ditentukan kode untuk bagian atau kata yang berguna. Setiap kode akan diberi kode warna sehingga dapat dengan cepat teramati saat menelusuri teks, video, atau gambar, kode mana yang telah ditetapkan. Dimungkinkan juga untuk menetapkan hubungan dan hierarki antara kode yang berbeda; (2) menggunakan fungsi map untuk memvisualisasikan struktur data dan relasinya. Bentuk visualisasi lain yang tersedia di Nvivo adalah word cloud. Di sini ditunjukkan kata-kata mana yang paling sering digunakan dalam materi; (3) mengkodekan materi secara otomatis. Itu dapat mencari seluruh materi teks untuk kata atau frasa tertentu dan menerapkan kode yang telah ditetapkan sebelumnya ke teks. Meskipun Nvivo dapat menjadi alat yang berguna untuk menyusun, mengatur, dan mencari melalui materi, dibutuhkan manusia untuk menganalisis luaran aplikasi ini.

Bazeley dalam [18] menyatakan 5 tugas penting Nvivo menganalisis data kualitatif. Tugas-tugas tersebut mencakup (1) mengelola data, dengan mengatur sejumlah dokumen data yang kacau; (2) mengelola ide, untuk memahami masalah konseptual dan teoretis yang dihasilkan selama studi; (3) *data query*, dengan mengajukan beberapa pertanyaan dari data dan memanfaatkan perangkat lunak dalam menjawab pertanyaan tersebut; (4) pemodelan secara visual, dengan membuat grafik untuk menunjukkan

adanya hubungan antara data konseptual dan teoritis; (5) pelaporan, dengan memanfaatkan data yang telah dikumpulkan dan hasil yang ditemukan untuk menyusun laporan transkrip tentang penelitian yang telah dilakukan. Fokus utama dari pendekatan ini adalah menggunakan fitur pengkodean matriks Nvivo untuk mencari pola dan wawasan dalam respons di antara kelompok demografis yang berbeda melalui lima langkah yakni (1) pembersihan data dan pengkodean kasus; (2) impor data; (3) analisis frekuensi kata; (4) pengkodean teks dan penggalan referensi; dan (5) pengkodean matriks dan analisis induktif tindak lanjut [19].

2.4. Metode

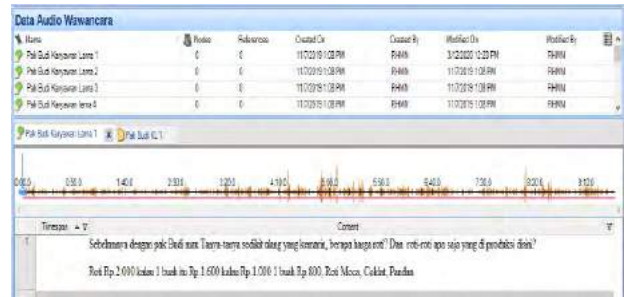
Penelitian ini melibatkan 4 orang narasumber mencakup pemilik UD. Arsita dan 3 orang karyawannya. Setiap karyawan diwawancarai secara langsung sebanyak 2 kali sedangkan dengan pemilik perusahaan dilakukan 3 kali sehingga diperoleh 9 data audio. Data wawancara direkam menggunakan aplikasi Nvivo 12 yang terpasang pada komputer (laptop). Pertanyaan yang diajukan berkaitan dengan 5 kekuatan daya saing dalam model C5F sebagai variabel penelitian.

Analisis data untuk menghasilkan strategi berdaya-saing untuk UD. Arsita menggunakan aplikasi Nvivo 12. Metode yang digunakan terdiri atas tahapan: (1) transfer data audio ke teks dan menjadi data mentah; (2) sunting kalimat-kalimat hasil data mentah ke dalam bahasa Indonesia yang baku sekaligus melakukan pembersihan data yang tidak diperlukan; (3) masukan data bersih untuk diolah pada *text query* Nvivo; (4) menjalankan *text query* Nvivo untuk mendapatkan petunjuk frasa-frasa yang berhubungan dengan 5 variabel dari C5F; (5) hubungkan hasil *text query* dan interpretasi hasil rekapitulasi; (6) rancang strategi sesuai *gant chart* Nvivo dan interpretasi hasilnya; (7) visualisasikan presentasi strategi yang diperoleh berdasarkan 5 aspek C5F pada *coverage gantt chart*; (8) hitung korelasi *Pearson* antara Strategi Organisasi C5F dengan 5 variabel C5F; (9) rumuskan strategi yang dirancang; (10) simpulkan hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

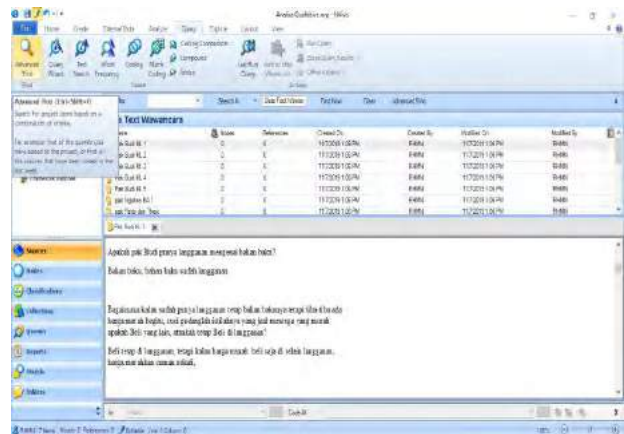
3.1. Transfer Data, Sunting, Text Query

Data audio berupa rekaman hasil wawancara dengan 1 pemilik dan 3 karyawan UD. Arsita. Data ini dikonversikan menjadi data naratif tertulis atau teks dengan bantuan aplikasi Nvivo (Gambar 2). Data mentah ini belum terstruktur dengan baik sehingga perlu dilakukan penyuntingan data tersebut.



Gambar 2. Data audio hasil wawancara yang ditransfer menjadi data teks menggunakan Nvivo

Penyuntingan data mentah dilakukan dengan berpedoman pada tata Bahasa Indonesia yang baku. Hal ini diperlukan agar kalimat, frasa atau kata mudah dimengerti dan dapat distrukturkan dengan lebih baik. Proses penyuntingan dilakukan secara manual pada aplikasi Nvivo sebagaimana hasilnya ditampilkan pada Gambar 3 dan menghasilkan data bersih.



Gambar 3. Penyuntingan data mentah sesuai tata bahasa indonesia di Nvivo

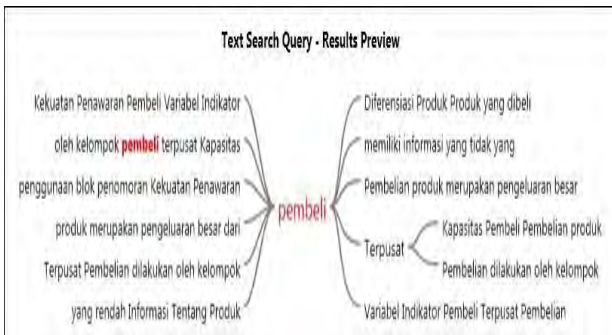
Selanjutnya, dilakukan pengolahan data menggunakan *text query*. Data bersih dimasukkan dalam *query* di Nvivo dan dijalankan untuk menemukan keterkaitan frasa dengan masing-masing variabel C5F. Nvivo menghasilkan kata kunci setiap variabel dan menemukan hubungan yang dimunculkan dalam suatu diagram keterkaitan (Gambar 4, 5, 6, 7, dan 8).



Gambar 4. Hasil pengolahan data bersih variabel persaingan industri



Gambar 5. Hasil pengolahan data bersih variabel kekuatan penawaran pemasok



Gambar 6. Hasil pengolahan data bersih variabel kekuatan penawaran pembeli



Gambar 7. Hasil pengolahan data bersih variabel ancaman pendatang baru



Gambar 8. Hasil pengolahan data bersih variabel ancaman produk atau jasa pengganti

Rangkuman dari *text query* disajikan dalam luaran aplikasi Nvivo di Gambar 9. Berdasarkan semua luaran Nvivo ini, beberapa indikator yang menjadi tolok ukur untuk penentuan strategi daya saing UD. Arista adalah:

Gambar 9. Tampilan luaran Nvivo dari hasil *text query*

- persaingan industri dengan indikator: jumlah pesaing, pertumbuhan industri;
- kekuatan penawaran pemasok dengan indikator: dominasi pemasok, produk pengganti, produk pemasok;
- kekuatan penawaran pembeli dengan indikator: Kelompok pembeli terpusat, kapasitas pembelian, diferensiasi produk;

- ancaman pendatang baru dengan indikator: loyalitas pelanggan, kebijakan pemerintah;
- ancaman produk atau jasa pengganti dengan indikator: produk pengganti, layanan produk pengganti, *switching cost*.

3.1. Perancangan Strategi Daya Saing

Luaran *text query* diatas menjadi masukan dalam perancangan strategi daya saing UD. Arsita yang dijabarkan menurut variabel penelitian (Tabel 1, 2, 3, 4, dan 5).

Tabel 1. Rumusan strategi persaingan industri

No	Hasil Ouput dan Interpretasi		Relasi hasil nvivo dengan indicator ancaman pendatang baru	
	Pernyataan output nvivo	Interpretasi	Definisi	Strategi
1.	<i>Variabel indikator jumlah pesaing yang tinggi</i>	Jumlah pesaing pada roti sejenis UD. Arsita ada 7 pabrik roti sejenis menurut sepengetahuan karyawan yang bekerja pada UD.Arsita tersebut, maka dapat di ketahui untuk persaingan pabrik roti sejenis UD.Arsita beragam	Jumlah pesaing. Banyaknya pemain dengan kekuatan masing-masing tentu saja akan meningkatkan intensitas persaingan dalam kompetisi	Mempertahankan harga jual dimana harga jual saat ini lebih murah dibandingkan dengan produk sejenis, harga jual tersebut disesuaikan dengan kondisi ekonomi masyarakat [20]
2.	<i>Pertumbuhan industri yang lambat diferensiasi</i>	Pada industri roti sejenis UD. Arsita terdapat beberapa pesaing untuk jenis produksi yang sama.	Pertumbuhan industri. Pertumbuhan industri yang lambat, akan mengubah persaingan menjadi ajang perebutan pangsa pasar untuk perusahaan-perusahaan yang ingin melakukan ekspansi.	Mempertahankan strategi yang sudah ada yaitu UD. Arsita membuka cabang pabrik roti sejenis tetapi dengan nama merek yang berbeda yaitu merek Alvin dan Sangrillah

Tabel 2. Rumusan strategi ancaman pendatang baru

No	Hasil Ouput dan Interpretasi		Relasi hasil nvivo dengan indicator ancaman pendatang baru	
	Pernyataan output nvivo	Interpretasi	Definisi	Strategi
1.	<i>Indikator loyalitas pelanggan</i>	Pelanggan tidak mempunyai loyalitas terhadap produk di karenakan adanya persaingan roti sejenis dengan harga yang sama	Loyalitas pelanggan. Pelanggan yang memiliki loyalitas terhadap produk akan terus menggunakan produk dari industri. Sehingga apabila pelanggan loyal untuk menggunakan produk dari tertentu maka akan menciptakan penghalang untuk masuknya pendatang baru.	Strategi yang dilakukan untuk meningkatkan loyalitas pelanggan yaitu: 1. Meningkatkan kepuasan pelanggan dengan meminta umpan balik pelanggan terhadap produk dan merespon umpan balik pelanggan tersebut; 2. Memberikan imbalan bagi karyawan yang berhasil memperoleh dan merespon umpan balik karyawan; 3. Pengemasan roti semenarik mungkin; 4. Memberikan pelayanan cepat dan memprioritaskan kenyamanan pelanggan; 5. Terus mencari cara di mana perusahaan bisa melayani pelanggan dengan lebih cepat lebih baik mudah dan lebih menyenangkan dari yang mereka inginkan; 6. Memprioritaskan kenyamanan Pelanggan [21].
2.	<i>Pemerintah mendukung masuknya pesaing</i>	Kebijakan Pemerintah, dimana pemerintah mendukung masuknya pendatang baru	Kebijakan pemerintah. Kebijakan-kebijakan pemerintah dalam penyelenggaraan jaringan bisa merupakan salah satu ancaman dengan adanya kemudahan peraturan-peraturan seperti persyaratan perizinan.	Strategi yang dilakukan untuk menentukan kebijakan pemerintah terhadap ancaman pendatang yaitu: 1. Membuat kebijakan industri yang berupa proteksi dan pilihan sektor prioritas dapat di dorong dengan pemberlakuan kebijakan persaingan. 2. Menentukan kebijakan persaingan yang dirancang dengan tepat akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi alokasi sumber daya yang efisien 3. Membuat sektor kunci dalam suatu perekonomian. Termasuk didalamnya industri pengolahan makanan [22].

Tabel 3. Rumusan strategi kekuatan penawaran pemasok

No	Hasil Ouput dan Interpretasi		Relasi hasil nvivo dengan indicator ancaman pendatang baru	
	Pernyataan output nvivo	Interpretasi	Definisi	Strategi
1.	<i>Pemasok didominasi oleh beberapa perusahaan, variabel indikator dominasi pemasok</i>	Penawaran untuk pemasok bahan baku pada UD. Arsita sudah ada langganan tetap, tetapi apabila ada pemasok lain yang menawarkan dengan harga murah maka UD. Arsita akan membeli bahan baku tersebut yang ditawarkan dengan harga murah.	Dominasi Pemasok Pemasok didominasi oleh beberapa perusahaan dan lebih terpusat pada industri dimana mereka menjual. Pemasok yang menjual pada pembeli yang terfragmentasi biasanya akan dapat mempengaruhi harga, kualitas, serta syarat-syarat penjualan.	Tetap mempertahankan pemasok yang ada dengan tetap mempertimbangkan harga terendah dari pemasok lainnya [23].
2.	<i>Produk pengganti tidak terdapat, Terdapat produk pemasok pengganti pasar</i>	Untuk produk pengganti bahan baku tidak ada, karena UD. Arsita sudah memiliki langganan tetap untuk bahan baku dan bahkan bahan baku belum habis pun bahan baku siap di antar dari pemasok langganan ke UD. Arsita	Produk pengganti. Tidak terdapat produk pengganti lain yang dijual pada suatu industri.	Tetap mempertahankan pemasok yang ada dengan tetap mempertimbangkan harga terendah dari pemasok lainnya [23].
3.	<i>Produk pemasok sangat penting</i>	Untuk produk pemasok bahan baku sangat penting dari ketersediaannya bahan baku yang selalu ada ketika UD. Arsita membutuhkan bahanbaku untuk kegiatan produksi roti.	Produk pemasok. Produk pemasok sangat penting demi keberhasilan proses pembuatan atau kualitas dari produk yang dihasilkan pembeli.	Menjaga hubungan yang baik dengan pemasok yang sudah ada dan memiliki kualitas bahan baku yang baik [23].

Tabel 4. Rumusan strategi ancaman produk atau jasa pengganti

No	Hasil Ouput dan Interpretasi		Relasi hasil nvivo dengan indicator ancaman pendatang baru	
	Pernyataan output nvivo	Interpretasi	Definisi	Strategi
1.	<i>Layanan produk pengganti layanan, produk pengganti mudah didapatkan</i>	Produk pengganti mudah didapatkan dipasaran karena produk roti sejenis dengan kompetitor yang berbeda bias didapatkan pada kios-kios yang sama.	Produk Pengganti Produk pengganti mudah didapatkan, apabila produk pengganti dipasaran maka akan meningkatkan ancaman untuk masuknya produk atau jasa pengganti	Menambah diferensiasi produk sehingga variasi produk lebih banyak agar memberikan banyak pilihan kepada pelanggan [23]
2.	<i>Layanan tambahan produk yang lengkap</i>	Layana produk pengganti. Untuk produk roti sejenis sama saja dengan layanan yang ada pada UD. Arsita tetapi ada juga kompetitor lainnya yang dapat menawarkan pelayanan yang lebih baik tetapi dengan biaya yang berbeda	Layanan Produk Pengganti. Semakin lengkap layanan yang dimiliki produk atau jasa pengganti menjadi ancaman yang berpotensi menjadi perpindahan pelanggan.	Memberikan layanan produk pengganti yang sama dengan produk roti sejenis milik kompetitor [24]
3.	<i>Standar / Tidak terdeferensiasi switching cost</i>	Peralihan biaya untuk produk pengganti tidak ada, karena harga yang ditawarkan dengan produk roti sejenis sama saja	Switching Cost, Peralihan produk roti ke produk substitusi membutuhkan biaya peralihan.	Meriview kemungkinan alokasi biaya peralihan oleh UD Arsita untuk memproduksi produk pengganti [24]

Tabel 5. Rumusan strategi kekuatan penawaran pembeli

No	Hasil Output dan Interpretasi		Relasi hasil nvivo dengan indicator ancaman pendatang baru	
	Pernyataan output nvivo	Interpretasi	Definisi	Strategi
1.	<i>Kelompok pembeli terpusat kapasitas</i>	Pembeli terpusat jarang terjadi atau pembeli dalam jumlah besar jarang dilakukan karena produk langsung di pasaran oleh salles ke kios-kios saja.	<i>Kelompok pembeli terpusat.</i> Jika sebagian besar hasil penjualan merupakan pembelian dari suatu pembeli tertentu. Hal ini akan mempertinggi posisi pembeli tersebut dalam industri.	Tetap mempertahankan strategi menjual melalui sales namun mempertimbangkan peluang membuka cabang-cabang seperti kompetitor lainnya dengan menambah modal pinjaman Bank untuk strategi tersebut baik [23]
2.	<i>Kapasitas pembeli pembelian produk</i>	Kapasitas pembelian dapat dilihat dari jumlah pemasaran roti yaitu sekitar 1.500 – 2.000 roti/hari.	<i>Kapasitas pembelian.</i> Produk yang dibeli merupakan bagian dari suatu biaya atau pembelian dengan jumlah yang cukup besar. Sehingga pembeli cenderung mencari harga yang lebih menguntungkan sehingga akan menggunakan dananya untuk melakukan pembelian secara selektif.	Meningkatkan kapasitas produksi melebihi kapasitas pembelian menjadi 2500 roti per/hari dengan menambah mesin pengolahan roti [25]
3.	<i>Deferensiasi produk produk yang di beli</i>	Produk yang di tawarkan adalah produk standar atau tidak terdeferensiasi sehingga pembeli akan penjual alternatif yang memberikan penawaran lebih baik.	<i>Diferensiasi Produk.</i> Produk yang dibeli adalah produk standar atau tidak terdeferensiasi. Sehingga pembeli yakin akan menemukan penjual alternatif yang memberikan penawaran lebih baik.	Menambah diferensiasi produk sehingga variasi produk lebih banyak agar memberikan banyak pilihan kepada pelanggan [23]
4.	<i>Rendah informasi tentang produk</i>	Pembeli tidak mempunyai informasi yg lengkap tentang produk, hanya mengetahui sedikit informasi tentang produk mengenai bahan-bahan pembuatan	<i>Informasi yang lengkap tentang produk.</i> Pembeli mempunyai informasi lengkap mengenai suatu produk. Seperti informasi tentang permintaan, harga pasar yang aktual,	Mempromosikan informasi produk pada toko <i>online</i> maupun membuat website khusus U.D Arsita [26]

Analisis *text query* juga menghasilkan informasi tentang “dominasi” setiap variabel penelitian (kekuatan/*force* pada C5F). Dominasi ini menunjukkan seberapa besar perhatian narasumber dengan isu masing variabel tersebut, yang teridentifikasi dari hasil wawancara, dan dinyatakan dengan nilai persentase (%) *coverage*. Ancaman pendatang baru, ancaman produk pengganti, dan kekuatan penawaran pemasok merupakan 3 kekuatan penting yang diantisipasi UD. Arsita dalam membangun daya saingnya (Tabel 6).

Untuk mengetahui relevansi strategi daya saing yang dihasilkan dengan hasil wawancara dengan variabel C5F, diukur tingkat korelasi antar kedua komponen tersebut menggunakan korelasi pearson (Tabel 6). Hasilnya menunjukkan 90,2% hasil wawancara telah mewakili respon responden dan telah terbagi ke dalam lima indikator daya saing *Porter* dan sub indikator pendukungnya sementara 9,8% merupakan faktor lain di luar indikator daya saing *Porter* yang tidak teranalisis dan disajikan sebagai hasil penelitian ini.

3.2. Pembahasan

Berdasarkan presentasi *coverage* yang ada (Tabel 6.), maka strategi yang dijabarkan pada setiap indikator dan sub indikator 5 kekuatan daya saing *Porter* (C5F) dapat dirumuskan pada tabel 6, dimana terdapat 9 strategi ancaman pendatang baru memiliki nilai *coverage* wawancara sebesar 23,7 % namun nilai korelasinya 0.01. Ini menunjukkan bahwa narasumber memberikan petunjuk-petunjuk penting berupa kata kunci untuk peningkatan loyalitas pelanggan dan arahan kebijakan pemerintah. Nilai korelasi 0.01 memberikan indikasi bahwa adanya hubungan yang lemah antara apa yang diharapkan konsumen pada hasil wawancara dengan distribusi kata-kata kunci hasil analisis yang cukup sedikit sehingga tidak banyak informasi yang bisa diambil. Hal serupa juga terjadi pada strategi persaingan di antara pesaing yang ada yang memiliki nilai *coverage* wawancara 12% dan korelasi 0%.

Hal yang lain terjadi pada strategi ancaman produk atau jasa pengganti yang memiliki nilai *coverage* wawancara sebesar 20, 5% dan korelasi 0, 36. Hasil ini menunjukkan bahwa, begitu banyak kata-kata kunci yang konsisten dan tergabung dalam satu cluster yang mengisyaratkan pentingnya indikator ini untuk menjadi perhatian perusahaan. Korelasi yang kuat menunjukkan adanya antara kata-kata kunci dalam satu *cluster* yang menjadi bahan kajian perumusan strategi. Kondisi yang sama terjadi pula pada strategi kekuatan penawaran pemasok dan kekuatan penawaran pembeli yang memiliki nilai *coverage* hasil wawancara sebesar berturut-turut 20% dan 14 % serta nilai korelasi 0,18 dan 0,24. Nilai korelasi *Pearson* dalam Nvivo ini berkisar antar -1 dan 1 sehingga jika nilainya mendekati 1 maka mengindikasikan adanya kemiripan kata-kata kunci yang paling banyak muncul pada hasil wawancara antara satu responden dengan responden lainnya yang dikelompokkan dalam *cluster* hasil pengolahan data pada Gambar 4, 5, 6, 7 dan 8.

Setiap kelompok kata kunci yang diperoleh pada hasil pengolahan data terumuskan dalam perumusan strategi pada Tabel. 6 dalam penelitian ini. Untuk itu, diperoleh 20 strategi yang terbagi ke dalam 5 indikator kekuatan daya saing *Porter* (C5F).

Tabel 6. Presentasi *coverage*

Strategi Organisasi C5F	Strategi	Nilai Coverage wawancara	Korelasi
Ancaman Pendatang Baru	<p>Loyalitas pelanggan</p> <ol style="list-style-type: none"> Meningkatkan kepuasan pelanggan dengan meminta umpan balik pelanggan terhadap produk dan merespon umpan balik pelanggan tersebut; Memberikan imbalan bagi karyawan yang berhasil memperoleh dan merespon umpan balik karyawan; Pengemasan roti semenarik mungkin; Memberikan pelayanan cepat dan memprioritaskan kenyamanan pelanggan; Terus mencari cara di mana perusahaan bisa melayani pelanggan dengan lebih cepat lebih baik mudah dan lebih menyenangkan dari yang mereka inginkan; Memprioritaskan kenyamanan Pelanggan. <p>Kebijakan Pemerintah</p> <ol style="list-style-type: none"> Membuat kebijakan industri yang berupa proteksi dan pilihan sektor prioritas dapat di dorong dengan pemberlakuan kebijakan persaingan. Menentukan kebijakan persaingan yang dirancang dengan tepat akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi alokasi sumber daya yang efisien. Membuat sektor kunci dalam suatu perekonomian. Termasuk didalamnya industri pengolahan makanan. 	23,7%	0,01
Ancaman Produk atau Jasa Pengganti	<p>Produk Pengganti</p> <p>Menambah diferensiasi produk sehingga variasi produk lebih banyak agar memberikan banyak pilihan kepada pelanggan.</p> <p>Layanan produk pengganti</p> <p>Memberikan layanan produk pengganti yang sama dengan produk roti sejenis milik competitor.</p> <p>Switching cost</p> <p>Mereview kemungkinan alokasi biaya peralihan oleh UD Arsita untuk memproduksi produk pengganti.</p>	20,5	0,36
Kekuatan Penawaran Pemasok	<p>Dominasi Pemasok dan Produk Pengganti</p> <p>Tetap mempertahankan pemasok yang ada dengan tetap mempertimbangkan harga terendah dari pemasok lainnya.</p> <p>Produk Pemasok</p> <p>Menjaga hubungan yang baik dengan pemasok yang sudah ada dan memiliki kualitas bahan baku yang baik.</p>	20%	0,18
Kelompok Penawaran Pembeli	<p>Kelompok Pembeli Terpusat</p> <p>Tetap mempertahankan strategi menjual melalui sales namun mempertimbangkan peluang membuka cabang-cabang seperti kompetitor lainnya dengan menambah modal pinjaman Bank untuk strategi tersebut baik.</p> <p>Kapasitas pembelian</p> <p>Meningkatkan kapasitas produksi melebihi kapasitas pembelian menjadi 2500 roti per/hari dengan menambah mesin pengolahan roti.</p> <p>Diferensiasi Produk</p> <p>Menambah diferensiasi produk sehingga variasi produk lebih banyak agar memberikan banyak pilihan kepada pelanggan.</p> <p>Informasi yang lengkap tentang produk</p> <p>Mempromosikan informasi produk pada pada toko <i>online</i> maupun membuat website khusus U.D Arsita.</p>	14%	0,24
Persaingan Industri	<p>Jumlah Pesaing</p> <p>Mempertahankan harga jual dimana harga jual saat ini lebih murah dibandingkan dengan produk sejenis, harga jual tersebut disesuaikan dengan kondisi ekonomi masyarakat.</p> <p>Pertumbuhan industri</p> <p>Mempertahankan strategi yang sudah ada yaitu UD. Arsita membuka cabang pabrik roti sejenis tetapi dengan nama merek yang berbeda yaitu merk Alvin sama Sangrillah.</p>	12%	0
Total		90,2%	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa strategi baru untuk meningkatkan daya saing UD. Arsita terdiri atas 20 strategi mencakup 9 strategi ancaman pendatang baru, 3 strategi ancaman produk atau jasa pengganti, 2 strategi kekuatan penawaran pemasok, 4 strategi kekuatan penawaran pembeli, dan 2 strategi persaingan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. Tien, P. P. Phu dan D. T. P. Chi, “The role of international marketing in international business strategy,” *International Journal of Research in Marketing Management and Sales*, 1(2), 134-138, 2019.
- [2] M. Silva dan B. Nunes, “Institutional logic for sustainable purchasing and supply management: Concepts, illustrations, and implications for business strategy,” *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 1138-1151, 2022.
- [3] R. Ambarwati, A. G. Fathurochman dan A. Rizal, “Competitive Force Model for Indopipe Industry with Analysis of Customer Requirements,” *Journal of Physics: Conference Series I*, 1424 012046, 2019.
- [4] F. Rangkuti, *Analisis SWOT: Teknik Membedah kasus Bisnis*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2005.
- [5] M. A. Hitt, R. D. Ireland, dan R. E. Hoskisson, *Strategic Management: Competitiveness and Globalization*, 7th Edition, Thomson South-Western, Ohio, 2007.
- [6] G. A. Steiner, *Strategic Planning: What Every Manager Must Know*, Free Press, 1979.
- [7] P. Cichocki dan C. Irwin, *Organizational Design: a Guide to Building Effectiveness Organizations*, Kogan Page Limited, London, 2011.
- [8] A. Kates dan J. R. Galbraith, *Designing Your Organization: Using the Star Model to Solve 5 Critical Design Challenges*, Jossey-Bass, California, 2007.
- [9] M. E. Porter, *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press, New York, 1998.
- [10] J. R. Jones, *Organizational Theory, Design, and Change*, Fifth Edition, Pearson Education Inc., New Jersey, 2007
- [11] G. Johnson, R. Whittington, K. Scholes, D. Angwin dan P. Regner, *Exploring Strategy: Text and Cases*, Eleventh Edition, Pearson Education Limited, Harlow, 2017.
- [12] X. Islami, N. Mustafa dan M. T. Latkovikj, “Linking Porter’s generic strategies to firm

- performance,” *Future Business Journal*, 6 (1): 3, 1-15, 2020
- [13] F. Dälken, “Are Porter’s Five Competitive Forces Still Applicable? A Critical Examination Concerning the Relevance for Today’s Business“, in *Proc. 3rd IBA Bachelor Thesis Conference*, July 3rd 2014, pp. 1-9.
- [14] M. E. Porter, “The structure within industries and companies' performance,” *The Review of Economics and Statistics*, 61(2), 214-227, 1979.
- [15] M. E. Porter, “The five competitive forces that shape strategy,” *Harvard Business Review*, 25-40, 1996.
- [16] T. Kraiwanit, P. Limna dan S. Siripipatthanakul, “Nvivo for social science and management studies: a systematic review.” *Advance Knowledge for Executives*, 2(3), 22, 1-11, 2023.
- [17] S. Røddesnes, H. C. Faber dan M. R. Jensen, “Nvivo courses in the library: working to create the library services of tomorrow,” *Nordic Journal of Information Literacy in Higher Education*, 11(1), 27-38, 2019.
- [18] A. M. Hilal dan S. S. Alabri, “Using Nvivo for data analysis in qualitative research,” *International Interdisciplinary Journal of Education*, 2(2), 181-186, 2013.
- [19] X. Feng dan L. Behar-Horenstein, “Maximizing Nvivo Utilities to Analyze OpenEnded Responses,” *The Quality Report*, 24(3), 563-571, 2019.
- [20] R. T. Putri, D. Novirani dan D. Kurniawan, “Formulasi strategi menghadapi persaingan industri kuliner pada eins bistro & boutique di Bandung,” *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2(3), 127-137, 2015.
- [21] F. Harnoto, “Strategi kepuasan pelanggan dalam mempertahankan dan meningkatkan loyalitas pelanggan,” *Jurnal Ekonomi Manajemen dan Akuntansi*, 21(36), 1-15, 2014.
- [22] A. S. N. Dasril dan S. Y. Kusumastuti, “Intensitas persaingan industri pengolahan makanan di Indonesia,” *MIMBAR Jurnal Sosial dan Pembangunan*, 30(20), 127-136, 2014.
- [23] P. J. Foris, “Analisis strategi pada perusahaan plastik dengan *Porter five force*,” *Agora*, 3(1), 736-741, 2015.
- [24] D. Lestari, *Analisis Kompetensi Keunggulan Kompetitif Telkom Fleksi Pasca Migrasi Frekuensi*, Diss. Thesis Magister Teknik Elektro, Universitas Indonesia, 2007.
- [25] L. Laitanussifa dan A. Muhib, “Strategi pengembangan usaha cake buah naga sebagai ikon oleh-oleh asli Batam (studi kasus: CV Aroma Cake Buah Naga, Batam),” *Agribusiness Journal*, 12(1), 32-41, 2019.
- [26] R. Muftuhah dan H. Rafsanjani, “Pelatihan strategi pemasaran melalui media *online* pada produk usaha rumahan krupuk bawang dan kripik sukun di desa Cendoro kec. Palang kab. Tuban,” *Jurnal Ekonomi dan Perbankan Syariah*, 3(2), 227-235, 2019.

ESTIMASI UMUR DAN PREDIKSI PERILAKU KELELAHAN POROS BALING-BALING KAPAL LCT ANDROS

Nuraini¹ dan Novitha L. Th. Thenu²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: nuraini@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : novitha.thenu@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Poros baling-baling kapal LCT Andros telah direkondisi setelah mengalami keausan. Teknik untuk merekondisi poros melalui tahapan pengelasan dan pembubutan pada area yang mengalami keausan. Teknik pengelasan MMA (Manual Metal Arc) dapat menimbulkan konsentrasi energi spasial yang menghasilkan input panas yang cukup besar dapat menyebabkan distorsi, pengenceran yang signifikan pada zona yang terkena panas dan secara umum terjadi degradasi bahan dasar. Dengan mempertimbangkan resiko dari teknik pengelasan, maka pihak kapal harus memikirkan resiko kegagalan kelelahan pada poros baling-baling yang sudah direkondisi. Dengan demikian kondisi poros harus dapat diprediksi setelah direkondisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi umur dan prediksi perilaku kelelahan poros baling-baling kapal LCT Andros dimana estimasi umur poros diperoleh dari perhitungan teoritis dan prediksi kelelahan melalui simulasi numerik. Berdasarkan perhitungan teoritis umur poros setelah direkondisi yaitu 6,34 tahun dalam $1,29 \times 10^9$ siklus sedangkan perkiraan umur dari hasil simulasi numerik pada software SolidWorks diketahui dengan jumlah siklus sebesar 5.18×10^8 siklus atau 5 Tahun.

Kata kunci: Rekondisi Poros, Estimasi Umur Poros, Prediksi Perilaku Kelelahan

Abstract. The propeller shaft of the LCT Andros ship has been reconditioned after experiencing wear and tear. Techniques for reconditioning the shaft through the stages of welding and turning in areas that experience wear. MMA (Manual Metal Arc) welding techniques can generate spatial energy concentrations which produce a large enough heat input that can cause distortion, significant dilution of the heat-affected zone and in general degradation of the base material. By considering the risk of welding techniques, the ship must consider the risk of fatigue failure on the propeller shaft that has been reconditioned. Thus the condition of the shaft must be predictable after being reconditioned. This study aims to estimate the age and predict the fatigue behavior of the LCT Andros propeller shaft where the estimated shaft life is obtained from theoretical calculations and fatigue predictions through numerical simulations. Based on the theoretical calculation of the shaft life after being reconditioned, namely 6.34 years in 1.29×10^9 cycles, while the estimated age from the results of numerical simulations in the SolidWorks software is known to be the number of cycles of 5.18×10^8 cycles or 5 years.

Keywords: Shaft Reconditioning, Shaft Life Estimation, Fatigue Behavior Prediction

1. PENDAHULUAN

Rekondisi komponen permesinan didefinisikan sebagai langkah-langkah yang dilakukan pada komponen mesin untuk mengembalikannya menjadi komponen yang dimungkinkan dan sesuai dengan kebutuhan. Kejadian umum yang sering terjadi pada komponen mesin di kapal adalah

keausan pada permukaan komponen yang disebabkan oleh berbagai mekanisme. Pihak kapal seringkali memilih untuk memperbaiki komponen - komponen yang dapat diperbaiki atau merekondisi komponen untuk memungkinkan penggunaan kembali komponen tersebut. Pilihan ini diambil agar dapat mengurangi biaya operasional kapal atau

solusi sementara sambil menunggu pengiriman suku cadang. Masalah yang dijumpai di kapal LCT Andros adalah keausan pada poros propeler dan telah melalui proses rekondisi. Posisi keausan terdapat pada area bantalan. Pihak kapal melakukan rekondisi poros setelah proses pengukuran diameter poros dan dilanjutkan dengan pengelasan dan pembubutan (Gambar 1) pada area yang mengalami keausan.



Gambar 1 Proses Pengelasan dan Pembubutan Poros Baling - Baling

Teknik pengelasan yang digunakan adalah MMA (*Manual Metal Arc*). Penggunaan teknik pengelasan MMA menimbulkan konsentrasi energi spasial yang timbul yang menghasilkan input panas yang cukup besar ke komponen. Hal ini dapat menyebabkan distorsi, pengenceran yang signifikan, pada zona yang terkena panas dan secara umum terjadi degradasi bahan dasar. Dengan mempertimbangkan akibat yang dapat ditimbulkan dari teknik pengelasan tersebut, maka pihak kapal harus memikirkan resiko yang akan terjadi pada poros yang telah direkondisi. Hal penting yang perlu dipikirkan adalah umur poros baling-baling yang akan dipakai setelah direkondisi. Kegagalan poros baling-baling dapat terjadi karena poros mengalami defleksi melintang dan lendutan, torsi [1], kegagalan permukaan seperti aus [2] yang merupakan mode kegagalan umum dari poros serta kelelahan kegagalan (*fatigue failure*) karena beban berulang atau kelebihan beban, konsentrasi tegangan [3], *clearance* yang tidak memadai dan pengaturan bantalan yang tidak tepat sehingga beban yang diterima oleh bantalan dan poros tidak merata. Reparasi poros baling-baling merupakan salah satu solusi untuk mempertahankan penggunaan poros sebagai penerus daya, Reparasi yang dilakukan untuk memperbaiki kondisi poros yang aus, retak dan korosi. Kondisi poros yang cacat sebenarnya dapat dideteksi lebih awal, hal ini didukung oleh beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengujian non destruktif untuk keretakan yang terjadi pada poros baling-baling [4], korosi [5]. Kegagalan karena kelelahan poros dapat terjadi karena sejumlah siklus pembebanan [6], kemudian kegagalan poros dapat dianalisis untuk mengetahui

penyebab kegagalan dengan mengikuti prosedur standar [7]. Pada intinya, kegagalan komponen sistem propulsi kapal dapat menyebabkan konsekuensi buruk bagi kapal, muatan dan orang-orang yang berada di atas kapal. Khusus kegagalan struktur kapal dan sistem propulsi dapat dicatat bahwa kegagalan dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (suhu, lingkungan yang korosif), desain atau pengerjaan yang buruk (khususnya yang berkaitan dengan pengelasan), tidak memadai desain atau perakitan (garis poros) atau kelelahan sering kali disertai dengan getaran torsional yang berfluktuasi [9]. Inilah sebabnya kita perlu mempelajari kegagalan komponen sistem propulsi untuk mencegah resiko buruk. terhadap Dengan demikian, umur kelelahan poros baling-baling yang telah direkondisi perlu diketahui agar kita dapat memprediksi perilaku kegagalan yang akan terjadi pada poros.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Sistem Perporosan

Sistem perporosan merupakan suatu perangkat sistem transmisi tenaga yang berfungsi mentransmisikan daya dari motor induk ke baling-baling sehingga menghasilkan daya dorong yang membuat kapal dapat bergerak. Sistem ini merupakan bagian dari sistem propulsi kapal sehingga memiliki peranan penting di dalam operasional. Oleh sebab itu, kemampuan sistem ini untuk beroperasi secara normal haruslah dipertahankan. Daya yang dihasilkan oleh mesin induk diteruskan dalam bentuk putaran melalui serangkaian poros ke baling-baling. Rangkaian poros itu disebut shafting atau sistem perporosan.

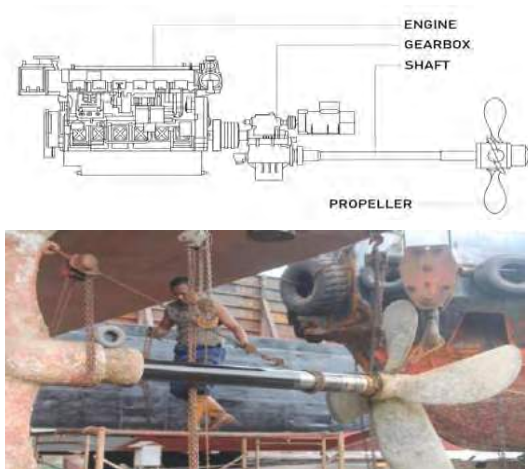


Gambar 2 Kapal LCT Andros

Kapal LCT Andros (Gambar 2) merupakan kapal jenis Landing Craft Tank (LCT) berbendera Indonesia 1240 GT, yang melayani operasional jasa untuk wilayah timur Indonesia, khususnya di wilayah Sulawesi dan sekitarnya. Jasa yang dilayani seperti pengangkutan kayu, semen, pasir dan beberapa macam jasa pengangkutan lainnya.

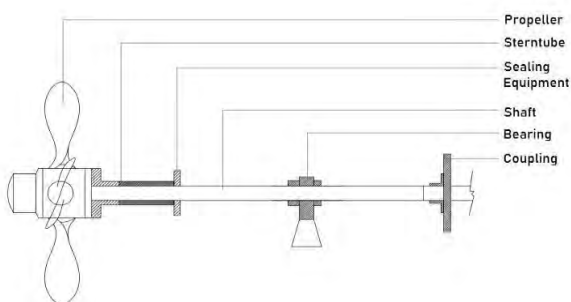
Sistem perporosan Kapal LCT Andros hanya memiliki poros baling – baling dan tidak terdapat

poros antara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem Poros LCT Andros

Pada poros baling-baling kapal LCT Andros terpasang baling-baling, stern tube, seal, bantalan dan kopling flens seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Elemen - elemen yang Terpasang pada Poros Baling - baling Kapal LCT Andros

2.2. Material Poros

Bahan poros baling - baling berdasarkan data yang diperoleh adalah menggunakan material baja karbon ST41. Tabel 1 menunjukkan komposisi material baja karbon ST41 dan sifat mekanik bahan poros ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 1 Unsur-unsur Baja Karbon ST41

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI	0,4-	0,1 –	0,6 –	0,025	0,04	0,05
1045	0,45	0,3	0,9		Max	Max

Tabel 2 Sifat mekanis Baja Karbon ST41

Kekerasan HRc	Tegangan Tarik MPa	Tegangan Luluh, MPa	Elongation	Modulus Elastisitas, GPa
64	600	500	26	207

2.3. Perhitungan Teoritis

Pada perhitungan ini, diasumsikan bahwa poros umumnya bekerja pada kondisi mengalami beban defleksi dan torsi. Metode perhitungan untuk kondisi poros yang mengalami beban defleksi dan torsi dapat berupa pendekatan perkiraan, namun masih merupakan estimasi yang cukup untuk memeriksa keseluruhan situasi poros. Torsi poros (T), dihitung berdasarkan persamaan (1).

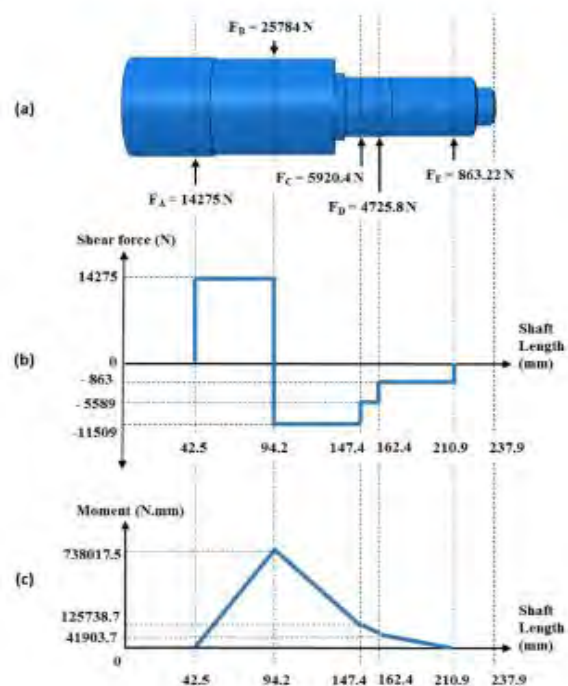
$$T = \frac{60 \times P}{\pi \times 2 \times n} \tag{1}$$

Dimana:

n = putaran mesin = 1200 Rpm

P = Daya mesin = 350000 Hp

Pada langkah analisis gaya, lima titik pada poros dipertimbangkan. Titik-titik ini adalah posisi bantalan (A), posisi rantai (B), posisi bantalan pertama (C), posisi bantalan kedua (D), dan posisi kunci (E). Gaya reaksi (F) dan momen (M) pada setiap titik dihitung menurut persamaan (2) dan (3). Hasil yang dihitung ditampilkan seperti contoh pada Gambar 5.



Gambar 5 (a) Diagram benda bebas, (b) Diagram gaya geser, (c) Diagram momen lentur [8]

Gaya reaksi (F) dan momen (M) pada setiap titik dihitung menurut persamaan (2) dan (3).

$$\sum F = 0 \tag{2}$$

$$\sum M = 0 \tag{3}$$

Tegangan Von Mises pada kondisi beban lentur dan torsi gabungan dihitung menurut persamaan (4),

sedangkan pada kondisi beban torsi murni dihitung menurut persamaan (5) :

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{32 K_{fb} M_b}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{16 T_m}{\pi d^3}\right)^2} \quad (4)$$

$$\sigma_d = \sqrt{3(\tau_{max})^2} \quad (5)$$

Dimana :

σ_d , = adalah tegangan von mises,

M_d , = momen lentur

K_{fb} = faktor konsentrasi tegangan kelelahan

d = diameter poros

T_m = momen torsi

τ_{max} = tegangan geser maksimum

K_{fb} dapat diperoleh menurut persamaan (6) :

$$K_{fb} = 1 + q(K_t - 1) \quad (6)$$

Dimana K_t adalah faktor konsentrasi tegangan geometris dan q adalah faktor sensitivitas takik yang diperoleh menurut :

$$q = 1 \div (1 + \sqrt{a} / \sqrt{r}) \quad (7)$$

Defleksi linear dan kemiringan dihitung menurut persamaan (8) - (10) dengan menggunakan teknik integrasi numerik. Di mana M adalah momen yang diterapkan pada poros, E adalah modulus elastisitas, dan I adalah momen inersia area penampang. M dan I adalah fungsi dari geometri poros.

$$\text{Momen Function} = \frac{M}{EI} \quad (8)$$

$$\text{Slop} (\theta) = \int \frac{M}{EI} dx + C \quad (9)$$

Deflection

$$\delta = \iint \frac{M}{EI} dx + D + G \quad (10)$$

Sudut defleksi dihitung berdasarkan persamaan (11), di mana L adalah panjang poros, G adalah modulus geser, J adalah momen inersia kutub, dan T adalah torsi

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (11)$$

2.4. Kriteria Kegagalan Kelelahan/Fatik (Fatigue Failure Criteria)

Untuk memperkirakan kriteria kegagalan fatik dari material poros, batas ketahanan teoritis kelelahan (the theoretical fatigue endurance limit), S'_e dihitung berdasarkan persamaan (12).

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \quad (12)$$

Dimana :

S_{ut} = kekuatan tarik material ST41 = 530 Mpa,

Untuk menentukan batas ketahanan kelelahan yang dikoreksi S_e , faktor koreksi hingga batas daya tahan teoritis harus dipertimbangkan.

$$S_e = C_{load} \times C_{size} \times C_{surf} \times C_{temp} \times C_{reliability} \times S'_e \quad (13)$$

Dimana :

C_{load} (faktor koreksi beban) = 1 (untuk Bending)

C_{size} (faktor koreksi ukuran) = $1.189 d^{-0,097}$
untuk $8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm}$

$C_{size} = 4.51 \times S_{ut}^{0,625}$

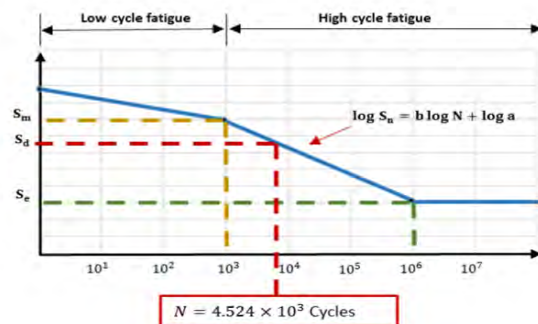
C_{temp} (faktor koreksi temperatur) = 1 x untuk $T \leq 450 \text{ C}^0$

$C_{reliability}$ (faktor koreksi keandalan) = 0,897

Untuk memperkirakan umur kelelahan (N) poros dan perilaku kelelahan, maka digunakan diagram tegangan-siklus (S-N). Dua nilai kekuatan harus ditentukan dalam menggambar diagram S-N. Pertama, kekuatan material (S_m) di $N \leq 10^3$, dan kedua, kekuatan material (S_e) di $N \geq 10^6$. Nilai Kekuatan material di $N \leq 10^3$ dihitung sesuai dengan persamaan (14), dan nilai kekuatan material di $N \geq 10^6$ adalah batas kelelahan terkoreksi yang dihitung sebelumnya.

$$S_m = 0,9 S_{ut} \text{ untuk bending} \quad (14)$$

Perkiraan diagram S-N ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai contoh perhitungan. Dengan menggunakan faktor desain industri yang khas, poros bekerja pada kondisi tegangan maksimum dalam satuan MPa dan untuk tegangan ini, umur kelelahan poros dapat ditentukan dalam satuan siklus. Dari Gambar 6 diperoleh tegangan maksimum sebesar 357 MPa dan umur kelelahan poros 4.524×10^3 siklus.



Gambar 6 Diagram siklus tegangan S-N [8]

Langkah-langkah membuat tegangan-siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Penyajian data

kelelahan poros dengan menggunakan kurva S-N yaitu dengan pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada poros.

Perkiraan umur material poros baling-baling kapal dapat ditentukan dengan persamaan (15) sebagai berikut :

$$\text{Fatigue Life} = \frac{\text{Design Life}}{D_m} \times \text{years} \quad (15)$$

Dimana :

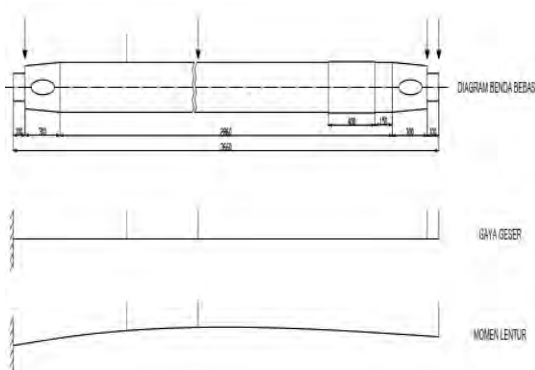
$$D_m = \frac{N_L}{N_i} \quad (16)$$

$$N_L = \frac{0,85 \times T_L}{4 \log L} \quad (17)$$

Dimana *Design life* merupakan umur standar dari poros baling-baling, yakni 25 tahun sesuai aturan klasifikasi. D_m merupakan *cumulative fatigue damage*. N_L merupakan total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun. N_i merupakan jumlah siklus sesuai analisis, L adalah panjang L_{PP} kapal sebesar 68.80 meter, dan T_L adalah nilai siklus beban material poros baling-baling selama *Design life* tersebut dalam bentuk siklus.

2.5 Poros Kapal Lct Andros

Diagram benda bebas poros kapal LCT Andros, ditunjukkan pada Gambar 7, dimana pada bagian A terdapat diagram bebas yang juga diberi arah pembebanan, kemudian selanjutnya pada bagian B ada gaya geser dan terakhir adalah bagian C yaitu momen lentur.



Gambar 7 Diagram benda bebas poros Lct Andros

2.6. Simulasi SolidWorks

Software SolidWorks digunakan untuk perancangan elemen mesin yang dapat melakukan pemodelan 2 Dimensi (2D) dan 3 Dimensi (3D) poros baling-baling.

Terdapat beberapa jenis analisis yang dapat dilakukan oleh *Solidworks Simulations Premium diantaranya: Static, Frequency, Topologi Study, Design Study, Thermal, Buckling, Fatigue, Nonlinier, Linier Dynamic, Submodeling, Drop Test, Pressure Vessel Design.*

2.6.1. Langkah Analisis Pada SolidWorks

Langkah analisis dengan SolidWorks dilakukan untuk mengetahui perilaku poros. Proses analisis dilakukan dengan memberi beban statik pada poros. Secara rinci, langkah-langkah analisis dapat dilakukan sebagai berikut:

1. *Pree-Processor*. Pada langkah ini dilakukan penentuan jenis analisis, pemberian kondisi batas (*boundary condition*) suatu bagian (*part*), pemberian beban (*load*), penentuan tumpuan (*fixture*), penentuan spesifikasi material, meshing dan pemberian koneksi.
 - a. Jenis analisis yang digunakan pada perangkat lunak solidworks 2019 adalah *static analysis*.
 - b. Jenis tumpuan yang digunakan adalah *fixed geometry*,
 - c. Jenis beban yang diberikan adalah *forced* dengan satuan Newton. Beban normal sebesar 2786,62 N/m dimasukkan ke dalam menu *forced*.
2. *Meshing*. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan menu *Curvature-based mesh* agar nodal lebih detail pada bagian poros. *Mesh density* yang diterapkan adalah pada kondisi *fine* agar ukuran elemennya kecil sehingga mempengaruhi perhitungan yang didapatkan semakin detil. Jenis elemen yang dilakukan adalah *solid element*.
3. *Running*. Tahap ini dilakukan setelah *pree-processor*, dimana komputer akan membaca langkah-langkah yang sudah dilakukan dan menghitungnya dengan metode *Finite Element (finite element method)* secara numerik hingga mencapai hasil yang konvergen.
4. *Post-Processing*. Tahap ini dapat ditampilkan ketika proses *running* selesai dan hasil yang ditampilkan valid. *Post-processing* dapat ditampilkan sesuai jenis analisis yang digunakan. Pada analisis statik, hasil yang ditampilkan berupa tegangan (*von misses stress*), deformasi (*displacement*), faktor keamanan (*factor of safety*), gaya dan momen reaksi (*force and moment reaction*) dan umur (*life*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perhitungan Analitik

Perhitungan Torsi Poros menggunakan persamaan (1).

$$Torsi\ Poros,\ T = \frac{60\ P}{\pi \cdot 2 \cdot n}$$

Dimana:

$$P = \text{daya mesin} = 350000\ \text{Hp}$$

$$n = \text{putaran mesin} = 1200\ \text{Rpm}$$

Sehingga :

$$Torsi\ Poros,\ T = \frac{60 \times 350000}{3,14 \times 2 \times 1200} = 2786,62\ \text{Nm}$$

Perhitungan Gaya Poros menggunakan persamaan:

$$F_B = \frac{2T}{D} = \frac{2 \times 2786,62}{0,18} = 300962,5\ \text{N}$$

Dimana:

$$T = \text{torsi poros} = 2786,62\ \text{Nm}$$

$$D = \text{diameter poros} = 0,18\ \text{m}$$

Perhitungan Tegangan Von Mises menggunakan persamaan (4):

Tegangan Von Mises,

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{32\ K_{fb}\ M_b}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16\ T_m}{\pi d^3}\right)^2}$$

Dimana:

$$M_b, \text{ momen lentur} = 0,001$$

$$K_{fb}, \text{ faktor konsentrasi tegangan kelelahan} = 1,653$$

$$T_m, \text{ momen torsi} = 3888212$$

$$D, \text{ diameter poros} = 0,18$$

Tegangan Von Mises:

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{32 \times 1,653 \times 0,001}{3,14 \times 0,18^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \times 3888212}{3,14 \times 0,18^3}\right)^2}$$

$$= 3397213245$$

Perhitungan Faktor Konsentrasi Tegangan Kelelahan menggunakan persamaan (6) :

Faktor Konsentrasi Tegangan Kelelahan,

$$K_{fb} = 1 + q(K_t - 1)$$

Dimana:

$$q, \text{ faktor sensitivitas takik} = 0,653$$

$$K_t, \text{ faktor konsentrasi tegangan geometris} : 1,5 - 2$$

$$K_{fb} = 1 + 0,653(2 - 1) = 1,653$$

Perhitungan Faktor Sensitivitas Takik menggunakan persamaan (7):

$$q = 1 \div (1 + \sqrt{a} / \sqrt{r})$$

Dimana:

$$a, \text{ luas penampang} = 0,025434$$

$$r, \text{ radius} = 0,09$$

$$q = 1 \div \left(1 + \frac{\sqrt{0,025434}}{\sqrt{0,09}}\right) = 0,653$$

Perhitungan defleksi linear dan kemiringan menggunakan persamaan 8:

$$\text{Momen Function} = \frac{M}{EI} = \frac{2786,62}{187,5 \times 0,025434} = 0,377$$

Sudut defleksi dihitung berdasarkan persamaan (11):

$$\theta = \frac{TL}{GJ} = 457,74$$

Dimana :

$$L, \text{ panjang poros} = 3660\ \text{mm}$$

$$G, \text{ modulus geser} = 8,4 \times 10^{10}\ \text{N/m}^2$$

$$J, \text{ momen inersia} = 0,377$$

$$T, \text{ torsi} = 2786,62\ \text{Nm}$$

Untuk memperkirakan kriteria kegagalan fatik dari material poros, batas ketahanan teoritis kelelahan S'_e dihitung berdasarkan persamaan (12).

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} = 265\ \text{MPa}$$

Dimana :

$$S_{ut} = \text{kekuatan tarik material ST41} = 530\ \text{Mpa}$$

Perhitungan Kelelahan/Fatik (Fatigue Failure Criteria) menggunakan persamaan (13):

$$S_e = C_{load} \times C_{size} \times C_{surf} \times C_{temp} \times C_{reliability} \times S'_e$$

Dimana:

$$C_{load}, : 1 \text{ (untuk bending)}$$

$$C_{size}, : 1,187\ d^{-0,097} \text{ untuk } 8\text{mm} < d \leq 250\ \text{mm}$$

$$: 4,51 \times S_{ut}^{0,265} = 0,83$$

$$C_{temp}, : 1 \text{ x untuk } T \leq 450\ \text{°C}$$

$$C_{reliability} : 0,987$$

$$C_{surf} : 0,84$$

$$S'_e : 250$$

$$S_m : 450$$

Kelelahan/Fatik,

$$S_e = 1 \times 147,4 \times 0,84 \times 1 \times 0,987 \times 265 = 31,99$$

Untuk menghitung nilai kekuatan material digunakan persamaan (14)

$$S_m = 0,9 S_{ut} = 0,9 \times 530 \text{ MPa} = 477 \text{ MPa}$$

Perhitungan Umur Poros menggunakan persamaan (15, 16, 17):

$$\text{Fatigue Life} = \frac{\text{Design Life}}{D_m} \times \text{years}$$

$$D_m = \frac{N_L}{N_i}$$

$$N_L = \frac{0,85 \times T_L}{4 \log L}$$

Dimana :

Design Life, Umur standar dari poros = 25 tahun

N_i , Jumlah siklus sesuai analisis = $7,96 \times 10^6$

L, panjang Lpp kapal = 68,80 meter

T_L , Nilai sikus beban material poros selama design life = 7963

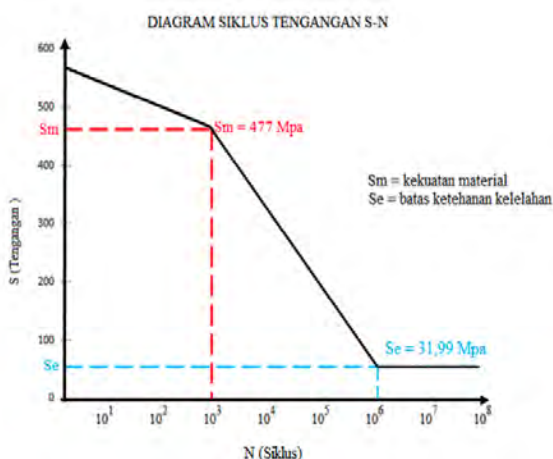
$$N_L = \frac{0,85 \times T_L}{4 \log L} = 31,4 \times 10^8$$

$$T_L = \frac{N_L \times 4 \log L}{0,8} = \frac{31,4 \times 10^8 \times 4 \log 68,80}{0,8} = 2,88 \times 10^9$$

Cumulatif fatigue damage

$$D_m = \frac{N_L}{N_i} = \frac{31,4 \times 10^8}{7,96 \times 10^6} = 3,94$$

$$\begin{aligned} \text{Fatigue Life} &= \frac{\text{Design life}}{D_m} \times \text{years} \\ &= 6,34 \text{ Tahun} \end{aligned}$$



Gambar 8 Diagram Siklus S-N

Untuk memperkirakan umur kelelahan (N) poros dan perilaku kelelahan, maka digunakan diagram tegangan-siklus S-N (Gambar 8). Dua nilai kekuatan harus ditentukan dalam menggambar diagram S-N. Pertama, kekuatan material (S_m) = 477 Mpa di $N \leq 10^3$, dan kedua, kekuatan material (S_e) =

31,99 Mpa di $N \geq 10^6$. Nilai Kekuatan material di $N \leq 10^3$ dihitung sesuai dengan persamaan (14), dan nilai kekuatan material di $N \geq 10^6$ adalah batas kelelahan terkoreksi yang dihitung sebelumnya.

3.2. Perilaku Kelelahan Poros dengan Menggunakan Simulasi SolidWorks

3.2.1. Proses Pemodelan Poros

Tahap awal sebelum masuk ke dalam simulasi yaitu dengan melakukan pemodelan poros. Pada awal pemodelan, poros digambar dalam bentuk 2D dan kemudian dibuat ke bentuk 3D.

Setelah tahap pemodelan dalam 2D selesai, langkah selanjutnya adalah pemodelan poros dalam bentuk 3D dengan memindahkan *key point* pada software berbasis *Finite Element* sehingga terbentuklah gambar 3D pada software *Finite Element* tersebut. Dalam pemodelan 3D poros baling-baling Kapal LCT Andros ini dibuat menjadi satu komponen yang menjadi satu sistem utama. Semua pemodelan 3D dilakukan menggunakan bantuan *solidworks 2016*.

3.2.2. Material Propertis

Setelah pemodelan kemudian dilakukan pemilihan material yang merupakan hal penting dalam merencanakan komponen permesinan. Tabel 3 menginformasikan pemilihan material yang akan digunakan pada software ini. Material poros Kapal LCT Andros terbuat dari material ST41. Pada *SolidWork* tidak terdapat material dengan bahan ST41 sehingga pemilihan material melalui pendekatan material propertis yang mendekati bahan ST4. Material poros yang dipilih adalah *AISI 1045 Steel Cold Drawn* seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Properties Material

Properties	
Name	AISI 1045 Steel, cold drawn
Model Type	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion	Max von Mises Stress
Yield Strength	5,3e+08 N/m ²
Tensile Strength	6,25e+08 N/m ²
Elastic Modulus	2,05e+11 N/m ²
Poisson's ratio	0,29
Mass density	7.850 kg/m ³
Shear modulus	8e+10 N/m ²
Termal expansion coefficient	1,15e-05/Kelvin

Input data material dilakukan sesuai dengan kebutuhan, analisa yang digunakan menggunakan material AISI 1045.

3.2.3. Connector Definition

Untuk membuat *conector* klik *Static Default* lalu pilih *Insert*, kemudian pilih *conection advisor* selanjutnya pilih *bearing*. Pada *conector* ini ada 3 pilihan yang bisa kita pakai di antaranya ada *pint*, *bolt* dan *bearing connector*. Pada simulasi ini menggunakan *bearing connector*.

3.2.4. Loads and Fixtures

Tahapan selanjutnya adalah tahapan analisis yaitu menentukan boundary conditions (kondisi batas). Diawali dengan menentukan fixture (penumpu). Penumpu ini merupakan lawan dari torsi. Dengan penumpu ini, kita dapat mengetahui besaran puntiran pada poros. Pada analisis ini digunakan penumpu (Fixed Geometry) yang diletakkan pada virtual bearing yang dikunci sebagai acuan.

Untuk memilih letak tumpuan pilih *Static Devault* kemudian pilih *Insert*, setelah itu pilih *Fixed Support*. Pada kotak *Geometri* pilih bagian poros yang menjadi tumpuan setelah itu kemudian klik *Apply*. Setelah menentukan tumpuan, langkah selanjutnya adalah input gaya dengan cara pilih *Static Devault* lalu pilih *External loads* kemudian *Insert* dan pilih *Torque*.

3.2.5. Meshing

Tabel 4. Informasi mesh

Informasi Mesh	
Mesh Type	Solid Mesh
Meshes Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	28,3761 mm
Tolerance	1,4188 mm
Mesh Quality Plot	High
Jacobian points	40874
Total Nodes	26542
Total Elements	14,016
Maximum Aspect Ratio	98,9
% of elements with Aspect Ratio < 3	0,143
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	Solid Mesh

Untuk menganalisa suatu pemodelan metode *Finite Element* adalah dengan melakukan diskritisasi

(*meshing*), yaitu dengan membagi struktur permodelan tersebut menjadi elemen-elemen kecil (*Finite Element*) yang terhubung oleh titik-titik atau nodes yang dipakai oleh elemen-elemen tersebut sebagai batas dari struktur objek. Berbagai informasi menyangkut proses *meshing* ditampilkan pada Tabel 4.

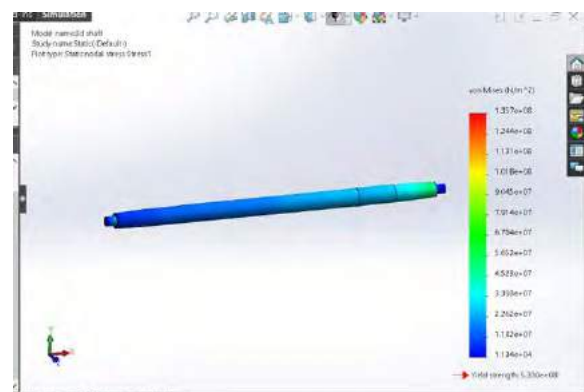
Pada analisis ini digunakan standard mesh yang mempunyai ukuran elemen 28,3761 mm.



Gambar 9 Solid mesh poros

3.2.6. Von Mises Stress

Setelah dilakukan *meshing* selanjutnya adalah proses *running*. Simulasi yang digunakan adalah statis (*static study*). Langkah pertama dalam melakukan proses von mises yaitu dengan pilih *static devault* kemudian pilih *result* dan klik *von mises stress*. Hasil yang diperoleh dari proses *running* ditunjukkan pada Gambar 10.



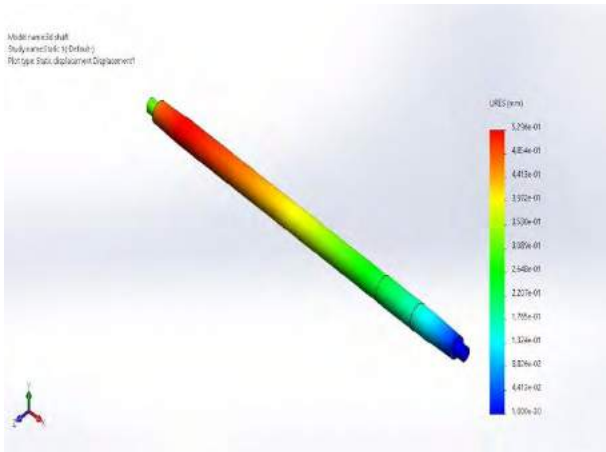
Gambar 10 Tegangan von mises

Besaran tegangan yang terjadi pada poros baling-baling Kapal LCT Andros adalah sebesar 1,373e+08 N/m².

3.2.7. Displacement

Selanjutnya *displacenment* pilih *static default* kemudian pilih *result* dan klik *displacement*. Nilai displacement yang didapat adalah sebesar 5,296e-01 mm, besaran displacement ditunjukkan oleh warna.

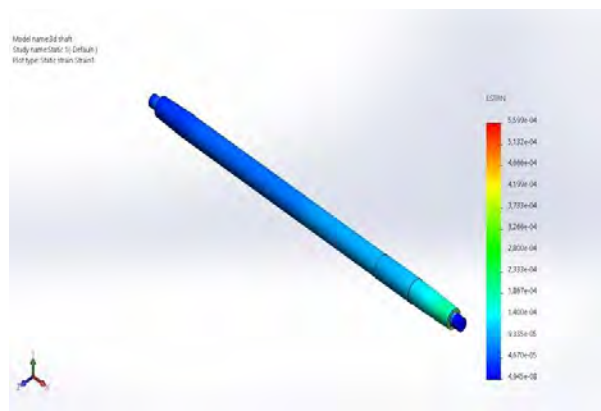
Semakin tinggi nilai displacementnya maka warna pada bagian komponen semakin merah, semakin kecil maka akan semakin berwarna biru. Hasil yang diperoleh dari proses *displacement* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Displacement

3.2.8. Von Mises Equivalent

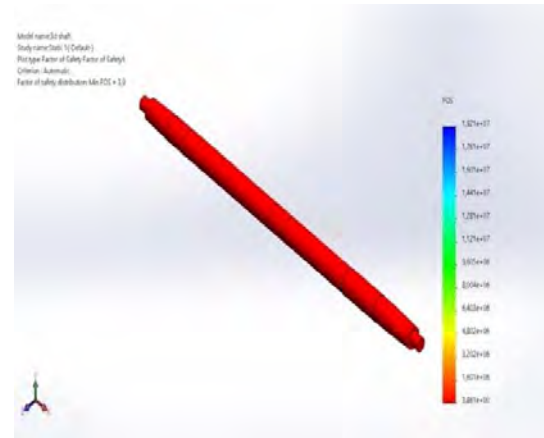
Selanjutnya untuk tahapan *Von Mises Equivalent* dilakukan dengan cara memilih static default kemudian pilih result dan klik *equivalent*. Nilai equivalent yang didapat adalah sebesar 5,599e-04. Hasil yang diperoleh dari proses *equivalent* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Von mises equivalent.

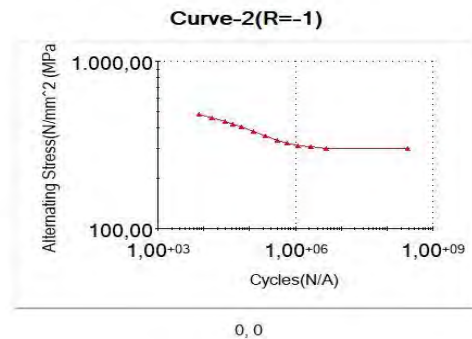
3.2.9. Safety Factor

Faktor keamanan atau safety factor yaitu merupakan sebuah aspek dalam dunia keteknikan yang digunakan untuk mengukur atau menilai batas kemampuan suatu bahan akibat beban dari luar (*external load*) seperti beban torsi yang bekerja terhadapnya.



Gambar 13 Factor Safety

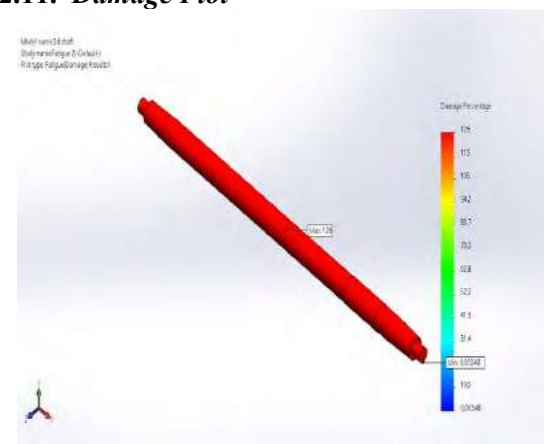
3.2.10. Fatigue Simulation



Gambar 14 Kurva S-N

Kurva S-N pada Gambar 14 menunjukkan hubungan antara kegagalan terhadap siklus, sampai pada siklus ke berapa material mengalami kerusakan. Pada kurva S-N dapat dilihat bahwa hasil simulasi pengujian menunjukkan kegagalan terjadi pada siklus 1,00+09 siklus.

3.2.11. Damage Plot



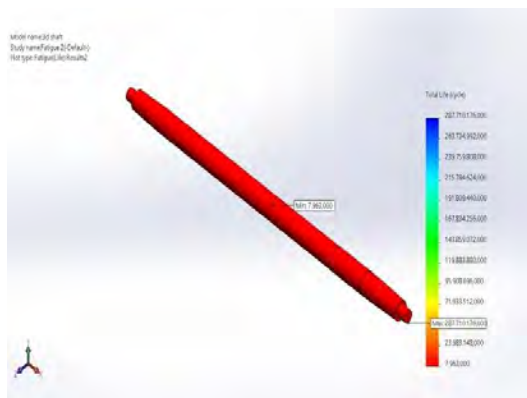
Gambar 14 Damage plot

Damage yang terjadi pada poros dapat dilihat pada Gambar 14. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh bagian poros berwarna merah dengan nilai

damage min 0,00348, sedangkan nilai maksimum 126 pada bagian tengah poros seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14

3.2.12. Life Plot

Life yang terjadi pada poros LCT Andros dapat dilihat pada Gambar 15. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh daerah poros berwarna merah dengan nilai life yaitu 287,710,176,000 cycle dan ada juga titik minimum life terdapat pada daerah poros bagian tengah yang tampak pada Gambar 15 dengan nilai life yaitu 7,963,000 cycle.



Gambar 15 Life plot

Gambar 15 menunjukkan bahwa nilai siklus terpendek hasil analisis (N_i) dari hot spot stress pada poros baling-baling sebesar $7,96 \times 10^6$ siklus. Nilai siklus terpendek hasil running pada software dapat digunakan untuk menentukan umur material poros baling-baling dengan menggunakan persamaan first - order fatigue cycle. Berikut perhitungan persamaan first - order fatigue cycle [10] sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{first - order fatigue cycle} &= \\ \text{rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days in a year} &= \\ = 1200 \times 60 \times 24 \times 3000 &= \\ = 5,18 \times 10^8 \text{ cycle atau 5 tahun} \end{aligned}$$

Nilai siklus beban yang dialami oleh poros baling-baling kapal LCT Andros selama 1 tahun didapatkan sebesar $5,18 \times 10^8$ cycle. Lalu dilakukan perhitungan jumlah siklus hingga 25 tahun, sehingga didapatkan nilai siklus yang dialami oleh poros baling-baling, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hubungan siklus dan tahun

Time	Number of Cycles
1 st year	$1,29 \times 10^8$
5 th year	$6,48 \times 10^8$
10 th year	$1,29 \times 10^9$
25 th year	$3,24 \times 10^9$

3.3. Pembahasan

Dari hasil perhitungan teoritis diketahui umur poros setelah direkondisi yaitu 6,34 tahun dalam siklus $1,29 \times 10^9$. Perkiraan umur dari hasil analisis numerik pada software solidworks diketahui dengan jumlah siklus sebesar $5,18 \times 10^8$ siklus atau 5 Tahun. Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan software solidwoks yang telah dilakukan terhadap poros baling-baling kapal LCT Andros maka didapatkan hasil tegangan von mises, displacement dan von mises equivalen. Nilai Tegangan von mises ditunjukkan pada Gambar 10 yang menunjukkan bahwa nilai tegangan von mises yang terjadi pada poros baling-baling kapal LCT Andros sebesar $1,373 \text{ N/m}^2$ (MPa) sedangkan nilai tegangan von mises equivalen adalah sebesar $5,599 \text{ N/m}^2$ (MPa) yang ditunjukkan pada Gambar 12.

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan teoritis memperkirakan umur poros setelah direkondisi yaitu 6,34 tahun dalam siklus $1,29 \times 10^9$. Sedangkan perkiraan umur dari hasil analisis pada software SolidWorks dengan jumlah siklus sebesar $5,18 \times 10^8$ atau 5 tahun. Kegagalan yang terjadi pada poros disebabkan karena faktor kelelahan. Kelelahan pada poros tersebut disebabkan karena beban yan terjadi adalah beban dinamis berupa torsi yang dialami poros. Melalui simulasi SolidWorks dapat diprediksi perilaku kelelahan poros sebagai berikut: besar tegangan Von Misses yang terjadi pada poros baling-baling Kapal LCT Andros adalah sebesar $1,373 \times 10^8 \text{ N/m}^2$; Nilai displacement yang didapat adalah sebesar $5,296 \times 10^{-01} \text{ mm}$, besaran displacement ditunjukkan oleh warna. Semakin tinggi nilai displacementnya maka warna pada bagian komponen semakin merah, semakin kecil maka akan semakin berwarna biru; kurva S-N hasil simulasi pengujian menunjukkan kegagalan terjadi pada siklus $1,00 \times 10^9$ siklus dan simulasi Life plot didapatkan hasil bahwa seluruh daerah poros berwarna merah, nilai life yaitu 287.710.176.000 cycle dan titik minimum life terdapat pada daerah poros bagian tengah yaitu 7,963,000 cycle.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Satriananta, M. G., Hartono Yudo, Berlian Arswendo Adietya, (2019), Studi Analisis Kekuatan Poros Propeller Kapal KMP Pertiwi Nusantara Akibat Dikenai Torsi Dari Propeller, Semarang.

- [2] Hendrawan Andi, (2019), Analisa Penyebab Keausan Poros Baling-Baling Kapal, Jurnal Sainara Volume 4 No. 1.
- [3] Hariom, Vijai Kumar, Chandrababu D., (2016). A Review of Fundamental Shaft Failure Analysis, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 03.
- [4] Suandi Andi, Abdul Raul Fentje, Lumintang Romels, (2016), Tinjauan Berbagai Keretakan Pada Poros Propeller Baling-Baling Kapal Dengan Menggunakan Proses Non Destructive Testing, Jurnal Online Poros Teknik Mesin, p 46- 57, Volume 5 Nomor 2.
- [5] Kuznetsov, A. and S Ivanchik, (2021), Flaw detection of ship equipment parts, Journal of Physics: Conference Series, Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021.
- [6] Myeong-Ho Song, Xuan Duong Pham and Quang Dao Vuong, (2020), Torsional Vibration Stress and Fatigue Strength Analysis of Marine Propulsion Shafting System Based on Engine Operation Patterns, Journal Marine Science and Engineering, Volume 8.
- [7] Muhammad, M. M., Mohd Subhi Din Yati, Nik Hassanuddin Nik Yusoff and Mahdi Che Isa, Fracture Failure Analysis of A Marine Propeller Shaft, Defence S And T Technical Bulletin, October 2020, P. 240-246
- [8] Engel B, Sara Salman Hassan Al-Maeni. (2017), Failure Analysis and Fatigue Life Estimation of a Shaft of a Rotary Draw Bending Machine, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering ,Vol:11, No:11.
- [9] Vizentin, Goran., Goran Vukelic ,Lech Murawski, Naman Recho, Josip Orovic, (2020), Marine Propulsion System Failures-AReview, Journal Marine Science and Engineering, Volume 8.
- [10] Ridho, M., Zakki, A. F., & Manik, P., (2015), Analisa Fatigue propeller Tugboat Ari 400hp Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Perkapalan, 3(1), 110–117.

MODEL PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI LAUT UNTUK PERJALANAN
ANTAR-PULAU PADA RUTE TULEHU - AMAHAIF. M. Sanaky¹, S. Titaley² dan, H. Mandaku³¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: rifasanaky@gmail.com²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: stevy_74@yahoo.com³Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: hanokmandaku30@gmail.com

Abstrak. Ketidakseimbangan proporsi pilihan moda transportasi laut dapat berdampak baik pada kelancaran pergerakan, kelangsungan usaha maupun resiko kecelakaan akibat muatan lebih. Penelitian ini bertujuan menganalisis proporsi pilihan moda transportasi laut oleh pelaku perjalanan pada rute Tulehu-Amahai di Provinsi Maluku. Metode yang digunakan adalah regresi linear berganda untuk mendapatkan model utilitas dan metode regresi logistik binomial untuk mendapatkan angka proporsi. Variabel yang dimodelkan, adalah: (1) pilihan moda (Y); (2) tarif kapal (X_1); (3) waktu perjalanan (X_2); dan (3) tingkat kenyamanan (X_3). Data diperoleh menggunakan kuesioner dengan teknik *stated preference* dari 100 responden dan selanjutnya diolah dengan perangkat *SPSS*. Hasil penelitian menunjukkan ketiga faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap keputusan pemilihan moda transportasi laut pada rute Tulehu-Amahai. Sedangkan model persamaan utilitas yang dihasilkan adalah, $Y = 0.336 + 6,658 \times 10^{-5} X_1 + 0.315 X_2 + 0.181 X_3$ dengan angka proporsi adalah 88,8% untuk moda kapal cepat dan 11,3% untuk kapal ferry. Hasil ini mengindikasikan bahwa moda kapal cepat masih menjadi favorit pilihan oleh pelaku perjalanan karena memiliki keunggulan pada faktor waktu perjalanan dan tingkat kenyamanan. Untuk itu, pengembangan angkutan penyeberangan penting dilakukan guna meningkatkan aspek waktu perjalanan dan kenyamanan sehingga dapat menjamin proporsi pilihan moda secara berimbang pada rute tersebut.

Kata kunci: Proporsi, pilihan moda, transportasi laut

Abstract. *The imbalance in the proportion of choices of sea transportation modes can have a good impact on the smoothness of movement, business continuity and the risk of accidents due to overloading. This study aims to analyze the proportion of sea transportation mode choices by travelers on the Tulehu-Amahai route in Maluku Province. The method used is multiple linear regression to obtain a utility model and binomial logistic regression method to obtain proportion figures. The variables that are modeled are: (1) mode choice (Y); (2) ship rates (X_1); (3) travel time (X_2); and (3) level of comfort (X_3). The data were obtained using a questionnaire with a stated preference technique from 100 respondents and then processed using the SPSS. The results of the study show that these three factors have a significant effect on the decision to choose sea transportation modes on the Tulehu-Amahai route. Meanwhile, the resulting utility equation model is $Y = 0.336 + 6.658 \times 10^{-5} X_1 + 0.315 X_2 + 0.181 X_3$ with the proportion figure being 88.8% for the speedboat mode and 11.3% for the ferry. These results indicate that the speedboat mode is still the favorite choice for travelers because it has advantages in terms of travel time and level of comfort. For this reason, it is important to develop ferry transport in order to increase the aspects of travel time and level of comfort so as to ensure a balanced proportion of modal choices on the route.*

Keywords: Proportion, moda choice, sea transportation.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Maluku merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki struktur geografis wilayah berupa kepulauan dengan jumlah pulau sebanyak 1.392 buah [1]. Sebagai wilayah kepulauan, maka transportasi laut memegang peranan yang sangat penting bagi pengembangan wilayah Maluku [2]. Itu sebabnya, pengembangan infrastruktur transportasi laut mutlak diperlukan guna mendorong perkembangan pembangunan daerah Maluku.

Pengembangan infrastruktur transportasi laut pada wilayah kepulauan disatu sisi memerlukan dukungan biaya yang relatif besar ditengah keterbatasan dukungan pembiayaan, sementara dilain pihak merupakan keharusan guna mendukung kelancaran transportasi, konektivitas dan aksesibilitas antar-pulau [3]. Maka dari itu, konsep pengembangan mesti disesuaikan dengan tingkat kebutuhan yang tercermin melalui perilaku pelaku perjalanan dalam pemilihan moda.

Rute Tulehu-Amahai merupakan salah satu rute transportasi antar-pulau di wilayah Provinsi Maluku yang sangat strategis karena menghubungkan dua pulau penting, yaitu Pulau Ambon dan Pulau Seram [4]. Pada rute tersebut, terdapat dua jenis moda transportasi laut yang beroperasi, yaitu kapal fery dan kapal cepat. Dengan demikian, maka setiap pelaku perjalanan akan dihadapkan pada pilihan dikotomis berdasarkan karakteristik layanan dari setiap moda. Dalam konsep transportasi, fenomena ini disebut pemilihan moda [5].

Berdasarkan observasi awal, pilihan moda oleh pelaku perjalanan umumnya mempertimbangkan faktor tujuan perjalanan, waktu tempuh, biaya perjalanan dan kenyamanan. Hal ini dapat ditelusuri dari karakteristik layanan dari masing-masing moda. Kapal cepat umumnya dipilih karena pertimbangan waktu penyeberangan yang lebih cepat dan frekwensi penyeberangan yang lebih banyak dibandingkan kapal fery. Sedangkan, pilihan terhadap kapal fery berhubungan dengan pertimbangan biaya yang lebih rendah dan kegunaan mengangkut kendaraan bermotor.

Sejauh ini, problem yang terjadi pada rute tersebut adalah adanya ketidak-seimbangan muatan diantara kedua moda, yang mana pelaku perjalanan dominan memilih kapal cepat dibanding dengan kapal fery. Jika kondisi ini terus dibiarkan, maka berdampak pada *over capacity* pada sejumlah infrastruktur layanan. Pada konteks ini, penataan infrastruktur dan kebijakan operasional penting dilakukan. Untuk itu, dukungan informasi tentang pengaruh faktor-faktor dalam pemilihan moda perlu ditelusuri sehingga diketahui model pilihan moda transportasi laut pada koridor tersebut.

Dalam perencanaan transportasi pemilihan moda merupakan tahapan ketiga setelah tahapan pemodelan zona (*trip generation*) dan distribusi perjalanan (*trip distribution*). Tahap ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pelaku perjalanan terbagi-bagi ke dalam (atau memilih) moda angkutan yang berbeda-beda [6]. Dengan kata lain, tahapan pemilihan moda merupakan suatu proses perencanaan angkutan yang bertugas untuk menentukan pembebanan perjalanan atau mengetahui jumlah (dalam arti proporsi) orang dan atau barang yang akan menggunakan atau memilih berbagai moda transportasi yang tersedia untuk melayani suatu titik asal-tujuan tertentu, demi beberapa maksud perjalanan tertentu pula.

Model pemilihan moda bertujuan untuk mengetahui proporsi orang yang akan menggunakan setiap moda. Pemilihan moda mempertimbangkan pergerakan yang menggunakan lebih dari satu moda dalam perjalanan (multimoda). Beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan moda seperti ciri pengguna jalan, ciri pergerakan, ciri fasilitas moda transportasi dan ciri kota atau zona [6]. Peubah bebas yang digunakan pada hampir semua model pemilihan moda tergantung pada (a) orang yang memilih moda tersebut, (b) tujuan pergerakan, dan (c) jenis model yang digunakan.

Memperkirakan pilihan moda hendaknya memperhatikan faktor yang mempengaruhi perilaku pelaku perjalanan atau calon pengguna (*trip maker behavior*) [6]. Masing-masing faktor ini terbagi lagi menjadi beberapa variabel yang dapat diidentifikasi. Faktor-faktor atau variable-variabel tersebut adalah: (1) Ciri perjalanan, misalnya ketersediaan atau pemilihan kendaraan pribadi, kepemilikan SIM, struktur rumah tangga, dan pendapatan; (2) Ciri pergerakan, misalnya tujuan pergerakan, waktu terjadinya pergerakan, jarak perjalanan; dan (3) Ciri fasilitas, misalnya waktu perjalanan, biaya transportasi, ketersediaan ruang dan tarif parkir.

Pemilihan moda dihipotesiskan akan bergantung pada karakteristik moda yang mencerminkan biaya yang disamakan dengan biaya perjalanan [7]. Faktor penting lainnya yang dapat mempengaruhi pemilihan moda yang dipengaruhi oleh karakteristik moda adalah: (1) Biaya total dari tempat asal ke tujuan; (2) Waktu perjalanan yang terdiri dari waktu yang dibutuhkan untuk berjalan dari dan ke terminal; (3) Tingkat kenyamanan yang berhubungan dengan pilihan alternatif; dan (4) Tingkat keselamatan penumpang [7].

Model pemilihan moda menganalisis pilihan konsumen (pelaku perjalanan) dari sekumpulan alternatif pilihan moda yang saling bersaing dan

tidak bisa dipilih (digunakan) secara bersama-sama lebih dari satu moda (*mutually exclusive*). Model ini menekankan pada analisis pilihan konsumen untuk memaksimalkan kepuasannya dalam mengkonsumsi pelayanan yang diberikan oleh suatu moda transportasi pilihan [8]. Konsumen akan menyeleksi berbagai alternatif dan memutuskan memilih moda transportasi yang memiliki nilai kepuasan tertinggi (*highest utility*). Produser model ini diawali dengan menentukan nilai-nilai parameter (koefisien regresi) dari sebuah fungsi kepuasan yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas. Model pemilihan moda pertama kali diterapkan dalam transportasi, disebut sebagai model pilihan biner (*binary choice model*).

Beberapa penelitian mutakhir yang menerapkan model pemilihan moda pada transportasi diantaranya untuk transportasi laut rute Bitung – Lembeh [9], transportasi perkotaan antara angkutan umum dan kendaraan pribadi di Surabaya [10], transportasi *online* dan bus trans Koetaradja di Banda Aceh [11], transportasi Pematangsiantar – Bandara Silangit di Sumatera Utara [12], angkutan bus dan taksi gelap rute Manado – Amurang [13], pekerja komuter di Jabodetabek [14], dan transportasi *online* di Kota Manado [15]. Metode yang diterapkan adalah binomial logit [9, 10, 11, 13, 15, 16] dan multinomial logit [14, 17]. Sedangkan teknik kuesioner yang diterapkan adalah *stated preference* [9, 10, 12, 13, 15] dan *revealed preference* [16].

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Mei 2023 di Pelabuhan Tulehu yang terletak di Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Posisi Pelabuhan Tulehu terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Ket: Lokasi penelitian

2.2. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah penumpang Kapal Cepat dan Kapal Ferry yang melintasi rute Tulehu-Amahai. Sedangkan sampel penelitian

ditentukan sebanyak 100 responden, terdiri dari 50 responden pada Kapal Cepat dan 50 responden pada Kapal Ferry.

2.3. Metode Analisis Data

Metode statistik deskriptif ini untuk melihat karakteristik sosial-ekonomi serta karakteristik asal tujuan penumpang pelaku moda transportasi kapal cepat dan kapal fery rute Tulehu-Masohi. Dan hasil dari data karakteristik asal-tujuan akan diolah menggunakan software Arcgis untuk menghasilkan peta wilayah asal-tujuan perjalanan masyarakat pada rute Tulehu-Amahai.

Dalam memperkirakan probabilitas suatu kelompok masyarakat dalam memilih moda yang digunakan, faktor paling penting untuk ditemukan adalah nilai utilitas moda yang diperoleh dari persamaan regresi linear berganda, yaitu:

$$U = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \dots \quad (1)$$

dimana :

- U = Utilitas moda
- X1, X2,..., Xn = Karakteristik moda
- b1, b2,..., bn = Koefisien
- a = Nilai intersep

Fungsi utilitas adalah mengukur derajat kepuasan yang diperoleh seseorang terhadap pilihannya. Fungsi utilitas biasanya dinyatakan sebagai jumlah linear dari variabel bebas yang diberi bobot.

Penentuan nilai manfaat dimaksudkan agar dapat diketahui bagaimana respon pelaku perjalanan dalam menentukan pilihannya terhadap moda angkutan berdasarkan nilai manfaat yang dirasakan.

Model regresi logit biner ini hanya untuk pilihan 2 moda transportasi alternative yaitu moda i dan moda j. Bentuk model ini berupa: probabilitas (%) peluang moda i untuk dipilih adalah bergantung pada nilai parameter atau kepuasan menggunakan moda i dan j serta nilai eksponensial. Bentuk model ini adalah sebagai berikut:

$$P(i) = \frac{e^{\beta x_{in}}}{e^{\beta x_{in}} + e^{\beta x_{jn}}} \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$P(i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(x_{in} - x_{jn})}} \dots \dots \dots \quad (3)$$

dimana:

- P(i) = Probabilitas (%) peluang
- $\beta x_{in}, \beta x_{jn}$ = Nilai kepuasan
- e = Eksponensial

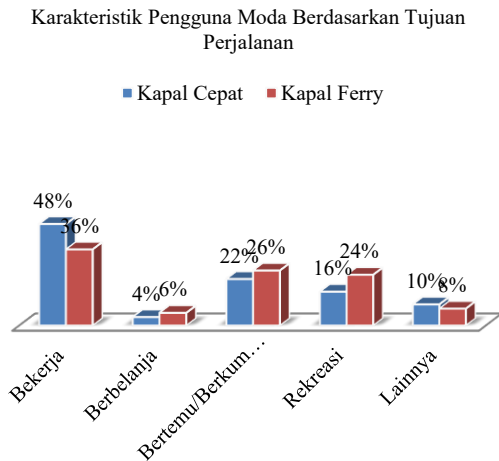
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Pelaku Perjalanan

a. Berdasarkan Tujuan Perjalanan

Presentase terbesar tujuan perjalanan pengguna kapal ferry yaitu untuk bekerja sebesar 48%.

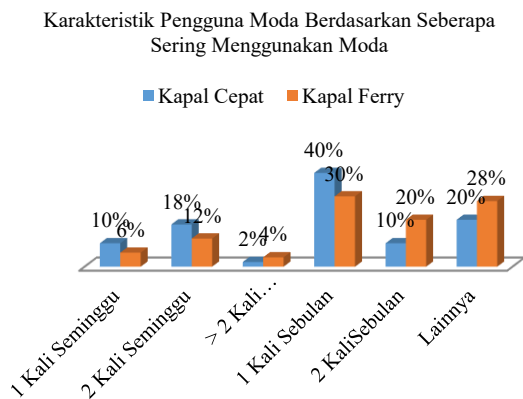
Sedangkan presentase terkecil dari tujuan perjalanan kapal ferry adalah untuk berbelanja sebesar 4%. Begitu juga untuk moda transportasi kapal cepat. Presentasi terbesar tujuan perjalanan pengguna kapal cepat sebesar 36% untuk bekerja. Dan presentase terkecil untuk tujuan berbelanja sebesar 6%. Dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik pengguna moda berdasarkan tujuan perjalanan

b. Berdasarkan Frekuensi Menggunakan Moda

Pengguna yang melakukan perjalanan rute Tulehu – Amahai dengan menggunakan moda transportasi kapal cepat dan kapal ferry. Pembagian frekuensi pengguna moda tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



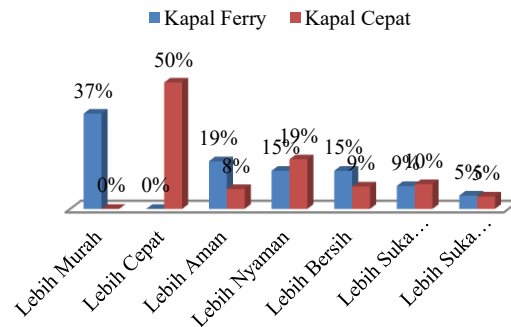
Gambar 3. Karakteristik pengguna moda berdasarkan frekwensi penggunaan

c. Berdasarkan Alasan Memilih Moda

Ada berbagai alasan pengguna moda transportasi memilih moda yang akan mereka gunakan. Dari hasil penelitian ini, presentase terbanyak terdapat pada moda kapal cepat dengan 50% pengguna memilih moda transportasi ini karna

mempertimbangkan alasan lebih cepat atau waktu yang lebih singkat. Sedangkan lebih banyak pengguna moda melakukan perjalanan dengan mempertimbangkan alasan lebih murah mempunyai presentase terbesar untuk pengguna kapal ferry yakni 37%. Distribusi pengguna moda dengan alasan dalam memilih moda dapat dilihat pada Gambar 4.

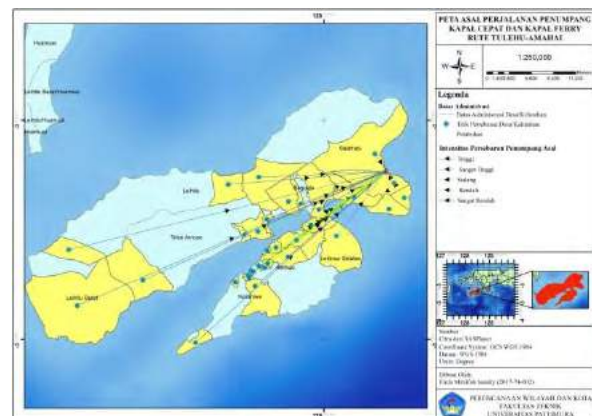
Karakteristik pengguna Moda Berdasarkan Alasan dalam Memilih Moda



Gambar 4. Karakteristik pengguna moda berdasarkan alasan dalam memilih moda

d. Berdasarkan Asal-Tujuan Perjalanan

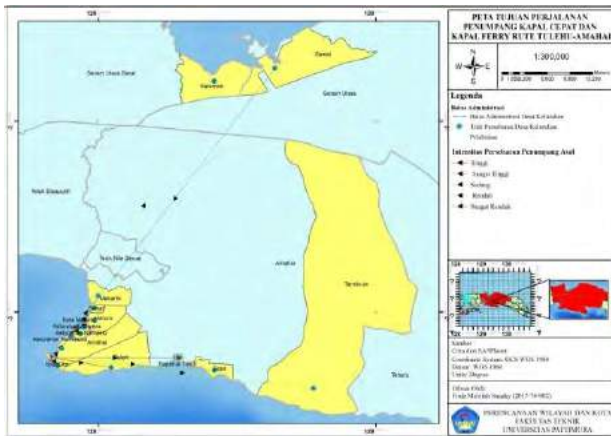
Peta dibawah ini menunjukkan bahwa pelaku perjalanan dominan (25%) berasal dari desa Batu Merah dan terendah berasal dari beberapa desa, yaitu Wainitu, Urimesing, Latuhalat, Hatu, Ureng, Lei hitu Barat, Nania, Wakal, Hitu, Hutumuri, Passo, dan Waai. Komposisi pelaku perjalanan menurut lokasi asal perjalanan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta asal perjalanan

Peta di bawah menunjukkan bahwa tujuan penggunaan moda didominasi oleh pengguna yang bertujuan ke Kelurahan Namaelo dengan intesitas persebaran penumpang asal sangat tinggi dengan jumlah presentase pengguna ke alamat tujuan kelurahan Namaelo sebesar 43% dan terendah ke beberapa desa/kelurahan yaitu desa/kelurahan Iha, Namasina, Sehati, Makariki. Data karakteristik dan

komposisi pelaku perjalanan menurut lokasi tujuan perjalanan disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta tujuan perjalanan

3.2 Pemodelan Pilihan Moda

Dalam menentukan model pemilihan moda proses transformasi data dilakukan untuk mengubah jawaban responden yang berupa data kualitatif menjadi data kuantitatif. Penentuan skala numerik berdasarkan persamaan linear dengan model logit binominal. Proporsi nilai setiap variabel ditentukan berdasarkan nilai skala numerik pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Skala Numerik Berdasarkan Pengguna Moda

Skala Semantik	Nilai Logaritma Natural	Makna
0.9	2.1972	Pasti Pilih Kapal Cepat
0.7	0.8472	Mungkin Pilih Kapal Cepat
0.5	0.0000	Pilihan Berimbang
0.3	-0.8472	Mungkin Pilih Kapal Ferry
0.1	-2.1972	Pasti Pilih Kapal Ferry

Nilai skala numerik merupakan nilai proporsional untuk setiap pilihan pengguna moda. Nilai tersebut kemudian dianalisis berdasarkan uji statistik guna mendapatkan model persamaan untuk pemilihan moda.

Dari perhitungan analisis regresi dengan bantuan aplikasi SPSS ver. 22 diperoleh nilai nilai konstanta dan koefisien, sehingga dapat diperoleh model utilitas untuk masing-masing moda. Persamaan model utilitas pemilihan moda untuk variabel biaya, waktu, dan kenyamanan pelayanan adalah sebagai berikut.:

$$Y = 0.336 + 6.658x10^{-5} X_1 + 0.315 X_2 + 0.181 X_3 + e$$

Persamaan diatas menunjukkan arah positif, yang artinya bila terjadi peningkatan pada selisih nilai tersebut, maka terjadi peningkatan pilihan pada salah satu moda.

Model utilitas pemilihan moda transportasi laut kapal cepat dan kapal ferry ditunjukkan dengan model perbandingan antar kedua utilitas moda transportasi. Model selisih utilitas merupakan model utilitas kedua moda transportasi yang saling berkompetisi, sehingga persamaannya ditunjukkan dengan model selisih kedua utilitas tersebut. Model yang digunakan dalam studi ini adalah model logit binominal dengan fungsi selisih utilitas antara kapal cepat dan kapal ferry dalam bentuk persamaan linear.

Berdasarkan hasil analisis dengan metode *Stated Preference*, diperoleh persamaan probabilitas pemilihan kapal cepat sebagai berikut:

$$P_{kc} = \frac{\exp(0.336 + 6.658x10^{-5} X_1 + 0.315X_2 + 0.1819X_3)}{1 + \exp(0.336 + 6.658x10^{-5} X_1 + 0.315X_2 + 0.1819X_3)}$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka ketika pengguna moda melakukan perjalanan menggunakan moda transportasi laut rute Tulehu-Amahai, terdapat 88,8 % akan memilih moda transportasi kapal cepat dan sisanya sebanyak 11.2% akan memilih moda transportasi kapal ferry.

Model yang dihasilkan dapat digunakan sebagai referensi dalam memperbaiki sistem baik moda transportasi kapal cepat maupun moda transportasi kapal ferry rute Tulehu-Amahai. Perbaikan sistem pada kapal ferry, diantaranya meningkatkan aspek kenyamanan dan frekwensi perjalanan. Sedangkan pada kapal cepat, dapat mempertimbangkan kemungkinan penurunan tarif yang dibebankan kepada penggunanya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan model yang ditemukan, maka faktor-faktor yang signifikan mempengaruhi pilihan moda transportasi laut pada rute Tulehu-Amahai adalah biaya, waktu, dan kenyamanan. Model juga mengindikasikan bahwa proporsi penumpang memilih kapal cepat adalah sebanyak 88,8 %, sedangkan sisanya sebanyak 11.2% memilih moda transportasi laut kapal ferry. Hasil ini dapat menjadi rujukan dalam perbaikan sistem layanan transportasi pada rute tersebut, sehingga memungkinkan pemanfaatan infrastruktur secara optimal guna mendukung kelancaran transportasi laut antar-pulau di Provinsi Maluku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mandaku, H. dan Rasyid, M. (2023), *Desain Pengembangan Jaringan Transportasi Penyeberangan Untuk Mendukung Distribusi General Cargo Antar-Pulau di Provinsi Maluku*, Jurnal Ilmiah Teknik Industri (JITI), Vol. 11 No. 1, pp 1 – 13.
- [2] Gurning, R. O. S. (2006), *Analisis Konsep Trans Maluku Sebagai Pola Jaringan Transportasi Laut di Maluku*, Academia Accelerating the World Research, pp 1 – 8.
- [3] Mandaku, H., Ramli, M. I., Hustim, M., dan Pasra, M. (2021), *The Route Choice Model for Inter-Island Freight Transportation: Case Study in Maluku Archipelago*, *The Design Engineering*, pp 13090-13101.
- [4] Mandaku, H. (2021), *Model Pilihan Rute Distribusi Barang Antar-Pulau Pada Koridor Ambon-Masohi di Provinsi Maluku*, Jurnal ARIKA, Vol. 16 No. 1, pp 13 – 20.
- [5] Miro, F. (2005), *Perencanaan Transportasi untuk Mahasiswa, Perencana dan Praktisi*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [6] Tamin, O. Z., *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Penerbit ITB, Bandung, 2000.
- [7] Morlok, E. K., *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- [8] Ben-Akiva, M. E. dan Lerman, S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA MIT Press.
- [9] Ticoalu, A. A., Lefrandt, L. I. R., dan Kumaat, M. (2020), *Perbandingan Pemilihan Moda Transportasi Laut Perahu Taksi Dan Kapal Ferri (Studi Kasus : Bitung-Lembeh)*, Jurnal Sipil Statik Vol. 8 No. 4, pp 579 – 590.
- [10] Masliyah dan Sundari, E. (2022), *Model Pemilihan Moda dengan Metode Stated Preference antara Suroboyo Bus dengan Kendaraan Pribadi*, Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, Vol. 20, No. 2, pp 171 – 179.
- [11] Suganda, S., Anggraini, R. dan Sugiarto (2022), *Model Pemilihan Moda Transportasi Online dan Bus Trans Koetaradja Pada Rute Darussalam – Ulee Lheue*, Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan 5(4), pp 318 – 326.
- [12] Sitinjak, L. L. dan Sitindaon, C. (2019), *Pemilihan Moda Transportasi Pematangsiantar menuju Bandara Silangit Dengan Metode Stated Preference*, Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil, Vol. 2 No.1, pp. 43 – 57.
- [13] Kakyarmabin, Y. Y., Rompis, S. Y. R., dan Jefferson, L. (2019), *Model Pemilihan Moda Angkutan Bus Dan Taksi Gelap Rute Kota Manado – Amurang*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 7 No.7, pp 885-894.
- [14] Adwiluvito, H. (2019), *Determinan Pemilihan Moda Transportasi Pekerja Komuter Jabodetabek Dengan Model Regresi Logistik Multinomial Multilevel*, Indonesian Journal of Statistics and ITS Applications. Vol. 3 No. 1, pp 49 – 61.
- [15] Supit, R. M., S. Y. R. Rompis, dan Lefrandt, L. I. R. (2019), *Model Pemilihan Moda Transportasi Online di Kota Manado*, Jurnal Sipil Statik Vol. 7 No.1.
- [16] Tuhepaly, R. S. S. dan Widyastuti, H. (2019), *Analisis Probabilitas Pemilihan Moda Pesawat Terbang dan Kapal Laut pada Rute Fakfak – Sorong dengan Metode Revealed Preference*, Jurnal Aplikasi Teknik Sipil Vol. 17, No. 1, pp 13 – 18.

PERENCANAAN FASILITAS PELABUHAN KAMARIAN UNTUK MENUNJANG
PELAYARAN RAKYAT ANTAR-PULAU DI PROVINSI MALUKUI. R. Kakerissa¹, P. Th. Berhиту² dan, H. Mandaku³¹ Program Studi Perencanaan Wilayah & Kota Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: irkakerissa@gmail.com² Program Studi Perencanaan Wilayah & Kota Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: patrickberhиту@gmail.com³ Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: hanokmandaku30@gmail.com

Abstrak. Pengembangan Pelabuhan Kamarian di Provinsi Maluku sangat penting guna menunjang eksistensi pelayaran rakyat antar-pulau. Namun, pengembangannya membutuhkan investasi dan dukungan informasi tentang arahan pengembangan dan kapasitas setiap fasilitas agar sesuai dengan kebutuhan. Oleh sebab itu, perencanaan yang komprehensif sangat penting dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat pertumbuhan muatan dan kebutuhan fasilitas serta mendesain *lay-out* Pelabuhan Kamarian. Metode yang digunakan adalah regresi linear untuk peramalan pertumbuhan muatan, standart pelayanan pelabuhan untuk analisis kebutuhan fasilitas dan *activity relationship chart (ARC)* untuk mendesain tata letak pelabuhan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa untuk 5 tahun mendatang tingkat pertumbuhan muatan mencapai 5,5%/tahun untuk penumpang, 1,2%/tahun untuk kendaraan R-2 dan 1,3%/tahun untuk barang. Berdasarkan data tersebut, dengan beroperasinya 2 unit kapal, maka diperkirakan pada tahun 2026 masing-masing kapal akan mengangkut 47 orang penumpang pergi ($LF = 1,56$), 38 orang penumpang datang ($LF = 1,26$), 1 unit motor ($LF = 0,33$), dan 3,8 ton barang ($LF = 7,59$). Kondisi tersebut membutuhkan adanya fasilitas dermaga berukuran $32,5 \times 1,5$ meter; gedung terminal seluas 206 m^2 ; dan areal parkir seluas $96,0 \text{ m}^2$. Sedangkan *lay-out* pelabuhan didesain dengan pendekatan *activity relationship chart*. Pengembangan Pelabuhan Kamarian diharapkan dapat menunjang pelayaran rakyat antar-pulau di Provinsi Maluku.

Kata kunci: Pelabuhan, fasilitas, muatan

Abstract. The development of the Kamarian Port in Maluku Province is very important to support the existence of inter-island people's shipping. However, its development requires investment and information support regarding direction of development and the capacity of each facility to match the needs. Therefore, comprehensive planning is very important. This study aims to analyze the growth rate of cargo and facility requirements as well as to design the lay-out of Kamarian Port. The method used is linear regression for forecasting cargo growth, port service standards for facility requirement analysis and activity relationship chart (ARC) for port layout design. The results show that for the next 5 years the growth rate of cargo will reach 5.5%/year for passengers, 1.2%/year for R-2 vehicles and 1.3%/year for goods. Based on these data, with the operation of 2 ships, it is estimated that in 2026 each ship will carry 47 departing passengers ($LF = 1.56$), 38 arriving passengers ($LF = 1.26$), 1 motor unit ($LF = 0.33$), and 3.8 tons of goods ($LF = 7.59$). This condition requires a pier facility measuring 32.5×1.5 meters; terminal building of 206 m^2 ; and a parking area of 96.0 m^2 . Meanwhile, the port layout is designed using an activity relationship chart approach. The development of the Kamarian Port is expected to support inter-island shipping for the people in Maluku Province.

Keywords: Port, facility, payload

1. PENDAHULUAN

Pengembangan sektor transportasi laut merupakan suatu keniscayaan bagi negara kepulauan seperti Indonesia. Hal ini karena sektor transportasi laut berperan dalam melayani kebutuhan perjalanan masyarakat antar-pulau. Untuk itu, maka pengembangan transportasi laut wajib terus dilaksanakan dan diarahkan untuk mewujudkan satu kesatuan transportasi nasional yang terpadu dan mampu mewujudkan penyediaan jasa transportasi yang seimbang sesuai dengan tingkat kebutuhan dan tersedianya pelayanan angkutan yang selamat, aksesibilitas tinggi, terpadu, kapasitas mencukupi, teratur, dan cepat serta tepat waktu [1].

Pelayaran rakyat sebagai bagian dari sistem transportasi laut memegang peranan penting dalam mewujudkan kesatuan nusantara yang menjadi negara Indonesia serta secara ekonomi mampu menghidupkan ekonomi rakyat di pesisir dan pulau-pulau sampai yang terpencil dan terluar. Atas dasar itu, maka pemerintah mempunyai komitmen untuk mempertahankan pelayaran rakyat untuk tetap berkiprah dalam angkutan pelayaran di Indonesia [3,4].

Pelayaran rakyat di Maluku sudah dikenal dan dioperasikan oleh masyarakat sejak dulu dan terus dipertahankan hingga kini dengan modifikasi pada alat penggerak. Pelayaran rakyat di Maluku berfungsi sebagai sarana untuk mengangkut hasil-hasil pertanian, perkebunan, dan hasil produksi lainnya dari daerah-daerah yang terpencil menuju ke pusat-pusat perekonomian. Seiring dengan perkembangan teknologi, model alat penggerak mengalami pergeseran dari “layar” menjadi “mesin”. Tujuannya tidak lain untuk mempersingkat waktu tempuh pelayaran. Meski demikian, rute pelayaran masih terus dipertahankan, salah satunya rute Kamarian – Tulehu yang melayani kebutuhan transportasi masyarakat dari wilayah Kabupaten Seram Bagian Barat di Pulau Seram ke Pulau Ambon.

Pelayaran rakyat di Kabupaten Seram Bagian Barat sejatinya terdapat di sejumlah lokasi, diantaranya yaitu di Kecamatan Huamual (Negeri Ariate, Negeri Lokki dan Negeri Luhu menuju Negeri Hitu dan Hila di pulau Ambon), Kecamatan Kecamatan Amalatu (Negeri Tihulale dan Negeri Rumahkay menuju Pulau Haruku dan Saparua) dan Kecamatan Kairatu (Negeri Kairatu dan Negeri Kamarian menuju Pulau Ambon). Berdasarkan hasil observasi, pelayaran pada rute Kamarian – Tulehu mengalami perkembangan yang signifikan untuk pelayaran menuju Pulau Ambon, sehingga menjadi pilihan alternatif masyarakat selain pelayaran melalui rute Angkutan Penyeberangan (Ferry)

Hunimua – Waipirit [5]. Kondisi ini karena rute pelayaran yang lebih pendek sehingga waktu tempuh relatif lebih cepat dan lokasi Pelabuhan mudah dijangkau oleh masyarakat yang bermukim di wilayah kecamatan Amalatu, Elpaputih dan di Negeri Kamarian dan sekitarnya.

Pelabuhan Kamarian sempat berhenti beroperasi telah beroperasi ada 2004, namun sejak tahun 2017 kembali beroperasi dan turut berperan penting dalam menunjang pergerakan masyarakat beserta komoditasnya dari wilayah Pulau Seram ke Pulau Ambon. Terdapat 2 lokasi di Pelabuhan Kamarian yang dimanfaatkan sebagai tempat bongkar/muat, yaitu: (1) Lokasi Mange-Mange; dan (2) Lokasi Oyo. Pada lokasi Mange-Mange belum memiliki dermaga, sehingga proses bongkar/muat tidak efektif, terutama pada saat air laut surut. Sedangkan pada lokasi Oyo, terdapat ruang tunggu penumpang, loket karcis, toilet dan dermaga kayu dengan kondisi yang kurang terawat dan mengalami kelapukan. Kondisi demikian selain tidak nyaman, juga berpotensi membahayakan penggunaannya sewaktu-waktu. Disamping itu, proses bongkar-muat penumpang dari kendaraan pengantar dan penjemput dilakukan di tepi jalan, sehingga mengganggu kelancaran arus lalu lintas disepanjang ruas jalan tersebut.

Pada aspek moda, terdapat 2 unit kapal yang beroperasi, berpengerak mesin dengan kapasitas muat penumpang 30-40 orang, kendaraan roda-2 12 unit dan barang 1 ton. Kapal dioperasikan pada pagi hari, dimana rute Kamarian – Tulehu diberangkatkan pukul 07.00 WIT dan rute Tulehu – Kamarian diberangkatkan pukul 10.00 WIT. Sejak dioperasikan, jumlah muatan pada lintasan ini terus mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Namun demikian, posisi strategis Pelabuhan Kamarian belum didukung oleh fasilitas Pelabuhan yang memadai agar mampu memberikan pelayanan yang cukup dan aman untuk penumpang, serta bersih dan terpelihara dengan baik. Itu sebabnya, Pelabuhan Kamarian perlu dikembangkan melalui suatu proses perencanaan yang komprehensif.

Pengembangan Pelabuhan meliputi sisi darat berupa infrastruktur gedung terminal dan lapangan parkir kendaraan, serta pada sisi laut berupa dermaga dan kolam labuh yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan fasilitas di masa yang akan datang. Berikutnya adalah desain tata letaknya agar dapat memberikan kenyamanan dan kelancaran proses bongkar/muat. Diharapkan dengan penyediaan fasilitas pelabuhan yang memadai, maka sektor transportasi laut dapat berjalan lancar, mendukung aktivitas perekonomian masyarakat, sehingga dapat berkontribusi positif bagi pembangunan daerah.

Pengembangan pelayaran rakyat disatu sisi merupakan keharusan demi menjamin kemanfaatannya bagi masyarakat, namun disisi lain pengembangannya membutuhkan investasi dan dukungan informasi tentang arahan pengembangan, terutama penentuan lokasi dan kapasitas setiap fasilitas agar supaya sesuai dengan kebutuhan riil. Sehingga, penelitian bertujuan untuk menganalisis kebutuhan fasilitas Pelabuhan Kamarian untuk mendukung pelayaran rakyat di Kabupaten Seram Bagian Barat.

Penelitian tentang pengembangan fasilitas pelabuhan sebelumnya telah dilakukan untuk Pelabuhan Sorong di Kota Sorong [6], Pelabuhan Tanjung Sauh di Batam [7], Pelabuhan Calabai di NTT [8], dan PPN Pantai Sadeng di Gunung Kidul [9]. Adapun fasilitas yang dievaluasi untuk dikembangkan meliputi dermaga [7, 8, 10, 11], lapangan parkir [12]; tata letak [7, 13]; dan pola operasional [14, 15]. Selain itu, jenis pelabuhan pun beragam, seperti pelabuhan penumpang [6, 11], pelabuhan wisata [16], pelabuhan penyeberangan [14], pelabuhan perikanan [13, 9], pelabuhan peti kemas [7], serta pelabuhan rakyat [12, 17, 10].

Pelayaran rakyat merupakan usaha rakyat yang bersifat tradisional dan mempunyai karakteristik tersendiri untuk melaksanakan angkutan di perairan dengan menggunakan kapal layar, kapal layar bermotor, atau kapal motor sederhana berbendera Indonesia dengan ukuran tertentu [3]. Pelayaran rakyat memerlukan dukungan sejumlah infrastruktur terutama pelabuhan. Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan dan sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan Pemerintahan dan kegiatan layanan jasa. Menurut Gurning dan Budiyanto dalam Putra Fungsi utama pelabuhan adalah tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi [18].

Fungsi utama dari pelabuhan laut adalah perpindahan muatan. Terdapat sejumlah fasilitas di pelabuhan untuk mendukung keperluan kegiatan kapal, antara lain alur pelayaran untuk keluar masuk kapal dari dan ke pelabuhan, peralatan tambat, kegiatan bongkar muat dermaga, pengecekan barang, pergudangan, penyediaan jaringan transportasi lokal di kawasan pelabuhan [19].

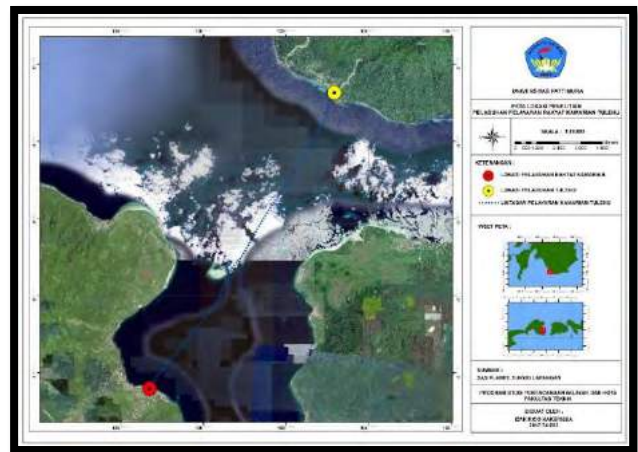
Pelabuhan dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada sudut tinjauannya, yaitu dari segi penyelenggaraannya, pengusahaannya, fungsi dalam perdagangan nasional dan internasional, segi kegunaan dan

letak geografisnya [6]. Beberapa infrastruktur penting di Pelabuhan adalah terminal. Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaikkan-turunkan penumpang [6]. Sedangkan, terminal berfungsi untuk menjadi tempat tunggu penumpang ketika kapal belum merapat ke dermaga [19].

2. METODE

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Mei 2023 di Pelabuhan Tulehu yang terletak di Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Posisi Pelabuhan Tulehu terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah penumpang Kapal Cepat dan Kapal Ferry yang melintasi rute Tulehu-Amahai. Sedangkan sampel penelitian ditentukan sebanyak 100 responden, terdiri dari 50 responden Kapal Cepat dan 50 responden Kapal Ferry.

2.3. Metode Analisis Data

Metode regresi linear, digunakan untuk mengetahui tingkat pertumbuhan muatan pada Pelabuhan Kamarian. Persamaan regresi linear terdapat pada persamaan 1.

$$Y = a + bx + e \dots\dots\dots (1)$$

Metode Standar Pelayanan Pelabuhan, digunakan untuk memprediksi tingkat kebutuhan infrastruktur pada Pelabuhan Kamarian untuk mendukung pelayaran rakyat di Kabupaten Seram Bagian Barat. Persamaan untuk menghitung ukuran kapasitas masing-masing fasilitas, adalah sebagai berikut: Kebutuhan dermaga adalah, sebagai berikut:

$$\text{Elevasi Dermaga} = \text{HWS} + \text{Tinggi jagaan} \dots (2)$$

dimana:

- HWS = elevasi muka air tertinggi (m)
- Tinggi Jagaan = 0,3 – 1,0 (m)
- Elevasi dermaga = 1,5 + 0,3 = 1,8 (m)

$$L \geq 1,3 * LOA \dots (3)$$

dimana:

- L = panjang dermaga (m),
- LOA = panjang kapal (m).

Kebutuhan alur pelayaran, adalah sebagai berikut:

$$D \geq 1,1 * d \dots (4)$$

dimana:

- D = kedalaman alur (m),
- d = draft kapal (m).

sehingga:

- D = $\geq 1,1 * d$
- = $\geq 1,1 * 1,5$
- D = 1,65 m

dimana:

- Lebar 1 arah = 4,8 * B atau
- Lebar 2 arah = 7,6 * B

dimana:

- B = lebar kapal (m).

Kebutuhan kolam putar dan fasilitas tambat, adalah sebagai berikut:

$$ATR = \pi * (1,5 * LOA)^2 \dots (5)$$

dimana:

- ATR = area kolam putar (m²),
- LOA = panjang kapal (m).

Areal tambat, adalah

$$AT = n * (1,5 * L) * (\frac{4}{3} * B) \dots (6)$$

dimana:

- AT = area tambat (m²),
- L = panjang kapal (m),
- B = lebar kapal (m),
- n = jumlah kolam putar.

Kebutuhan gedung terminal adalah, sebagai berikut:

$$A = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 \dots (7)$$

dimana:

- A = Luasan Total gedung (m²)
- a1 = Luas area tunggu (a.n.N.x.y)
- a2 = Luas kantin/kios (15%*a1)
- a3 = Luas ruang administrasi (15%*a1)
- a4 = Luas ruang utilitas [25%*(a1+a2+a3)]
- a5 = Luas ruang publik [10*(a1+a1+a2+a3)]

- a = Luas ruang untuk satu orang (1,2 m²/orang)

- n = Jumlah penumpang dalam satu kapal

- N = Jumlah kapal datang/berangkat pada saat bersamaan pada saat yang bersamaan

- X = Rasio kosentrasi (1,0 – 1,6)

- Y = Rasio rata-rata fluktuasi (1,2)

dimana:

$$a1 = (a*n*N*x*y) \dots (8)$$

$$a2 = 15\% a1 \dots (9)$$

$$a3 = 15\% a1 \dots (10)$$

$$a4 = 25\% (a1 + a2 + a3) \dots (11)$$

$$a5 = 10\% (a1 + a2 + a3 + a4) \dots (12)$$

Perhitungan kebutuhan luas areal parkir kendaraan pengantar dan penjemput adalah, sebagai berikut:

$$A = a*n1*N*x*y*z*1/n^2 \dots (13)$$

dimana:

- A = Luas lapangan parkir dalam m²

- a = 25 m² (kendaraan penumpang)

- n1 = 40 penumpang (penumpang kapal terbanyak)

- n = 1; x = 0,8; y = 1,2; z = 0,8

- n2 = rata-rata 8 orang/kendaraan

Metode *Activity Relationship Chart (ARC)*, digunakan untuk mendesain tata letak (*layout*) pengembangan infrastruktur Pelabuhan Kamarian untuk mendukung pelayaran rakyat di Kabupaten Seram Bagian Barat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Eksisting Pelabuhan

Pelayaran Rakyat di Negeri Kamarian telah beroperasi kurang lebih 5 tahun untuk angkutan rakyat (*speedboat*) menuju ke Pelabuhan Tulehu di Pulau Ambon. Pengusahaan pelayaran rakyat dilakukan oleh masyarakat setempat (Kamarian) dengan mengoperasikan 2 armada kapal (*speedboat*), yaitu: (1) KM. Oyo; dan (2) KM. Heubers Star. Pemilik KM. Oyo membangun areal Pelabuhan di kawasan Pantai Oyo, sebelah timur Negeri Kamarian. Sedangkan Pemilik KM. Heubers membangun areal Pelabuhan di Pantai Mange-Mange, di kawasan pusat pemukiman Negeri Kamarian.

Waktu operasional pelabuhan adalah 6 jam sehari, yaitu sejak pukul 06.00 WIT sampai pukul 12.00 WIT. Waktu keberangkatan dari Pelabuhan Mange-Mange dan Pelabuhan Oyo adalah pukul 07.00 WIT, dan waktu kembali dari Pelabuhan Tulehu adalah Pukul 10.00 WIT. Waktu tempuh atau waktu pelayaran sekitar ± 45 menit. Adapun tarif

muatan penumpang adalah sebesar Rp. 30.000,00 per orang, sedangkan tarif bagasi disesuaikan dengan ukuran besar-kecil atau banyak-sedikit barang.

3.2. Fasilitas Pelabuhan Oyo

Ruang tunggu penumpang merupakan bangunan gedung yang terbuat dari bahan kayu dan atas senk berukuran 16 m² dengan kapasitas tampung mencapai 20 orang. Area parkir antar/jemput penumpang pada Pelabuhan Oyo memiliki luas ±30 m², yang memanfaatkan bahu jalan Trans Seram. Ruang untuk tempat pembelian tiket atau karcis dibangun dengan bahan kayu dan atap senk dengan luas 4 m², terletak disamping ruang tunggu. Bangunan toilet di Pelabuhan Oyo terdapat di sebelah timur Pelabuhan, ukuran 4 m² dengan konstruksi permanen, namun kondisinya mengalami rusak berat dan tidak lagi dapat difungsikan. Fasilitas dermaga pada Pelabuhan Oyo dibangun dengan konstruksi kayu dengan ukuran panjang 80 meter dan lebar 2 meter. Saat ini, kondisi dermaga telah mengalami kerapuhan pada beberapa bagian.

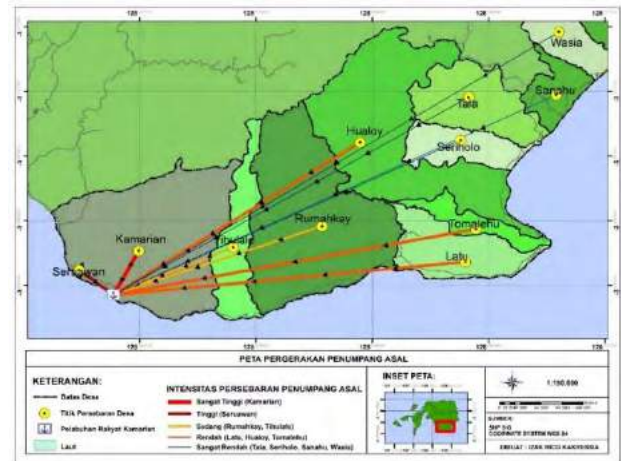
3.3. Fasilitas Pelabuhan Mange-Mange

Pelabuhan Mange-Mange terdapat di daerah pemukiman penduduk dan memanfaatkan pekarangan pemilik kapal (*speedboat*). Lokasi ini tidak memiliki dermaga. Ketiadaan dermaga menyebabkan proses bongkar/muat penumpang dan barang dilakukan di tepi pantai. Bila proses bongkar/muat saat air laut surut, maka muatan mesti diangkut oleh penumpang atau buruh bagasi sejauh sekitar ±100 meter.

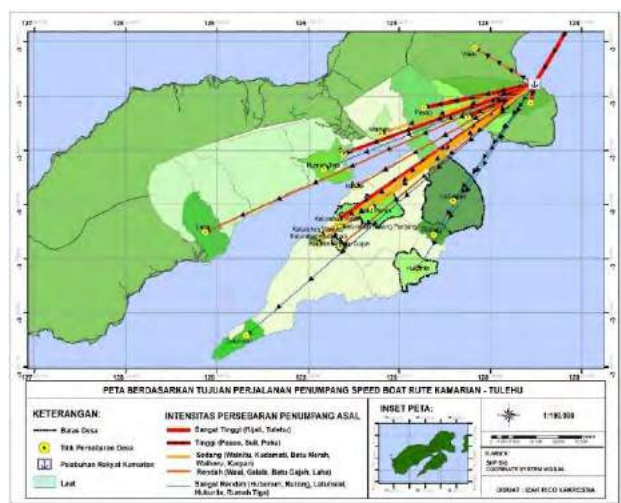
Bangunan untuk ruang tunggu penumpang dibangun dengan bahan kayu dan atap senk, memiliki luas 12 m², dengan kapasitas tampung mencapai 15 orang. Areal parkir kendaraan mempunyai luas area 40 m², memanfaatkan lahan pekarangan pemilik kapal.

3.4. Asal – Tujuan Perjalanan

Pergerakan penumpang dari Pulau Seram menuju ke Pulau Ambon melalui Pelabuhan Kamarian dapat dipetakan berdasarkan asal-tujuan perjalanan sebagaimana terdapat pada Gambar 2a dan Gambar 2b.



Gambar 2a. Peta asal perjalanan



Gambar 2b. Peta tujuan perjalanan

3.5. Peramalan Pertumbuhan Muatan

Peramalan muatan pada rute pelayaran Kamarian-Tulehu dapat diketahui berdasarkan jumlah pergerakan (bongkar/muat) penumpang, kendaraan roda-2 dan bongkar/muat barang tahun 2017 – 2021 yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Bongkar/Muat Pada Pelabuhan Rakyat Kamarian 2017-2021

Tahun	Muatan			
	PNP Brkt (orang)	PNP Dtg (orang)	Barang (ton)	R2 (unit)
2017	5.875	4.800	365	144
2018	6.985	5.184	350	140
2019	5.748	5.520	257	97
2020	7.215	6.384	365	144
2021	7.980	6.672	360	139

Sumber: Pengelola Pelabuhan Rakyat Kamarian

Berdasarkan nilai bongkar/muat diatas, maka dapat dilakukan peramalan nilai bongkar/muat untuk beberapa tahun yang akan datang. Peramalan dilakukan menggunakan metode Kuadrat Terkecil (*Least Square Method*) dengan bantuan program *Microsoft Office Excel 2013*. Penggunaan metode *Least square* sering digunakan untuk perhitungan peramalan moda transportasi yang cenderung menggunakan jangka waktu pendek (5 tahun), hal ini dikarenakan kondisi transportasi yang sulit ditebak dan sering berubah-ubah, mengakibatkan terjadi ketidakakuratan dalam analisis jika dilakukan dalam jangka waktu yang panjang. Tabel 2 menyajikan model persamaan, sedangkan Tabel 3 menyajikan nilai hasil peramalan.

Tabel 2. Model peramalan muatan

Muatan	Model Peramalan	R^2
PNP Brkt	$Y = 5.428,6 + 444$	0,5548
PNP Dtg	$Y = 4.228,8 + 494,4$	0,9697
Barang	$Y = 337,9 + 0,5$	0,0003
R-2	$Y = 134 + 0,6$	0,0022

Tabel 3. Nilai peramalan muatan

Tahun	Muatan			
	PNP Brkt (orang)	PNP Dtg (orang)	Barang (ton)	R-2 (unit)
2022	5.873	4.723	1.015	135
2023	11.745	9.446	1.353	270
2024	17.618	14.170	1.692	406
2025	23.490	18.893	2.030	541
2026	29.363	23.616	2.368	676

Data yang di sajikan pada tabel 3 menunjukkan bahwa jumlah muatan yang melakukan bongkar/muat pada Pelabuhan Rakyat Kamarian mengalami pertumbuhan sebesar 5,5% pertahun pada penumpang berangkat, 2,8% pada penumpang datang, 1,3% pada barang dan 1,2% pada muatan kendaraan roda-2. Berdasarkan data tersebut, dengan beroperasinya 2 unit kapal, maka diperkirakan pada tahun 2026, masing-masing kapa akan mengangkut 47 orang penumpang pergi, 38 orang penumpang datang, 3,8 ton barang dan 1 unit kendaraan roda-2.

3.6. Analisis Kebutuhan Fasilitas Pelabuhan

Kebutuhan fasilitas pada Pelabuhan Kamarian dihitung berdasarkan jumlah muatan yang akan dilayani menurut estimasi atau hasil peramalan hingga lima tahun mendatang, dengan menerapkan persamaan 2 – 13. Adapun kebutuhan dermaga dan fasilitas pada ruang perairan disesuaikan dengan

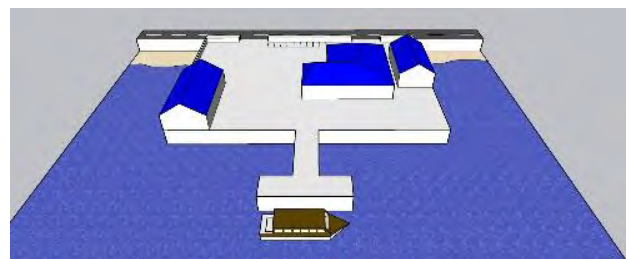
ukuran kapal eksisting. Adapun ukuran kapasitas masing-masing fasilitas terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Ukuran fasilitas pelabuhan

No.	Jenis Fasilitas	Ukuran
1	Dermaga (L)	32,50 m
2	Alur pelayaran (D)	1,65 m
3	Kolam putar (ATR)	60 m ²
4	Areal tambat (AT)	75 m ²
5	Gedung terminal (A)	206 m ²
6	Areal parkir (B)	96 m ²

3.7. Desain Pengembangan

Berdasarkan karakteristik dengan pemanfaatan luasan area kurang lebih $\pm 206 \text{ m}^2$ maka peneliti merekomendasikan rencana pengembangan lokasi pelabuhan bertujuan agar kondisi pelabuhan lebih efisien dan memadai. Pelabuhan rakyat Kamarian pada gambar ini di bagi beberapa zonasi sesuai dengan fungsi masing-masing dimana zonasi A1 adalah loket dan parkir kendaraan dan hanya di peruntukan bagi pengantar/penjemput penumpang, zona A2 adalah ruang tunggu dan hanya diperuntukan bagi calon penumpang, zona B merupakan area pelabuhan untuk keamanan dan keselamatan fasilitas penting lainnya.



Gambar 3. Konsep desain kawasan

3.8. Diskusi

Pelabuhan Rakyat Kamarian ditinjau dari infrastruktur dan kondisi fisik pelabuhan yang terlihat masih banyak kekurangan hampir disetiap elemen-elemen pendukung yang seharusnya diperhatikan dan diupayakan ada dan dilengkapi.

Elemen pendukung yang merupakan fasilitas pada ruang darat dan ruang perairan. Pada ruang perairan perlu di sediakan gedung terminal, ruang tunggu serta lahan parkir yang harus ada dan di siapkan pada pelabuhan Rakyat kamarian. Penyediaan penentuan jalur pintu masuk dan keluar sebagai akses masuk keluar kendaraan antar dan jemput penumpang. Pada ruang perairan perlu disediakan dermaga yang layak dan aman bagi penumpang yang akan menaiki *speedboat*, perlu juga penyediaan alur pelayaran, alur pelayaran

digunakan untuk mengarahkan *speedboat* menuju ke arah dermaga dengan baik untuk bersandar pada dermaga, penyediaan area tambat dan kolam putar pada area perairan.

Pertumbuhan muatan diperkirakan akan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Peningkatan ini dikarenakan oleh animo minat masyarakat yang begitu tinggi baik dari masyarakat negeri Kamarian sendiri, maupun masyarakat dari desa/negeri yang ada di wilayah Kecamatan Kairatu, Amalatu, dan Elpaputih, Kabupaten Seram Bagian Barat. Diketahui bahwa maksud perjalanan dari para penumpang antara lain untuk kepentingan sosial, berdagang, berbelanja, kegiatan kampus, serta rekreasi.

Kebutuhan infrastruktur pelabuhan pada tahun 2026 berdasarkan data peramalan. Kebutuhan fasilitas pokok yang ada pada pelabuhan rakyat Kamarian, setelah dilakukan perhitungan untuk kapasitas yang ada baik kebutuhan fasilitas pada bagian perairan maupun bagian darat dapat di jelaskan kebutuhan pada ruang perairan seperti kebutuhan akan dermaga dengan panjang dermaga yang di dapat untuk (2 unit *speedboat*) ukuran 32,50 m dan lebar 4 m. Alur pelayaran hasil yang di dapat 1,6 m, area kolam putar hasil yang di dapatkan 60 m² untuk area tambat 75 m².

Untuk kapasitas darat luasan total area terminal pada pelabuhan total luasan 206 m², bagi ruang tunggu dengan luas 115,2 m², luasan untuk area kantin/kios dengan luasan 17,28 m², ruang administrasi dengan luasan 17,28 m², ruang utilitas dengan luasan 37,44 m² dan ruang publik dengan luasan 18, 72 m². Area penyediaan ruang parkir pengantar jemput dengan luasan 96 m² fasilitas yang di sebutkan ini sangatlah penting untuk kelancaran aktivitas kinerja pada pelabuhan.

Dengan kenaikan kebutuhan infrastruktur yang ada pada pelabuhan rakyat Kamarian melalui hasil peramalan pada tahun 2026 diketahui bahwa untuk daya tampung yang ada tidak memadai sehingga perlu dilakukan pengembangan dengan terlebih dahulu menentukan lokasi yang tepat. Pengembangan dan rencana lokasi dimaksud ini agar operasional pelabuhan dapat berjalan efektif dan efisien.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa tingkat pelayanan fasilitas Pelabuhan Kamarian saat ini kurang memadai, sementara Pertumbuhan muatan pada mencapai 5,5% pertahun pada penumpang berangkat, 2,8% pada penumpang datang, 1,3% pada barang dan 1,2% pada kendaraan roda-2.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka setelah dilakukan peramalan hingga 6 tahun mendatang, dibutuhkan sejumlah fasilitas pelabuhan, masing-masing: (a) Dermaga ukuran 32,50 m; (b) Areal parkir seluas 96 m²; dan (c) Gedung terminal seluas 206 m². Pengembangan fasilitas tersebut mengikuti desain tata letak (*layout*) pengembangan kawasan untuk mengoptimalkan pelayanan kinerja pelabuhan. Dengan demikian, penyediaan fasilitas pelabuhan yang memadai akan berperan mendukung keberlangsungan pelayaran rakyat di Maluku.

Temuan ini dapat menjadi *input* bagi Pemerintah Kabupaten Seram Bagian Barat untuk pengembangan Pelabuhan Rakyat Kamarian serta pemilik kapal dalam penentuan pola operasional dan kebijakan pengembangan moda sesuai dengan karakteristik perjalanan penumpang antar-pulau. Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk lokasi yang berbeda dan perhatiannya pada aspek keselamatan pelayaran rakyat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kadarisman, M., Yuliantiny, dan Majid, S. A. (2016), *Formulasi Kebijakan Sistem Transportasi Laut*, Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik, Vol. 03 No. 2, pp 161 – 183.
- [2] <https://hubla.dephub.go.id>, diakses 07 Juli 2023 pukul 15.06 WIT.
- [3] Undang – Undang RI No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran.
- [4] Peraturan Pemerintah RI No. 20 Tahun 2010 tentang Angkutan di Perairan.
- [5] Mandaku, H. (2010), *Analisis Kebutuhan Transportasi Penyeberangan Pada Lintasan Waipirit – Hunimua*, Jurnal Arika Vol. 04 No. 2, pp 135 – 142.
- [6] Solossa, A. Y., dkk. (2013), *Perencanaan Pengembangan Pelabuhan Laut Sorong di Kota Sorong*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 1 No. 10, pp 645 – 652.
- [7] Syahputri, R. A. Dan Salim, H. *Perencanaan Layout dan Tipe Dermaga Pelabuhan Peti Kemas Tanjung Sauh, Batam*.
- [8] Sudjasta, B., Hatuwe, M. R., dan Riswansyah, F. (2022), *Perencanaan Dermaga Kapal Pengangkut Ternak Pada Pelabuhan Calabai, Nusa Tenggara Barat*, Jurnal Civil Engineering Collaboration, Vol. 7 No. 2, pp 87 – 95.
- [9] Salim, Wibowo, W., dan Pratama, W. (2021), *Studi Pengembangan Fasilitas Pelabuhan Perikanan Pantai Sadeng, Girisubo, Gunung Kidul*, Majalah Ilmiah Gema Maritim, Vol. 23 No. 1, pp 15 – 19.

- [10] Albasri, E. S. Rusmin, M., dan Butudoka, M. A. (2022), *Analisis Kinerja Dermaga Terhadap Pertumbuhan Pengguna Jasa Transportasi Laut di Pelabuhan Rakyat Kota Sorong*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil: JIMATS, Vol. 1 No. 1, pp 24 – 28.
- [11] Zurkiyah dan Asfiati, S. (2021), *Analisis Tingkat Pelayanan Dermaga Pelabuhan Penumpang Teluk Nibung Asahan, Tanjung Balai Sumatera Utara*, Prosiding SEMNASTEK UISU, pp 248 – 252.
- [12] Susilawati, S. dan Malumpe, R. (2021), *Analisis Kapasitas Parkir Pada Pelabuhan Rakyat Luwuk*, SIPARSTIKA: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik, Vol. 01 No. 01, pp 1 – 8.
- [13] Saniyah, A. A., Boesono, H., dan Kurohman, F. (2020), *Evaluasi Tata Letak Fasilitas Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Klidang Lor Kabupaten Batang*, Journal of Fisheries Resources Utilization Management and Technology, Vol. 9 No. 2, pp 14 – 23.
- [14] Sodik, A. M., Mustakim, A. dan Wuryaningrum, P. (2019), *Analisis Perencanaan Pola Operasi Kapal Penyeberangan: Studi Kasus Pelabuhan Ujung Kamal*, Jurnal Teknik ITS, Vol. 8 No. 1, pp E-100 – E104.
- [15] Hariyami, D., Indradewi, D., dan Muntu, N. J. (2023), *Evaluasi Pola Pergerakan Penumpang Dengan Moda Transportasi Air*, SIPARSTIKA: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik, Vol. 02 No. 02, pp 61 – 71.
- [16] Habibi, M. R., Fadillah, A., dan Manullang, S. (2019), *Desain Pelabuhan Wisata Modern di Kepulauan Raja Ampat: Studi Kasus di Kota Waisai*, Jurnal Penelitian Transportasi Laut, Vol. 21, pp 61 – 70.
- [17] Sutini (2020), *Penataan Sistem Pelabuhan Rakyat di Pelabuhan Tambak Lorok Semarang*, Jurnal Dinamika Bahari, Vol. 01 No. 02, pp 122 – 128.
- [18] Putra, A. A. dan Djalante, S. (2016), *Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*, Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol. 6 No. 1, pp 433 – 443.
- [19] Triatmodjo, B. (2010), *Perencanaan Pelabuhan*, Penerbit Beta Offset Edisi pertama, Yogyakarta.

ANALISIS PENERAPAN KONSEP *BUILDING INFORMATION MODELLING* PADA PROYEK GEDUNG POLTEKKES KEMENKES, MALUKU

Andi Rizky Vanath¹, C. G. Buyang² dan, Fauzan A. Sangadji³

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

E-mail: andirama278@gmail.com

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

E-mail: christ.gery@gmail.com

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

E-mail: fauzan.sangadji@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Proses *quantity takeoff* material atau perhitungan volume pekerjaan merupakan proses yang dilakukan untuk mendapatkan estimasi biaya material dalam sebuah proyek konstruksi. Proses *quantity takeoff* material yang dikerjakan secara manual seringkali menimbulkan kesalahan – kesalahan *human error* seperti kesalahan pembacaan gambar, penginputan data, dll, serta memakan waktu dalam pengerjaannya. Selain itu perubahan pada design yang sering kali berubah – ubah mengikuti kondisi di lapangan memakan banyak waktu apabila dilakukan secara manual. BIM mengubah seluruh konsep design, seluruh informasi konstruksi berupa gambar, estimasi biaya, dll dapat saling terkait/terintegrasi. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan data *Detailed Engineering Design* menggunakan *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)* yang didapatkan dari konsultan perencana pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui selisih *total cost* material menggunakan metode konvensional/manual dengan metode BIM, serta mengetahui perbedaan pengerjaan design berbasis CAD dan berbasis BIM pada pekerjaan struktur dan arsitektur. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya selisih *total cost* material menggunakan metode konvensional/manual dan metode BIM, pada pekerjaan struktur diperoleh selisih sebesar 10,4 % dan pada pekerjaan arsitektur diperoleh selisih sebesar 5,4 %. Penggunaan *Software* berbasis BIM dalam pengerjaan design dapat mempermudah pengerjaan karena seluruh proses pengerjaan design saling terintegrasi sehingga lebih menghemat waktu dibandingkan dengan pengerjaan design menggunakan CAD yang dilakukan secara terpisah dalam pengerjaannya.

Kata kunci: BIM, CAD, Revit, dan *Total cost*

Abstract. *The process of quantity take-off material or the calculation of the volume of work is a process carried out to obtain an estimate of the cost of materials in a construction project. The process of quantity take-off material that is done manually often causes human errors such as errors in reading drawings, inputting data, etc., and takes time to process. In addition, changes to the design which often change according to conditions in the field take a lot of time when done manually. BIM changes all design concepts, all construction information in the form of drawings, cost estimates, etc. can be interrelated/integrated. This research was conducted by modeling Detailed Engineering Design data using the Autodesk Revit2021 (Student Version) Software obtained from a planning consultant on the Permanent Education Building Construction Project of the Health Polytechnic of the Ministry of Health, Maluku. This study aims to determine the difference in the total cost of materials using conventional/manual methods with the BIM method, as well as knowing the differences in CAD-based and BIM-based design work on structural and architectural work. The results of this study indicate that there is a difference in the total cost of materials using the conventional/manual method and the BIM method, for structural work a difference of 10.4% is obtained and for architectural work a difference of 5.4%. Using BIM-based Software in design work can make work easier because all design work processes are integrated with*

each other so that it saves more time compared to design work using CAD which is done separately in the process. Keywords: Building Information Modelling, CAD, Quantity takeoff, Revit, dan Total cost

Keywords: BIM, CAD, Revit, and Total cost cost

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi di Indonesia merupakan salah satu industri yang berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir, hal ini terbukti dari banyaknya proyek yang berjalan, baik proyek gedung maupun jalan dan jembatan maupun infrastruktur lainnya. Kegiatan konstruksi berkembang pesat mengakibatkan kompleksitas manajemen proyek yang tinggi, hal ini menuntut pihak penyedia jasa konstruksi bekerja lebih efektif dan efisien dari segi biaya, mutu dan waktu [1].

Dalam suatu proses konstruksi *quantity takeoff* material (QTO) merupakan tahapan yang dilalui dimana elemen bangunan dihitung yang kemudian hasil perhitungan tersebut digunakan untuk estimasi biaya konstruksi [2]. Nilai suatu proyek konstruksi sangat dipengaruhi oleh keakuratan hasil perhitungan QTO, sehingga apabila terdapat kesalahan saat QTO maka dapat menyebabkan kerugian pada proyek [3]. Untuk menghasilkan perhitungan QTO yang baik, estimator harus memahami gambar desain yang definitif. Gambar tersebut meliputi gambar denah, potongan, detail, hingga model struktur 3D lainnya [4].

Umumnya metode yang digunakan untuk menghitung QTO dalam estimasi biaya masih berbasis konvensional yaitu dilakukan dengan menghitung secara manual menggunakan Microsoft Excel dan AutoCAD berdasarkan gambar shop drawing dan spesifikasi teknis lainnya [5]. Proses QTO yang dikerjakan secara manual seringkali menimbulkan kesalahan – kesalahan human error seperti kesalahan pembacaan gambar, penginputan data, dll, serta memakan waktu dalam pengerjaannya hal ini disebabkan karena ketidaktepatan estimator dalam proses perhitungan QTO serta dipengaruhi tingkat kompleksitas bangunan yang akan dibangun [6]. Proses QTO yang dikerjakan secara manual dapat memakan waktu sekitar 50 – 80 % dari seluruh waktu yang digunakan untuk menghitung biaya pelaksanaan proyek [7].

Selain itu permasalahan yang sering timbul adalah revisi pada design yang sering kali berubah-ubah mengikuti kondisi di lapangan, pada pengerjaan design konvensional (manual), seluruh design tidak saling terintegrasi satu dengan yang lain baik itu gambar kerja, QTO, estimasi biaya, dll. Hal

ini tentunya dapat meningkatkan biaya konstruksi dan cenderung memakan waktu yang lama karena perubahan pada tiap – tiap komponen baik itu gambar kerja, *quantity takeoff* material, estimasi biaya, dll, dilakukan secara manual [8].

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi konstruksi, mendorong perencana dan pelaksana jasa konstruksi untuk selalu meningkatkan mutu dan efektivitas pekerjaan konstruksi [9], maka mulai dikembangkan sebuah metode yang berbasis *Building Information Modelling* (BIM). BIM mengubah seluruh konsep perencanaan dengan memperkenalkan suatu proses untuk mengembangkan desain dan dokumentasi konstruksi. Dokumen konstruksi seperti gambar, rincian pengadaan, dan spesifikasi lainnya dapat dengan mudah saling terkait. Perubahan pada satu elemen model secara otomatis akan memperbarui semua informasi yang berkaitan dengan design baik itu gambar kerja, QTO, estimasi biaya, dll [10].

Dalam mendukung dan meningkatkan penggunaan BIM di Indonesia Pada tahun 2021 diterbitkan Peraturan Pemerintah No 16 Tahun 2021, dimana tercantum penggunaan BIM pada konstruksi bangunan wajib digunakan pada konstruksi bangunan yang padat teknologi dan padat modal, dengan klasifikasi bangunan bertingkat menengah sampai super tinggi, wajib menggunakan BIM minimal BIM dimensi kelima [11].

Salah satu jenis *Software* yang sudah berbasis BIM adalah *Autodesk Revit*. *Autodesk Revit* adalah *Software* berbasis BIM oleh *Autodesk* yang berfungsi untuk desain arsitektur, struktur serta *mechanical, electrical* dan *plumbing* (MEP). Dengan menggunakan *Autodesk Revit*, pengguna dapat merancang bangunan dalam pemodelan 3D serta menganalisis QTO secara otomatis [12].

Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui selisih *total cost* material menggunakan metode konvensional/manual dengan metode BIM, serta mengetahui perbedaan pengerjaan design berbasis CAD dan berbasis BIM pada pekerjaan struktur dan arsitektur Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku yang bertempat di Jl. Laksdya Leo Wattimena, Negeri Lama, Kec. Baguala, Kota Ambon, Maluku.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2. Data Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder pada proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku. Data tersebut didapatkan dari konsultan perencana dengan mengajukan surat pengantar permohonan data pada proyek tersebut. Sehingga data yang didapat adalah sebagai berikut:

1. *Detailed Engineering Design* (DED)
2. Rencana Anggaran Biaya (RAB)
3. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

2.3. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur dilakukan dengan mencari referensi jurnal, skripsi atau penelitian terdahulu, buku, dan artikel yang berkaitan mengenai Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan *Building Information Modelling* (BIM).

2. Pengumpulan data

Data yang akan dibutuhkan pada penelitian ini merupakan *Detailed Engineering Design* (DED), Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku. Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari konsultan perencana proyek tersebut.

3. Analisis data

Setelah data-data proyek yang dibutuhkan sudah terkumpul, tahap selanjutnya yaitu menganalisis

data, dengan membagi data informasi proyek sesuai dengan jenis pekerjaan yang dimodelkan. Adapun analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Tahapan pertama yang dilakukan adalah pemodelan menggunakan *Software Autodesk Revit*, dengan mengacu pada gambar *Detailed Engineering Design* (DED) pada pekerjaan struktur dan arsitektur yang diperoleh dari proyek;
- b. Setelah proses pemodelan selesai maka dilakukan *clash detection* pada pemodelan struktur dan arsitektur untuk mengetahui adanya *clash* dalam model yang telah dilakukan dan memperbaiki *clash* tersebut;
- c. Mengeluarkan *quantity takeoff* dan *total cost material* dari hasil dari pemodelan menggunakan konsep *Building Information Modelling* kemudian dibandingkan dengan hasil *quantity takeoff* dan *total cost material* menggunakan metode perhitungan konvensional (manual) yang diperoleh dari proyek.
- d. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)* yang berbasis *Building Information Modelling* kemudian dibandingkan dengan pengerjaan design berbasis CAD yang diperoleh dari proyek.

4. Hasil dan Pembahasan

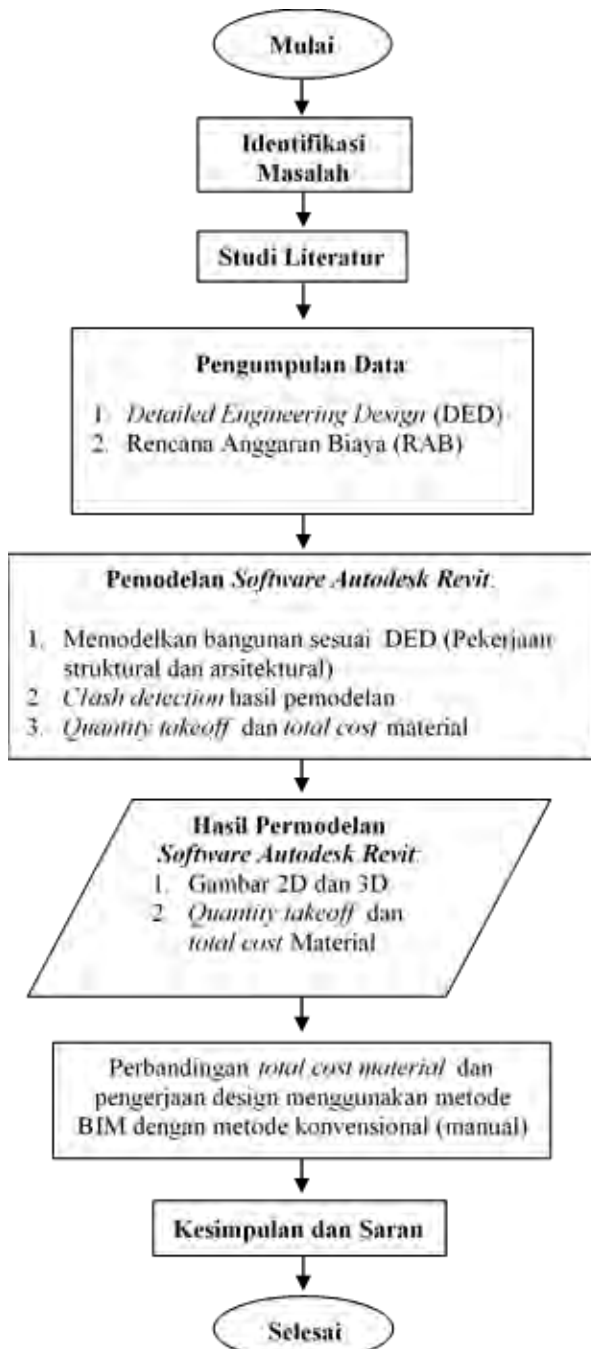
Jika kegiatan penelitian di atas telah dilakukan sesuai dengan tahapan yang ada, maka hasil penelitian dapat disampaikan dan dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah pemodelan dan hasil yang didapatkan.

5. Kesimpulan dan Saran

Setelah hasil penelitian dapat diketahui, maka dilakukan kesimpulan terhadap hasil analisa yang dilakukan pada Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku. Saran yang dituliskan dapat menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik kedepannya.

2.4. Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 2. Diagram alir penelitian

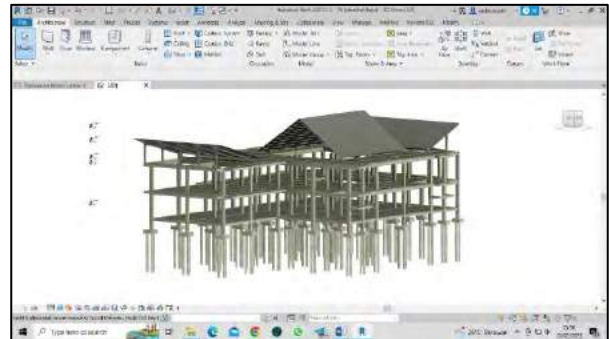
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan memodelkan ulang gambar *Detailed Engineering Design* (DED) struktur dan arsitektur agar diperoleh informasi berupa *quantity takeoff* dan *total cost* material pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku menggunakan konsep *Building Information Modelling*.

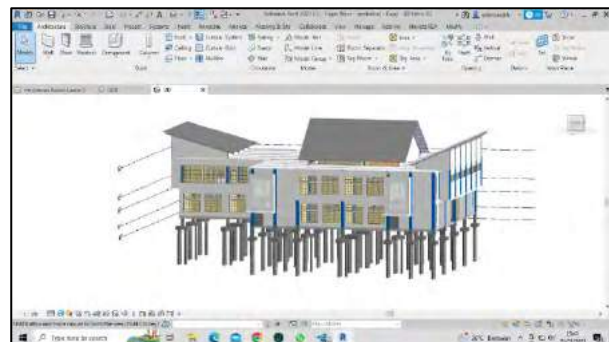
Pemodelan diawali dengan memodelkan elemen struktur berupa pondasi, kolom, balok, pelat lantai,

rangka atap baja beseta pemodelan rebar atau tulangan sesuai dengan *Detailed Engineering Design* (DED) struktur Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku.



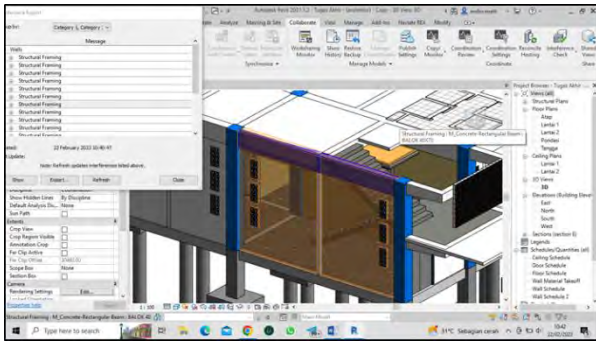
Gambar 3. Hasil akhir pemodelan struktur

Pemodelan struktur selesai dibuat kemudian pemodelan dilanjutkan dengan memodelkan komponen arsitektur berupa pemodelan dinding, keramik, plafond, pintu dan jendela berdasarkan *Detailed Engineering Design* (DED) arsitektur Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku.



Gambar 4. Hasil akhir pemodelan arsitektur

Setelah pemodelan struktur dan arsitektur selesai dibuat selanjutnya dilakukan *clash detection* pada hasil pemodelan. *Clash detection* dilakukan untuk mengetahui adanya *clash* antar komponen pada pemodelan yang telah dibuat baik itu *clash* antar komponen struktur dengan struktur dan komponen struktur dengan arsitektur. Adanya *clash* pada salah satu komponen baik itu komponen struktur ataupun komponen arsitektur dapat mempengaruhi besar kecilnya *quantity takeoff* material yang diperoleh dari pemodelan yang nantinya akan berpengaruh terhadap *total cost* material.



Gambar 5. Clash detection

3.2. Quantity takeoff Material

Berdasarkan hasil pemodelan ulang menggunakan *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)* sesuai *Detailed Engineering Design (DED)* struktur dan arsitektur Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku diperoleh output berupa *quantity takeoff* material. Dalam tabel 1 dan 2 ditampilkan rekapitulasi hasil *quantity takeoff* (volume pekerjaan) pekerjaan struktur dan arsitektur menggunakan metode BIM dan menggunakan metode konvensional/manual yang diperoleh dari BOQ proyek.

Tabel 1. Rekapitulasi *quantity takeoff* material pekerjaan struktur metode BIM dengan metode konvensional

No.	Uraian Pekerjaan	Sat	Quantity takeoff	
			BIM	BOQ
A. Pekerjaan Struktur Pondasi				
	- Material Beton	m ³	210,18	259,89
	- Material Besi	kg	38946,75	43806,86
B. Pekerjaan Struktur Kolom				
	- Material Beton	m ³	122,26	122,26
	- Material Besi	kg	28446,06	29433,90
C. Pekerjaan Struktur Balok				
	- Material Beton	m ³	357,60	380,01
	- Material Besi	kg	66166,97	67442,30
D. Pekerjaan Struktur Pelat Lantai				
	- Material Beton	m ³	332,91	385,57
	- Material Besi	kg	57276,96	66315,61
E. Pekerjaan Struktur Baja				
	- Material Baja	kg	14309,76	19367,47
	- Material Atap	m ²	956,25	956,25

Tabel 2. Rekapitulasi *quantity takeoff* material pekerjaan arsitektur metode BIM dengan metode konvensional

No.	Uraian Pekerjaan	Sat	Quantity takeoff	
			BIM	BOQ
A.	Pekerjaan Pasangan Dan Plesteran	m ²	18185,80	19403,25
B.	Pekerjaan Plafond	m ²	3763,09	3991,96
C.	Pekerjaan Keramik	m ²	2606,46	2745,12
D.	Pekerjaan Pintu Dan Aluminium	m ²	4774,20	4774,20

3.3. Total cost Material

Berdasarkan hasil *quantity takeoff* material menggunakan metode BIM yang sudah dimodelkan sebelumnya, untuk memperoleh *total cost* material diperlukan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) tiap item pekerjaan, kemudian dilakukan perbandingan selisih biaya yang dihasilkan. Dalam tabel 3 dan 4 ditampilkan hasil perbandingan *total cost* pekerjaan struktur dan arsitektur menggunakan metode BIM dan menggunakan metode konvensional/manual yang diperoleh dari BOQ proyek.

Tabel 3. Perbandingan *total cost* material pekerjaan struktur

No	Uraian Pekerjaan	Total cost		Selisih	%
		BIM	BOQ		
A. Pekerjaan Struktur Pondasi					
	- Material Beton	Rp314.263.238	Rp388.590.127	Rp74.326.889	19,1%
	- Material Besi	Rp742.325.055	Rp834.958.752	Rp92.633.697	11,1%
B. Pekerjaan Struktur Kolom					
	- Material Beton	Rp182.804.375	Rp182.804.375	Rp0	0,0%
	- Material Besi	Rp542.181.904	Rp561.010.134	Rp18.828.230	3,4%
C. Pekerjaan Struktur Balok					
	- Material Beton	Rp534.687.096	Rp568.194.752	Rp33.507.656	5,9%
	- Material Besi	Rp1.261.142.448	Rp1.285.450.238	Rp24.307.790	1,9%
D. Pekerjaan Struktur Pelat Lantai					
	- Material Beton	Rp497.774.847	Rp576.508.120	Rp78.733.273	13,7%
	- Material Besi	Rp1.091.698.858	Rp1.263.975.527	Rp172.276.669	13,6%
E. Pekerjaan Struktur Baja					
	- Material Baja	Rp552.499.834	Rp747.778.017	Rp195.278.183	26,1%
	- Material Atap	Rp232.536.094	Rp232.536.094	Rp0	0,0%
	SUB TOTAL	Rp5.951.913.747	Rp6.641.806.134	Rp689.892.387	10,4%

Tabel 4. Perbandingan *total cost* material pekerjaan arsitektur

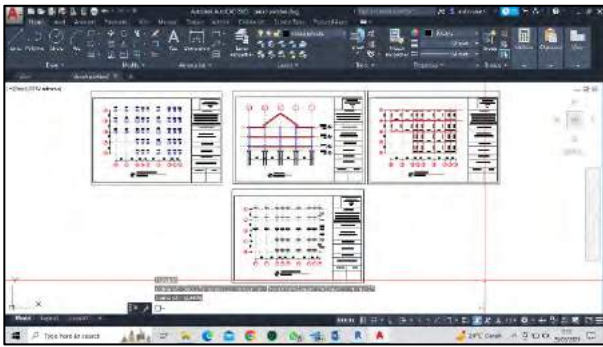
No	Uraian Pekerjaan	Total cost		Selisih	%
		BIM	BOQ		
A. Pekerjaan Pasangan Dan Plesteran					
		Rp1.717.794.296	Rp1.832.792.189	Rp114.997.892	6,30%
B. Pekerjaan Plafond					
		Rp682.162.248	Rp716.916.505	Rp34.754.257	4,80%
C. Pekerjaan Keramik					
		Rp370.167.663	Rp390.305.718	Rp20.138.055	5,20%
D. Pekerjaan Pintu Dan Aluminium					
		Rp189.878.374	Rp189.878.374	Rp0	0,00%
	SUB TOTAL	Rp2.960.002.582	Rp3.129.892.786	Rp169.890.204	5,40%

3.4. Perbandingan Revit Dengan CAD Dalam Pengerjaan Design dan Dokumentasi Proyek

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan program bantu *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)*, dilakukan perbandingan antara pemodelan Revit dengan CAD dalam pengerjaan desain dan dokumentasi pada proyek pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku. Adapun perbedaannya sebagai berikut: Adapun perbedaannya sebagai berikut:

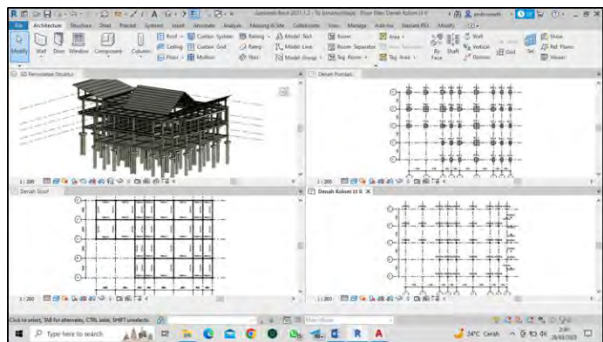
1. Koordinasi gambar

Perbedaan antara CAD dengan Revit adalah, CAD sebagai alat penyusunan, yang mewakili komponen proyek secara geometris, sementara Revit adalah alat pemodelan, di mana setiap komponen bangunan diidentifikasi oleh fungsinya. Pada gambar 6 dibawah dijelaskan tampilan CAD 2D yang tidak terintegrasi dengan gambar lainnya.



Gambar 6. Koordinasi gambar pada CAD

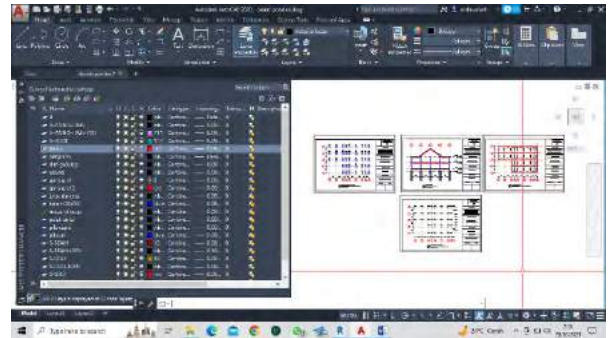
Pada gambar 7 dibawah ditampilkan pemodelan menggunakan Revit yang dimana seluruh gambar saling terintegrasi pada model bangunan. Keuntungan koordinasi gambar pada Revit dibandingkan CAD yaitu apabila terjadi perubahan pada model, maka gambar yang lain juga akan berubah.



Gambar 7. Koordinasi gambar pada Revit

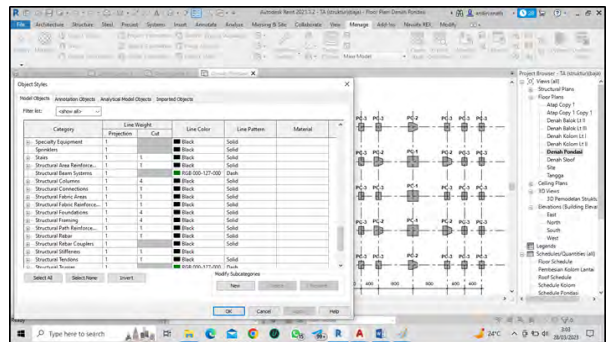
2. Pengelompokan material

Pada gambar 8 dibawah dijelaskan tampilan CAD 2D Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku, pada proses pengerjaan design menggunakan CAD pengelompokan material berdasarkan layer yang digunakan, penggunaan layer dilakukan untuk mempermudah pengelompokan garis yang digunakan dan representasi material yang digunakan.



Gambar 8. Pengelompokan material pada CAD

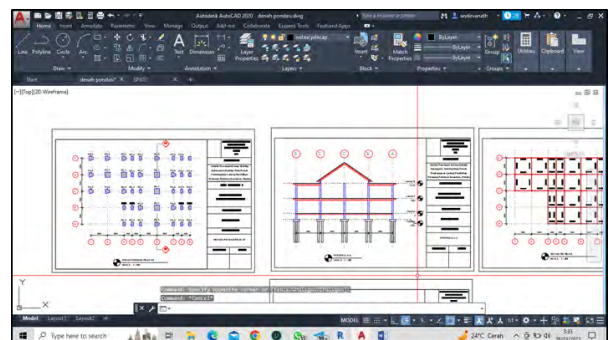
Pada gambar 9 dibawah ditampilkan pemodelan menggunakan Revit yang dimana setiap komponen dikelompokkan berdasarkan family dan object stylenya masing – masing.



Gambar 9. Pengelompokan material pada Revit

3. Produksi gambar

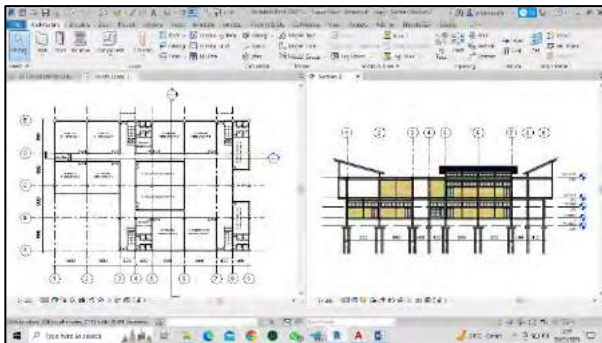
Pada gambar 10 dibawah dijelaskan tampilan CAD 2D Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku, karena masih berbasis gambar 2D, proses penggambaran masih dilakukan secara terpisah, misalnya untuk gambar potongan hanya bisa dilakukan pada bagian gedung tertentu saja hal ini dikarenakan proses penggambaran yang memakan banyak waktu.



Gambar 10. Produksi gambar pada CAD

Adapun pada gambar 11 dibawah ditampilkan pemodelan menggunakan Revit, karena sudah berbasis gambar 3D sehingga proses produksi gambar dilakukan dengan lebih cepat, misalnya untuk gambar potongan bisa dengan bebas dibuat

dimana saja pada model yaitu dengan meletakkan garis section maka gambar potongan dan tampak bisa langsung tercetak.



Gambar 11. Produksi gambar pada Revit

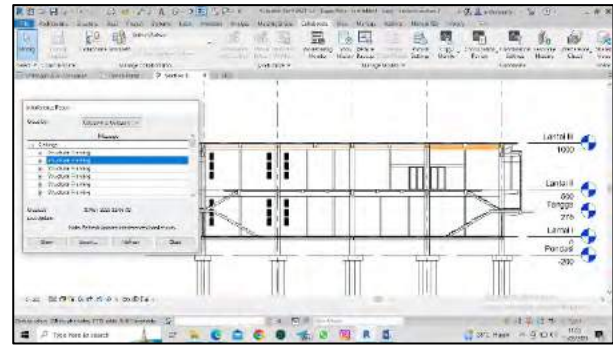
4. Deteksi kesalahan pada gambar (*Clash Detection*)

Pada gambar 12 dibawah dijelaskan tampilan CAD 2D Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku, dimana terdapat kesalahan penginputan notasi elevasi plafond (*ceiling*) yang bersinggungan dengan balok diatasnya. Kesalahan tersebut umum terjadi pada pengerjaan design berbasis CAD 2D dikarenakan proses penginputan notasi dilakukan secara manual sehingga apabila terdapat kesalahan pada gambar tidak dapat terdeteksi diawal.



Gambar 12. Kesalahan pada gambar CAD

Adapun pada Revit terdapat fitur *clash detection* dimana fitur tersebut berfungsi untuk mengetahui adanya *clash*/ketidaksesuaian antar gambar/model yang dibuat, sehingga apabila terdapat *clash* dapat langsung dilakukan revisi pada model saat itu juga. Pada gambar 10 ditampilkan hasil pemodelan berdasarkan *Detail Engineering Design (DED)* yang diperoleh dari proyek, ditemukan adanya *clash* pada antara plafond (*ceiling*) dengan balok pada Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku.



Gambar 13. Deteksi *clash* pada model

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisis Penerapan Konsep *Building Information Modelling* menggunakan *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)* pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil pemodelan Gedung Pendidikan Permanen Poltekkes Kemenkes, Maluku menggunakan *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)*, diperoleh selisih *total cost material* pekerjaan struktur antara metode BIM dengan metode konvensional sebesar 10,4 % (Rp. 689.892.387). Adapun selisih *total cost material* pekerjaan arsitektur pada pekerjaan arsitektur sebesar 5,4 % (Rp169.890.204). Penggunaan metode BIM dengan menggunakan program bantu *Software Autodesk Revit 2021 (Student Version)* dalam estimasi *quantity takeoff* dan *total cost material* menghasilkan selisih biaya yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode perhitungan konvensional (manual) hal ini dikarenakan dalam perhitungan *quantity takeoff* material, Revit akan secara otomatis mereduksi volume komponen – komponen yang sudah terhitung sebelumnya sehingga tidak terjadi *double counting* pada hasil *quantity takeoff* serta lebih efisien dalam hal waktu. Keakuratan hasil *quantity takeoff* dan *total cost material* dengan menggunakan metode BIM disesuaikan dengan kemampuan masing – masing orang saat pemodelan dilakukan, semakin detail pemodelan maka semakin detail pula output yang dihasilkan.
- b. Berdasarkan hasil perbandingan Revit dengan CAD dalam pengerjaan design dan dokumentasi proyek, dengan menggunakan Revit dalam pengerjaan design dapat mempermudah dan mempercepat koordinasi antar gambar, pengelompokkan material, produksi gambar, serta dapat mendeteksi kesalahan pada gambar hal ini dikarenakan

seluruh proses saling terintegrasi karena berada pada satu model 3D, adapun pada pengerjaan design menggunakan CAD, seluruh proses tidak saling terintegrasi satu dengan yang lain karena proses penggambaran masih berbasis gambar 2D sehingga proses penggambaran dilakukan secara terpisah serta memakan lebih banyak waktu dalam pengerjaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Ramdani, Paikun, A. Rozandi, D. Budiman, dan K. Elena, “Implementasi *Building Information Modelling* (BIM) Pada Proyek Perumahan,” vol. 4, no. 1, hal. 1–15, 2022.
- [2] A. Monteiro dan J. P. Poças Martins, “*A survey on modeling guidelines for quantity takeoff- oriented BIM-based design*,” vol. 35, no. November, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.005.
- [3] R. Nafiyah dan N. Martina, “ANALISIS *QUANTITY TAKEOFF* PADA PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH JEMBATAN,” *Constr. Mater. J.*, vol. 4, no. 2, 2022.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RepublikIndonesia, *Perhitungan Volume, Analisa Harga Satuan, RAB, dan Spesifikasi Teknis*, Sistem Man. 2019.
- [5] M. Rayhannafi Anwar dan Y. Nurchasanah, “PERBANDINGAN *QUANTITY TAKE-OFF* BETON ANTARA METODE KONVENSIONAL DENGAN METODE BIM PADA GEDUNG 13 LANTAI,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil 2023 Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, hal. 0–4, 2023.
- [6] I. A. Reista, Ilham, dan Annisa, “Implementasi *Building Information Modelling* (BIM) dalam Estimasi Volume Pekerjaan Struktural dan Arsitektural,” *J. Sustain. Constr.*, vol. 2, no. 1, hal. 13–22, 2022.
- [7] D. Olsen dan J. M. Taylor, “*Quantity Take-Off Using Building Information Modelling (BIM), and Its Limiting Factors*,” *Procedia Eng.*, vol. 196, no. June, hal. 1098–1105, 2017.
- [8] T. P. Artanti, I. K. Sucita, dan E. Yanuarini, “PERBANDINGAN BOQ TULANGAN ANTARA METODE KONVENSIONAL DENGAN BIM APARTEMEN ‘ X ,”” *POLITEKNOLOGI*, vol. 21, no. 1, 2022.
- [9] D. Rosmyanto, L. Kholidab, dan M. Heri Sukantara, “ANALISIS BIAYA PEKERJAAN ULANG KONSTRUKSI BERDASARKAN DATA EVALUASI DESAIN DENGAN SISTEM *BUILDING INFORMATION MODELLING* ,” *TECHNOLOGIC*, vol. 13, no. 8, 2022.
- [10] S. Azhar dan A. Nadeem, “*Building Information Modelling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects Building Information Modelling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*,” no. August, 2008.
- [11] Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 Tahun 2021. .
- [12] D. Laorent, P. Nugraha, dan J. Budiman, “Analisa *Quantity Take-Off* Dengan Menggunakan Autodesk Revit,” vol. 6, no. 1, hal. 1–8, 2019.

IDENTIFIKASI KRITERIA PRASYARAT *GREEN BUILDING* PADA GEDUNG OJK
PROVINSI MALUKUAlwin A. Lerebulan¹, Fauzan A. Sangadji², dan, C. G. Buyang³¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : alwinapner@gmail.com²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : fauzan.sangadji@fatek.unpatti.ac.id³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : cg.buyang@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Konsep *green building* dapat mengurangi atau menghilangkan dampak negatif terhadap lingkungan, dengan menggunakan lebih sedikit air, energi atau sumber daya alam, serta memiliki dampak positif terhadap lingkungan dengan menghasilkan energi sendiri. Konsep *green building* pada Gedung OJK Provinsi Maluku sudah diterapkan namun belum dimaksimalkan sesuai dengan kriteria prasyarat GBCI, sehingga perlu dilakukan identifikasi secara menyeluruh untuk memaksimalkan persentase penerapannya, untuk itulah maka dilakukan penelitian dengan judul Identifikasi Kriteria Prasyarat *Green Building* pada Gedung OJK Provinsi Maluku. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi apakah Gedung OJK Provinsi Maluku sesuai kriteria prasyarat GBCI. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi penulisan, serta memberikan wawasan keilmuan bagi penulis dengan konsep berdasar pada bidang ilmu teknik sipil atau bidang ahli untuk merancang fungsi bangunan sesuai kriteria dan syarat guna meminimalisir dampak buruk suatu proyek pembangunan. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, jenis data yang digunakan adalah data primer dan sekunder, data primer berupa observasi lapangan, pengukuran dan wawancara, sementara data sekunder berupa pengumpulan data site plan beserta data-data lain yang tidak ditemukan pada pengambilan data primer, dengan metode analisis data berupa *check list*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gedung OJK Provinsi Maluku memenuhi 7 (tujuh) prasyarat kelayakan bangunan diantaranya: minimum luas gedung 5.141,94 m², kesediaan data gedung untuk diakses GBCI terkait sertifikasi, kepemilikan rencana UKL/UPL, fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan RT/RW setempat, kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran, kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel dan kesesuaian gedung terhadap standarisasi gempa.

Kata kunci: *Green building*, sertifikasi, GBCI.

Abstract. *Green Building concepts can reduce or eliminate negative impacts on the environment, by using less water, energy, or natural resources, as well as having a positive impact on the environment by generating its own energy. The concept of green building in the OJK building of Maluku province has been implemented but has not been maximized in accordance with the GBCI prerequisite criteria, so it is necessary to identify it thoroughly to maximize the percentage of its application, for this reason, a study was conducted entitled Identification of Green Building Prerequisite Criteria in the OJK building of Maluku Province. The purpose of this study is to identify whether the OJK building of Maluku Province meets the GBCI prerequisite criteria. This research is expected to be a writing reference, as well as provide scientific insight for authors with concepts based on the field of civil engineering or expert fields to design building functions according to criteria and requirements to minimize the adverse effects of a development project. The analysis method used in this study is quantitative descriptive, the type of data used is primary and secondary data, primary data in the form of field observations, measurements, and interviews, while secondary data is in the form of site plan data collection along with other data not found in*

primary data collection, with data analysis methods in the form of checklists. The results showed that the OJK building of Maluku Province met 7 (seven) building feasibility prerequisites including: a minimum building area of 5,141.94 m², the willingness of building data to be accessed by GBCI related to certification, ownership of UKL/UPL plans, building functions in accordance with land allocation based on local RT/RW, building conformity to fire safety standards, building conformity to disability accessibility standards and building suitability to earthquake standards.

Keywords: Green building, certification, GBCI.

1. PENDAHULUAN

Pada era milenial ini permasalahan lingkungan merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi hampir di seluruh negara di dunia dan pemanasan global menjadi problem utama yang sudah sangat gencar dikemukakan para ahli lingkungan akhir-akhir ini. Pemanasan global adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata dilapisan atmosfer, laut, dan daratan di permukaan bumi. Salah satu penyebab dari pemanasan global yaitu adanya efek rumah kaca, yang dimana efek rumah kaca adalah karbon dioksida atau CO² yang dihasilkan oleh kegiatan di bumi ini seperti pernafasan dan hasil pembakaran bahan bakar menyelubungi bumi.

Maluku sebagai provinsi dengan potensi pertumbuhan ekonomi wilayah yang semakin hari semakin berkembang. Oleh karena itu maka adanya pembangunan gedung Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Provinsi Maluku sebagai sarana untuk memperkuat kerja pengawasan industri jasa keuangan dan perlindungan konsumen serta peningkatan inklusi dan literasi keuangan melalui pembangunan kantor representative OJK di berbagai daerah, terkhususnya di kota Ambon. Gedung OJK Provinsi Maluku merupakan bangunan baru bertingkat, namun secara umum sampai saat ini gedung-gedung yang ada pada area kelurahan Karang Panjang, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon, belum sepenuhnya berkonsep *green building*. Gedung OJK Provinsi Maluku ini merupakan bangunan berlantai 5 dengan luas total keseluruhan bangunan yaitu 5.141,94 m² yang dimana total luasan lantai 1 sebesar 1.004,29 m², lantai 2 sebesar 657,68 m², lantai 3 sebesar 885,28 m², lantai 4 sebesar 885,28 m², lantai 5 sebesar 835,18 m², dan LMR sebesar 59,23 m², serta tinggi bangunan 28,6 meter. Dari total luasan Gedung OJK Provinsi Maluku dapat diketahui sudah memenuhi salah satu kelayakan yang ditetapkan GBCI untuk bangunan baru, oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kesesuaian kriteria prasyarat green building dengan memperhatikan tolak ukur greenship pada Gedung OJK Provinsi Maluku. Sehubungan dengan Gedung OJK Provinsi Maluku

merupakan bangunan baru maka perlu adanya upaya untuk menjaga keselamatan dari efek rumah kaca pada bangunan ini, maka konsep bangunan dengan tema lingkungan hidup/*green building* mulai diterapkan. Salah satu upaya penghematan energi yaitu dengan penerapan prinsip *green building* pada bangunan yang dimana bangunan ini akan dirancang, dibangun, dan dioperasikan secara hemat energi, untuk meminimalkan biaya operasi dan dampak negatif lingkungan [2]

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung OJK Provinsi Maluku yang berlokasi di Jl R. A. Kartini RT 003/RW 05 Kelurahan Karang Panjang, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon. Penelitian ini berlangsung pada bulan Agustus – Desember 2022.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2. Variabel Penelitian

- Minimum luas gedung adalah 2500 m².
- Ketersediaan data gedung untuk diakses GBCI.
- Fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan RT/RW setempat.
- Kepemilikan AMDAL / UKL / UPL.

- Kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran.
- Kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel.
- Kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa.

2.3. Data Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dan primer pada proyek Pembangunan Gedung OJK Provinsi Maluku. Data primer didapat langsung dari melakukan observasi, wawancara, serta adanya daftar check list. Sedangkan data sekunder merupakan data yang tidak didapatkan pada saat pengambilan data primer yang berupa site plan dan juga peraturan-peraturan yang berkaitan dengan kriteria prasyarat *green building* gedung. Sehingga data yang didapat adalah sebagai berikut:

1. *Site plan*.
2. Dokumen rencana tata ruang tata wilayah setempat, Dokumen mengenai analisis dampak lingkungan dengan adanya upaya pengelolaan lingkungan atau upaya pemantauan lingkungan hidup [1].
3. Kelengkapan daftar check list dari variabel penelitian.

2.4. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur dilakukan dengan mencari referensi jurnal, skripsi atau penelitian terdahulu, buku, dan artikel yang berkaitan dengan penerapan *green building* pada bangunan baru.

2. Pengumpulan data

Data yang akan dibutuhkan pada penelitian ini merupakan *site plan*, dokumen pendukung kriteria prasyarat *green building*, dan juga kelengkapan daftar check list Pembangunan Gedung OJK Provinsi Maluku.

3. Analisis data

Setelah data-data proyek yang dibutuhkan sudah terkumpul, tahap selanjutnya yaitu menganalisis data sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan pada *green building* bangunan baru [3]. Adapun analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Tahapan pertama yang dilakukan adalah melakukan pengisian daftar check list dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di Gedung OJK Provinsi Maluku
- b. Setelah proses pengisian daftar check list dari variabel penelitian selesai untuk mengetahui

kriteria apa saja yang di terapkan pada Gedung OJK Provinsi Maluku.

- c. Tinjau dokumen yang didapat dari pihak pengelola gedung dan juga site plan untuk mengetahui apakah masuk pada kriteria yang di terapkan pada Gedung OJK Provinsi Maluku menurut *green building*

4. Hasil dan Pembahasan

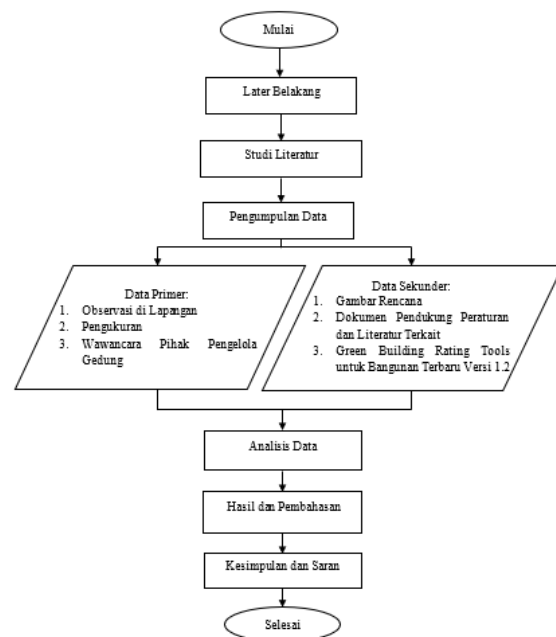
Jika kegiatan penelitian di atas telah dilakukan sesuai dengan tahapan yang ada, maka hasil penelitian dapat disampaikan dan dijelaskan secara detail.

5. Kesimpulan dan Saran

Setelah hasil penelitian dapat diketahui, maka dilakukan kesimpulan terhadap hasil analisa yang dilakukan pada Gedung OJK Provinsi Maluku. 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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Gedung OJK Provinsi Maluku

Gedung OJK Provinsi Maluku ini berlokasi di Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kota Ambon, Maluku. Bangunan gedung ini termasuk dalam kategori bangunan baru (*new building*) karena telah berdiri baru dalam jangka waktu kurang dari 1 tahun. Gedung ini terdiri dari 4 lantai dengan luas bangunan 12.200 m².

3.2 Syarat Kelayakan Bangunan

Syarat kelayakan bangunan sebuah gedung harus memenuhi kelayakan sebelum dilakukan proses penilaian. kelayakan ini ditetapkan didalam greenship untuk gedung terbangun berdasarkan pada undang-undang maupun peraturan yang telah ditetapkan oleh pemerintah yang harus dipenuhi tersebut antara lain:

1. Minimum luas gedung adalah 2500 m²

Berikut ini adalah luasan Gedung OJK Provinsi Maluku yang dituangkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Luasan Gedung OJK Provinsi Maluku

	Luas Lantai
Lantai 1	1.004,29 m ²
Lantai 2	657,68 m ²
Lantai 3	885,28 m ²
Lantai 4	885,28 m ²
Lantai 5	835,18 m ²
LMR	59,23 m ²
Atap	815 m ²
TOTAL	5.141,94 m²

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

2. Kesiadaan data gedung diakses oleh GBCI

Gedung OJK Provinsi Maluku telah berhasil lulus proses penilaian tahap Pengakuan Greenship New Building Versi 1.2 dengan peringkat SILVER, dan akan dilanjutkan dengan proses sertifikasi oleh pihak GBCI.

3. Fungsi gedung sesuai dengan RT/RW setempat

Berdasarkan surat masuk dari Otoritas Jasa Keuangan Provinsi Maluku perihal permohonan informasi penggunaan ruang yang berlokasi di Jalan R. A. Kartini RT 003/RW 05 Kelurahan Karang Panjang, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon, maka sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Ambon Nomor 24 tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RT/RW) Kota Ambon Tahun 2011-2031, dapat diinformasikan bahwa fungsi ruang pada lahan dimaksud termasuk dalam Kawasan Campuran Intensitas Tinggi.

4. Kepemilikan AMDAL / UKL / UPL

Berdasarkan “Keputusan Kepala Dinas Lingkungan Hidup Dan Persampahan Kota Ambon, Nomor 06/PPKPLH/DLHP/XI/2021 Tentang Persetujuan Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan Lingkungan Hidup Kegiatan Pembangunan Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan (OJK) di Jalan R. A. Kartini RT 003/RW 05 Kelurahan Karang Panjang, Kecamatan Sisrimau, Kota Ambon”.

3.3 Kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran

Tinjauan untuk standarisasi keselamatan untuk kebakaran menggunakan acuan dari Pd-T-11-2005-

C tentang pemeriksaan keselamatan bangunan gedung dan juga acuan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No:26/PRT/M/2008.

1. Komponen kelengkapan tapak

Berdasarkan Tabel 2, pada komponen kelengkapan tapak terdapat satu sumber air yang berupa sumur bor, tersedia jalan lingkungan seluas 5.3 m untuk memudahkan operasi ketika terjadi kebakaran, tersedia jalan lingkungan atau jarak antar Gedung OJK Provinsi Maluku dengan gedung yang lain dari sisi kiri dan sisi depan kurang lebih 50 m dan terdapat 5 hidran pada halaman Gedung OJK Provinsi Maluku.

Tabel 2. Komponen kelengkapan tapak

No	Komponen kelengkapan tapak	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Sumber air	√	
2	Jalan lingkungan	√	
3	Jarak antar bangunan	√	
4	Hidran halaman	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

2. Sarana penyelamatan

Berdasarkan Tabel 3, pada sarana penyelamatan terdapat jalan keluar yang menuju langsung ke daerah terbuka jika sewaktu-waktu terjadi kebakaran, adanya konstruksi jalan keluar berupa tangga dan tidak tersedianya landasan helikopter pada Gedung OJK Provinsi Maluku terpadu.

Tabel 3. Sarana penyelamatan

No	Sarana penyelamatan	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Jalan keluar	√	
2	Konstruksi jalan keluar	√	
3	Landasan helikopter		√

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

3. Proteksi aktif

Berdasarkan tabel 4, pada proteksi aktif Gedung OJK Provinsi Maluku tersedia sistem deteksi dan alarm pada setiap lantai Gedung OJK Provinsi Maluku, 1 seames conection, tersedia apar pada setiap lantai, tersedia hidran gedung dengan panjang selang 65m, tersedia sprinkler pada setiap lantai gedung, adanya sistem pemadam luapan, tersedia deteksi asap, tersedia cahaya darurat dan petunjuk arah, ruang pengendali operasi pada Gedung OJK Provinsi Maluku tidak tersedia lift kebakaran serta pembuang asap.

Tabel 4. Proteksi aktif

No	Proteksi aktif	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Deteksi dan alarm	√	
2	Seames conection	√	
3	Apar	√	
4	Hidran gedung	√	
5	Sprinkler	√	
6	Sistem pemadam luapan	√	
7	Pengendali asap		√
8	Deteksi asap	√	
9	Pembuang asap		√
10	Lift kebakaran		√
11	Cahaya darurat dan petunjuk arah	√	
12	Listrik darurat	√	
13	Ruang pengendali operasi	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

4. Proteksi pasif

• Ketahanan api struktur bangunan

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku proteksi tahan api terhadap struktur bangunan telah dilaksanakan dan diaplikasikan pada area tangga darurat dan shear wall.

• Kompartemenisasi ruang

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku kompartemenisasi ruang berupa tembok yang memisahkan antara satu ruang dan ruang lainnya, serta dilengkapi sprinkler pada tiap lantai Gedung OJK Provinsi Maluku. Jalan lingkungan dengan lebar 6.2 m cukup untuk akses mobil pemadam masuk ke lokasi.

• Perlindungan bukaan

Dalam bangunan gedung ditemukan perlindungan bukaan yang dapat menyetop api ketika kebakaran. Perlindungan bukaan ini seperti pintu yang dapat menyetop api sewaktu-waktu terjadi kebakaran.

3.4 Kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel

Diatur dengan PERMEN PUPR NO 14/PTR/M/2017 tentang persyaratan kemudahan bangunan gedung sebagai berikut :

1. Kelengkapan pada pintu

Berdasarkan Tabel 5, pada kelengkapan pintu Gedung OJK Provinsi Maluku tersedia lebar bukaan sebesar 80 cm, dengan tipe tuas pada pegangan pintu, memiliki tinggi pegangan pintu 100 cm dari permukaan lantai dan adanya ruang bebas di depan pintu.

Tabel 5. Kelengkapan pintu

No	Kelengkapan pintu	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Lebar efektif bukaan 80 cm	√	
2	Tuas pegangan pintu	√	
3	Tinggi pegangan pintu 100 cm	√	
4	Ruang bebas di depan pintu	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

2. Kelengkapan pada koridor

Berdasarkan Tabel 6 pada kelengkapan koridor tersedia lebar efektif sebesar 285 cm yang dapat digunakan oleh2 pengguna kursi roda, dan juga memiliki petunjuk arah pada Gedung OJK Provinsi Maluku.

Tabel 6. Kelengkapan koridor

No	Kelengkapan koridor	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Lebar efektif 285 cm	√	
2	Petunjuk arah	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

3. Kelengkapan pada tangga

Berdasarkan Tabel 7 pada kelengkapan tangga Gedung OJK Provinsi Maluku memiliki tinggi anak tangga 18 cm, lebar anak tangga 11 cm, terdapat pegangan rambat yang memiliki jarak antar pegangan 8 cm, dan adanya handrail tangga serta baluster pada tangga.

Tabel 7. Kelengkapan tangga

No	Kelengkapan tangga	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Tinggi anak tangga 18 cm	√	
2	Lebar anak tangga 11 cm	√	
3	Pegangan rambat	√	
4	Jarak pegangan rambat 8 cm	√	
5	Handrail tangga	√	
6	Baluster tangga	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

4. Kelengkapan pada lift

Berdasarkan Tabel 8 pada kelengkapan lift gedung ojk provinsi maluku tersedia ruang efektif dalam lift, handrail, penchayaan, tombol pemilih lantai dan juga tersedia tombol braille yang bisa digunakan bagi penyandang disabilitas.

Tabel 8. Kelengkapan lift

No	Kelengkapan lift	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Ruang efektif dalam lift	√	
2	Handrail	√	
3	Pencahayaan lift	√	
4	Stainless mirror	√	
5	Tombol pemilih lantai	√	
6	Tombol braille	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

5. Kelengkapan pada toilet

Berdasarkan Tabel 9 pada kelengkapan toilet Gedung OJK Provinsi Maluku tersedia toilet duduk yang dilengkapi dengan penanda toilet, memiliki tekstur lantai yang tidak licin, luasan toilet sebesar 210 cm x 190 cm, daun pintu yang membuka ke arah dalam serta memiliki ruang gerak bebas, dilengkapi dengan handrail toilet, serta memiliki jet shower dan tempat sampah pada toilet Gedung OJK Provinsi Maluku.

Tabel 9. Kelengkapan toilet

No	Kelengkapan toilet	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Toilet duduk	√	
2	Penanda toilet	√	
3	Lantai yang tidak licin	√	
4	Luas toilet 210 cm x 190 cm	√	
5	Daun pintu	√	
6	Handrail toilet	√	
7	Tempat sampah & jetshower	√	

Sumber : (Hasil analisis, 2023)

6. Kelengkapan pada Wastafel

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku terdapat wastafel dengan ukuran 55 cm x 57 cm serta tinggi wastafel 82 cm dari permukaan lantai, dilengkapi dengan tipe kran ungkit dan memiliki ruang gerak bebas yang cukup.

7. Bilik pada pancuran

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku belum dilengkapi dengan adanya bilik pancuran yang di lengkapi kran air, serta bilik pancuran pada Gedung OJK Provinsi Maluku ini

8. Fasilitas pada ruang komunikasi

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku belum dilengkapi dengan adanya fasilitas ruang komunikasi.

9. Ruang tunggu

Pada Gedung OJK Provinsi Maluku belum dilengkapi dengan adanya ruang tunggu yang di khususkan untuk penyandang disabilitas.

10. Peralatan dan perlengkapan kontrol

Pada gedung laboratorium belum dilengkapi dengan adanya peralatan dan perlengkapan kontrol tidak tersedia fasilitas peralatan peringatan yang terdiri dari sistem peringatan suara, sistem peringatan bergetar, stop kontak yang bisa dijangkau oleh penyandang disabilitas.

11. Perlengkapan rambu dan marka

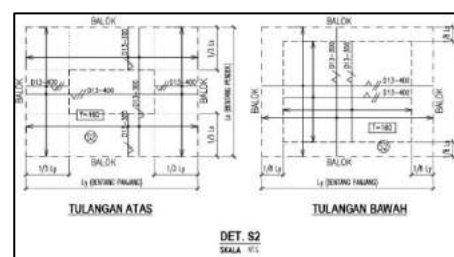
Terdapat rambu dan marka pada gedung laboratorium yang dilengkapi dengan huruf braille dan juga dicetak dengan bahan yang tidak silau

3.5 Kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa

Tinjauan untuk standarisasi kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa menggunakan acuan dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, dengan mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak konsultan perencana maka diketahui bahwa pada bangunan gedung OJK Provinsi Maluku menggunakan tipe struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan kategori desain seismik E. Adapun kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa adalah sebagai berikut:

1. Kesesuaian terhadap desain balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, komponen struktur rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan diantaranya, dimensi balok $l_n > 4h$, $b_w > 0,3$ dan 25 cm dan setelah dilakukan analisa struktur dari dimensi balok, dapat disimpulkan bahwa pada gedung OJK Provinsi Maluku perencanaan struktur balok 35/70 cm dengan panjang bentang 800 cm dan telah sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1.

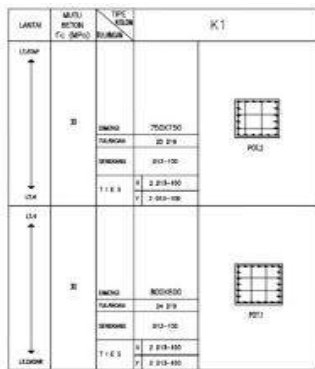


Gambar 1. Detail Balok

Sumber : (SNI persyaratan beton, 2019)

2. Kesesuaian terhadap desain kolom

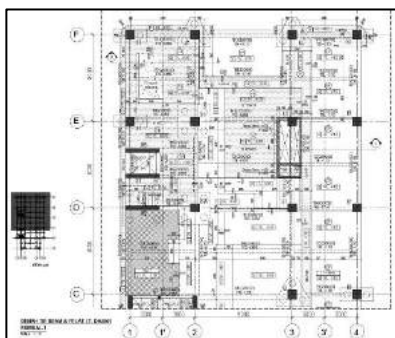
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, kolom sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan diantara lain, dimensi kolom terkecil harus lebih besar 30 cm, serta rasio dimensi terpendek dengan yang terpanjang harus lebih besar dari 0,4. Setelah dilakukan analisa struktur dimensi rencana kolom, dapat disimpulkan bahwa desain kolom pada gedung OJK Provinsi Maluku dengan dimensi 80/80 cm telah memenuhi syarat SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1.



Gambar 2. Detail kolom
 Sumber : (SNI persyaratan beton, 2019)

3. Kesesuaian terhadap desain pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.2.1, tebal pelat dengan balok yang membentang antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya pelat (h) 120 cm dan setelah dilakukan analisa struktur dimensi tebal rencana pelat, dapat dilihat pada gambar bahwa desain pelat pada gedung OJK Provinsi Maluku memiliki ketebalan 120 cm dan telah memenuhi syarat SNI 2847:2019 pasal 8.3.2.1.

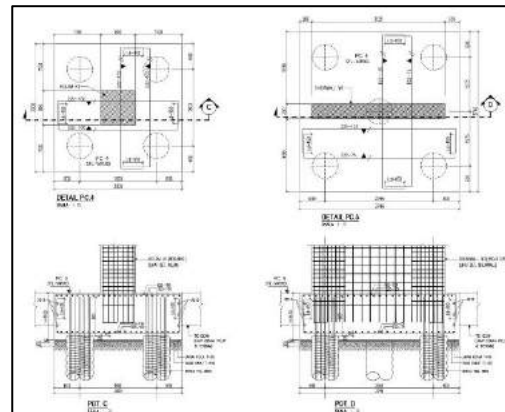


Gambar 3. Penulangan pelat
 Sumber : (SNI persyaratan beton, 2019)

4. Kesesuaian terhadap desain pondasi

Menurut SNI 2487:2019 pasal 13.4.2.1 ketebalan total pile cap harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 30 cm, dan setelah dilakukan analisa struktur desain pondasi, dapat disimpulkan bahwa tebal pile cap pada gedung

OJK Provinsi Maluku berukuran 45 cm dan telah memenuhi syarat SNI 2487:2019 pasal 13.4.2.1.



Gambar 4. Desain pondasi
 Sumber : (SNI persyaratan beton, 2019)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil indentifikasi kriteria prasyarat Greenship New Building Versi 1.2 yang telah dilakukan pada Gedung OJK Provinsi Maluku diperoleh kesimpulan dimana gedung OJK Provinsi Maluku memenuhi 7 syarat kelayakan bangunan diantaranya: Minimum luas gedung 5.141,94 m², kesediaan data gedung untuk diakses GBCI, kepemilikan rencana UKL-UPL, fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan RT/RW setempat (lampiran), kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran, kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel, dan kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andika, M. F., Noviadi, F. P., & Saragih, D. F. “Evaluasi Penerapan Kriteria Green and Smart Building Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pt. Inalum (persero),” *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 1(1), 23-32, 2021.
- [2] Buyang, C. G. & Sangadji, F. A. “Penilaian kriteria green building pada fakultas teknik Universitas Pattimura,” *Jurnal Simetrik* 13.1 (2023) : 677 - 682
- [3] GREENSHIP New Building Versi 1.2, GBCI (*Green Building Council Indonesia*), 2013.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, “Permen PUPR No.26/PRT/M/2017, *Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran Pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*,” 2017.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, “Permen PUPR No.14/PRT/M/2017,

- Tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung,*” 2017
- [6] Mongan, A. I., Tjakra, J., & Arsjad, T. T. “Evaluasi Konsep Green Building Pada Gedung Baru Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado,” *Jurnal Sipil Statik*, 2019.
- [7] Pedoman Pemeriksaan Keselamatan Bangunan Gedung, Pd-T-11-2005-C, *Tentang Pemeriksaan Keselamatan Bangunan Gedung,*” 2005.
- [8] Peraturan Daerah, “Peraturan Daerah Kota Ambon Nomor 24, *Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Ambon Tahun 2011 Sampai Dengan Tahun 2031,*” 2011.
- [9] Ratnaningsih, A., Hasanuddin, A., & Hermansa, R. “Penilaian Kriteria Green Building Pada Pembangunan Gedung IsDB Project Berdasarkan Skala Indeks Menggunakan Greenship Versi 1.2 (Studi Kasus: Gedung Engineering Biotechnology Universitas Jember),” *Berkala Sainstek*, 7(2), 59-66, 2019.
- [10] Siddik K, M. D. F. “Pengukuran Kesesuaian Kriteria Green Building pada Gedung Laboratorium CDAST 1 Universitas Jember Menggunakan Perangkat Penilaian Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.2,” 2018.
- [11] Walikota Ambon Provinsi Maluku, “Keputusan Walikota Ambon Nomor 883, *Tentang Kelayakan Lingkungan Hidup Atas Operasional Kegiatan Universitas Pattimura-Kampus Poka,*” 2019.
- [12] Zulfir, M. H., & Gunawan, A. “Evaluasi sistem proteksi kebakaran pada bangunan hotel UNY 5 lantai di Yogyakarta,” *Semesta Teknika*, 21(1), 65-71, 2018.

ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN VOLUMETRIK AIR PENDINGIN TERHADAP EFISIENSI MODUL SURYA

Antoni Simanjuntak¹, W. M. E. Wattimena², Isak Aponno³

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: wmewattimena273@gmail.com

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: isakaponno@gmail.com

Abstrak. Modul surya terdiri dari sejumlah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor disusun menjadi satu rangkaian listrik dihubungkan secara seri maupun paralel sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Peningkatan temperatur permukaan modul surya sebesar 1°C akan menurunkan efisiensi sekitar 0,5% akibat energi panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa persen efisiensi modul surya yang dapat ditingkatkan pada saat menggunakan pendingin aktif berupa fluida air tawar yang dialirkan dengan laju aliran volumetrik yang bervariasi di atas permukaan modul surya. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Listrik Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Pengukuran modul surya dilakukan tanpa dan dengan pendingin aktif. Sedangkan pengukuran modul surya dengan pendingin aktif dibuat 3 variasi laju aliran volumetrik air pendingin yakni 20 L/H, 60 L/H dan 100 L/H. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, pengaruh variasi laju aliran volumetrik air pendingin dapat mereduksi temperatur dan meningkatkan efisiensi modul surya. Rata-rata peningkatan efisiensi modul surya untuk laju aliran volumetrik 20 L/H sebesar 11 %, laju aliran volumetrik 60 L/H sebesar 16 % dan laju aliran volumetrik 100 L/H sebesar 18 %. Terlihat bahwa semakin cepat laju aliran volumetrik air pendingin semakin meningkat nilai efisiensi modul surya.

Kata kunci : Modul surya, air pendingin, laju aliran volumetrik.

Abstract. A solar module consists of a number of solar cells made of semiconductor material arranged into one electrical circuit connected in series or parallel, which is very sensitive to changes in temperature. Increasing the surface temperature of a solar module by 1°C will reduce efficiency by around 0.5% due to heat energy. This research aims to find out what percentage of solar module efficiency can be increased when using active cooling in the form of freshwater fluid which flows at varying volumetric flow rates over the surface of the solar module. This research was carried out experimentally at the Electrical Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Pattimura University. Solar module measurements were carried out without and with active cooling. Meanwhile, measurements of solar modules with active cooling made 3 variations in the volumetric flow rate of cooling water, namely 20 L/H, 60 L/H, and 100 L/H. The research results show that the effect of varying the volumetric flow rate of cooling water can reduce temperature and increase the efficiency of solar modules. The average increase in solar module efficiency for a volumetric flow rate of 20 L/H is 11%, a volumetric flow rate of 60 L/H is 16% and a volumetric flow rate of 100 L/H is 18%. It can be seen that the faster the volumetric flow rate of cooling water, the higher the efficiency value of the solar module.

Keywords: Solar module, cooling water, volumetric flow rate.

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 1839, efek fotovoltaik ditemukan pertama kali oleh Edmon Becquerel yang mengamati bahwa bahan tertentu menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya. Efek ini digunakan dalam sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Semikonduktor bekerja sebagai isolator pada suhu rendah dan berfungsi sebagai konduktor ketika terpapar panas [1].

Modul fotovoltaik atau modul surya terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik atau sel surya yang disusun menjadi satu rangkaian listrik terhubung secara seri maupun paralel [2]. Kinerja kelistrikan modul surya dicirikan dengan kurva arus-tegangan (I-V) [3].

Modul surya yang umum digunakan di Indonesia terdiri dari 2 tipe yakni *monocrystalline* dan *polycrystalline* [4]. Pengujian modul surya pada skala pabrik dengan kondisi temperatur sel atau *Standard Test Conditions* (STC), stabil pada 25°C dan *irradiance* sebesar 1.000W/m² dengan spektrum cahaya massa udara (*Air Mass*) AM1,5 [5]. Namun demikian, modul surya masih memiliki beberapa kelemahan seperti penurunan efisiensi akibat peningkatan temperatur, dimana saat modul surya terpapar radiasi matahari, maka temperatur modul surya > 25°C [6].

Terdapat sejumlah peneliti terdahulu telah mengadopsi teknik yang berbeda dalam pendinginan modul surya, termasuk metode aktif dan pasif. [7] menggunakan pendinginan permukaan ganda untuk meningkatkan kinerja modul surya. Menurut penelitian mereka, terjadi penurunan temperatur dan meningkatkan daya keluaran modul surya sebesar 30,3%. [8] menggunakan pendingin pasif untuk meningkatkan efisiensi modul surya. Hasil penelitian mereka menunjukkan terjadi peningkatan efisiensi modul surya sebesar 8,3%. [9] membuat dan menganalisis pendinginan aktif untuk meningkatkan efisiensi modul surya. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa efisiensi modul surya meningkat dari 6% menjadi 7%. [10] menggunakan heatsink fan untuk meningkatkan efisiensi photovoltaic. Menurut penelitian mereka, temperatur panel surya turun sebesar 28.20 % dan peningkatan efisiensi sebesar 1,64 %.

Dari berbagai penelitian terdahulu di atas, jelas bahwa sejumlah penelitian telah dilakukan dan semuanya bertujuan untuk menurunkan temperatur modul surya menggunakan metode yang berbeda. Penelitian ini menggunakan modul surya tanpa pendingin dan menggunakan pendinginan aktif berupa fluida air tawar yang dialirkan dengan laju aliran volumetrik yang bervariasi di atas permukaan

modul surya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi modul surya.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Data Modul Surya

Penelitian ini menggunakan 4 buah modul surya jenis *monocrystalline* dengan daya masing – masing 130 Wp. Satu buah modul surya tanpa menggunakan pendingin dan tiga buah modul surya menggunakan pendinginan aktif. Adapun data modul surya yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Maximum Power (P_{max})	= M-130 W
Maximum Power Voltage (V_{maks})	= 18,9 V
Maximum Power Current (I_{maks})	= 6,88 A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	= 23,1 V
Short Circuit Current (I_{sc})	= 7,29 A
Nominal Operation Cell Temp (NOCT)	= -45~ + 80°C
Maximum System Voltage	= 700 V
Maximum Series Fuse	= 10 A
For Field Connections, Use Minimal No. 12AWG Copper Wires Insulated for a minimum 90°C	
Weight	= 8,4 Kg
Dimension	= 1210x670x30 mm
Standard Test Condition	= Temp 25°C
AM = 1,5 IRRADIANCE	= 1.000 W/m ²



Gambar 1. Panel surya 130 Wp *monocrystalline*

2.2. Data Pompa Air

Pompa air yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa air bertegangan searah atau dc (*direct current*) berjumlah 3 buah. Ketiga pompa air tersebut berfungsi untuk memvariasikan laju aliran volumetrik. Adapun data pompa air bertegangan searah atau dc (*direct current*) yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Pompa Air Elektrik High Pressure	: Taffware
Model	: DP – 521
MPA	: 0,48 MPa
Max discharge	: 3,5 L/min

Rated Voltage : DC 12 V
Max Current : 2,0 A



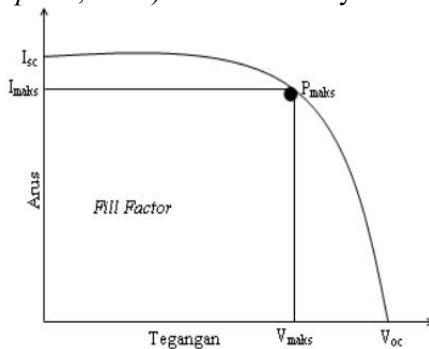
Gambar 2. Pompa air dc

2.3. Parameter Modul Surya

Parameter pada modul surya terdiri dari kurva I-V, *Maximum Power Point* (P_{max}), *Open Circuit Voltage* (V_{oc}), *Short Circuit Current* (I_{sc}), *Fill Factor* (FF) dan efisiensi (η).

Kurva I-V

Karakteristik modul surya dimodelkan dengan menggunakan output arus dan tegangan pada kurva I-V. Gambar 3 merupakan titik maksimum (*maximum power point*, MPP) dari modul surya.



Gambar 3. Kurva I – V

Fill Factor (FF)

Nilai *Fill Factor* (FF) modul surya biasanya berkisar antara 0,25 hingga 0,89. Semakin besar nilai *Fill Factor* suatu modul surya, maka kinerja modul surya tersebut semakin baik dan efisiensi semakin tinggi. *Fill Factor* (FF) dapat dihitung dengan persamaan berikut [11]:

$$FF = \frac{I_{maks} \times V_{maks}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$

dimana: FF = *Fill Factor*

I_{maks} = Arus Maksimum (A)

V_{maks} = Tegangan Maksimum (V)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (A)

V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (V)

Daya Maksimum

Daya maksimum (P_{maks}) merupakan titik operasi yang menunjukkan daya maksimum hasil pertemuan I_{maks} dan V_{maks} yang dihasilkan oleh modul surya. Adapun nilai P_{maks} dapat dihitung dengan persamaan berikut (Natalio et al., 2023):

$$P_{maks} = V_{maks} \times I_{maks} \quad (2)$$

dimana: P_{maks} = Daya Maksimum (W)

Daya Masuk

Daya masuk (P_{in}) merupakan perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area modul surya [12].

$$P_{in} = E \times A \quad (3)$$

dimana: P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

E = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

A = Luas area permukaan modul surya (m^2)

Daya Keluaran

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 [13].

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (4)$$

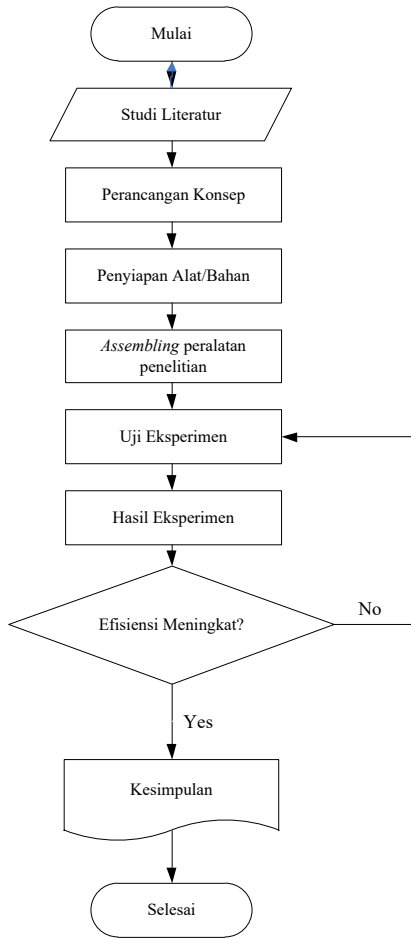
Efisiensi

Efisiensi (η) modul surya adalah perbandingan daya maksimum (P_{maks}) modul surya dengan daya intensitas matahari. Nilai persentase efisiensi modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [14]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (5)$$

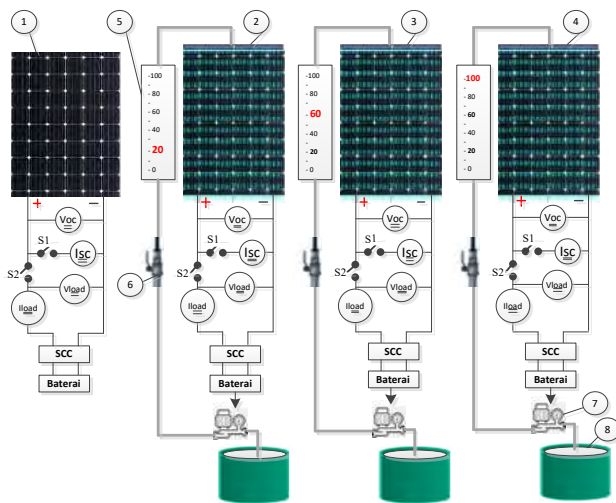
2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental yang berlokasi di Laboratorium Teknik Listrik Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Flowchart penelitian disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart penelitian

modul surya dengan pendinginan aktif dilakukan dengan 3 variasi laju alir volumetrik yaitu 20 l/h, 60 l/h dan 100 l/h. pengukuran dilakukan secara serentak untuk ke empat modul surya tanpa dan dengan menggunakan pendinginan. apparatus penelitian disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Apparatus penelitian

Keterangan gambar:

- ① = Modul surya tanpa pendingin.
- ② = Modul surya dengan pendingin laju alir volumetrik yaitu 20 L/H.
- ③ = Modul surya dengan pendingin laju alir volumetrik yaitu 60 L/H.
- ④ = Modul surya dengan pendingin laju alir volumetrik yaitu 100 L/H.
- ⑤ = Flow meter
- ⑥ = Ball valve
- ⑦ = Pompa air
- ⑧ = Air pendingin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, pengukuran modul surya yang dilakukan tanpa pendingin dan dengan pendingin. Sedangkan dengan pendingin dibuat 3 variasi laju aliran volumetrik, yakni 20 L/H, 60 L/H dan 100 L/H. Hasil pengukuran terhadap modul surya tanpa pendingin dan dengan pendingin ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran

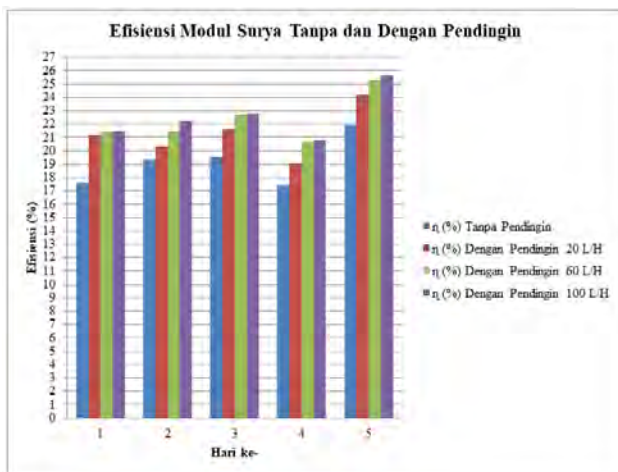
HARI KE-	RADIASI MATAHARI W/m ²	LAJU ALIRAN (L/H)	TEMP. (°C)	Voc (V)	Isc (A)
1	1.285	Tanpa Pendingin	61,50	21,26	11,20
	1.285	20	38,68	22,90	12,50
	1.285	60	36,74	23,30	12,45
	1.285	100	35,80	23,19	12,10
2	1.199	Tanpa Pendingin	61,30	21,37	11,40
	1.199	20	37,71	22,28	11,50
	1.199	60	36,56	22,80	11,90
	1.199	100	36,55	23,16	12,10
3	1.169	Tanpa Pendingin	62,47	21,35	11,30
	1.169	20	38,41	22,70	11,70
	1.169	60	37,24	23,05	12,10
	1.169	100	37,23	23,17	12,10
4	1.305	Tanpa Pendingin	62,36	21,32	11,20
	1.305	20	38,35	22,47	11,70
	1.305	60	37,18	22,80	12,50
	1.305	100	37,16	23,35	12,25
5	1.046	Tanpa Pendingin	60,08	21,37	11,30
	1.046	20	39,12	22,80	11,70
	1.046	60	36,50	23,04	12,10
	1.046	100	35,40	23,26	12,10

Dari data hasil pengukuran pada Tabel 1 dan *datasheet* modul surya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan daya input, daya output dan efisiensi modul surya. Adapun data hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 2, sedangkan grafik efisiensi

modul surya tanpa dan dengan pendingin ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 2. Hasil perhitungan

HARI KE-	LAJU ALIRAN (L/H)	P_{out}	P_{in}	η (%)
1	Tanpa Pendingin	183,35	1.042	17,6
	20	220,41	1.042	21,2
	60	215,22	1.042	21,4
	100	216,06	1.042	21,5
2	Tanpa Pendingin	187,59	972	19,3
	20	197,29	972	20,3
	60	208,92	972	21,5
	100	215,78	972	22,2
3	Tanpa Pendingin	185,77	948	19,6
	20	204,5	948	21,6
	60	214,76	948	22,7
	100	215,87	948	22,8
4	Tanpa Pendingin	183,86	1.058	17,4
	20	202,43	1.058	19,1
	60	219,45	1.058	20,7
	100	217,27	1.058	20,8
5	Tanpa Pendingin	185,94	848	21,9
	20	205,41	848	24,2
	60	214,66	848	25,3
	100	216,71	848	25,6



Gambar 6. Grafik efisiensi modul surya tanpa dan dengan pendingin.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan, bahwa dengan menggunakan pendingin berupa fluida air tawar yang dialirkan di atas permukaan modul surya terjadi peningkatan efisiensi. Hal ini karena temperatur permukaan modul surya mengalami penurunan yang mengakibatkan daya keluaran meningkat.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pendingin

berupa fluida air tawar yang dialirkan di atas permukaan modul surya terjadi peningkatan efisiensi secara signifikan dari sebelumnya tanpa menggunakan pendingin. Sedangkan peningkatan laju aliran volumetrik memberi pengaruh yang relatif kecil terhadap peningkatan efisiensi modul surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thedeby, A. (2014), Heating and cooling with solar, powered peltier element, IISSN 0282-1990, Lund University.
- [2] Simanjuntak, A., Lekalette, J. (2019), PLTS Di Pulau OsI Dan Permasalahannya, Prosiding Seminar Nasional, *Archipelago Engineering*.
- [3] Cholis, C., Sara, I, D., Away, Y. (2016), Perancangan Alat Pencatat Data Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) Modul Surya, *Jurnal Circuit*, Vol. 2, No. 1.
- [4] Sharma, S., Jain, KK., Sharma, A. (2015), Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*. Vol.06 No.12.
- [5] Nadhiroh, N., Aji, D, A., Kusnadi., Dwiyaniti, M. (2022), Instalasi Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya, *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, Vol. 11, No. 1, Maret 2022: 59 – 66.
- [6] Natalio, S. F. S., Simanjuntak, A., Titahelu, N. (2023), Analisis Kinerja Panel Surya Akibat Pendinginan Aktif, *Jurnal Isometri*, Vol. 2 No. 1.
- [7] Agyekum, B, E., Kumar, P, S., Alwan, T, N., Velkin, I, V., Shceklein, E, S. (2021), Effect of dual surface cooling of solar photovoltaic panel on the efficiency of the module: experimental investigation, *J. Heliyon* 7, International Journal Elsevier.
- [8] Wu, S., Xiong, C. (2014), Passive cooling technology for photovoltaic panels for domestic houses, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Published by Oxford University Press.
- [9] Jakhrani, Q, A., Jatoi, R, A., Jakhrani, H, S (2017), Analysis and Fabrication of an Active Cooling System for Reducing Photovoltaic Module Temperature, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, Vol. 7, No. 5, 2017, 1980-1986.
- [10] Warsito, A., Adriono, E., Nugroho, Y, M., Oding, O., Winardi, B. (2013), dipo pv cooler, penggunaan sistem pendingin temperatur heatsink fan pada panel sel surya (photovoltaic) sebagai peniingkatan kerja energi listrik baru terbarukan, *Transient*, Vol.2, No. 3

- [11] Akmal., Simanjuntak, A., Louhenapessy, J., Aponno, I. (2022), Uji Eksperimental Modul Surya 130 Wp Untuk Suplai Listrik Lemari Pendingin Vaksin Di Daerah Terpencil, Jurnal Isometri, Vol. 1 No. 1 PP 16 -22.
- [12] Julisman A., Sara I.D., Siregar R. H. (2017), Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola.KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro, Vol.2 No. 1, pp 35-42.
- [13] Suriadi., Syukri, M. (2010), Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh, Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 9, No. 2.
- [14] Hidayat, F., Rusirawan, D., Tanjung, F, R, I. (2019), Evaluasi kinerja PLTS 1. 000 Wp di Ite nas Bandung, Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 9, No. 2.

EVALUASI UMUR PAKAI SPROKET RODA BELAKANG SEPEDA MOTOR JUPITER Z1

Benjamin G. Tentua¹, Cendy S.E. Tupamahu²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: tentuabenny@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail tupamahucendy@gmail.com

Abstrak Sprocket adalah salah satu komponen dari sepeda motor yang berpasangan dengan rantai. Fungsi sproket untuk mentransmisikan gaya putar dari engine ke roda belakang. Sepeda motor Jupiter Z1 merupakan motor 2 tak dimana hasil dari pembakaran mesin digunakan untuk menghasilkan daya pada motor. Daya mesin kemudian ditransmisikan oleh kopling melalui poros penggerak ke poros penerus yang dihubungkan dengan sprocket depan dari sepeda motor. Putaran dari Sprocket depan kemudian diteruskan ke sprocket belakang melalui rantai untuk menggerakkan roda belakang. Dalam pengoperasiannya sprocket dan rantai selalu bergesekan sehingga sprocket maupun rantai akan mengalami keausan. Keausan Komponen-komponen transmisi itu, mengakibatkan putaran yang dihasilkan menjadi kurang optimal dan mengurangi umur pakai dari sprocket maupun rantai. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai keausan dan umur pakai dari sprocket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sprocket akan mengalami kehilangan berat sebesar 8 gram, untuk pemakaian selama 1350 hari atau 3.9 tahun atau 98.672,85 siklus. Untuk umur sprocket sampai kondisi harus diganti mengalami kehilangan berat sebesar 17,2 gram, untuk pemakaian selama 2109.3 hari atau 5.8 tahun atau 154.170.8 siklus.

Kata kunci: Keausan, data waktu pemakaian, umur sproket

Abstract Sprocket is one component of a motorcycle that is paired with a chain. The function of the sprocket is to transmit the rotary force from the engine to the rear wheels. The Jupiter Z1 is a 2 stroke motorcycle where the results of the engine combustion are used to generate power on the motorcycle. The engine power is then transmitted by the clutch through the drive shaft to the successor shaft which is connected to the front sprocket of the motorcycle. The rotation of the front sprocket is then forwarded to the rear sprocket through the chain to move the rear wheel. In operation, the sprocket and chain are always rubbing so that the sprocket and chain will experience wear. The wear of the transmission components, causing the resulting rotation to be less than optimal and reducing the longevity of the sprockets and chains. The purpose of this research is to obtain the wear value and longevity of the sprocket. The results showed that the sprocket will lose weight to 8 grams, for use over 1350 days or 3.9 years or 98.672,85 cycles. The longevity of sprocket until the condition must be replaced has a weight loss of 17.2 grams, for use during 2109.3 days or 5.8 years or 154.170.8 cycles

Keywords: wear, usage time data, age of the sprocket

1. PENDAHULUAN

Sepeda motor sebagai alat transportasi saat ini mengalami peningkatan penggunaannya. Menurut laporan Statistik Indonesia 2023 yang dirilis Badan Pusat Statistik (BPS), pada akhir 2022 terdapat 125,3 juta unit motor di Indonesia. Hal ini, disebabkan

sepeda motor mampu melayani mobilitas pada kondisi jalan yang sempit, atau dalam kondisi lalu lintas padat dengan lebih baik dibandingkan dengan jenis kendaraan yang lebih besar [1] [2][3] [4].

Sproket merupakan salah satu komponen dari sepeda motor yang berpasangan dengan rantai yang

digunakan untuk menyalurkan gaya putar dari mesin ke roda belakang. Pada sepeda motor, hasil pembakaran yaitu putaran yang kemudian diteruskan oleh kopling dari poros penggerak ke poros penerus. Poros penerus dihubungkan langsung dengan sproket depan dan putaran tersebut dipindahkan sproket depan melalui rantai ke sproket belakang sehingga roda belakang bergerak [5][6].

Beberapa Penelitian sproket telah dilakukan [7][8][9][10][11], Penelitian terkait umur pakai sproket, antara lain analisa umur sproket dengan pendekatan fungsi linieritas [12], dengan memvariasikan lama waktu pemakaian sproket yaitu 510 hari, 1.259 hari dan 1.440 hari. Dengan pengujian menggunakan microsoft excel dan spss memakai data keausan dan kehilangan berat dan menggunakan uji linieritas, interpretasi koefisien keausan mendapatkan r^2 sebesar 0,5719 bahwa mempunyai pengaruh kehilangan berat-keausan terhadap waktu yang terbilang sedang. Beban pada pengguna sepeda motor mempunyai faktor untuk keausan sproket, semakin berat beban yang dibawa semakin cepat juga perubahan bentuk dari sproket itu sendiri.

Selanjutnya penelitian terkait analisa keausan sproket pada sepeda motor *sport* 4 langkah. Penelitian dilakukan dengan membandingkan sproket yang telah digunakan selama 420 hari dan telah dilakukan proses pengerasan permukaan dan sproket baru. Dari hasil pengujian kekerasan terlihat ada penurunan kekerasan permukaan bagian dalam. Dan umur pakai sproket sampai kondisi harus diganti setelah pemakaian selama 4,1 tahun atau 105.742,022,4 siklus [13].

Berdasarkan uraian diatas terlihat bahwa dalam pengoperasiannya, komponen sproket yang berkontak langsung dengan rantai sepeda motor akan mengalami gesekan. Akibatnya timbul kerusakan berupa hilangnya material dari permukaan suatu benda yang disebut keausan. Untuk itu, penulis melakukan eksperimen dengan menggunakan 2 komponen sproket roda belakang sepeda motor Jupiter Z1. Komponen sproket pertama dengan masa pemakaian 1.350 hari dan kedua adalah komponen sproket baru (belum digunakan). Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai keausan dan umur pakai dari sproket roda belakang.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Alat

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah dua buah sproket, yakni sproket yang telah mengalami keausan dan sproket baru (belum digunakan). Untuk alat yang digunakan adalah

jangka sorong. Data yang digunakan pada penelitian adalah data primer berupa data hasil pengukuran dimensi dan berat kedua buah sproket.



Gambar 1 Sproket Jupiter Z1

Tabel 1. Spesifikasi Sepeda Motor Jupiter Z1

Item	Spesifikasi
Tipe Mesin	Air Cooled 4-Stroke, Sohc
Jumlah / posisi silinder	Satu silinder
Diameter x langkah	50,0 x 57,9 mm
Perbandingan kompresi	9,3 : 1
Daya maksimum	7,4 kw / 7750 rpm
Torsi maksimum	9,8 nm / 6750 rpm
Sistem starter	Elektrik starter & kickstarter
Sistem pelumasan	Basah
Kapasitas oli mesin	Total = 1,00 l ; berkala = 0,80 l ; ganti filter oli = 0,85 l
Sistem bahan bakar	Fuel injection
Tipe kopling	Basah, multiplat, centrifugal automatic
Tipe transmisi	Constant mesh, 4-kecepatan

2.2 Metode Pengambilan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dengan cara melakukan pengukuran variabel pengujian terhadap objek yang akan diteliti dan mencatat data-data yang diperlukan. Data-data yang diperlukan adalah diameter dalam, diameter luar, tebal dan berat sproket, sehingga diketahui keausan yang terjadi pada Sproket.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Tabel 2 Hasil sproket

Data awal	Sprocket aus A	Sprocket baru B
Nama komponen	Sprocket	Sprocket
Pemakaian terakhir (km)	25843	-
Tebal Sprocket	8,7 mm	8,8 mm
Diameter luar	161 mm	167 mm
Diameter dalam	147 mm	147 mm
Berat Sprocket	461gram	469gram
Fungsi komponen	Mentransmisikan daya dari mesin penggerak ke roda belakang	



(a) Sproket lama (b) Sproket baru
Gambar 2. Gambar sproket

3.2 PEMBAHASAN

Umur pakai sproket

Berdasarkan data lapangan:

Tabel 3. Pengukuran sproket lama dan sproket baru

Pengukuran	Sproket Lama	Sproket Baru
Berat	461 gram	469 gram
Lama pemakaian	1.350 hari	-
Jumlah gigi	41	41

Berdasarkan Tabel 3, diketahui umur pakai sepeda motor ialah 1.350 hari atau 3 tahun 9 bulan atau 45 bulan. Dalam waktu 1.350 hari mengalami kehilangan berat sproket sebesar 8 gram dengan asumsi jumlah pemakaian per hari adalah 2 jam atau 120 menit. Jumlah siklus dihitung sebagai berikut:

$$lama\ waktu\ pemakaian\ (menit) \times n\ (rpm)$$

Dimana :

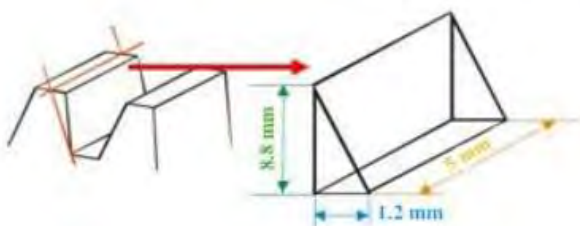
$$n = \frac{v}{\pi \times D}$$

Jika diasumsikan kecepatan sepeda motor per hari penggunaan 70 km/jam maka :

$$n = \frac{1.166.666,66}{3.14 \times 610} = 609,09\ rpm$$

Sehingga untuk pemakaian selama 2 jam per hari jumlah siklus adalah 73.091 siklus. Untuk penggunaan 1350 hari adalah 98.672,85 siklus

Analisa Umur Pakai Sproket sampai diganti



Gambar 3. Dimensi sproket Jupiter Z1

Diketahui :

$$a = 1.2\ mm$$

$$t = 8.8\ mm$$

$$tinggi\ limas = 5\ mm$$

$$jumlah\ gigi\ sproket = 41$$

$$Luas\ segitiga = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t = 0.5 \cdot 1.2 \cdot 8.8 = 5.3\ mm^2$$

$$Volume\ limas = L_{alas} \cdot tinggi = 5.3 \cdot 5 = 26.5\ mm^3$$

$$V_{total\ gigi} = 26 \cdot 5 \cdot 2 = 53\ mm^3$$

$$V_{total\ sproket} = 53 \cdot 41 = 2173\ mm^3 = 2.2\ cm^3$$

$$m = V \cdot \rho = 2.2 \cdot 7.8 = 17.2\ gram$$

Artinya

$$1350\ hari = 8\ gram$$

$$X\ hari = 12,5\ gram$$

$$X = 2.109,3\ hari$$

$$2109.3\ hari = 70,3\ bulan$$

$$70.3\ bulan = 5,8\ tahun$$

Sehingga untuk 2.109,3 hari :

$$73.091\ siklus \times 2.109,3\ hari = 154.170,8\ siklus$$

Berdasarkan pengamatan secara visual dapat dilihat dengan jelas perbedaan kondisi fisik sproket aus dan sproket baru. Pada Gambar 2, nampak bahwa sproket aus tampak kusam pada bagian gigi-giginya disebabkan pengaruh pelumas yang sudah sekian lama mengering, dan pengaruh gesekan permukaan sproket dengan rantai. Terdapat beberapa titik di lembah gigi sproket berupa goresan yang diakibat oleh adanya gesekan yang berlangsung terus menerus terhadap rantai atau partikel abrasif pada kondisi operasi. Sedangkan sproket baru tampak lebih bersih, mengkilap dan tanpa goresan. Pengukuran pada sproket dilakukan pada semua bagian komponen sproket yaitu diameter luar, diameter dalam, serta setiap bagian gigi dari komponen sproket dari mulai lebar gigi, lingkaran kepala, tinggi lembah, dan puncak kepala.

Tabel 3, menunjukkan bahwa selain perbedaan tebal sproket sebesar 0,1 mm antara sproket baru dan sproket lama, juga terdapat perbedaan diameter luar antara sproket aus dan baru yakni sebesar 6 mm. Kondisi demikian disebabkan karena pengikisan bagian permukaan sproket terutama bagian gigi sproket. Pengikisan yang terjadi akibat gesekan yang terus menerus antara permukaan sproket dan rantai ketika sepeda motor dijalankan selain juga partikel lain dari kondisi operasi di lapangan. Dari hasil perhitungan untuk umur pakai sproket diperoleh hasil bahwa untuk komponen sproket yang diteliti mengalami kehilangan berat 8 gram untuk pemakaian selama 1.350 hari atau 45 bulan atau 3 tahun 9 bulan. Untuk umur sproket sampai kondisi harus diganti mengalami kehilangan berat sebesar 17,2 gram, untuk pemakaian selama 2.109,3 hari atau 5,8 tahun atau 154.170,8 siklus.

4. KESIMPULAN

Komponen sproket yang diteliti mengalami kehilangan berat sebesar 8 gram untuk pemakaian selama 1.350 hari atau 45 bulan atau 3,9 tahun. Dari hasil penelitian diketahui bahwa umur sproket yang diteliti yaitu 98.672,85 siklus atau 1.350 hari atau 3,9 tahun. Sedangkan umur sproket sampai harus diganti yaitu 2109.3 hari atau 5.8 tahun atau 154.170.8 siklus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Y. Pambayun, S. Sukoco, W. Suyanto, and S. Sudarwanto, “Konsep Modifikasi Untuk Meningkatkan Daya Mesin Sepeda Motor,” *J. Pendidik. Vokasi Otomotif*, vol. 1, no. 1, pp. 38–53, 2018, doi: 10.21831/jpvo.v1i1.21782.
- [2] E. Djatmiko and D. W. Karmiadi, “Sepeda Motor Melalui Uji Standar Mekanik,” *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 10, no. 2, pp. 192–198, 2007.
- [3] S. J. E. Sarwuna, W. M. E. Wattimena, and J. Luohenapessy, “ANALISA Penggunaan Tipe Busi Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Efektif Sepeda Motor Kapasitas 135CC,” vol. 3, no. 2, pp. 36–43, 2023.
- [4] A. Massara and A. Wicaksono, “Peran Sepeda Motor Bagi Masyarakat Berpendapatan Rendah Di Kota Makassar,” *J. Transp.*, vol. 18, no. 3, pp. 161–168, 2018, [Online]. Available: <https://journal.unpar.ac.id/index.php/journaltransportasi/article/view/3152>
- [5] D.Y.Hermawanto, M.H. Bahri, A.F. Syam. “Meningkatkan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Sproket Drive Imitasi Motor Melalui Heat Treatment”. *Jurnal smart teknologi*, Vol 1. No.1, pp 99-103, 2021
- [6] M. Andreansyah, V. Naubnome, K. J. H. S. Ronggowaluyo, T. Timur, and K. Karawang, “Perhitungan Gear Sprocket pada Sepeda Motor Honda Blade 110CC Tahun 2012 Program Studi Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Singaperbangsa, vol. 8, no. 14, pp. 7–14, 2022.
- [7] Muchayar, P. D. Wijanarko, and D. Purmanto, “Uji Komparasi Ketahanan Aus Pada Sprocket Genuine Part,” vol. 1, pp. 64–73, 2019.
- [8] Y. Saputro, I. Prasetyo, and M. T. Nadhief, “the Effect of Rear Sprocket Size Variation on Power and Torque on Yamaha Vixion Motorcycles in 2015,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 6, no. 1, pp. 11–20, 2021, doi: 10.20527/sjmekinematika.v6i1.184.
- [9] M. Hasry and Y. Kaelani, “Studi Eksperimental Keausan Permukaan Material Akibat Adanya Multi - Directional Contact Friction,” *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. 108–113, 2014.
- [10] Soeleman and M. I. H. Putra, “Analisis Karakteristik Gear Sprocket Standard dan Racing Pada Sepeda Motor,” *Sintek*, vol. 2, no. 2, pp. 26–35, 2008, [Online]. Available: <http://motor.otomotifnet.com>
- [11] K. Sardjono and A. Cahyono, “Analisis Karakteristik Material Gear Sprocket Dengan Atau Tanpa Lapisan Polyurethane Pada Sepeda Motor,” *Sintek J.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–27, 2007, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/76/58>
- [12] D. Rofifah, “Menentukan Umur Sprocket Dengan Pendekatan Fungsi Linieritas,” *Pap. Knowl. : Towar. a Media Hist. Doc.*, pp. 12–26, 2020.
- [13] A. Iskandar and A. Amir, “Analisa Keausan Sproket Pada Sepeda Motor Sport 4 Langkah 150 Cc,” *Mot. Bakar J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2020, doi: 10.31000/mbjtm.v3i2.3332.

APLIKASI MIKROKONTROLER BERBASIS SENSOR RADIO FREKUENSI IDENTIFICATION (RFID) SEBAGAI SISTEM PENGAMAN OTOMATIS

Latuhorte Wattimury¹, Fany Laamena², Charlos Mozes Tehubijuluw³¹Prodi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : latutron@yahoo.com²Prodi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : navalfany@gmail.com³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233Email : carlostm@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan *system* pengaman otomatis menggunakan mikrokontroler NodeMCU dengan memanfaatkan RFID tag dan keypad sebagai kunci utama berbasis Web server secara *real time*. Kunci pintu mekanik konvensional memiliki beberapa type pengunci secara teknis yakni; grendel, tuas, dan silinder, semua jenis kunci ini bekerja secara manual, dengan system yang bisa membuka dan menutup secara manual melalui komponen system tertentu. Model penguncian manual ini bisa dimodifikasi secara otomatis melalui system *remote* PIN (*Personal Identification Number*), Sidik Jari, serta RFID (*Radio Frequency Identification*) berbasis arduino UNO. Sistem yang dimodifikasi dalam penelitian ini dibuat menggunakan mikrokontroler (NodeMCU) dan sensor serta perangkat lunak berupa kode program yang ditanamkan ke memory mikrokontroler dalam menjalankan fungsinya sebagai pengunci, dan menggunakan E-KTP sebagai media pengunci yang terkoneksi dengan system yang dibuat. Keuntungan sistem pengunci pintu berbasis mikrokontroler (NodeMCU) dengan module wifi seperti ini, lebih praktis dalam penggunaannya, mudah dalam mengontrol akses masuk dan keluar sebuah ruangan tertentu secara lebih aman berbasis online secara *realtime*.

Kata kunci: arduino, NodeMCU, mikrokontroler

Abstract. *This research aims to implement an automated secure system using Node MCU microcontrollers by utilizing RFID tags and keypad as Web server-based master keys in real time. Conventional mechanical door locks have several types of lock technically; latches, levers, and cylinders, all of these types of locks work manually, with systems that can open and close manually through certain system components. This manual locking model can be modified automatically via UNO arduino-based remote PIN (Personal Identification Number), fingerprinting, and RFID (Radio Frequency Identification). The modified system was built using a microcontroller (Node MCU) and a sensor and software program code embedded into the microcontroller's memory in performing its function as a lock, and using E-KTP as a lock medium connected to the system. The advantage of a microcontroller-based door lock system (Node MCU) with such a wifi module is that it is more practical in its use, it is easy to control access in and out of a particular room more securely based online in real time.*

Keywords: arduino, NodeMCU, microcontroller's

1. PENDAHULUAN

Kunci pintu mekanik konvensional memiliki beberapa type pengunci secara teknis yaitu grendel, tuas, dan silinder. Kunci grendel adalah model kunci pintu tradisional yang bekerja tanpa membutuhkan anakan kunci untuk membukanya, hanya cukup

ditarik atau didorong secara manual menggunakan tangan. Kunci tuas adalah model kunci yang memiliki bentuk memanjang yang terdiri dari pegas dan lempengan bergerigi dengan jumlah gerigi sedikit dan sederhana. Sedangkan kunci silinder prinsip kerjanya hampir sama dengan kunci tuas

hanya saja bentuk gerigi dibuat sedemikian rupa dan rumit. Lekukan pada gerigi tersebut berfungsi untuk memutar silinder pada slot sehingga bisa dibuka dan ditutup. [1]-[3]

Belakangan ini sudah ada beberapa model kunci pintu modern yang cara kerjanya secara otomatis yang diklaim aman dibanding kunci konvensional. Ada beberapa model kunci pintu otomatis yang ada di pasar Indonesia, yaitu model PIN, RFID, Sidik Jari, dan *remote*. PIN (*Personal Identification Number*) adalah sistem pengamanan yang menggunakan kombinasi angka untuk dapat mengakses keamanan tersebut, untuk jenis RFID (*Radio Frequency Identification*) atau Identifikasi Frekuensi Radio adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sarana yang disebut label RFID atau transponder untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh. [4] Pengguna harus memiliki kartu RFID yang sudah tercatat pada sistem dan mendekatkan pada sensor kunci pintu, hingga model kunci pintu dengan tingkat akurasi tinggi dengan identifikasi sidik jari serta kontrol kunci pintu menggunakan *remote*. Model kunci pintu ini memiliki berbagai mekanik kerja yang berbeda, diantaranya adalah model selot magnetik, pneumatik dan elektromekanik dengan variasi berbagai bentuk [1]-[3].

Sistem otomatis yang dibuat berbasis mikrokontroler (Arduino UNO), dan E-KTP sebagai kunci utama untuk mengakses sistem pengamanan pintu, menggunakan mikrokontroler dan sensor serta perangkat lunak berupa kode program yang ditanamkan ke memory mikrokontroler dengan tujuan menjalankan fungsinya sebagai sistem keamanan, Namun sistem otomatis ini masih ada kekurangannya karena dianggap belum cukup aman (1) tidak ada manajemen sistem (2) Tidak semua E-KTP dapat dibaca oleh RFID reader. Dan juga tidak efisien dalam pengoperasiannya di sebabkan setiap E-KTP yang ingin mengakses system harus di input ID nya secara manual ke dalam program agar dapat beroperasi sebagai kunci akses system keamanan [4], [5].

Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan sistem pengunci pintu yang dapat menambahkan kartu bahkan juga E-KTP secara *Automatic* dan juga dimonitoring setiap kartu yang mengakses *system* keamanan yang dapat melihat ID, Waktu, dan setiap ruangan yang di akses dari setiap kartu yang terdaftar mau pun tidak terdaftar secara *realtime*. Dengan demikian pemilik dapat benar-benar mengetahui *log* akses dari setiap ruangan yang terpasang sistem pengamanan pada setiap pintu [6].

Keuntungan dari sistem kunci pintu menggunakan mikrokontroler (NodeMCU) yang

memiliki module wifi seperti yang di teliti ini, yaitu; lebih praktis dalam penggunaannya, mudah mengontrol akses masuk dalam sebuah ruangan tertentu. Dalam penggunaan mikrokontroler yang memiliki module wifi ini berguna agar sistem dapat terintegrasi secara *online* dengan web server dan dapat di *handle* dengan cepat secara *realtime* untuk mengetahui *log* akses dari setiap sistem pada suatu ruangan [5]-[7].

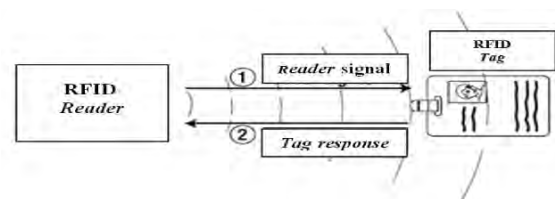
2. BAHAN DAN METODE

2.1. Radio Frequency Identification (RFID)

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi system sensor yang mampu mengidentifikasi berbagai objek di antaranya E-KTP. RFID bekerja berdasarkan frekuensi radio untuk membaca informasi dari sebuah device yang disebut tag atau transponder. RFID terdiri dari 4 komponen yaitu RFID tag (*transponder*), antena, *reader*, dan *interface software* [8], [10].

- 1 RFID tag memiliki *chip* yang dapat menyimpan data berupa nomer ID unik dan memiliki antena yang berfungsi untuk mentransmisikan data ke RFID *reader* melalui gelombang radio yang dipancarkan RFID *reader*.
- 2 Antena terdapat pada RFID tag (*tag-antena*) dan RFID *reader* (*reader antenna*) atau (*interrogator*) yang berfungsi mentransmisikan data dari chip RFID tag ke RFID *reader* melalui gelombang radio.
- 3 RFID *reader* adalah perangkat yang kompatibel dengan RFID tag. RFID *reader* akan memancarkan gelombang radio dan menginduksi RFID tag, kemudian RFID tag akan mengirim data ID dari antena yang terdapat pada rangkaian RFID tag melalui gelombang radio yang dipancarkan RFID *reader*.
- 4 *Interface Software* yang berfungsi untuk membaca data ID dari RFID *reader* dan mengolah data tersebut sehingga dapat digunakan menjadi sebuah *password*.

2.2. Cara Kerja RFID



Gambar 1. Cara kerja RFID [1] – [8]

RFID Tag dibagi dalam beberapa *frequency* berdasarkan gelombang radionya yaitu *low frequency* (LF), *high frequency* (HF) untuk aplikasi

jarak dekat (*proximity*), *ultra high frequency* (UHF) untuk aplikasi jarak jauh (*vicinity*) dan microwave. *Bandwith* frekuensi RFID Tag dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bandwidth Frekuensi RFID [1] – [8]

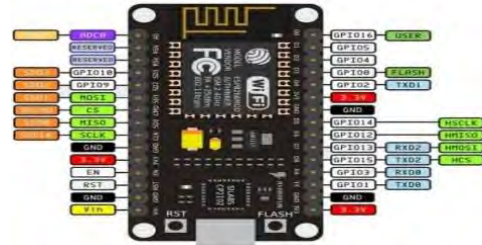
NO	Frekuensi RFID	Jenis Frekuensi	Manfaat
1	125KHz - 134KHz	Low Frequency	Menandai hewan
2	13.56MHz	High Frequency	Smart card
3	860MHz - 930MHz	Ultra High Frequency	Membuka otomatis bagasi, identifikasi suatu barang.
4	2.4GHz	Micro-Wave	Micro-Wave

2.3. Mikrokontroler NodeMCU

Sistem pengaman pintu otomatis ini dibuat berdasarkan sirkit arduino dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU. Mikrokontroler NodeMCU adalah sebuah sistem yang dapat bekerja open source platform IoT dengan kit yang menggunakan bahasa pemrograman Lua, untuk membantu kinerja prototype. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul ESP8266, yang mengintegrasikan GPIO, PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC, 1-Wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*) semua dalam satu board. Board ini sudah dilengkapi dengan fitur WiFi dan Firmwaranya yang bersifat opensource. Spesifikasi NodeMCU sebagai berikut : [3], [4], [7] – [10]

1. Board ini berbasis ESP8266 serial WiFi SoC (*Single on Chip*) dengan *on board* USB to TTL. *Wireless* yang digunakan adalah IEE 802.11b/g/n.
2. 2 tantalum capasitor 100 micro farad dan 10 micro farad.
3. 3.3v LDO regulator.
4. Blue led sebagai indikator.
5. Cp2102 usb to UART bridge.
6. Tombol reset, port usb, dan tombol flash.
7. Terdapat 9 GPIO yang di dalamnya ada 3 pin PWM, 1 x ADC Channel, dan pin RX TX.
8. 3 pin ground.
9. S3 dan S2 sebagai pin GPIO.
10. S1 MOSI (Master Output Slave Input) yaitu jalur data dari master dan masuk ke dalam slave, sc cmd/sc.
11. S0 MISO (Master Input Slave Input) yaitu jalur data keluar dari slave dan masuk ke dalam master.

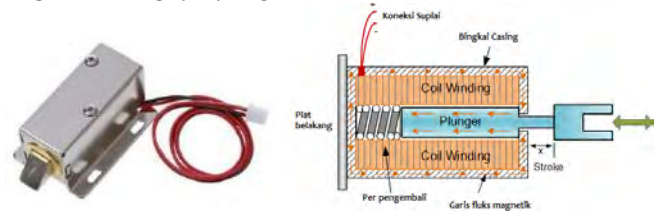
12. SK yang merupakan SCLK dari master ke slave yang berfungsi sebagai clock.
13. Pin Vin sebagai masukan tegangan.
14. Built in 32-bit MCU.



Gambar 2. GPIO NodeMCU ESP8266 v3 [10], [11]

2.4. Solenoid Door Lock DC 12v

Solenoid adalah aktuator yang mampu melakukan gerakan linier yaitu gerakan lurus menarik atau mendorong. Solenoid DC dapat bekerja secara elektromekanis dengan memberikan sumber tegangan, maka solenoid dapat menghasilkan gaya yang linier . [6] – [11]



Gambar 3. Solenoid door lock DC 12v

2.5. Liquid Crystal Display (LCD).

Liquid cristal display (LCD) adalah perangkat yang berfungsi sebagai media penampil dengan memanfaatkan kristal cair sebagai objek penampil utama.



Gambar 4. LCD 20x4 [8] – [11]

LCD yang digunakan adalah LCD berukuran 20x4 karakter dengan tahapan Chip module 12C untuk mempermudah programmer nantinya dalam mengakses LCD tersebut.

2.5.1. Register pada LCD 20x4

Ada 2 jenis register yang digunakan pada LCD untuk melakukan tugas kontrolnya sebagai pembentuk karakter diantaranya:

- a. **Register perintah** yaitu register yang berisi

perintah-perintah dari mikrokontroler ke LCD pada saat proses penulisan data.

- b. **Register data** yaitu register untuk menuliskan atau membaca data menuju DDRAM, dengan alamat yang telah diatur sebelumnya. [1] – [4]

2.5.2 I2C (Inter Integrated Circuit)

Inter Integrated Circuit atau yang lebih dikenal dengan sebutan I2C adalah merupakan standar komunikasi serial dua arah dengan menggunakan dua buah saluran yang didesain khusus untuk pengontrolan IC tersebut. Secara garis besar sistem I2C itu sendiri tersusun atas dua saluran utama yaitu, saluran SCL (*serial clock*) dan SDA (*serial data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan sistem pengontrolnya.



Gambar 2.5.2. LCD Modul I2C [8] – [11]

2.6. Touch Sensor Module

Sensor sentuh merupakan sebuah saklar yang cara penggunaannya dengan cara disentuh menggunakan jari. Ketika sensor ini disentuh maka sensor akan bernilai HIGH, Karena tubuh manusia terdapat aliran listrik sehingga sensor ini dapat bekerja. Sensor ini mempunyai 3 buah pin yaitu pin SIG (signal/data), GND dan VCC..



Gambar 2.6. Sensor Sentuh TTP223 [8] – [11]

2.7. Adaptor 12v 2A

Adaptor yaitu peranti elektronik yang bisa mengubah tegangan listrik (AC) yang tinggi menjadi tegangan listrik (DC) rendah.

- a. Adaptor DC-DC
Adaptor DC-DC adalah adaptor yang bisa mengubah tegangan DC yang tinggi menjadi tegangan DC yang rendah. Contohnya mengubah tegangan 12 menjadi tegangan 6.
- b. Adaptor AC-DC
Adaptor AC-DC adalah adaptor yang mengubah tegangan listrik AC yang besar menjadi tegangan

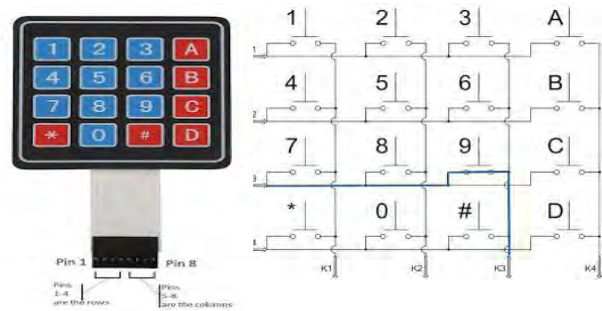
DC yang kecil. Contohnya adalah mengubah tegangan 220 menjadi tegangan 12. Adaptor yang di pakai pada alat pengaman pintu ini menggunakan adptor 12v sebagai catu daya.



Gambar 2.7. Adaptor 12V 2A [4] – [8]

2.8. Keypad Matriks 4x4

Keypad matriks adalah tombol – tombol yang disusun matriks (bari x kolom) sehingga dapat mengurangi penggunaan pin input.



Gambar 2.8. Keypad Matriks 4x4 [10],[11]

Rangkaian matrik keypad diatas terdiri dari 16 saklar push buton dengan konfigurasi 4 baris dan 4 kolom. 8 line yang terdiri dari 4 baris dan 4 kolom tersebut dihubungkan dengan port mikrokontroler 8 bit. Sisi baris dari matrik keypad ditandai dengan nama B1, B2, B3 dan B4 kemudian sisi kolom ditandai dengan nama K1, K2, K3 dan K4. Sisi input atau output dari matrik keypad 4x4 ini tidak mengikat, dapat dikonfigurasi kolom sebagai input dan baris sebagai output atau sebaliknya.

2.9. Software dan bahasa pemrograman

Software dan bahasa pemrograman yang digunakan dalam pembuatan aplikasi web server log akses keamanan pintu rumah antara lain:

- a. **HTML (HyperText Markup Language)**
“HyperText Markup Language atau HTML adalah bahasa yang digunakan pada dokumen web sebagai bahasa untuk pertukaran dokumen web, menyebarkan informasi, pembuatan dokumen dan aplikasi dinamis yang bisa berjalan dihalaman web. [5] – [8]
- b. **PHP (Hypertext Preprocessor)**
Bahasa pemrograman ini bersifat open source yang digunakan untuk membuat halaman

website. Struktur bahasanya berupa data script dengan sistem kerja berupa interpreter bukan sebagai compiler. Bahasa interpreter adalah bahasa yang script-script programnya tidak harus diubah kedalam bentuk source code. Bahasa PHP merupakan salah satu dari bahasa pemrograman yang bersifat server side, jadi bahasa ini dieksekusi dan dijalankan disisi server, sehingga dia tidak memperhatikan tingkat kompatibilitas dari user yang mengaksesnya, melainkan melihat kapasitas dan kompatibilitas dari server yang menjalankannya. [5]-[8]

c. Javascript

Javascript adalah bahasa scripting yang populer di internet dan dapat bekerja di sebagian besar browser populer seperti Internet Explorer (IE), Mozilla Firefox, Netscape dan Opera. Kode Javascript dapat disisipkan dalam halaman web menggunakan tag SCRIPT.[5] – [8]

d. Framework

Framework adalah sekumpulan library yang diorganisasikan pada sebuah rancangan arsitektur untuk memberikan kecepatan, ketepatan, kemudahan dan konsistensi didalam pengembangan sebuah aplikasi. [9]

Framework terdiri dari:

1. *Model*, mencakup semua proses yang terkait dengan pemanggilan struktur data baik berupa pemanggilan fungsi, *input processing* atau mencetak output ke dalam *browser*.
2. *View*, mencakup semua proses yang terkait *layout output*. Bisa dibilang untuk menaruh *template interface website* atau aplikasi.
3. *Controller* mencakup semua proses yang terkait dengan pemanggilan database dan kapsulisasi proses-proses utama.

e. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan software yang di gunakan untuk menulis program, memvalidasi dan juga mengupload ke board NodeMCU sesuai dengan keperluan project yang ingin dibangun. Bahasa yang digunakan adalah bahasa C for android atau bahasa yang sudah disesuaikan dengan hardware Arduino/NodeMCU yang digunakan dalam penelitian ini, file program yang telah di buat akan berektensi .ino. [9]-[11]

2.10. Tipe Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode deskriptif dengan objek penelitian RFID (*Radio Frekquency Identification*) berbasis wifi pada system penguncian pintu.

2.11. Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data secara sistematis sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah, dilakukan agar bisa dirumuskan permasalahan dan tujuan penelitian, sebagai langkah awal proses penelitian.
2. Studi literature, untuk mempelajari teori dasar yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti.
3. Prototyping, dimaksudkan untuk membuat sistem prototype yang dapat digunakan sebagai media untuk proses pengincian otomatis.
4. Programming, adalah proses memprogram Kode-kode, koding-koding sederhana dari sistem arduino UNO, serta RFID yang digunakan.
5. Pengujian sistem keamanan, dimaksudkan untuk menguji proses kerja sistem otomatisasi penguncian yang melibatkan RFID Tag, dengan Arduino Uno yang digunakan, serta system koneksi system berbasis wifi yang dilibatkan, secara real time.

2.12. Variabel penelitian

Variabel penelitian ini meliputi variabel bebas dan variabel terikat.

Variabel bebas (X)

$$X_1 = \text{Time Delay}$$

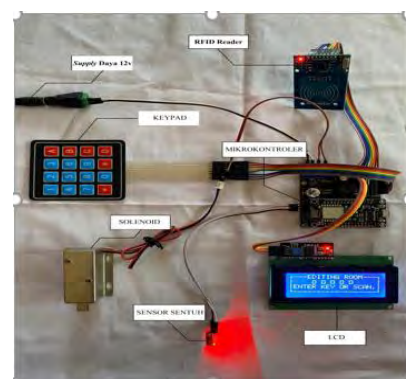
$$X_2 = \text{Jumlah smart card/E-KTP}$$

Variabel Terikat (Y)

$$Y = \text{Perangkat lock device}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Sistem Kontrol Pengaman Pintu yang dibuat sebagai berikut:



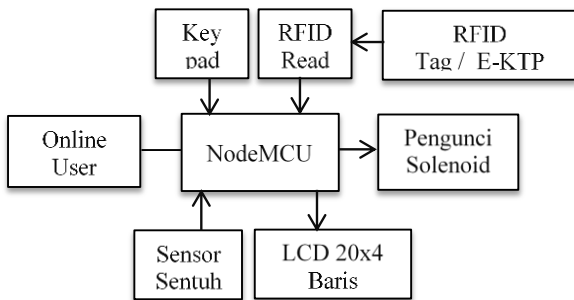
Gambar 2. Seluruh rangkaian sistem pengaman

3.1. Fungsi Kerja Elemen Sistem Kontrol

1. Mikrokontroler NodeMCU, berfungsi sebagai otak untuk memerintahkan seluruh komponen berdasarkan program yang diupload ke memori mikrokontroler.

2. RFID Reader berfungsi sebagai sensor untuk mengidentifikasi object yang di dekatkan berupa RFID Tag atau juga E-KTP.
3. Sensor sentuh TTP223 merupakan sebuah saklar yang cara penggunaannya dengan cara disentuh menggunakan jari untuk membuka pintu yang posisi penempatan sensornya berada di bagian dalam ruangan.
4. Keypad Matriks 4x4 berfungsi untuk menginput angka – angka yang telah di konfigurasi sebagai kode atau *pass key* untuk mengakses *system* keamanan.
5. Solenoid *Door Lock* berfungsi sebagai kunci yang implementasinya berada pada pintu ruangan atau pun media lainnya yang akan di pasangkan system pengaman.

3.2. Diagram Blok cara kerja system Online



Gambar 3. Blok Diagram

3.3. Perancangan User Interface System

Perancangan User Interface Rancangan ini menggambarkan hubungan antar halaman dalam setiap aplikasi sebagai berikut:

3.3.1 Halaman Login

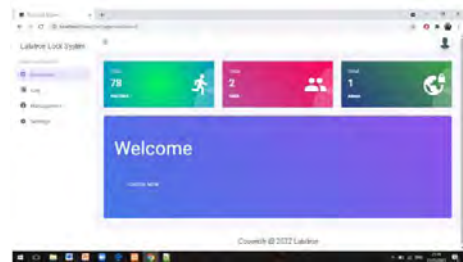
Halaman ini dikhususkan untuk para admin bisa mengakses, pengisian username dan password untuk login. Jika login gagal maka akan muncul peringatan, dan jika berhasil maka akan masuk kehalaman utama web.



Gambar 4. Tampilan Login

3.3.2. Halaman Dashboard

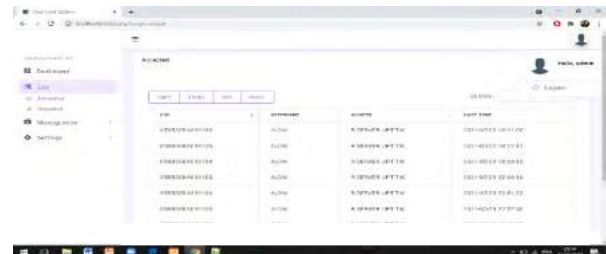
Pada halaman *dashboard*, terdapat pengelolaan pengguna berupa *Log Access, Management, settings* dan juga dapat melihat jumlah total *Visitors, total User*, dan total admin yang dapat mengakses Web sistem keamanan pintu otomatis, dan terdapat logo profile untuk opsi *logout* dari halaman utama ke halaman login seperti gambar berikut:



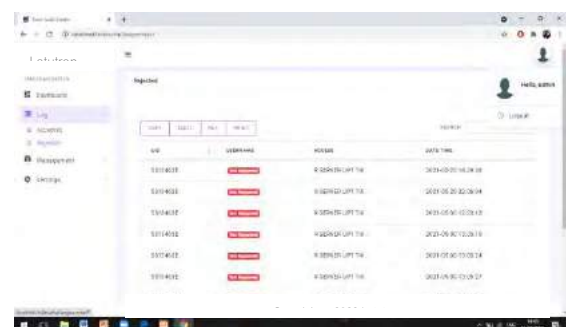
Gambar 5. Tampilan Dashboard

3.3.3. Halaman Log access

Pada halaman *Log Access accepted* dan *Rejected* terdapat opsi Filter, Copy, Excel, Pdf, Print. Kolom *Search* dan tabel yang didalamnya terdapat UID, *Username, Access, date time*. Terdapat juga *icon profile, logout* pada sisi kanan atas Website untuk keluar dari halaman *Log access* langsung ke halaman login, seperti gambar berikut:



Gambar 6. Log Access

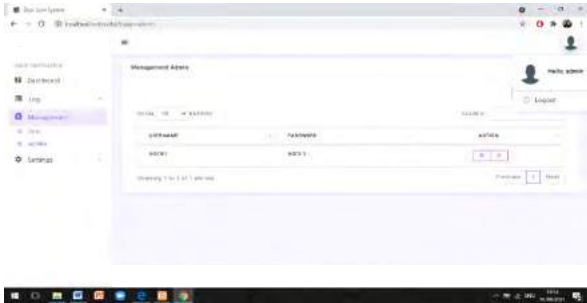


Gambar 7. Log Access Rejected

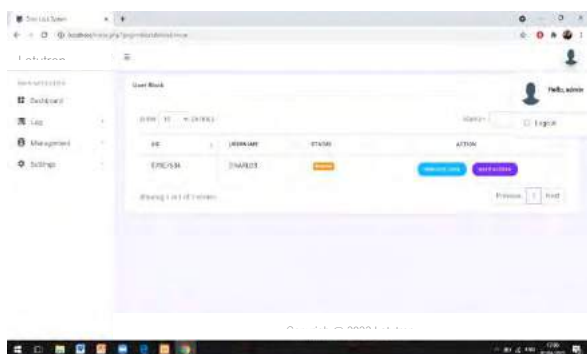
3.3.4. Halaman Management

Pada halaman *management User* dan Admin terdapat opsi *Add User*, pada halaman *management Admin* terdapat *add admin*, juga kolom *search* serta tabel yang didalamnya terdapat UID, Username, *Action Edit* dan *delete user* yang telah terdaftar

sebelumnya, Dan juga *icon profile*, *logout* pada sisi kanan atas Website untuk keluar dari halaman *Log management User* atau *admin* langsung ke halaman login, seperti pada gambar berikut.



Gambar 8. Halaman *management User*

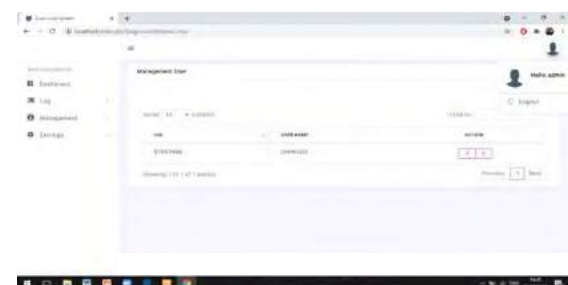


Gambar 9. Halaman *management Admin*

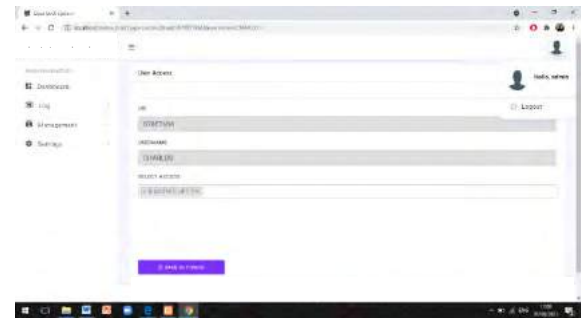
3.3.5. Halaman Settings User Control

Pada halaman *settings User Control* terdapat kolom search serta tabel yang didalamnya terdapat *UID*, *USERNAME*, *STATUS*, *ACTION* *Block User* dan *User Access*.

1. *Block User* berfungsi untuk memblock *user* yang telah terdaftar sebelumnya pada sistem, dan hanya bersifat sementara, akses akan *Active* ketika admin telah kembali memberikan akses kepada user tersebut, dapat dilihat pada Gambar 10.
2. *User Access* berfungsi untuk memberikan akses kepada *user* yang telah terdaftar pada sistem untuk dapat mengakses pintu-pintu yang terdapat sistem keamanan jika memiliki dari satu pintu yang dipasangkan sistem pengamanan, dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10. Halaman *Block User*



Gambar 11. Halaman *User Access*

3.3.6 Pengujian Mikrokontroler NodeMCU

Pengujian NodeMCU dimaksudkan untuk mengetahui kendala jaringan internet buruk atau lancar demi karakteristik “*CONNECTION SUCCESS*”, seperti gambar berikut:



Gambar 12. Kondisi koneksitas NodeMCU

3.3.7. Pengujian RFID

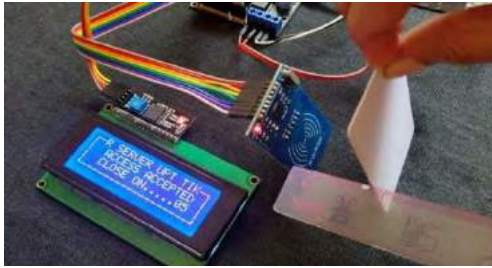
Pengujian RFID dilakukan untuk mengetahui berapa jarak baca dari E-KTP, RFID Tag dengan RFID Reader. Hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Jarak Baca RFID Tag

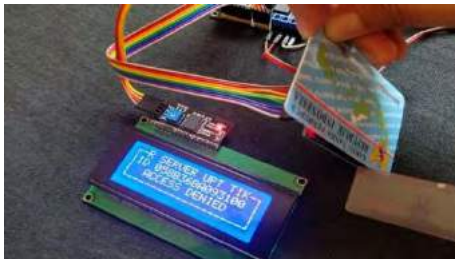
NO	Tipe	Jarak (cm)	Keterangan
1		0 cm	Terdeteksi
2		1,0 cm	Terdeteksi
3	RFID	2,0 cm	Terdeteksi
4	TAG	3,0 cm	Terdeteksi
5		3,5 cm	Terdeteksi
6		4,0 cm	Tidak Terdeteksi

Tabel 3. Hasil Pengujian Jarak Baca E-KTP

NO	Tipe	Jarak (cm)	Keterangan
1		0 cm	Terdeteksi
2	E-KTP	0,5 cm	Terdeteksi
3		1,0 cm	Tidak Terdeteksi



Gambar 13. Jarak baca RFID Tag yang terdaftar



Gambar 14. Jarak baca E-KTP Yang tidak terdaftar

3.3.8. Konfigurasi Standard System Kontroler

```
//===== Konfigurasi Kontroler =====
const char* ssid = "MCD E-Sports";           // Nama WiFi
const char* password = "Qwerty987";        // Password WiFi
String url = "http://192.168.1.3";          // IP Address server
String key = "60a641f64a970";              // request key didapat saat menambahkan kontroler pada web server
char offline_pass [5] = {'0', '0', '0', '0', '0'}; // Passcode keypad saat mode Offline
String administrator_pass = "123212";     // Passcode untuk masuk ke mode admin
int delay_offline = 5;                      // Delay waktu buka pintu saat mode offline di set selama 5 detik
int lcd_column = 20;                         // Untuk LCD 20x4

//===== End Konfigurasi Kontroler =====
```

Gambar 15. Konfigurasi Program Koneksitas NodeMCU Dengan jaringan Wifi

4. KESIMPULAN

Sistem penguncian pintu dapat diautomatisasi melalui kombinasi mikrokontroler NodeMCU dengan sensor RFID.

Kombinasi Mikrokontroler NodeMCU dengan sensor RFID dapat dikontrol secara *real time* berbasis Web Server.

Tidak semua kartu seperti E-KTP atau *smart card* dapat dibaca seperti RFID tag bawaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seprints.akakom.ac.id. pembahasan mengenai kunci konvensional dan kunci otomatis, (https://eprints.akakom.ac.id/145/8/123310011_BAB%20I.pdf)
- [2] Radius.co.id/aplikasi - radio frequency – identification – rfid - pada – jwm - patrol-management - system/
- [3] Dang, H. T. 2013. Investigate And Design A 13.56MHz RFID Reader. *Tesis*. School Of Electrical Engineering Ho Chi Minh City

International University (Vietnam National University). Ho Chi Minh.

- [4] Septriyanti dan Fitriyanti, 2017. “Rancang Bangun Aplikasi Kunci Pintu Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Menggunakan Smartphone Android”
- [5] Eko Saputro, 2016. *RANCANG BANGUN PENGAMAN PINTU OTOMATIS MENGGUNAKAN E-KTP BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328*.
- [6] De La Cruz, M., H. Guiterrez, dan A. Saavedra. 2011. Characterization Of And RFID Reader. *IEEE 978-1-424-9557 3(11)*: 339-343.
- [7] Denoia, L. A. dan A. L. Olsen. 2009. RFID and Application Security. *Journal Of Research and Practice in Information Technology*41(3): 209-221.
- [8] Gabriel, A. K. Dan O. K. Boyinbode. 2011. The Place of Emerging RFID Technology in National Security and Development. *International Journal of Smart Home* 5(2): 37-43.
- [9] “Huawei.com’ Pembahasan mengenai jarak jangkauan Bluetooth (consumer.huawei.com/id/support/content/id00411008)
- [10] Nwaji, O. G., N. C. Onyebuchi, dan Dr. O. F. Kelechi. 2013. Automatic Door Unit Radio Frequency Identification (RFID) Based Attendance System. *International Journal Science and Emerging Technologies* 5(6): 200-211.
- [11] Ozer, J. dan Blemings, H. 2009. *Practical Arduino (Cool Projects For Open Source Hardware)*. Apress. NewYork.

ANALISIS PENGGUNAAN FLAP BURITAN SPEED BOAT UNTUK MENDAPATKAN TRIM YANG EVEN KEEL

E. R. de FRETES¹

¹ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail : defretesera@fatek.unpatti.ac.id; defretesera@gmail.com

Abstrak Pengoperasian *Speed boat* merupakan hal penting untuk diperhatikan karena apabila kapal memiliki trim pada *forude number* (F_n) yang besar, maka kapal tersebut mengalami *trim* buritan sehingga menghalangi pandangan nahkoda, ini merupakan suatu kondisi yang sangat kritis atau mudah megalami kecelakaan. Penelitian yang dilakukan oleh de Fretes (2020) dan Ari (2021) menempatkan *Fin* atau *winglet* buritan di bagian belakang kapal, sedangkan posisi tersebut sangat berpengaruh pada pengoperasian mesin dimana olah gerak mesin dibatasi oleh kedudukan *Fin* tersebut. Salah satu solusi adalah menggantikan *Fin* oleh *Flap* yang letaknya di depan mesin outboard dari speed boat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar pengaruh pemasangan *Flap* buritan speed boat di depan mesin terhadap sudut trim yang ideal pasca pemasangan *Flap* pada buritan kapal dengan kecepatan kapal yang berbeda. Untuk menganalisis melakukan pengujian model kapal di laboratorium *towing tank* dengan cara membandingkan model kapal sebelum menggunakan *Flap* dan sesudah penggunaan *Flap* di mana variasi sudut *Flap* 0° - 16° . Hasil yang diperoleh dari sembilan variasi sudut yaitu (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16) terhadap 5 variasi f_n kapal menampilkan bahwa ketika $F_n < 0.6$ trim yang terjadi pada kapal tidak terlalu besar dan pada sudut 12 derajat adalah sudut yang mampu membuat kapal berada diposisi even kell, sebaliknya di $F_n > 0.5$ sudut trim buritan yang menentukan posisi *even kell* berada di 8 derajat.

Kata kunci: Flap, Speed boat, Trim, Fin, Winglet

Abstract *Speed boat operation is important to note because if the ship has a trim on a large forude number (F_n), then the ship experiences a stern trim so that it hinders the captain's guidance, this is a very critical condition or prone to accidents. Research conducted by Binaya (2019) and Ari (2021) places the Fin or stern winglet at the back of the ship, while this position is very influential on engine operation where the engine motion is limited by the position of the Fin. One solution is to replace the Fin by a Flap located in front of the outboard engine of the speed boat. The purpose of this study is to find out how much influence the installation of the speed boat stern flap in front of the engine on the ideal trim angle after the installation of the flap on the stern of the ship with different ship speeds. To analyze, conduct ship model testing in the towing tank laboratory by comparing ship models before using the Flap and after using the Flap where the variation in the Flap angle is 0° - 16° . The results obtained from nine angle variations, namely (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 16) against 5 variations of the ship's f_n show that when $F_n < 0.6$ the trim that occurs on the ship is not too big and at an angle of 12 degrees is the angle that is able to make the ship in the position of the even kell, on the contrary in $F_n > 0.5$ the angle of the stern trim which determines the position of the even kell is at 8 degrees.*

Keywords: Flap, Speed boat, Trim, Fin, Winglet

1. PENDAHULUAN

Kapal *Speedboat* merupakan kategori kapal cepat yang mempunyai kecepatan dinas yang tinggi dengan *Froude number* lebih besar dari 1,2. Dalam

pengoperasian *Speedboat* mempunyai permasalahan yang sangat krusial tentang *trim* kapal, di mana pada saat kapal beroperasi baik dalam kondisi kapal kosong ataupun kapal penuh

sering kali mengalami *trim* buritan yang mengakibatkan jarak pandang seorang nahkoda menjadi terhalang, dan menimbulkan adanya hambatan yang besar diakibatkan karena daerah luasan permukaan dan aliran yang terjadi mempunyai titik staknasi yang besar. Menurut Savitsky bila daya angkat mendekati nol, maka demikian pula sudut *trim* yang dibentuk, juga akan mendekati nol. Sehingga sudut *trim* memiliki fungsi yang serupa dengan sudut datang pada teori *hidrodinamik*. Apabilala gaya angkat turun secara linear maka akan terjadi peningkatan pada sudut *deadrise*, sehingga dapat diketahui bahwa sudut *deadrise* memiliki hubungan langsung dengan gaya angkat (*lift*) [1].

Speedboat pada saat kapal bergerak dengan beban berada pada bagian buritan memiliki sudut 37° dengan sarat air buritan sebesar 0,25 m dan haluan sebesar 0,28 m, kemudian saat beban berada pada haluan saratnya sebesar 0,30 m pada haluan dan sebesar 0,24 m pada bagian buritan. Sedangkan saat kapal bergerak beban berada pada bagian buritan body kapal pada bagian haluan akan terangkat (*trim*) yang dipengaruhi oleh gaya angkat sehingga kecepatannya minimum dan sudut trim haluan sebesar 23° dan sarat air sebesar 0,57 m dengan luas permukaan basah yang kecil. Kemudian ketika beban berada pada haluan maka *speedboat* memiliki kecepatan yang maksimum dan sudut trim haluan sebesar 24° dan sarat air sebesar 0,5 m dengan luas permukaan yang besar. Perbedaan antar sudut yang terjadi itu karena adanya perubahan titik berat pada *speedboat*.

Sehingga untuk mengatasi masalah diatas maka perlu adanya inovasi pada kapal *Speedboat* yaitu dengan menambahkan *Trim tab* pada kapal. Yang di mana alat ini dapat digunakan untuk memperbaiki olah gerak kapal yang cenderung berat ke belakang sehingga memiliki kecenderungan *trim* buritan yang berpindahnya titik LCF (*length of center of flotation*) [2].

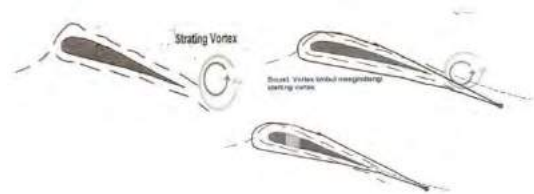
Dengan memperhatikan paparan latar belakang di atas, maka indentifikasi tujuan penelitian yang akan diteliti dalam penulisan ini adalah: untuk mendapatkan parameter dan sudut flap buritan kapal speed boat terhadap hambatan dan sudut trim yang efisien.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium towing tank, dengan menggunakan model kapal dengan skala model 8,75. Dengan menggunakan variasi kecepatan penarikan dalam towing tank dengan didasarkan pada beberapa metode dasar untuk menganalisisnya.

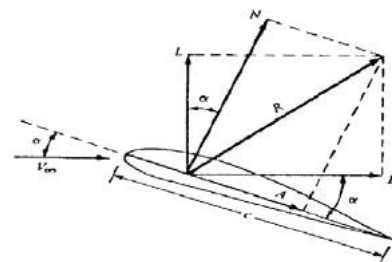
2.1. Konsep Umum Gaya Angkat

Aliran yang berpisah merupakan efek dari viskositas. Konsekuensi dari perpisahan aliran pada α tinggi adalah pengurangan gaya angkat dan bertambah besarnya gaya hambat akibat *pressure drag*, kondisi ini disebut kondisi *stall*. Nilai maksimum dari CL berada tepat sebelum kondisi *stall* yang dilambangkan dengan max CL. Max CL merupakan aspek paling penting dari performa foil. [3].



Gambar 1 Proses terbentuknya gaya angkat

Sudut serang (α) juga merupakan sudut antara gaya *lift* (L) dan gaya normal (N) dan gaya *drag* (D) dan gaya aksial (A).



Gambar 2 Resultan Gaya Aerodinamik pada Hidrofoil

2.2. Kapal Cepat

Suatu kapal cepat khususnya dengan ukuran kecil ketika dioperasikan akan mengalami kondisi seperti berikut [4]. Di mana kondisi kapal diam dan bergerak pada kecepatan rendah, kapal cepat (*planning boat*) tersebut memiliki sifat sebagai layaknya lambung displasemen (*Displacement Hull*). Kondisi ini mempengaruhi keseluruhan gaya angkat (*lift*) yang bekerja pada lambung berasal dari gaya apung (*Bouyant forces*).

Kapal speed boat merupakan kategori kapal cepat yang mempunyai kecepatan dinas yang tinggi dengan Froude number lebih besar dari 1.2, digunakan oleh petugas dalam rangka memberikan pertolongan bila terjadi kecelakaan/musibah, dan atau inspeksi/pemeriksaan di alur pantai, sungai, danau dan penyeberangan. Kapal speed boat adalah kapal yang menerapkan hukum archimedes bahwa berat air yang dipindahkan oleh suatu benda sama

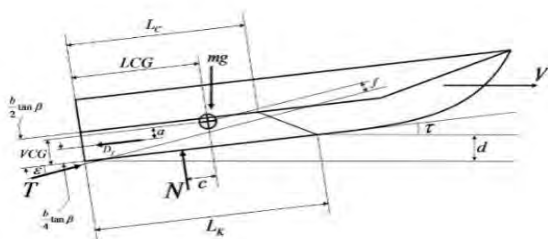
dengan gaya hidrosytatis ke atas. Dilain pihak dengan bertambahnya kecepatan kapal, maka bertambah juga gaya angkat ke atas dan akan memperkecil volume bagian bawah kapal yang tercelup ke dalam air, dengan peningkatan kecepatan kapal kemungkinan berat kapal lebih kecil dari daya angkat hidrodinamika sehingga seakan-akan badan kapal terangkat. [1], [5].

2.3. Trim Kapal

Sebelum memulai suatu kapal, maka perlu dibahas terlebih dahulu tentang jenis-jenis kendaraan laut yang lingkupnya meliputi kapal yang didukung oleh hidrostatik dan hidrodinamik. Pengaruh kedua komponen ini terhadap berbagai jenis kapal yang diatas permukaan, semi-submersible maupun kapal selam. Selain itu single hull, multi hull, serta planing hull [6], [7].

Suatu kapal cepat khususnya pada kapal cepat dengan ukuran kecil ketika dioperasikan akan mengalami kondisi berikut [8], [9].

Perhitungan ini menggunakan metode Savitsky dalam [4]. Metode ini cocok diaplikasikan pada kapal cepat terutama pada kapal cepat bentuk hard chine, perhitungannya dilakukan dengan menggunakan Froude number.



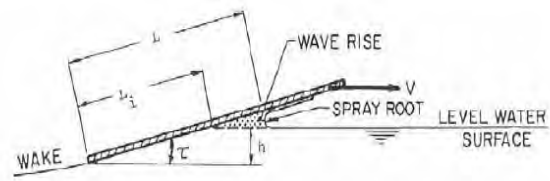
Gambar 3. Kapal saat Planing Hull [4]

$$N \cos \tau + T \sin (\tau+\varepsilon) - mg - D \sin \tau = 0$$

$$T \cos (\tau+\varepsilon) - N \sin \tau - D_f \cos \tau = 0$$

$$CG : N \cdot c + D_f \cdot x_a - T \cdot x_f = 0$$

Meskipun kapal hampir seluruhnya meluncur di permukaan air, dan permukaan basahya menjadi sangat kecil demikian juga trim kapal mulai menurun dibandingkan dengan pada fase pre-planing, tetapi tekanan hidrodinamik menjadi sangat besar sebagai akibat kecepatan tinggi yang diperoleh dari gaya dorong propeller [10]. Pada fase planing, bagian kapal yang terbenam sangat kecil, sehingga gelombang yang terbentuk hampir hilang sama sekali. Bentuk planing hull paling sederhana adalah bidang datar yang diilustrasikan pada gambar 4.



Gambar 4. Geometri sederhana permukaan planing [11]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spesifikasi Kapal dan Model

Dari hasil survey yang dilakukan pada tiga tempat yaitu di Tulehu, Teluk Ambon, Di Maluku Tengah diperoleh data kapal rata-rata sebagai berikut.

1. Data ukuran pokok kapal

- a. Panjang utama kapal (Loa) : 7,45 m
- b. Panjang garis air (LWL) : 7,068 m
- c. Lebar lambung kapal (B) : 1,513 m
- d. Tinggi geladak (H) : 1,15 m
- e. Tinggi sarat (T) : 0,4 m
- f. Desplasemen : 1,925ton
- g. Koefisien blok (Cb) : 0,543
- h. Koefisien water line : 0,821
- i. Koefisien mid ship : 0,74
- j. Koefisien prismatic : 0,736

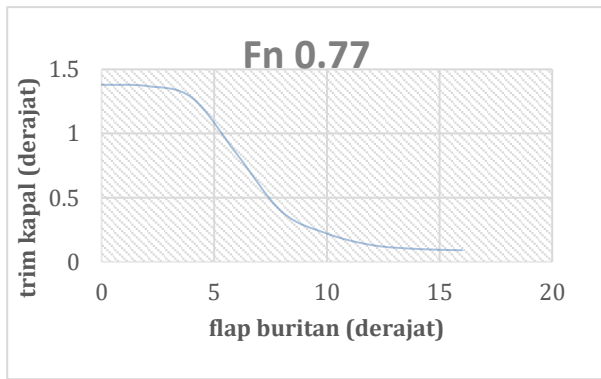
2. Ukuran model

Dengan memperhatikan ukuran toing tank, diperoleh skala model adalah 1 : 100, sehingga ukuran mdl seperti di baah ini.

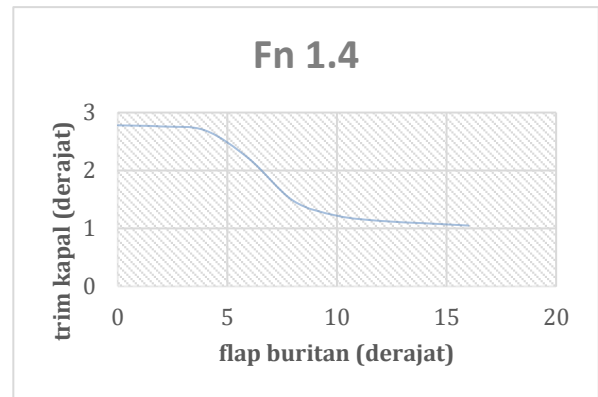
- a. Panjang utama kapal (Loa) :0.74 m
- b. Panjang garis air (LWL) :0.70 m
- c. Lebar lambung kapal (B) :0.15 m
- d. Tinggi geladak (H) :0.11 m
- e. Tinggi sarat (T) :0.04 m
- f. Desplasemen :0.019 ton
- g. Koefisien blok (Cb) :0. 543
- h. Koefisien water line :0.823
- i. Koefisien mid ship :0.74
- j. Koefisien prismatic :0.736

3.2. Hasil Pengujian

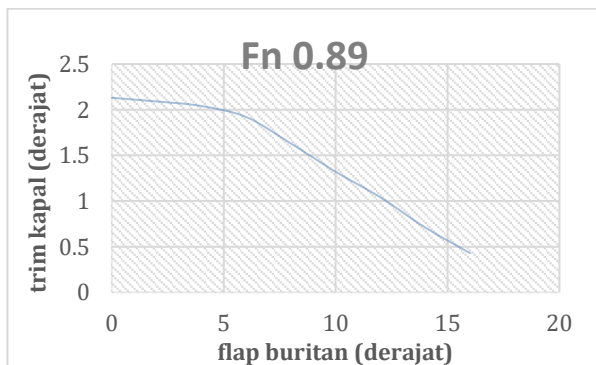
Hasil pengujian dengan memvariasikan kecepatan yang pada akhirnya pengaruhnya pada Froude Number, diperoleh hasil seperti diperlihatkan pada grafik di bawah ini.



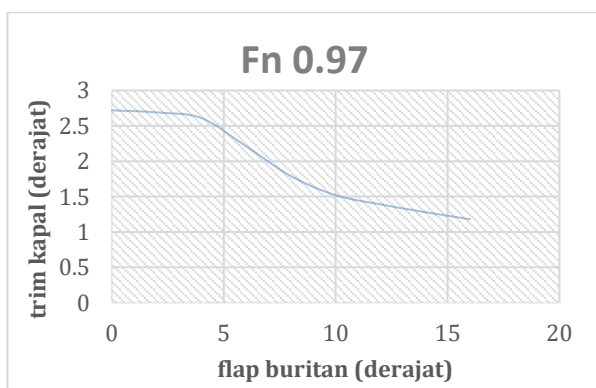
Gambar.5. Hasil Trim kapal pada Fn 0,77



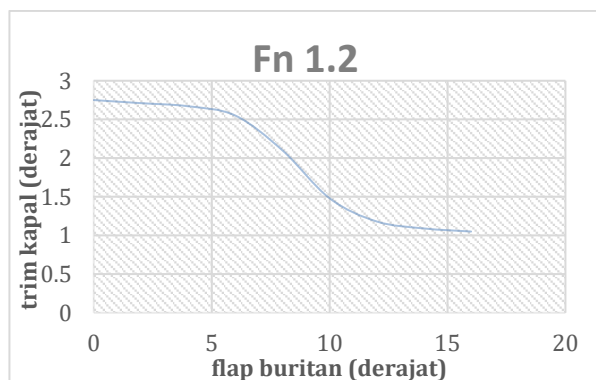
Gambar.9. Hasil Trim kapal pada Fn 1,40



Gambar.6. Hasil Trim kapal pada Fn 0,89



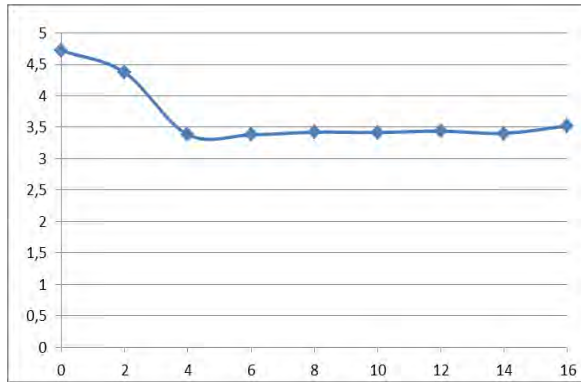
Gambar.7. Hasil Trim kapal pada Fn 0,97



Gambar.8. Hasil Trim kapal pada Fn 1,20

Pada Gambar 5 diperlihatkan bahwa Fn 0.77 adalah kondisi sudut masuk fin buritan yang meminimalisir trim kapal dimulai dari sudut 8-16 derajat, Gambar 6 menjelaskan bahwa Pada Fn. 0.89 nilai grafik menunjukkan terjadi perbedaan diangka 0.75 fenomena ini terjadi dikarenakan kecepatan kapal yang lebih tinggi sehingga pada sudut 0-8 derajat kapal masih berada dikondisi trim yang cukup ekstrim. Sedangkan pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa Fn 0.97 adalah batas atas nilai pengujian trim kapal, pada sudut 6 derajat kapal telah melaju dengan kondisi hampir mendekati posisi even keel dan pada sudut 8 derajat air yang masuk kedalam model telah terjadi, sampai pada sudut 16 derajat jika diperhatikan dalam pengambilan video luas permukaan basah sudah sangat sedikit.

Pada Gambar 8 untuk Fn 1.2 adalah Fn yang sesuai dengan kecepatan 20 knot pada speedboat di kondisi kapal kosong, fenomena trim ekstrim berada di sudut 0-6 derajat sedangkan di sudut 8 derajat kapal telah melaju dengan kondisi hampir mendekati posisi even keel dan disudut 12 derajat air yang masuk kedalam model telah terjadi di tambah kapal melaju tidak lagi dalam satu garis lurus namun zig-zag, sampai pada sudut 16 derajat jika diperhatikan dalam pengambilan vidio luas permukaan basah sudah sangat sedikit. Gambar 9 untuk Fn 1.4 adalah batas atas nilai pengujian trim kapal, pada sudut 4 derajat kapal telah melaju dengan kondisi hampir mendekati posisi even keel dan pada sudut 8 derajat air yang masuk kedalam model telah terjadi, sampai pada sudut 16 derajat jika diperhatikan dalam pengambilan vidio luas permukaan basah sudah sangat sedikit



Gambar 10. Grafik hambatan total kapal RT terhadap sudut kemiringan Flap

Gambar 10 diatas, dapat dilihat bahwa nilai hambatan total kapal yang di hasilkan pada sudut 0° sampai 4° , terjadi penurunan kurva yang signifikan nilai hambatan kapal mulai mengalami kecenderungan setelah itu trendnya terjadi peningkatan tetapi tidak signifikan, hal ini disebabkan karena pada sudut 0° sampai 5° sangat minimum sehingga pengaruh gaya lift sangat besar, sehingga terjadi penurunan luaspermukaan basah yang berimplikasi pada besar hambatan kapal sedangkan pada sudut besar diatas 5° pengaruh gaya drag dari fin mulai meningkat.

4. PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah : Sudut flap buritan yang ideal untuk $F_n < 0.5$ secara rata-rata adalah di sudut 12 derajat, dan untuk $F_n > 0.5$ sudut fin yang ideal secara rata-rata adalah 8 derajat. Dari hasil ini gaya drag yang paling rendah terdapat pada sudut 5 derajat dengan besar adalah 3,4 KN

DAFTAR PUSTAKA

- [1] De Fretes E.R, Juli 2020 “Analisa Parametrik Penempatan Fin Buritan Pada Speed Boat di Maluku” ALE Proceeding 3: 1-6, DOI : 10.30598/Ale.3.2020. 1-6, Ambon
- [2] Manik P, Rindo G, Yudo H., Sinaga E.E, 2021 “Analysis Of effect of Addition of stern flaps on the performance of 60 m fast boat”, IOP Conference Series : Material Science and Engineering, Volume 1034 (iComera 2020), Malang, Indonesia, IOP 10.1088/1757-899X/1034/1/012032
- [3] Irfan Syarif Arief et al., 2010 “ Analisa Pengaruh Cekungan Yang Diterapkan Pada Plat Datar terhadap Aliran Fluida Untuk Mendukung Teknologi Maritim Pendekatan CFD” Jurusan Teknik Sistem

- Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [4] Savitsky D, Brown P.W., 1976 “Procedure of Hydrodynamic Evaluation Of Planing Hull In Smooth and Rought Water”, Marine Technology, Vol 13, No 4, Oct 1976, pp 381-400
 - [5] Tuncer A, Tayar G. T., and Unsan Y. 2016,” Interceptor Design And Control For The High Speed Craft”, GiDB DERGi Sayı 7
 - [6] Munson B.R., Young D. F., Okiishi T. H., 2003 “Fundamentals of Fluid Mechanics, Jhon Wiley & Sons, inc.
 - [7] Sukoco., 2015“ Upaya Peningkatan Gaya Angkat Pada Model Airfoil Dengan Menggunakan Vortex Generator”, Jurnal Teknik Vol. 5 No. 2 /Oktober, ISSN 2088 – 3676
 - [8] Muchammad., 2006 “Perhitungan Gaya Drag Pada Benda Uji Pelat Persegi Datar Menggunakan Low Speed Wind Tunnel” Momentum, Vol. 2, No. 1, April 2006 : 15 – 25
 - [9] Anuar Bin Bero, May 2009 “Performance Prediction For High Speed Craft” A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Marine Technology), Faculty of Mechanical Engineering Universiti Teknologi Malaysia
 - [10] Pangestu G.B., Chrismianto D., Rindo G, 2021 “Analisa Pengaruh Penambahan Integrated Stern Wedge-Flap terhadap Hambatan Kapal dengan menggunakan metode CFD”, Jurnal Teknik Perkapalan, Volume 9 no 2, pp 199-205, Universitas Diponegoro, Semarang
 - [11] Savitsky D, 1964 ” Hydrodynamic Design Of Planing Hull”, Marine Technology, Vol I, No 1, pp 71-95, October

PENGARUH MODIFIKASI KEMUDI PLAT MENJADI KEMUDI NACA 0010 PADA
KM. HARAPAN MUJUR 04La Ode Ruju¹, E. R. de FRETES², dan G. R. Latuhihin³¹Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: ruju.leo07@gmail.com²Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: defretesera@gmail.com³Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: grlthi2n@gmail.com

Abstrak KM. Harapan Mujur 04 dalam pengoperasiannya memiliki *tactical diameter* yang sangat besar yang menimbulkan kesulitan olah gerak pada daerah yang padat transportasinya, sehingga pemilik ingin memodifikasi kemudi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan kemampuan olah gerak kapal dengan berpatokan pada *Turning Circle Test*. Melalui uji coba di Towing tank Fakultas Teknik Universitas Pattimura dengan memvariasi bentuk kemudi plat dan kemudi NACA 0010. Hasil yang diperoleh yaitu turning circle kemudi plat start kanan memperoleh nilai advance 198,99 m tactical diameter 181,08 m dan transfer 90,54 m untuk start kiri memperoleh nilai advance 198,99 m tactical diameter 181,08 m dan transfer 90,54 m. Sedangkan uji turning circle kemudi NACA 0010 memperoleh start kanan advance 151,33 m atau lebih efektif 31% dari kemudi plat, tactical diameter 107,15 m atau lebih efektif 60% dari kemudi plat dan transfer 45,08 m atau lebih efektif 50% dari kemudi plat. Sedangkan hasil uji dengan start kiri advance = 151,71 m atau lebih efektif 31%, dari kemudi plat tactical diameter = 107,36 m atau lebih efektif 60% dari kemudi plat dan transfer = 45,30 m atau lebih efektif 50% dari kemudi plat, sehingga demikian kemudi NACA 0010 lebih efisien dari kemudi plat.

Kata kunci: *Turning circle*, manuver, kemudi, dan NACA 0010

Abstract KM. Harapan Mujur 04 in operation has a very large tactical diameter which causes difficulty in maneuvering in densely packed areas, so the owner wants to modify the rudder. This study aims to obtain a comparison of ship maneuverability based on the Turning Circle Test. Through trials on the Towing tank, Faculty of Engineering, Pattimura University, by varying the shape of the plate rudder and NACA 0010 rudder. The results obtained were that the turning circle of the right start plate rudder obtained an advance value of 198.99 m tactical diameter of 181.08 m and a transfer of 90.54 m for the left start obtained an advance value of 198.99 m tactical diameter of 181.08 m and a transfer of 90.54 m. While the NACA 0010 rudder turning circle test obtained an advance right start of 151.33 m or 31% more effective than plate rudder, tactical diameter of 107.15 m or 60% more effective than plate rudder and transfer 45.08 m or 50% more effective than plate rudder. While the test results with start left advance = 151.71 m or 31% more effective, from plate rudder tactical diameter = 107.36 m or 60% more effective than plate rudder and transfer = 45.30 m or 50% more effective than plate rudder, so that NACA 0010 rudder is more efficient than plate rudder.

Keywords: *Turning circle*, maneuver, rudder, and NACA 0010

1. PENDAHULUAN

Kapal KM. Harapan Mujur 04 adalah kapal rakyat yang memuat penumpang dan barang. Kapal ini beroperasi pada rute pelayaran Ambon-ternate

dengan memiliki panjang 32,50 meter, lebar 6,25 meter, dan menggunakan kemudi plat. Saat beroperasi, kapal memiliki *tactical diameter* yang besar. Hal ini dianggap oleh pemilik kapal sebagai

kelemahan dari kapal tersebut. Pemilik menginginkan kapal ini memiliki kemampuan *manuver* lebih efektif. Pemilik mengambil suatu kebijakan untuk melakukan memodifikasi kemudi plat tersebut.

Kapal KM. Harapan Mujur 04 dimana rutenya terdapat kepadatan arus lalulintas kapal yang sangat padat. Pelabuhan Yosudarso yang merupakan pelabuhan utama di Ambon, di sebelah timurnya terdapat penyebrangan kapal feri dan di hadapannya terdapat pelabuhan milik Pertamina, serta adanya transportasi penyebrangan lainnya yang menambah arus lalulintas kapal di dalam teluk Ambon. Menyangkut keselamatan kapal, muatan, efektifitas kapal dalam pelayaran, maka perlu upaya untuk meningkatkan *manuver* yang lebih efektif pada kapal tersebut.

NACA 0010 mempunyai daya angkat yang paling tinggi di antara *airofoil* seri simetris lainnya [1]. Sehingga penulis memilih daun kemudi ini sebagai acuan dalam memodifikasi daun kemudi kapal KM. Harapan Mujur 04.

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut untuk mendapatkan perbandingan kemampuan olah gerak kapal dengan *Turning Circle Test*. Sebelum dan sesudah di modifikasi bentuk daun kemudi plate menjadi kemudi NACA 0010

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Kemudi atau Daun Kemudi

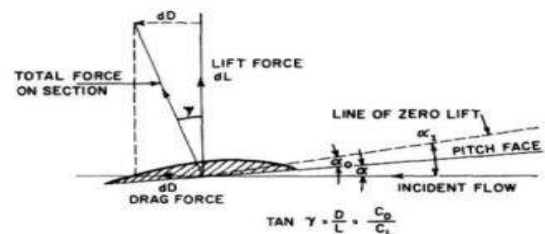
Kemudi (rudder) merupakan suatu alat kapal yang digunakan untuk mengubah dan menentukan arah gerak kapal, baik arah lurus maupun belok kapal. Kemudi kapal ditempatkan diujung belakang lambung kapal / buritan di belakang propeller kapal. Prinsip kerja kemudi kapal yaitu dengan mengubah arah arus cairan yang mengakibatkan perubahan arah kapal. Cara kerja kemudi kapal yaitu kemudi digerakkan secara mekanis atau hidrolis dari anjungan dengan menggerakkan roda kemudi [2].

2.2 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Daun Kemudi Kapal

Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah *fluida* dengan sudut α pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak *simetris*. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan

perubahan arah haluan kapal. Gaya kemudi merupakan resultan dari *drag force* dan *lift force*. Istilah *lift* digunakan pada analisa gaya ke atas suatu *foil aerodynamic*, maka dari itu dinamakan gaya *lift* (angkat) sebab umumnya *foil aerodynamic* digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah *lift force* juga digunakan pada menganalisa gaya suatu foil kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan *drag force* merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal, kita dapat menggunakan persamaan dibawah ini [3],[4]:

$$L = \frac{\rho \times V^2 \times A \times C_L}{2} \quad L = \frac{\rho \times V^2 \times A \times C_D}{2}$$

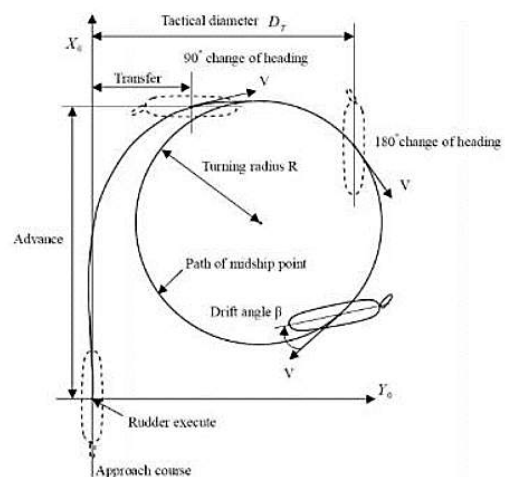


Gambar 1. Gaya pada kemudi

2.3 Standar Manouverability

Standar ijin pengujian yang diperlukan dalam manuver kapal disyaratkan dalam IMO Resolusi MSC 137 (76) (2002) antara lain [5]:

- a. *T Turning circle test*, mulai dari gerak lurus dengan laju konstan, rudder dihidupkan dengan kecepatan maksimum ke sudut δ (sudut kemudi maksimum) dan tetap pada sudut tersebut, sampai kapal telah melakukan *turning cycle* paling kurang 5409. percobaan dilakukan untuk bagian port dan starboard. Informasi penting yang diperoleh dari manouvet tersebut umumnya dengan menggunakan GPS



Gambar 2 Pemodelan turning circle

Beberapa parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kinerja kapal pada saat berputar adalah [6],[7]:

1. Drift angle (sudut drift), adalah sudut antara haluan kapal dan arah gerakan. Sudut tersebut bervariasi sepanjang kapal.
2. Advance, merupakan jarak dari pelaksanaan awal ke sumbu x pada kapal ketika telah berbelok 90°
3. The transfer, merupakan jarak dari jalur ke awal mula kapal ketika sumbu x pada kapal telah berbelok 90°
4. The tactical diameter, merupakan jarak dari jalur awal ke sumbu x pada kapal ketika kapal telah berbelok 180°.
5. The diameter of the steady turning circle, diameter dari lingkaran yang terus-menerus berputar. Kondisi tetap biasanya dihubungkan pada beberapa titik antara perubahan 90° dan 180° dari perubahan pos.

2.4 Materi Penelitian

- a. Data primer

Spesifikasi kapal

1. Data ukuran pokok kapal
Data Ukuran Pokok Kapal

LOA	: 32.50 m
LBP	: 28 m
B	: 6.25 m
H	: 2.50 m
T	: 1.87 m
Vs	: 12 knot
LCG	: - 1,625 m
KG	: 0,47 m
KB	: 0,83 m
2. Spesifikasi daun kemudi
 - Lebar : 1,29 m
 - Tinggi : 2 m
 - NACA : 0010
- b. Data sekunder
 - Nama Kapal
 - Kecepatan Pelayaran
 - Mesin utama dan putaran mesin

2.5 Teknik Pengolahan Data

- a. Simulasi
Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi perhitungan dan olah gerak kapal dengan uji coba model kapal untuk mengetahui analisa kemampuan manouever kapal yang diteliti.

- b. Laboratorium

Penelitian dilakukan dengan menguji model pada towing tank Fakultas Teknik Universitas Pattimura

2.6 Variabel Penelitian

Variabel Penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh seorang peneliti dengan tujuan untuk dipelajari sehingga didapatkan informasi mengenai hal tersebut dan ditariklah sebuah kesimpulan.

$$y_1 = f(x_1, x_2)$$

Dimana:

- a) Variabel Terikat (Y) merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas sesuai dengan masalah yang diteliti maka yang menjadi variabel terikat adalah R (tactical diameter).
- b) Variabel Bebas (X) adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Maka dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah perghitungan :
 $x_1 =$ luas penampang daun kemudi plat
 $x_2 =$ luas penampang dau kemudi NACA 0010

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengolahan Data

➤ Pemodelan Kapal dan daun kemudi

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh daun kemudi satu dan kemudi dua terhadap manuver kapal maka dibuatlah model kapal dengan skala 1:30 artinya bahwa 1 cm mendampingi 30 cm dari kapal yang sesungguhnya. Dalam hal ini kemudi yang digunakan yaitu kemudi plate dan kemudi airofoil (Naca0010) [8].



Gambar 3. Model Kapal



Gambar 4. Daun Kemudi

3.2 Pengujian Model

➤ Pengujian Turning Circle

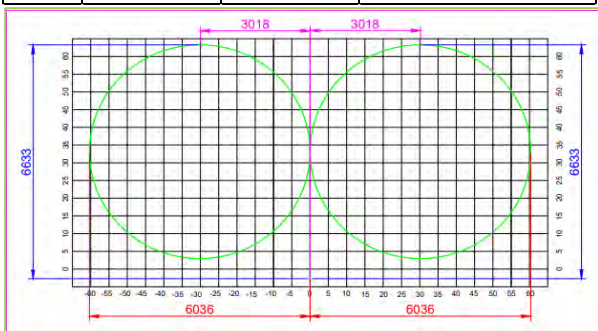
- Pengujian turning circle kemudi plat

Dalam pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali disetiap parameter untuk menghindari human eror, pengujian ini dilakukan Dengan mengubah sudut rudder ke sudut kemudi maksimum atau 35° (seusai standar IMO pada table (1) sampai kapal telah melakukan turning circle kearah kiri (port side) dan pengujian turning circle kearah kanan (starboard).

Sementara pengujian, kamera akan terus merekam proses berlangsungnya pengujian. Kamera berada pada ketinggian 1.5 m dan kamera merekam selama kapal dalam proses running.

Tabel 1. Hasil pengujian kemudi plat

Kanan			
No	Data Pengujian kemudi plat		
	Turning Circle		
	Advance (meter)	Transfer (meter)	Tactical Diameter (meter)
1	6537	2954	5908
2	6683	3100	6200
3	6680	3000	6000
\bar{x}	6633	3018	6036
Kiri			
No	Data Pengujian kemudi plat		
	Turning Circle		
	Advance (meter)	Transfer (meter)	Tactical Diameter (meter)
1	6536	2960	5920
2	6678	3090	6180
3	6684	3004	6008
\bar{x}	6633	3018	6036



Gambar 5 grafik pengujian kemudi plat

Hasil pengujian turning circle kemudi plat kapal melakukan manuver ke arah kanan mampu bermanuver memutar dengan nilai advance sebesar

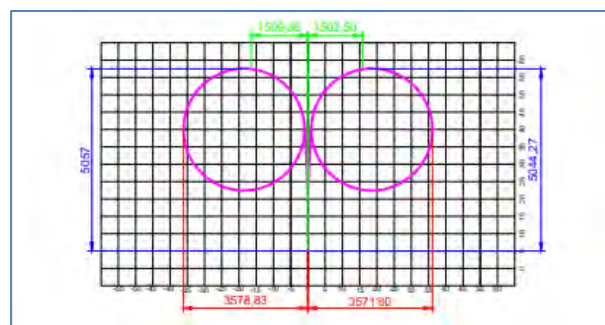
6633 mm (198,99 m), transfer sebesar 3018 mm (90,54 m) dan tactical diameter sebesar 6036 mm (181,08 m)

- Pengujian turning circle kemudi NACA 0010

Dalam pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali disetiap parameter untuk menghindari human eror, pengujian ini dilakukan Dengan mengubah sudut rudder ke sudut kemudi maksimum atau 35° (seusai standar IMO pada table (1) sampai kapal telah melakukan turning circle kearah kiri (port side) dan pengujian turning circle kearah kanan (starboard).

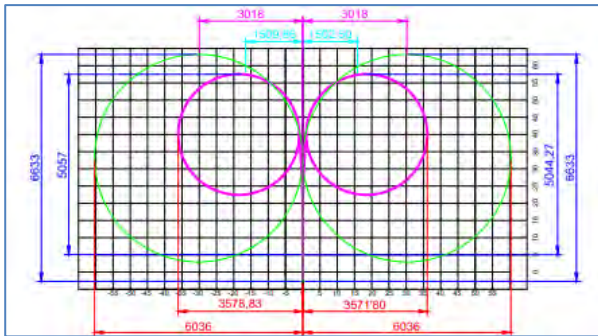
Tabel 2. Hasil Data Pengujian Kemudi NACA 0010 Kanan dan Kiri

Kanan			
No	Data Pengujian kemudi NACA 0010		
	Turning Circle		
	Advance (meter)	Transfer (meter)	Tactical Diameter (meter)
1	5050,21	1518,70	3588,64
2	5037,36	1484,21	3540,31
3	5045,24	1504,59	3586,45
\bar{x}	5044,27	1502,50	3571,80
Kiri			
No	Data Pengujian kemudi NACA 0010		
	Turning Circle		
	Advance (meter)	Transfer (meter)	Tactical Diameter (meter)
1	5069,33	1540,02	3603,90
2	5052,33	1486,78	3589,80
3	5049,33	1502,78	3542,78
\bar{x}	5057,00	1509,86	3578,83



Gambar 6 grafik pengujian kemudi NACA 0010

Hasil dari pengujian turning circle sesudah modifikasi kemudi menjadi NACA 0010 saat kapal melakukan manuver ke arah kanan mampu bermanuver memutar dengan nilai advance sebesar 5044,27 mm (151,33 m), transfer sebesar 1502,50 mm (45,1 m) dan tactical diameter sebesar 3571,80 mm (107,5 m) dan ke arah kiri memiliki nilai advance sebesar 5057 mm (151,71 m), transfer sebesar 1509,86 mm (45,2 m) dan tactical diameter sebesar 3578,83 mm (107,36 m).



Gambar 7. Grafik pengujian kemudi plat dan kemudi NACA 0010 kanan dan kiri

Pada gambar 7 terlihat pengujian kemudi plat dan kemudi NACA 0010 kiri kanan dari hasil grafik yang diperoleh pengujian turning circle memperlihatkan ketika menggunakan kemudi plat dengan kapal start kanan mampu bermanuver memutar dengan nilai advance diameter sebesar 6633 dan tactical diameter sebesar 6036 dan nilai transfer sebesar 3018 untuk start kiri nilai advance diameter sebesar 6633 dan tactical diameter sebesar 3036 dan transfer sebesar 3018 sedangkan sesudah modifikasi daun kemudi dengan kemudi NACA 0010 memperoleh nilai start kanan advance diameter sebesar 5044,27 dan nilai tactical diameter sebesar 3571,80 dan transfer sebesar 1502,54 sedangkan nilai untuk start kiri memperoleh nilai advance diameter sebesar 5057 untuk nilai tactical diameter sebesar 3578,83 dan nilai transfer sebesar 1509,86

4.3 Pembahasan

Pengujian turning circle sebelum memodifikasi kemudi plat saat kapal melakukan manuver ke arah kanan mampu bermanuver memutar dengan nilai advance sebesar 6633 mm (198,99 m), tactical diameter sebesar 6036 mm (181,08 m) dan transfer 3018 mm (90,54 m) sedangkan pada pengujian turning circle sesudah modifikasi kemudi (NACA 0010) kapal melakukan manuver ke arah kanan mampu bermanuver memutar dengan nilai advance sebesar hanya sebesar 5044,27 mm (151,33 m) atau lebih efektif 31% dari kemudi plat dan tactical diameter sebesar 3571,80 mm (107,15 m) atau lebih efektif 60% dari kemudi plat dan transfer 1502,54 mm (45,1 m) atau lebih efektif 50% dari kemudi plat.

Pengujian turning circle sebelum sebelum modifikasi kemudi plat saat kapal melakukan manuver ke arah kiri mampu bermanuver memutar dengan nilai advance sebesar 6633 mm (198,99 m), tactical diameter sebesar 6036 mm (181,08 m) dan transfer 3018 mm (90,54 m) sedangkan pada pengujian turning circle sesudah modifikasi kemudi (NACA 0010) kapal melakukan manuver ke arah

kiri mampu bermanuver memutar dengan nilai advance hanya sebesar 5057 mm (151,71 m) atau lebih efektif 31% dari kemudi plat, tactical diameter sebesar 3578,83 mm (107,36 m) atau lebih efektif 60% dari kemudi plat dan transfer 1509,86 mm (45,3 m) atau lebih efektif 50% namun kemudi NACA 0010 mempunyai kekurangan yaitu pembuatannya yang mahal akan tetapi bisa dilihat dari segi keselamatan bisa jadi pertimbangan.

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Pengujian turning circle kemudi plat manuver ke arah kanan dengan nilai advance = 189,99 m, tactical diameter = 181,08 m dan transfer = 90,54 m. Pengujian turning circle ke arah kiri dengan nilai advance = 189,99 m tactical diameter = 181,08 m dan transfer = 90,54 m
2. Pengujian turning circle kemudi NACA 0010 ke arah kanan nilai advance = 151,33 m tactical diameter = 107,15 m dan transfer = 45,08 m.. Pengujian turning circle ke arah kiri dengan nilai advance = 151,71 m tactical diameter = 107,36 m dan transfer = 45,30 m
3. Perbandingan pengujian antara kemudi plat dengan kemudi NACA 0010 adalah nilai advance 31%, tactical diameter 60% dan transfer 50%. Dari perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa kemudi NACA 0010 lebih efisien dari kemudi plat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. P. Maddula, V. Bhargava, C. P. Padhy, Md. A. Khan, (2020) "Computational analysis of NACA 0010 at moderate to high Reynolds number using 2D panel and Jukowski methods" Patancheru, India Volume 4 Issue 5 - 2020 Department of Aerospace Engineering, GITAM University
- [2] A. Trimulyono, P Manik, W.M. Al Hakim (2013) "Pengaruh Bentuk Profile Kemudi Terhadap Aliran Fluida Pada Kapal Ikan Tradisional Km. Surya Andalan Berbasis Cfd" KAPAL- Vol. 9, No.1 Februari 2013 Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro
- [3] J. M. J. Jurge and J. Pinkster. "Introduction in Ship Hydromechanics
- [4] Lewis 1988 Principles of Naval Architecture (Second Revision), Volume II - Resistance, Propulsion and Vibration. Society of Naval Architects and Marine Engineers SNAME

- [5] R.F. Hutapea, P. Manik, U. Budiarto (2017) “Analisa Pengaruh Penambahan *Fin* Pada *Rudder* Terhadap Kemampuan Manuvering Kapal Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic* (Studi Kasus Kriso Container Ship)” Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 5, No. 1 Januari 2017 Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [6] A.N. Hasm, Alamsyah, M. Nuzhand (1, JUNI, 2021) “analisis perbandingan pengujian turning circle antara rudder konvensional dengan rudder jenis fishtail pada model kapal barge dengan metode open free running model test” JURNAL INOVTEK POLBENG, VOL. 11, NO. Program Studi Ilmu Aktuaria, Jurusan Matematika dan Teknologi Informasi Program Studi Teknik Kelautan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan, dan Kemaritiman Institut Teknologi Kalimantan
- [7] G. E. Delftianto, (28 Desember 2015) “pengujian gerak *turning circle* pada kapal cepat *twin screw* ekor ikan menggunakan teknik open *free running test*” Tesis Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [8] R. Hariseputra, A. Sulisetyono (2019) “Metode yang dikembangkan ini kemudian digunakan untuk menguji performa tiga jenis kemudi” TESIS Jurusan Teknik Perkapalan Staff Pengajar Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember SURABAYA

ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN POROS BALING-BALING TERHADAP KECEPATAN PERAHU KETINTING YANG MENGGUNAKAN MESIN DI LUAR DENGAN MESIN DI DALAM LAMBUNG PERAHU

E. P. Lamerkabel¹, E. R. De Fretes², dan R. B. Luhulima³

¹ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: efratpascal@gmail.com

² Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: defretesera@gmail.com

³ Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email:

Abstrak. Pada Negeri Nolloth dan Desa Latuhalat mengoperasikan perahu ketinting. Perahu ketinting yang memiliki mesin diluar lambung perahu, mengalami perubahan kecepatan yang disebabkan oleh sudut kemiringan horizontal pada setiap pengoperasiannya tidak berada pada posisi yang tepat. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental pada laboratorium *Towing Tank* dengan menggunakan variasi sudut kemiringan poros baling-baling 0°, 7°, 14°, 21°, dan 28° dalam bidang *horizontal* untuk posisi mesin diluar lambung perahu dan sudut kemiringan 18° untuk bidang *vertical* serta sudut kemiringan poros baling-baling 7° untuk posisi mesin didalam lambung perahu. Hasilnya diketahui bahwa penggunaan variasi kemiringan 0°-14° mengalami kenaikan kecepatan yang disebabkan nilai alfa (α) yang kecil pada posisi mesin diluar lambung perahu dan kemiringan 21°-28° mengalami penurunan kecepatan yang disebabkan nilai alfa (α) yang besar pada posisi mesin diluar lambung perahu dan untuk posisi mesin didalam lambung perahu daya dorong dan kecepatan yang dihasilkan konstan. Hasil pengujian yang diperoleh yaitu sudut kemiringan yang menghasilkan kecepatan maksimal adalah 14° dengan kecepatan 5,4 knot pada posisi mesin diluar lambung perahu dan kemiringan 7° dengan kecepatan 4,4 knot untuk posisi mesin didalam lambung perahu.

Kata Kunci: Kemiringan Poros, Daya Dorong, Kecepatan, Ketinting

Abstract. In Nolloth State and Latuhalat Village operate ketinting boats. A ketinting boat that has an engine outside the hull of the boat experiences a change in speed caused by the angle of inclination horizontally on each operation not being in the right position. This study used experimental method in the *Towing Tank* laboratory using variations of the propeller shaft tilt angle of 0°, 7°, 14°, 21°, and 28° in the horizontal plane for the engine position outside the boat hull and tilt angle of 18° for the vertical plane and the tilt angle of the propeller shaft 7° for the engine position inside the boat hull. The results show that using a slope variation of 0°-14° has an increase in speed due to a small alpha (α) value at the engine position outside the boat hull and a slope of 21°-28° has decreased speed due to a large alpha (α) value at the engine position outside the boat hull and for the engine position inside the boat hull the resulting thrust and speed are constant. The test results obtained are the angle of inclination that produces a maximum speed of 14° with a speed of 5.4 knots for the engine position outside the boat hull and a slope of 7° with a speed of 4.4 knots for the engine position inside the boat hull.

Keywords: Shaft Tilt, Thrust, Speed, Ketinting Boat

1. PENDAHULUAN

Perahu ketinting adalah salah satu kapal tradisional yang ada di setiap daerah di Indonesia [1], salah satunya di Negeri Nolloth, Saparua, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku dan juga Kampung Latu Colan, Desa Latuhalat, Kecamatan Nusaniwe, Provinsi Maluku. Perahu ketinting sendiri mempunyai ciri khas yaitu menggunakan mesin yang terletak di atas lambung perahu seperti di Desa Latuhalat, tetapi di Negeri Nolloth sangat banyak perahu ketinting yang memiliki mesin di bagian dalam lambung perahu. Semakin bagus penempatan poros baling-baling, akan sangat mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan. Kenyataan di lapangan sudut penempatan poros tidak dibuat secara permanen ini menyebabkan berubah-ubah penempatan sudut kemiringan [2]. Sehingga permasalahan yang terjadi adalah kecepatan yang tidak efisien atau berubah-ubah pada perahu ketinting yang menggunakan mesin diluar dengan didalam lambung perahu. Pada Negeri Nolloth dan Desa Latuhalat, terdapat 2 tipe ketinting yang memiliki mesin yang sama tetapi memiliki penempatan posisi mesin yang berbeda dengan ukuran lambung yang sama, yaitu penempatan posisi mesin diluar lambung perahu yang banyak digunakan pada Desa Latuhalat dan yang memiliki mesin terletak di dalam lambung perahu yang banyak digunakan pada Negeri Nolloth. Perahu ketinting yang memiliki mesin diluar lambung perahu, mengalami perubahan kecepatan yang disebabkan oleh sudut kemiringan horizontal pada setiap pengoperasiannya tidak berada pada posisi yang tepat [3].

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Fungsi utama sistem poros baling-baling adalah untuk melakukan transfer energi dari mesin ke baling-baling, menghasilkan dorongan yang dihasilkan oleh putaran baling-baling ke lambung kapal dan mendorong kapal kedepan [4]. Kenyataan di lapangan sudut penempatan poros tidak dibuat secara permanen ini menyebabkan berubah-ubah penempatan sudut kemiringan [5],[6]. Dari penelitian diatas, digunakan untuk kapal-kapal yang menggunakan sudut kemiringan secara *vertical*. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk sudut kemiringan poros baling-baling secara *horizontal*. Beberapa formulasi yang digunakan adalah [7],[8]:

$$T = \frac{EHP}{(1-t) \times V_s} \quad (1)$$

Keterangan: EHP = *Effective Horse Power*
 V_s = Kecepatan Dinas
 t = *Trusth deduction factor*
 T = Gaya Dorong

Penelitian ini berlangsung di Negeri Nolloth dan Desa Latuhalat, proses penelitian untuk mendapatkan data-data primer langsung pada objek perahu ketinting. Hasil penelitian kemudian dilakukan perhitungan dan simulasi pada laboratorium *Towing Tank*. Objek dalam penelitian ini adalah pengaruh sudut kemiringan horizontal poros baling-baling perahu ketinting. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan mengetahui pengaruh sudut kemiringan horizontal poros baling-baling terhadap kecepatan perahu ketinting. Rancangan penelitian menggunakan 5 variasi sudut kemiringan 0° , 7° , 14° , 21° , 28° . Demikian dalam uji laboratorium dengan 5 variasi yang ada diharapkan dari setiap hasil uji eksperimen variasi kemiringan tertentu mempresentasikan kecepatan maksimal terhadap pengaruh penggunaan kemiringan poros baling-baling secara horizontal.

Kecepatan yang diuji menggunakan variasi sudut kemiringan poros baling-baling adalah 0,718 m/s dan besar putaran mesin 1238 RPM dengan 5 variasi sudut kemiringan horizontal yang digunakan adalah 0° , 7° , 14° , 21° , 28° .

2.2. Fasilitas Pengujian dan Model

Adapun Fasilitas dari pengujian model ini adalah sebagai berikut:

- Panjang : 90 m
- Lebar : 5 m
- Tinggi : 2,5 m
- Sarat Air : 1,5 m

Spesifikasi model perahu ketinting:

- Panjang Keseluruhan (Loa): 0,892
- Panjang Garis Air (Lwl): 0,61 m
- Lebar (B): 0,62 m
- Tinggi Perahu Ketinting (H): 0,63 m
- Tinggi Sarat (T): 0,43 m
- Kecepatan: 4,40 Knot (2,27 m/s)
- Jenis Mesin: Engine Honda GX 160
- Jenis Baling-Baling: 2 Daun
- Panjang AS Baling-Baling: 2 m
- Kemiringan AS: 0° - 28° (mesin di luar lambung perahu)
- Kemiringan AS: 7° (mesin di dalam lambung perahu)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Kapal

Perahu yang digunakan sebagai subjek dalam penelitian ini adalah yang berada di Negeri Nolloth dan Desa Latuhalat. Adapun spesifikasi dan ukuran pokok dari perahu:

- Desa Latuhalat (Mesin di luar lambung perahu)
 - Panjang Keseluruhan (Loa): 8,9 m

- b. Panjang Garis Air (Lwl): 6,1 m
 - c. Lebar (B): 0,62 m
 - d. Tinggi Perahu Ketinting (H): 0,63
 - e. Tinggi Sarat (T): 0,43 m
 - f. Kecepatan: 4,40 Knot (2.27 m/s)
 - g. Jenis Mesin: Honda GX 160
 - h. Jenis Baling-Baling: 2 Daun
 - i. Panjang AS Baling-Baling: 3 m
 - j. Kemiringan AS: 14°
2. Negeri Nolloth (Mesin di dalam Lambung Perahu)
- a. Panjang Keseluruhan (Loa): 8,9m
 - b. Panjang Garis Air (Lwl): 6,1 m
 - c. Lebar (B): 0,62 m
 - d. Tinggi Perahu Ketinting (H): 0,63
 - e. Tinggi Sarat (T): 0,425 m
 - f. Kecepatan: 4,40 Knot (2.27 m/s)
 - g. Jenis Mesin: Honda GX 160
 - h. Jenis Baling-Baling: 2 Daun
 - i. Panjang AS Baling-Baling: 2 m
 - j. Kemiringan AS: 7°

3.2. Hasil Pengujian

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan gaya dorong perahu ketinting dari penggunaan variasi sudut kemiringan tertentu dan pengurangan kecepatan yang terjadi pada penggunaan kemiringan poros baling-baling perahu ketinting. Pada saat kondisi sudut kemiringan dibawah 14° mengalami penurunan gaya dorong yang disebabkan oleh interferensi lambung yang berpengaruh pada gaya dorong yang melambat, dan pada kondisi sudut kemiringan 14° mengalami kenaikan kecepatan dan gaya dorong yang efisien, tetapi pada saat poros baling-baling 21° sampai 28° kecepatan dan gaya dorong mengalami penurunan yang berlanjut.



Gambar 1. Kecepatan dan Gaya Dorong (Mesin di luar Lambung Perahu)

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan gaya dorong perahu ketinting dari penggunaan mesin didalam lambung perahu, dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kecepatan dan gaya dorong mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak terlalu efisien,

tetapi mengalami kenaikan yang efisien dan konstan pada gaya dorong.



Gambar 2. Kecepatan dan Gaya Dorong (Mesin di dalam Lambung Perahu)



Gambar 3. Kecepatan dan EHP (Mesin di luar Lambung Perahu)

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan EHP perahu ketinting, dapat dilihat bahwa kecepatan tertentu EHP ($R_{tdinas} \times V$) perahu berubah untuk menghasilkan daya motor perahu ketinting karena penggunaan variasi kemiringan poros baling-baling perahu ketinting yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan perhitungan tabel diatas menunjukkan bahwa kecepatan dan EHP perahu pada kemiringan poros baling-baling 0° sampai 14° perahu mengalami peningkatan yang efisien, tetapi mengalami penurunan gaya dorong yang disebabkan oleh interferensi lambung pada saat saat kondisi dibawah 14° dengan kecepatan dan gaya dorong terbesar pada kemiringan 14°. Pada kemiringan poros baling-baling 21°-28° perahu mengalami penurunan yang berlanjut. Menjelaskan hubungan antara kecepatan dan EHP perahu ketinting yang dihasilkan dari penggunaan variasi kemiringan tertentu dan pengurangan kecepatan terhadap penggunaan kemiringan poros baling-baling perahu ketinting.



Gambar 4. Kecepatan dan EHP (Mesin di dalam Lambung Perahu)

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan EHP perahu ketinting, dapat dilihat bahwa kecepatan tertentu EHP ($R_{tdinas} \times V$) perahu berubah untuk menghasilkan daya motor perahu ketinting karena penggunaan variasi kemiringan poros baling-baling perahu ketinting yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan perhitungan dan grafik diatas, disimpulkan bahwa pada kecepatan 0,718 m/s dan 4,4 knot.

3.3. Pembahasan

Pada perhitungan diketahui bahwa kecepatan maksimum dari perahu ketinting yang memiliki mesin di luar lambung berada pada sudut kemiringan 14° secara horizontal dengan kecepatan 5,4 knot dan sudut kemiringan 7° dengan kecepatan 4,4 knot pada pengoperasiannya yang memiliki perbedaan pada kecepatan maksimum.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian pengaruh kemiringan poros baling-baling terhadap kecepatan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Kecepatan perahu ketinting pada mesin diluar lambung perahu dipengaruhi oleh posisi kemiringan poros baling-baling secara horizontal yang menggunakan variasi 5 sudut kemiringan 0° , 7° , 14° , 21° , 28° dengan fenomena terjadi interferensi lambung pada posisi kemiringan poros baling-baling dibawah 14° dan pada posisi kemiringan diatas 14° mengalami penurunan kecepatan. Kemiringan poros baling-baling perahu ketinting yang menghasilkan kecepatan maksimum pada sudut kemiringan 14° dengan kecepatan 5,4 knot untuk perahu ketinting yang memiliki mesin diluar lambung perahu dan pada perahu ketinting yang memiliki mesin didalam lambung perahu dengan sudut kemiringan 7° menghasilkan kecepatan yang konstan dengan kecepatan 4,4 knot.
2. Pada posisi mesin diluar dengan didalam lambung perahu memiliki perbedaan kecepatan maksimum yang berada pada 14° dengan kecepatan 5,4 knot pada posisi mesin diluar lambung perahu dan 7° dengan kecepatan 4,4 knot pada posisi mesin didalam lambung perahu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukendar. 2002. “Perahu Tradisional Nusantara” Pusat Penelitian Arkeologi Badan Pengembangan Kebudayaan dan Pariwisata Deputi Bidang Pelestarian dan Pengembangan Budaya, Jakarta

- [2] Hartanto dan Sarjito,2022, “Pengaruh jumlah sudut, kelengkungan sudut, dan jarak poros propeller terhadap gaya dorong kapal” Tugas Akhir, Fakultas Teknik Jurusan Mesin, Universitas Muhamadiyah, Surakarta
- [3] Sayyid Sabiq, Fis Purwangka, Yopi Novita, 2018. “Intensitas Kebisingan Mesin Serbaguna Pada Perahu Gillnet Di Pangkalan Pendaratan Ikan Pangandaran”. Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika (2018), Vol, 2(2), 9-21.
- [4] Ahmad Munawir, Gatut Rubiono, Haris Mujianto, 2017. Studi Prototipe Pengaruh Sudut Kemiringan Poros Baling-Baling Terhadap Daya Dorong Kapal Laut (online). Jurnal V-Mac, Vol 2 No 1:18-24, 2017, ISSN 2528- 0112.)
- [5] Aulia Windyandari, Dedy Wahyudi, 2011. Methodology Of The Hybrid Propulsion System (DPM & DEP) For Trimaaran Type Fast Patroli Boat. Kapal-Vol. 8, NO. 3 Oktober 2011.)
- [6] Couser, P R, Molland, A, F, Amstrom N And Utama, I K A P. 1997. Calm Water Powering Prediction For High Speed Catamaran, Procs. Of FAST 1997, Sydney,21-23July
- [7] Levis, V.V, 1988 “Principles of Naval Archietecture Second Revision” The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue Jersey City,NJ.
- [8] Molland, F.A., Turnock, R.S., & Hudson, A.D. (2011), Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation Of Ship Propulsive Power. New York: Cambridge University Press.

ANALISIS PERHITUNGAN BALLAST MATI PADA KAPAL KN. KALAWAI

Stephen H.P.L.Hutagalung¹, E. R. de FRETES², Fella Gaspersz³¹ Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: paskahhutagalung99@gmail.com² Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: defretesera@gmail.com³ Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233E-mail: fella.gsp73@gmail.com

Abstrak. Pada tahun 2012 kapal KN. KALAWAI terbalik saat peluncuran sehingga pihak galangan menambahkan ballast mati, tetapi belum memasukkan mesin induk dan perlengkapannya. Seterusnya berdasarkan informasi dari ABK kapal sewaktu selesai reparasi di Dok pacific ambon, saat peluncuran kapal mengalami kemiringan sebesar 13° ke arah kiri kapal (sudah ditambahkan mesin induk). Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menstabilkan kapal dengan cara penambahan ballast mati, supaya mereduksi kemiringan tersebut. Dengan memperhatikan kriteria dari IMO mengenai stabilitas kapal. Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan memvariasikan loadcase dan menggunakan metode trial and error untuk mendapatkan posisi stabilitas TCG sama dengan nol, sehingga kapal memenuhi standart stabilitas. Hasil yang diperoleh dari perhitungan penambahan ballast mati di tangki lain yang kosong dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.I.S) dari jarak AP 22 m, sehingga kriteria yang dipakai pada semua kondisi stabilitasnya memenuhi kriteria dari IMO, dengan penambahan ballast mati maka kapal berada pada posisi tegak sempurna.

Kata Kunci: Ballast, Peluncuran, Stabilitas, Simulasi komputasi, IMO.

***Abstract.** In 2012 the KN. KALAWAI ship capsized during launch so the shipyard added dead ballast, but did not include the main engine and its equipment. So on based on information from the ship's crew when repairs were completed at the Pacific Ambon Dock, when the launch of the ship experienced a slope of 13° to the left of the ship (the main engine had been added). The purpose of this paper is to stabilize the ship by adding dead ballast, in order to reduce the slope. With due observance of the IMO criteria regarding ship stability. This study uses a computational method by varying the loadcase and using the trial and error method to get the TCG stability position equal to zero, so that the ship meets stability standards. The results obtained from the calculation of the addition of dead ballast in another empty tank weighing 16,530 tons at the position of water ballast tank 1 starboard (W.B.T.I.S) from a distance of 22 m AP, so that the criteria used in all stability conditions meet the criteria of IMO, with the addition of dead ballast the ship is in a perfectly upright position.*

Keywords: Ballast, Launch, Stability, Computational Simulation, IMO

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2012 kapal KN. KALAWAI terbalik saat peluncuran sehingga pihak galangan menambahkan ballast mati sekitar 18 ton yang posisinya berada di tangki belakang bagian kiri, sebelum memasukan mesin induk, akan tetapi pada reparasi tahunan yang dilakukan kapal KN. KALAWAI pada bulan November tahun 2021, Kapal tersebut melakukan pengedokan kapal di dok pacific. Setelah

kapal KN. KALAWAI melakukan peluncuran dengan berat kapal kosong, berdasarkan informasi yang diterima dari ABK kapal tersebut mengalami kemiringan sekitar 13° ke arah kiri kapal. Sehingga untuk mengatasinya dihitung ballast mati di tangki lain yang kosong. Stabilitas kapal adalah factor penting dalam menjaga keselamatan kapal dari kecelakaan kapal oleh faktor ketidaksetimbangan. Kajian lebih lanjut diperlukan terutama terkait

penentuan spesifikasi kapal yang tidak berubah dan penempatan ballast mati sebagai perhitungan komponen titik berat dan parameter stabilitas kapal.

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah Untuk dapat menentukan besar perhitungan ballast mati yang dipakai pada kapal KN. KALAWAI.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami keolengan. Stabilitas kapal terkait erat dengan distribusi muatan dan perhitungan nilai lengan penegak (GZ). Perbedaan distribusi muatan yang terjadi pada setiap kondisi pemuatan akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada nilai KG, yaitu jarak vertikal antara titik K (Keel) dan titik G (Centre of Gravity) yang selanjutnya akan mempengaruhi nilai lengan penegak (GZ) yang terbentuk [1],[2].

2.2. Sistem Ballast

Sistem ballast merupakan sistem yang digunakan untuk melakukan pengaturan terhadap kondisi kapal yang tidak stabil meliputi kemiringan, trim, dan draft yang kecil, tangki ballast berfungsi untuk menjaga kestabilan kapal baik saat berlayar maupun saat kapal melakukan bongkar muat.

2.3. Titik-titik penting dalam stabilitas kapal

Menurut [3], [4], titik-titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik metacenter (M), titik berat (G), dan titik apung (B).

1. Titik metasenter (M) adalah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atas titik M agar kapal tetap mempunyai stabilitas positif.
2. Titik berat (G) adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal.
3. Titik apung (B) adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal.

2.4. Dimensi Pokok Dalam Stabilitas Kapal

1. Tinggi titik metasentris di atas lunas (KM) KM merupakan jarak vertical dari dasar kapal (lunas) hingga titik M. KM dapat diperoleh dengan menjumlahkan jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jari-jari metasenter kapal (BM). Nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut:

$$KM = KB + BM \quad (1)$$
2. Tinggi Titik Apung dari Lunas (KB) KB merupakan jarak dari titik K ke titik B. Dikarenakan letak titik B yang selalu berpindah-

pindah karena adanya perubahan sarat. Oleh karena itu nilai KB pun akan berubah-ubah sesuai tinggi sarat, nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut:

$$1) \text{ Untuk Flat Bottom} \\ KB = 0,5 \times \text{Draft} \quad (2)$$

$$2) \text{ Untuk V Bottom} \\ KB = 0,535 \times \text{Draft} \quad (3)$$

$$3) \text{ Untuk U Bottom} \\ KB = 2/3 \times \text{Draft} \quad (4)$$

3. Jarak Titik Apung ke Metasentris (BM) BM merupakan jari-jari metasenter yang mana pada saat kapal mengalami oleng. Maka lintasan pergerakan titik B akan membentuk busur lingkaran yang mana titik M menjadi titik pusatnya, nilai BM dapat dicari dengan rumus berikut:

$$BM = b^2/10d \quad (5)$$

Dimana :

b = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

4. Tinggi Titik Berat dari Lunas (KG) KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan vertical centre of gravity (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut.

5. Tinggi Metasentris (GM) Tinggi metasentris atau metacentris high (GM) yaitu jarak tegak antara titik G dan titik M. Dari rumus disebutkan :

$$GM = (KB + BM) - KG \quad (6)$$

Nilai GM inilah yang menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas kapal selama pelayaran nanti. (Ansanay, 2015).

2.5. Kriteria Stabilitas

Analisis yang dilakukan adalah sesuai dengan kriteria stabilitas yang terdapat pada Resolution MSC.267(85)-Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code)-(Adopted on 4 December 2008)- Part A for Mandatory Criteria (Ch. 2 General Criteria) dan Resolution MSC.267(85)-Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code)-(Adopted on 4 December 2008)-Part A for Mandatory Criteria (Ch. 3 Special Criteria for Certain Ships) yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut [5],[6]:

1. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria, 2.2.1:

- a. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng $0^\circ - 30^\circ$ (deg) tidak boleh kurang dari 0.055 m.deg.
 - b. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng $0^\circ - 40^\circ$ (deg) tidak boleh kurang dari 0.09 m.deg.
 - c. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut kapal oleng $30^\circ - 40^\circ$ (deg) tidak boleh kurang dari 0.03 m.deg.
2. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.2: Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut sama atau lebih dari 30° tidak boleh kurang atau sama dengan 0.2 m [7].
 3. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.3: Sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 25° (deg).
 4. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.4 : Nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0.15 m. [8].

2.6. Metode Analisis

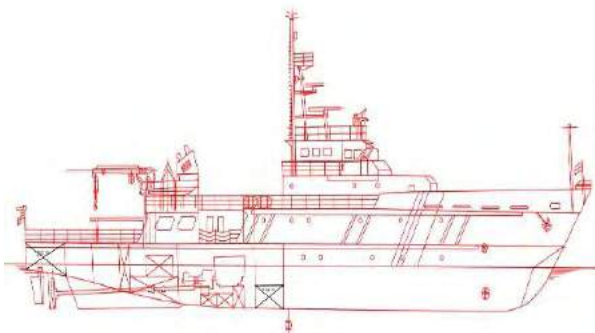
Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan memvariasikan uji loadcase yaitu membuat model kapal KN. KALAWAI di maxsurf modeler, kemudian membuka maxsurf stability, setelah itu dimasukkan penempatan tangki-tangki sesuai dengan rencana umum kapal.

Data yang digunakan adalah data primer berupa dimensi utama kapal untuk kapal purse. Teknik yang digunakan adalah interview (wawancara), observasi (pengamatan) terhadap kapal dan dokumentasi untuk mendapatkan foto kapal KN. KALAWAI.

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: tahan persiapan, tahapan desain model kapal, tahapan penempatan tangki- tangki, tahapan uji loadcase, analisis stabilitas kapal, dan tahapan analisis kriteria IMO dengan menggunakan beberapa bantuan aplikasi komputer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan kapal KN. KALAWAI.



Gambar 1. KN. Klawai

Tabel 1. Data kapal KN. KALAWAI

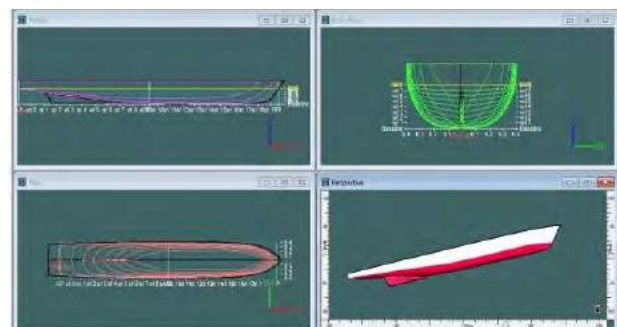
Parameter Kapal	
Nama	KN. KALAWAI
Tipe	Special vessel
Tanda kelas	Det Norske Veritas - DNV
Pemilik	Kementrian Perhubungan
Panjang Seluruh	61 m
Panjang Antara Garis Tegak	55 m
Lebar	8,50 m
Tinggi Geladak	4,50 m
Tinggi Sarat	3 m
Koefisien Blok	0,6
Kecepatan Servis	20
Mesin Induk	2
Merek	CATERPILLAR
Tipe	3516C
Daya Maksimum (MRO)	2 X 2525 BHP
Putaran Maksimum	1940 RPM

Tabel 2. Berat Total Kapal

Perhitungan LWT			
No	Komponen	Nilai	Satuan
1	Berat Lambung Kapal (Wst)	447,216	ton
2	Berat Permesinan (Wm)	17,510	ton
3	Berat Perlengkapan kapal (Wo)	143,170	ton
4	Berat Margin	17,420	ton
Jumlah		625,316	ton
Perhitungan DWT			
No	Komponen	Nilai	Satuan
1	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (Wfo)	136,84	ton
2	Berat Bahan Bakar Mesin Bantu (Wfb)	27,368	ton
3	Berat Minyak Pelumas (Wlo)	0,940	ton
4	Berat Air Tawar (Wfw)	2,800	ton
5	Berat Provisi (Wp)	0,140	ton
6	Berat Crew (Wcrew)	3,750	ton
Jumlah		171,838	ton
Berat total kapal LWT + DWT		797,154	ton
Displacement Δ		798,600	ton

3.1. Pemodelan kapal

Model kapal KN. KALAWAI dibuat dengan software Maxsurf Modeller Advanced berdasarkan data kapal yang sudah diperoleh, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model kapal KN. KALAWAI

3.2. Load Case Kapal KN. KALAWAI

Insert loadcase dari maxsurf dibuat berdasarkan berat dan titik berat tiap elemen yang sudah dihitung. Adapun yang harus dipersiapkan sebelum melakukan perhitungan stabilitas di software Maxsurf Stability ialah komponen berat kapal, kapasitas tangki-tangki, dan letak titik berat dalam arah longitudinal, transversal, dan juga arah vertikal. analisis *loadcase* dalam tiga kondisi yaitu:

- 1) Kondisi 1 adalah kondisi kapal kosong (Belum ditambahkan mesin induk).
- 2) Kondisi 2 adalah kondisi pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan (Sudah ditambahkan mesin induk).
- 3) Kondisi 3 adalah kondisi kapal setelah ditambahkan ballast mati.

Kondisi Load case 1

Kondisi loadcase 1 dengan berat kapal kosong dan belum ditambahkan mesin induk, penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 Portside (W.B.T.2.P) 17,370 Ton.

Tabel 3. Kondisi *loadcase* 1

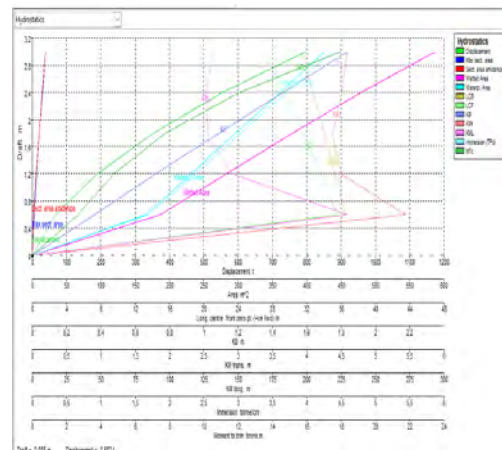
	Item Name	Quantity	Unit	Total	Unit	Long.	Trans.	Vert.	Total	FSM Ty	
			Mass	Mass	Volume	Arm	Arm	Arm	FSM		
			tonne	tonne	m ³	m	m	m	tonne.m		
1	Berat Lambun	1	447,216	447,216		26,483	1,300	3,000	0,000	User	
2	Berat Pemesin	1	0,000	0,000		18,670	0,900	1,000	0,000	Maxim	
3	Berat Perleengk	1	143,170	143,170		27,905	1,000	2,500	0,000	Maxim	
4	Margin	1	17,420	17,420		0,000	0,000	0,000	0,000	Maxim	
5	Total LWT		607,806	607,806		26,059	1,192	2,796	0,000		
6	Berat Provisi	1	0,140	0,140		42,070	0,000	5,710	0,000	User	
7	Berat Crew	5	0,075	0,375		24,480	0,000	4,060	0,000	User	
8	F.O.T.1.P	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	38,162	-0,501	0,028	0,000	Maxim
9	F.O.T.1.S	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	38,162	0,501	0,028	0,000	Maxim
10	F.O.T.2.P	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	35,391	-0,501	0,028	0,000	Maxim
11	F.O.T.2.S	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	35,391	0,501	0,028	0,000	Maxim
12	F.O.T.3.P	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	10,432	-0,058	0,200	0,000	Maxim
13	F.O.T.3.S	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	10,432	0,058	0,200	0,000	Maxim
14	F.O.T.4.P	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	-0,301	2,396	0,000	Maxim
15	F.O.T.4.S	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	0,301	2,396	0,000	Maxim
16	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	-3,000	1,858	0,000	Maxim
17	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	3,000	1,858	0,000	Maxim
18	F.O.T. DG. P.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	-0,801	2,361	0,000	Maxim
19	F.O.T. DG. S.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	0,801	2,361	0,000	Maxim
20	F.P.T	0%	12,519	0,000	12,213	0,000	52,516	0,000	0,110	0,000	Maxim
21	W.B.T. 1. P.	0%	5,377	0,000	5,246	0,000	27,456	-0,500	0,101	0,000	Maxim
22	W.B.T. 1. S.	0%	16,530	0,000	7,514	0,000	27,456	0,500	0,101	0,000	Maxim
23	W.B.T. 2. P.	100%	17,370	17,370	7,896	7,896	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxim
24	W.B.T. 2. S.	0%	6,383	0,000	6,228	0,000	2,310	2,201	2,743	0,000	Maxim
25	FOAM TK. (SG)	0%	4,053	0,000	4,053	0,000	8,295	1,800	2,044	0,000	Maxim
26	CHEMICAL TK.	0%	1,096	0,000	1,096	0,000	8,295	-3,300	2,267	0,000	Maxim
27	DIRTY OIL (SG)	0%	11,045	0,000	11,697	0,000	21,989	0,000	0,228	0,000	Maxim
28	F.W.T. 1. P.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	31,803	-0,501	0,043	0,000	Maxim
29	F.W.T. 2. S.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	31,803	0,501	0,043	0,000	Maxim
30	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	-0,501	0,031	0,000	Maxim
31	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	0,501	0,031	0,000	Maxim
32	L.O.T. DB. C.	0%	8,123	0,000	8,802	0,000	18,473	0,000	0,100	0,000	Maxim
33	Total Loadca		625,691	625,691	162,264	7,896	25,338	1,076	2,819	0,000	

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh hasil yaitu: Kondisi 1 yang dilakukan di maxsurf untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130.

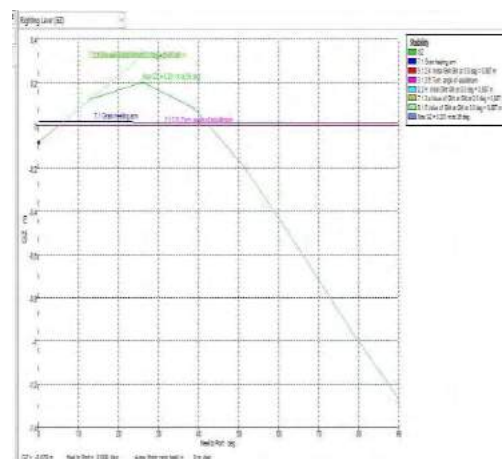
- 1. GZ maksimum : 0,201 m.
- 2. Sudut GZ max : 24,5 deg.

Tabel 4. Resume Parameter Hidrostatik kondisi 1

	Draft Amidships m	0,000	2,600
1	Displacement t	0,000	630,6
2	Heel deg	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	2,600
4	Draft at AP m	0,000	2,600
5	Draft at LCF m	0,000	2,600
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000
7	WL Length m	0,000	53,366
8	Beam max extents on WL m	0,000	8,081
9	Wetted Area m ²	0,000	514,624
10	Waterpl. Area m ²	0,000	383,922
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,707
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,550
13	Max Sect. area coeff. (Cm)		0,791
14	Waterpl. area coeff. (Cwpl)	0,000	0,890
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	32,276
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	28,475
17	KB m	0,000	1,585
18	KG m	3,000	3,000
19	BMt m	0,000	2,970
20	BML m	0,000	126,454
21	GMT m	-3,000	1,555
22	GML m	-3,000	125,040
23	KMt m	0,000	4,555
24	KML m	0,000	128,040
25	Immersion (TPc) tonne/cm	0,000	3,935
26	MTC tonne.m	0,000	13,875
27	RM at 1deg = Gmt,Disp.sin(1) tonne.	0,000	17,119
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000



Gambar 3. Kurva hidrostatik kondisi 1 KN. Kalawai



Gambar 4. Kurva GZ kondisi 1 KN. Kalawai

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
91		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
92		to the lesser of					
93		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
94		first downflooding angle	nila	deg			
95		angle of vanishing stability	74,6	deg			
96		shall not be less than (>=)	1,7189	m.deg	13,9910	Pass	-714,00
97							
98	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
99		in the range from the greater of					
100		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
101		to the lesser of					
102		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
103		angle of max. GZ	24,5	deg			
104		shall not be less than (>=)	0,200	m	1,465	Pass	-432,50
105		intermediate values					
106		angle at which the GZ occurs		deg	30,0		
107							
108	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Fail	
109		shall not be less than (>=)	25,0	deg	24,5	Fail	-1,82
110							
111	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass	
112		spec. heel angle	0,0	deg			
113		shall not be less than (>=)	0,150	m	1,454	Pass	-869,33
114							

Gambar 5. Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh hasil yaitu:

1. Sudut GZ max yang didapat : 24,5 deg
2. Sudut GZ max sesuai kriteria : 25,0 deg

Hasil kriteria diatas dinyatakan *failed* atau tidak sesuai kriteria IMO.

Kondisi Load case 2

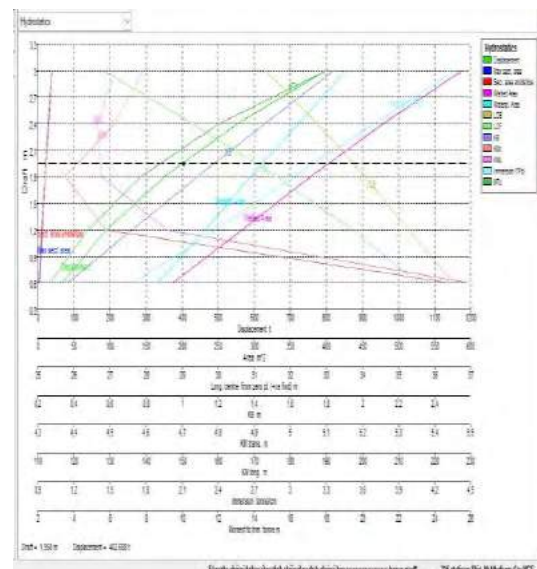
Kondisi loadcase 2 dengan berat kapal kosong dan sudah ditambahkan mesin induk, penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 portside (W.B.T.2.P) 17,370 Ton.

Tabel 5. Kondisi loadcase 2

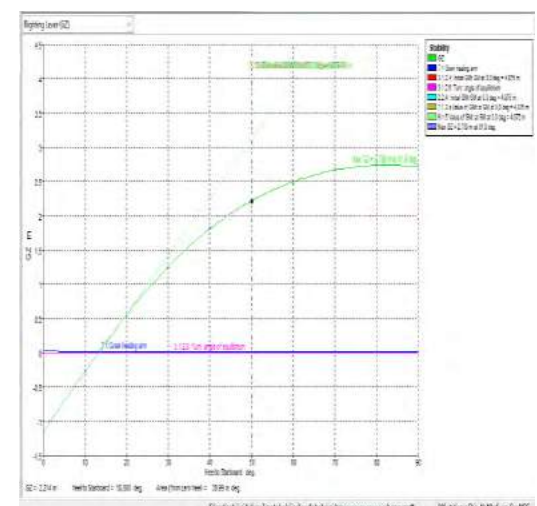
Item Name	Quantity	Unit	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Ty	
1	Berart Lambun	1	447,216	447,216		26,483	1,300	0,000	0,000	User	
2	Berat Pemesina	1	17,510	17,510		18,670	1,300	0,000	0,000	Maxim	
3	Berat Perleengk	1	143,170	143,170		27,905	1,300	0,000	0,000	Maxim	
4	Margin	1	17,420	17,420		0,000	0,000	0,000	0,000	Maxim	
5	Total LWT		625,316			25,852	1,264	0,000	0,000		
6	Berat Provisi	1	0,140	0,140		42,070	0,000	5,710	0,000	User	
7	Berat Crew	5	0,075	0,375		24,480	0,000	4,060	0,000	User	
8	F.O.T.1.P	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	37,949	-0,501	0,028	0,000	Maxim
9	F.O.T.1.S	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	37,949	0,501	0,028	0,000	Maxim
10	F.O.T.2.P	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	32,443	-0,501	0,028	0,000	Maxim
11	F.O.T.2.S	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	32,443	0,501	0,028	0,000	Maxim
12	F.O.T.3.P	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	8,321	-0,059	0,200	0,000	Maxim
13	F.O.T.3.S	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	8,321	0,059	0,200	0,000	Maxim
14	F.O.T.4.P	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	-0,301	2,396	0,000	Maxim
15	F.O.T.4.S	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	0,301	2,396	0,000	Maxim
16	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	-3,000	1,858	0,000	Maxim
17	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	3,000	1,858	0,000	Maxim
18	F.O.T. DG P.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	-0,801	2,361	0,000	Maxim
19	F.O.T. DG S.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	0,801	2,361	0,000	Maxim
20	F.P.T	0%	12,519	0,000	12,213	0,000	52,516	0,000	0,110	0,000	Maxim
21	W.B.T. 1. P.	0%	5,377	0,000	5,246	0,000	24,384	-0,500	0,101	0,000	Maxim
22	W.B.T. 1. S.	0%	16,530	0,000	7,514	0,000	23,434	0,500	0,101	0,000	Maxim
23	W.B.T. 2. P.	100%	17,370	17,370	7,896	0,000	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxim
24	W.B.T. 2. S.	0%	6,383	0,000	6,228	0,000	2,310	2,201	2,743	0,000	Maxim
25	FOAM TK (SG	0%	4,053	0,000	4,053	0,000	8,295	1,800	2,044	0,000	Maxim
26	CHEMICAL TK.	0%	1,096	0,000	1,096	0,000	8,295	-3,300	2,267	0,000	Maxim
27	DIRTY OIL (SG	0%	11,045	0,000	11,697	0,000	20,825	0,000	0,228	0,000	Maxim
28	F.W.T. 1. P.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	27,558	-0,500	0,043	0,000	Maxim
29	F.W.T. 2. S.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	27,558	0,500	0,043	0,000	Maxim
30	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	-0,501	0,031	0,000	Maxim
31	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	0,501	0,031	0,000	Maxim
32	L.O.T. DB. C.	0%	8,123	0,000	8,602	0,000	18,385	0,000	0,100	0,000	Maxim
33	Total Loada		643,201	162,264	7,896	25,156	1,149	0,100	0,000		

Tabel 6. Resume parameter hidrostatik kondisi 2

		0,000	1,325	2,650
1	Displacement t	0,000	220,6	650,4
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	1,325	2,650
4	Draft at AP m	0,000	1,325	2,650
5	Draft at LCF m	0,000	1,325	2,650
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	0,000	49,082	53,832
8	Beam max extents on WL m	0,000	6,797	8,111
9	Wetted Area m²	0,000	302,757	523,430
10	Waterpl. Area m²	0,000	245,476	389,239
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,634	0,706
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,489	0,550
13	Max Sect. area coeff. (Cm)		0,786	0,792
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,000	0,736	0,891
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	35,036	32,157
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	33,325	28,281
17	KB m	0,000	0,797	1,617
18	KG m	3,000	3,000	3,000
19	BMT m	0,000	3,638	2,947
20	BML m	0,000	138,770	126,669
21	GMt m	-3,000	1,435	1,564
22	GML m	-3,000	136,568	125,286
23	KMT m	0,000	4,435	4,564
24	KML m	0,000	139,568	128,286
25	Immersion (TPC) tonne/cm	0,000	2,516	3,990
26	MTc tonne.m	0,000	5,300	14,340
27	RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.	0,000	5,523	17,754
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000	0,000



Gambar 6. Kurva hidrostatik kondisi 2 KN. Kalawai



Gambar 7. Kurva GZ kondisi 2 KN. Kalawai

Berdasarkan grafik diatas diperoleh hasil sebagai berikut: Kondisi kapal pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan dengan menambahkan mesin induk untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 130.

- GZ maksimum : 2,738 m
- Sudut GZ max : 81,8 deg

Kondisi Load case 3

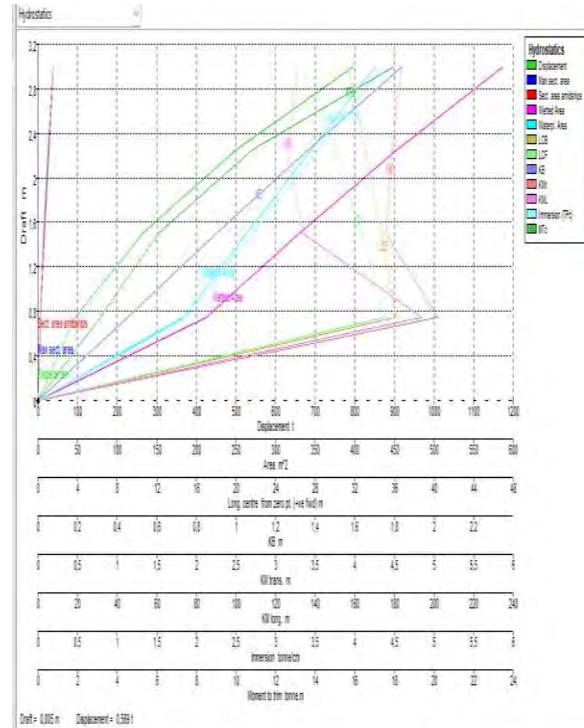
Kondisi load case 3 dilakukan penambahan ballast mati dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) untuk membuat kapal menjadi stabil.

Tabel 7. Kondisi loadcase 3

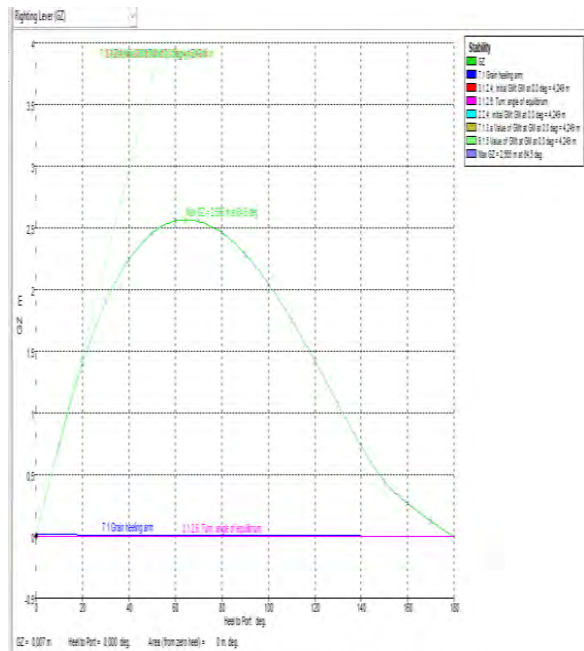
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Typ
Berat Lambun	1	447,218	447,218			26,493	0,000	0,000	0,000	User S
Berat Permesin	1	17,510	17,510			19,870	0,900	0,000	0,000	Maxi
Berat Perlangk	1	143,170	143,170			27,905	0,000	0,000	0,000	Maxi
Margin	1	17,420	17,420			0,000	0,000	0,000	0,000	Maxi
Total LWT			625,316			25,852	0,025	0,000	0,000	
Berat Provisi	1	0,140	0,140			42,070	0,000	5,710	0,000	User S
Berat Crew	50	0,075	3,750			24,480	0,000	4,060	0,000	User S
F.O.T.1.P	95%	7,280	6,918	7,709	7,324	39,994	-1,537	0,561	5,601	Maxi
F.O.T.1.S	95%	7,280	6,918	7,709	7,324	39,994	1,537	0,561	5,601	Maxi
F.O.T.2.P	95%	9,368	8,899	9,920	9,424	35,143	-1,545	0,569	7,700	Maxi
F.O.T.2.S	95%	9,368	8,899	9,920	9,424	35,143	1,545	0,569	7,700	Maxi
F.O.T.3.P	95%	0,253	0,240	0,268	0,255	10,403	-0,055	0,479	0,001	Maxi
F.O.T.3.S	95%	0,253	0,240	0,268	0,255	10,403	0,055	0,479	0,001	Maxi
F.O.T.4.P	95%	10,928	10,380	11,571	10,992	3,895	-2,013	3,275	9,067	Maxi
F.O.T.4.S	95%	10,928	10,380	11,571	10,992	3,895	2,013	3,275	9,067	Maxi
F.O.T. ME DA	95%	3,470	3,297	3,675	3,491	11,022	-3,448	3,024	0,189	Maxi
F.O.T. ME DA	95%	3,470	3,297	3,675	3,491	11,022	3,448	3,024	0,189	Maxi
F.O.T. DG. P.	95%	0,280	0,247	0,276	0,262	5,151	-1,099	3,154	0,005	Maxi
F.O.T. DG. S.	95%	0,280	0,247	0,276	0,262	5,151	1,099	3,154	0,005	Maxi
F.P.T	95%	12,519	11,893	12,213	11,603	53,577	0,000	1,668	9,607	Maxi
W.B.T. 1 P.	95%	5,377	5,108	5,246	4,983	25,703	-1,470	0,644	5,134	Maxi
W.B.T. 1 S.	100%	16,530	16,530	7,514	7,514	24,938	1,478	0,889	0,000	Maxi
W.B.T. 2 P.	100%	17,370	17,370	7,896	7,896	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxi
W.B.T. 2 S.	95%	6,383	6,064	6,228	5,918	-0,018	2,839	3,482	0,985	Maxi
FOAM TK. (SG)	95%	4,053	3,851	4,053	3,851	7,853	2,826	3,326	0,799	Maxi
CHEMICAL TK.	95%	1,098	1,041	1,098	1,041	7,354	-3,812	3,480	0,026	Maxi
DIRTY OIL (SG)	95%	11,045	10,493	11,697	11,112	21,071	0,000	1,820	2,305	Maxi
F.W.T. 1 P.	95%	7,283	6,918	7,283	6,918	29,734	-1,522	0,598	6,450	Maxi
F.W.T. 2 S.	95%	7,283	6,918	7,283	6,918	29,734	1,522	0,598	6,450	Maxi
SEWAGE TK.	95%	8,383	7,945	8,159	7,751	45,139	-1,437	0,568	3,964	Maxi
SEWAGE TK.	95%	8,383	7,945	8,159	7,751	45,139	1,437	0,568	3,964	Maxi
L.O.T. DB. C.	95%	8,123	7,717	8,602	8,172	19,260	0,000	1,482	2,152	Maxi
Total Loadcase			798,958	162,264	154,922	25,428	0,007	0,380	87,039	
FS correction								0,109		
VCG fluid								0,489		

Tabel 8. Resume parameter hidrostatik kondisi 3

	Draft Amidships m	0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
1 Displacement t		0,000	66,92	190,0	352,2	554,2	796,7
2 Heel deg		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3 Draft at FP m		0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
4 Draft at AP m		0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
5 Draft at LCF m		0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
6 Trim (+ve by stern) m		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7 WL Length m		0,000	47,859	48,898	49,736	51,577	52,249
8 Beam max extents on WL m		0,000	5,475	6,600	7,379	7,939	8,281
9 Wetted Area m²		0,000	187,395	283,119	378,457	479,156	587,462
10 Waterpl. Area m²		0,000	165,599	232,241	295,460	361,585	425,763
11 Prismatic coeff. (Cp)		0,000	0,549	0,622	0,676	0,712	0,695
12 Block coeff. (Cb)		0,000	0,419	0,481	0,522	0,551	0,548
13 Max Sect. area coeff. (Cm)			0,775	0,785	0,790	0,789	0,801
14 Waterpl. area coeff. (Cwp)		0,000	0,632	0,720	0,805	0,883	0,898
15 LCB from zero pt. (+ve fwd) m		0,000	36,543	35,279	34,075	32,744	31,311
16 LCF from zero pt. (+ve fwd) m		0,000	35,545	33,729	31,613	29,292	26,833
17 KB m		0,000	0,365	0,722	1,086	1,459	1,839
18 KG m		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
19 BMlt m		0,000	5,075	3,766	3,290	3,053	2,752
20 BMl m		0,000	228,978	144,927	126,614	125,056	129,489
21 GMlt m		-3,000	2,440	1,488	1,376	1,512	1,592
22 GMl m		-3,000	226,343	142,649	124,700	123,515	128,328
23 KMlt m		0,000	5,440	4,488	4,376	4,512	4,592
24 KML m		0,000	229,343	145,649	127,700	126,515	131,328
25 Immersion (TPC) tonne/cm		0,000	1,697	2,380	3,028	3,706	4,364
26 MTC tonne.m		0,000	2,666	4,768	7,729	12,045	17,992
27 RMI at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.		0,000	2,850	4,934	8,460	14,627	22,135
28 Max deck inclination deg		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29 Trim angle (+ve by stern) deg		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



Gambar 8. Kurva hidrostatik kondisi 3 KN. Kalawai



Gambar 9. Kurva GZ kondisi 3 KN. Kalawai

Berdasarkan grafik diatas diperoleh hasil sebagai berikut: Kondisi load case 3 dilakukan penambahan ballast mati dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) $GZ = 0,007$.

- GZ maksimum : 2,566 m
- Sudut GZ max : 64,5 deg

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
42	shall not be less than (>=)	1,7189	m.deg	20,8385	Pass	+1123,21
43						
44	A.76(18) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater			Pass	
45	in the range from the greater of					
46	spec. heel angle	30,0	deg	30,5		
47	to the lesser of					
48	spec. heel angle	90,0	deg			
49	angle of max. GZ	64,5	deg	64,5		
50	shall not be less than (>=)	0,200	m	2,565	Pass	+1182,50
51	intermediate values					
52	angle at which this GZ occurs		deg	64,5		
53						
54	A.76(18) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.3: Angle of maximum GZ			Pass	
55	shall not be less than (>=)	25,0	deg	64,5	Pass	+158,20
56						
57	A.76(18) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.4: Initial GM			Pass	
58	spec. heel angle	0,0	deg			
59	shall not be less than (>=)	0,150	m	4,249	Pass	+2732,67
60						
61	A.76(18) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.6: Turn-angle of equilibrium			Fail	
62	Turn angle $\alpha \geq 2 / (H/g)$ (in degrees)					
63	constant $\alpha =$	0,0500				
64	swell speed $v =$	0,000	kn			
65	turn radius R as percentage of L and	50,00	%			
66	$\theta = 45$ - mean draft / 2	-1,050	m			
67	constant $\theta =$	0				
68	shall not be greater than (>=)	18,0	deg		Fail	
69	intermediate values					
70	heel arm amplitude		m	0,100		
71						
72	267(85) Ch2 - General Criteria	3.2.1: Area 0 to 30			Pass	
73	from the greater of					
74	spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
75	to the lesser of					

Gambar 10. Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria

Berdasarkan Gambar 10, diperoleh hasil yaitu:

1. Sudut GZ max yang didapat : 25,0 deg
2. Sudut GZ max sesuai kriteria : 64,5 deg

Hasil kriteria diatas dinyatakan *pass* atau sesuai dengan kriteria IMO.

3.3. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam pengaplikasian Maxsurf, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kondisi ke 1 kapal KN. Kalawai yang dilakukan dimaxsurf untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130 ke arah kiri kapal hal ini mengakibatkan penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 Portside (W.B.T.2.P) dengan berat 17,370 Ton. Dimana kapal ini tidak memiliki GZ yang memenuhi syarat Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria, Titik berat LCG memiliki nilai 25,338 m, Titik berat TCG memiliki nilai 1,076 m, Titik berat VCG memiliki nilai 2,819 m.
2. Kondisi ke 2 kapal KN. Kalawai dengan ditambahkan mesin induk memiliki nilai Titik berat LCG memiliki nilai 25,156 m, Titik berat TCG memiliki nilai 1,149 m, Titik berat VCG memiliki nilai 0,100 m.
3. Untuk Membuat kapal stabil dilakukan kondisi ke 3 penambahan ballast mati pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) dengan berat 16,530 Ton supaya GZ memenuhi syarat dari Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria, Titik berat LCG memiliki nilai 25,428 m, Titik berat

TCG memiliki nilai 0,007 m, Titik berat VCG memiliki nilai 0,380 m.

4. Adapun nilai-nilai parameter stabilitas setelah dilakukan kondisi modifikasi yaitu:

- KB = 1,839 m
- GM = 1,592 m
- BM = 2,752 m
- KG = 3,0 m

4. PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Kondisi kapal kosong (Belum ditambahkan mesin induk) yang dilakukan di maxsurf untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130 dengan penambahan ballast mati sebesar 17,370 ton.
2. Kondisi kapal pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan (sudah ditambahkan mesin induk untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 130.
3. Kondisi kapal setelah penambahan ballast mati pada kapal KN. Kalawai dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) dari jarak AP 22 m, hasil ini didapat agar dapat menstabilkan kapal, sehingga kriteria yang dipakai pada semua kondisi stabilitasnya memenuhi kriteria dari IMO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif M.S., Hesti A.K, Misbah M.N, 2016, “Analisis Teknis Dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air Ballast Pada Kapal (ship ballast water management) Di Indonesia, Jurnal Ilmu Pengatahuan dan teknologi Kelautan, Vol 13 No 3, DOI: <https://doi.org/10.14710/kpl.v13i3.12351>, Universitas Diponegoro
- [2] Basuki, Juli 2020, “model pengolahan air ballast kapal akibat deballasting di pelabuhan teluk lamong berbasis risiko”. Proceeding Seminar Teknologoi Kebumihan dan Kelautan (SEMATAN), ITS, Surabaya, vol.2 No.1
- [3] Yulianti M. L, Mulianto I.P, Santosa A.W.B, 2017, “Analisis Stabilitas Kapal Perintis 500 DWT Setelah Penambahan Variasi Posisi Sudut dan Lebar Bilga Keel”, Jurnal Teknik Perkapalan, Vol5 No 4, Dec. 2017. Universitas Diponegoro, .
- [4] Saputra et al., 2017, ” Analisis pengaruh Beban Terhadap Stabilitas Statis Kapal Patroli 28 Meter Untuk Pengawasan Perairan di

- Kepulauan Riau” Journal Integrasi, Politeknik Negeri Batam, Vol 9 No 2.
- [5] Ichsan L.M., Parokah D, 2013, “Kriteria Stabilitas Kapal Yang Beroperasi Di Perairan Indonesia” Celebes Ocean Science and Engineering Seminar (COSES), Makasar
 - [6] Muhammad R.A, Wahidin A., Nugroho P.N.A, 2021 ”kajian pengaruh penambahan ballast tetap pada kapal tugboat 16 m” Jurnal teknologi Maritim, DOI : 10.33863/jtm.v4i1.1815
 - [7] Novita P, Martiyani N, Ariyani R. E., 2014, “Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhanratu Berdasarkan Distribusi Muatan” Jurnal IPTEKS. PSP, Vol 1 pp 28-39., ISSN: 2355-729X
 - [8] Risky, Usman A.L., 2021“Penggunaan ballast untuk stabilitas setelah bongkar muat di mv. meratus medaN”, Skripsi, Politenik Negeri Medan.
 - [9] Tumpal & Sinaga, 2017, “Kajian Analisis Teori Pengaruh Ballast Terhadap Gerakan Pitch Pada Kapal Selam Mini 22M” Prosiding, Seminar Nasional sains dan teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhamadiyah, Jakarta ISSN 2407-1846, e-ISSN 2460-8416.

ANALISIS KEANDALAN STRUKTUR MEJA APUNG PENGOLAHAN GARAM

Sutiyo¹, B. Suwasono², dan R.B. Luhulima³¹Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah,
Surabaya, 60111E-mail: sutiyo@hangtuah.ac.id²Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah,
Surabaya, 60111E-mail: bagiyo.suwasono@hangtuah.ac.id³Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, 97233E-mail: richardluhulima@gmail.com

Abstrak. Garam merupakan komoditas yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Selain untuk konsumsi, garam banyak diperlukan dalam beberapa industri, diantaranya untuk pengawetan dan campuran bahan kimia. Perancangan Meja Apung Pengolah Garam harus dipastikan mampu bertahan terhadap impact sloshing yang mengenai sekat. Dari Hasil perhitungan keandalan struktur diperoleh bahwa pemilihan sekat dengan tebal memiliki keandalan 0.675653 dengan nilai rata-rata tegangan sebesar 159.05N/m². Sedangkan pada pemilihan sekat dengan tebal 10 mm memiliki keandalan 0.999986 mempunyai nilai rata-rata tegangan sebesar 59.77 N/m². Hasil perhitungan keandalan berdasarkan material yang ada yaitu nilai mean tegangan yield stress material sebesar 241.02 N/m² dan standar deviasinya adalah 8,5286 N/m². Pemilihan sekat dengan tebal 10 mm memiliki keandalan yang bagus sehingga perlu dipertimbangkan untuk menggunakannya.

Kata kunci: Keandalan Struktur, Meja Apung, Garam, Air Laut

Abstract. Salt is a very important commodity for people's lives. In addition to consumption, salt is needed in several industries, including for preservation and chemical mixtures. The design of the Salt Processing Floating Table must be ensured to be able to withstand impact sloshing that hits the bulkhead. From the results of the calculation of the reliability of the structure, it was found that the selection of thick insulation had a reliability of 0.675653 with an average stress value of 159.05N/m². Whereas the selection of a 10 mm thick insulation has a reliability of 0.999986 and has an average stress value of 59.77 N/m². The results of reliability calculations based on existing materials are the mean value of the material yield stress of 241.02 N/m² and the standard deviation is 8.5286 N/m². Selection of a screen with a thickness of 10 mm has good reliability, so it is necessary to consider using it.

Keywords: Structural Reliability, Floating Table, Salt, Seawater

1. PENDAHULUAN

Garam merupakan komoditas yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Selain untuk konsumsi, garam banyak diperlukan dalam beberapa industri, diantaranya untuk pengawetan dan campuran bahan kimia. Banyaknya kebutuhan garam membuat negara harus memproduksi untuk memenuhi kebutuhan garam nasional. Ditunjang oleh kekayaan alam yang menjadi modal utama produksi garam, Indonesia seharusnya mampu untuk memproduksi garam sendiri, namun pada

kenyataannya Indonesia masih mengimpor garam.

Persoalan ketidakmampuan garam rakyat dalam memenuhi memasok kebutuhan garam nasional tidak hanya diakibatkan oleh supply and demand, tetapi juga karena kualitasnya. Selanjutnya, kebutuhan garam sebagai bahan baku industri tumbuh besar pada tahun 2018. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian (Kemperin), kebutuhan garam untuk industri tahun 2018 mencapai 3,7 juta ton.

Berdasarkan rekomendasi Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) kebutuhan impor garam tahun

ini seberat 2,17 juta ton sementara berdasarkan kebutuhan industri mencapai 3,7 juta ton. Namun akhirnya Kementerian Perdagangan memberikan persetujuan izin impor garam industri sebesar 2,37 juta ton yang berlaku satu tahun.

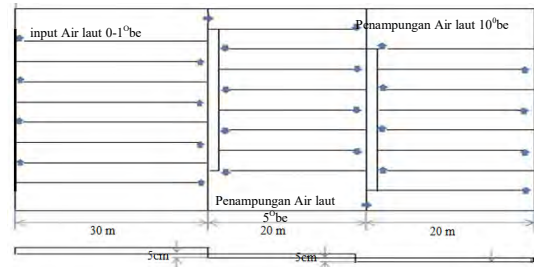
Upaya yang dapat dilakukan petani untuk mendapatkan garam dengan kualitas baik adalah dengan kristalisasi dan evaporasi yang memerlukan beberapa kali proses. Hal ini akan meningkatkan biaya operasional untuk pengolahan garam terutama untuk keperluan industri. Untuk meningkatkan kualitas input air laut yang baik maka dilakukan pengambilan air laut yang tidak tercampur dengan air (jaug dari bibir pantai). Dari uraian latar belakang masalah yang diuraikan diatas maka dilakukan kajian wahana apung untuk pengelolaan air lau yang ditinjau dari aspek hidrodinamika.

Menurut Kementrian Kelautan dan Perikanan (KPK) dari pengkajian dengan melakukan modifikasi pada sistem pertanian garam dengan cara TUP bisa meningkatkan produktivitas hingga 100%. Terbukti, cara membuat garam dengan menggunakan metode UTF bisa meningkatkan produktivitas seperti yang terjadi di Jawa Barat yaitu Cirebon, Indramayu dan Karawang. Petani yang awalnya hanya bisa menghasilkan 60-80 ton garam sekali panen, kini bisa menghasilkan 120-140 ton garam dalam per hektar.

Dalam penelitian ini akan difokus pada proses pembuatan air tua garam dengan 15⁰be. Adapun konsep TUP bisa Anda lihat lewat ilustrasi gambar berikut ini.



Gambar 1 Diagram pengolahan air tua garam



Gambar 2 Pengolahan air tua garam hingga 15⁰be dengan metode TUF

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Konsep Keandalan

Di dalam desain struktur kapal atau anjungan lepas pantai, tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini karena tidak ada seorang pun yang mampu memprediksi kepastian atau ketidakpastian suatu kejadian tertentu [1].

Oleh karena itu, dalam setiap perancangan pasti mengandung ketidakpastian yang pada akhirnya menimbulkan ketidakandalan dalam suatu tingkatan tertentu. Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu [2].

2.2. Konsep Ketidakpastian

Pada struktur konstruksi yang modern tentunya isu keamanan merupakan aspek yang paling utama dalam pendesainan. Isu keamanan dalam analisa struktur adalah berkaitan dengan keakuratan dalam hal mendefinisikan ketidakpastian dalam hal pemodelan computer, pembebanan, geometri, proses produksi dan operasional [3].

2.3. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis keandalan struktur. Ketika suatu sistem mengandung variable atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung peubah acak, maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan. Unsur pokok dalam simulasi Monte Carlo adalah penggunaan random number generator (RNG).

Prinsipnya, sampel yang diambil berdasarkan RNG tadi akan dipakai sebagai masukan ke dalam fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Misalnya untuk suatu fungsi kinerja tertentu, setiap $FK(x) > 0$, maka sistem atau komponen dianggap gagal. Jika jumlah sampel

tersebut adalah N, maka dicatat jumlah kejadian $FK(x) > 0$ sejumlah n kali. Dengan demikian maka peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah kejadian yang dilakukan [2].

2.4. Meja Apung Garam

Air Laut yang masih murni dengan densitas antara $0-1^\circ$ Be dialirkan dengan menggunakan pompa ke dalam petak penampungan pertama. Air laut yang telah alirkan, ditunggu hingga kadar densitanya mencapai 5° Be.

Selanjutnya, air dari dari kolam penampung pertama dialirkan ke kolam penampungan ke-2 menggunakan pompa melalui ulir besar. Mengalirnya air garam melalui ulir besar ini bertujuan supaya air baku mengalami penguapan yang cukup banyak dan signifikan, serta diharapkan dengan menempuh perjalanan yang lebih panjang kotoran-kotoran yang bisa mengotori air bisa tersaring dan membuat air menjadi bersih.

Air dalam petak penampungan ke-2 disetting memiliki ketinggian antar 3-5 cm, kemudian diukur dengan Boumeter untuk dilihat berapa densitasnya. Diharapkan hasil pengukuran menunjukkan 10° Be.

Setelah selesai dilakukan pemrosesan dalam penampungan 2, air dialirkan ke petak penampungan ke-3 melalui ulir kecil. Hampir sama dengan ulir besar, tujuan dialirkannya air melewati ulir kecil dengan jarak yang panjang adalah untuk mempermudah penguapan air laut untuk mendapatkan kekentalan sebesar 15° Be. Selanjutnya dilakukan penampungan ke wadah tertutup untuk megurangi evaporasi.

2.5. Distrubusi WEIBULL

Distribusi weibull adalah persamaan yang biasanya digunakan untuk mengetahui suatu objek berfungsi sebagaimana mestinya atau tidak. Bisa dikatakan bahwa distribusi ini dapat menangani maslaah-masalah yang menyangkut lama waktu suatu objek dapat bertahan. Berikut rumus yang digunakan pada distribusi weibull. [2].

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (1)$$

2.6. Tegangan

Pada suatu penampang, gaya-gaya yang bekerja pada luasan umumnya sangat kecil (infinitesimal areas) pada penampang tersebut bervariasi baik dalam besar maupun arahnya. Gaya dalam merupakan resultan dari gaya-gaya padabluasan yang sangat kecil ini. Instensitas gaya menentukan

kemampuan suatu struktur atau material dalam menerima beban (kekuatan) disamping mempengaruhi sifat-sifat kekakuan maupun stabilitas [6]. Apabila dijabarkan dalam rumus adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dengan;

σ : Tegangan (N/m²)

P : Pressure (Newton)

A : luas (m²)

2.7. Metodologi

A. Pengumpulan data dan Studi literatur.

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku dan referensi lain. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisis permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan penelusuran literatur untuk mendapatkan data penunjang.

B. Menentukan titik kritis

Penentuan titik kritis dilakukan pada daerah dimana suatu struktur mempunyai nilai tegangan tertinggi apabila diberikan suatu beban kepada stuktur tersebut.

C. Uji Statistik untuk menentukan distribusi

Dalam menentukan distribusi ini peneliti tidak sembarang memilih distribusi yang digunakan, melainkan dengan menggunakan bantuan *software statistic*. Dari *software statistic* tersebut kita dapat memasukkan data berupa tegangan yang sudah didapat sebelumnya pada hasil model baru nanti kita bisa melihat distribusi mana yang sesuai dengan data yang peneliti masukkan.

D. Menentukan Probalnility Density Function (PDF) tegangan

Analisa PDF tegangan yang diperoleh dari tahap 4, dilakukan dengan menggunakan *software statistic*. Dari analisa tersebut akan diperoleh distribusi yang sesuai beserta parameter statistiknya.

E. Menentukan persamaan moda

Menentukan persamaan moda kegagalan untuk analisa keandalan struktur. Jadi moda kegagalan ini dijadikan sebagai acuan untuk menentukan apakah suatu struktur mengalami kegagalan atau tidak.

F. Menentukan Random Variable

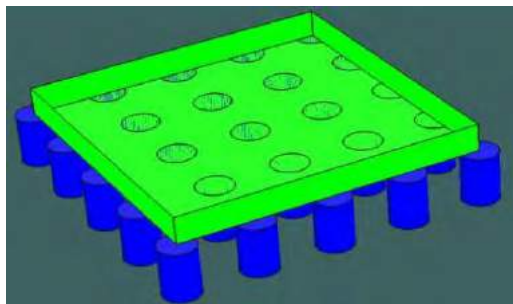
Menentukan *Random Variable* dengan perintah yang ada pada excel yaitu dengan ketik perintah =Rand () maka akan muncul angka yang diinginkan. Namun butuh pembuktian yang akurat untuk menentukan nilai *Random Variable* yaitu dengan rumus dari distribusi yang sudah didapatkan pada saat uji statistic sebelumnya.

G. Simulasi Monte Carlo.

Pada tahap ini dilakukan analisa kenadalan dengan metode Simulasi Monte Carlo. Sehingga pada tahap ini akan didapatkan nilai keandalan struktur.

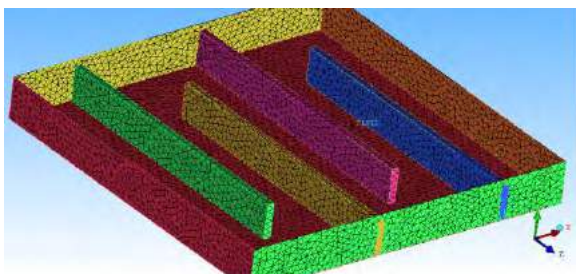
H. Desain Kolam Apung Garam

Stabilitas Wahana Apung adalah kemampuan wahana apung untuk menegak kembali sewaktu wahana apung pada saat diapungkan, tidak miring kekiri atau kekanan, demikian pula pada saat berlayar, disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya pada saat wahana apung diolengkan oleh ombak atau angin, wahana apung dapat tegak kembali. Meja Apung didesain seperti gambar 3 dengan ukuran 5m x 5m



Gambar 3. Desain Meja Apung

Selanjutnya Meja Apung didesain pada CFD untuk dilakukan analisa besarnya tegangan akibat sloshing pada sekat-sekatnya, seperti ditunjukkan Gambar 4

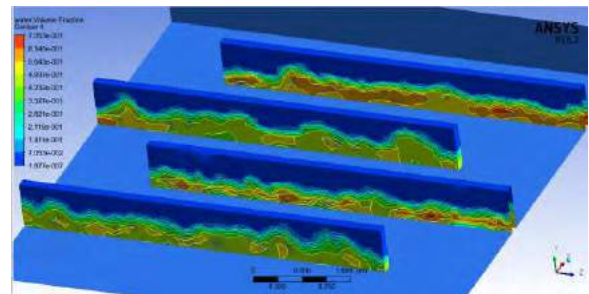


Gambar 4. Meshing Desain Meja Apung

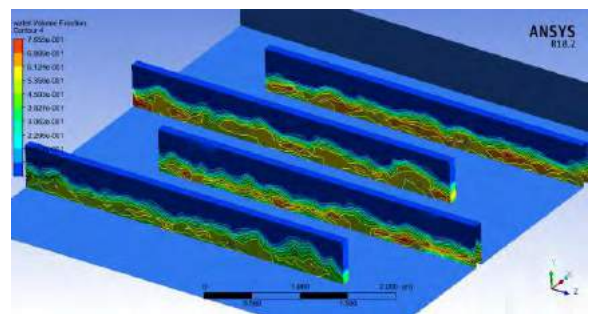
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Tegangan Kapal

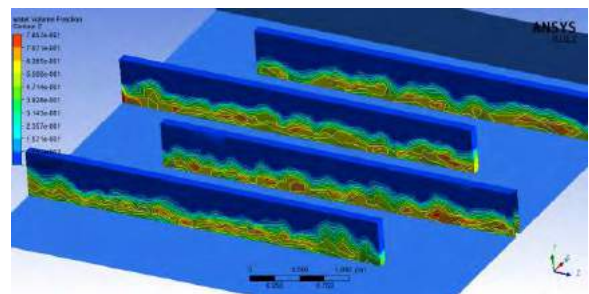
Merujuk pada desain Meja Apung Garam telah dilakukan simulasi sloshing akibat muatan air laut dengan ketinggian 15 cm dengan gelombang air laut sebesar 1 m dengan ketebalan sekat 10mm dan 5 mm. Hasil simulasi Meja Apung ditunjukkan pada Gambar 5-78 dan didapatkan hasil tegangan sebagai berikut, seperti ditunjukkan Tabel 1.



Gambar 5. Volume Fraction dengan sudut 0°



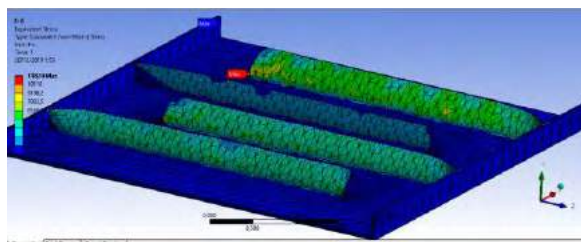
Gambar 6. Volume Fraction dengan sudut 45°



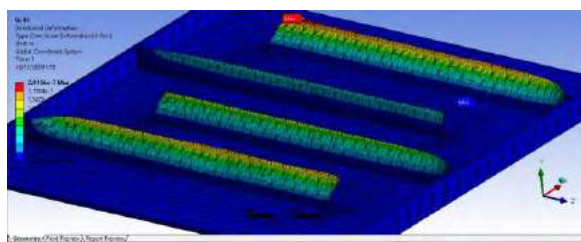
Gambar 7. Volume Fraction dengan sudut 90°

Tabel 1. Hasil tegangan

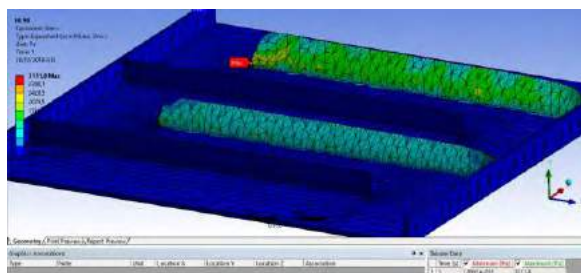
θ (°)	Posisi	F(N)	Tegangan (N/m ²)		Tegangan Ijin (N/m ²)
			10 mm	5 mm	
0	Sekat 1	7.94	57.099	192.36	350
	Sekat 2	8.65	73.866	379.93	350
	Sekat 3	3.46	27.972	67.603	350
	Sekat 4	11.13	118.24	314.44	350
45	Sekat 1	7.92	56.965	184.74	350
	Sekat 2	6.29	47.525	229.29	350
	Sekat 3	2.93	10.893	56.02	350
	Sekat 4	8.93	94.859	285.86	350
90	Sekat 1	0.31	2.5445	7.4376	350
	Sekat 2	1.76	14.436	67.639	350
	Sekat 3	0.16	1.3069	3.6784	350
	Sekat 4	2.9	31.118	92.718	350
$\mu = T_{max} + T_{min} / 2$			59.77	159.05	
$\sigma = STDEV.S(E6:E17)$			37.25	125.95	



Gambar 8. Tegangan dengan sudut gelombang 0° (auto scale)



Gambar 9. Tegangan dengan sudut gelombang 45° (auto scale)



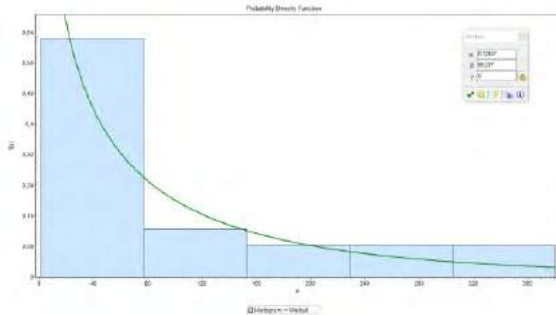
Gambar 10. Tegangan dengan sudut gelombang 90° (auto scale)

3.2. Fit Distribusi

Untuk menghitung Keandalan struktur dibutuhkan distribusi yang akan digunakan ppada simulasi Monte Carlo. Salah satu yang dilakukan untuk menentukan distribui yang digunakan adalah dengan menggunakan *Software statistic “Easyfit”*. Dengan ini peneliti memasukkan data hasil tegangan yang didapatkan. Kemudian dilakukan fit distrusi dan dari fit distribusi tersebut setelah peneliti memasukkan data hasil tegangan maka terdapat rangking distribusi yang dapat digunakan untuk menghitung nilai Keandalan Struktur. Jadi dalam rangking tersebut peneliti ambil rangking yang paling tinggi untuk dijadikan sebagai distribusi yang paling tepat utnuk digunakan.

Tabel 2. Rangkings distribusi

Goodness of Fit - Summary							
#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
56	Weibull	0,13918	14	0,32478	7	0,05123	1
22	Gen. Pareto	0,09139	2	0,30086	6	0,07267	2
16	Frechet (3P)	0,1285	13	0,40537	10	0,12756	3
7	Dagum	0,10144	6	0,25174	2	0,13141	4
4	Cauchy	0,20694	28	1,4245	21	0,13502	5
45	Pearson 6	0,09841	3	0,23256	1	0,16865	6
20	Gen. Gamma	0,10065	4	0,25476	3	0,19049	7
33	Log-Gamma	0,22577	32	1,8096	31	0,19544	8
27	Inv. Gaussian (3P)	0,14433	15	0,43972	11	0,2046	9
2	Burr	0,1007	5	0,26326	5	0,22949	10



Gambar 11 Distribusi Weibull

3.2 Menentukan Probability Density Function (PDF).

Menentukan PDF tegangan yang terjadi pada Sekat.

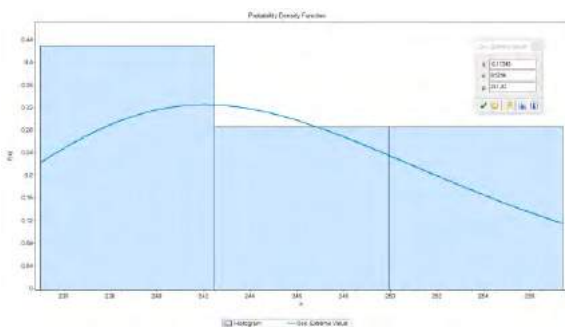
Dengan menggabungkan data tegangan yang terjadi pada gelombang didapatkan didapatkan data PDF distribusi normal sebagai berikut :

- Variasi tebal sekat 10 mm
nilai standar deviasi = 37.25 dan mempunyai nilai rata-rata = 59.77
- Variasi tebal sekat 5 mm
nilai standar deviasi = 125.95 dan mempunyai nilai rata-rata = 159.05

Menentukan PDF Tegangan Ijin

Data material yang digunakan dijadikan satu dan dilakukan analisa statistik untuk mendapatkan mean dan standar deviasinya.

Setelah dilakukan analisa statistik dan didapatkan grafik PDF nya didapatkan nilai mean tegangan yield stress material tersebut yaitu 241.02 N/m² dan standar deviasinya adalah 8,5286 N/m²



Gambar 12 Fungsi Probabilitas (Probability Density Function)

Menentukan Keandalan dengan Metode Monte Carlo.

A Hasil nilai Probability Density function

Distribusi weibull yang sudah didapatkan dari proses fit distribusi digunakan untuk menentukan nilai Probability Density function. Nilai Probability Density function digunakan untuk menghitung dan

mengkonversi bilangan acak yang digunakan pada perhitungan nilai Keandalan Struktur. Dari Probability Density function akan didapatkan nilai shape parameter(α) dan scale parameter(β).

B Uji Statistik untuk Distribusi Weibull

Sesuai dengan rumus weibull

$$f(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^k\right) \quad (1)$$

Dibutuhkan nilai X yang akan digunakan untuk menghitung nilai tegangan yang sudah dikonversikan untuk disimulasikan dengan simulasi monte carlo. Dimana nilai F(X) adalah probabilitas terambilnya suatu peluang, maka dari rumus tersebut dapat dijabarkan menjadi,

C Moda Kegagalan

Moda kegagalan merupakan acuan ataupun patokan yang digunakan untuk menilai suatu produk atau obyek yang diteliti Moda kegagalan tersebut dapat dijadikan acuan, apabila nilai tegangan actual dibagi dengan tegangan ijin bernilai negative dan atau lebih dari satu maka nilai keandalan strukturnya bisa dikatakan gagal. Sedangkan, jika tegangan actual dibagi dengan tegangan ijin bernilai kurang dari sama dengan 1, maka nilai keandalan strukturnya bisa dikatan berhasil.

$$\text{Moda Kegagalan} - \frac{\sigma_{aksial}}{\sigma_{ijin}} \leq 1$$

D Nilai Acak

Nilai acak disini berfungsi sebagai probabilitas yang digunakan dalam persamaan rumus weibull. Untuk melakukan pembuktian apakah rumus yang dipakai dengan nilai acak sudah sesuai apa tidak bisa dibuktikan dengan memasukkan nilai tegangan sembarang.

E Analisa Keandalan Struktur dengan simulasi Montecarlo

Dalam menghitung nilai keandalan struktur dibutuhkan moda kegagalan dan juga data acak yang sudah ditentukan di Sub Bab sebelumnya. Sehingga tinggal mengikuti algoritma perhitungan Keandalan Struktur.

Dalam menentukan nilai kenadalan struktur peneliti melakukan 1000, 10000, 100000, 1000000 iterasi. Dan peneliti juga menyajikan nilai keandalan struktur dalam bentuk tabel dan juga kurva *trendlaine* untuk mempermudah peneliti dan pembaca dalam menganalisa hasil dari perhitungan nilai Keandalan struktur.

Sesuai dengan algoritma perhitungan keandalan

struktur dengan simulasi Monte Carlo didapatkan hasil nilai Keandalan struktur.

Penentuan keandalan struktur meja apung menggunakan metode monte carlo, dalam hal ini formula mode keandalan yang digunakan adalah:

$$\text{Mode Kegagalan} = ST - (YT \times SF) \geq 0 \quad (2)$$

Dimana:

ST = Tegangan pada eye plate (N/m²)

YT = Yield Stress Material (N/m²)

SF = Safety Faktor 90% (Tegangan tarik yang diizinkan / permission stress adalah tidak melebihi 10% dari tegangan tarik yang dimiliki material)

Untuk menentukan keandalan dalam penelitian ini menggunakan *software* Scilab dengan menggunakan formula (2) tersebut diatas dengan memasukkan formula tambahan sesuai dengan koding di Scilab yaitu:

$$ST = \text{abs}(\text{grand}(1,1, \text{"nor"}, \mu_{ST}, \tau_{ST})). \quad (3)$$

$$SY = \text{abs}(\text{grand}(1,1, \text{"nor"}, \mu_{SY}, \tau_{SY})). \quad (4)$$

Dimana:

abs = Nilai mutlak yang diperlukan untuk mengantisipasi bilangan negatif akibat tegangan tekan atau arah beban negatif

grand = Perintah random nomor

1,1 = Ukuran matrik yang ingin di generate

“nor” = simbol distribusi normal

μ = rata-rata atau mean

τ = standar deviasi

Untuk mendapatkan nilai keandalan struktur pada tabel 4.5 peneliti menggunakan rumus:

$$\text{Keandalan} = (n - \text{jumlah gagal}) / n \quad (5)$$

Dimana:

n = jumlah literasi

Tabel 5. Nilai keandalan untuk sekat tebal 10 mm

No	Jumlah Simulasi	\sum Literasi Gagal	Pof	Keandalan
1	1000	0	0	1
2	10000	0	0	1
3	100000	1	0.00001	0.99999
4	1000000	14	0.000014	0.999986

Tabel 6. Nilai keandalan untuk sekat tebal 5 mm

No.	Jumlah Simulasi	\sum Literasi Gagal	Pof	Keandalan
1	1000	315	0.315	0.685
2	10000	3198	0.3198	0.6802
3	100000	32315	0.32315	0.67685
4	1000000	324347	0.324347	0.675653

4. KESIMPULAN

Perancangan Meja Apung Pengolah Garam harus dipastikan mampu bertahan terhadap impact sloshing yang mengenai sekat. Dari Hasil perhitungan keandalan struktur diperoleh bahwa pemilihan sekat dengan tebal memiliki keandalan 0.675653 dengan nilai rata-rata tegangan sebesar 159.05N/m². Sedangkan pada pemilihan sekat dengan tebal 10 mm memiliki keandalan 0.999986 mempunyai nilai rata-rata tegangan sebesar 59.77 N/m². Hasil perhitungan keandalan berdasarkan material yang ada yaitu nilai mean tegangan yield stress material sebesar 241.02 N/m² dan standar deviasinya adalah 8,5286 N/m². Pemilihan sekat dengan tebal 10 mm memiliki keandalan yang bagus sehingga perlu dipertimbangkan untuk menggunakannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terimakasih banyak kepada Prof. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D telah membimbing dalam analisa keandalan struktur sekat meja apung pengolahan garam, sehingga bisa terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baker, M. J., & Wyatt, T. A. (1979). *Methods of reability Analysis for jacket platform*. London: Journal of Behavior of Offshore Structure.
- [2] BKI. (1996). *Rules For elding*. Jakarta.
- [3] Choi, S. K., Grandhi, R. V., Canfield, & Robert, A. (2006). *Reliability Based Structure Design*. London: Spinge Science.
- [4] Perdana, D. I. (2013). *Analisa Beban Gelombang pada Konstruksi Kapal Perang Tipe Corvette di Kondisi Perairan Indonesia*. Surabaya: Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Nowak, A. S., & Collin, K. R. (2000). *Reliability of structure*.
- [6] Singapore: Mc Graw Hill.
- [7] Rosyid, D. M. (2007). *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- [8] Arianto, P. Y. (2016). *Analaisi tagngan AKibat Beban Gelombang Pada Struktur kapal Perang tipe Corvette*. Surabaya: Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Seouluh Nopember.

ANALISIS INSUBMERSIBILITAS KAPAL RAKYAT: TINJAUAN KASUS PADA KM. SAFIRA

A. M. A. Daeng Parany¹, R. H. Siahainenia², dan D. R. Lekatompessy³

¹Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: alivino1927@gmail.com

²Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: ekoadvmal@gmail.com

³Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: de.lekatompessy@gmail.com

Abstrak. Ruang dalam lambung kapal KM. Safira tidak memiliki Sekat Kedap Air (SKA) melintang. Apabila kapal ini mengalami kebocoran maka kapal akan tenggelam akibat air yang masuk akan menggenangi seluruh lambung dan menambah berat kapal dan mendesak keluar udara sebagai sumber daya apung. Kondisi ini menyebabkan kapal kehilangan insubmersibilitas, kemampuan bertahan pada permukaan air ketika satu atau beberapa kompartemen bocor dan kemasukan air, sebelum akhirnya tenggelam. Solusi atas permasalahan terhadap KM. Safira, yakni dengan cara menerapkan SKA melintang disepanjang kapal. Penelitian ini bertujuan menentukan letak SKA melintang pada KM. Safira menggunakan metode Krylov. Lengan kebocoran (l_i) melibatkan koefisien permeabilitas (μ) yang memenuhi persyaratan ($l_{\max} < \mu$). Perhitungan yang dilakukan untuk memenuhi persyaratan kedudukan SKA antara lain yaitu : menghitung luas penampang melintang, menghitung Bonjean serta menentukan garis margin, menghitung volume kebocoran (v_i), menghitung volume momen statis pada tinggi sarat maksimum, menghitung integra volume, menggambar kurva panjang lengan kebocoran, menghitung koefisien permeabilitas (μ), menentukan SKA melintang. Hasil penelitian menunjukkan ada lima SKA melintang yang harus diaplikasikan pada KM. Safira, antara lain; SKA 01 = 1.30 m, SKA 02 = 5.49 m, SKA 03 = 11.38 m, SKA 04 = 17.25 m, SKA 05 = 21.94 m diukur dari Fore Perpendicular (FP).

Kata Kunci : *Insubmersibilitas, Sekat Kedap Air, Lengan Kebocoran, Koefisien Permeabilitas*

Abstract. Space in the hull of the KM ship. Safira does not have a transverse Watertight Bulkhead (SKA). If this ship experiences a leak, the ship will sink because the incoming water will flood the entire hull and increase the weight of the ship and force out the air as a source of buoyancy. This condition causes the ship to lose insubmersibility, the ability to stay on the surface of the water when one or more compartments leak water, before finally sinking. Solutions to problems with KM. Safira, namely by applying SKA across the length of the ship. This research aims to determine the location of the SKA across the KM. Safira uses the Krylov method. The leakage arm (l_i) involves a permeability coefficient (μ) that satisfies the requirement ($l_{\max} < \mu$). Calculations carried out to fulfill the SKA position requirements include: calculating the cross-sectional area, calculating the Bonjean and determining the margin line, calculating the leak volume (v_i), calculating the static moment volume at maximum draft height, calculating the volume integra, drawing the leak arm length curve, calculate the permeability coefficient (μ), determine the transverse SKA. The research results show that there are five transverse SKA that must be applied to KM. Safira, among others; SKA 01 = 1.30 m, SKA 02 = 5.49 m, SKA 03 = 11.38 m, SKA 04 = 17.25 m, SKA 05 = 21.94 m measured from Fore Perpendicular (FP).

Keywords: *Insubmersibility, Watertight Seal, Leak Sleeve, Permeability Coefficient*

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan berlayar (kapal yang tenggelam) sering terjadi terutama pada kapal rakyat sehingga memakan banyak korban jiwa. Tim Badan SAR provinsi Sulawesi Tenggara, juga menunjukkan bahwa di tahun 2020 telah terjadi 70 peristiwa kecelakaan berlayar, dari jumlah tersebut telah terjadi 40 peristiwa kapal tenggelam [1]. Sedangkan di tahun 2021 telah terjadi 56 peristiwa kapal tenggelam dari 83 peristiwa kecelakaan berlayar [2]. Ini menunjukkan bahwa ada peningkatan 71% peristiwa kapal yang tenggelam, dan kapal yang tenggelam disebabkan karena pecah lambung.

Untuk mengatasi ketika terjadi pecah lambung kapal, maka anak buah kapal (ABK) akan menyumbat lubang pada papan lambung kapal menggunakan kain, dan memompa airbocor keluar kapal. Namun upaya yang dilakukan oleh ABK tidak pernah berhasil, akhirnya air bocor akan menggenangi seluruh lambung kapal dan mengakibatkan kapal menjadi tenggelam [3].

Sekat kedap air (SKA) adalah sebuah sekat pada lambung kapal. SKA sangat penting untuk kelangsungan hidup kapal jika terjadi kerusakan lambung [4]. SKA berguna untuk menghindari masuknya air ke dalam kompartemen jika kompartemen yang berdekatan tergenang air akibat kerusakan pada lambung kapal. Jumlah minimum SKA tergantung pada panjang kapal [5].

Kapal Motor Safira (KM. Safira) merupakan salah satu kapal rakyat bertipe kapal penumpang yang dibuat dari bahan dasar kayu, kapal ini beroperasi di wilayah provinsi Sulawesi Tenggara dengan rute pelayaran Bau-Bau – Tomia. Kapal tersebut dibangun secara tradisional mengikuti pengalaman membangun kapal secara turun-temurun. Pembuatan KM. Safira juga masih memiliki kelemahan konstruksi lambung serta badan kapal yakni tidak dilengkapi dengan sekat-sekat kedap air melintang sehingga kapal tidak memiliki kemampuan untuk bertahan pada permukaan air (Insubmersibilitas) jika terjadi kebocoran yang tidak teratasi. Kelemahan konstruktif ini menyebabkan KM. Safira kurang memiliki jaminan kelaiklautan dalam pengoperasiannya.

Upaya untuk mengatasi masalah tenggelamnya kapal-kapal rakyat, dalam hal ini KM. Safira adalah dengan menerapkan penggunaan SKA melintang, yang membagi ruang dalam lambung kapal atas beberapa kompartemen kedap air. Kompartemen-kompartemen ini akan berfungsi membendung air bocor hanya pada kompartemen yang bocor saja. Meskipun satu atau beberapa ruang dalam lambung kapal telah kemasukan air,

akan tetapi kompartemen lain masih tetap berisi udara yang merupakan sumber utama daya apung kapal. Kapal masih tetap memiliki kemampuan untuk dapat bertahan pada permukaan air.

2. BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe Deskriptif, yaitu membuat gambaran mengenai situasi atau kejadian guna mengakumulasi data dasar yang ada.

2.1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan antara lain:

- Mengumpulkan data berupa gambar rencana umum dan peraturan konstruksi kapal kayu BKI dan informasi terkait penelitian.
- Menghitung dan menggambar kurva luas penampang melintang kapal.
- Menghitung dan menggambar kurva integral luas penampang melintang.
- Menentukan panjang sekat kedap air melintang dan membuat kurva panjang ketidak tenggelaman.
- Hasil analisis akan dituangkan dalam kesimpulan akhir penelitian.

2.2. Analisis Data

Untuk menganalisis letak dan jarak Sekat Kedap Air (SKA) melintang satu dengan lainnya, digunakan kurva panjang lengan kebocoran dengan melibatkan permeabilitas (μ) sebagai kurva batas kebocoran, yang dibandingkan dengan panjang isian maksimum SKA (ℓ_{\max}). Jika $\ell_{\max} \leq \mu$, maka jarak dan letak SKA berada pada kondisi aman, sehingga jika terjadi air bocor memenuhi seluruh kompartemen tersebut, kapal masih dapat terapung dan sebaliknya [6].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

KM. Safira sebagai kapal objek penelitian untuk mendesain SKA melintang. Adapun data KM. Safira yang berkaitan langsung dengan penelitian ini adalah ukuran pokok kapal dan ordinat setengah lebar.

Tabel 1. Ukuran pokok kapal dan koefisien bentuk KM. Safira

Nama	Ukuran	Satuan	
Panjang seluruh (LOA)	30.3	m	
Panjang garis air (LWL)	24.84	m	
Panjang antara garis air (LBP)	23.4	m	
Lebar terbesar (B)	6.9	m	
Tinggi geladak (H)	2	m	
Tinggi sarat (T)	1.5	m	
Kecepatan dinas (Vs)	10	Knot	
Displasemen volume (V)	181.64	m ³	
Displasemen berat (Δ)	201.30	Ton/m ³	
Berat kotor (Gt)	112	Ton	
Awak kapal (Abk)	11	Orang	
Penumpang	135	Orang	
Daya mesin	420	Kw	
Koefisien blok (Cb)	0.75		
Koefisien gading tengah (Cm)	0.98		
Koefisien garis air (Cw)	0.84		
Koefisien prismatik (Cph)	0.77		
Koefisien prismatik tegak (Cpv)	0.89		

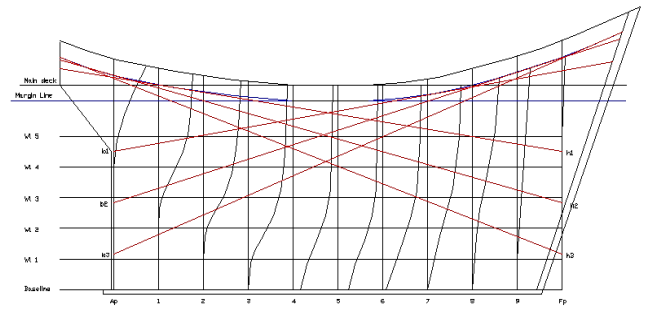
Tabel 2. Ordinat setengah lebar KM. Safira

No. Gd/WI	0 (m)	0,5 (m)	1 (m)	2 (m)	3 (m)	4 (m)	5 (m)	Main deck (m)
Ap							2.21	3.21
1					1.7	2.58	2.97	3.3
2				1.93	3.62	2.98	3.23	3.4
3			1.86	2.84	3.11	3.28	3.39	3.46
4	0.13	2.05	2.83	3.23	3.36	3.43	3.46	3.47
5	0.13	2.45	2.95	3.28	3.41	3.45	3.46	3.47
6	0.13	1.27	2.44	2.93	3.17	3.29	3.34	3.41
7	0.13	0.54	1.28	2.1	2.5	2.75	2.91	3.13
8	0.13	0.24	0.39	0.84	1.48	1.96	2.27	2.65
9	0.13	0.14	0.18	0.31	0.51	0.74	1	1.52
Fp	0.13						0.17	0.34

4.1 Menghitung volume kebocoran pada setiap kondisi Trim.

- Garis 1 = $1/3 \times t$
= $1/3 \times 1.5$
= 0.5 m
- Garis 2 = $2/3 \times t$
= $2/3 \times t$
= 1 m
- Garis 3 = $3/3 \times t$
= $3/3 \times 1.5$
= 1.5 m

Besar nilai yang telah dihitung merupakan kondisi kapal saat terjadi *Trim*, berlaku untuk masing-masing garis dibagian haluan kapal (H) dan juga dibagian buritan kapal (B).



Gambar 1. Garis Trim pada kurva bonjean

3.1. Menghitung integral volume

Menghitung Integral Volume adalah untuk menentukan besar lengan kebocoran dari jarak volume air bocor (v_i) ke *Midship* (x_i) yang memotong lengkungan integral [6].

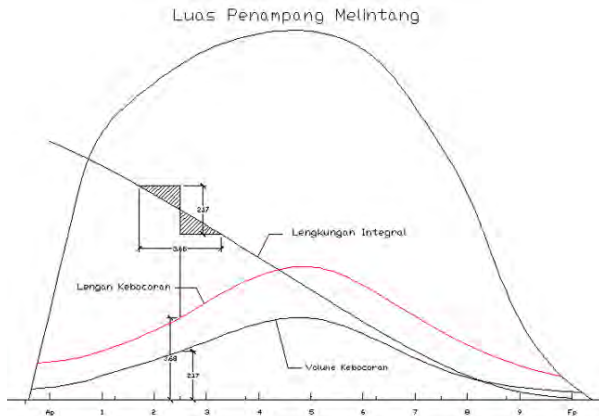
Tabel 3. Perhitungan Integral Volume

No. Gad	ω_m	Jumlah Integral	Vol=(3).ΔL/2
(1)	(2)	(3)	(4)
Fp	0.16	0.16	0.1872
9	0.68	1	1.17
8	1.39	3.07	3.5919
7	1.75	6.21	7.2657
6	2.01	9.97	11.6649
5	2.08	14.06	16.4502
4	2.07	18.21	21.3057
3	2.02	22.3	26.091
2	1.92	26.24	30.7008
1	1.78	29.94	35.0298
Ap	1.32	33.04	38.6568

Besar nilai dalam Tabel merupakan nilai yang ditentukan dari jumlah keseluruhan pada setiap garis kondisi *Trim* sampai garis batas aman (*Margin line*) [3].

3.2. Menggambar kurva panjang lengan kebocoran

Lengan kebocoran digambarkan dalam bentuk kurva yang bertujuan untuk menentukan letak setiap Sekat Kedap Air melintang (SKA). Kurva yang digambarkan mempunyai Permeabilitas (μ) = 1, artinya volume air yang masuk sama dengan volume ruangan [6].



Gambar 2. Kurva panjang lengan kebocoran

Menggambar kurva panjang lengan kebocoran, dari jarak (x_i) yang didapat akan ditarik garis tegak lurus yang memotong lengkungan integral volume agar dapat ditentukan besar lengan kebocoran (l_i). Setelah jarak (x_i) memotong lengkungan integral, ditarik garis lurus horizontal pada ujung atas dan ujung bawah garis (x_i) hingga menyentuh lengkungan integral. Luas area yang didapatkan harus berbanding sama antara luas area bawah dan luas area atas, kemudian diukur jarak (l_i) pada setiap luas area akan digambar kurva panjang lengan kebocoran.

3.3. Menghitung koefisien permeabilitas

Koefisien permeabilitas merupakan batas maksimum suatu kompartemen kebocoran pada masing-masing ruang dalam lambung kapal yang dihitung berdasarkan jumlah volume benda yang tidak tertembus air dan volume ruang.

Tabel 4. Perhitungan koefisien permeabilitas

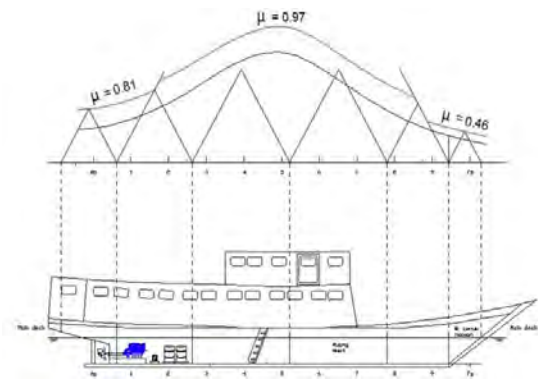
Ruangan	Volume Ruangan (m ³)	Volume Benda (m ³)	Volume Air (m ³)	μ
Mesin	24.37	4.58	19.79	0.81
Muat	92.69	3.22	89.47	0.97
C. Haluan	4.22	2.26	1.96	0.46

Tabel 4. Menunjukkan bahwa kapasitas air bocor yang masuk di dalam ruang mesin sebesar $\mu=0.81$ adalah 81%, pada ruang muat kapasitas air bocor yang masuk sebesar $\mu=0.97$ adalah 97%, sedangkan pada ruang ceruk haluan kapasitas air bocor yang masuk sebesar $\mu=0.46$ adalah 46%. Ini menunjukkan bahwa air bocor yang masuk dengan jumlah besar dalam lambung kapal terdapat pada bagian ruang muat. Selanjutnya menggambar kurva panjang lengan kebocoran melibatkan koefisien permeabilitas yang telah dihitung berdasarkan jumlah total volume benda taktembus air pada masing-masing ruang dalam lambung kapal.

3.4. Menentukan letak SKA melintang

Menentukan letak SKA dimulai dari penentuan letak sekat tubrukan adalah sekat paling depan dalam sebuah kapal, menentukan posisi sekat tubrukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor yang tercantum, antara lain:

1. Posisi SKA berdasarkan kalkulasi panjang lengan kebocoran.
2. Posisi berdasarkan aturan SOLAS, yang menyatakan bahwa sekat tubrukan harus di belakang garis regak lurus (LWL) dengan jarak tidak kurang dari 5% panjang kapal dan jaraknya tidak boleh melebihi 8% dari panjang kapal.
3. Peraturan BKI 2016, Bab 11 Sekat Kedap Air, 11-1/10. yaitu 0.05 – 0.08 L pada ruang ceruk haluan [7].



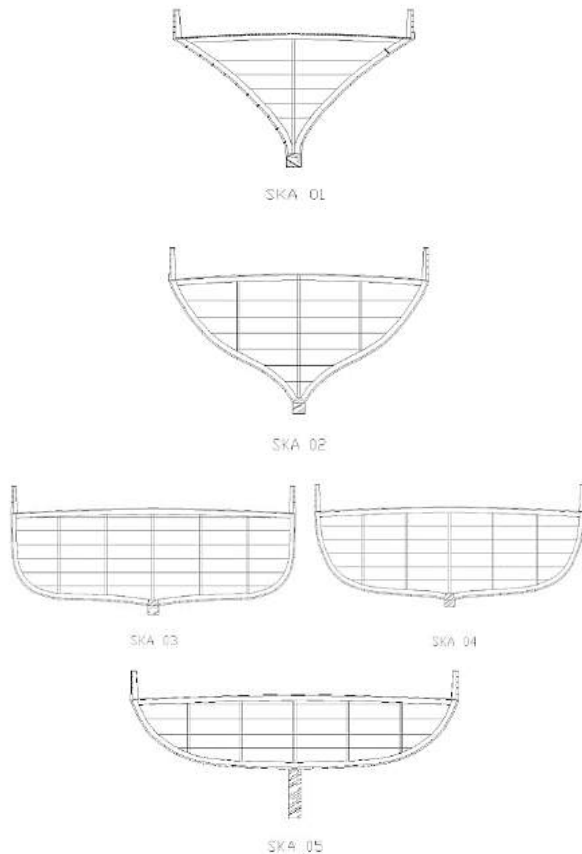
Gambar 3. Panjang isian maksimum (l_{max}) yang dibatasi dengan kurva panjang kebocoran melibatkan koefisien permeabilitas (μ)

Menentukan letak Sekat Kedap Air (SKA) harus berdasarkan perhitungan panjang lengan kebocoran, adapun pertimbangan lain untuk menentukan SKA yaitu konstruksi kapal. SKA bukan hanya sebagai salah satu konstruksi untuk menahan air bocor, akan tetapi juga sebagai penumpu melintang terhadap geladak kapal. Sehingga untuk menentukan letak/kedudukan SKA sedapat-dapatnya mampu menahan air bocor sehingga kapal tetap berada pada permukaan air (Insubmersibilitas) ketika satu atau beberapa kompartemen mengalami kebocoran, dan mampu untuk menahan momen berat pada geladak akibat berat penumpang serta muatan.

Sesuai pertimbangan yang telah dijelaskan maka ditentukan dua SKA pada ruang muat dengan tidak melewati kurva panjang lengan kebocoran yang melibatkan koefisien permeabilitas sebagai batas kebocoran/batas aman. Penentuan letak SKA pada masing-masing ruang menunjukkan bahwa syarat penentuan SKA ($l_i \leq \mu$) terpenuhi.

3.5. Bentuk penampang SKA melintang pada KM. Safira

Dari hasil perhitungan panjang lengan kebocoran, telah ditentukan ada lima SKA yang memenuhi syarat penentuan SKA antara lain sekat tubrukan, sekat ruang muat satu, sekat ruang muat dua, sekat depan kamar mesin, dan sekat belakang kamar mesin.



Gambar 4. (a) Sekat tubrukan (SKA 01);(b) Sekat ruang muat 1 (SKA02); (c) Sekat ruang muat 2 (SKA03); (d) Sekat depan kamar mesin (SKA04); (e) Sekat belakang kamar mesin (SKA05)

4. KESIMPULAN

Hasil akhir yang didapatkan untuk menentukan letak/kedudukan setiap Sekat Kedap Air (SKA) melintang pada KM. Safira agar kapal mempunyai kemampuan untuk tetap bertahan di permukaan air (insubmersibilitas) dengan jarak pada masing-masing (SKA) dihitung dari FP (*Fore Perpendicular*) adalah sebagai berikut :

- SKA 01 = 1.30 m
- SKA 02 = 5.49 m
- SKA 03 = 11.38 m
- SKA 04 = 17.25 m
- SKA 05 = 21.94 m

UCAPAN TERIMA KASIH

Kiranya penelitian ini memberi manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan

dibidang perkapalan tradisional. Ucapan terima kasih disampaikan kepada keluarga tercinta, para guru, Rektor Unpatti, Dekan dan para dosen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti, serta teman-teman semuanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ‘Ada 40 Kecelakaan Kapal Laut di Sultra Sepanjang 2020’, *ZonaSultra*, Dec. 31, 2020. Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://zonasultra.id/ada-40-kecelakaan-kapal-laut-di-sultra-sepanjang-2020.html>
- [2] ‘Tahun 2021 Total 56 Kecelakaan Kapal Terjadi di Sultra : 17 Orang Tewas, Perairan Buton Terbanyak’, *Lajur.Co*, Dec. 30, 2021. Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.lajur.co/tahun-2021-total-56-kecelakaan-kapal-terjadi-di-sultra-17-orang-tewas-perairan-buton-terbanyak/>
- [3] R. H. Siahainenia, ‘Desain Teknologi Anti Tenggelam Pada kapal Rakyat’. Fakultas Teknik Unpatti Ambon, 2018.
- [4] B. Bhattacharya, R. Basu, and S. Srinivasan, ‘A Probabilistic Model of Flooding Loads on Transverse Watertight Bulkheads in the Event of Hull Damage’, *Journal of Ship Research*, vol. 49, no. 01, pp. 12–23, Mar. 2005, doi: 10.5957/jsr.2005.49.1.12.
- [5] I. Senjanović, S. Tomašević, S. Rudan, and T. Senjanović, ‘Role of transverse bulkheads in hull stiffness of large container ships’, *Engineering Structures*, vol. 30, no. 9, pp. 2492–2509, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.engstruct.2008.01.016.
- [6] Semyonov, *Static And Dinamic Of The Ship*. Moscow: Peace Publishers Moscow, 1960.
- [7] Biro Klasifikasi Indonesia, ‘Pedoman Lambung Edisi 2016’. BKI, 2016.

STRATEGI BERSAING KOMUNITAS RUMAH FILM WALANG KREATIF

Aditya Hardianto Muin¹, Ariviana L. Kakerissa², Alfredo Tutuhatonewa³

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233
e-mail: adityamuin0505@gmail.com

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233
e-mail: vianakakerissa71@gmail.com

³Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233
e-mail: alfredo.tutuhatonewa@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk Mengembangkan Strategi Bersaing bagi komunitas Rumah Film Walang Kreatif. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah penyebaran kuesioner dengan jumlah sampel sebanyak 33 dari 50 populasi yang menggunakan rumus slovin. Sementara itu metode analisis yang digunakan adalah analisis SWOT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perhitungan bobot faktor internal Rumah Film Walang Kreatif diperoleh hasil dimana kekuatan utama dari Rumah Film Walang Kreatif adalah memiliki peralatan produksi yang update, variasi Produk yang beragam, dan Kualitas SDM yang dimiliki. Untuk faktor internal kelemahan, didapatkan hasil perhitungan bobot terkecil pada faktor kurangnya promosi dan iklan. Perhitungan nilai rating yang diperoleh dari faktor internal variabel kekuatan yaitu memiliki peralatan produksi yang update, Variasi Produk yang beragam, dan Kualitas SDM yang dimiliki. Ketiga faktor tersebut memiliki nilai rating yang sama, dan disusul oleh Harga Produk. Sementara, untuk faktor internal variabel kelemahan kurangnya promosi dan iklan merupakan faktor dengan nilai rating terkecil yang faktor tersebut merupakan kelemahan utama yang dimiliki oleh Rumah Film Walang Kreatif.

Kata kunci: Analisis, Strategi, Komunitas, Rumah Film Walang Kreatif, SWOT.

***Abstract.** This study aims to develop a competitive strategy for the Rumah Film Walang Kreatif. The data collection method used in this study was distributing questionnaires with a total sample of 33 out of 50 populations using the slovin formula. Meanwhile the analytical method used is SWOT analysis. The results of the study show that the calculation of internal factor weights for the Rumah Film Walang Kreatif results in which the main strengths of the Rumah Film Walang Kreatif are having updated production equipment, a wide variety of products, and human resources quality owned by Rumah Film Walang Kreatif. The internal factor variable Weakness obtained the results of the calculation of the smallest weight on the factor of lack of promotion and advertising. The calculation of the rating value is obtained from the internal factor of the strength variable, namely having updated production equipment, a wide variety of products, and the quality of human resources owned by the Rumah Film Walang Kreatif. These three factors have the same rating value, followed by Product Price. For the internal factor, the Weakness variable, the lack of promotion and advertising is the factor with the smallest rating value, which is the main weakness of the Rumah Film Walang Kreatif.*

Keywords: Analysis, Strategy, Community, Rumah Film Walang Kreatif, SWOT.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan Ekonomi kreatif di Indonesia semakin meningkat dan merupakan salah satu sektor yang diharapkan mampu menjadi kekuatan baru ekonomi nasional yang berkelanjutan dan menekankan pada penambahan nilai barang lewat

daya pikir serta kreatifitas manusia. Ekonomi kreatif menjadi katalisator bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia ditengah perlambatan pertumbuhan ekonomi global. Subsektor-subsektor ekonomi kreatif di Maluku sangat berkembang pesat, selain Musik, Kuliner, dan Seni Pertunjukan, salah satunya

adalah subsektor Fotografi, yang merupakan bagian dari subsektor film, video, dan fotografi yang kemudian didetailkan menjadi subsektor yang memiliki ekosistem yang relatif berbeda dengan film dan video tetapi memiliki keterkaitan yang erat.

Salah satu jasa Fotografi dan Videografi “Rumah Film Walang Kreatif” yang berada di daerah Kota Ambon menyediakan jasa yang cukup sistematis untuk pengguna jasa dimulai dari perancangan konsep, penjadwalan, hingga pengusulan anggaran. Jasa yang ditawarkan oleh Rumah Film Walang Kreatif cukup beragam yaitu Dokumentasi Prewedd dan Wedding, Video Profil Perusahaan, Video Animasi, dan Desain Grafis. Target yang diambil oleh Rumah Film Walang Kreatif adalah perkantoran dan orang dewasa rentan umur 20-25 tahun. Dilihat dari pasar yang dimiliki tentunya Rumah Film Walang Kreatif memiliki pesaing atau kompetitor dibidangnya yang ada menimbulkan persaingan yang tajam. Persaingan ini memaksa Rumah Film Walang Kreatif untuk lebih memperhatikan strategi bersaing seperti apa dan bagaimana yang harus diterapkan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Strategi Bersaing bagi komunitas Rumah Film Walang Kreatif.

Menurut [1] strategi mempengaruhi kemakmuran perusahaan atau organisasi dalam jangka panjang dan berorientasi masa depan. Strategi memiliki konsekuensi yang multifungsi dan multidimensi serta perlu mempertimbangkan faktor-faktor eksternal dan internal yang dihadapi perusahaan atau organisasi. Perencanaan strategi merupakan proses mengembangkan strategi dengan elemen utama memusatkan diri pada penyesuaian antara sumber-sumber organisasi dengan kesempatan dan resiko dari lingkungan eksternal perusahaan, disusun oleh manager puncak, mempunyai kerangka waktu yang panjang atau lama, diungkapkan dalam istilah-istilah yang relatif umum [2]. Implementasi strategi adalah proses mengubah rencana strategis menjadi tindakan. Merupakan proses dimana manajemen mewujudkan strategi dan kebijakannya dalam tindakan melalui pengembangan program, anggaran dan prosedur [3]. Mengeksekusi rencana pemasaran baru untuk meningkatkan penjualan atau mengenalkan perangkat lunak manajemen kerja baru guna meningkatkan efisiensi, rencana sama pentingnya dengan implementasi.

Tujuan perusahaan adalah untuk memenuhi harapan konsumen yang lebih baik dibandingkan pesaingnya. Menurut [4], perusahaan dengan pelayanan jasa yang berada dibawah harapan konsumen jelas mengalami kerugian bersaing, di mana konsumen akan beralih dan mencari alternatif

lain. Apabila perusahaan ingin mendapatkan sebuah keunggulan bersaing, maka perusahaan harus berada di atas harapan konsumen. Terdapat tiga strategi yang bisa diterapkan dalam memenangkan persaingan, pertama dengan menciptakan suatu Operational Excellence yaitu beroperasi secara efisien sehingga dihasilkan produk dengan standard kualitas yang baik dan diproduksi dengan biaya yang optimal sehingga bisa diterapkan harga yang bersaing [4].

Analisis SWOT adalah analisa yang didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan (Strength) dan peluang (Opportunity), namun secara bersamaan dapat meminimalkan kelemahan (Weakness) dan ancaman (Threats) [5]. Analisis SWOT menilai antara faktor luar perusahaan (peluang dan ancaman) dengan faktor dalam perusahaan (kekuatan dan kelemahan). Faktor dalam perusahaan termasuk kedalam matrik yang disebut matrik faktor strategi internal atau IFAS (Internal Strategic Factor Analysis Summary) sedangkan faktor dari luar perusahaan termasuk kedalam matrik yang disebut matrik faktor strategi eksternal atau EFAS (Eksternal Strategic Factor Analysis Summary). Menurut [6] matriks IFAS (Internal Factor Analysis Summary) adalah alat perumusan strategi yang digunakan untuk meringkas dan mengevaluasi kekuatan dan kelemahan utama dalam area area fungsional bisnis, dan juga menjadi landasan untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi hubungan diantara area tersebut, penilaian intuitif digunakan dalam pengembangan matriks evaluasi faktor internal, sehingga tampilan ilmiahnya tidak boleh ditafsirkan sebagai bukti bahwa teknik ini benar benar tanpa celah. Selain itu, matriks EFAS (External Factor Analysis Summary), memungkinkan para penyusun strategi untuk meringkas dan mengevaluasi informasi ekonomi sosial, budaya, demografi, lingkungan, politik, pemerintah, hukum, teknologi, dan persaingan [6].

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan Komunitas Rumah Film Walang Kreatif yang terletak di Jl. Baru Masawoy, Desa Batumerah, Kec. Sirimau, Kota Ambon, Maluku. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Desember 2022 sampai April 2023.

2.2. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah jenis penelitian yang digunakan adalah deskriptif, dengan menggunakan pendekatan

kualitatif. Sementara itu metode analisis yang digunakan adalah analisis SWOT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengolahan Data

Hasil dari wawancara dengan ketua Rumah Film Walang Kreatif didapatkan kekuatan dan kelemahan yang dimiliki serta peluang dan ancaman yang mungkin akan dihadapi.

Variabel SWOT Rumah Film Walang Kreatif sebagai berikut:

1. Kekuatan (Strength)
 - a) Memiliki Alat Produksi Yang Update
 - b) Kualitas Produk Yang Dapat Bersaing Dengan Competitor
 - c) Variasi Produk Yang Beragam
 - d) Kualitas Sdm
 - e) Harga Produk Yang Terjangkau
2. Kelemahan (Weakness)
 - a) Kurangnya Promosi dan Iklan
 - b) Jumlah tenaga kerja yang kurang
 - c) Belum memiliki keunikan produk
 - d) Kegiatan produksi pasif
 - e) Lokasi usaha yang kurang strategis
3. Peluang (Opportunity)
 - a) Meningkatnya pengguna media social
 - b) Persaingan Harga
 - c) Loyalitas pelanggan
 - d) Peningkatan pernikahan
4. Ancaman (Threats)
 - a) Perubahan selera konsumen
 - b) Perkembangan teknologi
 - c) Persaingan baru masuk
 - d) Hak cipta
 - e) Produk pesaing yang lebih variatif

Setelah dilakukan pengumpulan data pada Rumah Film Walang Kreatif diperoleh hasil untuk digambarkan dalam matriks SWOT yang mana diperlukan factor internal yaitu *Strength* (S) dan *Weakness* (W) serta factor eksternal *Opportunity* (O) dan *Threats* (T).

A. Internal Factor Analysis Summary (IFAS)

Perhitungan skor pada IFAS (*Internal Factor Analysis Summary*) dihasilkan dari perkalian antara nilai bobot dengan nilai Rating. Hasil perhitungan skor IFAS ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan IFAS

Faktor-faktor Strategi Internal	Bobot Item	Rating	Skor
<i>Strength</i> (Kekuatan)			
1 Memiliki alat produksi yang <i>update</i>	0,1022	3,48	0,355
2 Kualitas produk yang dapat bersaing dengan kompetitor	0,0969	3,30	0,319
3 Variasi produk yang beragam	0,1022	3,48	0,355
4 Kualitas SDM	0,1022	3,48	0,355
5 Harga produk yang terjangkau	0,0987	3,36	0,331
Jumlah			1,715
<i>Weakness</i> (Kelemahan)			
1 Kurangnya Promosi dan Iklan	0,0942	3,21	0,302
2 Jumlah SDM yang kurang	0,0986	3,36	0,331
3 Belum memiliki keunikan produk	0,1004	3,42	0,343
4 Kegiatan produksi pasif	0,1022	3,48	0,355
5 Lokasi usaha yang kurang strategis	0,1022	3,48	0,355
Jumlah			1,686
Total			3,401

B. Eksternal Factor Analysis Summary (EFAS)

Perhitungan skor pada EFAS (*Eksternal Factor Analysis Summary*) dihasilkan dari perkalian antara nilai bobot dengan nilai Rating. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Perhitungan EFAS

Faktor-faktor Strategi eksternal	Bobot Item	Rating	Skor
<i>Opportunity</i> (Peluang)			
1 Meningkatnya pengguna media social	0,1331	2,55	0,339
2 Loyalitas pelanggan	0,1506	2,88	0,443
3 Peningkatan jumlah pernikahan	0,1490	2,85	0,424
4 Persaingan Harga	0,1395	2,67	0,372
Jumlah			1,578
<i>Threats</i> (Ancaman)			
1 Perubahan Selera Konsumen	0,0792	1,52	0,120
2 Kualitas Produk Kompetitor	0,0872	1,67	0,145
3 Persaingan Baru Masuk	0,0824	1,58	0,130
4 Perkembangan teknologi	0,0729	1,39	0,101
5 Produk Pesaing yang lebih Variatif	0,1062	2,03	0,215
Jumlah			0,711
Total			2,289

C. Matriks SWOT

Hasil dari analisis matriks SWOT dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Matriks SWOT

Faktor Eksternal	Faktor Internal	Kekuatan – Strength (S) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Memiliki alat produksi yang update ♦ Kualitas produk yang dapat bersaing dengan kompetitor ♦ Variasi produk yang beragam ♦ Kualitas SDM ♦ Harga produk yang terjangkau 	Kelemahan – Weakness (W) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Kurangnya Promosi dan Iklan ♦ Jumlah SDM yang kurang ♦ Belum memiliki keunikan produk ♦ Kegiatan produksi pasif ♦ Lokasi usaha yang kurang strategis
Peluang – Opportunity (O) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Meningkatnya pengguna media sosial ♦ Loyalitas pelanggan ♦ Peningkatan jumlah pernikahan ♦ Persaingan Harga 	Strategi SO <ul style="list-style-type: none"> ♦ Meningkatkan kualitas SDM untuk mempertahankan loyalitas pelanggan ♦ Menambah variasi produk untuk menarik pelanggan dari media sosial 	Strategi WO <ul style="list-style-type: none"> ♦ Meningkatkan promosi dengan memanfaatkan peningkatan pengguna media sosial ♦ Menambah tenaga kerja untuk pelayanan yang lebih baik 	
Ancaman – Threats (T) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Perubahan Selera Konsumen ♦ Kualitas Produk Kompetitor ♦ Persaingan Baru Masuk ♦ Perkembangan teknologi ♦ Produk Pesaing yang lebih Variatif 	Strategi ST <ul style="list-style-type: none"> ♦ Melakukan promosi harga dari setiap produk jasa yang ditawarkan ♦ Mengembangkan produk jasa yang telah dimiliki ♦ Memanfaatkan teknologi dan peralatan yang dimiliki untuk bersaing 	Strategi WT <ul style="list-style-type: none"> ♦ Membuka cabang di daerah yang dekat dengan <i>market share</i> yang dimiliki ♦ Aktif melakukan promosi produk di media sosial ♦ Meningkatkan kualitas SDM yang dimiliki 	

3.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil skor (nilai tertimbang) pada evaluasi faktor internal dan faktor eksternal, maka koordinat posisi Rumah Film Walang Kreatif adalah terletak pada titik 3,401 (Faktor internal) dan pada titik 2,289 (Faktor eksternal). Berdasarkan pada Diagram SWOT yang diperoleh, Strategi yang harus diterapkan oleh Rumah Film Walang Kreatif adalah mendukung kebijakan pertumbuhan yang agresif (*Growth oriented strategy*). Pertumbuhan yang agresif dilakukan dengan cara mempertahankan market share yang sudah ada dan berusaha untuk mengembangkan market share dengan cara ekspansi usaha dan daerah pemasaran. Rumah Film Walang Kreatif juga harus mempertahankan dan meningkatkan kualitas jasa yang sudah dibangun.

a. Strategi S-O

Strategi ini menggunakan kekuatan untuk memanfaatkan Peluang yang dimiliki. Strategi pertama yang dilakukan adalah meningkatkan kualitas SDM yang dimiliki untuk dapat mempertahankan pelanggan. dengan menggunakan salah satu dari faktor kekuatan utama yang dimiliki yaitu Kualitas SDM harus lebih diperhatikan dan ditingkatkan agar kualitas dari jasa yang ditawarkan tetap terjaga sehingga dapat mempertahankan loyalitas pelanggan, oleh karena itu strategi ini sangat baik untuk diterapkan.

Strategi berikutnya adalah menambah variasi produk untuk menarik pelanggan dari media social. setiap konsumen pasti akan bosan dengan variasi produk yang tidak dilakukan pembaruan maka Rumah Film Walang Kreatif harus menambah variasi produk dan meningkatkan produk jasa yang sudah ada.

b. Strategi W-O

Strategi ini meminimalkan kelemahan untuk memanfaatkan peluang. Strategi pertama yang dapat diterapkan yaitu meningkatkan promosi dengan memanfaatkan peningkatan pengguna media social. dengan memanfaatkan kemajuan teknologi yang ada, para pelanggan seringkali lebih menghabiskan waktu di dunia maya, oleh karena itu langkah promosi yang tepat adalah membuat iklan dan dipublikasikan ke media sosial.

c. Strategi S-T

Strategi ini menggunakan kekuatan untuk mengatasi ancaman-ancaman. Strategi pertama yang diterapkan adalah membuat promo harga dari setiap produk jasa yang ditawarkan, dengan kualitas produk pelanggan yang dinilai dapat menjadi ancaman bisa diatasi dengan persaingan harga produk jasa, hal ini dapat dilakukan Rumah Film Walang Kreatif agar bisa tetap bertahan.

Strategi kedua yang diterapkan adalah mengembangkan produk jasa yang dimiliki,

strategi ini menggunakan faktor kekuatan variasi produk yang beragam untuk mengatasi perubahan selera konsumen, karena konsumen pasti akan tertarik dengan sesuatu yang unik atau sesuatu yang baru.

Strategi ketiga yang diterapkan adalah memanfaatkan teknologi dan peralatan yang dimiliki untuk bersaing. Rumah Film Walang Kreatif yang sudah bergerak di industry kreatif selama lebih dari enam tahun tentunya sudah memiliki berbagai peralatan yang sering digunakan untuk produksi. dan dengan hadirnya para pesaing tentu saja Rumah Film Walang Kreatif tidak akan mudah untuk mencapai kesuksesan, oleh karena itu untuk meminimalisir ancaman yang datang dari para pesaing, hal yang dapat dilakukan oleh Rumah Film Walang Kreatif memaksimalkan SDM untuk operator peralatan yang dimiliki.

d. Strategi W-T

Strategi ini meminimalkan kelemahan dan menghindari ancaman. Strategi pertama yang diterapkan adalah membuka cabang didaerah yang dekat dengan market share. Dengan membuka cabang baru yang dekat dengan konsumen tentunya dapat memudahkan konsumen untuk mengakses ke lokasi usaha yang dimiliki Rumah Film Walang Kreatif. Hal ini dapat meminimalkan kelemahan yang dimiliki seperti lokasi usaha yang kurang strategis.

Strategi kedua yang diterapkan adalah aktif melakukan promosi dimedia sosial. Strategi ini dapat meminimalkan kelemahan lokasi usaha yang kurang strategis dan hilangnya pelanggan oleh pesaing baru.

Dan strategi selanjutnya yang diterapkan adalah meningkatkan kualitas SDM yang dimiliki, tentunya dengan SDM yang unggul dapat menghasilkan hasil yang baik pula, oleh sebab itu strategi ini dapat meminimalisir kurangnya SDM yang dimiliki dan mencegah ancaman kualitas produk pesaing.

Berdasarkan hasil analisis SWOT di atas, maka pelaku usaha yang memiliki kekuatan dapat digunakan pada strategi tertentudengan memanfaatkan peluang yang ada dan secara bersamaan meminimalkan kelemahan serta menghindari ancaman yang datang [7]

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Strategi Bersaing yang dapat diterapkan oleh Rumah Film Walang Kreatif berdasarkan

matriks SWOT yaitu, meningkatkan kualitas SDM yang dimiliki, menambah variasi produk jasa yang ditawarkan, melakukan promosi yang lebih gencar, menambah tenaga kerja, mengembangkan produk jasa yang sudah dimiliki, kemudian membuka cabang ke lokasi yang mudah diakses oleh konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Saprijal, ‘Strategi Pemasaran Dalam Meningkatkan Volume Penjualan (Studi Pada S-mart Swalayan Pasir Pengaraian)’, *Cano Ekonomos*, vol. 3, no. 1, pp. 41–56, 2014.
- [2] E. C. Rismiyati and B. Suratno, *Pemasaran barang dan jasa*. Yogyakarta: Kanisius, 2001. Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=281237>
- [3] T. L. Wheelen, J. D. Hunger, A. N. Hoffman, and C. Bamford, *Concepts in Strategic Management and Business Policy*, 14th edition. Boston: Pearson, 2014.
- [4] A. Wilcox King and C. P. Zeithaml, ‘Measuring organizational knowledge: a conceptual and methodological framework’, *Strategic Management Journal*, vol. 24, no. 8, pp. 763–772, Aug. 2003, doi: 10.1002/smj.333.
- [5] F. Rangkuti, *Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2009.
- [6] R. A. de FRETES, P. B. Santoso, R. Soenoko, and M. Astuti, ‘Strategi Perencanaan dan Pengembangan Industri Pariwisata dengan Menggunakan Metode SWOT dan QSPM (Studi Kasus Kecamatan Leitimur Selatan Kota Ambon)’, *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 109–118, 2013.
- [7] A. L. Kakerissa, H. D. Hahury, and F. H. Louhenapessy, ‘STRATEGI PENGEMBANGAN USAHA RUMAHTANGGA BERBASIS SUMBER DAYA LOKAL PERKEBUNAN DI DAERAH KEPULAUAN’, *ALE Proceeding*, vol. 5, pp. 59–68, Oct. 2022, doi: 10.30598/ale.5.2022.59-68.

ANALISIS TARIF PELAYARAN KAPAL RAKYAT RUTE PULAU KAPOTA - PULAU WANGI-WANGI DI KABUPATEN WAKATOBI PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Syarifangi Wabi¹, L.M Kelwulan² dan, R. P Soumokil³

¹Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: yamuwang725@gmail.com

²Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : kelwulanludwig@gmail.com

³Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : ut.soumokil@gmail.com

Abstrak. Perubahan tarif pelayaran kapal rakyat terjadi tahun 2019 disebabkan kenaikan BBM pada Kabupaten Wakatobi sehingga kondisi tersebut sangat mempengaruhi ATP (Ability to pay) dan WTP (Willigness to pay) pengguna kapal rakyat. Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui Tarif ideal pelayaran kapal rakyat rute pulau Kapota – pulau Wangi-wangi. Hasil yang didapatkan bahwa 41 atau 82% dari 50 responden setuju dengan tarif Rp.10000 yang diterapkan oleh operator kapal tetapi penulis juga menganalisis bahwa dengan tarif Rp.8000 operator kapal tetap mendapatkan keuntungan selain itu pengguna kapal rakyat tidak merasa terbebani.

Kata kunci: Analisis Tarif, Kapal Rakyat, Wakatobi.

Abstract. Changes in people's boat shipping rates occurred in 2019 due to the increase in fuel in Wakatobi Regency so that this condition greatly affected the ATP (Ability to pay) and WTP (Willigness to pay) of people's boat users. Based on these problems, research needs to be carried out to find out the ideal tariff for public boat shipping on the Kapota Island – Wangi-wangi Island route. The results obtained were that 41 or 82% of the 50 respondents agreed with the tariff of Rp.10000 which is applied by ship operators but the author also analyzes that at a rate of Rp.8000 ship operators still benefit, apart from that, people's ship users do not feel burdened..

Keywords: Cost Analysis, people's ship, Wakatobi.

1. PENDAHULUAN

Biaya pelayaran rakyat pulau Kapota – pulau Wangi-wangi sebelumnya diterapkan dengan harga Rp.5000 untuk umum dan Rp.3.000 untuk pelajar dan mahasiswa. Tetapi tarif tersebut mengalami perubahan pada tahun 2019 karena adanya kenaikan BBM pada kabupaten Wakatobi sehingga tarif yang diberlakukan sebesar Rp. 10.000 untuk umum dan pelajar/mahasiswa. Perubahan tarif tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan biaya operasional dan keuntungan para operator sehingga di lakukannya musyawarah bersama operator kapal rakyat. Dari hasil musyawarah tersebut di tetapkan tarif Rp.10.000 dan dilaporkan langsung ke Dishub Kabupaten Wakatobi dan disetujui langsung oleh Dishub Kabupaten Wakatobi.[1]



Gambar 1. Deskripsi peta pulau Wangi-wangi dan pulau Kapota.

Pulau Kapota adalah pulau yang terletak di sebelah barat pulau Wangiwangi (lihat Gambar 1) yang merupakan kawasan/sentra potensial pemasok

beragam hasil pertanian dan hasil tangkapan laut ke Pulau Wangi-wangi.[2] Tarif yang di berlakukan untuk pelayaran pulau Kapota – pulau Wangi-wangi sangat bervariasi dan sering mengalami perubahan. Tarif dikelompokkan mulai dari biaya perorangan, biaya barang angkutan seperti (beras, motor, maupun alat elektronik lainnya) dikarenakan pada pulau tersebut belum tersedianya armada kapal ferry [3]. Berdasarkan uraian latar belakang maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini berapa besar biaya yang di pakai atau di keluarkan dengan rute pelayaran pulau Kapota – pulau Wangi-wangi. Adapun tujuan untuk mengetahui tarif ideal pelayaran kapal rakyat rute pulau Kapota – pulau Wangi-wangi adalah untuk mengetahui tarif ideal pelayaran kapal rakyat rute pulau Kapota – pulau Wangi-wangi dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi pemerintah Wakatobi dalam melakukan usaha transportasi laut selain itu dapat menjadi referensi/arahan bagi stake holder Lokal maupun Non lokal khususnya di Kabupaten Wakatobi [4].

2. BAHAN DAN METODE

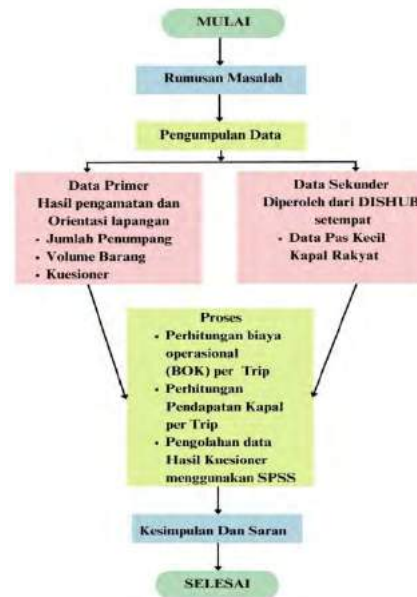
Jenis penelitian ini menggunakan tipe penelitian kuantitatif yang di lakukan dengan observasi, studi lapangan, pengisian kuesioner.[5] variabel yang di gunakan Variabel terikat (Y) yaitu tarif dan Variabel bebas (x1-x2) yaitu pendapatan dikurang pengeluaran dimana :

$$Y = f(x1-x2) \tag{1}$$

Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yang diawali dengan survey pendahuluan, perumusan masalah selanjutnya kesimpulan dan saran secara grafis tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 Tentang diagram alir penelitian.[6]

Berdasarkan diagram alir yang telah dibuat di atas, maka tahapan penelitan dimulai dari Rumusan masalah atau mengidentifikasi masalah yang terjadi pada lokasi penelitian yang dilanjutkan dengan teknik pengumpulan data. Dilihat dari teknik pengumpulan data dilakukan secara terpisah untuk data primer dan data sekunder. Untuk data primer pengumpulan data dilakukan berkaitan dengan data: Data jumlah penumpang Data Jenis barang Pengumpulan data menggunakan Kuesioner. Data-data tersebut dikumpulkan dengan menggunakan metode pengamatan dan observasi lapangan. Sedangkan data sekunder di peroleh dari Dishub setempat.[7] proses selanjutnya dilakukan Analisis data yaitu proses pengolahan data dengan tujuan untuk menemukan informasi yang dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan untuk solusi dari suatu permasalahan. Dari permasalahan atas maka

metode yang dipakai pada penelitian ini yaitu metode Multi kriteria analisis (MCA).[8]



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Operasional Kapal Rakyat.

Hasil pengumpulan data menunjukkan bahwa antara tanggal 15 sampai dengan 25 Desember 2022, produksi penumpang menurun. Produksi penumpang kembali bertambah ketika hari sabtu/minggu dikarenakan adanya perjalanan dari penduduk pulau Wangi-wangi ke pulau Kapota untuk berwisata. Berikut adalah rekapitulasi dari 14 kapal Rakyat yang berlayar dengan Trayek pulau Kapota – pulau Wangi-wangi dari tanggal 24 November – 25 Desember 2022.

Tabel 1. Rekapitulasi pengumpulan data

No.	Daftar Kapal	Hari operasi	Jumlah Trip	Jumlah Penumpang (orang)		Total Jumlah Penumpang	Tarif (Rp)	Pendapatan (Rp)	Pengeluaran (Rp)	Keuntungan Kotor
				Dari Kapota	Ke Kapota					
1	KM. Resky Akmal	6	19	148	147	295	10.000	2.950.000	1.024.000	1.926.000
2	KM. Nada	6	21	157	149	306	10.000	3.060.000	978.000	2.082.000
3	KM. Nurjannah	6	18	145	149	294	10.000	2.940.000	944.000	1.996.000
4	KM. Yani Jaya	5	18	152	156	308	10.000	3.080.000	818.000	2.262.000
5	KM. Suriadin	5	13	154	150	304	10.000	3.040.000	818.000	2.222.000
6	KM. Yusta Saputra	5	21	178	176	354	10.000	3.540.000	1.564.000	1.976.000
7	KM. Ceria	5	12	113	92	205	10.000	2.050.000	772.000	1.278.000
8	KM. Esterline II	5	13	81	109	184	10.000	1.840.000	542.000	1.298.000
9	KM. Srihana	5	12	94	89	177	10.000	1.770.000	772.000	998.000
10	KM. Rajana 1	5	11	78	81	159	10.000	1.590.000	752.000	788.000
11	KM. Berekah Indah	5	17	124	125	249	10.000	2.490.000	900.000	1.590.000
12	KM. Raska	5	17	145	144	289	10.000	2.890.000	1.002.000	1.888.000
13	KM. Kapindo Star	5	16	122	121	243	10.000	2.430.000	896.000	1.534.000
14	KM. Jiran	5	13	213	204	417	10.000	4.170.000	1.692.000	2.478.000

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa pengeluaran terbesar terjadi pada kapal rakyat KM. Jiran 01 dengan total pengeluaran sebanyak Rp. 1.692.000 sedangkan jumlah keuntungan kotor terbesar terjadi pada kapal Jiran 01 dengan total keuntungan kotor sebesar Rp. 2.478.000.

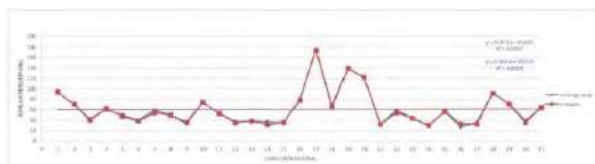
Tabel 2. Hasil Analisis

No.	Nama Kapal	Hasil Analisis	Pendapatan
1	KM REZKY AKMAL	8000	1.336.000
2	KM NADA	8000	1.470.000
3	KM NURJANAH	8000	1.408.000
4	KM YANI JAYA	8000	1.516.000
5	KM SURIADIN	8000	1.614.000
6	KM YUDA SAPUTRA	8000	1.268.000
7	KM CERIA	8000	868.000
8	KM ESTERLINE II	8000	930.000
9	KM SRILANA	8000	644.000
10	KM RAJANA I	8000	248.000
11	KM BAROKAH INDAH	8000	1.092.000
12	KM RAZKA	8000	1.310.000
13	KM KAPINDO STAR	8000	964.000
14	KM JIRAN 01	8000	1.644.000

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa pendapatan terbesar terjadi pada kapal rakyat KM. Jiran 01 dengan total pendapatan sebanyak Rp. 1.644.000 dengan menggunakan biaya pelayaran Rp. 8.000.

3.2. Hubungan antara Variabel Penelitian

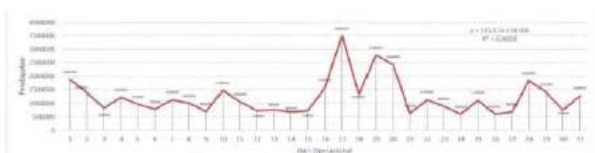
A. Hubungan antara Jumlah Penumpang – Hari operasi



Gambar 3.15. Grafik hubungan antara jumlah penumpang – hari operasional.

Pada Gambar 2. yang telah disajikan dapat dilihat bahwa pendapatan operator kapal mengalami peningkatan pesat pada hari ke 17, 19 dan hari ke 20 penelitian/pengamatan. Pendapatan operator kapal meningkat pesat akibat adanya kegiatan gladi dan peringatan hari nusantara ke-40 tahun (HARNUS 40th) yang diselenggarakan di Marina Togo Mowondu, Kecamatan Wangi-wangi sehingga terjadinya peningkatan pendapatan operator kapal.

B. Hubungan antara Pendapatan – Hari operasi

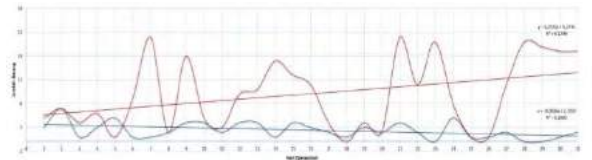


Gambar 3. Grafik hubungan antara pendapatan – hari operasi

Pada gambar 3, dapat dilihat bahwa pendapatan operator kapal mengalami peningkatan pesat pada hari ke 17, 19 dan hari ke 20 penelitian/pengamatan. Pendapatan operator kapal meningkat pesat akibat adanya kegiatan gladi dan peringatan hari nusantara

ke-40 tahun (HARNUS 40th) yang diselenggarakan di Marina Togo Mowondu, Kecamatan Wangi-wangi sehingga terjadinya peningkatan pendapatan operator kapal.

C. Hubungan antara Arus barang/muatan – Hari operasi.



Gambar 4. Grafik hubungan antara arus barang/muatan – hari operasional

Pada gambar 4, dapat dilihat bahwa pendapatan Operator kapal mengalami peningkatan pesat pada hari ke 17, 19 dan hari ke 20 penelitian/pengamatan. Pendapatan operator kapal meningkat pesat akibat adanya kegiatan gladi dan peringatan hari nusantara ke-40 tahun (HARNUS 40th) yang diselenggarakan di Marina Togo Mowondu, Kecamatan Wangi-wangi sehingga terjadinya peningkatan pendapatan operator kapal.

D. Pengukuran ATP (Ability to pay) dan WTP (Willigness to pay)



Gambar 5. Tanggapan responden mengenai Item Pertanyaan “tarif kapal rakyat menurut anda?”

Pada gambar 3.18. diatas dapat diketahui bahwa tanggapan responden Sebagian besar responden menjawab bahwa tarif pelayaran kapal rakyat yang diberlakukan masih standar dapat dilihat bahwa 41 responden mengatakan bahwa tarif yang diberlakukan standar dan murah.

3.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis biaya operasional 14 kapal rakyat dan tarif yang diberlakukan. Hasil yang didapat sebesar Rp.8.000. Dengan tarif yang telah dianalisis pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa kapal rakyat tersebut tidak mengalami kerugian.

Dari hasil kuesuiner dengan 50 sampel yang telah disebarakan di pelabuhan kapal rakyat desa Kapota. Dalam penelitian ini Teknik sampling yang digunakan yaitu nonprobability sampling dengan teknik purposive sampling. Untuk mengetahui tarif ideal pada pelayaran rakyat rute pulau Kapota – pulau Wangi-wangi dikabupaten Wakatobi provinsi Sulawesi Tenggara terhadap biaya yang dikeluarkan pengguna transportasi laut dengan menggunakan kapal rakyat maka dilakukan dengan menggunakan kuesioner. Aspek penilaian yang berada di kuesioner adalah mengenai penghasilan responden, frekuensi perjalanan, tujuan perjalanan, alokasi biaya transportasi dan tarif kapal rakyat menurut responden. Dari penghasilan responden penghasilan terbesar Rp. 1.000.000 dengan total 24 responden atau 48,0% dari total 50 responden dengan frekuensi perjalanan setiap hari dengan total 18 responden atau 36,0% dari 50 responden dengan tujuan untuk bersekolah atau rekreasi/berwisata dengan total 39 orang atau 78,0% dari 50 responden sehingga alokasi biaya yang dikeluarkan Rp. 500.000/bulan dengan total 22 responden atau 44.0% dari 50 responden hasil yang di dapat jika 41 responden atau 82,0% setuju dengan tarif yang diberlakukan oleh operator kapal sedangkan 9 responden atau 18,0% tidak setuju dengan tarif yang ditetapkan oleh operator kapal karna menurut responden tarif tersebut terlalu mahal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi lapangan dengan menggunakan kuesioner dan pengamatan secara langsung dengan dibagikan kepada 50 responden pada pelabuhan penyebrangan rakyat pulau Kapota 82,0% atau 41 responden sangat setuju dengan tarif yang diberlakukan oleh operator kapal. Tetapi peneliti juga menganalisis tarif yang diberlakukan pada setiap kapal dengan mempertimbangkan ukuran pokok kapal tersebut dimana hasil yang didapatkan oleh peneliti jika dengan tarif Rp. 8.000 kapal rakyat tersebut tetap mengalami keuntungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pemerintah daerah dan Masyarakat Kabupaten Wakatobi terkhususnya untuk pulau Wangi-wangi dan pulau Kapota yang sudah bersedia menerima penulis dalam melakukan penelitian selama 1 bulan pada pulau tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benford, H. 1998. *Fundamentals of Ship Design Economics*, Ann. Arbor. Michigan.

- [2] Jinca, M.J. 2002. *Transportasi Laut Kapal Layar Motor Pinisi, Teknologi Dan Manajemen Industri Pelayaran Rakyat*. Lembaga Penerbitan Universitas Hassanudin Makassar.
- [3] Jusuf, J. 1998. *Analisis Kredit untuk Account officer*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [4] Morlok, E.K. 1978. *Pengantar Teknik dan Perencanaan transportasi*. Terjemahan oleh Johan Kalanaputra Hainim. 1984. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [5] Muslihati, 2011. *Formulasi Tarif Angkutan Penyebrangan Perintis*. Makassar.
- [6] Pemerintah Indonesia, 2008. Undang-Undang (UU) Nomor 17 Tahun 2008 Tentang *Pelayaran*. Jakarta
- [7] Permen, 2010. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2010 Tentang *Angkutan Di Perairan*. Jakarta.
- [8] Poehls, H. 1979. *Ship Design and Ship Theory*. University of Hannover.

STUDI REGIM ALIRAN FLUIDA DAN PENENTUAN HEAD LOSS AKIBAT GESEKAN PADA INSTALASI PERPIPAAN

Edwina J. Rumaherang¹, W. M. E. Wattimena², Sesilia M. Rawulun³, Excelsis Noya⁴

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : edwinarumaherang@gmail.com

²Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : willem.wattimena@fatek.unpatti.ac.id

³Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : rawulun12@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : excelsis.noya@gmail.com

Abstrak. Instalasi perpipaan dalam industri merupakan sistem keteknikan memegang peranan penting yang berfungsi untuk mengalirkan air, minyak dan gas dari satu titik ke titik lain melalui semua komponen yang tercakup didalamnya. Sistem perpipaan terdiri dari pipa lurus, sambungan-sambungan, belokan katup-katup dan peralatan-peralatan instrumentasi yang harus bekerja secara optimal. Regim aliran fluida di dalam berbagai komponen perpipaan memberikan pengaruh terhadap aliran teristimewa pada dua parameter penting yaitu koefisien gesek dan kehilangan head. Tujuan penelitian ini adalah memantau sifat pergerakan fluida dalam rezim laminar dan turbulen dan menentukan nilai head loss sebagai fungsi debit dalam rezim laminar dan turbulen. Penelitian dilakukan pada pipa lurus berdiameter 4 inci dengan panjang total 10 meter, diameter 4 inci dengan satu belokan 90o. Penentuan hubungan kerugian head terhadap debit dilakukan melalui simulasi hidrodinamika, dimana kecepatan aliran divariasikan dari 0,02 - 0,1 m/s, sesuai dengan debit $Q = 10-52$ liter/menit. Variasi kecepatan ini melewati regim aliran laminar dan turbulen yang diukur pada 4 penampang pada pipa lurus dan elbow. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa profil aliran pada setiap penampang berbeda-beda untuk nilai debit Q yang sama. Pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q , karakter nilai kerugian head meningkat dengan meningkatnya debit aliran Q dengan nilai berbeda pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip. Kondisi laminar terjadi pada $Q < 34$ lit/menit dengan kerugian head $h_{dl} < 0,74 \times 10^{-3}$ m, transisi terjadi pada $Q = 34-36$ lit/menit, dengan $h_{dl} = (0,74 - 0,68) \times 10^{-3}$ m dan turbulen sepenuhnya pada $Q > 36$ lit/menit dengan $h_{dl} > 0,74 \times 10^{-3}$ m. Hal ini menunjukkan bahwa pada elbow atau belokan, aliran akan menjadi turbulen walaupun pada kecepatan yang rendah..

Kata kunci: Pipa lurus, elbow, regim aliran, koefisien gesek, kerugian head.

Abstract. Piping installation in industry is an engineering system that plays an important role in the flow of water, oil, and gas from one point to another through all the components included in it. The piping system consists of straight pipes, joints, valve bends, and instrumentation equipment that must work optimally. The fluid flow regime in various piping components influences the flow in particular on two important parameters, namely the friction coefficient and head loss. The purpose of this study is to monitor the nature of fluid movement in the laminar and turbulent regimes and determine the value of head loss as a function of discharge in the laminar and turbulent regimes. The research was conducted on a straight pipe with a diameter of 4 inches and a total length of 10 meters, with a diameter of 4 inches and one 90-degree bend. The determination of the relationship between head loss and discharge is carried out through hydrodynamic simulations, where the flow velocity is varied from 0.02 to 0.1 m/s according to the discharge Q of 10–52 liters/minute. These velocity variations through a laminar and turbulent flow regime are measured at four sections on a straight pipe and an elbow. The results obtained show that the flow profile at each cross

section is different for the same discharge Q value. At each section with variations in the value of the discharge Q , the character of the value of the head loss increases with increasing flow rate Q , with different values for each section, but the trend of changes is similar. Laminar conditions occur at $Q = 34$ lit/minute with $h_{dl} = 0.74 \times 10^{-3}$ m; transition occurs at $Q = 34-36$ lit/minute with $h_{dl} = (0.74-0.68) \times 10^{-3}$ m; and fully turbulent at $Q > 36$ lit/minute with $h_{dl} > 0.74 \times 10^{-3}$ m. This indicates that at an elbow or turn, the flow will become turbulent even at a low speed..

Keywords: straight pipe, elbow, flow regime, friction coefficient, head loss.

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan digunakan dalam industri untuk dua fungsi utama yaitu pada system transport fluida maupun system ketenagaan fluida. Instalasi perpipaan merupakan system keteknikan untuk mengalirkan air, minyak dan gas [1][2]. dari suatu sumber bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah. Pada system ketenagaan [3] yaitu pada system hidraulik dan pneumatic yaitu konstruksi penampang meridian pompa sentrifugal [4], pompa turbin [5] dan peralatan penukar kalor salah satunya adalah system pipa helikal [6][7].

Sistem pipa terdiri dari pipa lurus, sambungan-sambungan, belokan katup-katup dan peralatan-peralatan instrumentasi.

Analisis aliran fluida dalam system perpipaan dilakukan untuk aliran dalam pipa dan aliran yang melalui silinder sirkular yang merupakan salah satu masalah dalam mekanika. Regim aliran, koefisien gesek dan head losse adalah parameter-parameter penting yang menentukan performance aliran dalam system pipa. Rezim aliran ditentukan berdasarkan klasifikasi aliran fluida untuk membedakan antara dua aliran yang berbeda seperti rezim aliran internal atau eksternal, rezim aliran fase tunggal atau multifase [8] dan kavitasi aliran pada mesin [9][10], dan rezim aliran laminar atau turbulent [11][12]. Regim aliran memberikan pengaruh terhadap performance energi aliran pada sistem perpipaan yang dinyatakan melalui bilangan Reynolds (Re). Pada densitas dan viskositas fluida konstan, Bilangan Reynolds ditentukan oleh kecepatan aliran kecepatan aliran dan juga ukuran pipa. Regim laminar terjadi para $Re < 2300$ dan $Re > 2300$ untuk regim aliran turbulent. Dalam praktek, jika bilangan Reynolds kurang dari 2000, alirannya adalah laminar. Jika lebih besar dari 3500, alirannya turbulen. Aliran dengan angka Reynolds antara 2000 dan 3500 terkadang disebut sebagai aliran transisi [11].

Head dan daya aliran fluida merupakan parameter penting dalam perencanaan dan analisis system transport [13][2][3][14][15]. Jumlah gesekan

fluida, yang menentukan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan aliran yang diinginkan, tergantung pada mode aliran. Masalah ini merupakan pertimbangan dalam aplikasi tertentu yang melibatkan perpindahan panas ke fluida [11][7]. Regim dan gesekan fluida dipengaruhi oleh bentuk, ukuran dan konfigurasi sistem perpipaan serta kekasaran permukaan.

Hasil - hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada ketergantungan bilangan Reynolds yang signifikan dalam aliran rata-rata dengan Reynold stress $Ret = 1000-6000$ [16]. Hal ini juga dibuktikan dalam penelitian penskalaan bilangan Reynolds dari lapisan batas turbulen pelat [17] dan penelitian aliran rata-rata di lapisan dalam untuk lapisan batas turbulen, pipa, dan aliran saluran pada $Ret = 3000$ [18].

Bilangan Reynods dan Reynolds stress serta kondisi permukaan pipa berpengaruh terhadap kerugian head di dalam penampang aliran. Kerugian head tidak dapat dihindari dalam cairan nyata, karena gesekan antara fluida dan dinding pipa pada pipa lurus, gesekan antara partikel fluida yang berdekatan saat mereka bergerak relatif satu sama lain; dan turbulensi yang disebabkan oleh belokan dan gerbang masuk dan keluar pipa, pompa, katup, peredam aliran, dan perlengkapan lainnya [11]. Gesekan fluida antara dua titik dalam pipa atau saluran lurus mungkin diukur dengan perpanjangan empiris dari prinsip Bernoulli.

Kerugian head, h_f , adalah parameter fisik yang sangat penting untuk analisis eksperimental dan teoritis dari fenomena fluida yang juga dipengaruhi oleh koefisien gesek yang merupakan faktor kunci untuk menentukan kecepatan aliran dalam aliran saluran, yang juga penting untuk memastikan desain hidraulik yang optimal [19]. Head losses sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena head losses dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida [20]. Head losses terjadi diakibatkan dua komponen yaitu mayor losses dan minor losses. Mayor losses adalah kerugian tekanan yang diakibatkan oleh adanya

gesekan di sepanjang aliran pipa, dimana pada kasus panjang pipa 6,3 meter mayor losses sebesar 0,106 m. sedangkan minor losses yang diakibatkan oleh adanya sambungan belokan 90o sebesar 0,0061 m [21]. Kerugian head untuk aliran fluida berbanding lurus dengan panjang pipa, kuadrat kecepatan fluida, dan gesekan fluida disebut faktor gesekan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa [11]. Dalam hubungan dengan ukuran pipa, head losse semakin kecil untuk ukuran diameter pipa yang semakin besar [13].

Beberapa penelitian membahas jatuh tekanan untuk aliran dalam pipa yang terdiri dari aliran dua phase pada belokan 450 [22] dan 90° [21] studi karakteristik pola aliran stratified pada pipa horizontal [8] dan analisis variasi diameter pipa pada pompa aksial untuk mengurangi head loss [23] menguraikan tentang karakteristik aliran dan kerugian head pada konfigurasi belokan, pipa horizontal dan variasi diameter pipa. Pada namun belum menggambarkan hubungan regim aliran, profil kecepatan aliran dalam pipa lurus dan belokan, hubungan builangan Reynolds, koefisien gesek dan kerugian head dengan kecepatan aliran atau debit dalam pipa beton lurus dan belokan 900. Oleh karena itu paper ini membahas hasil kajian regim aliran fluida dan menentukan koefisien gesek dan kerugian head pada sistem pipa dengan tujuan memantau sifat pergerakan fluida dalam regim laminar dan turbulen, menentukan kehilangan tekanan akibat gesekan pada berbagai laju aliran fluida dan menetapkan hubungan antara head loss dan debit dalam regim laminar dan turbulen. Penyelesaian paper ini dilakukan dengan metode experimental.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Regim Aliran Fluida dalam penampang

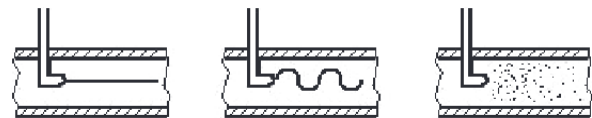
Penentuan kehilangan head dimulai dengan gambaran fisik umum aliran internal dan lapisan batas kecepatan, bilangan Reynolds tanpa dimensi dan pengaruhnya terhadap karakteristik aliran di dalam pipa yang berkorelasi terhadap penurunan tekanan yang terkait dengannya untuk aliran laminar dan turbulen serta kerugian head [24]. Dalam banyak permasalahan aliran fluida, penentuan kecepatan yang tepat pada lokasi yang berbeda dalam penampang aliran yang sama, cukup dengan menggunakan satu kecepatan rata-rata untuk mewakili kecepatan semua fluida pada titik tersebut di dalam pipa dengan asumsi bahwa kecepatan maksimum sama dengan kecepatan di tengah pipa [11].

Pergerakan fluida dalam pipa dan saluran dicirikan oleh dua mode: laminar dan turbulen.

Dalam aliran laminar, fluida bergerak dalam lapisan atau aliran paralel. Sedangkan dalam rezim turbulen, pergerakan partikel fluida terjadi di sepanjang lintasan yang kompleks dan kacau; pencampuran intensif partikel fluida terjadidalam aliran, disertai dengan denyut kecepatan dan tekanan [25].

Tidak seperti aliran laminar, ekspresi kehilangan dalam pipa atau saluran yang mengandung aliran turbulen didasarkan pada analisis dan pengukuran, memberikan hubungan empiris atau semi-empiris. Bahkan, karena pentingnya banyak aplikasi industri, eksperimen sistematis telah dilakukan dengan aliran pipa untuk mengukur kehilangan tekanan untuk laju aliran yang berbeda, bilangan Reynolds, dan nilai kekasaran permukaan.

Secara visual, rezim laminar dan transisinya ke turbulen dapat diamati menggunakan percobaan yang pertama kali dilakukan oleh O. Reynolds. Untuk melakukan ini, aliran tipis cairan berwarna dimasukkan ke dalam tabung kaca dengan cairan bergerak. Pada laju aliran rendah, cairan berwarna bergerak dalam bentuk aliran tipis yang sejajar dengan dinding tabung, tanpa bercampur dengan aliran cairan utama.



Gambar 1. Indikasi Mode Aliran

Jika laju aliran dinaikkan, aliran berwarna mulai berosilasi dan bergerak dalam gelombang. Kemudian, di beberapa bagiannya, celah-celah mulai terlihat. Aliran kehilangan bentuknya yang khas dan, pada laju aliran tertentu, benar-benar tersapu oleh cairan yang mewarnainya secara merata. Ini menunjukkan transisi dari rezim laminar ke rezim turbulen.

Aliran laminar dicirikan oleh garis arus paralel dan lapisan yang terdefinisi dengan baik, profil kecepatan berbentuk parabola. sedangkan rezim aliran turbulen ditandai dengan ketidakteraturan dalam pergerakan partikel fluida, pola pusaran yang tidak beraturan, [26] yang berasal dari dinding pipa, fluida bercampur di seluruh penampang pipa. Jenis aliran ini sangat tidak efisien dalam hal pemanfaatan energi untuk memindahkan fluida ke bawah pipa karena semua gerakan eddy atau pusaran yang berlawanan dengan arah aliran secara keseluruhan [27]. Distribusi kecepatan pada setiap jarak r dari saluran pada aliran turbulen dinyatakan sebagai hukum pangkat $1/7$ [28].

Berdasarkan percobaan, Reynolds mengusulkan hubungan tanpa dimensi, yang disebut bilangan

Reynolds, yang memungkinkan mengatur mode aliran fluida. Untuk pipa silinder [25][29][30]:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots (1)$$

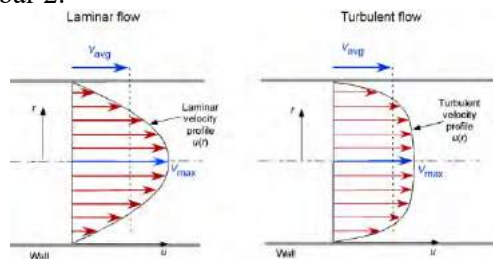
dimana v adalah kecepatan rata-rata fluida, m/s; d adalah diameter bagian dalam pipa, m; ν adalah viskositas kinematis cairan, m²/s.

Dari sudut pandang fisik, bilangan Re adalah rasio gaya inersia dengan gaya gesek viskos. Dalam aliran, karena adhesi partikel cair ke permukaan pipa, kecepatan di dinding adalah nol, dan pada sumbu aliran memiliki nilai maksimum. Oleh karena itu, fluida yang bergerak berada dalam keadaan tertekan dan dua gaya berinteraksi di dalamnya: inersia dan gesekan kental. Gaya inersia cenderung menyebabkan gangguan pada aliran, dan gaya gesekan kental mencegah hal ini. Oleh karena itu, pada angka $Re < 2320$, rezim laminar terjadi, dan pada $Re > 2320$, rezim turbulen [24].

Gerakan turbulen yang dikembangkan dalam pipa hanya terjadi pada $Re = 2800$, dan pada $Re = 2320-2800$ terdapat daerah transisi (daerah intermitten), di mana, tergantung pada kondisi, rezim laminar atau turbulen dimungkinkan. Namun, untuk perhitungan praktis, biasanya diasumsikan bahwa pada $Re > 2320$ rezim turbulen terjadi.

Jika $Re < Re_{cr} = 2320$, maka mode gerak disebut laminar, jika $Re > Re_{cr}$ - turbulen. Ketika aliran fluida nyata bergerak, gaya resistensi (gesekan) hidrolis muncul yang memperlambat gerakan. Ada resistensi kental dan inersia. Resistensi kental muncul karena adanya sifat fluida untuk menahan gaya tangensial selama gerakan. Dengan peningkatan bilangan Reynolds, selain kental, juga terjadi resistensi inersia yang disebabkan oleh pembentukan vortisitas dan pencampuran massa fluida. Dengan rezim turbulen yang berkembang, pengaruh resistensi inersia meningkat, dan menjadi dominan. Untuk mengatasi gaya hambatan, sebagian dari energi spesifik aliran fluida dikeluarkan, yang disebut kerugian head.

Perbedaan profile kecepatan dalam pipa untuk aliran laminar dan turbulen penuh ditampilkan pada gambar 2.

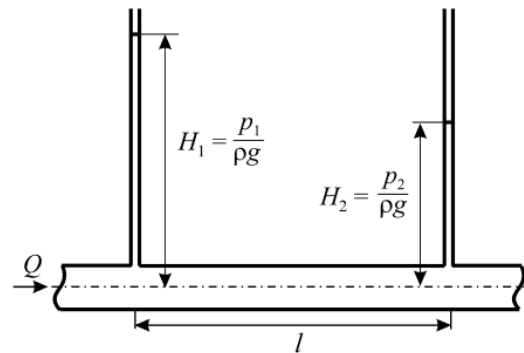


Gambar 2. Profil kecepatan aliran laminar dan turbulen

2.2. Koefisien Gesek dan Kerugian Head

Head loss pada daerah aliran seragam ($d = \text{const}$) disebut head loss sepanjang h_{dl} . Ketika cairan bergerak dalam pipa silinder bertekanan, kerugian sepanjang pipa dapat ditentukan secara eksperimental dan dengan perhitungan.

Secara empiris, dalam pipa penampang konstan, kehilangan tekanan sepanjang dapat ditemukan dengan perbedaan pembacaan piezometer (pengukur tekanan) $h_{dl} = H_1 - H_2$, dipasang di batas bagian eksperimental (Gbr. 10).



Gambar 3. Skema bagian pipa

Head loss pada aliran fluida tunak dalam pipa bertekanan bulat dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach [2][31][32]:

$$\Delta H = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

di mana λ adalah koefisien gesekan hidrolis (koefisien Darcy); l adalah panjang pipa, m; d adalah diameter dalam, m; v adalah kecepatan aliran rata-rata, m/s; g adalah percepatan gravitasi, m/s²

Koefisien λ tergantung pada mode gerak fluida (nomor Re), kekasaran relatif ($\epsilon = \Delta e / d$, di mana Δe adalah kekasaran absolut yang setara dari dinding pipa, yang setara dengan kekasaran absolut dalam hal ketahanan hidrolis; numeriknya nilai untuk pipa yang terbuat dari berbagai bahan diberikan dalam buku referensi). Pengaruh faktor-faktor ini terhadap nilai koefisien λ dalam mode yang berbeda memanasifestasikan dirinya dengan cara yang berbeda.

Dalam rezim laminar ($Re < 2320$), kekasaran dinding tidak mempengaruhi resistensi terhadap gerakan dan $\lambda = f(Re)$. Dalam hal ini, λ dihitung dengan rumus [31][33][25]:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (3)$$

Pada rezim turbulen ($Re > 2320$), nilai λ dipengaruhi oleh dua faktor: bilangan Re dan kekasaran relatif ϵ . Dalam hal ini, λ ditentukan oleh rumus Altshul [34][31].

$$\lambda = 0.11 \left(\epsilon + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (4)$$

Dalam rezim turbulen, karena adanya sublapisan laminar (atau kental) dengan ketebalan δ di dekat dinding, tergantung pada rasio antara δ dan ketinggian tonjolan rata-rata permukaan kasar Δe , pipa halus secara hidraulik dan kasar secara hidraulik adalah terpendang.

Jika $\delta > \Delta e$, maka sublapisan laminar seolah-olah menghaluskan kekasaran dinding, aliran tidak mengalami turbulensi tambahan akibat kekasaran. Pipa seperti itu disebut mulus secara hidrolis.

Jika $\delta < \Delta e$, tonjolan kekasaran melampaui sublapisan laminar dan, ketika mengalir di sekitarnya, muncul vortisitas yang meningkatkan kehilangan tekanan. Dalam hal ini, pipa disebut kasar secara hidrolis.

Di zona pipa halus hidrolis ($\delta > \Delta e$) pada bilangan Reynolds $2320 < Re < 20 / \epsilon$, koefisien λ hanya bergantung pada bilangan Reynolds ($\lambda = f(Re)$), dan dapat ditentukan dengan rumus Blasius [25]

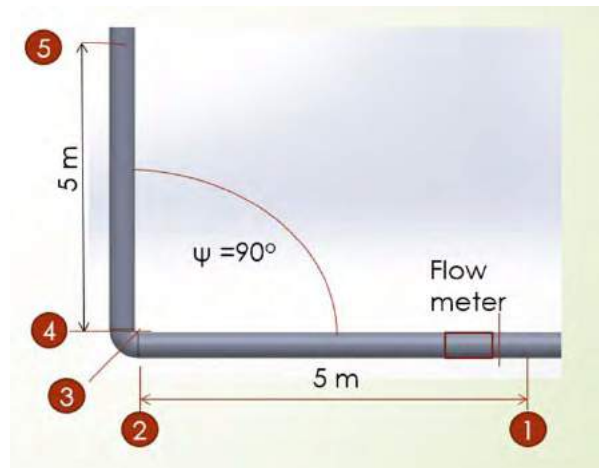
$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.5}} \dots\dots\dots (5)$$

Di zona resistensi kuadrat, ketika praktis tidak ada sublayer laminar ($\delta \ll \Delta e$), koefisien λ tidak lagi bergantung pada Re , tetapi hanya ditentukan oleh kekasaran relatif. Adanya zona ini disebabkan oleh rasio $Re > 500 / \epsilon$, dan koefisien λ dapat dihitung menggunakan rumus Shifrinson: $\lambda = 0,11\epsilon^{0.25}$.

2.3. Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah experimental teoritis, yang dilakukan pada pipa beton dengan diameter $D_1 = 1$ meter dan panjang pipa lurus $L = 10$ meter dan 1 buah elbow $\psi = 90^\circ$. Sistem pipa dipasang pada stand pengujian dengan skema pada gambar Gambar 3 yang terdiri dari tangki Pompa 1 dengan dua buah pipa beton lurus dengan panjang $L_1 = L_2 = 5$ meter dengan diameter $0,1 d = 0,1m$ yang dihubungkan dengan elbow $\psi = 90^\circ$. Dua piezometer 5 dipasang untuk menentukan kehilangan tekanan dalam pipa pada 5 titik yaitu pada titik 1, 2, 3, 4 dan titik 5 serta flowmeter, dan katup pengatur aliran 6, yang untuk mengubah kecepatan fluida. Untuk mengukur aliran cairan, ada bejana pengukur dan stopwatch. Kecepatan aliran ($V_{in} = Q/A$).

Penentuan pengaruh debit terhadap kerugian head pada berbagai regim aliran dilakukan melalui variasi debit aliran, Q (m^3/s), yang diatur melalui katup kontrol. Pada setiap variable debit dibaca data tekanan pada setiap titik, dan kemudian dihitung distribusi kecepatan pada setiap penampang titik, dan selanjutnya dihitung profil kecepatan, koefesein gesek dan kehilangan head pada setiap titik dan untuk keseluruhan panjang pipa.

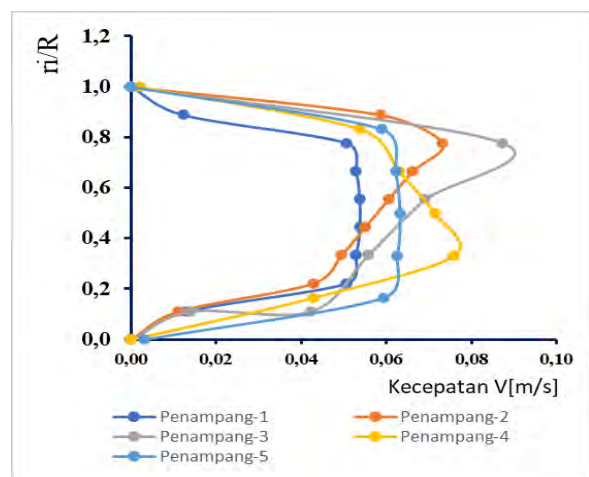


Gambar 3 Skema instalsi pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil kecepatan 5 titik penampang

Pada hasil pembacaan data kecepatan sepanjang penampang pipa pada setiap penampang yang ditentukan yaitu pada garis 1, 2, 3,4 dan 5, terlihat bahwa profil aliran pada setiap penampang berbeda-bada untuk nilai debit Q yang sama. Aliran laminar pada penampang 1, sedangkan pada penampang 2,3 dan 4 aliran berubah menjadi turbulen dan kemudi Kembali laminar pada penampang 5. Hal ini menunjukan bahwa pada elbow atau belokan, aliran akan menjadi turbulen walaupun pada kecepatan yang rendah.

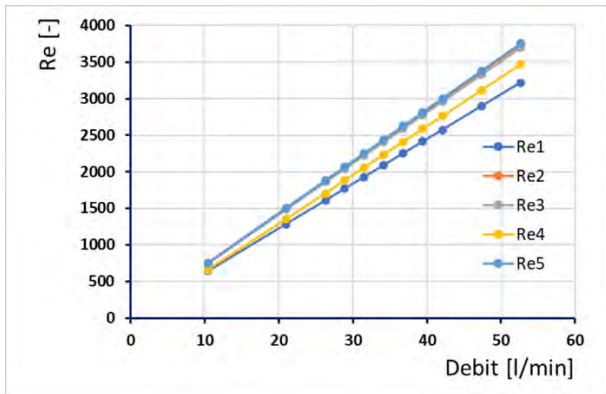


Gambar 4. Profil Kecepatan aliran pada 5 titik pengukuran

Kurva hubungan bilangan Reynold (Re) dengan Debit (Q) pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q karakter nilai kerugian head meningkat secara linear dengan meningkatnya debit aliran Q dan berbeda

pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip.

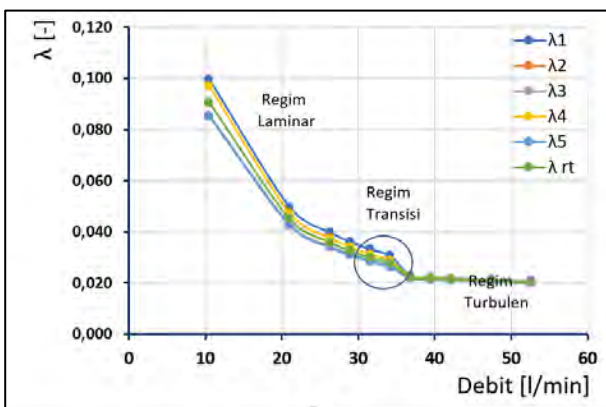
Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan debit pada gambar 5 setara dengan hasil analisis perubahan tinggi tekanan [20] yang menunjukkan hubungan kenaikan secara linear antara nilai debit maka nilai bilangan Reynolds.



Gambar 5. Hubungan bilangan Re dengan debit aliran Q.

3.2. Koefesien gesekan

Koefesien gesek atau koefesien Darcy dihitung dengan persamaan (3) dan persamaan (6). Gambar 6 menunjukkan hubungan koefesien gesekan atau koefesien Darcy (λ) dengan Debit (Q). Pada regim aliran lamirar koefesien gesek (koefesien Darcy) λ akan turun dengan naiknya debit dengan kondisi kejutan pada regim transisi kemudian cenderung stabil pada regim turbulen.



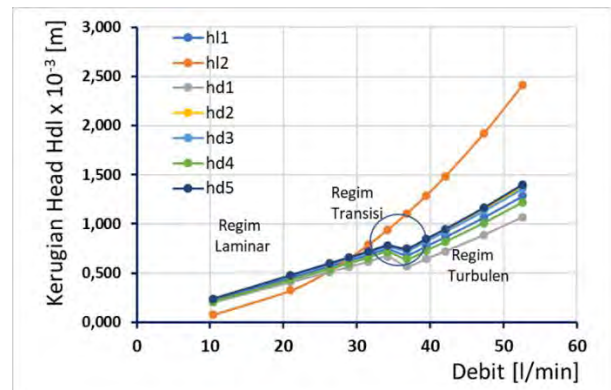
Gambar 6. Hubungan Koefesien gesek dengan Debit

3.3. Head loss

Berdasarkan persamaan 2 ditentukan hubungan kerugian head dalam pipa pada berbagai nilai variabel debit Q yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7.

Pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q karakter nilai kerugian head meningkat dengan

meningkatnya debit aliran Q dan berbeda pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip.



Gambar 7. Hubungan Kehilangan Head h_f dengan Debit (Q)

Hasil penelitian yang diperoleh pada gambar 5 sampai dengan gambar 7 menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan. Analogi dengan penelitian analisa variasi diameter pipa pada pompa aksial untuk mengurangi kerugian head [23] yang menunjukkan bahwa pembesaran diameter pipa dimana debit yang bertambah head losses semakin besar dan koefesien gesek semakin kecil. Hasil yang serupa juga dipeoleh dalam penelitian analisis head losses akibat belokan pipa 90° (sambungan vertikal) dengan pemasangan tube bundle [21] dimana perbedaan tekanan fluida yang masuk dan keluar pipa disebabkan oleh hambatan aliran pada pipa lurus, belokan dan kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan minyak dengan permukaan pipa, serta kecepatan aliran dan kenaikan debit meningkatkan kerugian head mayor dan minor [20].

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini disimpulkan bahwa regim aliran laminar ditentukan oleh factor debit dan kontruksi jalur yang dilalui fluida. Kerugian head meningkat dengan naiknya nilai debit, yang menandakan bahwa pada kecepatan yang tinggi terjadi kerugian head yang lebih besar, walaupun nilai koefesien gesek semakin kecil. Pada kasus ini dengan pipa beton diameter 4 inchi, untuk variasi nilai debit $Q = 20 - 52$ liter/menit, terjadi kehilangan head sebesar $h_f = (0,22-1,28) \times 10^{-3}$ m.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Suarda and I. G. K. Dwijana, “Kajian Pemasangan Pipa Air Bersih Melayang dalam Air Laut untuk Mendukung Perkembangan Pariwisata di Nusa Ceningan dan

- Lembongan,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p03.
- [2] W. M. Rumaherang, C. F. Refwalu, C. S. E. Tupamahu, S. J. E. Sarwuna, and E. J. Rumaherang, “EVALUASI KINERJA POMPA SENTRIFUGAL BERKAPASITAS 600 KL/Hr PADA SISTEM PEMOMPAAN MINYAK,” *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 17–27, 2023, doi: 10.30598/metiks.2023.3.1.17-27.
- [3] R. Dindorf, J. Takosoglu, and P. Wos, “Advances in fluid power systems,” *Energies*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/en14248589.
- [4] W. M. Rumaherang, “Perhitungan aliran dan peramalan karakteristik pompa sentrifugal bertingkat dengan penggunaan CAD blade’s system,” *J. Ilm. Tek. Mesin CAKRAM*, vol. 2, no. 2, pp. 69–76, 2008.
- [5] W. Wang, X. Wang, Z. Wang, M. Ni, and C. Yang, “Analysis of internal flow characteristics of a startup pump turbine at the lowest head under no-load conditions,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 12, 2021, doi: 10.3390/jmse9121360.
- [6] A. Hatumessen, N. Titahelu, and C. S. Tupamahu, “Analisis Efektivitas Penukar Kalor Pipa Helikal Destilasi Minyak Atsiri Kayu Putih,” *ALE Proceeding*, vol. 4, pp. 127–132, 2021, doi: 10.30598/ale.4.2021.127-132.
- [7] N. Titahelu, D. S. Pelupessy, C. S. E. Tupamahu, and A. F. Rumagutawan, “Meningkatkan Efektivitas Kondensor Vertikal Pipa Helikal Koil Untuk Destilasi Minyak Atsiri Sereh,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 235–249, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1219.
- [8] I. Dwi Arirohman *et al.*, “Studi Karakteristik Pola Aliran Stratified pada Pipa Horizontal 16 mm,” *J. Sci. Technol. Virtual Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–15, 2021.
- [9] T. G. I. Rumaherang W.M., “Расчет кавитационного обтекания рабочего колеса радиально - осевой гидротурбины © 2011,” *Samara Fed. Res. Sci. Cent. Russ. Acad. Sci. (SamSC RAS)*, vol. 1, no. 2, pp. 472–475, 2011, [Online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-kavitatsionnogo-obtekaniya-rabocheho-kolesa-radialno-osevoy-gidroturbiny>
- [10] W. M. Rumaherang, J. Louhenapessy, M. F. Noya, and C. S. Tupamahu, “Studi Eksperimental Performance Kavitas Waterjet Propulsi,” *ALE Proceeding*, vol. 4, pp. 112–120, 2021, doi: 10.30598/ale.4.2021.112-120.
- [11] Department of Energy Fundamentals, “Thermodynamics , Heat Transfer , and Fluid Flow Volume 1 of 3 DOE Fundamentals Handbook,” *Energy*, vol. 1, no. June, p. 138, 1992.
- [12] A. Marali, S. Wahyudi, and N. Hamidi, “Analisa Fluida Nano Al₂O₃-Air pada Alat Penukar Kalor Proses Pendinginan (Metode Simulasi),” *Re THH*, pp. 413–418, 2017.
- [13] P. Rahayu, D. K. Putri, and N. Indriyani, “Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss,” *J. Agit.*, vol. 2, no. 2, pp. 2776–513, 2021.
- [14] A. A. Hanieh, *FLUID POWER CONTROL*, Second Edi. Jerusalem, 2021.
- [15] E. Busquets and M. Ivantysynova, “A Multi-Actuator Displacement-Controlled System with Pump Switching – A Study of the Architecture and Actuator-Level Control,” *JFPS Int. J. Fluid Power Syst.*, vol. 8, no. February, pp. 66–75, 2015.
- [16] M. P. Schultz and K. A. Flack, “Reynolds-number scaling of turbulent channel flow,” *Phys. Fluids*, vol. 25, no. 2, 2013, doi: 10.1063/1.4791606.
- [17] D. B. DeGraaff and J. K. Eaton, “Reynolds-number scaling of the flat-plate turbulent boundary layer,” *J. Fluid Mech*, no. 422, pp. 319–346, 2000.
- [18] and M. S. C. J. P. Monty, N. Hutchins, H. G. H. Ng, I. Marusic, “A comparison of turbulent pipe, channel and boundary layer flows,” *J. Fluid Mech*, vol. 632, pp. 431–442, 2009.
- [19] Y. M. Choo, J. G. Kim, and S. H. Park, “A study on the friction factor and reynolds number relationship for flow in smooth and rough channels,” *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 12, 2021, doi: 10.3390/w13121714.
- [20] Nurnawaty and Sumardi, “NALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 900 DAN 450 DENGAN MENGGUNAKAN FLUID FRICTION APPARATUS,” *J. Tek. Hidro*, vol. 13, no. 1, pp. 28–37, 2020, [Online].

- Available:
<https://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/viewFile/3980/2716>
- [21] A. Priyati, S. H. Abdullah, and K. Hafiz, “Analisis Head Losses Akibat Belokan Pipa 90° (Sambungan Vertikal) Dengan Pemasangan Tube Bundle,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 7, no. 1, pp. 95–104, 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i1.104.
- [22] S. Wahyudi dan Agung Sugeng Widodo, “Analisis Aliran Fluida Dua Fase (Udara-Air) melalui Belokan 45 o,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 217–224, 2014.
- [23] E. Widodo and R. Y. Pradhana, “Analysis of pipe diameter variation in axial pumps for reducing head loss,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012029.
- [24] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid-Mechanics-Fundamentals-and-Applications-3Rd-Edition-Cengel-and-Cimbala-2014*. 2014.
- [25] Е. С. Санкович, А. Б. Сухоцкий, И. Гидропривод, and Л. Практикум, *Гидравлика и гидропривод*.
- [26] N. D. Katopodes, “Free-Surface Flow, Environmental Fluid Mechanics,” in *Butterworth-Heinemann*, 2019, pp. 2–98. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815489-2.00001-0>.
- [27] Y. N. Lee and R. L. Johnston, *Surface Process, Transportation, and Storage Volume 4 in Oil and Gas Chemistry Management Series*, Chapter 5. Gulf Professional Publishing: Gulf Professional Publishing, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128238912000053?via%3Dihub>
- [28] W. M. Rumaheang and J. Latuny, “Fluid Flow Study in Various Shapes and Sizes of Horizontal Axis Sea Current Turbine,” *Sinergi*, vol. 25, no. 3, p. 289, 2021, doi: 10.22441/sinergi.2021.3.006.
- [29] V. Uruba, “On Reynolds number physical interpretation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2000, no. December, 2018, doi: 10.1063/1.5049926.
- [30] M. A. Kabir, M. F. Alam, and M. A. Uddin, “A numerical study on the effects of reynolds number on blood flow with spiral velocity through regular arterial stenosis,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 2515–2527, 2018.
- [31] A. Y. Lipovka and Y. L. Lipovka, “Determining Hydraulic Friction Factor for Pipeline Systems,” *J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 7, p. 62, 2014.
- [32] M. P. Schultz and K. A. Flack, “The rough-wall turbulent boundary layer from the hydraulically smooth to the fully rough regime,” *J. Fluid Mech.*, vol. 580, no. June, pp. 381–405, 2007, doi: 10.1017/S0022112007005502.
- [33] K. Madlener, B. Frey, and H. K. Ciezki, “Generalized reynolds number for non-newtonian fluids,” vol. 1, pp. 237–250, 2009, doi: 10.1051/eucass/200901237.
- [34] O. E. Turgut, M. Asker, and M. T. Çoban, “A review of non iterative friction factor correlations for the calculation of pressure drop in pipes,” *Bitlis Eren Univ. J. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, 2014, doi: 10.17678/beujst.90203.

PENGARUH BIAYA KOMPONEN NONTEKNIS TERHADAP BIAYA LOGISTIK PELABUHAN WILAYAH KEPULAUAN

Marcus Tukan¹, Hozairi², Roland Koswara³, Billy J. Camerling⁴

¹Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

E-mail: marcustakaan@gmail.com

²Fakultas Teknik Informatika, Universitas Islam Madura, Madura

E-mail: dr.hozairi@gmail.com

³ PT. PELINDO Terminal Petikemas Ambon

E-mail: rouland@pelindo.co.id

⁴ Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: camerlingbilly@gmail.com

Abstrak. Tingginya biaya logistik di pelabuhan wilayah kepulauan merupakan permasalahan transportasi laut yang hingga saat ini masih sulit untuk diselesaikan, berangkat dari hal ini biaya container perlu dievaluasi. Kajian ini bertujuan mengevaluasi komponen pembiayaan nonteknis yang mempengaruhi biaya logistik di sektor transportasi laut khususnya untuk kegiatan kepelabuhanan. Dengan studi komperatif yang dilakukan guna memahami perilaku tarif biaya nonteknis dan dengan metode Multy Altribute Decision Makking (MADM) ditemukan biaya tenaga kerja bongkar muat (TKBM) dan biaya pengamanan container yang dikirim keluar pelabuhan cukup tinggi mencapai 21,84% sehingga berdampak terhadap efisiensi dan multiplayer efek terhadap kinerja pelabuhan dan pertumbuhan ekonomi wilayah hinterland.

Kunci: biaya, Logistik, kontainer.

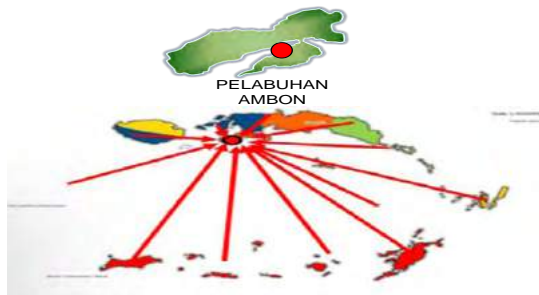
Abstract. *The high logistics costs at island ports are a maritime transportation problem that is currently still difficult to resolve. Based on this, container costs need to be evaluated. This study aims to evaluate non-technical financing components that influence logistics costs in the maritime transportation sector, especially for port activities. With a comparative study carried out to understand the behavior of non-technical cost rates and using the multi attribute decision making (MADM) method, it was found that loading and unloading labor costs (TKBM) and the cost of securing containers sent out of the port were quite high, reaching 21.84%, thus having an impact on efficiency and multiplayer effects on port performance and economic growth in the hinterland region.*

Key: Cost, Logistics, Container.

1. PENDAHULUAN

Trafik container yang masuk melalui Terminal Petikemas Ambon (TPA) PT. PELINDO Ambon terus meningkat walaupun sedikit terjadi fluktuasi hal ini tergambar pada data traffic container yang masuk tahun 2017 meningkat hingga 36% dan sempat terjadi penurunan pada tahun 2018 sebanyak 24%, dan terus mengalami penurunan sampai tahun 2020 seperti kegiatan operasional baik untuk pelayanan kapal, bongkar muat petikemas di pelabuhan menggunakan peralatan dan fasilitas yang disediakan oleh Pelindo. Saat ini terjadi peningkatan

kinerja Terminal Petikemas Ambon (TPA) dimana jumlah bongkar muat hampir tiga kali lipat, dari 12 boks per kapal perjam menjadi 35 boks dengan jumlah waktu sandar dari 3 hari dapat diturunkan menjadi 1 hari. Namun kondisi diatas belum diikuti dengan perbaikan biaya container di pelabuhan. Hal ini yang menjadi inti penelitian untuk menganalisis komponen pembiayaan nonteknis yang berpengaruh terhadap biaya logistik di pelabuhan Ambon. Pelabuhan Ambon sebagai hau mempunyai posisi strategis seperti tergambar pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Peta Posisi Pelabuhan Ambon Terhadap Pelabuhan-Pelabuhan Hinterland

Dimana peran pelabuhan untuk menjaga dan meningkatkan ketersediaan komoditas atau barang kebutuhan pokok juga barang penting yang lebih terjamin di seluruh wilayah Indonesia, dalam konsep Tol Laut yang bertujuan membangun konektivitas antar pulau di Maluku dengan tujuan meningkatkan aksesibilitas masyarakat dan dampak ekonomi yang ditimbulkan *Tukan, Akademisi Usul Bangun Maritim Highway, Media Siwalima, Jum'at, 30 Agustus 2013*. Permasalahan Transportasi Kepulauan dan hasil FGD Transportasi Antar Pulau dalam Roadmap Kemaritiman Indonesia oleh Marcus Tukan dalam forum Komite Ekonomi dan Industri Nasional 24 Agustus 2017 menjelaskan bahwa load factor ideal untuk wilayah kepulauan harus $\geq 65\%$. Efisiensi pelabuhan yang bersifat kewilayahan dimodelkan dalam pengembangan kinerja untuk mengoptimalkan tarif dalam mendukung ekonomi dengan prioritas dan kekhasan yang spesifik dari wilayah kepulauan.

Definisi sistem transportasi wilayah secara inheren dipersepsikan sebagai tatanan transportasi pada skala dan ruang lingkup wilayah dimana sarana dan prasarana yang saling berinteraksi membentuk suatu sistem pelayanan jasa transportasi yang tercukupi sesuai dengan kebutuhan (efektif), efisien (dari sisi waktu dan biaya), serta mengandung unsur keterpaduan antar moda yang harmonis [1]

Pengembangan pelabuhan serta penambahan fasilitasnya untuk pola operasi *hub-spoke* [2]. pada konteks pelabuhan dapat diidentikan sebagai pelabuhan pengumpul utama (hub) dan menjadikan pelabuhan-pelabuhan lainnya yang tersebar sebagai spoke dan berperan sebagai hinterland [3], [4].

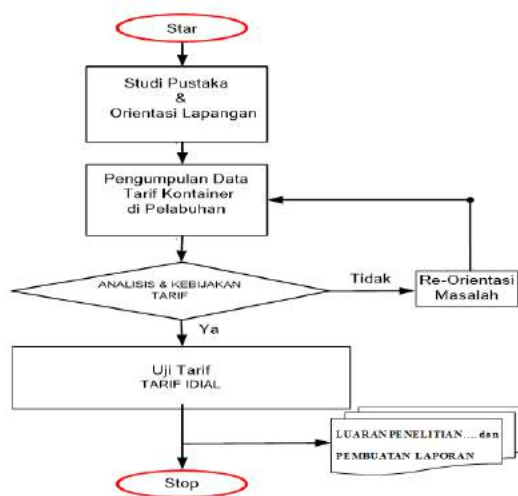
Implikasi model hubungan transportasi dengan ekonomi dapat dipakai untuk mengukur kemajuan ekonomi wilayah pulau melalui variable infrastruktur, khususnya wilayah maritim atau wilayah pelabuhan [5], dan perspektif kinerja operasional pelayanan yang dapat bertolak belakang dengan kinerja pelabuhan. Artinya jika kinerja operasional buruk, maka bisnis pelayanan akan sulit untuk meningkatkan kinerja pelayanan bahkan

mempertahkannya sekalipun [6], [7]. Dalam jurnalnya “*Support Dimensional Analysis Towards Economic Growth in Archipelagic Region, International Journal of Technology, ISSN: 2086-9614, vol. 6 Issue 3, p 422-431* menyimpulkan bahwa perilaku variable pelabuhan dan ekonomi saling mempengaruhi. Sehingga dapat disimpulkan transportasi juga mempunyai pengaruh positif yang kuat terhadap pembangunan dan pertumbuhan ekonomi dan sebaliknya peningkatan produksi barang dan jasa dapat dikaitkan langsung dengan transportasi [8]. Sementara [9] mendefinisikan infrastruktur sebagai salah satu faktor penting yang menentukan pembangunan ekonomi. Namun menurunnya kinerja pelabuhan disebabkan adanya praktek kecurangan banyak terjadi di-area kerja pelabuhan itu sendiri dan berdampak pada perusahaan maupun stakeholder yang melibatkan karyawan, pelanggan [10] dan tenaga TKBM dan jasa pengamanan.

2. BAHAN DAN METODE

Metode pengumpulan data baik sekunder maupun primer berupa informasi yang diperoleh dilapangan kemudian dilakukan analisis komponen biaya nonteknis terhadap biaya logistik di pelabuhan Yosudarso Ambon, Slamet Riyadi, Tulehu, dan Amahai sebagai objek yang dilakukan untuk mengidentifikasi proses bongkar Stripping dan bongkar Delivery/Receiving merupakan data sekunder yang dijarah dari kegiatan tenaga kerja bongkar muat (TKBM) pada pelabuhan sampel, kemudian dengan metode kualitatif dianalisis kembali guna mendapatkan gambaran tarif nonteknis yang diidentifikasi sebagai biaya produksi, harga pokok penjualan jasa sewa container, serta penetapan instrument kebijakan yang dianalisis dengan metode Multy Altribute Decision Makking (MADM)

Dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif didasarkan pada biaya tarif, harga pokok penjualan jasa kontiner dan komponen biaya nonteknis serta penetapan instrument kebijakan dengan metode Multy Altribute Decision Makking (MADM) dengan mendefinisikan beberapa argumentasi antara lain: biaya teknis di pelabuhan, biaya nonteknis di pelabuhan, menghitung tarif petikemas, analisis kebijakan tarif yang sesuai, pengambilan data dapat dilakukan dengan pengamatan dan wawancara, disamping studi terhadap sejumlah dokumen dan pemanfaatan data sekunder yang tersedia dilapangan. Dimana proses penelitian ini dilakukan seperti pada gambar diagram 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan infrastruktur yang dimiliki oleh masing-masing wilayah secara umum ikut mempengaruhi beberapa komponen biaya di pelabuhan. Dengan demikian kondisi tersebut akan memberikan gambaran pendekatan pembangunan yang berbeda untuk masing-masing wilayah pulau namun infrastruktur transportasi laut khususnya pelabuhan sebagai pendukung utama pembangunan wilayah harus dikembangkan secara sinerjik sehingga dapat memberikan layanan yang optimal [11]

Peningkatan ekonomi suatu wilayah menjadi tujuan dalam upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat, dan yang menjadi persoalan saat ini adalah biaya logistik transportasi Indonesia yang mencapai 24% dari total PDB atau setara dengan lebih kurang Rp 1.820 triliun per tahun. Besaran proporsi biaya logistik ini masih cukup besar dibandingkan dengan Vietnam (20%), Thailand (15%), China (14%), Malaysia, Filipina, dan India (13%), Taiwan dan Korea Selatan (9%), serta Singapura dan Jepang (8%). (Sumber: *Harian KONTAN Selasa, 27 Oktober 2020 / 09:46 WIB*). Setelah penggabungan Pelindo dan inisiatif transformasi yang telah dilakukan telah menciptakan nilai bagi ekonomi Indonesia. Secara keseluruhan sehingga berdampak pada penurunan biaya logistik sebesar 14,29% pada tahun 2022 (sumber rilis Bappenas 2023) kondisi ini sebagai dampak geografis Indonesia. yang menjadi kendala dalam upaya pemberdayaan ekonomi di wilayah kepulauan.[11]. dimana pada wilayah kepulauan Maluku juga masih dirasakan biaya logistik pengiriman container yang mahal, dan program yang dijalankan pemerintah pusat saat ini belum menyentuh pulau-pulau dengan konsentrasi

penduduk yang relatif sedikit serta pertimbangan rendahnya muatan balik. Timbulnya biaya-biaya lain-lain juga dikarenakan imbas dari proses bongkar muat yang kurang efisien [12].

Secara umum hasil survey proses pembiayaan dalam penelitian ini dapat digambarkan pada hasil analisis seperti yang digambarkan pada diagram komponen pembiayaan untuk bongkar stripping.

Biaya yang terjadi pada komponen nonteknis seperti biaya TKBM sebesar 9,99% perbox dan biaya pengawalan container yang dikirim keluar dari areal pelabuhan sebesar 11,85%.

Secara grafis semua komponen pembiayaan yang ada di pelabuhan sample yaitu pelabuhan Yosudarso pada kondisi bongkar delivery/ receiving dapat dilihat pada diagram komponen pembiayaan dibawah ini.



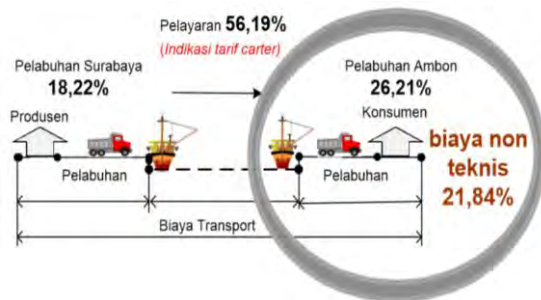
Gambar 3. Hasil Pengolahan Data Penelitian PNDP 2023.

Komponen-komponen biaya handling Lift On/Lift Off masing-masing Pelabuhan. Untuk kontainer ekspor impor berbeda tarif dengan kontainer tujuan domestik. Jadi dalam setiap kegiatan pengiriman menggunakan kontainer biasanya dikenakan beberapa kali biaya lift on/lift off tergantung dari seberapa sering kontainer dipindahkan.

Secara umum biaya lift on/lift off dikenakan: - Pada saat pengambilan kontainer kosong (empty) di depokontainer ke atas truk (inland). - Pada saat menaikkan kontainer isi (full) ke sarana pengangkut utama di Pelabuhan muat.

Untuk pekerjaan Breakbulk kargo(muatan curah) atau uncontainerized cargo yaitu biaya yang dikenakan untuk memuat atau membongkar kargo dari dan/atau ke sarana pengangkut utama ke truk dan/atau ke gudang. Pelaksana dari kegiatan ini adalah Perusahaan Bongkar Muat (PBM). Besaran biayanya biasanya tergantung dari banyaknya kargo yang dimuat atau dibongkar.

Dari hasil analisis maka komponen pembiayaan dipelabuhan dapat dipetakan seperti Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Komponen Pembiayaan di Pelabuhan

Pendekatan kualitatif dengan pendekatan kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian ini, dimana kriteria tersebut antara lain: Cr_1 = komponen biaya teknis peralatan bongkar/muat di pelabuhan dapat didefinisikan jika sesuai dengan biaya investasi mendapat bobot 5, sedikit lebih mahal bobot 4, cukup mahal bobot 3, mahal bobot 2, sangat mahal bobotnya 1. Cr_2 = Adanya komponen biaya nonteknis yang berpengaruh signifikan terhadap biaya bongkar-muat petikemas, dan jika biaya nonteknis sangat murah mendapat bobot 5, biaya nonteknis murah mendapat bobot 4, biaya nonteknis cukup mahal akan mendapat bobot 3, biaya nonteknis mahal akan mendapat bobot 2 dan biaya nonteknis sangat mahal akan mendapat bobot 1. Cr_3 =Biaya logistic pengiriman barang di pelabuhan (barang bongkar) dapat didefinisikan jika murah akan mendapat bobot 5, cukup murah mendapat bobot 4, mahal mendapat bobot 3, cukup mahal mendapat bobot 2, dan jika sangat mahal mendapat bobot 1. Cr_4 = Adanya potensi *fraud* yang terjadi di pelabuhan. Jika tidak ada potensi *fraud* mendapat bobot 5., masi ada potensi *fraud* mendapat bobot 4, cukup banyak terjadi potensi *fraud* mendapat bobot 3, banyak potensi *fraud* mendapat bobot 2, semuanya sarat dengan potensi *fraud* mendapat bobot 1.

Tabel 1. Hasil Rating Kecocokan Tiap Alternatif Berdasarkan Kriteria.

Alternatif	Cr.1	Cr.2	Cr.3	Cr.4
Biaya teknis	4	3	2	4
Biaya nonteknis	2	3	3	4
Pengendalian biaya nonteknis	4	4	4	4

Jika bobot preferensi sebagai $W = (4, 4, 5, 3)$, maka untuk itu dapat dibuat tabel kecocokan sebagai berikut:

$$X = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 4 \end{bmatrix}$$

Langkah pertama dilakukan normalisasi matriks X berdasarkan,

$$\text{persamaan } r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\text{Max } X_{ij}} \\ i \\ \text{Min } X_{ij} \\ i \\ x_{ij} \end{cases}$$

Maka diperoleh hasil sebagai berikut: $C1_{\text{biaya}}=0,25$, $C2_{\text{biaya}}=0,25$, $C3=0,31_{\text{biaya}}$, $C4_{\text{benefit}}=0,19$ dengan normalisasi sebagai berikut:

$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\text{Max } X_{ij}}$ jika j adalah atribut keuntungan (benefit), dan

$r_{ij} = \frac{\text{Min } X_{ij}}{X_{ij}}$ jika j adalah atribut biaya (cost).

maka diperoleh nilai alternatif sebagai berikut: Proses perangkingan

No	Alternatif	Hasil
1	Biaya Teknis	0,88
2	Biaya Non Teknis	0,90
3	Pengendalian Biaya Non Teknis	0,66

Dengan metode Simple Additive Weighting (SAW) di peroleh nilai biaya nonteknis = 0,90 merupakan nilai yang tertinggi sehingga dapat disimpulkan bahwa biaya logistic dipelabuhan yang cenderung ditetapkan sendiri oleh tenaga TKBM dan biaya pengamanan berdampak signifikan terhadap jasa sewa container di pelabuhan Ambon, seperti terlihat pada gambar 10 dibawah ini dimana biaya nonteknis berdampak negative terhadap biaya logistic pelabuhan.



Gambar 5 Reting Kebijakan Tarif Terhadap Biaya Logistik

Sumber: Hasil analisis penelitian Kajian PNDP 2023.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari keseluruhan biaya sewa petikemas, sebesar 18,22% adalah komponen biaya yang dibebankan pelabuhan keberangkatan Surabaya, sementara pelayaran membebankan 56,19% dan pelabuhan bongkar Ambon membebankan sebesar 26,21%. Dan dari 26,21% biaya tersebut sebesar 21,84% merupakan biaya nonteknis.
2. Tingginya biaya nonteknis akan berdampak terhadap inflasi diberbagai bidang perekonomian wilayah kepulauan, dan berdampak pula pada penurunan daya beli masyarakat serta lambatnya pergerakan ekonomi di sektor transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Tukan, (2017), *Transportasi Kepulauan Dalam mendukung Tol Laut*, Polimedia Publishing, Jagakarsa Indonesia, ISBN978-602-6372-11-6, p20
- [2] I. T. Yuniarto et..al. (2019), *Multiport Routes Optimization Model of Toll Laut Network in an Archipelagic State: Case Study of Route Evaluation in Moluccas and Southern Papua*/Jurnal Penelitian Transportasi Laut 21 p83-95
- [3] D. H. Priatno, Samudro, (2010), *Konsep Kapal Pengumpan Reguler untuk Mendukung Angkutan Laut Perintis di Wilayah Pulau-Pulau Terpencil*, Jurnal Wave, UPT. BPPH – BPPT Vol. 4, no.1 p14.
- [4] Noor Mahmudah, Danang Parikesit, Siti Malkhamah, Sigit Priyanto (2011), *Pengembangan Metodologi Perencanaan Transportasi Barang Regional*, Jurnal Transportasi Vol. 11 No. 3 Desember 2011 : 173-182.
- [5] Marcus Tukan, (2013), *Pengembangan Pelabuhan Berbasis Model Ekonomi Wilayah Kepulauan*, Disertasi Doktor Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Romeiza Syafriharti (2012) *Kajian Teknologi Kapal dan Pola Pelayanan Pelayaran-rakyat sebagai Masukan untuk Pemberdayaan melalui Peningkatan Kualitas Pelayanan*, [Vol 2 No 2 Jurnal Teknologi dan Informasi \(JATI\) p-ISSN: 2088-2270, e-ISSN: 2655-6839](#) 61-67).
- [7] Marcus Tukan, (2015), *Seaport Dimensional Analysis Economic Growth In Archipelagic Regions*, Internasional Journal of Technology (IJTech) terindex SCOPUS, Volume 6 Issue 3.
- [8] Button, K.J, (1982), *Transport Economics*, London, Heinemann Educational Book Ltd p245
- [9] Todaro, Michael P, (2006), *Economic Development*, Seventh Edition, New York, Addition Wesley Longman, Inc.
- [10] Safuan, Budiandru, Budiandru, *Modus Kecurangan & Program Anti Kecurangan di Pelabuhan (Studi Kasus Pelabuhan di Jakarta)*. Modus Kecurangan & Program Anti Kecurangan di Pelabuhan (Studi Kasus Pelabuhan di Jakarta), 3 (2). pp. 1-12. ISSN 2548-9224
<https://doi.org/10.33395/owner.v3i2.131>
- [11] M. Tukan, Hozairi, P. Th. Berhitsu, (2023), *Transportasi Kepulauan Berbasis Ruang Untuk Mendukung Tol Laut*, Widina Bakti, Bandung, ISBN 978-623-459-405-8 cetakan I, p1, p123.
- [12] Zaini Miftach, Putu Pasek, (2018), *Analysis of Port Costs and Loading and Unloading Costs on Income PT. Abdi Nusantara Indonesia Line Branch of Gresik*, Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan, Volume 9, Nomer 1, p.53.

PEMETAAN POTENSI SPASIAL PERKEBUNAN CENKIH DALAM PENGOLAHAN MINYAK ATSIRI DI KEPULAUAN LEASE

Stevianus Titaley¹, Francois Lekransy², dan Margie Civitaria Siahay³

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: stevi_74@yahoo.com

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : lekransyf@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon, Ambon 97234

Email : margie.siahay@gmail.com

Abstrak. Tanaman cengkih merupakan salah satu tanaman *first nature* di kepulauan Maluku. Tanaman ini merupakan komoditi yang dapat didorong untuk pengembangan industri khususnya pengembangan *sub system industry* minyak atsiri. Kualitas minyak atsiri yang lebih tinggi didukung dengan kondisi tanah dan iklim yang cocok untuk pertumbuhan tanaman cengkih. Analisis potensi lahan tanaman cengkih sangat diperlukan bukan hanya sebagai informasi kebijakan perencanaan kawasan tetapi juga dapat menjadi informasi investasi di Kepulauan Lease, karena dengan adanya informasi potensi lahan, pola perubahan lahan, aksesibilitas dan potensi kapasitas produksi tanaman cengkih berdasarkan kerapatan vegetasi tanaman cengkih yang dapat menyediakan keseluruhan tanaman yang dapat digunakan untuk pengembangan lokasi wilayah bahan baku dan produksi industri minyak atsiri. Penelitian ini menggunakan tahapan metode antara lain identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan citra satelit, tutupan lahan diklasifikasi, analisis produksi tanaman cengkih dan tipologi wilayah, *overlay* potensi wilayah dengan citra satelit, pemetaan potensi dan distribusi penyebarannya pada setiap pulau. Dari tahapan metode ini ditemukan bahwa potensi yang dihasilkan minyak cengkih sebesar 220,8 ton/tahun. Jumlah ini dapat ditingkatkan jika melihat potensi lahan yang tersedia. Namun potensi yang ada tidak didukung dengan ketersediaan sarana-prasarana penunjang aktivitas agribisnis minyak cengkih yang masih rendah pada beberapa desa. Dengan menggunakan analisis skalogram untuk menentukan struktur pusat pelayanan menurut hirarki wilayah, maka diketahui bahwa area Saparua Kota (Hirarki III) telah memenuhi fungsi pelayanan lokal hanya memenuhi kebutuhan dalam lingkup kecamatan dan antar kecamatan, pada wilayah Hirarki IV dan V hanya dapat berfungsi sebagai penyedia bahan baku lokal.

Kata kunci: Cengkih, produksi bahan baku, minyak atsiri

Abstract. Clove plants are one of the *first nature* plants in Maluku Islands. This plant is a commodity that can be encouraged for industrial development, particularly the development of essential oil's subsystem industries. The high quality of essential oils is supported by soil and climatic conditions that are suitable for the growth of clove plants. Analysis of the potential of clove plant land is needed not only as information on regional planning policies but also as investment information in Lease Islands, due to the information on land potential, land change patterns, accessibility and potential production capacity of clove plants based on its vegetation density which can provide the entire crop that can be used for development of the location of the raw material area and production of the essential oil industry. This study applied stages of methods including problem identification, literature study, data collection, satellite image processing, classified land cover, analysis of clove crop production and regional typology, overlaying potential areas with satellite images, mapping potential and its distribution on each island. From the stages of this method, it was found that the potential produced by clove oil amounted to 220.8 tons/year. This number can be rise up considering the potential of available land. However, the existing potential is not supported by the availability of supporting facilities for clove oil agribusiness activities which is still low in

some villages. By applying scalogram analysis to determine the structure of service centers according to the regional hierarchy, it is known that the area of Saparua Kota (Hierarchy III) that has fulfilled the function of local services, only meeting the needs within the scope of sub-districts and between sub-districts, while in the Hierarchy IV and V areas can only function as providers of local raw materials.

Keywords: Cloves, raw material production, essential oils

1. PENDAHULUAN

Tanaman cengkih merupakan salah satu komoditi yang dapat didorong untuk pengembangan industri khususnya diarahkan untuk pengembangan *sub system industry* Minyak Atsiri. Komoditas ini merupakan tanaman endemik tetapi juga tanaman *first nature* di kepulauan Maluku. Secara kualitas tanaman yang merupakan *first nature* memiliki kualitas minyak atsiri yang lebih tinggi karena didukung dengan kondisi tanah dan iklim yang cocok untuk pertumbuhan tanaman cengkih. Tanaman ini tersebar merata di seluruh wilayah Maluku terutama beberapa pulau secara historis menjadi pusat aktivitas transaksi jual beli cengkih yaitu Kepulauan Lease. Potensi ini didukung karena dikelola oleh masyarakat secara turun temurun sehingga kondisi tanamannya terjaga dengan baik hingga kini dan masih menjadi salah satu penghasil bagi masyarakat di kepulauan Lease.

Potensi tanaman cengkih dan tanaman lain yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan *sub system industry* Produksi Minyak Atsiri dan merupakan tanaman *first nature* dengan persebaran secara merata dengan tingkat kepadatan yang berbeda pada ketiga pulau sehingga kepulauan Lease memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai wilayah pengembangan kawasan berbasis komoditas unggulan. Kebutuhan mendasar dalam kebijakan perencanaan pembangunan kawasan berbasis komoditas unggulan yaitu ketersediaan data potensi spasial kawasan. Ketersediaan data potensi spasial menjadi penting agar perencanaan suatu kawasan lebih berdasarkan keakuratan dan kelengkapan data yang didasarkan pada potensi rill kawasan tersebut. Ketersediaan data spasial secara rill dapat menggambarkan kondisi potensi kerapatan vegetasi tanaman cengkih, pola perubahan penggunaan lahan, potensi lahan dan aksesibilitas yang menjadi informasi dasar dalam pengembangan kawasan. Sedangkan ketersediaan data spasial secara akurat merupakan dasar perencanaan produksi tanaman cengkih baik luasan lahan, kapasitas produksi dan ketersediaan fasilitas maupun sarana prasarana penunjang pada seluruh kawasan perencanaan.

Sehingga pemetaan potensi sumber daya alam berbasis keunggulan kawasan menjadi kebutuhan mendasar dan *urgent* dalam penyediaan informasi dan data spasial di bidang pertanian berbasis kewilayahan.

Kebutuhan ketersediaan data dan informasi spasial secara rill, akurat dan lengkap yang dapat diupdate secara kontinyu untuk memenuhi informasi potensi wilayah dan kapasitas produksi untuk memenuhi tingkat kebutuhan permintaan pasar yang tinggi sehingga menjadi suatu keharusan untuk mengkaji dan memetakan potensi data dan informasi spasial kawasan kepulauan Lease dalam kebijakan perencanaan pembangunan kawasan berbasis komoditas unggulan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini yaitu Kerapatan Vegetasi (tutupan lahan); kerapatan tanaman cengkih dilihat dari jarak tanaman maupun tajuk daun, seperti jenis cengkih, jumlah rumpun, jumlah fase pertumbuhan dan luas lahan dan Potensi Spasial tanaman cengkih; Data yang diukur berdasarkan sifat spasial (keruangan) mengenai pola sebaran tanaman cengkih, pola penggunaan lahan, aksesibilitas dan tipologi wilayah produksi Minyak Atsiri.

2.2 Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian diperlukan metode analisis yang digunakan untuk mengelola dan mengorganisir data menjadi rumusan informasi yang dapat menjawab permasalahan yang ditemui. Dalam penelitian ini, terdapat tiga analisis yang akan dilakukan dengan metode analisis yang berbeda, yaitu analisis deskriptif kualitatif, Analisis spasial berbasis Citra Satelit Landsat.

Tabel 1. Metode penelitian

No	Tujuan Penelitian	Metode Analisis
1.	Mengklasifikasi Potensi Tutupan Lahan Tanaman Cengkih yang ada di kepulauan Lease	Analisis Deskriptif Kuantitatif Analisis <i>Threshold</i> Analisis <i>Overlay</i> <i>NDVI</i>
2	Menentukan Tipologi Wilayah Kecamatan	Analisis Deskriptif Kualitatif Analisis Skalogram
3	Memetakan Potensi Spasial Kapasitas Produksi Bahan Baku Antar Pulau	Analisis <i>overlay</i> Citra Satelit Analisis Komposisi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Potensi Cengkih

Keberadaan cengkih telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari perkembangan budaya masyarakat Maluku. Cengkeh telah melebur dalam kebiasaan masyarakat, bahkan dalam penentuan kewenangan lembaga adat [1]. Pola budi daya cengkeh Maluku masih melekat pada budidaya kearifan lokal, seperti pola tanam “dusung” dan sistem “sasi” yang diturunkan dari generasi ke generasi [2].

Di Maluku, cengkih umumnya diperdagangkan dalam bentuk bunga kering. Pengolahan minyak daun cengkih masih terbatas, padahal minyak dapat dihasilkan dengan menggunakan peralatan yang sederhana, seperti halnya penyulingan minyak kayu putih. Selain bunga cengkih, minyak daun cengkih dapat menjadi komoditas andalan Maluku, sebagai sumber pertumbuhan ekonomi dan pendapatan daerah. Tanaman cengkih dengan umur 6,5-8,5 tahun dapat menghasilkan bunga cengkih basah 3 kg/pohon/tahun dan daun cengkih gugur 26 kg/pohon/tahun atau 2,6 t/ha/tahun (populasi tanaman 100 pohon/ha). Berdasarkan hasil analisis proksimat, kandungan minyak pada bunga cengkih berkisar antara 10-20%, tangkai cengkih 5-10%, dan daun cengkih 1-4% [3]. Pemasaran minyak cengkih belum tertata dalam suatu sistem dan belum ada koperasi yang menanganinya. Petani menjual minyak cengkih yang dihasilkan ke pedagang pengumpul di desa atau di kota kecamatan. Selanjutnya pedagang pengumpul kecamatan menjual minyak cengkih ke pedagang di kota kabupaten atau provinsi. Sistem pemasaran seperti ini menyebabkan harga minyak cengkih di tingkat petani menjadi rendah. Transportasi merupakan kendala utama dalam pemasaran minyak cengkih di Maluku sehingga biaya usaha tani menjadi tinggi. Produktivitas cengkih rakyat di Maluku tergolong

rendah, hanya 0,42 t/ha [4]. Rata-rata produktivitas tanaman berkisar antara 40-60% dari potensi produksinya. Rendahnya produktivitas disebabkan petani menggunakan benih asalan serta tidak melakukan pemupukan maupun pengendalian organisme pengganggu tanaman.

3.2 Fasilitas-Fasilitas

Fasilitas Listrik dan Air

Kebutuhan Listrik di Kecamatan Saparua dari Tahun ke Tahun mengalami kenaikan. Pada tahun 2018 hampir seluruh pengguna listrik di kecamatan Saparua telah menggunakan listrik PLN yang persentasenya 96,27 persen, sedangkan 3,73 persen menggunakan listrik non PLN. Pada tahun 2017 hampir seluruh pengguna listrik di kecamatan Saparua Timur telah menggunakan listrik PLN yang persentasenya 99.13 persen, sedangkan 0.87 persen tidak menggunakan listrik. Saparua timur Kebutuhan Listrik di Kecamatan Saparua Timur dari tahun ke tahun mengalami kenaikan. Pada tahun 2017 hampir seluruh pengguna listrik di kecamatan Saparua Timur telah menggunakan listrik PLN yang persentasenya 99.13 persen, sedangkan 0.87 persen tidak menggunakan listrik.

Sumber Air minum sebagian besar penduduk di pulau saparua dari sumber mata air terlindung, sumur terlindung dan Sumur bor. Sebagian besar disetiap negeri memiliki sumber air minum dari Mata Air Terlindung. Negeri Saparua sumber Air Minum dari Sumur terlindung dan Negeri Nolloth sumber air minum dari Sumur Bor.

3.3 Jaringan Transportasi dan Komunikasi

Ketersediaan fasilitas transportasi banyak terkonsentrasi di Negeri Saparua yang merupakan Pusat Layanan Lokal Kecamatan yang bukan hanya menjadi tempat untuk para komuter dari kecamatan Saparua tetapi juga dari kecamatan Saparua Timur. Ketersediaan Pasar, Pertokoan dan Terminal menjadi salah satu daya Tarik bagi masyarakat di pulau Saparua untuk melakukan aktivitas ekonomi di Negeri Saparua. Berdasarkan data yang didapatkan dari BPS panjang jalan pada pulau Saparua sepanjang 105,5 yang jika dilihat dari jenis konstruksi terdiri dari Jalan Aspal sebesar 42% dan Jalan Hutan sebesar 48%.

Pulau Saparua telah memiliki Prasarana pelabuhan penyeberangan yang berlokasi di Negeri Kulur. Pelabuhan ini melayani pelayaran dari Pulau Seram, Pulau Ambon dan Pulau Nusalaut. Rute pelayaran yang dilayani oleh satu kapal Ferri yang mengangkut penumpang dan kendaraan dari Pelabuhan Tulehu hingga melayari ke pulau Nusalaut. Pelabuhan ini juga melayani angkutan

penumpang dan kendaraan yang berasal dari Pulau Seram.

Secara umum dalam Renstra Kabupaten Maluku Tengah untuk Pulau Saparua terdapat 3 (tiga) titik simpul wilayah pelayanan transportasi laut yaitu:

1. Pelabuhan Haria
2. Pelabuhan Tuhaha
3. Saparua merupakan titik simpul Pulau Saparua.

3.4 Pola dan Struktur Ruang

Pola Ruang

Pola Ruang Berdasarkan ketentuan RTRW Kab. Maluku Tengah, maka kawasan yang berfungsi lindung akan merupakan kawasan budidaya. Pulau Saparua dalam RTRW telah ditetapkan sebagai kawasan dengan fungsi kawasan budidaya khususnya untuk tanaman kelapa, cengkeh, pala dan kakao, durian dan rambutan.

Struktur Ruang

Rencana struktur ruang wilayah merupakan kerangka tata ruang wilayah yang tersusun atas konstelasi pusat-pusat kegiatan yang berhirarki satu sama lain yang dihubungkan oleh sistem jaringan prasarana transportasi. Negeri Saparua sebagai Pusat Kegiatan Lokal (PKL), yaitu kawasan perkotaan yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala kecamatan atau beberapa desa. Pengembangannya antara lain di sektor : perikanan tangkap, industri perikanan, pertanian dan perkebunan, sektor jasa kelautan (pelabuhan penumpang) dan wisata bahari.

Sedangkan Negeri Haria berfungsi sebagai Pusat Pelayanan Lingkungan (PPL), yaitu : pusat permukiman yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala antar desa. Arah fungsi untuk tiap kota hirarki pelayanan meliputi (B) : Pusat perdagangan, jasa dan pemasaran (G) : Pusat Kegiatan Pariwisata (C) : Pusat perhubungan dan komunikasi (D) : Pusat Produksi Pengolahan (E) : Pusat Pelayanan Sosial (Kesehatan, Pendidikan, dll).

3.5 Tutupan Lahan

Tutupan lahan sangat penting untuk perencanaan dan pengolahan permukaan bumi. Penutupan lahan berkaitan dengan jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi, sedangkan penggunaan lahan berkaitan pada bidang lahan tertentu [5].

Menurut Syahbana tutupan lahan merupakan perwujudan secara fisik (visual) dari vegetasi, benda alam, dan sensor budaya yang ada di permukaan bumi tanpa memperhatikan kegiatan manusia terhadap objek tersebut. Definisi tutupan lahan (*land cover*) ini sangat penting karena penggunaannya yang kerap disamakan dengan istilah penggunaan lahan (*land use*). Tutupan lahan dan penggunaan

lahan memiliki beberapa perbedaan mendasar. Menurut penjelasan, penggunaan lahan mengacu pada tujuan dari fungsi lahan, misalnya tempat rekreasi, habitat satwa liar atau pertanian sedangkan tutupan lahan mengacu pada kenampakan fisik permukaan bumi seperti badan air, bebatuan, lahan terbangun, dan lain-lain [6].

Berdasarkan hasil interpretasi visual dan pengetahuan analisis mengenai karakteristik distribusi tutupan lahan di Pulau Saparua, 7 (tujuh) kelas telah diidentifikasi sebagai tipe kelas akhir tutupan lahan, yaitu lahan terbangun, semak belukar, hutan tutupan sedang, kebun campuran, kebun Dominan, dan tanah terbuka. Data tutupan lahan pada area contoh dijadikan data pendukung karena berkaitan erat dengan proses dan hasil klasifikasi. Namun, pengumpulan data pada area contoh merupakan kegiatan yang memerlukan banyak waktu, tenaga, dan biaya. Penelitian ini menggunakan sampel secara acak berdasarkan area-area yang telah diketahui melalui *area of interest* (AOI) *tools* pada *software* Erdas Imagine 9.1 didukung dengan data lapang, peta penggunaan lahan, peta Google Earth dan citra satelit beresolusi tinggi. Distribusi piksel-piksel area contoh disebar secara merata pada area di Pulau Saparua.

Bagian utara tersebar semak belukar, hutan, kebun cengkih. dan bagian selatan kecenderungan hutan dan sedikit kebun cengkih dan kebun campuran dengan dominan cengkih. lahan terbangun yang merupakan wilayah perkembangan permukiman dan pusat pemerintahan yang sebagian besar berada pada daerah pesisir. Bagian timur wilayah pulau saparua kecenderungan sebagian besar merupakan hutan dan kecenderungan kebun campuran dengan dominan cengkih.

Pemanfaatan Peta Tutupan Lahan untuk Prediksi Produksi Cengkih

Berdasarkan persentase kelas tutupan lahan maka Kelas tutupan lahan terbesar yaitu semak belukar dengan persentase sekitar 43% dari total luas pulau saparua. Kelas tutupan lahan terbesar kedua yaitu hutan dengan perpohonan kepadatan sedang. Terbesar ketiga adalah tanaman cengkih dengan luas 456 ha atau sekitar 3% dari luas pulau saparua. Selanjutnya kelas tutupan lahan dengan persentase yang bervariasi yaitu Tanah terbuka di lapangan dapat berupa tanah terbuka, tanah lapang, dan kebun palawija yang baru dipanen. Luasan terbesar selanjutnya adalah tanah terbangun. Tanah terbangun dapat berupa permukiman, pasar, gudang, gedung, dan perkantoran. Kebun campuran, dan badan air berturut-turut merupakan kelas tutupan lahan terkecil yaitu 2%, dan 2.00%. Tutupan lahan

yang berpotensi dapat dijadikan lokasi perluasan kebun cengkih diantaranya adalah kebun campuran, tanah terbuka, hutan campuran, dan, semak/belukar. Potensi perluasan kebun cengkih terbesar terdapat pada daerah Itawaka, Noloth, Ulath dan Ouw yang memiliki sebagian besar hutan.

3.6 Analisis Potensi Minyak Cengkih Potensi Produksi

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Maluku Tengah tahun 2019, luas pertanaman cengkih rakyat mencapai 480 ha, yang diusahakan oleh 1.735 kepala keluarga dengan produksi 164,2 ton. Komposisi tanaman cengkih rakyat terdiri atas tanaman belum menghasilkan 294 ha (51%), tanaman menghasilkan 286 ha (49%). Walaupun luas area tanam cenderung meningkat setiap tahun, rata-rata setiap petani hanya memiliki lahan 0,80 ha dengan jumlah tanaman 80 pohon. Bahkan bila dikaji lebih dalam, seorang petani hanya memiliki lahan 0,56 ha dengan jumlah tanaman yang menghasilkan 56 pohon [7]

Produktivitas cengkih rakyat di Maluku tergolong rendah, hanya 0,42 t/ha [4]. Rata-rata produktivitas tanaman berkisar antara 40-60% dari potensi produksinya. Rendahnya produktivitas disebabkan petani menggunakan benih asal serta tidak melakukan pemupukan maupun pengendalian organisme pengganggu tanaman.

Musim pembungaan cengkih berfluktuasi setiap tahun. Produksi bunga basah per pohon pada genotipe Zanzibar mencapai 11 kg, Hibrida 8,5–51 kg, Ambon 18 kg, dan Siputih 6,5 kg/pohon. Cengkih hibrida memiliki beberapa sifat keunggulan dengan frekuensi berbunga lebih sering dan hasil bunga per pohon lebih tinggi dibandingkan dengan Zanzibar. Genotipe Ambon memiliki kualitas minyak tinggi. Genotipe Zanzibar memiliki kadar minyak tertinggi, yaitu 19–23%, sedangkan Hibrida 19–20%, dan Ambon 18–20% [8][9].

Bahan baku minyak daun cengkih adalah daun cengkih gugur karena selain nilai ekonominya rendah juga tidak merusak tanaman. Tanaman cengkih dengan umur 6,5-8,5 tahun dapat menghasilkan bunga cengkih basah 3 kg/pohon/tahun dan daun cengkih gugur 26 kg/pohon/tahun atau 2,6 t/ha/tahun (populasi tanaman 100 pohon/ha). Berdasarkan hasil analisis proksimat, kandungan minyak pada bunga cengkih berkisar antara 10-20%, tangkai cengkih 5-10%, dan daun cengkih 1-4% [3]. Menurut peneliti lain, produksi tanaman cengkeh berumur > 20 tahun dapat menghasilkan daun cengkeh gugur sekitar 0,96 kg/pohon/minggu, sedang cengkeh berusia < 20 tahun dapat menghasilkan daun cengkeh gugur sekitar 0,46 kg/pohon/minggu [10]. Menurut Balai

Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, jumlah daun yang gugur dari tanaman cengkih umur lebih dari 10 tahun mencapai 0,5 kg/pohon/minggu dengan rendemen minyak 2%. Dengan rata-rata penutupan tajuk (kanopi) 60% dan populasi tanaman 100 pohon/ha (polikultur), pengolahan minyak daun cengkih akan menjadi peluang usaha yang menguntungkan. Dengan potensi luas areal tanam cengkeh di pulau saparua mencapai 460 ha dengan produksi daun cengkeh gugur 5.520 ton/tahun dengan rendemen 1 - 4% sekitar 220,8 ton minyak/tahun.

Ketersediaan Teknologi

Teknologi budi daya dan pasca panen cengkih telah banyak dihasilkan Badan Litbang Pertanian. Minyak daun cengkih diperoleh dari hasil distilasi uap daun cengkih yang sudah gugur. Komposisi minyak yang dihasilkan bergantung pada kondisi daun dan cara distilasinya. Kandungan eugenol berkisar antara 80–88%. Daun cengkih gugur yang mengering secara alami kemudian terkena air hujan dan kembali kering tidak lagi beraroma wangi cengkih dengan rendemen minyak rata-rata 1,3% [11]. Daun cengkih gugur yang mengering secara alami tanpa terbasahi hujan dan masih berbau harum cengkih memiliki rendemen minyak rata-rata 3,6%. Penyulingan daun cengkih dengan kadar air 7–12% dalam tangki stainless steel volume 100 liter selama delapan jam [12]. Cara penyulingan tersebut menghasilkan minyak dengan rendemen 3,5% dan total eugenol 76,8%. Penyulingan minyak daun cengkih dengan tekanan uap 1,6 kg/cm² menghasilkan rendemen 3,56% [13]. Makin lama waktu penyulingan, kadar eugenol dalam minyak daun cengkih makin menurun [14][3].

Di Pulau saparua tersedia teknologi penyulingan daun cengkih, petani melakukan penyulingan minyak daun cengkih dengan menggunakan peralatan dan teknologi yang sederhana, seperti halnya penyulingan minyak kayu putih. Namun proses penyulingan merupakan kepemilikan pribadi sehingga terkendala dengan penyediaan bahan baku dan biaya pengangkutan. Minyak cengkih yang dihasilkan melalui proses penyulingan (distilasi uap) daun dan atau tangkai bunga. Peralatan untuk menyuling berupa ketel (tangki) dari besi kapasitas 500 kg dengan tekanan uap ± 2 kg/cm² dengan bahan bakar kayu atau minyak tanah. Waktu yang diperlukan dalam setiap penyulingan berkisar antara 10–24/jam dengan kebutuhan minyak tanah 10 liter/jam. Uap yang keluar dari tangki pemasakan dialirkan melalui pipa yang melewati bak pendingin. Cairan yang keluar, yaitu minyak yang bercampur air, ditampung kemudian dipisahkan dengan

menggunakan corong pemisah. Minyak yang dihasilkan berupa minyak daun cengkih kasar dengan rendemen 2%. Minyak berwarna hitam kecoklatan sehingga nilai jualnya rendah.

Pemasaran minyak cengkih belum tertata dalam suatu sistem dan belum ada koperasi yang menanganinya. Petani menjual minyak cengkih yang dihasilkan ke pedagang pengumpul di desa atau di kota kecamatan. Selanjutnya pedagang pengumpul kecamatan menjual minyak cengkih ke pedagang di kota kabupaten atau provinsi. Sistem pemasaran seperti ini menyebabkan harga minyak cengkih tingkat petani menjadi rendah. Transportasi merupakan kendala utama dalam pemasaran minyak cengkih di Maluku sehingga biaya usaha tani menjadi tinggi.

Rendahnya produktivitas disebabkan petani menggunakan benih asalan serta tidak melakukan pemupukan maupun pengendalian organisme pengganggu tanaman. Bahan baku minyak daun cengkih adalah daun cengkih gugur karena selain nilai ekonominya rendah juga tidak merusak tanaman.

Perhitungan Nilai tambah minyak cengkeh dari tiap satuan produk (botol) yang dihasilkan menurut menunjukkan bahwa rasio nilai tambah serta keuntungan yang diperoleh dari usaha minyak cengkeh [15]. Dari aspek keuntungan yang diperoleh, nilai keuntungan tiap produk minyak cengkeh yang dihasilkan (botol) berkisar Rp.1.400,- sampai dengan Rp.1.700,-.

3.7 Hierarki Wilayah Berdasarkan Analisis

Skalogram

Penentuan hirarki didasarkan atas tingkat perkembangan dan kapasitas pelayanan yang dapat disediakan oleh suatu wilayah. Tingkat hirarki ini penting dalam penentuan kapasitas suatu wilayah, apakah suatu wilayah merupakan wilayah pusat/inti atau wilayah *hinterland*. Hasil analisis skalogram akan menentukan struktur pusat pelayanan menurut hirarki wilayah.

Konsep wilayah nodal menjadi penting karena pada dasarnya pembangunan bertujuan untuk mendorong wilayah pusat untuk menyediakan berbagai fasilitas sehingga mampu mendorong perkembangan wilayah-wilayah di sekitarnya (*hinterland*).

Ketersediaan sarana dan prasarana serta fasilitas pelayanan yang memadai pada setiap desa yang ada di pulau saparua secara spasial agar ditemukan desa sebagai pusat pengembangan dan desa yang menjadi sumber daya yang akan menopang ketersediaan sumber bahan baku produksi minyak atsiri cengkih.

Hasil analisis skalogram menunjukkan teridentifikasinya desa-desa pusat pelayanan di Hirarki III karena ketersediaan sarana dan prasarana serta fasilitas pelayanannya lebih tinggi dan lengkap serta lebih memadai daripada desa-desa dengan hirarki yang lebih rendah (hirarki IV), terutama sarana dasar yang dapat tersedia untuk menunjang produksi minyak atsiri. Umumnya, desa-desa yang berhirarki lebih rendah memiliki tingkat aksesibilitas relatif lebih sulit mencapai kebun cengkih karena lokasi kebun yang berada pada daerah pegunungan dengan tingkat kemiringan yang cukup tinggi. Aksesibilitas untuk menuju desa-desa dengan tingkat hirarki yang lebih tinggi cukup lancar. Berdasarkan rangkaian hasil analisis tipologi wilayah desa-desa di kecamatan Saparua dan Saparua Timur, tipologi III merupakan sentra kebun cengkih yang relatif berkembang dengan kondisi infrastruktur dasar penunjang pendidikan serta kapasitas sumberdaya manusia yang baik serta memiliki fasilitas pengolahan minyak atsiri (Negeri Saparua). Tipologi V berbasis tanaman pangan dengan tingkat kepadatan sedang dan tingkat kesejahteraan yang paling rendah.

Tingkat perkembangan desa-desa di kecamatan Saparua dan Saparua Timur ditentukan dengan metode skalogram dimodifikasi dan dicerminkan oleh nilai Indeks Perkembangan Desa (IPD). Umumnya, semakin tinggi nilai IPD, semakin tinggi pula kapasitas pelayanan suatu desa dan tingkat perkembangannya.

Sebaliknya, semakin rendah nilai IPD berarti semakin rendah kapasitas pelayanan suatu desa dan tingkat perkembangannya. Nilai IPD yang dihasilkan berada pada kisaran 101.76 sampai 7.13. Nilai IPD tertinggi dimiliki oleh desa dengan hirarki/orde pertama, yaitu Negeri Saparua dan Negeri Haria. Sedangkan nilai IPD terkecil dimiliki oleh desa dengan hirarki/orde ketiga, yakni Negeri Itawaka, Negeri Booi.

Berdasarkan hasil perhitungan skalogram, nilai IPD seluruh desa yang tersebar di dua kecamatan dikelompokkan ke dalam tiga hirarki pusat pelayanan sebagai berikut:

1) Tingkat hirarki III (tinggi) merupakan wilayah desa-desa dengan tingkat perkembangan tinggi. Terdapat tiga Negeri yang termasuk dalam hirarki I dari seluruh jumlah desa yang ada di Pulau Saparua, yakni dua negeri di Kecamatan Saparua dan 1 negeri di Kecamatan Saparua Timur. Negeri-negeri dengan hirarki I umumnya memiliki ketersediaan sarana dan prasarana serta fasilitas pelayanan yang lebih tinggi, lebih lengkap, dan tentunya lebih memadai daripada desa-desa dengan hirarki yang lebih rendah (hirarki III), terutama dalam aspek:

- a. Sarana pendidikan, meliputi bangunan sekolah SD, SLTP, dan SLTA
- b. Sarana kesehatan, meliputi fasilitas pengobatan (rumah sakit, poliklinik, praktek dokter, praktek bidan, dan puskesmas), fasilitas penyedia obat (apotik dan toko obat), serta tenaga medis (dokter, bidan, dan paramedis)
- c. Aksesibilitas masing-masing wilayah Negeri dari kebun cengkik ke pusat pelayanan maupun terhadap pusat pemerintahan relatif dekat dan lancar
- d. Ketersediaan prasarana dasar PLN. Telekomunikasi
- e. Ketersediaan alat pengolahan Minyak Atsiri
- f. Ketersediaan bahan baku sedang

2) Tingkat hirarki IV (sedang) merupakan wilayah desa-desa dengan tingkat perkembangan sedang. Terdapat 2 desa yaitu Negeri Nolloth dan Ihamahu. Desa-desa yang termasuk dalam tingkat hirarki ini memiliki IPD antara 50.22-27.31 (rata-rata 34.74). Adapun wilayah desa-desa dengan tingkat hirarki IV mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Ketersediaan sarana dan prasarana di wilayah tersebut lebih sedikit dari hirarki III
- b. Umumnya letaknya berada di pinggir wilayah berhirarki III dengan tingkat kehidupan yang relatif kurang maju dibandingkan dengan wilayah di hirarki III
- c. Ketersediaan Bahan baku sedang

3) Tingkat hirarki V (rendah) merupakan wilayah desa-desa dengan tingkat perkembangan rendah. Terdapat 7 desa (Negeri Ouw, Ulath, Siri Sori, Siri Sori Amalatu, Kulur, Mahu, Booii dan Paperu). Desa-desa yang termasuk dalam tingkat hirarki ini memiliki IPD antara 26.83-7.13 (rata-rata 20.88). Desa-desa pada tingkat hirarki III pada umumnya memiliki tingkat kehidupan yang relatif kurang maju dibandingkan dengan desa-desa yang termasuk ke dalam tingkat hirarki yang lebih tinggi. Adapun wilayah desa-desa dengan tingkat hirarki V mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Ketersediaan sarana dan prasarana di desa-desa tersebut relatif kurang
- b. Ketersediaan bahan cukup besar

Pada dasarnya, untuk fasilitas-fasilitas tertentu dengan kapasitas pemenuhan kebutuhan yang lebih kompleks, desa-desa dengan tingkat hirarki yang lebih rendah masih harus mengaksesnya di desa-desa dengan tingkat hirarki yang lebih tinggi. Oleh karena itu, umumnya letak desa-desa yang berhirarki lebih rendah berlokasi di sekitar atau pinggir desa-desa dengan tingkat hirarki yang lebih tinggi.

3.8 Sentralitas Kecamatan di Kepulauan Lease

Wilayah pulau Saparua dengan total luas wilayah 359.121 km² (BPS Kabupaten Maluku Tengah 2018). Hasil analisis skalogram diketahui indeks sentralitas kedua kecamatan di pulau saparua berada pada hirarki III dan IV. Hal ini selaras dengan hasil analisis sentralitas terhadap kecamatan saparua dan saparua timur dalam lingkup kabupaten Maluku tengah. Dengan hirarki ini artinya saparua masih sebagai Kota dengan Fungsi Pelayanan Lokal.

4. KESIMPULAN

Dengan luas berdasarkan hasil *overlay* maka didapatkan potensi minyak cengkik sebesar 220,8 ton/tahun. Jumlah ini dapat ditingkatkan jika melihat potensi lahan yang tersedia (lahan terbuka dan semak belukar) yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi lahan perkebunan cengkik. Namun jika dilihat dari ketersediaan sarana prasarana yang dapat menunjang aktivitas agrobisnis minyak cengkik dapat dikatakan masih rendah karena tingkat hirarki masing-masing desa masih berada pada Hirarki III, IV dan V. Desa dengan hirarki III yaitu Saparua memang telah memenuhi Kota sebagai Fungsi Pelayanan Lokal hanya dapat memenuhi kebutuhan dalam lingkup kecamatan dan antar kecamatan. Negeri dengan hirarki IV dan V hanya dapat berfungsi sebagai penyedia bahan baku lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putuhena, S.S., Pide, A.S.M. dan Nur, S.S. (2011). Kewenangan Lembaga Adat dalam Penyelesaian Sengketa Pada Masyarakat Hukum Adat Maluku Tengah. Makassar.
- [2] Marasabessy, D.A. (2015). Kearifan Lokal Pengelolaan Budidaya Cengkeh (*Syzygium Aromaticum*) di Kecamatan Leihitu Barat dan Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah. Jurnal Makila IX (1): 124-132
- [3] Nurdjannah, N. (2004). Diversifikasi Penggunaan Cengkeh. Perspektif, Jurnal Penelitian Taman Industri 3(2): 18-26
- [4] Ditjenbun (Direktorat Jenderal Perkebunan) 2009. Statistik Perkebunan Indonesia 2008 – 2010. Cengkeh Ditjenbun, Jakarta 40 hlm.
- [5] Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer, (2006). *Remote sensing and image interpretation* (5th ed.). John Wiley and Sons. Lindgren, D. T., 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*. United States of America: Springer Verlag.

- [6] F. N. Rochim, and J. A. Syahbana, (2013). "Penetapan Fungsi dan Kesesuaian Vegetasi pada Taman Publik sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Pekalongan (Studi Kasus: Taman Monumen 45 Kota Pekalongan)," *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, vol. 2, no. 3, pp. 314-327. [Online].
- [7] Bustaman, S. (2011). Potensi Pengembangan Minyak Daun Cengkeh Sebagai Komoditas Ekspor Maluku. *Jurnal Litbang Pertanian* 30(4): 132 – 139.
- [8] Kemala, S. (2004). Status Tanaman, Produksi dan Penggunaan Cengkeh. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 10(2): 59 – 65.
- [9] Barmawie, N. Dan S. Wahyuni, (2007). Keragaman Potensi Hasil dan Mutu Beberapa Genotipe Cengkeh. 111 – 116. Prosiding Seminar Nasional Rempah, 21 Agustus 2007. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor.
- [10] Somantri, L. (2005). Keunggulan Bali Sebagai Daerah Tujuan Wisata Andalan Indonesia. *Universitas Gajah Mada*, Yogyakarta.
- [11] Rukka, E.A.W. (2010). Cengkeh (*Syzygium Aromaticum*). <http://management01.wordpress.com/2010/10/29/mengenaltanamancengkeh>. [7 Januari 2011].
- [12] Nurdjannah, N., S. Hardja, dan Mirna, (1993). *Distillation Method Influence the Yield and Quality of Clove Leaf oil. Industrial Crops Res. J.* 3(2): 61 – 70.
- [13] Somantri, A.S., U.N. Rambitan, D. Sumangat, dan N. Nurdjannah, (2004). Analisis Sistem Perencanaan Model Pengembangan Agroindustri Minyak Daun Cengkeh Studi Kasus di Sulawesi Utara. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat* 14(1): 1 – 18.
- [14] Nurdjannah, N., S. Rusli, dan A. Vianna. (1990). Pengaruh Bobot dan Mutu Penyulingan Tangkai Cengkeh Terhadap Mutu dan Rendaman minyak yang dihasilkan. *Pemberitaan Penelitian Tanaman Industri* 15(4): 153 – 157.
- [15] Kardinan, A. (1999). Prospek Minyak Daun *Malenca Bracteata* Sebagai Pengendali Populasi Hama Lalat Buah (*Bractocera Dorsalis*) di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 18(1): 10 – 16.

IDENTIFIKASI KRITERIA PRASYARAT *GREEN BUILDING* PADA GEDUNG LABORATORIUM TERPADU PENDUKUNG BLOK MASELASusiana A. Tehuayo¹, C. G. Buyang², dan, Fauzan A. Sangadji³^{1,2,3} Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233¹Email: susianatehuayo@gmail.com ²Email: cg.buyang@fatek.unpatti.ac.id³Email: fauzan.sangadji@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak. Permasalahan lingkungan khususnya pemanasan global menjadi topik permasalahan yang mencuat akhir-akhir ini. Oleh karena itu perlu adanya pembangunan dengan berkonsep *green building* yang dapat mengurangi atau menghilangkan dampak negatif terhadap lingkungan, dengan menggunakan lebih sedikit air, energi atau sumber daya alam, serta memiliki dampak positif terhadap lingkungan dengan menghasilkan energi sendiri. Pada gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon dirancang dengan menggunakan konsep *green building* sehingga perlu adanya identifikasi secara menyeluruh untuk memaksimalkan persentase penerapannya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi apakah gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon sesuai dengan kriteria prasyarat yang ditentukan *green building council* Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif yang didapat melalui pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer berupa observasi lapangan, pengukuran dan wawancara, serta melakukan analisis data dengan menggunakan *check list*, sementara data sekunder berupa pengumpulan data site plan beserta data-data lain yang tidak ditemukan pada pengambilan data primer. Setelah dilakukan penelitian, hasil akhir menunjukkan bahwa gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon memenuhi 6 (enam) prasyarat kelayakan bangunan diantaranya, tersedia luasan gedung sebesar 12.200 m², adanya kepemilikan rencana upaya pengelolaan lingkungan atau upaya pemantauan lingkungan hidup, fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan rencana tata ruang tata wilayah setempat, kesesuaian gedung sesuai dengan standar keselamatan untuk kebakaran, kesesuaian gedung sesuai dengan standar aksesibilitas difabel dan kesesuaian gedung sesuai standarisasi bangunan tahan gempa.

Kata kunci: Pemanasan global, *green building*, Laboratorium Terpadu.

Abstract. Environmental problems, especially global warming, have become a topic of problems that have emerged lately. Therefore, it is necessary to develop a green building concept that can reduce or eliminate negative impacts on the environment, by using less water, energy or natural resources, and having a positive impact on the environment by producing its own energy. The Masela Block Support Integrated Laboratory building of Pattimura University Ambon is designed using the concept of green building so that there needs to be a comprehensive identification to maximize the percentage of its application. The purpose of this study is to identify whether the Masela Block Support Integrated Laboratory building of Pattimura University Ambon is in accordance with the prerequisite criteria determined by the Green Building Council Indonesia. The method used in this study is descriptive analysis obtained through primary and secondary data collection. Primary data is in the form of field observations, measurements and interviews, as well as conducting data analysis using a check list, while secondary data is in the form of collecting site plan data along with other data not found in primary data collection. After conducting research, the final results showed that the Masela Block Support Integrated Laboratory building of Pattimura University Ambon met 6 (six) building feasibility prerequisites including, a building area of 12,200 m² available, the ownership of environmental

management efforts plans or environmental monitoring efforts, the function of the building in accordance with the land designation based on the local spatial plan, the suitability of the building in accordance with safety standards for fire, the suitability of the building in accordance with Disability Accessibility Standards and Building Conformity According to Earthquake-Resistant Building Standards.

Keywords: Global warming, green building, Integrated Laboratory.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan sebuah gedung berdampak besar terhadap lingkungan hidup. Hal ini karena bangunan adalah entitas besar yang dimana konsekuensi dari proses pembangunan sebuah gedung adalah penggunaan sumber daya alam dan energi serta dihasilkannya limbah yang dapat mengganggu harmonisasi alam. Bangunan gedung adalah wujud nyata fisik hasil konstruksi yang berada diatas tanah atau air yang berfungsi sebagai tempat tinggal atau tempat manusia melakukan segala kegiatan.

Pada era milenial ini permasalahan lingkungan merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi hampir di seluruh negara di dunia, dan pemanasan global menjadi problem utama yang sudah sangat gencar dikemukakan para ahli lingkungan akhir-akhir ini. Pemanasan global adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata dilapisan atmosfer, laut, dan daratan di permukaan bumi. Salah satu penyebab dari pemanasan global yaitu adanya efek rumah kaca. Yang dimana efek rumah kaca adalah karbon dioksida atau CO² yang dihasilkan oleh kegiatan di bumi ini seperti pernafasan dan hasil pembakaran bahan bakar menyelubungi bumi. Karena kadarnya sudah berlebihan maka CO² seolah seperti kaca yang menutup permukaan bumi [1][2].

Dalam menjaga keselamatan lingkungan dari adanya pemanasan global, maka penerapan konsep *Green Building* harus mulai dilakukan di Indonesia. Menurut *Green Building Council* Indonesia (GBCI), konsep *Green Building* adalah bangunan yang dimana di dalam perencanaan, pembangunan, pengoperasian serta dalam pemeliharannya memperhatikan aspek-aspek dalam melindungi, menghemat, mengurangi penggunaan sumber daya alam, menjaga mutu baik bangunan maupun mutu dari kualitas udara di dalam ruangan, dan memperhatikan penghuninya yang semuanya berdasarkan kaidah pembangunan berkelanjutan [6][7][9].

Maluku merupakan provinsi dengan potensi Blok Masela yang diklaim sebagai ladang gas alam

terbesar di dunia. Oleh karena itu adanya pembangunan laboratorium terpadu pendukung blok masela yang bertempat di area kampus universitas pattimura ambon. Laboratorium ini merupakan bangunan baru bertingkat, namun secara umum sampai saat ini gedung-gedung yang ada pada area kampus universitas pattimura ambon belum sepenuhnya berkonsep *Green Building*.

Sehubung dengan gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela universitas pattimura merupakan bangunan baru maka perlu adanya upaya untuk menjaga keselamatan dari efek rumah kaca pada bangunan laboratorium, maka konsep bangunan dengan tema lingkungan hidup / *green building* mulai diterapkan [1][9]. Salah satu upaya penghematan energi yaitu dengan penerapan prinsip *green building* pada bangunan yang dimana bangunan ini akan dirancang, dibangun, dan dioperasikan secara hemat energi, untuk meminimalkan biaya operasi dan dampak negatif lingkungan [1].

Gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela universitas pattimura ini merupakan bangunan berlantai 4 dengan 47 ruangan yang terdiri 36 ruang laboratorium, 5 ruang Prefuktion, 1 ruang IT Center, 2 ruang kantor dan 3 ruang kuliah. Luas total keseluruhan bangunan yaitu 12.200 m² yang dimana total luasan lantai 1 sebesar 2.600 m², lantai 2 sebesar 2.200 m², lantai 3 sebesar 2.200 m², lantai 4 sebesar 2.600 m² dan atap sebesar 2.600 m² serta tinggi bangunan laboratorium yaitu 16 meter.

Dari total luasan laboratorium dapat diketahui sudah memenuhi salah satu kelayakan / kesesuaian yang ditetapkan oleh *green building council* Indonesia untuk bangunan baru, oleh karena itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kesesuaian kriteria prasyarat green building dengan memperhatikan tolak ukur *greenship* yang ditetapkan pada gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela universitas pattimura ambon [11].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon yang berlokasi di Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kota Ambon, Maluku. Penelitian ini berlangsung pada bulan Juni – Desember 2022.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2. Variabel Penelitian

Berdasarkan variabel penelitian yang didapat dari Greenship New Building versi 1.2, GBCI, diperoleh tujuh kriteria prasyarat sebagai berikut [3].

- Minimum luas gedung adalah 2500 m².
- Ketersediaan data gedung untuk diakses GBCI.
- Fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan RT/RW setempat.
- Kepemilikan AMDAL / UKL / UPL.
- Kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran.
- Kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel.
- Kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa.

2.3. Data Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dan primer pada proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon. Data primer didapat langsung dari melakukan observasi, wawancara, serta adanya daftar check list. Sedangkan data sekunder merupakan data yang tidak didapatkan pada saat pengambilan data primer yang berupa site plan dan juga peraturan-peraturan yang berkaitan dengan kriteria prasyarat *green building* gedung [10]. Sehingga data yang didapat adalah sebagai berikut:

1. *Site plan*.
2. Dokumen rencana tata ruang tata wilayah setempat, Dokumen mengenai analisis dampak lingkungan dengan adanya upaya

pengelolaan lingkungan atau upaya pemantauan lingkungan hidup.

3. Kelengkapan daftar check list dari variabel penelitian.

2.4. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur dilakukan dengan mencari referensi jurnal, skripsi atau penelitian terdahulu, buku, dan artikel yang berkaitan dengan penerapan *green building* pada bangunan baru, sebagai berikut:

- Pedoman pemeriksaan keselamatan bangunan gedung
- Peraturan daerah kota Ambon tentang rencana tata ruang wilayah
- Penilaian kriteria *green building* pada fakultas teknik Universitas Pattimura Ambon
- Permen PUPR tentang kemudahan bangunan gedung
- Permen PUPR tentang persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan

2. Pengumpulan data

Data yang akan dibutuhkan pada penelitian ini merupakan *site plan*, dokumen pendukung kriteria prasyarat *green building*, dan juga kelengkapan daftar check list Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon.

3. Analisis data

Setelah data-data proyek yang dibutuhkan sudah terkumpul, tahap selanjutnya yaitu menganalisis data sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan pada *green building* bangunan baru. Adapun analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Tahapan pertama yang dilakukan adalah melakukan pengisian daftar check list dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di gedung laboratorium
- b. Setelah proses pengisian daftar check list dari variabel penelitian selesai untuk mengetahui kriteria apa saja yang di terapkan pada gedung laboratorium terpadu
- c. Tinjau dokumen yang didapat dari pihak pengelola gedung dan juga site plan untuk mengetahui apakah masuk pada kriteria yang di terapkan pada gedung laboratorium menurut *green building*
4. Hasil dan Pembahasan

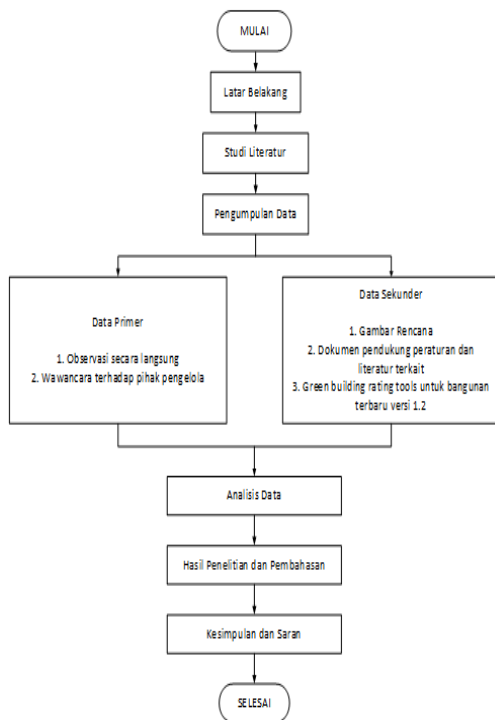
Jika kegiatan penelitian di atas telah dilakukan sesuai dengan tahapan yang ada, maka hasil penelitian dapat disampaikan dan dijelaskan secara detail.

5. Kesimpulan dan Saran

Setelah hasil penelitian dapat diketahui, maka dilakukan kesimpulan terhadap hasil analisa yang dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon. 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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran Umum Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela

Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon ini berlokasi di Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kota Ambon, Maluku. Bangunan gedung ini termasuk dalam kategori bangunan baru (*new building*) karena telah berdiri baru dalam jangka waktu kurang dari 1 tahun. Gedung ini terdiri dari 4 lantai dengan luas bangunan 12.200 m².

3.2. Syarat Kelayakan Bangunan

Syarat kelayakan bangunan sebuah gedung harus memenuhi kelayakan sebelum dilakukan proses penilaian. kelayakan ini ditetapkan didalam greenship untuk gedung terbangun berdasarkan pada undang-undang maupun peraturan yang telah ditetapkan oleh pemerintah yang harus dipenuhi tersebut antara lain:

1. Minimum luas gedung adalah 2500 m²

Berikut ini adalah luasan gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela universitas:

Tabel 1. Luasan gedung laboratorium

	Luas per lantai
Lantai 1	2.600 m ²
Lantai 2	2.200 m ²
Lantai 3	2.200 m ²
Lantai 4	2.600 m ²
Atap	2.600 m ²
Total	12.200 m²

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

2. Ketersediaan data gedung diakses oleh GBCI

Gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela belum memenuhi kriteria ini dikarenakan penelitian gedung hanya dilakukan sebatas penelitian tidak untuk dilakukan sertifikasi Green Building secara resmi.

3. Kepemilikan AMDAL / UKL / UPL

Berdasarkan keputusan Walikota Ambon no 883 Tahun 2019 tentang kelayakan lingkungan hidup atas operasional kegiatan universitas pattimura – kampus poka memutuskan dan menetapkan bahwa operasional kegiatan universitas pattimura – kampus poka layak ditinjau dari aspek lingkungan hidup [12].”

3.3. Kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran

Tinjauan untuk standarisasi keselamatan untuk kebakaran menggunakan acuan dari Pd-T-11-2005-C tentang pemeriksaan keselamatan bangunan gedung dan juga acuan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No:26/PRT/M/2017 sebagai berikut [4].

1. Komponen kelengkapan tapak

Berdasarkan Tabel 2 pada komponen kelengkapan tapak terdapat satu sumber air yang berupa sumur bor, tersedia jalan lingkungan seluas 5.3 m untuk memudahkan operasi ketika terjadi kebakaran, tersedia jalan lingkungan atau jarak

antar gedung laboratorium dengan gedung yang lain dari sisi kiri dan sisi depan kurang lebih 50 m dan terdapat 5 hidran pada halaman gedung laboratorium.

Tabel 2. Komponen kelengkapan tapak

No	Komponen kelengkapan tapak	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Sumber air	√	
2	Jalan lingkungan	√	
3	Jarak antar lingkungan	√	
4	Hidran Halaman	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

2. Sarana penyelamatan

Berdasarkan Tabel 3 pada sarana penyelamatan terdapat jalan keluar yang menuju langsung ke daerah terbuka jika sewaktu-waktu terjadi kebakaran, adanya konstruksi jalan keluar berupa tangga dan tidak tersedianya landasan helikopter pada gedung laboratorium terpadu.

Tabel 3. Sarana penyelamatan

No	Sarana penyelamatan	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Jalan keluar	√	
2	Konstruksi jalan keluar	√	
3	Landasan helikopter		√

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

3. Proteksi aktif

Tabel 4. Proteksi aktif

No	Proteksi aktif	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Deteksi dan alarm	√	
2	Seames connection	√	
3	Apar	√	
4	Hidran gedung	√	
5	Sprinkler	√	
6	Sistem pemadam luapan	√	
7	Pengendali asap		√
8	Deteksi asap	√	
9	Pembuang asap		√
10	Lift kebakaran		√
11	Cahaya darurat dan petunjuk arah	√	
12	Listrik darurat		√
13	Ruang pengendali operasi	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

Berdasarkan tabel diatas pada proteksi aktif gedung laboratorium tersedia sistem deteksi dan alarm sebanyak 4 pada tiap-tiap lantai gedung laboratorium, 2 seames connection, 4 apar pada masing-masing lantai, 16 hidran gedung, 146 buah sprinkler, adanya pemadam luapan, 147 unit deteksi asap, 30 unit cahaya darurat dan petunjuk arah, ruang pengendali operasi dan pada gedung laboratorium tidak tersedia lift kebakaran serta pembuang asap.

3.4. Proteksi pasif

1. Ketahanan api struktur bangunan

Pada gedung laboratorium terpadu struktur bangunan sudah sesuai untuk tahan api.

2. Kompartemenisasi ruang

Pada gedung laboratorium kompartemenisasi ruang berupa tembok yang memisahkan antara satu ruang dan ruang lainnya, serta dilengkapi sprinkler pada tiap lantai gedung laboratorium. Jalan lingkungan dengan lebar 5.3 m cukup untuk akses mobil pemadam masuk ke lokasi.

3. Perlindungan bukaan

Dalam bangunan gedung ini tidak ditemukan perlindungan bukaan yang dapat menyetop api ketika kebakaran. Perlindungan bukaan ini seperti pintu yang dapat menyetop api sewaktu-waktu terjadi kebakaran.

4. Kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel

Diatur dengan PERMEN PUPR NO 14/PTR/M/2017 tentang persyaratan kemudahan bangunan gedung sebagai berikut [4].

a. Kelengkapan pada pintu

Tabel 5. Kelengkapan pintu

No	Kelengkapan pintu	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Lebar efektif bukaan 80 cm	√	
2	Tuas pegangan pintu	√	
3	Tinggi pegangan pintu 100 cm	√	
4	Ruang bebas di depan pintu	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

Berdasarkan tabel diatas pada kelengkapan pintu gedung laboratorium tersedia lebar bukaan sebesar 80 cm, dengan tipe tuas pada pegangan pintu, memiliki tinggi pegangan pintu 100 cm dari permukaan lantai dan adanya ruang bebas di depan pintu.

b. Kelengkapan pada koridor

Berdasarkan Tabel 6 pada kelengkapan koridor tersedia lebar efektif sebesar 285 cm yang dapat

digunakan oleh 2 pengguna kursi roda, dan juga memiliki petunjuk arah pada gedung laboratorium.

Tabel 6. Kelengkapan koridor

No	Kelengkapan koridor	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Lebar efektif 285 cm	√	
2	Petunjuk arah	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

c. Kelengkapan pada tangga

Berdasarkan tabel dibawah pada kelengkapan tangga gedung laboratorium memiliki tinggi anak tangga 18 cm, lebar anak tangga 11 cm, terdapat pegangan rambat yang memiliki jarak antar pegangan 8 cm, dan adanya handrail tangga serta baluster pada tangga.

Tabel 7. Kelengkapan tangga

No	Kelengkapan tangga	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Tinggi anak tangga 18 cm	√	
2	Lebar anak tangga 11 cm	√	
3	Pegangan rambat	√	
4	Jarak pegangan rambat 8 cm	√	
5	Handrail tangga	√	
6	Baluster tangga	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

d. Kelengkapan pada lift

Tabel 8. Kelengkapan lift

No	Kelengkapan lift	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Ruang efektif dalam lift	√	
2	Handrail	√	
3	Pencahayaan lift	√	
4	Tombol pemilih lantai	√	
5	Tombol braille	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

Berdasarkan tabel diatas pada kelengkapan lift gedung laboratorium tersedia ruang efektif dalam lift, handrail, pencahayaan, tombol pemilih lantai dan juga tersedia tombol braille yang bisa digunakan bagi penyandang disabilitas.

e. Kelengkapan pada toilet

Berdasarkan tabel diatas pada kelengkapan toilet gedung laboratorium tersedia toilet duduk yang dilengkapi dengan penanda toilet, memiliki tekstur

lantai yang tidak licin, luasan toilet sebesar 210 cm x 190 cm, daun pintu yang membuka ke arah dalam serta memiliki ruang gerak bebas, dilengkapi dengan handrail toilet, serta memiliki jet shower dan tempat sampah pada toilet gedung laboratorium.

Tabel 9. Kelengkapan toilet

No	Kelengkapan toilet	Tersedia	
		Ya	Tidak
1	Toilet duduk	√	
2	Penanda toilet	√	
3	Lantai yang tidak licin	√	
4	Luas toilet 210 cm x 190 cm	√	
5	Daun pintu	√	
6	Handrail toilet	√	
7	Tempat sampah & jetshower	√	

Sumber: (Hasil analisis, 2023)

f. Kelengkapan pada Watafel

Pada gedung laboratorium terdapat wastafel dengan ukuran 48 cm x 35 cm serta tinggi wastafel 82 cm dari permukaan lantai, dilengkapi dengan tipe kran ungkit dan memiliki ruang gerak bebas yang cukup.

g. Bilik pada pancuran

Pada gedung laboratorium belum dilengkapi dengan adanya bilik pancuran yang di lengkapi kran air karena pada gedung laboratorium tidak digunakan untuk tempat tinggal maka dari itu fasilitas bilik pancuran tidak dilengkapi di gedung laboratorium ini

h. Fasilitas pada ruang komunikasi

Pada gedung laboratorium belum dilengkapi dengan adanya fasilitas ruang komunikasi.

i. Ruang tunggu

Pada gedung laboratorium belum dilengkapi dengan adanya ruang tunggu yang di khususkan untuk penyandang disabilitas.

j. Peralatan dan perlengkapan kontrol

Pada gedung laboratorium belum dilengkapi dengan adanya peralatan dan perlengkapan kontrol tidak tersedia fasilitas peralatan peringatan yang terdiri dari sistem peringatan suara, sistem peringatan bergetar, stop kontak yang bisa dijangkau oleh penyandang disabilitas.

k. Perlengkapan rambu dan marka

Terdapat rambu dan marka pada gedung laboratorium yang dilengkapi dengan huruf braille dan juga dicetak dengan bahan yang tidak silau

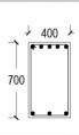

3.5. Kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak konsultan perencana maka diketahui bahwa pada bangunan gedung laboratorium terpadu pendukung blok masela yaitu menggunakan tipe struktur sistem rangka pemikul momen khusus (SPRMK) dengan kategori desain seismik E. Adapun kesesuaian gedung terhadap standar ketahanan gempa adalah sebagai berikut:

a. Kesesuaian Terhadap Desain Balok

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, Komponen struktur rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan diantaranya, dimensi balok $l_n > 4h$, $b_w > 0,3$ dan 250 mm dan setelah dilakukan analisa struktur dari dimensi balok, dapat disimpulkan bahwa Pada perencanaan struktur balok 40/70 dengan panjang bentang 8 m telah sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1.

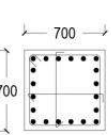
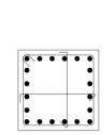
BALOK 400X700

DETAIL BALOK		
TYPE	181-A 400x700	
DIMENSI	400 X 700	
DESAIN	TUMPUAN	LAPANGAN
$F_c' = 25 \text{ MPa}$		
TUL. SISI ATAS	5025	3025
TUL. SISI BAWAH	3025	5025
TUL. PINGGANG	-	-
SENGKANG	D13-100	D13-150
SELIMUT BETON	40 MM	

Gambar 1. Detail Balok
Sumber: (SNI persyaratan beton, 2019)

b. Kesesuaian Terhadap Desain Kolom

KOLOM K1- 700X700

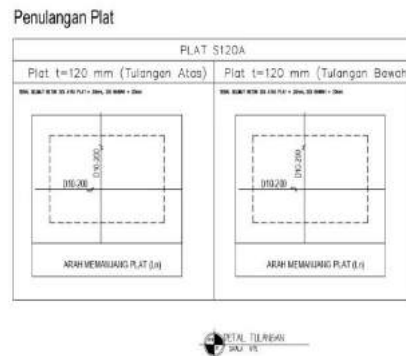
DETAIL KOLOM		
TYPE	KOLOM - K1-A	
DIMENSI	700x700	
JUMLAH		
DESAIN	SEPANJANG l_n DAN HUB. BALOK-KOLOM	DILUAR l_n
$F_c' = 25 \text{ MPa}$		
TULANGAN UTAMA	20025	
SENGKANG	D13-100	D13-150
TIES	D13-100	D13-450
SELIMUT BETON	40 MM	

Gambar 2. Detail kolom
Sumber: (SNI persyaratan beton, 2019)

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, kolom sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan diantara lain, dimensi kolom terkecil harus lebih besar 300 mm, serta rasio dimensi terpendek dengan yang terpanjang harus lebih besar dari 0,4. Setelah dilakukan analisa struktur dimensi rencana kolom, dapat disimpulkan bahwa desain kolom dengan dimensi 70/70 cm telah memenuhi syarat SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1.

c. Kesesuaian Terhadap Desain Pelat

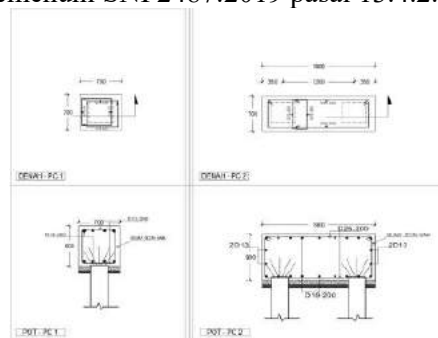
Menurut SNI 2847:2019 pasal 8.3.2.1 tebal pelat dengan balok yang membentang antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya (h) harus 120 cm, dan setelah dilakukan analisa struktur dimensi tebal rencana pelat, dapat disimpulkan bahwa desain pelat dengan ketebalan 120 cm telah memenuhi syarat SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1.



Gambar 3. Penulangan pelat
Sumber: (SNI persyaratan beton, 2019)

d. Kesesuaian Terhadap Desain Pondasi

Menurut SNI 2487:2019 pasal 13.4.2.1 ketebalan total pile cap harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm, dan setelah dilakukan analisa struktur desain pondasi memiliki tinggi efektif 700 mm, 800 mm, dan 900 mm telah memenuhi SNI 2487:2019 pasal 13.4.2.1.



Gambar 4. Desain pondasi
Sumber: (SNI persyaratan beton, 2019)

3.6. Fungsi Gedung Berdasarkan RTRW Setempat

Berdasarkan peraturan daerah kota Ambon no 24 tahun 2012 tentang rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Ambon Tahun 2013 sampai dengan tahun 2031 menetapkan dalam pasal 17 butir c bahwa “desa Wayame-Teluk Ambon direncanakan akan terus dikembangkan sebagai pusat pendidikan tinggi, ilmu pengetahuan dan teknologi [8].”

4. KESIMPULAN

Dari indentifikasi kriteria prasyarat *Greenship New Building* Versi 1.2 yang telah dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Mempunyai luasan gedung 12.200 m², memiliki rencana UKL-UPL berdasarkan keputusan walikota ambon no 883 Tahun 2019, memiliki fungsi gedung sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan RT/RW setempat berdasarkan peraturan daerah kota ambon no 24 tahun 2012, memiliki kesesuaian gedung terhadap standar keselamatan untuk kebakaran berdasarkan peraturan menteri pekerjaan umum No:26/PRT/M/2008, memiliki kesesuaian gedung terhadap standar aksesibilitas difabel dengan menggunakan acuan dari permen pupr no 14/PTR/M/2017 dan memiliki kesesuaian gedung terhadap standarisasi tahan gempa yang ditinjau dari kesesuaian terhadap desain balok menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, kesesuaian terhadap desain kolom menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, kesesuaian terhadap desain pelat menurut SNI 2847:2019 pasal 8.3.2.1, serta kesesuaian terhadap desain pondasi menurut SNI 2487:2019 pasal 13.4.2.1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andika, M. F., Noviadi, F. P., & Saragih, D. F. “Evaluasi Penerapan Kriteria Green and Smart Building Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pt. Inalum (persero),” *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 1(1), 23-32, 2021.
- [2] Zulfiar, M.H., & Gunawan A. (2018). "Evaluasi Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Hotel UNY 5 Lantai di Yogyakarta". *Semester Teknika*, 21(1): 65-71.
- [3] GREENSHIP New Building Versi 1.2, GBCI (*Green Building Council Indonesia*), 2013.
- [4] Kementrian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, “Permen PUPR No.14/PRT/M/2017, *Tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung*,” 2017.
- [5] Kementrian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, “Permen PUPR No.26/PRT/M/2017, *Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran Pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*,” 2017.
- [6] Mongan, A. I., Tjakra, J., & Arsjad, T. T. “Evaluasi Konsep Green Building Pada Gedung Baru Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado,” *Jurnal Sipil Statik*, 2019.
- [7] Pedoman Pemeriksaan Keselamatan Bangunan Gedung, Pd-T-11-2005-C, *Tentang Pemeriksaan Keselamatan Bangunan Gedung*, ” 2005.
- [8] Peraturan Daerah, “Peraturan Daerah Kota Ambon Nomor 24, *Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Ambon Tahun 2011 Sampai Dengan Tahun 2031*,” 2011.
- [9] Penilaian kriteria green building pada fakultas teknik Universitas Pattimura, ” *Jurnal Simetrik* 13.1 (2023) : 677 - 682.
- [10] Ratnaningsih, A., Hasanuddin, A., & Hermansa, R. “Penilaian Kriteria Green Building Pada Pembangunan Gedung IsDB Project Berdasarkan Skala Indeks Menggunakan Greenship Versi 1.2 (Studi Kasus: Gedung Engineering Biotechnology Universitas Jember),” *Berkala Saintek*, 7(2), 59-66, 2019.
- [11] SIDDIK, M. D. F. “Pengukuran Kesesuaian Kriteria Green Building pada Gedung Laboratorium CDAST 1 Universitas Jember Menggunakan Perangkat Penilaian Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.2,” 2018.
- [12] Walikota Ambon Provinsi Maluku, “Keputusan Walikota Ambon Nomor 883, *Tentang Kelayakan Lingkungan Hidup Atas Operasional Kegiatan Universitas Pattimura-Kampus Poka*,” 2019.

EVALUASI BIAYA PEMELIHARAAN JEMBATAN BAJA WAI BOYAN NEGERI SEITH DENGAN PEDOMAN BINAMARGA

Celine Frans¹, C. G. Buyang², dan, Febrino Wangean³

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: zheelynfrans@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : cg.buyang@fatek.unpatti.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : febrino.wangean@gmail.com

Abstrak. Jembatan baja adalah struktur penting dalam infrastruktur transportasi dan harus dipelihara dan diperiksa secara teratur untuk menjaga keamanan dan kelancaran lalu lintas. Pada penelitian ini dilakukan Evaluasi Biaya Pemeliharaan Jembatan Baja Wai Boyan Negeri Seith dengan Pedoman Binamarga. Pedoman Pemeriksaan Jembatan yang dipakai adalah Pedoman No 01/P/BM/2022 karena memberikan panduan bagi para insinyur dalam melakukan pemeriksaan rutin dan evaluasi jembatan baja. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dan memberikan solusi penanganan pada jembatan baja Wai Boyan. Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan kerusakan jembatan menggunakan Pedoman No.01/P/BM/2022 kemudian dilakukan evaluasi biaya pemeliharaan jembatan Wai Boyan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Pedoman Pemeriksaan Jembatan No 01/P/BM/2022 efektif dalam mendeteksi kerusakan pada elemen struktural jembatan baja seperti pada dinding penahan tanah, gelagar, baut, dan balok, dengan biaya pemeliharaan sebesar Rp. 988.736.000. Kesimpulannya, Pedoman Pemeriksaan Jembatan No 01/P/BM/2022 dapat menjadi acuan yang berguna bagi para insinyur dalam melakukan pemeriksaan dan evaluasi jembatan baja. Pedoman ini perlu terus diperbarui dan disesuaikan dengan perkembangan teknologi dan perubahan kondisi lingkungan sehingga dapat memastikan keamanan dan keandalan jembatan baja dalam jangka panjang.

Kata kunci: Jembatan, Kerusakan, Biaya, Pemeliharaan

Abstract. Steel bridges are important structures in transportation infrastructure and should be maintained and inspected regularly to maintain safety and smooth traffic. Bridge Inspection Guideline No 01/P/BM/2022 provides guidance for engineers and structural experts in conducting routine inspections and evaluations of steel bridges. This study aims to evaluate maintenance costs with Bridge Inspection Guidelines No 01/P/BM/2022 in detecting damage and defects in steel bridges. The research method used was data analysis from the results of the examination of steel bridges on the Wai Boyan bridge, Seith State, which used the guidelines as a reference. The results showed that Bridge Inspection Guideline No. 01/P/BM/2022 was effective in detecting damage to structural elements of steel bridges such as wall holding soil, girders, bolts, and beams, with maintenance costs of Rp. 988,736,000. In conclusion, Bridge Inspection Guideline No 01/P/BM/2022 can be a useful reference for structural experts in inspecting and evaluating steel bridges. However, the guidelines need to be constantly updated and adapted to technological developments and changing environmental conditions so as to ensure the safety and reliability of steel bridges in the long run.

Key word : Bridge, Damage, Cost, Maintenance

1. PENDAHULUAN

Pemeliharaan jembatan adalah suatu pekerjaan yang dilaksanakan setelah pekerjaan pembangunan selesai dilaksanakan. Pekerjaan pemeliharaan ini sangat diperlukan untuk mempertahankan kondisi jembatan atau suatu struktur untuk selalu berada dalam kondisi siap layan [1]. Faktor konstruksi hingga teknis pemeliharaan menjadi penyebab rontoknya jembatan. Ini membuktikan bahwa pemeliharaan pasca konstruksi penting untuk dilakukan karena mengingat umur rencana sebuah jembatan optimalnya adalah 50 tahun, untuk itu perlu adanya pemeliharaan yang baik untuk menjaga kualitas sebuah jembatan selama masa layan.

Jembatan Baja Wai Boyan merupakan jembatan yang sudah ada kurang lebih 15 tahun. Dimana jembatan ini merupakan satu-satunya akses yang dimiliki masyarakat Negeri Seith untuk menyebrang ke Negeri Lima, Karena terhalang sungai yang cukup luas dengan medan yang sulit. Untuk itu pentingnya memperhatikan kondisi layan jembatan ini, agar tidak termakan usia karena kurangnya pemeliharaan, dan bahkan dapat mengakibatkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti kecelakaan dan lain-lain. Berdasarkan hasil pengamatan secara visual, ada beberapa bagian jembatan yang masih layak, tetapi ada juga beberapa bagian yang sudah tidak layak (perlu diganti) untuk menghindari kerusakan yang lebih parah dan kerugian yang lebih.

Umumnya penyebab kerusakan jembatan diakibatkan oleh suatu beban yang berlebihan seperti kendaraan besar yang memuat beban berlebih, saluran air yang tidak baik sehingga menimbulkan genangan air, serta kurangnya perawatan beberapa elemen dari jembatan tersebut. Jadi penting diadakan pemeriksaan dengan maksud untuk meyakinkan bahwa jembatan berada dalam keadaan aman terhadap pemakai jalan dan juga untuk mengamankan nilai investasi jembatan itu [1]. Dalam hal ini dilakukan penelitian dengan menggunakan metode Bridge Management System (BMS) yang mana penggunaan metode tersebut dapat membantu terkait pemeliharaan jembatan dan dapat menunjukkan apakah perlu diadakan pemeriksaan secara rutin dan periodik [2]. Diharapkan dari hasil analisis ini akan dapat ditentukan tindakan-tindakan yang diperlukan untuk menangani kendala yang terjadi dan pengoptimalan biaya penanganan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuantitas kerusakan pada masing-masing elemen jembatan, dan untuk mengetahui biaya pemeliharaan yang diperlukan untuk sebuah

jembatan baja.

1.1. Komponen Jembatan

Menurut Supriyadi (2000) bagian pokok jembatan dapat dibagi menjadi empat bagian umum yaitu : struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap, dan pengaman jembatan serta trotoar [8].

a. Struktur Atas

Struktur atas adalah bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban lantai jembatan ke perletakan arah horizontal. Sedangkan lantai jembatan adalah bagian dari suatu jembatan yang langsung menerima beban lalu lintas kendaraan, pejalan kaki, dan beban yang membebaninya secara langsung. Bangunan atas terdiri dari; Gelagar induk, Gelagar melintang (diafragma), Lantai jembatan, Perletakan (andas), dan Plat injak [8].

b. Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan merupakan suatu pengelompokan bagian-bagian jembatan yang menyangga jenis-jenis beban yang sama dan memberikan jenis reaksi yang sama, atau juga dapat disebut struktur yang langsung berdiri diatas dasar tanah. Beberapa bagian struktur bawah adalah; fondasi, *abutment*, dan pilar [8].

c. Bangunan Pelengkap atau Pengaman Bangunan pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang merupakan pelengkap dari konstruksi jembatan yang fungsinya untuk pengaman terhadap struktur jembatan secara keseluruhan dan keamanan terhadap pemakai jalan. Beberapa jenis bangunan pelengkap, yaitu saluran drainase, jalan pendekat, talud, patok penuntun, lampu penerangan, dan trotoar [8].

1.2. Kerusakan pada Jembatan

Secara umum jembatan dapat mengalami dua macam kerusakan yang berbeda, yaitu kerusakan yang berhubungan dengan bahan yang berhubungan langsung dengan jenis bahan yang digunakan untuk membuat komponen jembatan, dan kerusakan yang berhubungan dengan elemen yang berhubungan dengan elemen secara tidak langsung berhubungan dengan jenis bahan jembatan tersebut tetapi terdapat beberapa kerusakan yang tidak dihubungkan dengan bahan yang dipakai, kerusakan ini dihubungkan dengan elemen jembatan [6].

Tabel 1. Kerusakan bahan [2]

Kode Kerusakan	Jenis Kerusakan
301	Penurunan mutu cat
302	Karat pada besi tulangan
303	Perubahan pada bentuk komponen
304	Retak
305	Komponen yang rusak atau hilang
306	Elemen yang salah
308	Sambungan yang longgar

Sumber: Panduan Pemeriksaan Jembatan Baja

Tabel 2. Kerusakan Elemen [2]

Kode Kerusakan	Elemen dan Kerusakan
	ALIRAN SUNGAI
501	Endapan/lumpur yang berlebihan
502	Sampah yang menumpuk dan terjadinya hambatan aliran sungai
503	Pengikisan pada daerah dekat pilar atau kepala jembatan
504	Aliran sungai macet yang mengakibatkan terjadinya banjir
511	Bangunan yang hilang atau tidak ada
521	Scour
522	Retak/penurunan penggembungan
531	Penggembungan permukaan
532	Retak, rontok atau pecah dari panel tanah bertulang
	ANGKER-JEMBATAN GANTUNG DAN JEMBATAN KABEL
541	Tidak stabil
	KEPALA JEMBATAN DAN PILAR
551	Kepala jembatan atau pilar bergerak
	LANDASAN PENAHAN GEMPA
561	Elemen longgar atau hilang
	LANDASAN/PERLETAKAN
601	Tidak cukup tempat untuk bergerak
602	Kedudukan landasan yang tidak sempurna
603	Mortar dasar retak atau rontok
604	Perpindahan yang berlebihan
	Perubahan (Deformasi) yang berlebihan
605	Aus karena umur
606	Bagian yang rusak atau hilang
607	Bagian yang longgar
	Kurangnya pelumasan pada landasan logam
	PELAT DAN LANTAI
701	Kesalahan sambungan lantai memanjang
702	Lendutan yang berlebihan
	PIPA DRAINASE DINDING, PIPA CUCURAN DAN DRAINASE LANTAI
711	Pipa cucuran dan drainase lantai yang tersumbar
712	Elemen hilang atau tidak ada
	LAPISAN PERMUKAAN
721	Permukaan licin
722	Permukaan yang kasar/berlubang
723	Retak pada lapisan permukaan
724	Lapisan permukaan yang bergelombang

725	Lapisan perkerasan yang berlebihan
	TROROAR/KERB
731	Permukaan trotoar yang licin
732	Lubang pada trotoar
733	Bagian yang hilang
	SAMBUNGAN LANTAI
801	Kerusakan sambungan lantai yang tidak sama tinggi
802	Kerusakan akrobat terisinya sambungan
803	Bagian yang longgar/lepas ikatannya
805	Bagian yang hilang
806	Retak pada aspal karena pergerakan di sambungan lantai
	RAMBU-RAMBU LALU LINTAS DAN MARKA JALAN
901	Kerusakan atau hilangnya batas – batas ukuran
911	Tulisannya tidak nyata atau jelas
912	Bagian yang hilang
	LAMPU TIANG LAMPU DAN KABEL LISTRIK
921	Rusaknya bahan/penurunan mutu
922	Bagian yang hilang

Untuk menentukan nilai kerusakan pada jembatan digunakan

Tabel 3. Penilaian Nilai Kondisi Jembatan [2]

Nilai	Kriteria	Nilai Kondisi
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak berbahaya	0
Kerusakan (R)	Parah	1
	Tidak parah	0
Kuantitas (K)	Lebih dari 50%	1
	Kurang dari 50 %	0
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen masih berfungsi	0
	Mempengaruhi elemen lain	1
Pengaruh (P)	Tidak mempengaruhi elemen lain	0
Nilai Kondisi (NK)	$NK = S+R+K+F+P$	0 sd 5

Sumber: Pedoman Pemeriksaan Jembatan Baja

Dimana hasil penilaian kondisi Nilai, dapat menghasilkan [2]:

- NK = 0 yang berarti jembatan dalam kondisi baik;
- NK = 1 yang berarti jembatan dalam kondisi rusak ringan, dimana kerusakan dapat diperbaiki melalui pemeliharaan rutin, dan tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan;
- NK = 2 yang berarti jembatan dalam kondisi rusak sedang, dimana kerusakan memerlukan pemantauan atau pemeliharaan pada masa yang akan mendatang;

- d. NK = 3 yang berarti jembatan dalam kondisi rusak berat, dimana kerusakan yang membutuhkan perhatian karena kerusakan mungkin menjadi serius dalam 12 bulan;
- e. NK = 4 yang berarti jembatan dalam kondisi kritis, dimana kerusakan serius membutuhkan perhatian segera;
- f. NK = 5 yang berarti jembatan dalam kondisi runtuh, dimana jembatan runtuh dan tidak berfungsi.

dilakukan hanya sekali yaitu pada awal pekerjaan Sistem Manajemen Jembatan, saat jembatan diganti atau dilakukan pekerjaan utama.

- e. Pemeriksaan detail, merupakan pengecekan/pemeriksaan secara rinciterhadap semua elemen jembatan. Penilaian ini dipergunakan untuk menetapkan peringkat dan program penanganan yang dibutuhkan agar jembatan tersebut dapat berfungsi secara efektif.

Untuk menentukan penanganan pada jembatan menggunakan

1.3. Penanganan dan Pemeliharaan Jembatan

Tujuan dari pemeriksaan jembatan adalah untuk meyakinkan bahwa jembatan masih berfungsi secara aman dan perlunya diadakan suatu tindakan tertentu guna pemeliharaan dan perbaikan secara berkala. Ada beberapa jenis pemeliharaan dan penanganan diantaranya [2].

- a. Pemeliharaan rutin, pada dasarnya dilakukan untuk menjaga jembatan dalam keadaan seperti semula dan mencakup beberapa pekerjaan berulang yang secara teknis cukup sederhana.
- b. Pemeliharaan berkala, merupakan usaha untuk menjaga jembatan tetap dalam kondisi dan daya layan yang baik setelah pembangunan.
- c. Rehabilitas dan perbaikan besar, dilakukan untuk mengembalikan kondisi jembatan sesuai dengan daya layannya yang mencakup beberapa kegiatan seperti penggantian elemen utama (lantai, gelagar, pilar, kepala jembatan), perkuatan pada elemen utama, perbaikan besar pada elemen-elemen struktural pada jembatan.
- d. Pemeriksaan inventaris, ialah mendaftarkan semua detail secara fisik jembatan yang terkait yaitu panjang, lebar, jenis konstruksi, fungsi, lalu lintas dan sebagainya. Pemeriksaan ini

Tabel 4. Penanganan Kerusakan Bahan

Kode Kerusakan	Uraian Kerusakan	Uraian Penanganan
301	Penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi (lapisan pelindung cat)	Pengecatan pada elemen struktur baja
302	Karat	Pengecatan Struktur Baja Grade 250,345,485,dst (kuat leleh Mpa) Penggantian Elemen
303	Perubahan bentuk pada komponen	Struktur Baja Grade 250,345,485,dst (kuat leleh Mpa)
304	Retak (elemen baja dan las)	Pengelasan SMAW pada baja Grade ...
306	Elemen yang hilang atau yang tidak terpasang	Penggantian sandaran baja

Tabel 5. Penanganan Kerusakan Elemen

Kerusakan		S			R				K	
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur	Pengukuran	Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	Satuan Ukuran		
301	Penurunan mutu dan/atau kinerja proteksi korosi (lapisan pendingin/cat)	Penuaan Retak Lembab (akibat korosi) Tindakan kekerasan Pemakaian/terkikis	Berbahaya Tidak berbahaya Berbahaya	Permukaan dasar baja belum terlihat Sebaliknya	Tidak Parah	Hitung/ukur luas kerusakan pada permukaan baja	Hitung/ukur luas permukaan total elemen baja sesuai dengan level pemeriksaan	Meter persegi		
302	Karat	Apa saja	Berbahaya	Belum terbentuk titik-titik karat, lapisan galvanis/cat mulai menipis dan adanya karat tipis	Tidak Pernah	Hitung/ukur luas permukaan baja yang karat	Hitung/ukur permukaan total elemen baja sesuai dengan level pemeriksaan	Meter Persegi		

				atau $\leq 10\%$ dari dimensi penampang Lapisan galvanis/cat sudah mulai rusak walau belum pada seluruh permukaan dan sudah mulai terjadi karat pada daerah ujung, goresan dan baut atau $> 10\%$ dari dimensi penampang.	Parah	Hitung luas korosi terhadap penampang profil	Hitung luas penampang profil sesuai dengan level pemeriksaan	
303	Perubahan bentuk pada komponen	Benturan pondasi runtuh panas beban berlebih	Berbahaya	Elemen struktural (tegak lurus arah memanjang) ≤ 20 mm	Tidak parah	Hitung/ukur tinggi/lebar permukaan baja yang mengalami perubahan bentuk (tegak lurus terhadap sumbu memanjang elemen)	Hitung/ukur tinggi (dimensi) elemen sesuai dengan level pemeriksaan	Meter persegi
	Perubahan bentuk pada komponen	Benturan pondasi runtuh panas beban berlebih	Berbahaya	> 20 mm Non-elemen struktural	Parah Tidak pernah	Hitung/ukur tinggi/lebar permukaan baja yang mengalami perubahan bentuk (tegak lurus terhadap sumbu memanjang elemen)	Hitung/ukur tinggi (dimensi) elemen sesuai dengan level pemeriksaan	
304	Retak (elemen baja dan las)	Apa saja	Berbahaya	Dimana saja	Parah	Hitung/ukur panjang permukaan baja yang mengalami retak	Hitung/ukur dimensi total panjang elemen sesuai dengan level pemeriksaan	Meter persegi
305	Komponen yang rusak/hilang (sobek, abrasi)	Apa saja	Berbahaya	Elemen struktural Elemen non struktural	Parah Tidak pernah	Hitung jumlah komponen yang hilang sesuai dengan elemennya	Hitung total komponen sesuai dengan level pemeriksaan	Meter persegi
306	Elemen yang salah pemasangan	Apa saja	Berbahaya	Dimensi lebih kecil Sebaliknya	Parah Tidak parah	Hitung jumlah elemen yang salah pemasangannya	Hitung total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
307	Kabel jembatan	Apa saja	Berbahaya	$\leq 5\%$ dari standar $> 5\%$ dari strand	Tidak parah Parah	Hitung panjang kabel jembatan yang rusak	Hitung panjang total elemen kabel sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
308	Sambungan yang longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah baut yang longgar dalam satu titik buhul	Hitung jumlah total baut dalam satu titik buhul sesuai dengan level pemeriksaan	Buah

Sumber: Panduan Pemeriksaan Jembatan No. 01/P/BM/2022

1.4. Estimasi Biaya

Estimasi adalah perkiraan mengenai nilai (*Value*), jumlah (*amount*), ukuran (*size*) atau berat (*weight*) dari sesuatu (*Juinkpe, 2008*). Dalam konteks konstruksi, estimasi biaya (estimasi biaya perkiraan pekerjaan konstruksi) adalah perkiraan tentang kemungkinan biaya yang akan digunakan untuk aktivitas konstruksi [8].

Estimasi biaya pekerjaan konstruksi biasanya memberikan suatu indikasi tertentu terhadap biaya total proyek. Estimasi biaya mempunyai peranan penting dalam suatu proyek, karena tanpa adanya estimasi biaya suatu proyek tidak akan berhasil. Estimasi biaya sangat ditentukan oleh tersedianya data dan informasi, teknik dan metode yang digunakan, serta kecakapan dan pengalaman estimator [3].

Rencana anggaran biaya (rab) adalah perhitungan atau estimasi jumlah nominal anggaran biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan bangunan konstruksi. Rab merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek pembangunan. Secara umum rab dirumuskan sebagai berikut:

$$RAB = \sum(\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan})$$

[3]

2. BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Panduan Pedoman Pemeriksaan Jembatan No.01/P/BM/2020 Direktorat Jenderal Bina Marga. Dan juga menggunakan analisa harga satuan pekerjaan menggunakan Permen PUPR No.1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

2.1. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan survey langsung pada jembatan Wai Boyan dengan menggunakan form pemeriksaan yang diperoleh dari panduan.

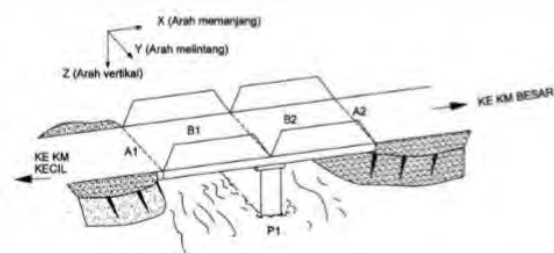
Hal-hal yang di lakukan adalah [2]

- Pemeriksaan Inventaris, dilakukan pengecekan semua kelengkapan jembatan yang belum lengkap.
- Pemeriksaan Detail. Nilai kondisi jembatan secara detail diberikan sesuai dengan panduan pemeriksaan jembatan, untuk menentukan nilai kondisi jembatan. Jembatan Wai Boyan masuk dalam kriteria jembatan yang dilakukan pemeriksaan detail.
- Penentuan kerusakan, setelah pemeriksaan dilakukan dan diperoleh nilai kondisi maka

selanjutnya bisa ditentukan jenis kerusakan berdasarkan bahan dan elemen jembatan. Bahan dan elemen jembatan memiliki kode pemeriksaan yang berbeda maka dari itu pemeriksaannya pun dilakukan secara terpisah. Pada tahap ini juga diperoleh volume kerusakan dari masing-masing kerusakan bahan dan elemen jembatan.

- Penentuan penanganan, setelah diperoleh jenis kerusakan selanjutnya bisa ditentukan jenis penanganan berdasarkan kerusakan pada bahan dan elemen jembatan sesuai dengan pedoman pemeriksaan jembatan. Setelah jenis penanganan diketahui maka dapat diperoleh volume penanganan pada jembatan Wai Boyan.
- Estimasi biaya, diperoleh setelah adanya volume penanganan. Setelah itu dapat dibuat rencana anggaran biaya pada jembatan wai boyan.

Untuk mempermudah pemeriksaan, dapat digunakan penomoran pada masing-masing elemen jembatan, seperti gambar dibawah ini



Gambar 1. Penomoran Jembatan
Sumber: Pedoman Pemeriksaan Jembatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Jembatan Eksisting

- Lokasi : Negeri Seith, Kec Leihitu Barat, Maluku Tengah
- Ruas Jalan : Kaitetu – Negeri Lima
- Status Jalan : Jalan Provinsi
- Tipe Kelas Jalan : Jalan Kelas II
- Nama Jembatan : Wai Boyan
- No. Jembatan : 50.045.012.01
- STA : 0+969 Kaitetu – Negeri Lima
- Tipe Jembatan : Jembatan rangka baja
- Bentang jembatan : 1 bentang
- Lebar Jembatan : 7m (perkerasan 6m)
- Lebar trotoar : 0,5 m x 2
- Elevasi muka air : 5,20 m
- Kedalaman sungai : <1m

3.2. Jenis Pemeliharaan

Tahap awal yang dilakukan saat penelitian ini adalah pemeriksaan inventarisasi dan pemeriksaan detail, dimana di dalamnya sudah termasuk

pemeriksaan menyeluruh seperti yang di jelaskan di bab sebelumnya [2].

a. Pemeriksaan Inventaris

Hasil yang diperoleh dari pemeriksaan ini berdasarkan form pemeriksaan inventaris pada panduan pemeriksaan jembatan ialah:

- Nama Jembatan : Wai Boyan
- Tipe Lintasan : SL (Sungai)
- Jumlah Bentang : 1
- Panjang Bentang : 50 meter
- Bentang terpanjang : 50 meter
- No. Bentang : 1
- Panjang Bentang : 50 meter
- Jumlah Gelagar : 6 buah gelagar
- Lebar lantai kendaraan : 6 meter
- Lebar trotoar : 1 meter
- Tinggi ruang bebas : 5,1 meter
- Struktur utama bangunan atas TBA : Rangka BHN : Baja SBA : Permanen
- Struktur lantai Kode elemen 4.511) Bahan : Baja
- Perkuatan sistem lantai (Kode elemen 4.515) Bahan : Beton
- Lapis permukaan sistem lantai (Kode elemen 4.514) BHN : Aspal
- Pengaman pengguna jalan (Kode elemen 3.620) TBA : Rangka BHN : Baja SBA : Permanen
- Perletakan (Kode elemen 3.610) Kode L4 : Landasan (4.611 a) BHN : Karet
- Sambungan / siar muai (Kode elemen 3.600) Kode L4 : Sambungan/siar muai Aspal (4.604) BHN : Aspal
- Perlengkapan umum (3.710) Kode L4 : Marka Jalan (4.711 c) Papan Nama (4.712 a) BHN : Termoplastic Beton
- Lintasan Basah (3.910, 3.920, 3.930) Kode L4 : Lintasan dengan Perkerasan (3.910)
- No. Kepala Jembatan
- Kepala jembatan Abutmen 1 & 2 : Fondasi (3.310) Tipe : Sumuran Bahan : Beton Bertulang.
- Kepala Jembatan (3.320) Tipe : Balok fondasi (4.321 a) Bahan : Beton Bertulang.
- Perkerasan jalan pendekat (3.110) Kode (L4) : Perkerasan Kaku Jalan Pendekat (4.112) Bahan : Beton Bertulang.
- Tanah Timbunan (3.120) Kode (L4) : Tanah Timbunan (4.121)

- Bahan : Tanah Biasa/lempung atau timbunan,
- Struktur Penahan Tanah Jalan Pendekat (3.130) Kode (L4) : Tanah Bertulang (4.132) Bahan : Beton Bertulang.
- Pengaman Lalu Lintas (3.140) Kode (L4) : Tiang Pengaman Jalan Pendekat (4.141)

b. Pemeriksaan Detail

1. Sistem Lantai (3.500), pada bagian ini diidentifikasi kerusakan yang terjadi ialah Pipa cucuran/drainase yang tersumbat dengan kode kerusakan sesuai pedoman yaitu 711, dimana penyumbatan terjadi di sepanjang tepi jalan sisi kiri dan kanan karena ditutupi oleh tanah dan rumput yang membuat saluran ini tersumbat. Lokasi kerusakan terletak di Bentang 1 (B1) sisi memanjang kiri (X1) pada sisi melintang (Y1,Y2,Y3,Y4,Y5), karena sepanjang sisi X ada 5 buah pipa drainase, begitupun dengan sisi sebelah kanan (X2) dengan sisi melintang (Y1,Y2,Y3,Y4,Y5). Berdasarkan pedoman diperoleh nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 1, nilai Kuantitas (K) = 0, nilai Fungsi (F) = 1 dan nilai Pengaruh (P) = 0. Maka total nilai kondisi (NK) yang diperoleh adalah 3. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 5 bh pipa cucuran drainase disisi kiri dan 5 buah pipa drainase di sebelah kanan, dan volume kuantitas total = 10 bh untuk jumlah keseluruhan. Dengan volume penanganan = 10 buah.



Gambar 2. Drainase yang tersumbat Jembatan Wai Boyan

Sumber: Dokumentasi

2. Sambungan siar muai (3.600), pada bagian ini diidentifikasi kerusakan yaitu Retak aspal akibat pergerakan sambungan dengan kode kerusakan

806, dimana retak yang terjadi sepanjang siar muai di sisi melintang jembatan pada ujung bentang akhir (Y1) dan sisi melintang jembatan pada ujung bentang awal (Y2). Berdasarkan pedoman diperoleh nilai struktur (S) = 0, Nilai Kerusakan (R) = 1, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi (NK) yang diperoleh adalah 3. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 6 M' disisi kiri dan 6m' disisi sebelah kanan, dan volume kuantitas total = 12 M' untuk jumlah kedua sisi. Dengan volume penanganan = 12 meter.



Gambar 3. Siar Muai Jembatan Wai Boyan
Sumber: Dokumentasi

3. Dinding Penahan Tanah (4.131), dari hasil survey yang dilakukan terdapat dua kerusakan yang terjadi pada DPT yang terletak di Abutment 1 (A1) sebelah kiri abutment (X1Y1), yang pertama pengeroposan beton yang terbilang lumayan menjadi perhatian karena volume kerusakannya mencapai 0,0135 M³, dari total volume Dpt 98,17 m³, dengan kode kerusakan yaitu 201. Dapat dibilang kerusakan ini dipicu dari pelapukan dan keretakan yang terjadi pada beton, yang menjadi identifikasi kerusakan kedua yaitu Retak pada dinding DPT dengan kode kerusakan 522, dimana retak yang terjadi terbilang cukup karena memiliki Volume 0,06 m³ dari total DPT 98,17 m³. Dan juga kerusakan ketiga yaitu penurunan tanah, dengan kode kerusakan yang sama 522, dengan volume 1,65 m³ dari total volume 98,17 m³. Berdasarkan pedoman diperoleh nilai sebagai berikut dari masing-masing kerusakan. Untuk beton keropos nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 3. Untuk beton retak nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah

3. Untuk penurunan tanah nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 3. Dengan volume penanganan = 416,5 meter kubik



Gambar 4. Beton Keropos DPT
Sumber: Dokumentasi



Gambar 5. Retak pada DPT
Sumber: Dokumentasi

4. Trotoar dan Kerb (4.513), pada bagian ini kerusakan yang diidentifikasi tidak ada hanya butuh pembersihan karena kondisinya sudah berlumut dan ditutupi tanah dan rumput yang membuat permukaannya licin sehingga berbahaya untuk pejalan kaki, kode kerusakan berdasarkan pedoman yaitu 731 dengan lokasi trotoar pada sisi memanjang jembatan sebelah kiri (X1) dan sebelah kanan (X2). Berdasarkan pedoman diperoleh nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 1, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 0. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 3. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 150 M³, dan volume kuantitas total = 150 M³ untuk kedua sisi, dengan satuan Meter kubik. Dengan volume penanganan = 150 m³.



Gambar 6. Trotoar Jembatan WaiBoyan
Sumber: Dokumentasi

5. Tiang Railing dan baut pengikat tiang railing (4.621), pada identifikasi elemen ini terdapat banyak kerusakan karena sebagian besar tiang railing sudah tidak berfungsi (hilang) sehingga memperoleh kode kerusakan 731 yang mana terletak di kedua sisi memanjang jembatan sebelah kiri (X1,Z1) dan sisi sebelah kanan (X2,Z2). Dimana ini terbilang tidak aman bagi pengguna jembatan. Berdasarkan pedoman diperoleh nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 1, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 3. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 50 M pada setiap sisi dikali dua karena ada dua railing atas dan bawah, dan volume kuantitas total = 200 meter untuk jumlah kedua sisi, dengan satuan Meter. Dengan volume penanganan = 200 meter.



Gambar 7. Tiang Railing Jembatan Wai Boyan
Sumber: Dokumentasi

6. Papan Nama (4.712), bagian penting untuk memberi informasi terkait jembatan ini sudah sangat tidak terawat karena tertutup rumput, betonnya pun sudah mulai mengalami pelapukan karena berlumut dan tulisan-tulisannya pun sudah sulit terbaca, dengan kode kerusakan 911. Papan nama yang ada di kedua sisi jembatan sebelah kirimelintang 1 (Y1) dilihat dari sebelah kiri (X1) pada abutment kiri (A1) dan pada sisi sebelah kanan (X2) sisi melintang 2 (Y2) pada Abutmen 2 (A2) dilihat dari sebelah kiri ini pun sudah harus di pelihara agar tidak rusak dan hancur akibat pelapukan. Berdasarkan pedoman diperoleh nilai struktur

(S) = 0, Nilai Kerusakan (R) = 1, nilai Kuantitas (K) = 0, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 0. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 1. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 2 buah, dan volume kuantitas total = 2 buah. Dengan volume penanganannyaialah 2 buah.



Gambar 8. Papan Nama Jembatan Wai Boyan
Sumber: Dokumentasi

7. Rangka baja dengan kode kerusakan 301 yang menyatakan penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi akibat penuaan pada batang rangka baja yang ada secara keseluruhan. Berdasarkan pedoman diperoleh nilai untuk batang tepi bawah (4.453) letaknya ada di bawah jembatan sisi memanjang kiri (X1) dan sisi memanjang kanan (X2) pada bentang 1 (B1), nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 0, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 2. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 4,5 meter kubik per batang dengan total ada 2 batang tepi bawah sehingga volume kuantitas total = 9 M³.



Gambar 9. Rangka Bawah Jembatan Wai Boyan
Sumber: Dokumentasi

Berdasarkan pedoman diperoleh nilai untuk batang diagonal (4.453) terletak di atas lantai jembatan sepanjang sisi kiri jembatan (X1) pada batang kedua (Y2Z2), nilai struktur (S) = 1, Nilai Kerusakan (R) = 0, nilai Kuantitas (K) = 0, nilai Fungsi (F) = 0 dan nilai Pengaruh (P) = 1. Maka total nilai kondisi yang diperoleh adalah 2. Dengan Volume kuantitas kerusakan = 0,54 M³ dengan total ada 20 batang sehingga memperoleh volume

kuantitas total = 22 M3. Dengan volume penanganannya = 73,2 m².



Gambar 10. Rangka Diagonal Jembatan Wai Boyan
Sumber: Dokumentasi

3.3. Jenis Penanganan

Setelah pemeriksaan dilakukan, dapat ditentukan jenis penanganan pada jenis kerusakan jembatan wai boyan. Berdasarkan 7 jenis kerusakan di atas diambil penanganan sebagai berikut:

1. Pipa cucuran yang tersumbat >Pembersihan
2. Retak pada aspal akibat pergerakan sambungan > perbaikan sambungan
3. Benton keropos, retak, dan penurunan dinding penahan tanah > Pergantian struktur dinding penahan tanah baru
4. Permukaan licin pada trotoar >Pembersihan
5. Komponen tiang railing dan baut yang hilang > Penggantian tiang railing dan baut
6. Tulisan tidak jelas pada papan nama > Pembersihan
7. Penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi pada batang tepi bawah dan batang diagonal > Pembersihan dan pengecatan ulang pada batang baja.

3.4. Biaya Penanganan

Biaya penanganan yang dibuat berdasarkan volume kerusakan pada jembatan wai boyan dibuat berdasarkan divisi pada AHSP :

1. Divisi 7. Struktur Rp 868.790.502
2. Divisi 8. Rehabilitasi Jembatan Rp 23.142.269
3. Divisi 9. Pekerjaan harian dan Pekerjaan Lain-lain Rp. 1.590.270
4. Divisi 10. Pekerjaan Pemeliharaan Kinerja Rp. 7.230.266

Rekapitulasi perkiraan harga pekerjaan jembatan wai boyan adalah sebesar **Rp. 988.736.000.**

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah kuantitas kerusakan elemen dari jembatan wai boyan ada beberapa bagian yaitu elemen dinding penahan tanah sebesar

117,5m², pipa cucuran (drainase) sebanyak 10 buah, papan nama jembatan sebanyak 2 buah, batang tepi bawah jembatan 9m³, sambungan siar muai 12m, trotoar 150 m³, dan batang diagonal 22m³. Biaya pemeliharaan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebesar Rp. 988.736.000,-.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga (2022), Pedoman Pemeriksaan Jembatan No.01/P/BM/2020.
- [2] SMEC, Panduan Pemeriksaan Jembatan (bagian 1) Prosedur Pemeriksaan Jembatan Mei, 1998.
- [3] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI (2022), Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga (2021), Pedoman Gambar Standar Pekerjaan Jalan dan Jembatan No.08/P/BM/2021
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerja Umum Republik Indonesia (1992). *UPR.03.1. Pemeliharaan Rutin Bangunan Atas Jembatan Bina Marga*. Jakarta
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerja Umum Republik Indonesia (1992). *Panduan Pemeriksaan jembatan bagian 1 prosedur pemeriksaan jembatan*. Jakarta.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga (2018), Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (revisi 2).
- [8] Repository Universitas Jember. (2016). Repository Universitas Jember

IDENTIFIKASI KENDALA-KENDALA KONEKTIVITAS TRANSPORTASI LAUT DI WILAYAH KEPULAUAN (Studi Kasus Provinsi Maluku)

Lodewyk M. Kelwulan¹, Ruth P. Soumokil² dan Monalisa Manuputty³

¹Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: kelwulanludwig@fatek.unpatti.ac.id

²Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : ut.soumokil@gmail.com

³Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : monalisa.ftunpatti@gmail.com

Abstrak. Sistem transportasi geografis berkaitan dengan pergerakan orang, barang dan informasi, yang mencoba mentautkan kendala-kendala dan atribut-atribut spasial dengan titik-titik asal, titik-titik tujuan, jarak, sifat dan tujuan pergerakan. Konektivitas antar pulau menjadi salah satu kendala transportasi geografis untuk pengembangan sistem transportasi laut di wilayah kepulauan. Provinsi Maluku dengan 1.388 pulau dengan infrastruktur transportasi darat terbatas di sebagian besar pulau, mobilitas orang dan barang rendah, memiliki permasalahan konektivitas antar pulau yang cukup rumit. Dengan menggunakan analisis *Weighted Arithmetic Mean* (WAM) dan analisis statistik diketahui bahwa masalah utama yang dihadapi oleh para pengguna moda transportasi laut di wilayah kepulauan adalah waktu tunggu yang cukup lama di pelabuhan, disamping tidak tersedianya informasi penjadwalan kapal. Ketiadaan kapal pada saat dibutuhkan juga merupakan salah satu masalah utama sistem transportasi antar pulau di wilayah kepulauan.

Kata kunci: transportasi geografis, konektivitas, *Weighted Arithmetic Mean*.

Abstract. *Geographic transportation systems relate to the movement of people, goods and information, which tries to link spatial constraints and attributes with points of origin, destination points, distance, nature and purpose of movement. Connectivity between islands is one of the geographical transportation obstacles for the development of maritime transportation systems in archipelagic areas. Maluku Province, with 1,388 islands, with limited land transportation infrastructure on most of the islands, low mobility of people and goods, has quite complicated inter-island connectivity problems. By using Weighted Arithmetic Mean (WAM) analysis and statistical analysis, it is known that the main problem faced by users of sea transportation modes in the archipelago is the long waiting time at the port, in addition to the unavailability of ship scheduling information. The absence of ships when needed is also one of the main problems of the inter-island transportation system in the archipelagic region.*

Keywords: Geographic transportation, connectivity, Weighted Arithmetic Mean

1. PENDAHULUAN

Pergerakan orang, barang dan informasi selalu merupakan komponen mendasar dari peradaban manusia. Sebaliknya, proses-proses ekonomi telah disertai dengan sebuah peningkatan signifikan dalam mobilitas dan aksesibilitas berlevel tinggi. Sekalipun kecenderungan ini dapat ditelusuri kembali ke revolusi industri, yang secara signifikan

mengalami percepatan di paruh kedua abad ke-20 seperti perdagangan yang mengalami liberalisasi, munculnya blok ekonomi dan keunggulan-keunggulan komparatif dari tenaga kerja global dan sumber daya yang digunakan secara lebih efisien [1]. Namun kondisi ini saling bergantung dengan kapasitas untuk mengatur, menunjang dan mengembangkan pergerakan penumpang dan barang

serta informasi alirannya. Masyarakat menjadi sangat tergantung pada sistem transportasinya untuk menunjang berbagai aktivitas, diantaranya, dari komuter, memasok kebutuhan energi, hingga mendistribusi suku cadang antara pabrik-pabrik. Pengembangan sistem transportasi merupakan tantangan yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan mobilitas, untuk menunjang pembangunan ekonomi dan untuk berpartisipasi dalam ekonomi global [2].

Sistem transportasi geografis berkaitan dengan pergerakan barang, orang dan informasi, yang mencoba untuk mentautkan kendala-kendala dan atribut-atribut spasial dengan asal, tujuan, jarak, sifat dan tujuan pergerakan [3]. Transportasi adalah salah satu komponen ekonomi yang sangat diperlukan dan memainkan peranan penting dalam hubungan spasial antar wilayah, dan menciptakan hubungan berharga antara wilayah-wilayah dan aktivitas ekonomi, ataupun antara orang-orang dengan bagian dunia yang lain.

Diketahui bahwa transportasi adalah sebuah sistem yang mempertimbang-kan hubungan-hubungan kompleks antara elemen-elemen intinya. Geografi transportasi secara sistematis seharusnya merupakan satu elemen dari sistem transportasi yang terhubung dengan sejumlah elemen lain. Tiga konsep sentral bagi sistem transportasi adalah [4]: titik-titik simpul transportasi, jaringan transportasi, dan permintaan jasa transportasi, dengan menggunakan indeks aksesibilitas, indeks konektivitas dan dampak ekonomi sebagai parameter ukurnya.

Indeks Konektivitas Pelayaran Niaga (*Liner Shipping Connectivity Index – LSCI*) [5]–[9], bertujuan untuk menangkap level integrasi sebuah wilayah/negara kedalam sebuah jaringan perusahaan pelayaran eksis melalui pengukuran konektivitas perusahaan pelayaran. LSCI dapat dianggap sebagai sebuah *proxy* dari aksesibilitas ke perdagangan global. Semakin tinggi indeksnya, semakin mudah untuk mengakses sebuah sistem transportasi angkutan laut global dengan kapasitas dan frekuensi tinggi dan selanjutnya secara berpartisipasi secara efektif dalam perdagangan internasional. Dengan demikian, LSCI dapat secara bersamaan dianggap sebagai sebuah ukuran konektivitas ke perusahaan pelayaran dan sebagai sebuah ukuran fasilitas perdagangan. Faktor-faktor konektivitas (frekuensi, kapasitas, jumlah perusahaan) juga menjelaskan pasar transportasi antar pulau dan mempengaruhi level integrasi sebuah pulau dalam jaringan antar pulau dalam kasus pulau-pulau yang juga ditentukan oleh faktor-faktor institusional seperti kendala-

kendala kebijakan atau ketentuan-ketentuan (misal regulasi *cabotage* atau obligasi layanan publik).

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua pengukuran berbeda yaitu pengukuran konektivitas transportasi laut dan pengukuran kendala kontekstivitas. Pengukuran dilakukan terhadap 49 pelabuhan laut melibatkan 6 rute pelayaran perintis di Provinsi Maluku.

Untuk mengetahui kendala-kendala terkait konektivitas, analisis dilakukan terhadap 77 pelabuhan laut/penyeberangan menggunakan analisis *Weighted Arithmetic Mean (WAM)*, dan analisis statistik digunakan untuk menampilkan hasil wawancara terhadap pengguna jasa transportasi laut.

Pengukuran indeks konektivitas transportasi laut menggunakan pendekatan indikator-indikator ketersediaan infrastruktur yaitu infrastruktur pelabuhan, aksesibilitas, informasi dan ketersediaan moda lain [7], [10]–[13]. Konektivitas merupakan ukuran paling mendasar dalam analisis aksesibilitas, dimana sebuah jaringan ditampilkan sebagai sebuah matriks konektivitas ($C1$), yang mengekspresikan konektivitas dari tiap titik dengan titik-titik yang berdekatan dengannya. Jumlah kolom dan baris dalam matriks tersebut adalah sama dengan jumlah titik-titik dalam jaringan dan nilai 1 diberikan untuk setiap sel dimana jika terdapat sepasang titik yang terkoneksi, dan nilai 0 jika tidak ada pasangan titik yang saling terhubung. Jumlah total dari matriks ini memberikan ukuran yang paling mendasar dari aksesibilitas, yang disebut dengan nama **derajat sebuah titik** (*degree of a node*):

$$C1 = \sum_j^n C_{ij} \quad (1)$$

dimana,

- $C1 = \text{degree of a node}$ – indeks konektivitas.
- C_{ij} = konektivitas antara *node i* dan *node j* (bisa 1 atau 0).
- n = jumlah node – jumlah pelabuhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menggunakan matriks OD untuk indeks konektivitas 49 pelabuhan di wilayah propinsi Maluku yang ada dalam survei, ditampilkan dalam Gambar 1, yang mengindikasikan bahwa hanya ada 10 pelabuhan (8,70%) yang memiliki indeks konektivitas cukup tinggi (*higher connectivity*) yakni pelabuhan-pelabuhan Ambon, Tapa, Saumlaki, Tual, Kisar, Lakor, Dawera/Dawelor, Lelang, Leti, dan Moa. Hal ini

dapat dipahami karena dari tujuh rute perintis yang dipilih untuk disurvei, hanya tiga rute perintis yang berlokasi di wilayah Maluku. Ketiga rute ini juga merupakan rute-rute panjang dengan jumlah hari berlayar antara 15 hingga 20 hari, dimana pelabuhan pangkalannya di Ambon, dan ketiga rute ini lebih mengarah ke wilayah kabupaten Maluku Barat Daya. 20 pelabuhan lain berada pada indeks *medium connectivity*, dan 19 pelabuhan lain berada pada indeks *lower connectivity*.



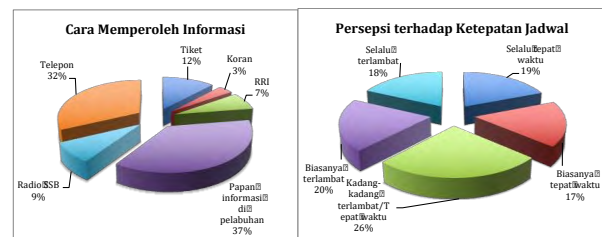
Gambar 1. Indek Konektivitas Pelabuhan di Provinsi Maluku

Pengukuran infrastruktur penunjang konektivitas angkutan laut perintis di 75 pelabuhan laut/penyeberangan dalam wilayah Provinsi Maluku menunjukkan bahwa kontribusi terkecil dari empat kategori pengukuran di atas adalah layanan informasi yakni sebesar 23,40%. Dari kategori informasi diketahui bahwa indikator sistem distribusi informasi kapal/pelayaran kepada para pengguna jasa angkutan laut di desa-desa merupakan indikator yang paling lemah (0,00%), artinya belum ada sistem distribusi informasi kapal/pelayaran yang tersedia bagi masyarakat pengguna moda angkutan ini. Kontribusi ketersediaan jaringan seluler (32,27%) cukup menunjang layanan informasi kapal, disamping ketersediaan radio SSB (23,20%). Ketersediaan papan informasi baik di pelabuhan ataupun di kapal juga cukup memberikan informasi kapal/pelayaran bagi masyarakat pengguna jasa angkutan laut.

Terkait cara memperoleh informasi tentang jadwal kapal, waktu kedatangan dan/atau keberangkatan kapal, serta tarif, 223 responden (36,92%) menyatakan memperoleh dari papan informasi di pelabuhan. Sedangkan 194 responden (32,12%) memperoleh informasi kapal melalui telepon. Proporsi cara pengguna moda angkutan laut untuk memperoleh informasi terkait penjadwalan kapal dapat dilihat pada gambar 2a. Gambar 2b mengindikasikan tingkat kepercayaan responden terhadap ketepatan waktu penjadwalan cukup rendah

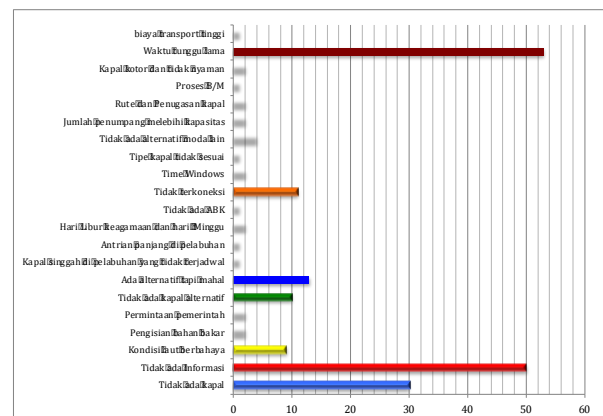
dimana dari 604 responden terdapat 385 orang atau 63,74% yang menyatakan bahwa jadwal kapal sering tidak tepat waktu.

Dari penelitian ini juga diperoleh informasi persepsi pengguna jasa moda angkutan laut perintis terhadap waktu tunggu di pelabuhan. Ada 513 responden atau 84,79% yang menyatakan persepinya tentang waktu tunggu kapal di pelabuhan yang cukup lama. Ini menunjukkan bahwa tidak informasi penjadwalan kapal yang diperoleh dari sumber-sumber yang ada (papan informasi di pelabuhan, telepon, dll.) belum bisa menjamin konektivitas antara modal laut dan moda lainnya di wilayah propinsi Maluku.



Gambar 2. Proporsi cara memperoleh informasi penjadwalan kapal dan persepsi responden terhadap ketepatan jadwal.

Dari 604 responden yang menggunakan moda transportasi laut (perintis) diperoleh gambaran masalah transportasi laut di wilayah kepulauan sebagaimana ditampilkan secara grafis dalam Gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan bahwa masalah utama yang dihadapi oleh para pengguna moda transportasi laut di wilayah kepulauan adalah waktu tunggu yang cukup lama di pelabuhan, disamping tidak tersedianya informasi penjadwalan kapal. Ketiadaan kapal pada saat dibutuhkan juga merupakan salah satu masalah utama sistem transportasi antar pulau di wilayah kepulauan.

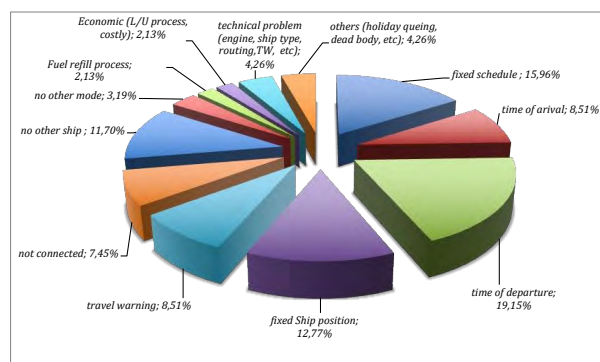


Gambar 3. Identifikasi kendala-kendala transportasi laut di wilayah kepulauan

Untuk masalah waktu tunggu cukup tinggi di pelabuhan, ada beberapa faktor utama yang mempengaruhi, yakni:

- Informasi waktu keberangkatan tidak jelas, menyebabkan pengguna jasa memilih untuk datang lebih awal di pelabuhan daripada tertinggal kapal.
- Tidak ada kepastian jadwal kunjungan kapal.
- Tidak mengetahui posisi kapal.
- Tidak ada dan/atau tidak tahu alternatif kapal lain sehingga pengguna jasa sering tertahan di satu pulau cukup lama.
- Faktor cuaca dan waktu kedatangan kapal.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap waktu tunggu di pelabuhan disajikan secara grafis dalam Gambar 4.



Gambar 4. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingginya waktu tunggu di pelabuhan.

Dari Gambar 4 juga terlihat bahwa informasi merupakan faktor kunci dalam upaya meningkatkan konektivitas antar pulau dan mengurangi waktu tunggu.

4. KESIMPULAN

Tingginya angka kebutuhan informasi terkait jadwal kapal reguler bagi masyarakat di wilayah kepulauan adalah hal yang wajar mengingat sifat ketergantungan yang tinggi terhadap moda angkutan laut, dan ditunjang oleh rendahnya angka kebutuhan informasi tentang ketersediaan moda angkutan lain (misalnya moda udara). Rendahnya angka kebutuhan informasi terkait kondisi kapal menunjukkan tingginya tingkat kepercayaan pengguna jasa terhadap kondisi kapal. Hal ini dibuktikan juga dengan hasil pengukuran persepsi pengguna jasa transportasi laut perintis terhadap aspek keselamatan dimana hanya 12% responden menyatakan merasa kurang terjamin keselamatannya dengan moda angkutan laut perintis. Kebutuhan informasi tentang ketersediaan kapal lain sebagai alternatif untuk menunjang mobilitasnya juga cukup tinggi (17,31%).

Jika waktu tunggu merupakan fungsi turunan dari konektivitas, maka faktor ketersediaan informasi merupakan kendala utama upaya peningkatan konektivitas wilayah kepulauan, disamping ketersediaan kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. G. Masassya, “Maritime Connectivity: The Role of IPC in Maritime Logistic & Connectivity,” 2018.
- [2] G. M. Speranza, “Trends in Transportation and Logistics,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 264, no. 3, hal. 830–836, 2018.
- [3] H. I. Nur, T. Achmadi, dan K. Mercy, “Analysis of Seven International Indonesian Hub Ports Policy Development Impact on Shipping and Port Sector,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 557, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/557/1/012061.
- [4] J. P. Rodrigue, C. Comtois, dan B. Slack, *Transportation and The Spatial Structure*, 3rd ed. 2013.
- [5] M. B. Lekakou dan T. K. Vitsounis, “Market Concentration in Coastal Shipping and Limitations to Island’s Accessibility,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 2, hal. 74–82, 2011, doi: 10.1016/j.rtbm.2011.10.001.
- [6] G. Wilmsmeier dan T. Notteboom, “Determinants of Liner Shipping Network Configuration: A Two-Region Comparison,” *GeoJournal*, vol. 76, no. 3, hal. 213–228, 2011, doi: 10.1007/s10708-009-9333-2.
- [7] P. W. de Langen dan K. Sharypova, “Intermodal Connectivity as a Port Performance Indicator,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 8, hal. 97–102, 2013, doi: 10.1016/j.rtbm.2013.06.003.
- [8] J. Jiang, L. H. Lee, E. P. Chew, dan C. C. Gan, “Port connectivity study: An analysis framework from a global container liner shipping network perspective,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 73, hal. 47–64, 2015, doi: 10.1016/j.tre.2014.10.012.
- [9] G. Wilmsmeier dan R. J. Sánchez, “Evolution of Shipping Networks: Current Challenges in Emerging Markets,” *Z. Wirtschaftgeogr.*, vol. 54, no. 3–4, hal. 180–193, 2010.
- [10] S. Mishra, F. T. Welch, dan K. M. Jha, “Performance Indicators for Public Transit

- Connectivity in Multi-Modal Transportation Networks,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 46, no. 7, hal. 1066–1085, 2012, doi: 10.1016/j.tra.2012.04.006.
- [11] T. F. Welch dan S. Mishra, “A Measure of Equity for Public Transit Connectivity,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 33, hal. 29–41, 2013, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2013.09.007.
- [12] S. Kaplan, D. Popoks, C. G. Prato, dan A. Ceder, “Using Connectivity for Measuring Equity in Transit Provision,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 37, hal. 82–92, 2014, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.04.016.
- [13] Y. Hadas, “Assessing Public Transport Systems Connectivity Based on Google Transit Data,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 33, hal. 105–116, 2013, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2013.09.015.

SEPARATION OF ETHANOL-WATER AZEOTROPE MIXTURES USING
EXTRACTIVE DISTILLATION METHOD

Muhammad Ikhsan Taipabu¹, Wei Wu², Karthickeyan Viswanathana³, Nikmans Hattu⁴,
Erвина Rumpakwakra⁵, and Micky Kololu⁶

¹Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

¹Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97233, Indonesia

E-mail: ikhsanchemy@gmail.com

²Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

³Department of Mechanical Engineering, Sri Krishna College of Technology, Coimbatore 641042, India

E-mail: karthickeyanme.ice@gmail.com

⁴Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97233, Indonesia

E-mail: nickhattu@fmipa.unpatti.ac.id

⁵Department of Chemical Engineering, Pattimura University, Ambon 97233, Indonesia

E-mail: rumpakwakrae@yahoo.com

⁶Department of Geological Engineering, Pattimura University, Ambon 97233, Indonesia

E-mail: micky.kololu@fatek.unpatti.ac.id

Abstract Extractive distillation is a specialized distillation process that involves adding an additional component (extractive agent or solvent/entrainer) to the mixture in order to alter the relative volatilities of the components and enable their separation, even when they form azeotropes. This technique is commonly used to separate azeotropic mixtures, such as ethanol-water azeotropes. The ethanol-water azeotrope is a well-known example, where the mixture contains around 95.6 wt% ethanol and 4.4 wt% water. Traditional distillation methods cannot separate these components efficiently due to the azeotropic behavior. However, extractive distillation offers a solution by introducing a third component (entrainer) that forms a ternary azeotrope, which has different properties compared to the binary azeotrope (ethanol-water). This study presents the effect of the operating parameters (e.g., column configuration, pressure, entrainer type) on energy consumption while the purity of ethanol is set to 99.5 wt%. Appropriate entrainers (i.e., glycerol, ethylene glycol) are chosen to extract water from methanol at different compositions. The optimum design of ethanol-water azeotrope separation is obtained by using sensitivity analysis in Aspen Plus simulation. The results indicate the trade-off between solvent and reboiler duty consumption. An advanced comparison study is recommended, including the mixing of both solvents as entrainer.

Keywords: Azeotrope separation, entrainer, ethanol-water, extractive distillation.

1. INTRODUCTION

Water-ethanol separation, often referred to as ethanol dehydration or ethanol purification, is a crucial process in various industries, including the pharmaceutical, chemical, and beverage sectors, as well as in the production of biofuels. This separation involves the removal of water from an ethanol-water mixture to achieve the desired ethanol concentration or purity [1].

Ethanol, commonly known as alcohol, is a versatile and widely used solvent, fuel, and beverage ingredient. It is often produced through fermentation processes, which result in a mixture of

ethanol and water [2]. However, for many applications, especially when high-purity ethanol is required, the removal of water is essential.

Separating azeotropes can be challenging due to their unique properties. Azeotropes are mixtures of two or more substances that have a constant boiling point and composition. This means that during traditional distillation processes, it's difficult to separate the components completely because they evaporate and condense together [3]. Therefore, special techniques are required to apply in the azeotrope separation.

The separation of water from ethanol as azeotrope mixture can be challenging because ethanol forms an azeotrope, a mixture with a constant boiling point composition, with water at approximately 95.6% ethanol by weight. This means that simple distillation cannot achieve ethanol concentrations greater than this value. To obtain anhydrous ethanol (ethanol with very low water content, typically less than 1% water by weight), more advanced separation techniques are necessary.

Several methods are employed for water-ethanol azeotrope separation, including distillation techniques (e.g., pressure swing distillation [4], extractive distillation [3]), molecular sieves solid materials with highly porous structures, membrane separation technologies (e.g., pervaporation [5], vapor permeation [6]), chemical looping [7], [8], and azeotropic distillation [9].

Extractive distillation offers several advantages compared to other separation techniques, particularly when dealing with challenging azeotropic or close-boiling mixtures. Extractive distillation is particularly effective at breaking azeotropes, which are mixtures with constant boiling points. By introducing an extractive agent (also known as a solvent or entrainer), it alters the vapor-liquid equilibrium, allowing for the separation of components that would otherwise form an azeotrope [10]. This capability is especially valuable in situations where other methods struggle to achieve separation.

Extractive distillation allows for highly selective separation. The choice of the extractive agent can be tailored to the specific components being separated, ensuring that one component is preferentially absorbed by the solvent while the other is distilled overhead. This selectivity can lead to higher-purity products.

In some cases, extractive distillation can be more energy-efficient than other separation techniques. By using an extractive agent, it's possible to reduce the number of theoretical trays or stages required for separation, which can result in energy savings [11], [12].

Extractive distillation systems are flexible and adaptable. Engineers can design systems with varying levels of complexity, depending on the desired separation goals and constraints. This flexibility makes it suitable for a wide range of applications.

2. METHODOLOGY

2.1. Aspen plus simulation

Simulating the separation of methanol and water using Aspen Plus involves setting up a process flow diagram, specifying components, choosing appropriate thermodynamic models, and defining operating conditions (Table 1).

Ethanol and water form an azeotrope at approximately 95.6% ethanol by weight (Fig. 1). It means that when a mixture of ethanol and water containing about 95.6% ethanol and 4.4% water is heated and distilled, the vapor that comes off has the same composition as the liquid mixture. In other words, the ethanol and water in this mixture are so strongly bonded that it's difficult to separate by simple distillation.

Table 1. Initial operating parameters [13]

Parameter	Value
Colum pressure (atm)	1
Feed flow (kmol/h)	12.461
Feed composition	EtOH/H ₂ O (0.47/0.53)
Target EtOH purity	0.995
Entrainer flow (kmol/h)	5
Entrainer composition (mole fraction)	EG (1) GLY (1) GLY/EG (0.5/0.5)
Number of stage	EDC (26 stages) RGC (10 stages)
Feed stage	Ent. (2 nd stage) EDC (17 th stage) RGC (5 th stage)

EtOH-H₂O azeotrope poses a challenge in industries where the separation of ethanol and water with high purity is necessary, such as in the production of anhydrous (water-free) ethanol for fuel or pharmaceutical applications. To separate ethanol and water beyond this azeotrope composition, more advanced separation techniques like extractive distillation, pressure swing distillation, or the addition of specialized entrainers are often used to break the azeotrope and achieve the desired separation.

EDC include entrainer flowrate, reflux ratio, and feed stages (Table 2), with respect to the reboiler duty as well as EtOH purity. The prior target of the sensitivity analysis is preferred to high EtOH and with lower reboiler duty.

Table 2. Parameter range of sensitivity

Parameter	Range
Entrainer flow rate (kmol/h)	1-10
Reflux ratio	0.8-1.8
Feed stage	14-24

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Sensitivity analysis of EDC using EG

The effect of EG flow rate and reflux ratio on the purity and reboiler duty are presented in Figure 3.

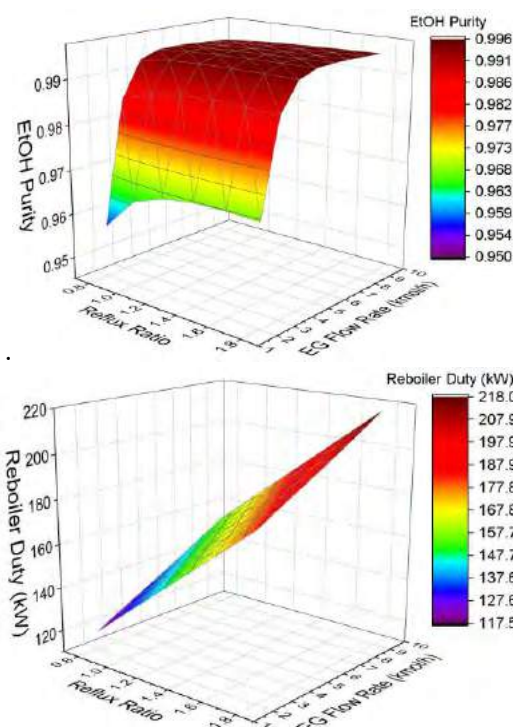


Figure 3. Effect of EG flow rate and reflux ratio to the purity and reboiler duty

At a lower EG flow rate and low reflux ratio, the maximum purity is about 0.955. When the reflux ratio increase to 1.4, the purity is significantly increases to 0.970 which presents the optimum point for reflux ratio at EG flow rate of 2 kmol/h. Once the EG flow rate is increased to 5.5 kmol/h, the EtOH purity enhances to 0.995. It means that the minimum EG consumption is 5.5 kmol/h to achieve the purity of 0.995 with a reboiler duty of 204 kW.

In Figure 4, the influence of the reflux ratio and feed stage to the purity and reboiler duty are shown. The feed stage does not significantly influence the

Figure 1. Txy diagram of ethanol-water at 1 atm.

The extractive distillation design for ethanol-water azeotrope separation is shown in Fig. 2. The entrainer is introduced at the top and ethanol-water azeotrope mixture is fed at the bottom of the extractive distillation column (EDC). The bottom product of EDC is then fed into the entrainer regeneration column (RGC) in order to regenerate entrainer and further recycled into EDC.

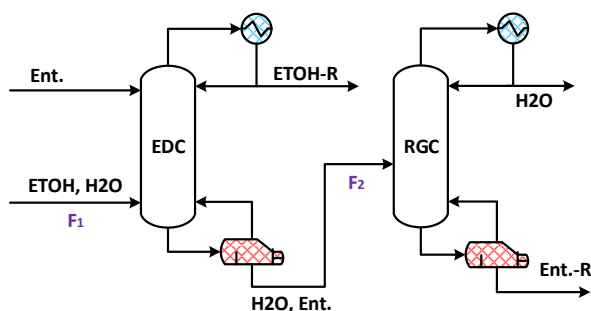


Figure 2. Extractive distillation design for EtOH-H₂O azeotrope separation

2.2. Sensitivity analysis strategy

Sensitivity analysis in the context of extractive distillation refers to evaluating how changes in various parameters or factors affect the performance and efficiency of the distillation process. This analysis is crucial for optimizing the design and operation of extractive distillation systems.

The sensitivity analysis of the EtOH-H₂O azeotrope separation is started from the EDC as the main process of azeotrope separation by extraction method. The sensitivity analysis of RGC is not considered in this study. However, the optimum parameter in RGC can be easily discussed once the optimum parameter of EDC is presented. The operating parameters in the sensitivity analysis of

EtOH purity as well as reflux ratio but the reboiler duty increase by increasing of reflux ratio.

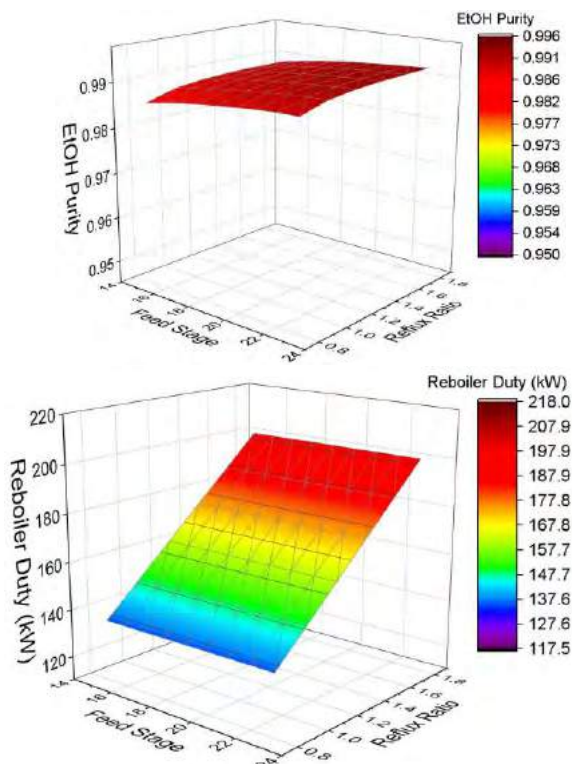


Figure 4. Effect of reflux ratio and feed stage to the purity and reboiler duty with EG=5 kmol/h

3.2. Sensitivity analysis of EDC using GLY

Because of the differences in the physical and chemical properties, GLY solvent is considered as the comparison to the EG solvent. Different properties of the solvent impact the extraction performance [14].

Figure 5 shows the influence of GLY flow rate and reflux ratio on the purity and reboiler duty. Although the optimum point is shown at reflux ratio of about 1.0, it does not really impact when the when GLY flow rate increases over 3 kmol/h. The result indicates the purity of 0.995 can be achieved at 3 kmol/h and even up to 0.999 purity at the same flow rate in EG case (5.5 kmol/h). It can be proven that the solvent consumption is less by using GLY. In the economical point of view, less solvent used resulting the less material cost [15]. Furthermore, reducing the solvent consumption can reduce the reboiler duty in the RGC and reduce the operating cost in advance [16].

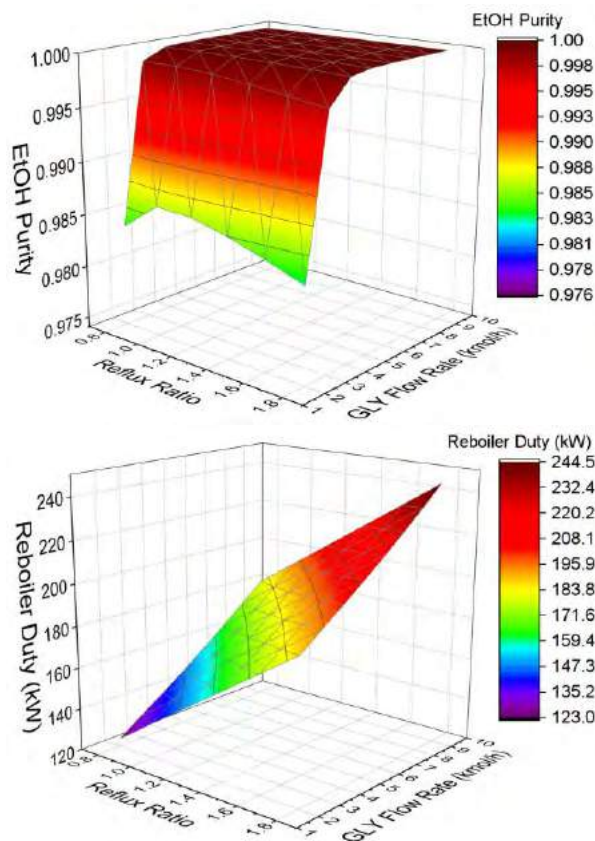


Figure 5. Effect of GLY flow rate and reflux ratio to the purity and reboiler duty

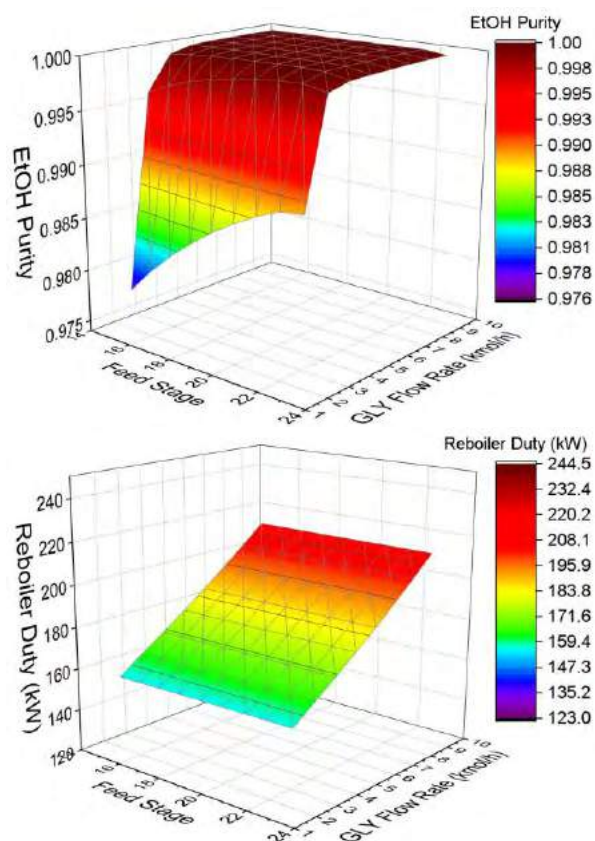


Figure 6. Effect of reflux ratio and feed stage to the purity and reboiler duty with GLY=5 kmol/h

By Figure 6, the the feed stage impact the purity if the GLY flow rate is set at lower bond and is less impact when the its flow rate increased over 3 kmol/h. At the low solvent flow rate, the extraction performance of the solvent to extract the water from EtOH is less. Therefore, the feed stage need to be fed at the lower part of the column or far away from the solvent feed stage of at high number of stage in order to maximaze the contact time between the solvent and the mixture.

The comparison of the optimum solvent is presented in Figure 7. At the same EtOH purity (0.995), the optimum solvent consumption are obtained at 5 kmol/h and 3 kmol/h, respectively. In addition, the energy consumption or reboiler duty of EDC using EG solvent is 204 kW, less than GLY solvent, which is about 233 kW. This result is influenced by the boiling point of each component (Boiling point EG = 197°C, GLY = 290°C). This comparison shows the trade-off between the solvent and the reboiler duty consumption for both solvents. Mixing of both solvents as an entrainer is also recommended by previous studies to maximize the advantage from these solvents. An advance comparison study is necessary especially in the RGC due to the high energy consumption taken by RGC rather than EDC.

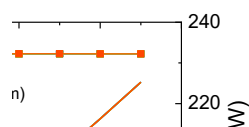
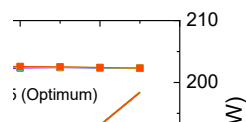


Figure 7. Comparison of the optimum solvent.

4. CONCLUSION

This study presents the effect of the operating parameters on energy consumption while the purity of ethanol is set to 99.5 wt%. Two entrainers (GLY, EG) are chosen. The optimum design of ethanol-water azeotrope separation is obtained by using sensitivity analysis in Aspen Plus simulation. At the same EtOH purity (0.995), the optimum solvent consumption are obtained at 5 kmol/h and 3 kmol/h, respectively. The reboiler duty of EDC using EG solvent is 204 kW, less than GLY solvent (233 kW). The results indicate the trade-off between solvent and reboiler duty consumption. This comparison illustrates the compromise between the solvent and the amount of reboiler duty required for each solvent. An advanced comparison study is particularly imperative in the RGC context, given that the RGC consumes significantly more energy than the EDC. Additionally, prior research suggests utilizing a mixture of both solvents as an entrainer in order to optimize the benefits of these solvents.

ACKNOWLEDGE

This work was financially supported by the National Science and Technology Council, Taiwan under grant 111-2221-E-006-005. Also, We thank Chemical Engineering, Pattimura University for such a fantastic collaboration.

REFERENCES

- [1] G. Li and P. Bai, "New operation strategy for separation of ethanol-water by extractive distillation," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 51, no. 6, pp. 2723–2729, 2012.
- [2] K. Ouchida *et al.*, "Integrated sugarcane farming and sugar milling with selective fermentation: A simulation-based approach," *J. Clean. Prod.*, vol. 236, no. 2019, p. 117521, 2019.
- [3] C. C. Yi, W. C. Huang, and I. L. Chien, "Energy-efficient heterogeneous extractive distillation system for the separation of close-boiling cyclohexane/cyclohexene mixture," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 87, pp. 26–35, 2018.
- [4] W. L. Luyben, "Pressure-Swing Distillation for Minimum- and Maximum-Boiling Homogeneous Azeotropes," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 51, no. 33, pp. 10881–10886, Aug. 2012.
- [5] 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.
- [6] L. M. Vane, "Review of pervaporation and vapor permeation process factors affecting the removal of water from industrial solvents," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 95, no. 3, pp. 495–512, 2020.
- [7] X. Gao *et al.*, "Application of Dimethyl Carbonate Assisted Chemical Looping Technology in the Separation of the Ethylene Glycol and 1,2-Butanediol Mixture and Coproduction of 1,2-Butene Carbonate," *Ind. & Eng. Chem. Res.*, vol. 60, no. 5, pp. 2249–2264, Jan. 2021.
- [8] 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.
- [9] X. Gao and X. Geng, "Application of the Chemical-Looping Concept for Azoetrope Separation," *Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 84–93, 2021.
- [10] W. Shen, H. Benyounes, and V. Gerbaud, "Extractive distillation: Recent advances in operation strategies," *Rev. Chem. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 13–26, 2015.
- [11] 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.
- [12] I. D. Gil, L. C. García, and G. Rodríguez, "Simulation of ethanol extractive distillation with mixed glycols as separating agent," *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 259–270, 2014.
- [13] 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.
- [14] R. A. Tusso-pinzón, A. Castillo-landero, L. G. Matallana-pérez, and A. Jiménez-gutiérrez, "Chemical Engineering & Processing : Process Intensification Intensified synthesis for ethyl lactate production including economic , sustainability and inherent safety criteria," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 154, no. June, p. 108041, 2020.
- [15] P. García-Herreros, J. M. Gómez, I. D. Gil, and G. Rodríguez, "Optimization of the design and operation of an extractive distillation system for the production of fuel grade ethanol using glycerol as entrainer," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 50, no. 7, pp. 3977–3985, 2011.
- [16] M. I. Taipabu, K. Viswanathan, W. Wu, R. Handogo, A. Mualim, and H. Huda, "Process Intensification New improvement of amine-based CO₂ capture processes using heat integration and optimization," *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.*, vol. 193, no. September, p. 109532, 2023.