



e-ISSN: 2962-3359

Hak Cipta© 2024, Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Penggandaan atau penerjemahan sebagian/seluruh bagian dari jurnal ilmiah ini harus seijin tertulis Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Alamat Sekretariat:

Redaksi Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman (JRT2K)
Lantai 3, Gedung Naval A
Kampus Fakultas Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin (UNHAS)
Jl. Poros Malino, km. 6, Bontomarannu
Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia
E-mail : jrt2k@unhas.ac.id
Website : <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jrt2k>

Staf Redaksi

- Pengarah : Dekan Fakultas Teknik, UNHAS
- Pemimpin Redaksi : Dr.Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
- Editor Pelaksana : Balqis Shintarahayu, ST, M.Sc.
- Dewan Redaksi : Ir. H. Zulkifly A. Yususf, MT
Muhdar Tasrief, ST., M.Eng., P.hD
Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl,-Ing
A. Haris Muhammad,MT.,PhD
Baharuddin, ST., MT
Dr. Rahimuddin, ST., MT
Haryanti Rivai, ST., MT, PhD
Suryanti Hariyanto, ST., MT
Hasnawiyah Hasan, ST., M.Eng
Andi Husni Sitepu, ST., MT
Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT
Wira Setiawan, ST.,MT
Apriyansyah,ST.,MT
- Redaktur Pelaksana : Fadel Rezky Ramadhan, ST
Nurhikmah Jaya, SP
- Staf Kesekretariatan : Abdul Rahman, S.Sos

Kata Pengantar Redaksi

Assalamu Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh
Salam Hormat,

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin. Dalam kesempatan ini, kami dengan rendah hati mempersembahkan edisi terbaru Jurnal Ilmiah Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman (JRT2K) Volume 3 Nomor 2, Desember 2024. Edisi ini memuat berbagai hasil penelitian dan terapan riset yang aktual, inovatif, serta relevan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kemaritiman dan pendukungnya. Pada edisi ini, disajikan 6 (enam) makalah yang terdiri dari 5 (lima) makalah riset kemaritiman dan 1 (satu) makalah terapan riset. Artikel-artikel yang disajikan mencerminkan perkembangan kajian di bidang sistem perkapalan, keselamatan pelayaran, efisiensi energi, serta pemberdayaan masyarakat berbasis teknologi.

Makalah pertama membahas analisis penyebab kegagalan Marine Growth Prevention System (MGPS) pada sistem pendingin air laut kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kinerja sistem dalam mencegah pertumbuhan organisme laut, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem pendingin kapal. Makalah kedua mengkaji desain Safety and Fire Control Plan serta perancangan jalur evakuasi (escape route) pada Kapal Latih Barombong. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan aspek keselamatan dan kesiapsiagaan dalam menghadapi kondisi darurat di atas kapal.

Makalah ketiga menganalisis kinerja pelayanan kapal penyeberangan KMP Balibo pada rute Bira–Pamatata. Penelitian ini menilai efektivitas operasional dan kualitas layanan sebagai upaya peningkatan kinerja transportasi laut antarwilayah. Makalah keempat membahas analisis ekonomis sistem pendingin kapal ikan katinting berbasis energi surya. Penelitian ini menitikberatkan pada efisiensi biaya operasional serta potensi pemanfaatan energi terbarukan dalam mendukung kegiatan perikanan.

Makalah kelima mengevaluasi kebutuhan energi listrik untuk sistem penerangan dan peralatan pendukung operasi pada kapal rumah sakit tipe LCT. Hasil penelitian ini memberikan gambaran kebutuhan energi yang optimal guna menunjang fungsi pelayanan kesehatan di atas kapal. Makalah terakhir merupakan makalah terapan riset yang membahas pengenalan dan pendampingan aplikasi mikrokontroler pada sistem penyiraman kebun untuk meningkatkan produktivitas ekonomi petani di Desa Balla, Kabupaten Enrekang. Kegiatan ini bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi sederhana dalam sektor pertanian guna meningkatkan efisiensi dan hasil produksi.

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penulis dan reviewer yang telah berkonitmen dalam menjaga kualitas setiap artikel pada edisi ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses pengelolaan, penyuntingan, hingga penerbitan jurnal ini.

Kami berharap bahwa seluruh artikel yang dipublikasikan dalam edisi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang kemaritiman, serta menjadi referensi yang bermanfaat bagi akademisi, praktisi, dan masyarakat luas.

Wassalamu Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, 12 November 2024

Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, ST. M.Inf.Tech., M.Eng.
Pemimpin Redaksi

Daftar Isi

Staf Redaksi	i
Kata Pengantar Redaksi	ii
Daftar Isi	iv

Riset Kemaritiman

Analisis Penyebab Kegagalan Marine Growth Prevention System (MGPS) Untuk Sistem Pendingin Air Laut Pada Kapal	
Yospin Kala' Kawandoda, Surya Hariyanto, Syerly Klara, M. Rusydi Alwi	49-54
Desain Safety and Fire Control Plan dan Perancangan Escape Route pada Kapal Latih Barombong	
Fauzan Arsandi, Andi Husni Sitepu	55-69
Analisis Kinerja Pelayanan Kapal Penyeberangan KMP Balibo Pada Rute Bira-Pamatata	
Haerul Muhammad Haerullah, M. Rusydi Alwi, Syerly Klara, Andi Husni Sitepu	70-75
Analisis Ekonomis Sistem Pendingin Kapal Ikan Katinting berbasis Energi Surya	
Az Zahrawaani, Surya Hariyanto, Syerly Klara	76-81
Evaluasi Kebutuhan Energi Listrik untuk Sistem Penerangan dan Peralatan Pendukung Operasi pada Kapal Rumah Sakit Tipe LCT	
Suardi Suardi, Muhammad Yogi Raditya, Azhar Aras Mubarak, Hariyono Hariyono, Chris Jeremy Verian Sitorus, Harlian Kustiwanasa	82-87

Terapan Riset

Pengenalan dan Pendampingan Aplikasi Mikrokontroller pada Sistem Penyiraman Kebun guna Meningkatkan Produktivitas Ekonomi Petani di Desa Balla Kabupaten Enrekang	
Faisal Mahmuddin, Syerly Klara, Surya Hariyanto, Arham Suhardi, Syahrin Ramadhan, Fadel Rezky Ramadhan	88-92

Analisis Penyebab Kegagalan Marine Growth Prevention System (MGPS) untuk Sistem Pendingin Air Laut Pada Kapal

Yospin Kala¹, Kawandoda¹, Surya Hariyanto^{1,*}, Syerly Klara¹, M. Rusydi Alwi¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: suryahariyanto@gmail.com

Abstrak

Marine Growth Prevention System (MGPS) berfungsi untuk mencegah pertumbuhan organisme laut yang dapat mengganggu kinerja sistem pendinginan, namun sering mengalami kegagalan yang berdampak pada efisiensi operasional kapal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan MGPS pada sistem pendingin air laut di kapal dengan menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dan diagram fishbone. Metode fishbone diagram digunakan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan penyebab kegagalan ke dalam kategori seperti manusia, mesin, lingkungan, dan metode. Melalui analisis FMEA, berbagai mode kegagalan diidentifikasi, termasuk korosi pada anoda dan kesalahan pengoperasian. Setiap mode kegagalan dievaluasi berdasarkan severity, occurrence, dan detection, yang menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) untuk menentukan prioritas tindakan perbaikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa korosi pada anoda dan kesalahan pengoperasian oleh operator memiliki nilai RPN yang tinggi, yaitu 82,1 dan 79.

Abstract

An Analysis of the Causes of Failure in the Marine Growth Prevention System (MGPS) for Seawater Cooling Systems on Ships. The Marine Growth Prevention System (MGPS) functions to prevent the growth of marine organisms that can interfere with the performance of the cooling system, but it often experiences failures that affect the operational efficiency of the ship. This study aims to analyze the causes of failure in the MGPS used in the seawater cooling system on ships by applying the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method and a fishbone diagram. The fishbone diagram method is used to identify and categorize the causes of failure into factors such as human, machine, environment, and method. Through FMEA analysis, various failure modes were identified, including anode corrosion and operational errors. Each failure mode was evaluated based on severity, occurrence, and detection, resulting in a Risk Priority Number (RPN) to determine the priority of corrective actions. The analysis results show that anode corrosion and operator error have high RPN values, namely 82.1 and 79, respectively.

Kata Kunci: Marine growth prevention system; fishbone diagram, failure mode; effects analysis

1. Pendahuluan

Pendinginan adalah proses yang menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dalam mesin. Terdapat dua jenis sistem pendingin: terbuka dan tertutup. Sistem terbuka menggunakan air laut untuk mendinginkan mesin, sementara sistem tertutup menggunakan air tawar yang bersirkulasi. Beberapa komponen penting dalam sistem ini meliputi *cooler*, pompa sirkulasi air tawar, pompa air laut, filter air laut, dan *sea chest*. Kinerja pendinginan sering kali kurang optimal, sehingga pengelolaan yang baik sangat penting untuk menjaga suhu mesin tetap stabil dan mencegah kerusakan [1].

MGPS adalah suatu sistem yang diterapkan di kapal untuk menghambat pertumbuhan *marine growth*, yaitu sekumpulan hewan atau tumbuhan laut

yang tumbuh dan berkoloni di permukaan bangunan di dalam laut yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, yang jika tidak diatasi berlarut-larut akan mengakibatkan kerusakan pada *main engine* maupun permesinan bantu lainnya [2].

Sistem MGPS menggunakan sepasang anoda tembaga dan aluminium untuk mencegah *marine growth*. Anoda tembaga menghasilkan ion yang mengalir melalui air laut, menghambat pertumbuhan kerang dan teritip. Sepasang anoda dipasang pada *Sea Chest*/sistem *heat exchanger*, dihubungkan dengan panel kontrol. Karena anoda kelebihan muatan elektron, tembaga/aluminium melepaskan ion negatif ke dalam air laut, menciptakan kondisi tidak ramah bagi biota perusak. Aluminium hidroksida membentuk lapisan yang melindungi pipa dari korosi,

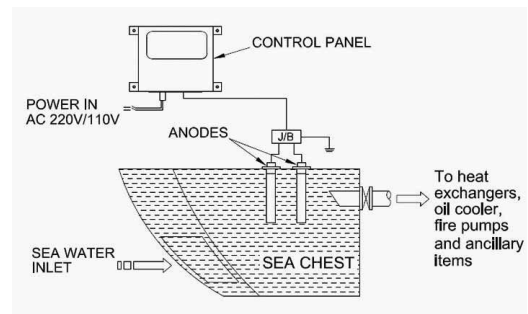
menghemat biaya pemeliharaan dengan umur pakai yang lebih lama. Adapun komponen – komponen yang digunakan yaitu *power control panel*, *Junction Box*, *Anodes assembly* atau *Electrode cell*, *Pump*, *pipe*, dan *Electrolytic Cell* [3].

Kapal *Landing Craft Tank* (LCT) Adelia 8012 beroperasi di perairan Indonesia dan memiliki peran penting dalam transportasi barang dan logistik. Sebagai kapal yang menggunakan mesin diesel, sistem pendingin merupakan komponen krusial yang bertugas menjaga suhu mesin agar tetap dalam batas aman. Sistem pendingin ini umumnya memanfaatkan air laut sebagai media untuk menyerap panas dari mesin. Namun, penggunaan air laut juga membawa risiko, terutama terkait dengan pertumbuhan organisme laut yang dikenal sebagai *marine growth*. Adapun metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut yaitu *Fishbone diagram* dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

(*Fishbone Diagram*) yaitu salah satu teknik yang efektif dalam menganalisis data yang ada untuk mengidentifikasi permasalahan, dengan menganalisis penyebab-penyebab masalah yang terjadi. Diagram tulang ikan adalah metode menganalisis penyebab suatu masalah atau kondisi. Diagram tulang ikan adalah alat analisis yang secara sistematis menampilkan akibat-akibat dan sebab-sebab yang menghasilkan atau mempengaruhi akibat-akibat tersebut. Karena ciri-ciri diagram tulang ikan, maka dapat disebut diagram tulang ikan [4]. Fungsi dasar dari diagram tulang ikan adalah untuk mengidentifikasi dan mengatur kemungkinan penyebab dari suatu efek tertentu dan mengisolasi akar penyebabnya [5].

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mengidentifikasi mode kegagalan dari setiap komponen dari sistem dan menganalisis pengaruhnya terhadap *reliability* sistem tersebut. FMEA merupakan alat yang dapat digunakan untuk menganalisis *reliability* dari sebuah sistem dan penyebab terjadinya kegagalan sehingga dapat mencapai keandalan, keamanan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti menganalisis kegagalan sistem, penyebab terjadinya kegagalan, serta effect atau dampak yang terjadi akibat kegagalan pada masing – masing komponen.

Dari analisis ini didapatkan penentuan kristis yang paling banyak mengalami kegagalan dan seberapa jauh memberikan pengaruh terhadap fungsi sistem, sehingga kita dapat memberikan perlakuan terhadap komponen kritis dengan melakukan pemeliharaan yang tepat. Dalam metode FMEA terdapat *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) *Workshit* berisi *Type of Failure*, *Failure Mode*, *Cause of Failure*, *Effect of Failure*, *Severity* (S), *Occurency* (O),



Gambar 1. Diagram *Marine Growth Prevention System* (MGPS)

Detection (D) and *Risk Priority Number* (RPN). Hasil dari RPN menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan, maka dari itu semakin tinggi nilai RPN dalam suatu mesin, maka mesin itu harus semakin diprioritaskan atau diperhatikan [6].

2. Metode Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dalam bentuk penyebaran kuesioner kepada responden yang memiliki pengalaman dalam bidang permesinan kapal. Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang dapat menyebabkan kegagalan, peristiwa yang menimbulkan bahaya tersebut, dampak yang dapat ditimbulkannya, serta konsekuensi yang mungkin terjadi jika bahaya tersebut tidak ditangani atau dicegah dengan tetap.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi faktor penyebab utama serta menganalisis tingkat keparahan masing-masing faktor penyebab kegagalan dengan menggunakan *Fishbone diagram* untuk menjabarkan Upaya – upaya dan usaha – usaha yang dilakukan untuk mencari tau penyebab dari kegagalan yang terjadi Selanjutnya, Setelah identifikasi penyebab masalah melalui *Fishbone Diagram*, dilanjutkan dengan menggunakan metode FMEA. Dimana, metode ini digunakan untuk menganalisis setiap mode kegagalan yang diidentifikasi dan menilai dampaknya terhadap sistem. Serta, memberikan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari dampak akibat kegagalan (*Severity*), probabilitas terjadinya kegagalan (*Occurency*) dan deteksi kegagalan (*Detection*) untuk mengkuantitafkan efek dari setiap kegagalan. Nilai RPN yang tinggi mengindikasikan bahwa jika kegagalan terjadi, dampaknya bisa sangat merugikan, baik dari segi keselamatan, biaya, maupun keandalan sistem.

Tabel 1. Penjabaran faktor dari setiap kategori kegagalan pada kapal LCT Adelia 8012

No.	Kategori	Jenis Kegagalan
1	Method (proses/prosedur)	Kesalahan pengoprasian Elektrolisis tidak dapat mengimbangi jumlah air laut yang masuk ke dalam sistem pendinginan air laut
2	Machine (mesin)	Hambatan arus listrik Getaran pada badan kapal Meningkatnya suhu pada mesin pendingin
3	Berlayar menuju DPI	Kondisi cuaca laut Kualitas air laut
4	Operasi	Kurangnya keterampilan dan komunikasi Zinc anode terlepas dari dudukannya
5	Mother Natur (lingkungan)	Kerusakan pada isolator Korosi Usia komponen
6	Pengangkatan alat tangkap	Terdapat kotoran berwarna putih pada permukaan plate anoda dan katoda Strainer tersumbat karena kotoran

3.1. Analisis kegagalan pada marine growth prevention system pada kapal

Fishbone diagram, juga dikenal sebagai diagram sebab-akibat atau Ishikawa diagram, adalah alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah dalam penelitian, kapal. Metode ini membantu peneliti memahami hubungan antara efek yang terjadi dan berbagai penyebab yang mungkin



Gambar 2. Fishbone diagram

berkontribusi terhadap masalah tersebut. Berdasarkan hasil penyebaran kuesioner, diperoleh data mengenai penyebab kegagalan *Marine Growth Prevention System (MGPS)* kapal LCT Adelia 8012, yang tertera pada Tabel 1.

3.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah identifikasi penyebab masalah melalui *Fishbone Diagram* seperti pada gambar 2, selanjutnya dilanjutkan dengan menggunakan metode FMEA. Dimana, metode ini digunakan untuk menganalisis setiap mode kegagalan yang diidentifikasi dan menilai dampaknya terhadap sistem. Serta, memberikan nilai *Risk Priority Number (RPN)* dari dampak akibat kegagalan (*Severity*), probabilitas terjadinya kegagalan (*Occurency*) dan deteksi kegagalan (*Detection*) Tabel 2.

Tabel 2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) worksheet

No	Jenis Kegagalan	Failure Mode (kegagalan fungsi)	Cause of Failure (Penyebab kegagalan)	Effect of Failure (akibat dari kegagalan)	S	O	D	RPN
1	Kerusakan pada isolator	Isolator tidak berfungsi dengan baik, menyebabkan arus listrik bocor atau tidak stabil.	Kerusakan fisik atau degradasi material isolator akibat paparan lingkungan laut yang ekstrem.	Kerusakan pada isolator dapat mengganggu proses elektrolisis yang diperlukan untuk mencegah pertumbuhan biota laut.	5.2	2.5	1.7	21.8
2	Panas pada cooler	Kenaikan suhu cooler dapat merusak komponen lain akibat overheating.	<i>Overheating</i> pada cooler disebabkan oleh aliran air tidak memadai, kegagalan pompa, penyumbatan, suhu tinggi, kelembapan, dan kualitas air buruk.	Suhu tinggi mengurangi efisiensi, meningkatkan risiko penyumbatan dan korosi, serta biaya pemeliharaan.	6.5	3.0	1.7	32.3
3	Hambatan arus listrik	Hambatan arus listrik menurunkan aliran arus dan meningkatkan tegangan, sementara output arus tetap rendah.	Penyumbatan oleh marine growth menghambat aliran air, kualitas air buruk mengurangi konduktivitas, dan kerusakan komponen meningkatkan hambatan arus listrik.	Hambatan arus listrik mengurangi efektivitas MGPS dan meningkatkan risiko penyumbatan, korosi, serta biaya pemeliharaan.	4.5	3.0	2.3	31.6
4	Meningkatnya suhu pada mesin pendingin	Meningkatnya suhu akibat ketidakmampuan pendinginan menyebabkan <i>overheating</i> dan	Kualitas air buruk mengurangi pendinginan, penyumbatan saluran pipa menghambat aliran air dingin, dan kerusakan komponen	Meningkatnya suhu mengurangi efektivitas MGPS, menyebabkan kegagalan sistem, dan meningkatkan biaya pemeliharaan.	6.2	3.0	1.6	29.2

		kerusakan komponen sistem MGPS.	mengakibatkan aliran pendingin tidak memadai.					
5	Kondisi cuaca	Penurunan efektivitas pencegahan biota laut.	Perubahan suhu, kekeruhan air, dan arus laut yang tidak stabil.	Pertumbuhan organisme laut yang berlebihan, penyumbatan sistem, dan risiko kerusakan pada komponen.	4.8	1.8	2.6	22.4
6	Usia komponen	Degradasi elektrokimia pada komponen tua mengurangi kemampuan MGPS mencegah pertumbuhan biota laut.	Usia komponen yang melebihi batas umur dan kondisi lingkungan ekstrem dapat menyebabkan kerusakan pada MGPS.	Usia komponen yang melebihi batas umur menyebabkan penurunan efektivitas MGPS, kegagalan operasional, dan biaya pemeliharaan tinggi.	4.7	2.5	3.8	44.5
7	Kesalahan pengoperasian	Pengaturan yang salah dalam sistem.	Kurangnya keterampilan operator.	Kehilangan fungsi perlindungan korosi.	4.8	2.8	5.0	67.3
8	Geraturan pada body kapal	Kerusakan Fisik: Getaran dapat menyebabkan kerusakan fisik pada sambungan dan komponen internal MGPS, seperti anoda dan katoda.	Getaran Berlebihan: Getaran yang dihasilkan oleh mesin kapal atau kondisi laut dapat menyebabkan ketidakstabilan pada komponen MGPS.	Penurunan efektivitas sistem dan peningkatan risiko kegagalan operasional.	5.0	3.2	2.8	44.7
9	Kualitas air laut	Pertumbuhan biota laut yang berlebihan.	Tingginya kandungan nutrisi dan polutan.	Penyumbatan sistem dan penurunan efisiensi pendinginan.	3.8	3.3	3.9	49.3
10	Zinc anode terlepas dari dudukannya	Tidak lagi memiliki proteksi elektrokimia yang efektif untuk mencegah korosi	Kerusakan fisik atau pemasangan yang tidak tepat.	Meningkatnya risiko korosi dan kegagalan sistem.	4.1	2.7	4.8	51.7
11	Kurangnya keterampilan dan komunikasi	Pengoperasian yang Tidak Efisien: Kesalahan dalam pengaturan dan penggunaan sistem	Operator yang tidak terlatih atau kurang memahami sistem	Meningkatkan risiko kerusakan pada komponen logam lainnya.	6.7	3.0	3.9	79.0
12	Korosi pada anoda	Cepatnya korosi anoda mengurangi masa pakai dan efektivitasnya dalam mencegah <i>marine growth</i> , serta mengurangi ion pelindung.	Kualitas air buruk, penyumbatan oleh <i>marine growth</i> , dan kegagalan sistem dapat mempercepat korosi pada anoda dalam MGPS.	Korosi anoda mengurangi efektivitas MGPS, menyebabkan kegagalan operasional, dan meningkatkan biaya pemeliharaan.	6.9	3.2	3.8	82.1
13	Strainer tersumbat karena kotoran	Aliran air terhambat	Penumpukan kotoran dan organisme pada strainer.	Kegagalan Sistem: Ketidakmampuan untuk merespons masalah dengan cepat	6.2	3.0	2.5	45.6
14	Terdapat kotoran berwarna putih pada permukaan plate anoda dan katoda	Menghalangi kontak antara anoda, katoda, dan air laut.	Penumpukan mineral akibat reaksi elektrokimia.	Mengurangi kemampuan sistem dalam mencegah fouling dan meningkatkan risiko <i>overheating</i> .	6.0	3.2	2.5	47.3
15	Elektrolisis tidak dapat mengimbangi jumlah air laut yang masuk ke dalam sistem pendinginan air laut	Proses Elektrolisis Tidak Efektif:	Volume Air Laut Berlebih: Masuknya jumlah air laut yang terus-menerus ke dalam sistem pendinginan	Mengurangi efisiensi sistem dalam mencegah pertumbuhan biota laut.	4.3	3.0	2.4	30.6

Berdasarkan tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) *Worksheet* diperoleh nilai *saverity* (S) yang paling besar yaitu korosi pada anoda. Anoda Anoda dalam sistem MGPS memiliki peran penting dalam menghasilkan ion yang mencegah pertumbuhan biota laut dan korosi pada struktur kapal. Jika anoda mengalami korosi yang signifikan, kemampuannya untuk menghasilkan ion akan berkurang, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem dalam mencegah *marine growth* dan korosi. Berdasarkan tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) *Worksheet* diperoleh nilai *Occurency* (O) yang paling besar salah satunya yaitu kualitas air laut, Air laut memiliki salinitas yang bervariasi tergantung pada lokasi dan kondisi cuaca. Perubahan salinitas dapat mempengaruhi efektivitas ion yang dihasilkan oleh sistem MGPS. Jika salinitas tidak terkontrol, hal ini dapat menyebabkan penurunan kinerja system. Berdasarkan tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) *Worksheet* diperoleh nilai *detection* (D) yang paling besar kesalahan pengoperasian. Dimana, Jika operator tidak mendapatkan pelatihan yang memadai mengenai cara mengoperasikan dan memelihara sistem MGPS, kemungkinan terjadinya kesalahan pengoperasian akan meningkat. Pengetahuan yang kurang tentang prosedur dan fungsi sistem dapat menyebabkan keputusan yang keliru.

3.3. Uji keabsahan kuesioner

Uji validasi ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan dari setiap item instrumentasi penelitian dalam pengujian ini. Penelitian yang diolah menggunakan *Software* Microsoft Excel dengan menggunakan rumus pada persamaan (7). Perhitungan uji validitas berdasarkan pada perbandingan r hitung dengan r tabel, apabila r hitung lebih besar daripada r tabel maka pernyataan dianggap valid. Berikut, tabel hasil uji validasi dari setiap variabel *severity*.

Tabel 3. Validasi *severity*

Pertanyaan	r hitung	r tabel	Keterangan
1	0.89688	0.8114	Valid
2	0.81832	0.8114	Valid
3	0.87686	0.8114	Valid
4	0.92705	0.8114	Valid
5	0.88992	0.8114	Valid
6	0.95352	0.8114	Valid
7	0.85832	0.8114	Valid
8	0.89648	0.8114	Valid
9	0.94389	0.8114	Valid
10	0.89518	0.8114	Valid
11	0.83737	0.8114	Valid
12	0.92079	0.8114	Valid
13	0.92705	0.8114	Valid
14	0.96774	0.8114	Valid
15	0.92519	0.8114	Valid

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa kuesioner untuk variabel *Severity* valid. Selanjutnya dilakukan uji validitas untuk kuesioner variabel *Occurency* dan *Detection* dengan syarat yang sama pada perhitungan *Frequency*. Adapun hasil perhitungan untuk uji validitas kuesioner variabel *occurency*, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Validasi *occurency*

Pertanyaan	r hitung	r tabel	Keterangan
1	0.92201	0.8114	Valid
2	0.86306	0.8114	Valid
3	0.86306	0.8114	Valid
4	0.91975	0.8114	Valid
5	0.93191	0.8114	Valid
6	0.92343	0.8114	Valid
7	0.90420	0.8114	Valid
8	0.88668	0.8114	Valid
9	0.94378	0.8114	Valid
10	0.93984	0.8114	Valid
11	0.93186	0.8114	Valid
12	0.85260	0.8114	Valid
13	0.82383	0.8114	Valid
14	0.88078	0.8114	Valid
15	0.93186	0.8114	Valid

Berdasarkan Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa kuesioner untuk variabel *Severity* valid. Selanjutnya dilakukan uji validitas untuk kuesioner variabel *Occurency* dan *Detection* dengan syarat yang sama pada perhitungan *Frequency*. Adapun hasil perhitungan untuk uji validitas kuesioner variabel *detection*, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Validasi *detection*

Pertanyaan	r hitung	r tabel	Keterangan
1	0.8331	0.8114	Valid
2	0.9305	0.8114	Valid
3	0.8689	0.8114	Valid
4	0.8331	0.8114	Valid
5	0.9564	0.8114	Valid
6	0.9799	0.8114	Valid
7	0.9192	0.8114	Valid
8	0.8216	0.8114	Valid
9	0.9439	0.8114	Valid
10	0.9162	0.8114	Valid
11	0.8819	0.8114	Valid
12	0.9156	0.8114	Valid
13	0.9325	0.8114	Valid
14	0.9008	0.8114	Valid
15	0.9277	0.8114	Valid

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil indentifikasi penyebab kegagalan pada sistem *marine growth prevention system* (MGPS) terjadi penyebab kegagalan yang

disebabkan oleh 15 faktor. Dimana, faktor utama yang paling berperan penting yaitu korosi pada anoda dan kesalahan pengoprasian. Dari hasil analisis menggunakan metode fishbone diagram terdapat 6 kategori yaitu *Machine* (mesin), *Method* (metode), *Man Power* (tenaga kerja), *Measurement* (pengukuran) serta *Mother Nature* (lingkungan). Dari hasil analisi menggunakan metode FMEA terdapat 2 faktor yang menjadi penyebab utama dari kegagalan sistem yaitu korosi pada anoda dengan nilai RPN 82.1 dan kurangnya keterampilan dan komunikasi dengan nilai RPN 79.

Korosi pada anoda dalam sistem *MARINE GROWTH PREVENTION SYSTEM* (MGPS) merupakan masalah serius yang dapat mengurangi efektivitas sistem dalam mencegah pertumbuhan biota laut. Salah satu langkah pertama dalam mengatasi korosi adalah memilih material anoda yang tahan terhadap korosi. Anoda berbahan zinc atau magnesium sering digunakan karena sifatnya yang dapat mengorbankan dirinya sendiri untuk melindungi komponen logam lainnya. Memastikan bahwa material anoda sesuai dengan kondisi lingkungan laut adalah kunci untuk memperlambat proses korosi.

Referensi

- [1] H. Widada, A. L. Tantomio, and R. Fauzan, "Mengoptimalkan Perawatan Marine Growth Prevention System (MGPS) Guna Kelancaran Sistem Pendinginan Air Laut dan Kondensasi di Kondensor Utama," *E-Journal Mar. Insid.*, vol. 4, no. 2, pp. 20–32, 2022, doi: 10.56943/ejmi.v4i2.47.
- [2] T. A. Fachroini and Dwisetiono, "Penerapan MGPS (Marine Growth Prevention System) pada Lambung Kapal," *Hexag. J. Tek. dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 53–55, 2022, doi: 10.36761/hexagon.v3i1.1523.
- [3] I. Risdianto, H. Putra, A. Delano, and F. Supriady, "Optimalisasi Pemasangan MGPS di KRI untuk Mempertahankan Kondisi Sistem Air Laut," *Saintek J. Sains Teknol. dan Profesi Akad. Angkatan Laut*, vol. 16, no. 2, pp. 100–109, 2023, doi: 10.59447/saintek.v16i2.137.
- [4] A. R. Azhari, "Tahap Penentuan Prioritas Masalah Metode Hanlon dan Tahap Analisis Akar Penyebab Masalah Fish Bone," Universitas Diponegoro, 2015.
- [5] H. Asmoko, "Teknik Ilustrasi Masalah – Fishbone Diagrams," Magelang, 2013.
- [6] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, 21st ed. Bandung: Alfabeta, 2014.

Desain *Safety and Fire Control Plan* dan Perancangan *Escape Route* pada Kapal Latih Barombong

Fauzan Arsandi¹, Andi Husni Sitepu^{1,*}

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia*

*Email: ocasepu@gmail.com

Abstrak

Berdasarkan data kecelakaan transportasi KNKT, standar keselamatan harus diprioritaskan pada pelayaran agar dapat menunjang kelancaran transportasi laut. Kapal yang berlayar di pelayaran domestik menggunakan *Non Convention Vessel Standard* (NCVS) sebagai standar keselamatan. Kapal Latih Barombong beralih fungsi menjadi kapal penumpang barang mengakibatkan pada tahun 2023, Kapal Latih Barombong akan diklasikan di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Karena akan diklasikan, maka Kapal Latih Barombong harus memenuhi ketentuan-ketentuan keselamatan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Laut sebagai syarat berlayar. Sehingga, tujuan dari penelitian ini yaitu membuat desain *safety and fire control plan* dan menentukan *escape route* yang paling efektif untuk Kapal Latih Barombong yang mengacu pada regulasi NCVS dan IMO. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini yaitu merancang kebutuhan LSA dan pemadam kebakaran dengan bantuan AutoCAD 2019 dan membuat desain *escape route* berdasarkan aturan IMO yang berlaku dengan AutoCAD 2019 sesuai dengan *general arrangement* Kapal Latih Barombong. Desain tersebut disimulasikan di *Pathfinder 2023* dan *Pyrosim 2023*. Hasil penelitian ini adalah desain *safety and fire control plan* untuk Kapal Latih Barombong sesuai regulasi NCVS karena telah dilengkapi peralatan alat keselamatan dan alat pemadam kebakaran yang sesuai regulasi NCVS Pasal 50 dan Pasal 80 tentang perlengkapan alat keselamatan dan pemadam kebakaran kapal penumpang daerah pelayaran lokal. Sedangkan desain *escape route* yang dibuat efektif untuk Kapal Latih Barombong karena desain memenuhi standar regulasi waktu evakuasi yang ditentukan oleh IMO yaitu tidak melebihi dari 60 menit. Hasil waktu evakuasi penumpang skenario A membutuhkan waktu evakuasi selama 30,30 menit pada siang hari dan 36,50 menit pada malam hari. Skenario B selama 32,85 menit pada siang hari dan 39,10 pada malam hari. Skenario C selama 32,98 menit pada siang hari dan 39,24 menit pada malam hari dan skenario D selama 31,70 menit pada siang hari dan 37,95 menit pada malam hari.

Abstract

Design of Safety and Fire Control Plan and Escape Route Planning for the Barombong Training Ship. Based on transportation accident data from KNKT, safety standards must be prioritized in shipping to ensure the smooth operation of sea transportation. Ships sailing in domestic waters use the Non-Convention Vessel Standard (NCVS) as their safety standard. Barombong Training Ship function was converted to a cargo-passenger ship, resulting in its classification by the Indonesian Classification Bureau (BKI) in 2023. Due to this classification, Barombong Training Ship must comply with the safety requirements set by the Directorate General of Sea Transportation as a prerequisite for sailing. Therefore, the objective of this research is to create a safety and fire control plan design and determine the most effective escape route for the Barombong Training Ship based on NCVS and IMO regulations. The steps taken in this research include designing the LSA and fire extinguisher requirements using AutoCAD 2019 and creating an escape route design based on applicable IMO regulations with AutoCAD 2019 according to the general arrangement of the Barombong Training Ship. The design was simulated in *Pathfinder 2023* and *Pyrosim 2023*. The results of this research include a safety and fire control plan for the Barombong Training Ship that complies with NCVS regulations, equipped with safety and fire extinguishing equipment that meets the requirements of NCVS Article 50 and Article 80 concerning safety and fire extinguishing equipment on passenger ships in local waters. The escape route design is effective for Barombong Training Ship as it meets the IMO evacuation time standard, which is not to exceed 60 minutes. The evacuation time results showed that scenario A requires 30.30 minutes during the day and 36.50 minutes at night. Scenario B takes 32.85 minutes during the day and 39.10 minutes at night. Scenario C takes 32.98 minutes during the day and 39.24 minutes at night and scenario D takes 31.70 minutes during the day and 37.95 minutes at night.

Kata Kunci: Safety and fire control plan; rute evakuasi; kapal latih Barombong

1. Pendahuluan

Dalam lima tahun belakangan, telah terjadi banyak kecelakaan kapal di perairan Indonesia yang diakibatkan oleh kapal terbakar/mesin meledak, kapal kandas, kapal tubrukan dan lain-lain. Pada tahun 2022, tercatat ada sebanyak 13 kecelakaan pelayaran, kecelakaan terbanyak disebabkan oleh kapal tenggelam dan kapal terbakar menurut data Komite Nasional Keselamatan Transportasi. Data kecelakaan transportasi KNKT memperlihatkan bahwa kebakaran merupakan kecelakaan yang paling sering terjadi dan memiliki tingkat resiko yang tinggi pada transportasi pelayaran di Indonesia [1].

Berdasarkan temuan KNKT, standar keselamatan harus diprioritaskan pada pelayaran agar dapat menunjang kelancaran transportasi laut. Untuk kapal yang melakukan pelayaran internasional harus memenuhi ketentuan SOLAS 1974. *Safety of Life at Sea* (SOLAS) merupakan peraturan yang mengatur tentang keselamatan maritim paling utama dengan tujuan untuk meningkatkan jaminan keselamatan hidup di laut. Sedangkan, untuk kapal yang berlayar di pelayaran domestik menggunakan *Non Convention Vessel Standard* (NCVS) yang merupakan suatu standar keselamatan yang diberikan kepada kapal-kapal yang tidak diatur di dalam konvensi internasional (non konvensi).

Kapal Latih Barombong merupakan kapal yang digunakan para taruna Politeknik Pelayaran Barombong untuk berlatih dan sekarang beralih fungsi menjadi kapal penumpang barang dan terjadi perubahan panjang kapal dari 36,6 meter menjadi 45,10 meter. Beralih fungsinya menjadi kapal penumpang barang mengakibatkan pada tahun 2023, Kapal Latih Barombong akan diklaskan di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sesuai dengan Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut tentang Kewajiban Klasifikasi Bagi Kapal Berbendera Indonesia Pada Badan Klasifikasi dijelaskan mengenai kriteria kapal yang wajib diklasifikasikan pada badan klasifikasi yang tertera pada pasal 2 PM No.7 Tahun 2013 [2]. Karena akan diklaskan, maka Kapal Latih Barombong harus memenuhi ketentuan-ketentuan keselamatan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Laut sebagai syarat berlayar. Sesuai dengan Undang Nomor 17 tahun 2008 tentang Pelayaran, salah satu syarat kapal agar dapat berlayar harus memiliki sertifikat keselamatan penumpang dan sertifikat keselamatan barang [3]. Pemeriksaan dan pengesahan dilakukan oleh petugas pemerintah sesuai dengan Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut sebagai regulator dan pengawasan yang tertera pada PM No. 54 Tahun 2021 [4].

Berdasarkan pembahasan di atas dan adanya berita acara berupa pemeriksaan/audit yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Laut pada

tanggal 02 Februari 2024 yang merekomendasikan untuk pengadaan desain *safety and fire control plan* dan *escape route*. *Safety and fire control plan* untuk menunjukkan lokasi semua peralatan keselamatan yang ada di kapal untuk mempermudah penumpang dan ABK dalam menemukan letak alat keselamatan dan *escape route* berfungsi untuk menunjukkan para penumpang dan ABK jalur evakuasi tercepat dari posisi awal menuju *muster station* atau tempat yang digunakan bagi penumpang dan ABK untuk berkumpul saat terjadi kondisi berbahaya atau kecelakaan di kapal. Sehingga, penelitian ini akan membahas tentang studi kasus mengenai perancangan *safety and fire control plan* dan *escape route* untuk memenuhi keperluan syarat berlayar.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Keselamatan transportasi laut

Keselamatan menjadi salah satu faktor yang dikedepankan para pengguna transportasi. Tidak terkecuali pada transportasi laut, tidak peduli dengan jarak yang dekat maupun jarak jauh. Keselamatan sangat diutamakan karena menyangkut berbagai macam kerugian, apabila faktor keselamatan tidak terpenuhi maka dapat mengakibatkan kerugian materi maupun waktu, bahkan dapat menyebabkan korban jiwa [5].

Non-convention Vessel Standard (NCVS) atau standar kapal non konvensi berbendera Indonesia adalah standar yang berlaku untuk kapal-kapal domestik yang hanya berlayar dalam daerah pelayaran kawasan Indonesia (*near coastal voyage*), local, terbatas, pelabuhan dan perairan daratan yang hanya berada dalam wilayah perairan Indonesia saja [6].

Ketentuan Pasal 1 angka 34 Undang Undang Nomor 17 tahun 2008 tentang Pelayaran, keselamatan kapal dibuktikan dengan sertifikat setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian, bahwa Sertifikat keselamatan diberikan kepada semua jenis kapal yang berukuran lebih dari 7 GT, kecuali untuk kapal perang, kapal negara dan kapal yang digunakan untuk keperluan olahraga [7].

Sebelum penerbitan sertifikat, dilakukan pemeriksaan terhadap nautis, teknis dan kondisi kapal oleh petugas pemerintah yaitu pemeriksaan mengenai kondisi kapal, peralatan keselamatan, radio dan mesin kapal sesuai dengan peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut pada PM No. 54 Tahun 2021 tentang Pengesahan Gambar Rancang Bangun Kapal, Pelaksanaan dan Pengawasan Pembangunan dan Pengerjaan Kapal yang menjelaskan bahwa setiap perlengkapan dan komponen yang akan digunakan di atas kapal wajib dilakukan pengujian yang dibuktikan dengan sertifikat dari Direktur Jenderal.

2.2. Persyaratan keselamatan kapal penumpang barang

Di dalam NCVS terdapat peraturan-peraturan mengenai alat keselamatan yang wajib ada di atas kapal, adapun aturan tersebut terdapat chapter IV yaitu *Life Saving Appliances (LSA)*. Dengan adanya peraturan tersebut diharapkan setiap kapal dapat menghindari terjadinya kecelakaan di atas kapal. Adapun alat keselamatan yang diatur NCVS sebagai berikut.

- *Lifebuoy*
- *Lifejacket*
- *Lifeboat*
- *Liferaft*
- *Two way VHF radio*
- *Rocket parachute flares*
- *Line-throwing appliances*
- *Red hand flares*
- *Buoyant smoke signals*
- *Search and Rescue Transponder (SART)*
- *Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)*

Selain mengatur alat keselamatan, NCVS juga mengatur persyaratan perlengkapan pemadam kebakaran pada chapter III.

Adapun perlengkapan pemadam kebakaran yang diatur sebagai berikut.

- *Emergency Escape Breathing Devices (EEBD)*
- Pompa utama pemadam kebakaran
- Pompa pemadam kebakaran darurat
- Hidran, slang dan nosel-nosel pemadam kebakaran
- Sistem sprinkler
- Alat pendeteksi kebakaran (*heat detector* dan *smoke detector*)
- Alarm kebakaran
- Perangkat pemadam busa dan CO2 bukan portable di kamar mesin
- Perangkat pemadam kebakaran api portable
- Selimut pemadam kebakaran (*fire blanket*)
- *International Short Connection (ISC)*
- Bagan pengendali kebakaran (*fire control plan*)
- Rute untuk meloloskan diri (*escape route*)

2.3. Prosedur evakuasi

Prosedur evakuasi merupakan suatu tata cara yang harus dilakukan ketika menemui keadaan bahaya dan melakukan proses pengungsian dari tempat terjadinya bahaya ke tempat perlindungan yang aman. Selain kelengkapan sarana penanggulangan kebakaran, aplikasi prosedur evakuasi yang tepat juga sangat diperlukan guna mengantisipasi terjadinya peristiwa kebakaran dan terbalik demi keselamatan semua kru yang berada didalam kapal tersebut. Menurut *International Maritime Organization (IMO)*, bagian

terpenting dari *Ship Evacuation Plan (SEP)* adalah arahan operasi dalam bentuk format komputer maupun cetakan dimana misi dan tugas kru, tahapan operasi dasar dan kriteria operasi ditunjukkan.

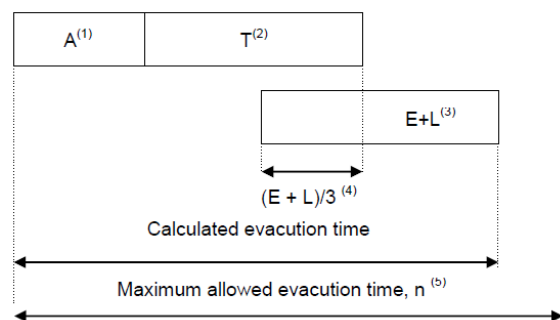
Evakuasi terdiri dari dua bagian: Pertama mengarahkan penumpang ke titik evakuasi dan kemudian jika situasi sudah memungkinkan, lifeboats dan life raft dilepaskan untuk meninggalkan kapal yang *collapse*. Bagian pertama terutama diurus dengan memberikan jalur yang memadai pada rute evakuasi dengan mempertimbangkan jumlah penumpang maupun ABK. Metode ini memiliki kelemahan: salah satu contoh adalah bahwa *open deck* tidak perlu dimasukkan ke dalam perhitungan rute evakuasi [5].

2.4. Ketentuan SOLAS mengenai evakuasi penumpang

Sejak Tahun 1970, IMO secara intensif mempublikasikan regulasi tentang evakuasi penumpang kapal laut, hal tersebut sesuai ketentuan SOLAS, kaitannya dengan keselamatan kapal dan jumlah pelampung penolong serta karakteristiknya. Pada sesi ke 83 komite IMO (03-12 Oktober 2007), menyetujui pedoman pada evakuasi analisis untuk kapal penumpang baru dan yang sudah ada, sebagaimana ditetapkan dalam MSC.1/Circ.1238 tanggal 30 Oktober 2007. Dalam pedoman ini menawarkan dua kriteria untuk analisa evakuasi meliputi: analisis evakuasi yang disederhanakan (*Simplified Evacuation Analysis*) dan analisis evakuasi lanjutan (*Advanced Evacuation Analysis*) [8].

2.5. Performance standard

Perhitungan *Performance Standard* dapat dilihat pada Gambar 1 [9].



Gambar 1. Performance Standard menurut IMO

Dari skema pada Gambar 1 dapat disederhanakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total Waktu Evakuasi} = 1.25 (A+T) + 2/3(E+L) \leq 60 \text{ menit, dengan } E + L \leq 30 \text{ menit}$$

Dimana:

- Awareness time / waktu tanggap (A)
- Travel time / waktu perjalanan (T)
- Embarkasi time / waktu embarkasi (E)
- Launching Time (L)

Selain menghitung waktu evakuasi untuk menyelamatkan diri, perlu diperhatikan tentang jalur keselamatan seperti *means escape*. Menurut SOLAS Chapter II, Part D regulation 13 yang dimaksud dengan *means escape* adalah ketika seluruh orang yang ada di kapal dapat melarikan diri dengan selamat dan cepat ke dek embarkasi *lifeboat* dan *liferaft*, berikut ketentuan-ketentuannya:

- Harus terdapat jalur untuk melarikan diri yang aman.
- Jalur atau rute melarikan diri harus dipelihara agar kondisi aman, bebas rintangan.
- Harus ada bantuan tambahan yang tidak kalah penting yaitu akses, penandaan yang jelas dan model yang memenuhi saat situasi darurat.

2.6. Kecepatan berjalan

Dalam melakukan sebuah evakuasi, kecepatan berjalan merupakan hal utama untuk menentukan waktu evakuasi yang dibutuhkan. Namun pada praktiknya, setiap orang memiliki kecepatan berjalan yang berbeda-beda. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan jenis kelamin atau umur. Pada setiap jenis kelamin, kecepatan pun dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan rentang umur dan keterbatasan fisik. IMO menjelaskan bahwa kecepatan berjalan penumpang dan ABK telah ditentukan dengan membedakan peran, jenis kelamin, dan rentang umur. Sehingga pengambilan data kecepatan disesuaikan dengan standar IMO. Seperti kecepatan berjalan pada bidang datar yang ditunjukkan pada tabel dan kecepatan berjalan pada tangga yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

2.7. Software pathfinder

Pathfinder adalah salah satu software simulasi jalur evakuasi yang berdasarkan agen dan gerakan simulator manusia. *Software* ini menyediakan antarmuka pengguna grafis untuk model simulasi serta visualisasi 2D dan 3D untuk analisis hasil. *Graphical User Interface (GUI)* pada *pathfinder* digunakan terutama untuk membuat dan menjalankan model simulasi. Sebuah screenshot dari antarmuka pengguna ini ditunjukkan pada Gambar 2.

2.8. Software Pyrosim

PyroSim adalah *graphical user interface* untuk *Fire Dynamics Simulator (FDS)*. Model FDS dapat

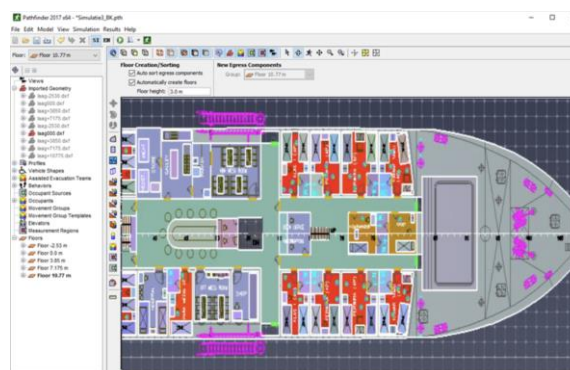
memprediksi asap, suhu, karbon monoksida, dan zat lain selama kebakaran. Hasil dari simulasi ini telah digunakan untuk memastikan keamanan bangunan sebelum konstruksi, mengevaluasi keamanan pilihan bangunan yang ada, rekonstruksi kebakaran pasca kecelakaan penyelidikan, dan membantu dalam pelatihan petugas pemadam kebakaran.

Tabel 1. Kecepatan berjalan pada bidang datar

Population Groups-Passengers	Walking speed in flat terrain	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Females younger than 30 years	0.93	1.55
Females 30-50 years old	0.71	1.19
Females older than 50 years	0.56	0.94
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.43	0.71
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.37	0.61
Males younger than 30 years	1.11	1.85
Males 30-50 years old	0.97	1.62
Males older than 50 years	0.84	1.4
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.64	1.06
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.55	0.91
Crew Females	0.93	1.55
Crew Males	1.11	1.85

Tabel 2. Kecepatan berjalan pada tangga

Population Groups-Passengers & Crews	Walking speed in flat terrain			
	Stairs down		Stairs up	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Females younger than 30 years	0.56	0.94	0.47	0.79
Females 30-50 years old	0.49	0.81	0.44	0.74
Females older than 50 years	0.45	0.75	0.37	0.61
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.34	0.56	0.28	0.46
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.29	0.49	0.23	0.39
Males younger than 30 years	0.76	1.26	0.5	0.84
Males 30-50 years old	0.64	1.07	0.47	0.79
Males older than 50 years	0.5	0.84	0.38	0.64
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.38	0.64	0.29	0.49
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.33	0.55	0.25	0.41
Crew Females	0.56	0.94	0.47	0.79
Crew Males	0.76	1.26	0.5	0.84



Gambar 2. Tampilan pathfinder

FDS adalah simulator kebakaran hebat yang dikembangkan di *National Institute Standard and Technology* (NIST). FDS mensimulasikan skenario kebakaran menggunakan dinamika fluida komputasi (CFD) yang dioptimalkan untuk kecepatan rendah, aliran yang digerakkan secara termal. Pendekatan ini sangat fleksibel dan dapat diterapkan kebakaran mulai dari kompor hingga tangki penyimpanan minyak. Bisa juga menjadi model situasi yang tidak termasuk kebakaran, seperti ventilasi pada bangunan. FDS dan program visualisasi *smokeview* keduanya terintegrasi erat *PyroSim*.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Permesinan Kapal, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Untuk menjawab rumusan masalah yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka dilakukan proses penelitian yang sesuai dengan tahapan yang tersusun secara sistematis. Tahapan ini diawali dengan identifikasi masalah yang terkait berdasarkan studi literatur sebagai referensi dalam menjawab permasalahan, kemudian dilakukan tahapan studi kasus dimana diperoleh dari data yang telah didapatkan sehingga bisa melaksanakan pengujian serta menghasilkan kesimpulan dari penelitian ini.

Selanjutnya akan dilakukan desain *safety and fire control plan* sesuai aturan NCVS yang berlaku untuk Kapal Latih Barombong dengan menggunakan perangkat lunak *AutoCAD 2019* dengan data utama kapal dan *general arrangement* sesuai dengan data yang telah dikumpulkan. Selanjutnya, tahap ini akan membuat desain *escape route* berdasarkan aturan IMO yang berlaku dengan menggunakan perangkat lunak *AutoCAD 2019* sesuai dengan *general arrangement* Kapal Latih Barombong. Desain tersebut akan disimulasikan di perangkat lunak *Pathfinder 2023*. Setelah dilakukan perancangan *escape route*, akan dilakukan simulasi *escape route* menggunakan perangkat lunak *Pathfinder 2023* dan *Pyrosim 2023*. *Pathfinder* digunakan untuk mengetahui seberapa efektif waktu yang dibutuhkan seluruh penumpang pada saat melakukan evakuasi menuju *muster station*, sedangkan *Pyrosim* digunakan untuk membuat skenario kebakaran.

3.1. Data penelitian

Data penelitian yang dilakukan meliputi : data utama kapal dan *general arrangement*. Kapal yang akan digunakan untuk objek penelitian ini adalah Kapal Latih Barombong.

1. Data utama kapal

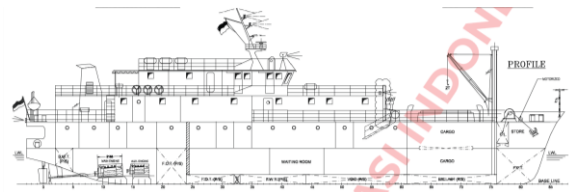
Data utama kapal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data utama kapal

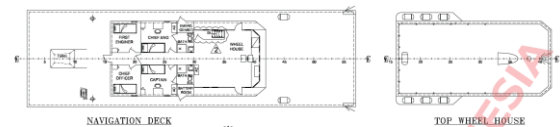
<i>Length Over All (LOA)</i>	45,10 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	42,50 m
<i>Breadth</i>	8,00 m
<i>Depth of Main Deck</i>	5,20 m
<i>Depth of Second Deck</i>	3,00 m
<i>Draft</i>	2,40 m
Penumpang	150 orang

2. General Arrangement

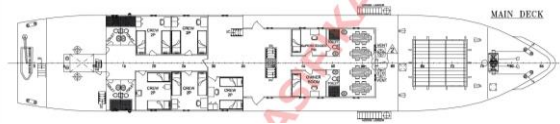
Berikut gambar *General Arrangement* Kapal Latih Barombong yang tersaji pada Gambar 3-7.



Gambar 3. Tampak samping Kapal Latih Barombong



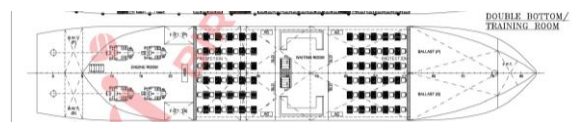
Gambar 4. *Navigation deck* dan *top wheel house* Kapal Latih Barombong



Gambar 5. *Main deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 6. *Second deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 7. *Double bottom / training room* Kapal Latih Barombong

3.2. Simulasi menggunakan Pathfinder dan Pyrosim

Pathfinder adalah jalan keluar berbasis agen dan simulator pergerakan manusia. Ini menyediakan pengguna grafis antarmuka untuk desain dan eksekusi simulasi serta alat visualisasi 2D dan 3D untuk analisis hasil, sedangkan *Pyrosim* adalah salah satu software simulasi kebakaran yang menunjukkan

simulator api untuk mengetahui tindakan dan interaksi manusia.

a. Pembuatan model dan simulasi menggunakan *Pathfinder*

Pembuatan model mengacu pada rencana umum Kapal Latih Barombong pada *software AutoCAD 2019*. Gambar 8 menunjukkan *general arrangement* Kapal Latih Barombong yang dibuat di *AutoCAD 2019* dengan skala 1:1. Model tersebut akan di *import* ke *Pathfinder 2023* untuk dilakukan simulasi.



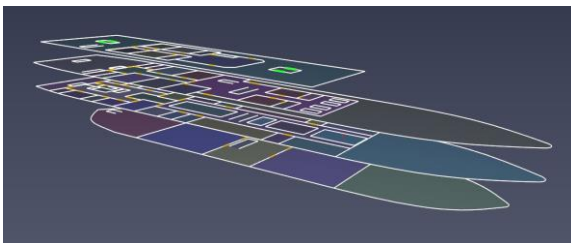
Gambar 8. *General arrangement* Kapal Latih Barombong

Penggambaran denah ruangan dibuat dengan merujuk kepada penggambaran pada *software AutoCAD 2019* sebelumnya, sesuai dengan spesifikasi *general arrangement*. Dalam penggambaran ruangan juga dilengkapi dengan akses pintu agar penumpang dapat keluar ruangan menuju titik evakuasi.



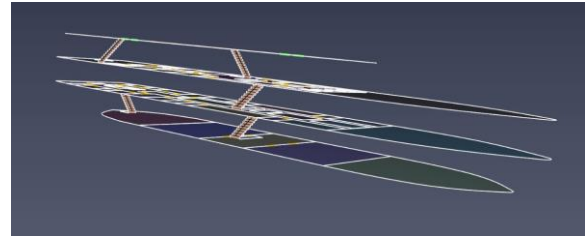
Gambar 9. Pembuatan denah ruangan *second deck* Kapal Latih Barombong

Pembuatan denah ruangan dilakukan pada semua *deck* kapal, hingga seluruh *deck* tergambar tiga dimensi pada *Pathfinder 2023* sesuai dengan *general arrangement* Kapal Latih Barombong. Untuk ketinggian ruangan sama dengan ketinggian antar *deck* yakni 2,2 meter.



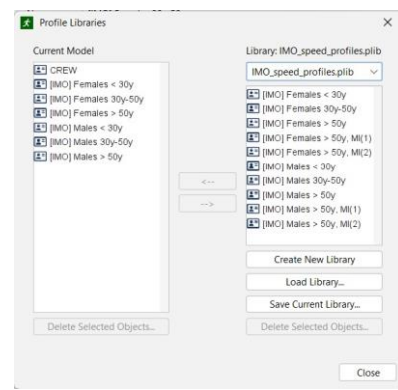
Gambar 10. Denah ruangan Kapal Latih Barombong

Tangga *straight* dibuat dengan menentukan dan meletakkan ujung-ujung tangga pada *deck* yang akan diberi akses oleh tangga.



Gambar 11. Penggambaran tangga *straight* pada *layout* kapal

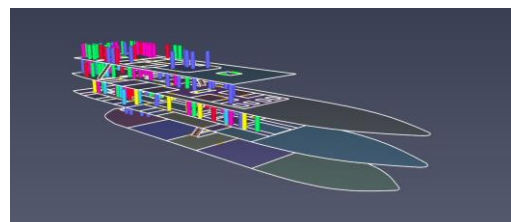
Setelah *layout* model selesai dibuat, maka langkah berikutnya adalah menambahkan penghuni yang mewakili penumpang dan ABK sebagai objek proses evakuasi dengan menggunakan standar IMO yang sudah ada pada *libraries* di *Pathfinder 2023*.



Gambar 2. Pembuatan *profile agent*

Setelah pembuatan *profile* selesai, kemudian dilakukan persebaran agen, masing-masing penghuni yang akan ditambahkan mempunyai karakteristik masing-masing sesuai dengan input parameter yang telah ditentukan seperti kecepatan berjalan dan respon waktu penghuni.

Setelah pemodelan selesai dilanjutkan dengan menjalankan simulasi evakuasi untuk mengetahui *traveling time*. Tahap selanjutnya yakni menjalankan simulasi permodelan proses evakuasi. Setelah model sudah lengkap dan siap untuk di *running* maka proses simulasi dapat segera di jalankan.



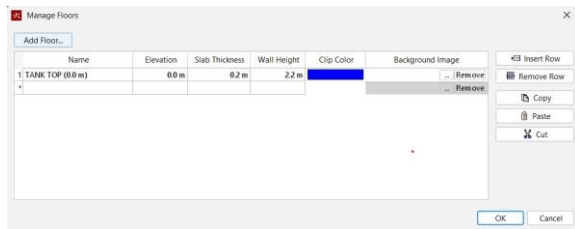
Gambar 3. Penggambaran model final

b. Simulasi kebakaran menggunakan *Pyrosim*

Pemodelan kebakaran ini dimulai dengan *import file general arrangement* Kapal Latih Barombong dari

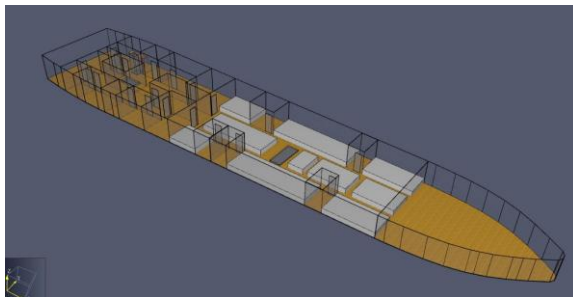
software AutoCAD 2019 dengan dimensi kapal yang sebenarnya (skala 1:1). Selanjutnya melakukan *import* gambar ke software Pyrosim dengan memilih satuan panjang sesuai dengan gambar yang sudah di skala pada software AutoCAD 2019 yaitu meter.

Setelah gambar 2 dimensi dimasukkan semua, maka langkah selanjutnya membuat gambar 2 dimensi menjadi 3 dimensi dengan cara *extrude* garis hasil masukan dari AutoCAD 2019 menjadi dinding dengan tebal yang telah ditentukan.



Gambar 4. Manage floor

Gambar 15 menunjukkan sebelum memasuki penggantian material, terlebih dahulu membuat lubang pada setiap dinding maupun lantai. Lubang ini difungsikan untuk jalur ke satu ruangan ke ruangan yang lain. Lubang tersebut dapat berupa pintu maupun tangga yang mengabungkan akses pada setiap *deck*.



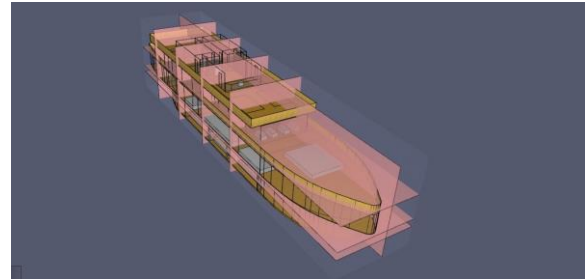
Gambar 5. Penggambaran model final

Pada permodelan kebakaran ini jenis pengelompokan material yang digunakan yakni *floor*, *externall wall*, *internal wall*. Masing-masing kelompok jenis material ini memiliki susunan material yang berbeda, mendekati material sebenarnya pada kapal.

Selanjutnya, membuat model api untuk mensimulasikan terjadinya kebakaran dan menentukan reaksi *polyurethane* sesuai dengan *SFPE Handbook*, GM 27 yang sudah tersedia pada *libraries Pyrosim* dengan detail komposisi yang sudah diterangkan sebelumnya.

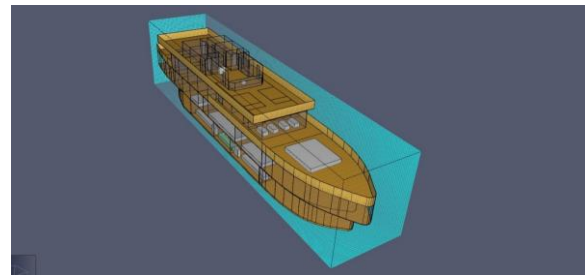
Pada Gambar 16 dapat dilihat pemasangan *slices* pada model Kapal Latih Barombong. *Slices* ini berfungsi mendapatkan luaran keadaan lingkungan

berbentuk luasan dan dapat merekam data pada saat terjadinya simulasi kebakaran. Nantinya luaran yang dihasilkan dari slice juga merupakan luasan planar slices, seperti data temperature dan jumlah asap di lingkungan yang berapa pada planar.

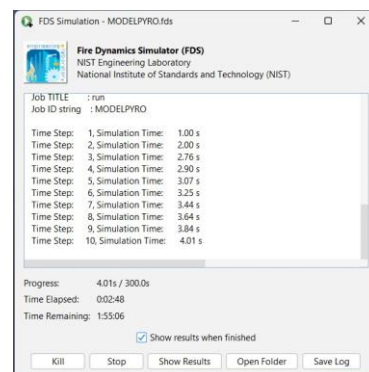


Gambar 6. Pemasangan *slices* pada model Kapal Latih Barombong

Langkah terakhir adalah pembuatan mesh dari permodelan kebakaran ini. *Mesh* berfungsi untuk membatasi area yang terdampak kebakaran pada permodelan ini. Dampak yang diakibatkan terhadap jumlah mesh yang dibentuk yakni semakin banyak *mesh* yang dibentuk berdampak pada proses analisa yang dilakukan oleh komputer akan memakan waktu lebih lama.



Gambar 7. Pembuatan *mesh*



Gambar 8. Proses *running*

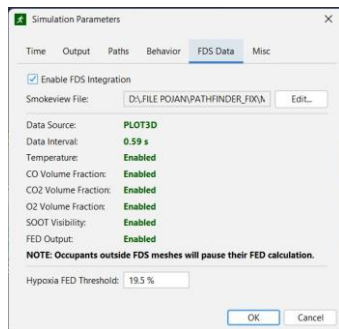
Sesudah menyelesaikan model, selanjutnya dilakukan simulasi kebakaran. Pada *Pyrosim* permodelan kebakaran sering disebut FDS (*Fire Dynamic Simulation*) ini menggunakan cara simulasi *Under Application* atau sering disebut *under OS*

maupun *under DOS*. *Pyrosim* menggunakan *under OS* dengan efek menguras kinerja komputer dan waktu pengerjaan lebih lama. Gambar 18 memperlihatkan bahwa proses *running* simulasi kebakaran menghabiskan waktu sekitar 4 jam untuk model kapal.

c. Simulasi evakuasi penumpang akibat kebakaran menggunakan *Pathfinder*

Setelah melakukan simulasi kebakaran di *software Pyrosim 2023*, selanjutnya dilakukan simulasi evakuasi penumpang akibat kebakaran menggunakan *software Pathfinder 2023*. Sebelum dilakukannya simulasi evakuasi, dilakukan pengaturan pada parameter simulasi. Parameter yang dimaksud yaitu perilaku dari setiap penghuni sesuai dengan kasus kebakaran yaitu SFPE (*Society of Fire Protection Engineering*). Pada sistem ini parameter mengontrol aliran dan antrian pada pintu. Selain itu untuk parameter selanjutnya yaitu mengatur FDS data.

Pengaturan parameter ini berfungsi untuk mengintegrasikan file FDS pada *Pyrosim* agar dapat dilakukan simulasi secara bersamaan antara kebakaran dan proses evakuasi. Setelah pemilihan parameter di lakukan run simulation untuk menjalankan proses simulasi evakuasi.



Gambar 9. Pengaturan FDS Data

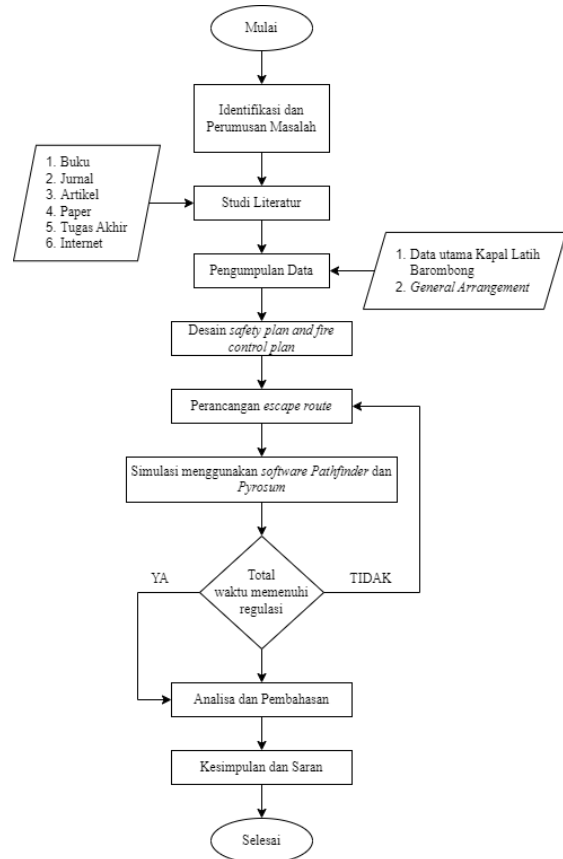
3.3. Kerangka penelitian

Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 20.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perlengkapan alat keselamatan kapal latihan Barombong

Berdasarkan aturan NCVS *chapter IV* tentang *Life Saving Appliances (LSA)*, perlengkapan alat keselamatan Kapal Latihan Barombong yang memiliki GT sebesar 500 dengan panjang 45,10 meter sesuai dengan Pasal 80 tentang perlengkapan penolong penumpang daerah pelayaran lokal. Tabel 4 menunjukkan jumlah tiap perlengkapan alat keselamatan Kapal Latihan Barombong sesuai dengan Pasal 80.



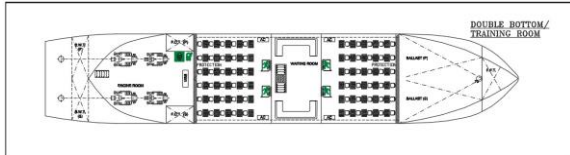
Gambar 10. Kerangka penelitian

Tabel 4. Perlengkapan alat keselamatan Kapal Latihan Barombong

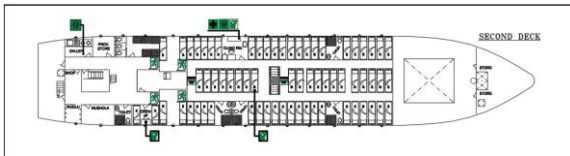
Alat keselamatan	Jumlah (buah)	Lokasi penempatan				
		1 st deck	2 nd deck	3 rd deck	4 th deck	5 th deck
Rescue boat	2			2		
Liferaft	12				6	6
Lifebuoy						
• Lifebuoy with self-igniting light	6			2	4	
• Lifebuoy dengan tali	2			2		
Lifejacket						
• Lifejacket dewasa	164	5	13	20	4	
• Lifejacket anak	15		5	15		
Red hand flare	6					6
Rocket parachute sign	8				8	
Smoke buoyant signal	2				2	
Line throwing apparatus	4			4		
Medical kit	1		1			
Muster station	3				3	
Peralatan komunikasi						
• Two way VHF radio telephone	3				3	
• Search and Rescue Transponder (SART)	2				2	
• Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)	1				1	

Pada Tabel 4 lokasi penempatan 1st – 5th deck, dimana berturut-turut merupakan *double bottom*, *second deck*, *main deck*, *navigation deck* dan *top wheel house*.

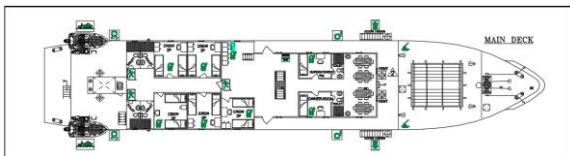
Gambar 21 hingga Gambar 24 menunjukkan desain *safety plan* Kapal Latih Barombong yang telah didesain di *software AutoCAD 2019*.



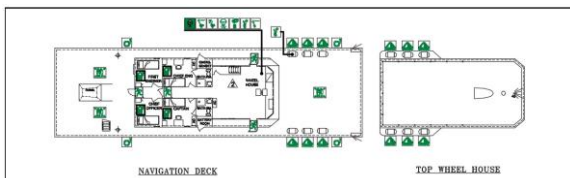
Gambar 21. Desain *safety plan* pada *double bottom / training room* Kapal Latih Barombong



Gambar 11. Desain *safety plan* pada *second deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 12. Desain *safety plan* pada *main deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 13. Desain *safety plan* pada *navigation deck* dan *top wheel house* Kapal Latih Barombong

4.2. Perlengkapan alat pemadam kebakaran Kapal Latih Barombong

Selain perlengkapan alat keselamatan, aturan NCVS juga mengatur tentang perlengkapan alat pemadam kebakaran pada *chapter III*, Kapal Latih Barombong harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Pasal 50 tentang perlengkapan pemadam kebakaran kapal penumpang daerah pelayaran lokal. Tabel 5 menunjukkan jumlah tiap perlengkapan alat pemadam kebakaran Kapal Latih Barombong sesuai dengan Pasal 50. Lokasi penempatan 1st – 4th deck, berturut-turut merupakan *double bottom*, *second deck*, *main deck* dan *navigation deck*.

Tabel 5. Perlengkapan alat pemadam kebakaran Kapal Latih Barombong

Alat keselamatan	Jumlah (buah)	Lokasi penempatan			
		1 st deck	2 nd deck	3 rd deck	4 th deck
<i>Emergency Escape Breathing Devices (EEBD)</i>	5	1	2		2
<i>Fire pump</i>	2	2			
<i>Emergency fire pump</i>	1	1			
Hidran, slang dan nosel	10	2	2	5	1
<i>Sprinkler</i>	83	24	31	22	6
Alat pendeteksi kebakaran					
• <i>Smoke detector</i>	32	6	14	9	3
• <i>Heat detector</i>	32	6	14	9	3
Alarm kebakaran	9	3	4	2	
<i>Fire extinguisher</i>					
• <i>Fire extinguisher type foam 45Kg</i>	1	1			
• <i>Fire extinguisher type CO2 45L</i>	1	1			
• <i>Fire extinguisher type chemical powder 4,5Kg</i>	22	3	10	5	4
• <i>Fire extinguisher type foam 9L</i>	1	1			
• <i>Fire extinguisher type CO2 6,8Kg</i>	1	1			
<i>Fire blanket</i>	1		1		
<i>International Short Connection (ISC)</i>	1			1	

Gambar 25 hingga Gambar 28 menunjukkan desain *fire control plan* Kapal Latih Barombong yang telah didesain di *software AutoCAD 2019*.



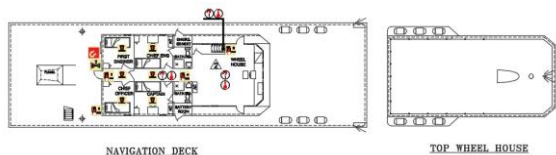
Gambar 14. Desain *fire control plan* pada *double bottom / training room* Kapal Latih Barombong



Gambar 15. Desain *fire control plan* pada *second deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 16. Desain *fire control plan* pada *main deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 17. Desain *fire control plan* pada *navigation deck* dan *top wheel house* Kapal Latih Barombong

4.3. Perancangan jalur evakuasi Kapal Latih Barombong

Setelah pembuatan desain *safety and fire control plan* dilakukan perancangan *escape route* menggunakan *software Pathfinder 2023* dan *Pyrosim 2023*. Langkah pertama dalam perancangan jalur evakuasi yaitu dimulai dengan menentukan komposisi penumpang, kemudian membuat desain *escape route* Kapal Latih Barombong. Selanjutnya pembuatan model simulasi evakuasi dan kebakaran menggunakan *software Pathfinder 2023* dan *Pyrosim 2023*.

1. Komposisi penumpang Kapal Latih Barombong

Kapal Latih Barombong merupakan kapal yang beroperasi pada kode trayek R-77 dengan kapasitas muatan 150 penumpang dan ABK. Tabel 6 merupakan pembagian penumpang berdasarkan umur dan kecepatan berjalan.

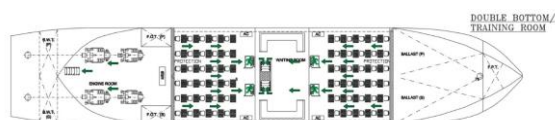
Tabel 6. Pembagian penumpang berdasarkan umur dan kecepatan berjalan

Kelompok Usia Penumpang	Jumlah penumpang (orang)	Kecepatan berjalan (m/s)	
		Minimum	Maksimal
Wanita usia <30 tahun	19	0.93	1.55
Wanita usia 30-50 tahun	32	0.71	1.19
Wanita usia >50 tahun	13	0.56	0.94
Pria usia <30 tahun	20	1.11	1.85
Pria usia 30-50 tahun	33	0.97	1.62
Pria usia >50 tahun	13	0.84	1.4
ABK	20	1.11	1.85

a. Desain *escape route* Kapal Latih Barombong

Desain *escape route* dibuat berdasarkan IMO untuk memberikan petunjuk bagi penghuni kapal untuk menyelamatkan diri melalui jalur penyelamatan

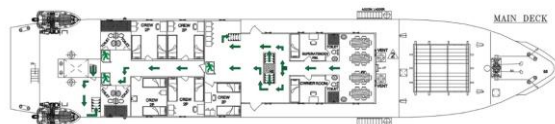
dengan mengacu pada SOLAS. Adapun pemilihan letak dari *muster station* berdasarkan dari SOLAS *Chapter III Regulation 25* yang mengatakan harus berada di tempat yang terbuka dengan mempertimbangkan luas area perorang sebesar 0,35m² dan dekat dari alat keselamatan yang dapat digunakan untuk mengevakuasi penghuni kapal meninggalkan kapal. Pada desain *escape route* Kapal Latih Barombong terletak pada *navigation deck*. Gambar 29 hingga Gambar 32 merupakan gambaran umum jalur evakuasi di Kapal Latih Barombong yang telah didesain di *software AutoCAD 2019*.



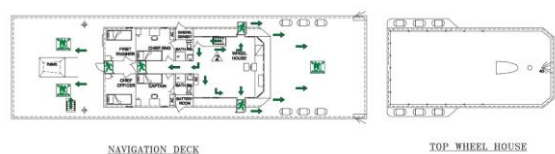
Gambar 18. Desain *escape route* pada *double bottom / training room* Kapal Latih Barombong



Gambar 30. Desain *escape route* pada *second deck* Kapal Latih Barombong



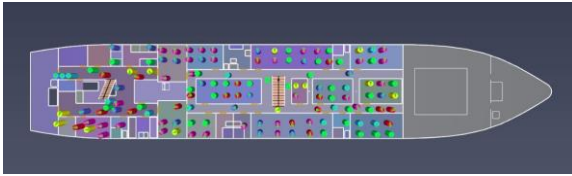
Gambar 31. Desain *escape route* pada *main deck* Kapal Latih Barombong



Gambar 32. Desain *escape route* pada *navigation deck* dan *top wheel house* Kapal Latih Barombong

b. Pengujian jalur evakuasi

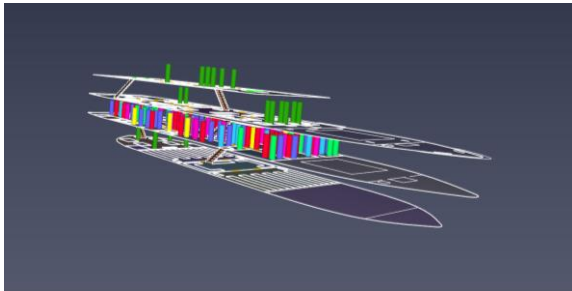
Setelah pembuatan *escape route* di *software AutoCAD 2019*, selanjutnya dilakukan simulasi evakuasi penumpang untuk menguji *escape route* yang telah dibuat. Simulasi evakuasi penumpang untuk Kapal Latih Barombong diuji menggunakan *software pathfinder* dan *pyrosim* dengan kondisi penumpang diasumsikan 100% atau 130 penumpang berada pada geladak penumpang yang terbagi dengan 30 penumpang berada di ruang layanan dan 100 penumpang berada di area istirahat.



Gambar 33. Komposisi penumpang

1) Skenario A

Simulasi dijalankan dengan kondisi semua pintu dan tangga dapat diakses oleh seluruh penumpang.



Gambar 34. Keadaan semua pintu dan tangga dapat digunakan oleh seluruh penumpang

2) Skenario B

Simulasi dijalankan dengan asumsi terjadi kebocoran kapal pada sisi kiri kapal atau *portside* akibat pelat korosi. Oleh karena itu, akses bagian sisi kiri kapal atau *portside* tidak dapat dilewati dan hanya sisi kanan kapal atau *starboard* yang dapat dilewati oleh penumpang Kapal Latih Barombong.



Gambar 35. Keadaan sisi kiri kapal ditutup dan hanya sisi kanan yang dapat digunakan oleh seluruh penumpang

3) Skenario C

Simulasi dijalankan dengan asumsi terjadi kebocoran kapal pada sisi kanan kapal atau *starboard* akibat pelat korosi. Oleh karena itu, akses bagian sisi kanan kapal atau *starboard* tidak dapat dilewati dan hanya sisi kiri kapal atau *portside* yang dapat dilewati oleh penumpang Kapal Latih Barombong.

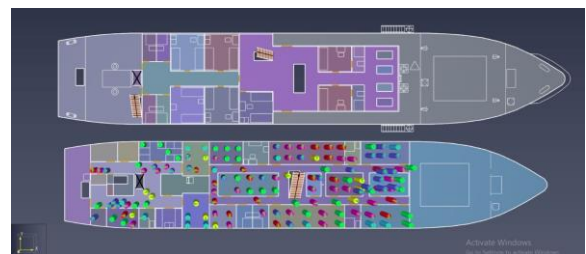
4) Skenario D

Simulasi dijalankan dengan asumsi terjadi kebakaran di dapur pada geladak penumpang bagian buritan kapal. Kebakaran terjadi disebabkan oleh adanya kebocoran gas yang mengakibatkan ledakan

dan rambatan api hingga asap tebal. Pada skenario ini, terdapat salah satu tangga yang dapat digunakan menuju ke geladak utama yang letaknya berada dekat dengan dapur tidak dapat diakses karena adanya asap tebal dan suhu panas yang tinggi dapat membahayakan pergerakan evakuasi penumpang.



Gambar 36. Keadaan sisi kanan kapal ditutup dan hanya sisi kiri yang dapat digunakan oleh seluruh penumpang

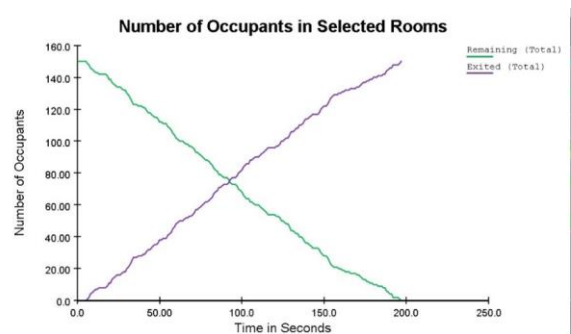


Gambar 37. Kebakaran dapur di geladak penumpang

4.4. Hasil simulasi

1. *Time to exit* (waktu pergerakan menuju titik kumpul)

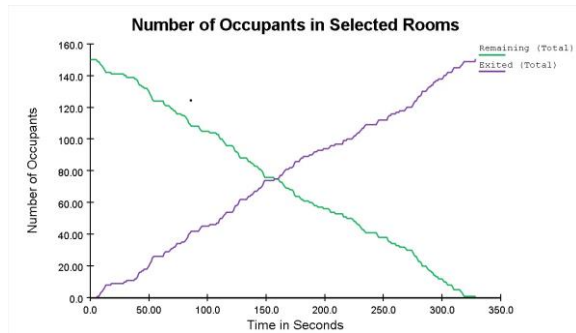
Time to exit merupakan sebuah grafik yang menunjukkan waktu pergerakan penumpang ke titik kumpul.



Gambar 38. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada skenario A

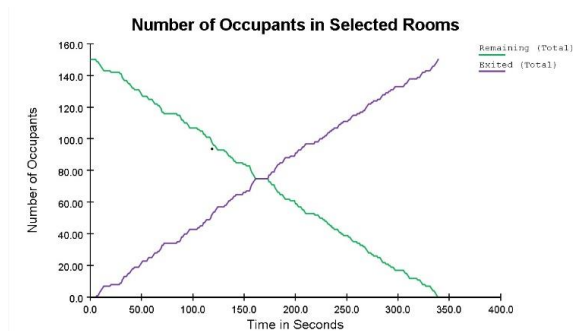
Gambar 38 merupakan grafik untuk skenario A dimana, dapat dianalisa bahwa pada titik pertemuan antara dua garis menunjukkan bahwa penumpang yang telah sampai dititik kumpul mencapai setengah dari jumlah penumpang yaitu 75 orang dengan waktu tempuh selama 93 detik, sehingga Kapal Latih Barombong membutuhkan waktu setidaknya 197

detik untuk mengevakuasi 130 orang penumpang dan 20 orang ABK menuju ke *muster station* yang telah ditentukan.



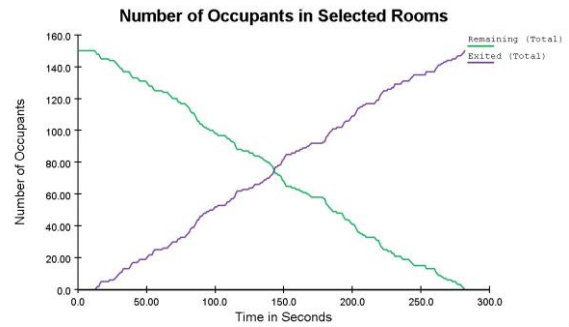
Gambar 39. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada skenario B

Gambar 39 merupakan grafik untuk skenario B dimana, dapat dianalisa bahwa pada titik pertemuan antara dua garis menunjukkan bahwa penumpang yang telah sampai dititik kumpul mencapai setengah dari jumlah penumpang yaitu 75 orang dengan waktu tempuh selama 159 detik, sehingga Kapal Latih Barombong membutuhkan waktu setidaknya 328,3 detik untuk mengevakuasi 130 orang penumpang dan 20 orang ABK menuju ke *muster station* yang telah ditentukan.



Gambar 40. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada skenario C

Gambar 40 merupakan grafik untuk skenario C dimana, dapat dianalisa bahwa pada titik pertemuan antara dua garis menunjukkan bahwa penumpang yang telah sampai dititik kumpul mencapai setengah dari jumlah penumpang yaitu 75 orang dengan waktu tempuh selama 167,75 detik, sehingga Kapal Latih Barombong membutuhkan waktu setidaknya 339 detik untuk mengevakuasi 130 orang penumpang dan 20 orang ABK menuju ke *muster station* yang telah ditentukan.



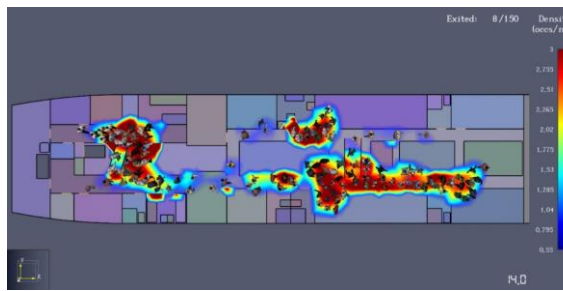
Gambar 41. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada skenario D

Gambar 41 merupakan grafik untuk skenario D dimana, dapat dianalisa bahwa pada titik pertemuan antara dua garis menunjukkan bahwa penumpang yang telah sampai dititik kumpul mencapai setengah dari jumlah penumpang yaitu 75 orang dengan waktu tempuh selama 143 detik, sehingga Kapal Latih Barombong membutuhkan waktu setidaknya 276 detik untuk mengevakuasi 130 orang penumpang dan 20 orang ABK menuju ke *muster station* yang telah ditentukan.

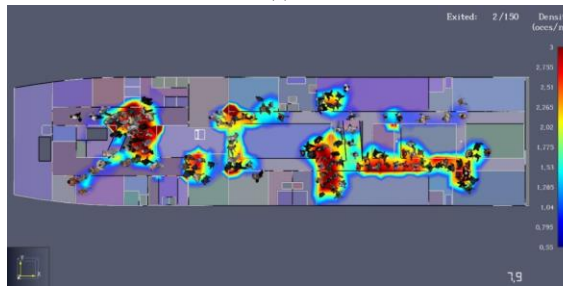
2. Density (kepadatan)

Density merupakan tempat orang-orang yang menempati suatu tempat tertentu atau daerah yang mengapit banyaknya penumpang yang berkumpul. Tingkat kepadatan penumpang berkisar antara 0.55 occs/m² sampai dengan 3 occs/m². Gradiant warna pada gambar 55 menunjukkan tingkat kepadatan penumpang yang sedang melakukan pergerakan dimana pada warna biru menunjukkan tingkat kepadatan penumpang terendah yaitu 0.55 occs/m² dan tertinggi berwarna merah sebesar 3 occs/m² yang terjadi pada koridor sekitar pintu dan tangga naik akibat terjadi antrean untuk menuju ke *deck* lainnya.

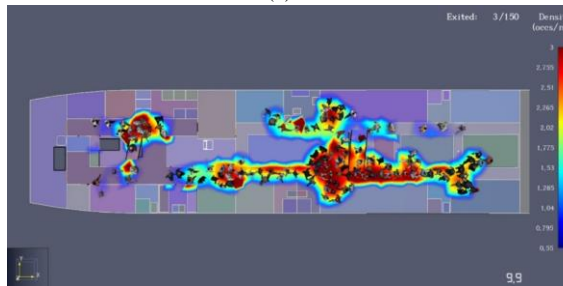
Adapun potensi kegagalan evakuasi yang bisa saja terjadi di lokasi dengan kepadatan penumpang, seperti tangga menuju *muster station*. Kepadatan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti lebar pintu dan tangga sesuai *layout* desain Kapal Latih Barombong dimana lebar pintu bervariasi antara 0,6 meter dan 1 meter dan lebar tangga bervariasi antara 0,75 meter dan 1 meter. Selain itu, kurangnya jumlah akses yang memadai untuk menampung jumlah penumpang yang besar dan perilaku penumpang yang panik atau tidak terkoordinasi juga dapat memperburuk situasi, menghambat proses evakuasi yang efektif dan aman dalam keadaan darurat.



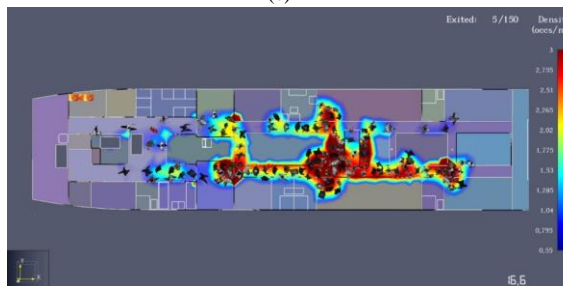
(a)



(b)



(c)



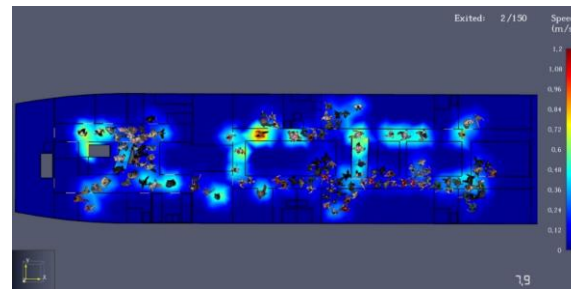
(d)

Gambar 42. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada beberapa skenario : (a) skenario A, (b) skenario B, (c) skenario C dan (d) skenario D

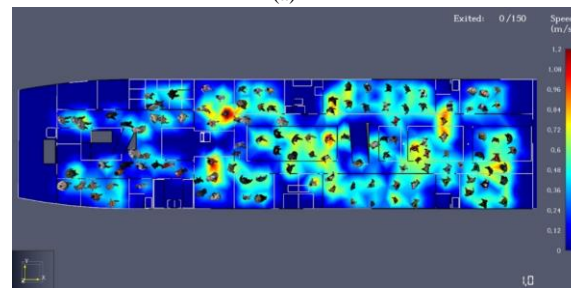
3. Speed (kecepatan)

Speed atau kecepatan merupakan pergerakan dari titik awal penumpang sampai ke titik akhir. Kecepatan penumpang berkisar antara 0 m/s sampai dengan 1.2 m/s. Gradiant warna pada gambar 43 menunjukkan tingkat kecepatan penumpang yang sedang melakukan pergerakan dimana warna biru menunjukkan tingkat kecepatan terendah yaitu 0 m/s karena terjadi penumpukan penumpang yang ingin menuju ke deck lainnya di sekitar area pintu dan tangga akibat lebar pintu yang memiliki lebar antara 0,6 meter dan 1 meter beserta tangga yang memiliki lebar antara 0.75 meter dan 1 meter. Warna merah

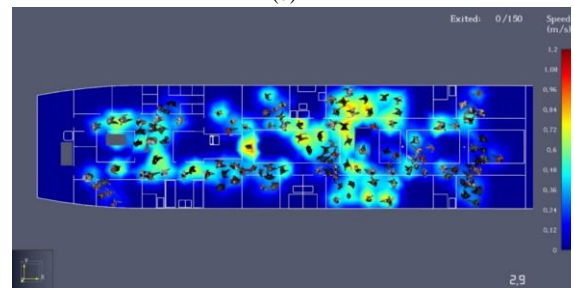
menunjukkan tingkat kecepatan tertinggi yaitu 1.2 m/s yang diakibatkan tidak adanya hambatan dalam pergerakan penumpang.



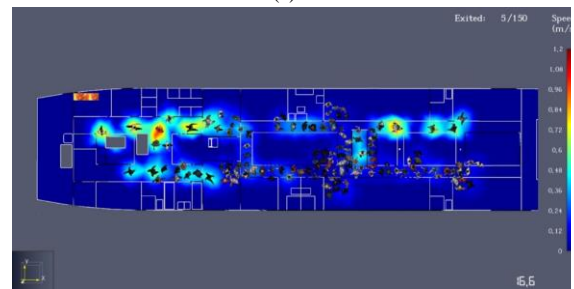
(a)



(b)



(c)



(d)

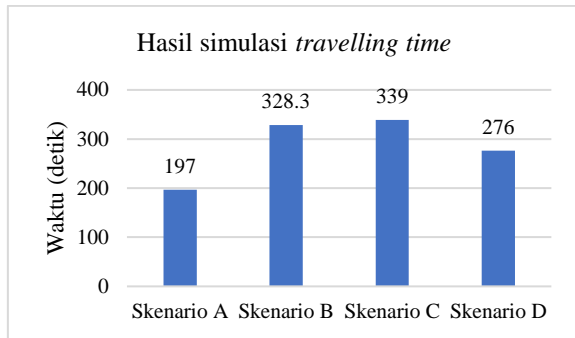
Gambar 43. Jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan sampai ke titik kumpul pada beberapa skenario : (a) skenario A, (b) skenario B, (c) skenario C dan (d) skenario D

4.5. Total waktu pergerakan penumpang

Pada Tabel 7 dapat dilihat total waktu pergerakan (*travelling time*) penumpang dan ABK pada semua skenario.

Tabel 7. Hasil simulasi *travelling time*

Skenario	Total waktu pergerakan (detik)
A	197
B	328,3
C	339
D	276



Gambar 44. Hasil simulasi travelling time

Gambar 44 merupakan diagram hasil dari simulasi evakuasi berupa waktu *travelling time* yang nantinya akan diolah untuk dijadikan waktu evakuasi. Pada grafik tersebut dapat dilihat waktu yang dibutuhkan penumpang sampai ke titik kumpul (*muster station*) berbeda-beda tiap skenario. Pada skenario A selama 197 detik, skenario B selama 328,3 detik, skenario C selama 339 detik dan skenario D selama 276 detik. Durasi pergerakan penumpang dan ABK berbeda-beda pada setiap skenario. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan usia, jenis kelamin dan kecepatan penumpang dan ABK yang berbeda-beda.

4.6. Perhitungan total waktu evakuasi

Setelah mendapat *travelling time* pada setiap skenario dilakukan perhitungan untuk mengetahui *evacuation time* menggunakan standar regulasi IMO. Adapun perhitungannya menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

– Kejadian di siang hari:

$$\text{Total waktu evakuasi} = 1,25 (A+T) + 2/3 (E+L)$$

Dimana:

$$A = 5 \text{ menit (terjadi di siang hari)}$$

$$E + L = 30 \text{ menit}$$

$$T = 197 \text{ detik atau } 3,17 \text{ menit}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Total waktu evakuasi} &= 1,25 (5 \text{ menit} + 3,17 \text{ menit}) + \\ &20 \text{ menit} \\ &= 30,3 \text{ menit} \end{aligned}$$

– Kejadian di malam hari:

$$\text{Total waktu evakuasi} = 1,25 (A+T) + 2/3 (E+L)$$

Dimana:

$$A = 10 \text{ menit (terjadi di malam hari)}$$

$$E + L = 30 \text{ menit}$$

$$T = 197 \text{ detik atau } 3,17 \text{ menit}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Total waktu evakuasi} &= 1,25 (10 \text{ menit} + 3,17 \text{ menit}) \\ &+ 20 \text{ menit} \\ &= 36,5 \text{ menit} \end{aligned}$$

Tabel 8. Hasil perhitungan waktu evakuasi

Skenario	Total waktu pergerakan	
	Siang	Malam
A	30,3 menit (30 menit 18 detik)	36,5 menit (36 menit 30 detik)
B	32,85 menit (32 menit 51 detik)	39,10 menit (39 menit 6 detik)
C	32,98 menit (32 menit 59 detik)	39,24 menit (39 menit 15 detik)
D	31,70 menit (31 menit 42 detik)	37,95 menit (38 menit 57 detik)

Tabel 8 merupakan hasil perhitungan waktu evakuasi penumpang dan ABK Kapal Latih Barombong. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa secara keseluruhan 4 skenario tersebut memenuhi standar yang ditetapkan dalam regulasi IMO yaitu membatasi untuk melakukan evakuasi tidak melebihi 60 menit bagi kapal penumpang yang memiliki zona vertikal tidak lebih dari 3 buah atau dengan kata lain telah memenuhi syarat dari segi rancangan dan peletakan kursi, lebar jalur evakuasi serta ketersediaan pintu, lebar pintu, dan akses penyelamatan diri penumpang.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian desain *safety and fire control plan* dan perancangan *escape route* Kapal Latih Barombong, maka dapat disimpulkan bahwa desain *escape route* yang didesain untuk Kapal Latih Barombong yang disimulasikan dengan beberapa skenario memenuhi standar regulasi waktu evakuasi yang ditentukan oleh IMO yaitu tidak melebihi dari 60 menit untuk kapal penumpang. Pada penelitian ini, berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software Pathfinder 2023*, skenario A membutuhkan waktu evakuasi selama 30,30 menit pada siang hari dan 36,50 menit pada malam hari. Skenario B membutuhkan waktu evakuasi selama 32,85 menit pada siang hari dan 39,10 pada malam hari. Skenario C membutuhkan waktu evakuasi selama 32,98 menit pada siang hari dan 39,24 menit pada malam hari dan skenario D membutuhkan waktu evakuasi selama 31,70 menit pada siang hari dan 37,95 menit pada malam hari. Dari hasil simulasi tersebut, keempat skenario memenuhi standar waktu evakuasi yang ditentukan oleh IMO.

Referensi

- [1] K. P. R. I. Biro Komunikasi dan Informasi Publik, "Waspada Cuaca Ekstrem untuk Menjamin Keselamatan Pelayaran." [Online]. Available: <https://dephub.go.id/post/read/waspada-cuaca-ekstrem-untuk-menjamin-keselamatan-pelayaran>
- [2] Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 7 Tahun 2013 tentang Kewajiban Klasifikasi bagi Kapal Berbendera Indonesia pada Badan*

- Klasifikasi*. Indonesia: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2013, p. 8.
- [3] Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran*. Indonesia: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2008, p. 60.
- [4] Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 54 Tahun 2021 tentang Pengesahan Gambar Rancang Bangun Kapal, Pelaksanaan dan Pengawasan Pembangunan dan Pengerjaan Kapal*. Indonesia: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2021, p. 36.
- [5] R. T. Wijaya, "Analisa Evakuasi Penumpang dan ABK Kapal PT. Pelni dalam Kondisi List dan Kebakaran," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 65 Tahun 2009 tentang Standar Kapal Non Konvensi (Non Convention Vessel Standard) Berbendera Indonesia*. Indonesia: Kementerian Perhubungan, 2009.
- [7] H. Utomo, "Siapa yang Bertanggung Jawab Menurut Hukum dalam Kecelakaan Kapal," *J. Legis. Indones.*, vol. 14, no. 1, pp. 57–76, 2017, doi: 10.54629/jli.v14i1.75.
- [8] N. Hadi, "Studi Analisis Waktu Evakuasi pada Kapal Penumpang Ferry Ro-ro 5000 GT Jalur Pelayaran Merak – Bakauheni," *J. Penelit. Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.25042/jpe.052017.01.
- [9] A. H. Muhammad, D. Paroka, R. Sutomo, and N. Daud, "Studi Jalur Evakuasi pada Kapal Penyeberangan Antar Pulau," in *Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2012, pp. 1–8.

Analisis Kinerja Pelayanan Kapal Penyeberangan KMP Balibo Pada Rute Bira – Pamatata

Muhammad Haerullah¹, M. Rusydi Alwi^{1,*}, Syerly Klara¹, Andi Husni Sitepu¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia.

*Email: rusydi.alra@eng.unhas.ac.id

Abstrak

Pelayanan kapal motor penyeberangan (KMP) Balibo pada rute Bira-Pamatata menjadi fokus penelitian ini. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi kinerja pelayanan KMP Balibo berdasarkan standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. 62 Tahun 2019 serta Standar Operasional Prosedur (SOP) PT ASDP Indonesia Ferry (Persero), serta mengidentifikasi area-area yang perlu ditingkatkan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data melalui kuesioner kepada pengguna jasa KMP Balibo dan observasi langsung di atas kapal. Analisis data menggunakan metode Importance Performance Analysis (IPA) untuk mengidentifikasi kesenjangan antara ekspektasi penumpang dan kinerja aktual pelayanan. Hasil penelitian terhadap KMP Balibo menunjukkan adanya sejumlah kekurangan dalam aspek keamanan, kenyamanan, ketepatan waktu, informasi, dan kebersihan pelayanan. Meskipun secara umum penumpang merasa puas, namun hasil evaluasi objektif mengungkap adanya ketidaksesuaian persepsi. Berdasarkan temuan ini, penelitian merekomendasikan peningkatan fasilitas penunjang kenyamanan penumpang, keamanan, penyampaian informasi, kebersihan, dan fasilitas hiburan perlu menjadi perhatian utama dalam upaya meningkatkan kepuasan penumpang dan meningkatkan kinerja pelayanan KMP Balibo.

Abstract

Service Performance Analysis of the Ferry KMP Balibo on the Bira – Pamatata Route. The focus of this study is the ferry service of KMP Balibo on the Bira–Pamatata route. The objective is to evaluate the performance of KMP Balibo’s service based on the standards set by the Minister of Transportation Regulation No. PM 62 of 2019 and the Standard Operating Procedures (SOP) of PT ASDP Indonesia Ferry (Persero), as well as to identify areas for improvement. This research uses a quantitative approach by collecting data through questionnaires distributed to KMP Balibo passengers and direct observations onboard. The data is analyzed using the Importance-Performance Analysis (IPA) method to identify gaps between passenger expectations and actual service performance. The findings indicate several deficiencies in the areas of safety, comfort, punctuality, information delivery, and cleanliness. Although passengers generally report satisfaction, the objective evaluation reveals a mismatch between perception and actual performance. Based on these findings, the study recommends improvements in passenger comfort facilities, safety, information dissemination, cleanliness, and onboard entertainment facilities as key areas to focus on to enhance passenger satisfaction and overall service performance of KMP Balibo.

Kata Kunci: KMP Balibo; pelayanan penyeberangan; standar pelayanan minimal; Importance Performance Analysis; kepuasan penumpang

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri atas beribu-ribu pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Untuk menghubungkan pulau-pulau tersebut sangat diperlukan suatu jalur transportasi yang dapat di tempuh oleh alat transportasi baik darat, laut, maupun udara yang mampu memuat manusia (penumpang), barang dan jasa sampai dengan aman ketempat tujuan yang ingin dituju [1].

Mesin induk adalah tenaga penggerak utama kapal yang berfungsi mengubah tenaga mekanik menjadi

tenaga pendorong bagi propeller kapal, maneuver, dan menjalankan segala sistem penting di kapal. Selama pengoperasiannya, mesin induk selalu dalam kondisi jalan secara terus menerus, hal ini tentunya akan mempengaruhi kondisi mesin.

Kapal sebagai alat transportasi laut, merupakan salah satu sarana yang sangat penting dalam menunjang perpindahan barang atau manusia dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menempuh jalur laut [1]. Hal ini menjadikan transportasi laut sebagai urat nadi kehidupan bagi masyarakat yang tinggal di pulau-pulau. Mengingat pentingnya transportasi laut

dan penyeberangan, penyedia sarana dan prasarana transportasi laut dan penyeberangan harus dapat mengatasi kebutuhan transportasi laut dan penyeberangan secara efektif dan efisien.

Pelabuhan Bira merupakan sebuah pelabuhan yang terletak di Desa Bira, Bontobahari, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan. Pelabuhan Bira memiliki peran yang besar dalam kelancaran lalu lintas antar pulau. Pelabuhan ini juga menjadi tempat bongkar muat barang dan komoditas hasil hutan, pertanian, perkebunan, dan kebutuhan pokok lain [2]. Pelabuhan Penyeberangan Bira dikelola oleh PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Bira untuk melayani kapal-kapal penyeberangan. PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar mempunyai 1 lintasan komersil yaitu; Bira-Pamatata, Pamatata-Bira [3].

KMP Balibo milik PT. ASDP Indonesia ferry (Persero) Cabang Selayar merupakan salah satu kapal ferry yang digunakan masyarakat Kabupaten Selayar dari pelabuhan Pamatata ke pelabuhan Bira Kabupaten Bulukumba dengan jarak tempuh sekitar ± 2 jam [3]. Dalam pengoperasiannya, KMP Balibo mulai beroperasi di rute Bira – Pamatata pada juni 2018. Sebelumnya, KMP Balibo telah menjalani uji coba pelayaran pada mei 2018. Dan sejak sat itu, KMP Balibo menjadi salah satu kapal yang melayani penyeberangan di rute Bira – Selayar bersama KMP Kormomolin. KMP Balibo diharapkan mampu memberikan pelayanan sesuai dengan apa yang diharapkan oleh masyarakat selama ini.

Mengacu kepada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. 62 Tahun 2019 [4] tentang standar pelayanan minimal angkutan penyeberangan. Pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. 62 Tahun 2019 tersebut mengatur standar pelayanan harus meliputi beberapa aspek, yaitu Keselamatan, Keamanan, Kenyamanan, Kemudahan dan, kesetaraan serta keteraturan bagi penumpang angkutan penyeberangan [5]. Dalam perjalanan operasionalnya, KMP Balibo rute Bira – Pamatata masih dinilai belum maksimal dengan standar pelayanan minimal yang telah ditetapkan oleh pemerintah sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. 62 Tahun 2019 tentang standar pelayanan minimal penumpang angkutan penyeberangan, diantaranya adalah tidak terdapat petugas kesehatan, tidak adanya petugas keamanan berseragam di atas kapal, tidak tersedianya fasilitas untuk penyandang disabilitas seperti kursi roda dan tandu, tidak tersedianya stiker pengaduan keamanan yang berisi nomor telepon atau sms di atas kapal, jarak antara muatan diatas kapal masih belum sesuai dengan aturan, beberapa alat keselamatan yang tidak tersedia.

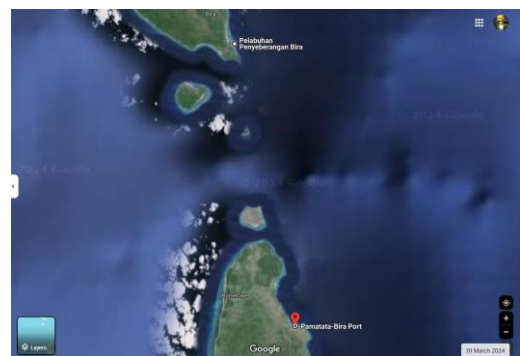
Berdasarkan uraian latar belakang di atas, terlihat adanya kebutuhan mendesak untuk melakukan evaluasi mendalam terhadap kinerja kapal

penyeberangan KMP Balibo pada rute Bira-Pamatata. Analisis ini bertujuan untuk mengukur tingkat kesesuaian pelayanan yang diberikan terhadap standar yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 62 Tahun 2019 serta Standar Operasional Prosedur PT ASDP Indonesia Ferry.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diidentifikasi secara spesifik aspek-aspek pelayanan yang perlu ditingkatkan serta merumuskan strategi alternatif yang efektif untuk mencapai kualitas pelayanan yang optimal. Hasil penelitian ini tidak hanya akan berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang manajemen transportasi laut, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang signifikan bagi pihak pengelola kapal dalam upaya meningkatkan kepuasan penumpang dan daya saing perusahaan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lintas pelabuhan Bira (Bulukumba) – Pamatata (Selayar), Provinsi Sulawesi Selatan, pada periode 10-15 Juli 2024 seperti yang tertera pada gambar 1. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan dan penyebaran kuesioner kepada sekitar 143 responden pengguna jasa KMP Balibo. Data primer ini mencakup penilaian responden terhadap kinerja pelayanan berbagai aspek pada kapal tersebut, serta pengamatan langsung terhadap fasilitas pelayanan yang tersedia.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Sementara itu, data sekunder berupa data jumlah penumpang KMP Balibo diperoleh dari sumber-sumber yang telah ada. Data ini digunakan sebagai pelengkap dalam menganalisis kinerja pelayanan kapal. Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap fasilitas pelayanan kapal dan penyebaran kuesioner kepada pengguna jasa. Observasi dilakukan untuk memverifikasi data yang diperoleh dari kuesioner dan memastikan kesesuaiannya dengan standar yang telah ditetapkan.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pengguna jasa KMP Balibo pada rute penyeberangan Bira-Pamatata. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kinerja pelayanan kapal dari perspektif pengguna jasa, khususnya terkait dengan kepuasan pengguna terhadap berbagai atribut pelayanan dan kinerja pelayanan dalam proses pemuatan kendaraan. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode *Importance Performance Analysis* (IPA) untuk mengidentifikasi aspek pelayanan yang perlu ditingkatkan dan metode observasi untuk memverifikasi data kuantitatif.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja pelayanan KMP Balibo dan memberikan rekomendasi perbaikan bagi pihak pengelola kapal.

3. Hasil dan Pembahasan

KMP Balibo, sebuah kapal Ro-Ro produksi tahun 1996, menjadi tulang punggung konektivitas maritim di Kepulauan Selayar, Sulawesi Selatan. Dioperasikan oleh PT ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar, kapal ini melayani rute penyeberangan reguler, mengangkut penumpang, kendaraan, dan berbagai jenis barang. Dengan fasilitas yang memadai, termasuk ruang penumpang kelas ekonomi dan VIP, mushola, toilet, kantin, toko, serta area parkir, KMP Balibo tidak hanya memenuhi kebutuhan transportasi masyarakat, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap perkembangan ekonomi wilayah tersebut.

3.1. Analisis kinerja pelayanan angkutan penyeberangan KMP Balibo

Importance Performance Analysis (IPA) adalah metode yang digunakan untuk mengukur kinerja sebuah atribut berdasarkan persepsi dari penggunanya, dimana dengan metode IPA ini dapat diketahui atribut-atribut pelayanan yang menurut pengguna jasa memberikan pengaruh yang besar terhadap tingkat kepuasan dan loyalitas pengguna jasa terhadap pelayanan yang mereka terima serta atribut-atribut pelayanan yang menurut pengguna jasa perlu ditingkatkan kinerjanya karena adanya perbedaan persepsi antara apa yang dirasakan dengan apa yang diharapkan, atau dengan kata lain metode IPA adalah metode yang digunakan untuk mengukur kinerja suatu atribut berdasarkan hubungan antara apa yang dirasakan/diterima oleh pengguna jasa dengan apa yang diharapkan oleh pengguna jasa tersebut.

Pada bagian ini akan disajikan perhitungan rata-rata dari penilaian pelaksanaan tingkat kinerja (Xi) dan tingkat kepentingan/harapan (Yi) dari enam aspek kualitas pelayanan kapal KMP Balibo yang mempengaruhi kepuasan pengguna jasa

penyeberangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan tingkat kesesuaian dari penilaian kinerja dan kepentingan pada keenam aspek kualitas pelayanan

Nomor Atribut	Tingkat Kinerja (Xi)	Tingkat Kepentingan (Yi)	GAP	Tingkat Kesesuaian (Tki)
Keselamatan				
1.1	583	655	-72	89%
1.2	454	627	-173	72%
1.3	531	596	-65	89%
Rata-rata	523	626	-103	84%
Keamanan				
2.1	599	641	-42	93%
2.2	544	650	-106	84%
2.3	507	582	-75	87%
Rata-rata	550	624	-74	88%
Kenyamanan				
3.1	507	541	-34	94%
3.2	524	517	7	101%
3.3	462	479	-17	96%
Rata-rata	498	512	-15	97%
Kemudahan				
4.1	542	570	-28	95%
4.2	552	564	-12	98%
Rata-rata	547	567	-20	96%
Kesetaraan				
5.1	525	563	-38	93%
5.2	454	596	-142	76%
Rata-rata	490	580	-90	85%
Keteraturan				
6.1	605	594	11	102%
6.2	521	600	-79	87%
6.3	514	631	-117	81%
Rata-rata	547	608	-62	90%
Nilai Keseluruhan rata-rata	525	586	-61	90 %

Tabel 1 menggambarkan penilaian tingkat kinerja dan tingkat kepentingan setiap aspek kualitas pelayanan di kapal KMP Balibo. Nilai Gap menggambarkan selisih antara kinerja yang dirasakan pengguna jasa penyeberangan KMP Balibo dengan kepentingan/harapan pengguna atas pelayanan yang diberikan. Hasil penelitian mendapatkann 2 aspek yaitu Kenyamanan 3.2 (Ketersediaan makanan dan minuman dengan harga yang wajar) dan Keteraturan 6.1 (Pelayanan yang tidak diskriminatif) mendapatkan nilai Gap positif. Hal ini berarti bahwa kinerja pelayanan sudah melampaui harapan pengguna jasa penyeberangan.

Berdasarkan hasil perhitungan pada *Importance Performance Analysis* (IPA) selanjutnya pada keseluruhan atribut kualitas pelayanan tersebut akan di rekapitulasi menggunakan diagram kartesius.

3.2. Analisis kuadran

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis diagram Kartesius. Analisis diagram Kartesius dilakukan untuk mengetahui posisi relatif setiap

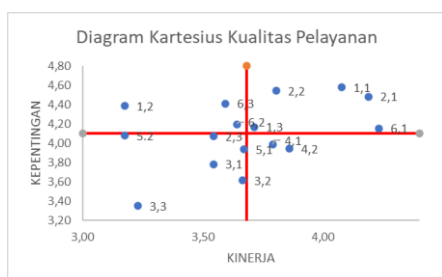
atribut berdasarkan kinerja rata-rata, sehingga dapat diidentifikasi area yang perlu ditingkatkan.

Tabel 2. Perhitungan rata-rata dari penilaian kinerja dan kepentingan pada keenam aspek kualitas pelayanan

Nomor Atribut	Tingkat Kinerja (Xi)	Tingkat Kepentingan (Yi)	n	\bar{X}	\bar{Y}
Keselamatan					
1.1	583	655	143	4,08	4,58
1.2	454	627	143	3,17	4,38
1.3	531	596	143	3,71	4,17
Keamanan					
2.1	599	641	143	4,19	4,48
2.2	544	650	143	3,80	4,55
2.3	507	582	143	3,55	4,07
Rata-rata	550	624	-74	88%	
Kenyamanan					
3.1	507	541	143	3,55	3,78
3.2	524	517	143	3,66	3,62
3.3	462	479	143	3,23	3,35
Rata-rata	498	512	-15	97%	
Kemudahan					
4.1	542	570	143	3,79	3,99
4.2	552	564	143	3,86	3,94
Rata-rata	547	567	-20	96%	
Kesetaraan					
5.1	525	563	143	3,67	3,94
5.2	454	596	143	3,17	4,08
Rata-rata	490	580	-90	85%	
Keteraturan					
6.1	605	594	143	4,23	4,15
6.2	521	600	143	3,64	4,20
6.3	514	631	143	3,59	4,41
Rata-rata				3,68	4,11

Nilai \bar{X} dan \bar{Y} merupakan nilai rata-rata dari 143 orang responden yakni pengguna jasa penyeberangan KMP Balibo hasil penilaian terhadap atribut tingkat kinerja (X) dan atribut tingkat kepentingan (Y). Nilai \bar{X} didapat dari hasil penilaian tingkat kinerja (X) dibagi dengan 143 responden, penilaian tingkat kinerja (Y) dibagi dengan 143 responden.

Berdasarkan perhitungan tabel diatas didapat nilai rata-rata \bar{X} dan \bar{Y} yakni sebesar 3,68 dan 4,11. Nilai rata-rata didapat dari jumlah nilai rata-rata \bar{X} dan \bar{Y} dibagi 16 atribut pelayanan. Nilai tersebut digunakan sebagai pembatas antara nilai rata-rata \bar{X} dan \bar{Y} yang berpotongan sehingga membentuk empat bagian. selanjutnya hasil dari tabel tersebut di jabarkan pada diagram kartesius, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kartesius kualitas pelayanan

1. Kuadran I (Prioritas Utama)

Atribut yang berada pada kuadran ini merupakan prioritas utama untuk diperbaiki dan ditingkatkan pelayanannya karena unsur-unsur atribut jasa pelayanan ini dianggap sangat penting bagi kepuasan pengguna jasa. Adapun atribut pelayanan yang masuk dalam kuadran I adalah sebagai berikut.

- (1,2) Prosedur keselamatan dan tanggap darurat (briefing penumpang, latihan keselamatan, dll.)
- (6,2) Petugas penanganan antrian dan ketertiban penumpang
- (6,3) Ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan

2. Kuadran II (Pertahankan Prestasi)

Atribut-atribut pelayanan yang ada pada kuadran II adalah atribut pelayanan yang dianggap penting dan telah memberikan pelayanan yang membuat pengguna jasa merasa puas. Oleh karena itu atribut-atribut yang termasuk dalam kuadran II ini harus dipertahankan kinerjanya. Adapun atribut pelayanan yang masuk pada kuadran ini yaitu sebagai berikut.

- (1,1) Keberadaan dan kelayakan alat keselamatan (pelampung, sekoci, alat pemadam api, dll.)
- (1,3) Kompetensi dan kesiapan awak kapal dalam menangani situasi darurat
- (2,1) Keamanan barang bawaan
- (2,2) Keamanan dari tindak kriminal (pencurian, pelecehan, dll)
- (6,1) Pelayanan yang tidak tidak diskriminatif (berdasarkan usia, jenis kelamin, agama, dll)

3. Kuadran III (Prioritas Rendah)

Atribut-atribut pelayanan yang ada pada kuadran III adalah atribut yang memerlukan pembenahan atau perbaikan dikarenakan tingkat kepuasan penumpang terhadap pelayanan yang diberikan kurang walaupun atribut ini dianggap tidak begitu penting bagi penumpang. sehingga atribut pelayanan yang ada pada kuadran ini masuk dalam kategori prioritas rendah. Adapun atribut pelayanan yang masuk pada kuadran ini yaitu sebagai berikut.

- (2,3) Kebersihan dan sanitasi
- (3,1) Fasilitas didalam kapal (ruang tunggu,tempat duduk,dll)
- (3,3) Hiburan (Tv,musik dll)
- (5,2) Fasilitas bagi ibu menyusui

4. Kuadran IV (Berlebihan)

Kuadran IV menunjukkan faktor yang dianggap oleh para pengguna jasa tidak terlalu penting, tapi pelaksanaannya berlebihan atau dianggap kurang penting tetapi kinerja pelayanannya sangat memuaskan. Pada kuadran ini berisi atribut sebagai berikut.

- (3,2) Ketersediaan makanan dan minuman dengan harga yang wajar
- (4,1) Sistem pembelian tiket
- (4,2) Akses informasi jadwal dan tarif (website, aplikasi dll)
- (5,1) Kemudahan akses bagi penyandang disabilitas

3.3. Analisis secara keseluruhan

Berdasarkan hasil survei keseluruhan, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa temuan penting terkait kinerja pelayanan penumpang angkutan penyeberangan KMP Balibo. Secara umum, kinerja pelayanan KMP Balibo dapat dibagi menjadi tiga aspek utama.

Pertama, kinerja berdasarkan tingkat kepuasan penumpang menunjukkan bahwa KMP Balibo telah berhasil memberikan layanan yang cukup baik, sebagaimana tercermin dari hasil analisis Importance Performance Analysis (IPA) yang memperoleh skor sebesar 90%. Fasilitas yang tersedia turut mendukung kualitas pelayanan secara keseluruhan. Namun demikian, hasil pengamatan menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa aspek pelayanan yang perlu ditingkatkan untuk mencapai tingkat kepuasan penumpang yang optimal. Meskipun layanan telah diberikan, kenyataannya masih banyak pengguna jasa yang merasa belum sepenuhnya puas. Hal ini terlihat dari nilai Tingkat Kepuasan Indeks (TKI) yang masih berada di bawah standar, yaitu kurang dari 100% atau di bawah rata-rata. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada sejumlah aspek pelayanan. Berdasarkan analisis, terdapat tiga atribut utama yang menjadi prioritas untuk ditingkatkan, yaitu: (1) kurangnya prosedur keselamatan dan tanggap darurat seperti briefing penumpang dan latihan keselamatan; (2) tidak adanya petugas yang khusus menangani antrian dan ketertiban penumpang; serta (3) belum optimalnya ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan kapal.

Kedua, berdasarkan hasil observasi langsung di lapangan, teridentifikasi sejumlah ketidaksesuaian antara kondisi aktual pelayanan KMP Balibo dengan ketentuan yang tertuang dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 62 Tahun 2019, yang mencakup aspek keselamatan, kesehatan, keamanan, dan kenyamanan penumpang. Meskipun terdapat beberapa upaya untuk memenuhi persyaratan tersebut, secara keseluruhan kinerja kapal masih belum optimal. Beberapa aspek krusial yang membutuhkan perhatian serius meliputi sistem keselamatan dan tanggap darurat, keberadaan petugas keamanan, penyediaan informasi terkait gangguan keamanan, kebersihan fasilitas umum, kualitas pelayanan awak kapal, serta ketersediaan fasilitas khusus bagi kelompok rentan seperti ibu menyusui dan penyandang disabilitas. Temuan-temuan ini

menunjukkan adanya potensi besar untuk meningkatkan kualitas layanan KMP Balibo secara menyeluruh.

Ketiga, berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap pelaksanaan pelayanan selama perjalanan, dapat disimpulkan bahwa KMP Balibo belum sepenuhnya memenuhi Standar Operasional Prosedur (SOP) yang ditetapkan oleh Direksi PT ASDP Indonesia Ferry (Persero). Beberapa temuan yang perlu mendapatkan perhatian meliputi: pertama, belum memadainya fasilitas penunjang kenyamanan penumpang, seperti tidak tersedianya ruang kesehatan, ruang menyusui, serta area merokok yang sesuai dengan ketentuan. Kedua, aspek keamanan masih perlu diperkuat melalui penambahan jumlah petugas keamanan serta kelengkapan peralatan keselamatan. Ketiga, penyampaian informasi kepada penumpang belum optimal, baik dari segi pengumuman lisan maupun informasi digital yang seharusnya mudah dipahami. Keempat, kondisi kebersihan—terutama pada area toilet—masih belum memenuhi standar kenyamanan. Terakhir, terbatasnya fasilitas hiburan di atas kapal, seperti ketiadaan lukisan, spot foto, maupun aplikasi hiburan, menunjukkan perlunya pengembangan sarana yang dapat meningkatkan pengalaman dan kepuasan penumpang selama perjalanan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil survei, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa kinerja pelayanan KMP Balibo pada rute Bira–Pamatata masih memerlukan sejumlah perbaikan agar dapat mencapai kualitas pelayanan yang optimal. Meskipun telah terdapat beberapa perbaikan, kinerja kapal ini belum sepenuhnya memenuhi standar yang telah ditetapkan. Beberapa temuan utama menunjukkan bahwa masih terdapat kekurangan dalam penerapan prosedur keselamatan dan tanggap darurat, serta ketidaksesuaian dengan standar keselamatan, kesehatan, keamanan, dan kenyamanan penumpang. Selain itu, masih terdapat ketidaksesuaian dalam pelaksanaan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang ditetapkan oleh Direksi PT ASDP Indonesia Ferry (Persero). Aspek-aspek seperti fasilitas penunjang kenyamanan penumpang, sistem keamanan, penyampaian informasi, kebersihan, serta fasilitas hiburan perlu mendapatkan perhatian utama sebagai bagian dari upaya peningkatan kepuasan penumpang.

Lebih lanjut, hasil analisis menunjukkan adanya ketidakselarasan antara persepsi penumpang terhadap kualitas layanan dengan hasil evaluasi objektif yang dilakukan. Meskipun secara umum penumpang merasa cukup puas terhadap layanan yang diberikan, terdapat beberapa aspek yang dinilai masih perlu diperbaiki, seperti ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan, serta kurangnya jumlah petugas yang

menangani antrian. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan yang terukur dan berkelanjutan terhadap seluruh aspek pelayanan, guna memenuhi harapan pengguna jasa dan meningkatkan citra pelayanan KMP Balibo secara keseluruhan.

Strategi alternatif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja pelayanan angkutan KMP Balibo berdasarkan hasil tinjauan di lapangan antara lain mencakup lima aspek utama. Pertama, peningkatan prosedur keselamatan dan tanggap darurat dapat dilakukan melalui pelatihan berkala bagi awak kapal, penyediaan peralatan keselamatan yang lengkap dan mudah diakses, serta pelaksanaan briefing keselamatan kepada penumpang sebelum keberangkatan. Kedua, peningkatan kualitas pelayanan mencakup penambahan jumlah petugas untuk menangani antrian dan menjaga ketertiban, pelatihan layanan pelanggan, serta optimalisasi jadwal dan perawatan kapal guna meningkatkan ketepatan waktu keberangkatan dan kedatangan. Ketiga, dalam aspek fasilitas dan kenyamanan, kapal perlu dilengkapi dengan ruang kesehatan, ruang menyusui, dan area merokok yang sesuai regulasi, serta peningkatan kebersihan terutama pada toilet, dan penambahan fasilitas hiburan seperti lukisan, spot foto, dan aplikasi hiburan dalam kapal. Keempat, peningkatan keamanan dapat dilakukan dengan menambah jumlah petugas keamanan yang dilengkapi peralatan memadai, serta penyediaan informasi gangguan keamanan yang jelas dan mudah diakses

oleh penumpang. Terakhir, peningkatan komunikasi dapat diwujudkan dengan memperbaiki kualitas pengumuman lisan dan menyediakan informasi digital yang lengkap dan mudah dipahami. Seluruh strategi ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan pelayanan yang lebih baik di masa mendatang.

Referensi

- [1] T. I. E. Wahyuni, S. Sunusi, I. Jaya, and S. B. N., "Analisis Perkembangan Transportasi Laut Dalam Wilayah Sulawesi untuk Mendukung Tol Laut," *J. Venus*, vol. 7, no. 13, pp. 61–74, 2019, doi: 10.48192/vns.v7i13.242.
- [2] R. Purwasih, "Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Pelabuhan Penyeberangan Ferry Bira," *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 5, no. 1, pp. 16–19, 2022, doi: 10.62012/sensistek.v5i1.19375.
- [3] V. D. Manaruri, "Tinjauan Pemenuhan Standar Pelayanan Penumpang di Kapal Penyeberangan KMP. Kormomolin," Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD, 2020.
- [4] Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 62 Tahun 2019 tentang Standar Pelayanan Minimal Angkutan Penyeberangan*. Indonesia: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2019, p. 12.
- [5] M. A. Q. Ramadhan, "Analisis Kinerja Pelayanan Angkutan Penyeberangan KMP Opudi Lintas Sorowako–Nuha Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan," Universitas Hasanuddin, 2022.

Analisis Ekonomis Sistem Pendingin Kapal Ikan Katinting Berbasis Energi Surya

Azzahrawaani¹, Surya Hariyanto^{1,*}, Syerly Klara¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

*Email: suryahariyanto@unhas.ac.id

Abstrak

Di antara sekian banyak sumber energi terbarukan, pemanfaatan energi surya melalui sel surya merupakan energi alternatif yang berpotensi penerapannya paling besar di Indonesia. Untuk mengoptimalkan hal ini, rencana desain sistem pendingin kapal nelayan bertenaga surya dibuat dan dianalisis nilai teknis dan ekonominya menggunakan perangkat lunak HOMER. Sistem pengoperasian mesin pendingin kapal nelayan pada penelitian ini menggunakan komponen, kompresor, dan kondensor yang mengubah bentuk refrigeran yang disuplai dengan refrigeran jenis R134a pada proses pendinginannya. Nilai beban produk sebesar 0,0843 kJ/s. Usulan sistem pengoperasian kapal nelayan dengan panel surya menghasilkan daya operasi kompresor sebesar 0,77 kW. Kapasitas sistem untuk mendinginkan produk diketahui dengan nilai beban panas sebesar 0,084 kW dari evaporator dan nilai beban panas sebesar 0,091 kW dari kondensor. Hasil analisis menunjukkan, untuk menentukan baterai, nilainya adalah 0,204 kW, nilai *solar charge controller* adalah 0,240 kW, dan nilai inverter adalah 0,840 kW. Maka dipilihlah panel surya dengan jenis polikristalin 220 Wp. Hasil simulasi HOMER dan optimasi desain yang dilakukan menunjukkan bahwa PV yang digunakan sebanyak 2 lembar dengan masing – masing 110 WP, sehingga penelitian ini menggunakan sistem yang terdiri dari 1 unit baterai, 1 unit inverter dan 1 solar charger, dengan total biaya untuk *Net Present Cost* (NPC) sebesar Rp 63.922.174,00 dengan *Cost Of Energy* (COE) sebesar Rp 4.786/kWh.

Abstract

Economic Analysis of Solar Powered Cooling System for Katinting Fishing Boats. Among the numerous renewable energy sources, the utilization of solar energy through solar cells is the alternative energy with the most potential for application in Indonesia. To optimize this, a design plan for a solar-powered cooling system for fishing boats was created and analyzed for its technical and economic value using HOMER software. The operation system of the fishing boat's cooling machine in this study employs components, compressors, and condensers that convert the form of supplied refrigerant with R134a refrigerant type in its cooling process. The product load value is 0.0843 kJ/s. The proposed operation system for the fishing boat with solar panels produces a compressor operating power of 0.77 kW. The system capacity to cool the product is determined by the heat load values of 0.084 kW from the evaporator and 0.091 kW from the condenser. The analysis results indicate that to determine the battery, the value is 0.204 kW, the solar charge controller value is 0.240 kW, and the inverter value is 0.840 kW. Hence, polycrystalline solar panels with a capacity of 220 Wp are selected. The HOMER simulation results and design optimization conducted show that PVs used are 2 sheets with 110 WP each, thus this research employs a system consisting of 1 battery unit, 1 inverter, and 1 solar charger, with a total Net Present Cost (NPC) of Rp 63.922.174,00 and Cost Of Energy (COE) of Rp 4.786/kWh.

Kata Kunci: Solar cells; cooling sistem; HOMER

1. Pendahuluan

Dengan wilayah laut yang sangat luas, Indonesia mempunyai kekayaan sumber daya kelautan yang melimpah dalam sektor perikanan dan energi. Kedua sumber daya ini belum dimanfaatkan secara maksimal untuk kesejahteraan penduduk terutama nelayan Indonesia. Sumber daya di kedua sektor ini dapat digunakan untuk menopang satu sama lain guna meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia di daerah pesisir. Sumber energi terbarukan

seperti matahari, angin, energi panas, dan lain – lainnya yang tidak ada habisnya. Pengelolaan sumber energi yang sangat diperlukan adalah menyediakan energi berupa energi tenaga listrik dengan biaya seminimal mungkin dan dampak alam yang sekecil mungkin [1], [2]. Salah satu pengelolaannya yaitu menggunakan teknologi panel surya yang digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia

karena sebagai negara tropis dan Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Dengan memanfaatkan energi surya yang dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan panel surya untuk sistem pendingin pada penyimpanan hasil tangkap nelayan.

Kapal perikanan digunakan untuk menangkap atau mengumpulkan sumber daya laut, serta untuk riset, pelatihan, dan inspeksi sumber daya perairan. Beragam sistem pendinginan muatan, mulai dari penggunaan es balok hingga sistem pendinginan modern, digunakan untuk menjaga mutu ikan selama penangkapan dan transportasi [3]–[5]. Pemilik kapal sering menggunakan penyimpanan dengan kayu berlapis styrofoam, namun pencairan es yang cepat menjadi masalah. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendingin yang optimal dan ramah lingkungan, seperti freezer berbasis energi surya yang mudah diterapkan pada perahu nelayan. Penurunan mutu ikan setelah kematian dapat dihambat dengan suhu rendah yang memperlambat proses biokimia, seperti autolysis, dan mengurangi aktivitas enzim serta bakteri pembusuk.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kapal Katinting

Kapal ikan jenis ini adalah kapal yang digunakan untuk kegiatan penangkap ikan di perairan laut atau sungai. Kapal ini dirancang khusus dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan untuk membantu proses penangkapan ikan, seperti jarring, pancing, alat tangkap lainnya, serta sistem penyimpanan dan pengawetan ikan.

Kapal Katinting jenis ini merupakan kapal penangkap ikan dimana menurut Undang-Undang RI No. 31 tahun 2004 tentang perikanan adalah kapal, atau alat apung lainnya yang dipergunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian atau eksplorasi perikanan.

2.2. Panel surya

Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang disusun sedemikian rupa sehingga didapatkan output sesuai dengan yang diinginkan. Dari kumpulan sel surya ini dapat dikonversi cahaya matahari menjadi listrik arus searah. Dengan menambahkan baterai yang dihubungkan dengan panel surya, maka daya hasil konversi cahaya matahari menjadi listrik dapat disimpan sebagai cadangan energi listrik.

2.3. Kinerja mesin refrigerasi kompresi

Untuk mengetahui besar beban pada mesin pendingin, dimana sistem siklus pendingin memelurkan kerja pada masing – masing komponen seperti kondensor, kompresor, evaporator, dan katup ekspansi.

1. Usaha pendinginan refrigrasi atau efek refrigerasi

$$W = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)}$$

2. Laju aliran pendingin Refrigerant

$$\dot{m} = (Q \text{ total beban pendingin})/w$$

3. Kerja Kompresi

$$W_{comp} = \dot{m} (h_2 - h_1) \text{ (kJ/s)}$$

4. Kerja Kondensor

$$Q_{con} = \dot{m} (h_2 - h_3) \text{ (kJ/s)}$$

5. Kerja Evaporator

$$Q_{ev} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

6. Koefisien Prestasi (*Coefficient of Performance*)

Unjuk kerja (COP) adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem (kerja kompresi).

$$COP = Q_{ev}/W_{comp}$$

2.4. Software HOMER

HOMER adalah singkatan dari *the Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables*, salah satu software populer untuk desain sistem PLTH menggunakan energi terbarukan. Software HOMER merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL), Amerika Serikat. Software HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk operasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak.

3. Metode Penelitian

Mengidentifikasi masalah, dalam hal ini penulis mengambil objek Kapal Kantiting di galangan Taiyo Marineng, Makassar. Hasil identifikasi objek kontruksi palka belum dilengkapi dengan sistem insulin palka. Juga dilakukan studi lapangan untuk memperoleh data terkait jenis muatan kapal dengan tipe yang sama. Setelah itu dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk pembuatan model kapal

menggunakan aplikasi *Software Autocad* untuk 2 dimensi dan model untuk 3 dimensi menggunakan *Software Sketchup*. Data yang dikumpulkan seperti data utama kapal, material kapal, ukuran palka, trayek pelayaran, data ikan yang menjadi target penangkapan.

Data kapal diambil dengan melakukan pengukuran langsung .

Tabel 1. Data utama kapal

Tipe Kapal	Katinting
LOA	8,25 m
B	0,73 m
T	0,51 m
H	0,55 m
Mesin	Honda GX270, 9 PK
Lama Berlayar	8 Jam
Kecepatan kapal	8,96 Knot
Alat Tangkap	Jaring dan pancing



Gambar 1. Kapal Katinting



Gambar 2. Ruang palka ikan

Dimensi palka yang diperoleh dari pengukuran langsung :

Tabel 2. Dimensi palka

Bentuk	Mengikuti bentuk lambung
Panjang	0,95 m
Lebar	0,63 m
Tinggi	0,454 m

Data spesifikasi hasil tangkap disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi hasil tangkapan (Ikan Cepa/Kuwe)

Kingdom	Animalia
Filum	Chordata
Kelas	Actinopterygii
Ordo	Perciformes
Famili	Carangidae
Genus	Caranx
Spesies	Caranx Ignobilis
Suhu Habitat	28 -30 °C
Suhu awal	28 °C
Panas Spesifik	0,9 kkal/kg/°C
Panjang sampel Ikan	15 cm
Berat sampel Ikan	0,2 kg
Volume sampel Ikan	0,00032 m ³

Data beban panas ruang palka dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Dimensi palka

Beban Kalor	Q (kW)
Transmisi	0,0509
Infiltrasi	0,0253
Produk	0,0080
Q Total (kW)	0,0843

4. Hasil dan Pembahasan

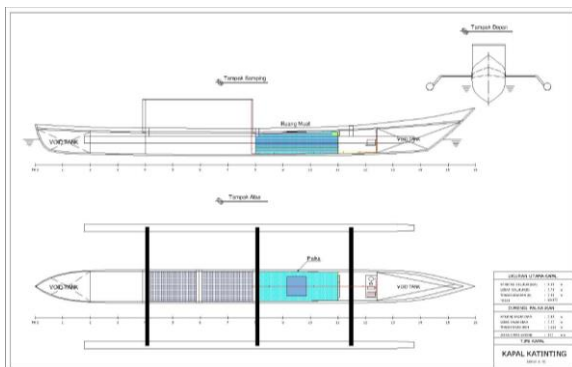
4.1. Perhitungan kerja sistem refrigerasi kompresi

Tabel 5 menunjukkan jumlah daya yang diperoleh dari semua komponen yang digunakan sebesar 0,181 kW. Dengan kebutuhan energi yang di dapatkan tersebut digunakan untuk menentukan daya panel surya, inverter, kapasitas baterai dan solar battery charger dimana panel surya sebesar 220 Wp, inverter sebesar 22,62 Watt/Jam, kapasitas baterai sebesar 131,9 AH, dan solar battery charger sebesar 12,28 A.

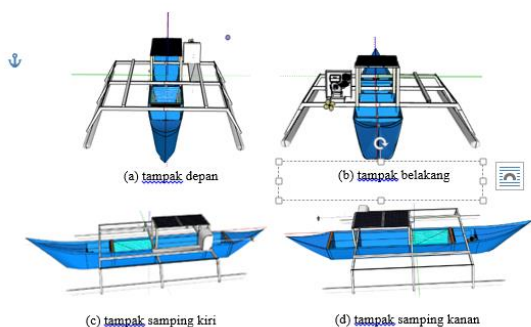
Tabel 5. Total Kebutuhan Energi untuk menghitung daya panel surya

Komponen	Daya (kW)
Kompresor	0,007
Kondensor	0,091
Evaporator	0,084
Total (kW)	0,181

Setelah menghitung daya yang dibutuhkan oleh sistem pendingin kapal ikan katinting berbasis energi surya, selanjutnya dilakuka pembuatan desain sistem pendingin menggunakan *Software Sketchup* untuk 3 dimensi dan *software Autocad* untuk desain 2 dimensi.



Gambar 1. Desain 2D menggunakan AUTOCAD



Gambar 2. Desain 3D menggunakan software Sketchup

4.2. Analisis ekonomis

Analisis ekonomis ini dilakukan untuk menentukan suatu proyek apakah layak atau tidak ditinjau dari sisi keuangan dengan menggunakan periode 5 tahun berdasarkan umur pakai komponen yang digunakan. Berikut perhitungan untuk analisis ekonomis menggunakan pada penelitian ini :

Tabel 6. Biaya operasional pembangkit listrik tenaga surya selama 5 tahun

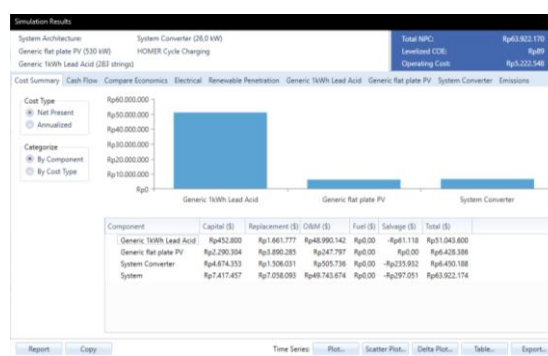
Parameter	Nilai
Net Present Cost	Rp 63.922.174,00
Cost of Energy	Rp 89.500,00
Produksi Energi (kWh/Tahun)	1.091,100
Renewable Fraction	100%

Tabel 6 menunjukkan nilai ekonomi pembangkit listrik tenaga surya dengan parameter *Net Present Cost* (total biaya perawatan dan operasional) dengan total sebesar Rp 63.922.174,00 dengan *Cost of Energi* (biaya pengeluaran per kWh) dengan biaya Rp 89.500,00 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 1.091,100 kWh/tahun dan nilai *renewable fraction* (persentase dari total energi yang diproduksi atau digunakan yang berasal dari sumber energi terbarukan) sebesar 100%.

Tabel 7. Data total *annualized cost* dan produksi listrik tahunan

Parameter	Nilai
Produksi Energi (kWh/Tahun)	1.091,100
Operating Cost	Rp 5.222.548,00

Tabel 7 menunjukkan total energi listrik yang dikonsumsi dalam satu tahun. Penggunaan energi Penggunaan energi listrik dari beban listrik yang disuplai adalah 1,091.100 kWh/tahun. *Cost Of Energy* dari konfigurasi ini yaitu sebesar Rp 89.500,00. Dan untuk menentukan daya total biaya tahunan yang digunakan adalah dengan membagi *operating cost* dengan produksi energi sehingga didapatlah sebesar Rp 4.786/kWh.



Gambar 5. Biaya Operasional Software Homer

Tabel 8. Modal awal

Modal Awal	Harga (Rp)
Panel Surya	2.290.304,00
Aki/Baterai	452.800,00
Inverter	4.674.353,00
Total	7.417.457,00

Tabel 8 merupakan modal awal pembelian komponen sistem pendingin pada palka ikan, yang dimana komponennya adalah panel surya, aki/battery dan inverter dengan biaya sebesar Rp 7.417.457,00.

a. Keuntungan nelayan menggunakan panel surya
Setelah mengetahui biaya investasi awal selanjutnya dapat menghitung berat muatan palka ikan, berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned} \text{Berat muatan palka} &= \text{Volume palka} \times \text{Stowage factor} \\ &= 0,13139 \text{ m}^3 / 1,6 \text{ m}^3/\text{ton} \\ &= 0,082119 \text{ ton} \approx 82,12 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kemudian, dari berat muatan ikan yang diperoleh, kita dapat menghitung jumlah keuntungan nelayan yang diperoleh dalam jangka waktu satu kali beroperasi, berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{harga ikan} \times \text{berat muatan} \\ \text{Keuntungan} &= \text{Rp } 60.000 \times 82,12 \text{ kg} \\ \text{Keuntungan} &= \text{Rp } 4.927.200,00 \end{aligned}$$

Jadi, keuntungan hasil tangkap dari penjualan yang diperoleh nelayan selama satu kali beroperasi yaitu sebesar Rp 4.927.200,00.

- b. Payback periode (Periode Pengembalian Modal)
Perhitungan payback periode digunakan untuk mengetahui terhadap jangka waktu (periode) pengembalian investasi suatu proyek atau bisnis.
Berikut perhitungan payback periode :

$$\begin{aligned} PP &= \frac{\text{Rp } 7.417.457,00}{\text{Rp } 4.927.200,00} \\ PP &= 1,48 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan payback periode, jadi waktu pengembalian modal adalah = 1,48 x 12 = 17,87 atau 1 tahun 5 bulan.

- c. Biaya penggunaan es balok
Untuk menghitung biaya yang di perlukan dalam sistem pendingin menggunakan es balok maka, berdasarkan Irianto dan Soesilo, perbandingan es dan ikan yang ideal untuk penyimpanan dingin dengan es adalah 1 : 1. Oleh karena itu harus diketahui terlebih dahulu volume ruang palka. Volume Ruang palka dengan material insulasi polyurethane diperoleh dengan menggunakan software Ansys yaitu 0.13139 m³. Dari volume palka dan stowage factor muatan pada perhitungan sebelumnya, dapat dihitung berat muatan palka dengan rumus berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat muatan palka} &= \text{Volume palka} \times \text{Stowage factor} \\ &= 0,13139 \text{ m}^3 / 1.6 \text{ m}^3/\text{ton} \\ &= 0,082119 \text{ ton} \approx 82,12 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, agar dapat memenuhi syarat ideal untuk perbandingan ikan dan es, maka berat muatan ikan dan es harus sama. Sehingga berat muatan ikan dan es balok masing - masing adalah 41,6 kg.

Setelah mengetahui berat muatan es yang akan digunakan, selanjutnya dapat menghitung biaya operasional dalam satu hari berlayar dengan estimasi harga es balok adalah Rp 3.000,00 per kg berikut adalah perhitungannya

$$\begin{aligned} \text{Biaya es balok} &= \text{Berat muatan es (kg)} \times \text{harga es balok (Rp)} \\ \text{Biaya es balok (1 hari berlayar)} &= 41,6 \times 3.000,00 \\ \text{Biaya es balok (1 hari berlayar)} &= \text{Rp } 123.180,00 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan biaya es balok perhari sebesar Rp 123.180,00, maka selanjutnya untuk mengetahui biaya es balok dalam waktu 5 tahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya es balok} &= \text{Rp } 123.180,00 \times 1825 \\ \text{Biaya es balok} &= \text{Rp } 224.803.500,00 \end{aligned}$$

Jadi biaya yang diperlukan untuk pembelian es balok selama jangka waktu 5 tahun sebesar Rp 224.803.500,00

Setelah mendapatkan biaya es balok yang digunakan untuk sistem pendingin pada palka dalam jangka waktu 5 tahun, maka dapat dibandingkan biaya yang dibutuhkan antara sistem pendingin yang menggunakan photovoltaic dengan es balok

$$\begin{aligned} \text{Selisih biaya} &= \text{biaya es balok} - \text{biaya photovoltaic} \\ \text{Selisih biaya} &= \text{Rp } 224.803.500,00 - \text{Rp } 63.922.174,00 \\ \text{Selisih biaya} &= \text{Rp } 160.881.326,00 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, biaya yang penggunaan photovoltaic jauh lebih murah dengan selisih Rp 160.881.326,00, dimana dalam jangka waktu 5 tahun.

Tabel 9. Perbandingan palka menggunakan panel surya dan es balok

No	Variabel	Panel Surya	Es Balok
1	Harga	Rp 63.922.174,00	Rp 224.804.500,00
2	Muatan	82,12 kg	41,6 kg

5. Kesimpulan

Untuk desain yang dirancang untuk kapal Katinting dengan menggunakan *refrigerant* tipe R134A, nilai beban total yang diterapkan sebesar 0,0843 kJ/s. Menghitung sistem operasi kapal ikan yang direncanakan, daya operasi kompresor adalah 0,77 kW. Kapasitas sistem untuk mendinginkan produk diketahui dengan nilai beban panas sebesar 0,084 kW dari evaporator dan 0,091 kW dari kondensor. Pada perhitungan daya untuk menentukan baterai diperoleh nilai sebesar 0,204 kW, nilai solar charge controller sebesar 0,240 kW, dan nilai inverter sebesar 0,840 kW. Maka dipilihlah panel surya dengan jenis polikristalin 220Wp.

Berdasarkan analisis ekonomi perencanaan penerapan sistem pendingin kapal ikan berbasis panel surya melibatkan perhitungan *capital cost*, *replacement cost*, *operational & maintenance cost*, *fuel cost*, dan *salvage cost*. Dengan menggunakan software HOMER didapatkan estimasi total biaya untuk *Net Present Cost* sebesar Rp 63.922.174,00 selama 5 tahun beroperasi, dengan *Cost Of Energy* sebesar Rp 4.786 /kWh untuk sistem pendingin berbasis panel surya.

Referensi

- [1] F. Mahmuddin, S. Klara, M. B. Selamat, and Rahmatullah, "Penerapan Teknologi Pendingin Ikan Berbasis Energi Surya pada Masyarakat Nelayan di Desa Turungan Kecamatan Mattiro Sompe Kabupaten Pinrang," *J. Ris. Teknol. Terap. Kemaritiman*, vol. 1, no. 2, pp. 59–64, 2022, doi: 10.25042/jrt2k.122022.09.
- [2] I. Setiono, "Akumulator, Pemakaian dan Perawatannya," *METANA*, vol. 11, no. 01, pp. 31–36, 2015, doi: 10.14710/metana.v11i01.12579.
- [3] Zulkifli, Baharuddin, A. H. Sitepu, and M. Farid, "Desain Sistem Refrigerated Sea Water (RSW) pada Kapal Ikan Pelat Datar 10 GT," *J. Penelit. Enj.*, vol. 23, no. 1, pp. 39–44, 2019, doi: 10.25042/jpe.052019.06.
- [4] Razali and Stephan, "Perencanaan Sistem Pendingin Palka Ikan Menggunakan Tenaga Surya," *INOVTEK Polbeng*, vol. 4, no. 2, pp. 98–105, 2014, doi: 10.35314/ip.v4i2.104.
- [5] Kiryanto and H. Supriyanto, "Analisa Teknis dan Ekonomis Perencanaan Sistem Pendingin Ruang Palkah Ikan dengan Sistem Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran R22 (Monokloro Difluoro Metana)," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 8, no. 1, pp. 6–15, 2012, doi: 10.14710/kpl.v8i1.1695.

Evaluasi Kebutuhan Energi Listrik untuk Sistem Penerangan dan Peralatan Pendukung Operasi pada Kapal Rumah Sakit Tipe LCT

Suardi^{1,*}, Muhammad Yogi Raditya^{2,3}, Azhar Aras Mubarak⁴, Hariyono¹, Chris Jeremy Verian Sitorus¹, Harlian Kustiwanasa¹

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia, 76127

² Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia, 76127

³ Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan

⁴ Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Sembilanbelas November, Kolaka, 93517, Indonesia

*Email: suardi@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Analisis kebutuhan daya generator untuk mendukung sistem penerangan dan peralatan operasional pada kapal rumah sakit tipe LCT (*Landing Craft Tank*) merupakan aspek krusial dalam menjamin keandalan dan efisiensi operasional sistem kelistrikan kapal. Kapal ini berfungsi sebagai rumah sakit terapung, sehingga memerlukan pasokan listrik yang stabil dan andal untuk menunjang perangkat medis, sistem navigasi, serta peralatan pendukung lainnya. Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah belum optimalnya perencanaan kapasitas daya generator dalam memenuhi beban listrik secara menyeluruh, khususnya pada kondisi puncak dan situasi darurat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas optimal generator berdasarkan total konsumsi daya dari setiap beban listrik yang ada, dengan mempertimbangkan margin keamanan, kondisi operasional, serta keberlanjutan sistem daya. Metode yang digunakan meliputi identifikasi dan penghitungan beban listrik, analisis distribusi daya, serta evaluasi terhadap keandalan sistem kelistrikan berdasarkan referensi teknis terkini. Sebagai *state of the art*, pendekatan ini selaras dengan praktik terbaik dalam perancangan sistem kelistrikan kapal modern, yang mengutamakan efisiensi energi, keberlanjutan, dan keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan kapasitas generator yang tepat tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keselamatan pasien dan awak kapal. Rekomendasi dari studi ini menekankan pentingnya integrasi sistem monitoring daya secara *real-time* dan pemeliharaan berkala untuk mendukung keberlanjutan layanan kapal rumah sakit. Temuan ini diharapkan menjadi rujukan dalam pengembangan sistem kelistrikan kapal serupa di masa depan, khususnya dalam konteks pelayanan medis maritim yang tanggap dan andal.

Abstract

Evaluation of Electrical Energy Requirements for Handling Systems and Operational Support Equipment on LCT Type Hospital Ships. The analysis of generator power requirements to support lighting systems and operational equipment on a Hospital LCT (*Landing Craft Tank*) vessel is a critical aspect in ensuring the reliability and efficiency of the ship's electrical systems. As a floating hospital, this vessel demands a stable and reliable power supply to operate medical equipment, navigation systems, and other essential tools. The primary issue addressed in this study is the lack of optimal planning in generator capacity to fully accommodate electrical loads, especially under peak and emergency conditions. The objective of this research is to determine the optimal generator capacity by analyzing the total power consumption of each electrical load, while accounting for safety margins, operational conditions, and power sustainability. The methodology includes identifying and calculating all electrical loads, evaluating power distribution, and assessing system reliability based on the latest technical standards. As part of the state-of-the-art approach, this study aligns with modern marine electrical system design practices that emphasize energy efficiency, sustainability, and safety. The results demonstrate that selecting an appropriately sized generator significantly enhances operational efficiency and plays a vital role in ensuring the safety of both patients and crew onboard. The study recommends the integration of real-time power monitoring systems and scheduled maintenance practices to support the long-term reliability of hospital ship operations. These findings are expected to serve as a valuable reference for the future development of similar maritime healthcare platforms.

Kata Kunci: Hospital LCT vessel; generator power requirements; electrical load; marine power system; operational efficiency

1. Pendahuluan

Kapal *Landing Craft Tank* (LCT) Rumah Sakit merupakan salah satu bentuk inovasi transportasi laut yang dirancang secara khusus untuk berfungsi sebagai unit medis bergerak [1], [2]. Kapal ini bertujuan untuk menyediakan layanan kesehatan dasar hingga lanjutan di wilayah pesisir dan kepulauan yang sulit dijangkau oleh fasilitas kesehatan darat. Dalam konteks negara kepulauan seperti Indonesia, keberadaan kapal LCT Rumah Sakit sangat penting sebagai solusi dalam mengatasi keterbatasan akses pelayanan medis, khususnya di daerah terpencil karena jenis kapal ini memiliki *motion* gerak yang tenang dan stabil [3], [4].

Berbeda dengan kapal konvensional, kapal LCT Rumah Sakit dilengkapi dengan ruang perawatan pasien, peralatan medis, ruang operasi, serta akomodasi bagi tenaga medis dan kru kapal [5]. Seluruh fasilitas tersebut membutuhkan sistem kelistrikan yang andal dan berkesinambungan guna memastikan operasional yang efisien dan aman, terutama dalam kondisi darurat atau selama pelayaran jangka panjang [6], [7].

Keandalan sistem kelistrikan menjadi komponen vital dalam mendukung seluruh aktivitas di atas kapal, mulai dari penerangan, navigasi, komunikasi, hingga pengoperasian alat-alat medis [8]. Oleh karena itu, analisis terhadap kebutuhan daya listrik dan pemilihan kapasitas generator yang tepat menjadi sangat penting. Generator utama harus mampu mencukupi seluruh beban listrik kapal, termasuk mempertimbangkan beban puncak, margin keamanan, dan kemungkinan kebutuhan cadangan saat terjadi gangguan [7], [9]. Selain itu, sistem kelistrikan pada kapal juga harus mematuhi standar klasifikasi kelautan seperti yang ditetapkan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) atau ABS (American Bureau of Shipping), untuk menjamin aspek keselamatan dan keandalan operasional kapal [10].

Penelitian ini berfokus pada analisis kebutuhan daya listrik untuk distribusi penerangan dan peralatan operasional penunjang di atas kapal LCT Rumah Sakit. Kajian dilakukan dengan mengidentifikasi total beban listrik yang diperlukan dalam kondisi operasional normal, serta mempertimbangkan metode pencahayaan yang efisien dan hemat energi. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam desain sistem penerangan adalah *metode zonal cavity*, yang umum diterapkan untuk perancangan pencahayaan ruang dalam [11], [12]. Metode ini membantu memastikan tingkat iluminasi yang memadai di berbagai zona fungsional kapal seperti ruang perawatan, ruang navigasi, serta akomodasi kru dan tenaga medis.

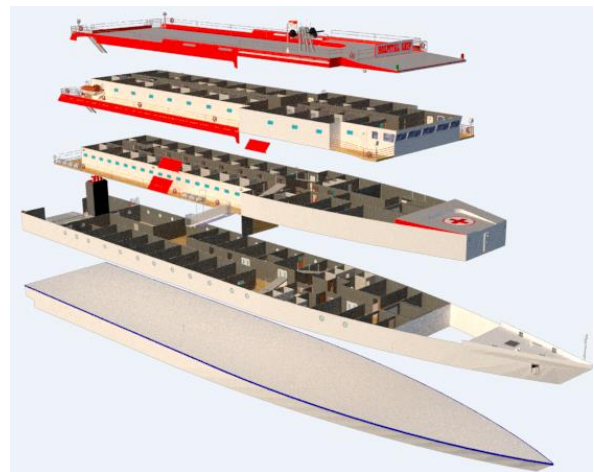
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam pemilihan kapasitas generator yang optimal, peningkatan efisiensi distribusi listrik, serta mendukung misi kapal LCT Rumah Sakit sebagai fasilitas kesehatan

terapung yang handal dan berkelanjutan. Temuan ini juga diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pengembangan kapal rumah sakit di masa mendatang. Metode Penelitian

2. Kapal LCT Rumah Sakit

Dalam Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) Rumah Sakit merupakan jenis kapal multi-fungsi yang dirancang untuk mendukung layanan kesehatan bergerak, khususnya di wilayah kepulauan atau daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh fasilitas medis darat. Kapal ini mengadaptasi struktur dasar kapal pendarat (LCT) yang memiliki dek luas dan stabil, sehingga ideal untuk dimodifikasi menjadi rumah sakit terapung.

Fasilitas di dalam kapal meliputi ruang rawat inap, ruang pemeriksaan, ruang operasi ringan, apotek, laboratorium sederhana, serta akomodasi bagi tenaga medis dan awak kapal. Seluruh fasilitas medis ini didukung oleh sistem kelistrikan yang handal untuk menjamin operasional peralatan kesehatan, pencahayaan, ventilasi, serta sistem navigasi dan komunikasi. Dengan perannya sebagai rumah sakit terapung, kapal LCT ini sangat penting dalam mendukung pemerataan layanan kesehatan, khususnya dalam program tanggap bencana, pelayanan kesehatan keliling, atau misi sosial kemanusiaan lainnya.



Gambar 1. 3D kapal rumah sakit

2.1. Instalasi kelistrikan kapal LCT rumah sakit

Sebagaimana halnya fasilitas di darat, sistem kelistrikan pada kapal LCT Rumah Sakit memegang peranan yang sangat vital dalam mendukung seluruh aktivitas operasional kapal. Sistem ini menyuplai energi listrik untuk berbagai fungsi penting, seperti pencahayaan, pengoperasian peralatan medis, sistem navigasi dan komunikasi, serta sistem keselamatan kapal. Sumber utama tenaga listrik berasal dari generator utama (*main generator*) yang mendistribusikan listrik ke seluruh instalasi kapal,

Prinsip dasar metode ini adalah pembagian ruangan ke dalam tiga bagian utama atau "cavity", yaitu rongga langit-langit, rongga dinding (atau ruang utama), dan rongga lantai. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, ketiga bagian tersebut masing-masing berkontribusi terhadap seberapa besar cahaya dipantulkan atau diserap oleh permukaan ruangan. Gambar 3 menggambarkan secara visual pembagian dimensi ruang dalam konteks metode ini.

Langkah-langkah perhitungan dalam metode *Zonal Cavity* dimulai dari penentuan rasio rongga (*cavity ratio*), penetapan koefisien reflektansi dari permukaan, perhitungan faktor pantulan (*reflectance factor*), hingga akhirnya didapatkan tingkat pencahayaan rata-rata di dalam ruang (*average illuminance*).

Dalam konteks kapal LCT Rumah Sakit, penerapan metode ini sangat relevan untuk menjamin tercapainya standar pencahayaan yang sesuai pada berbagai ruang fungsional seperti ruang operasi darurat, ruang akomodasi pasien, ruang kontrol navigasi, serta ruang-ruang umum lainnya. Pemanfaatan metode *Zonal Cavity* dalam perancangan sistem pencahayaan juga menjadi bagian penting dalam perhitungan total kebutuhan daya listrik kapal, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas generator yang optimal demi kelangsungan operasional dan keselamatan di atas kapal.

Untuk mendapatkan nilai dari rasio *Room Cavity Ratio* (RCR) bisa didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Room\ Cavity\ R.\ (RCR) = 5\ hrc\ (L + W) / (L \times W) \quad (1)$$

Dimana :

- hrc = Jarak pencahayaan ke bidang kerja
- L = Panjang ruangan (m)
- W = Lebar ruangan (m)

Besarnya flux cahaya yang diperlukan dalam suatu ruangan dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\Phi\ Room = (E\ Room \times A) / (CU \times LLF) \quad (2)$$

Dimana :

- $\Phi\ Room$ = Flux cahaya yang dihasilkan dalam suatu ruang (Lumen)
- E Room = Iluminasi yang diperlukan dalam suatu ruang (Lux)
- A = Luas suatu ruangan (m²)
- CU = *Coefficient of Utilization*/ koefisien pemanfaatan lumener
- LLF = *Total light loss factor*

Sedangkan untuk menghitung jumlah lampu yang diperlukan dalam suatu ruangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$N\ Room = \Phi\ Room / \Phi\ Lamp \quad (3)$$

Dimana:

- N ruang = Jumlah lampu yang diperlukan dalam suatu ruangan
- $\Phi\ Room$ = Flux cahaya yang dihasilkan dalam suatu ruang (Lumen)
- $\Phi\ lamp$ = Flux cahaya pada lampu yang akan dipilih (Lumen).

4. Pembahasan

Pengukuran intensitas pencahayaan di setiap ruangan pada kapal dilakukan dengan mengacu pada kondisi ruangan, seperti lebar, tinggi, panjang, dan luas ruangan, serta penentuan nilai pencahayaan sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk masing-masing ruangan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, generator kapal menyuplai daya untuk seluruh kebutuhan listrik di atas kapal, termasuk pencahayaan, instalasi pompa, telekomunikasi, dan sistem pemantauan. Analisis ini difokuskan pada kebutuhan pencahayaan dan peralatan rumah sakit, dengan tujuan untuk menentukan total daya yang dibutuhkan oleh Kapal Rumah Sakit berdasarkan regulasi pencahayaan yang diterbitkan oleh ABS. Total kebutuhan daya untuk instalasi pencahayaan dan peralatan rumah sakit, dengan menggunakan lampu LED pada setiap dek, adalah sebesar 107,8 kW.

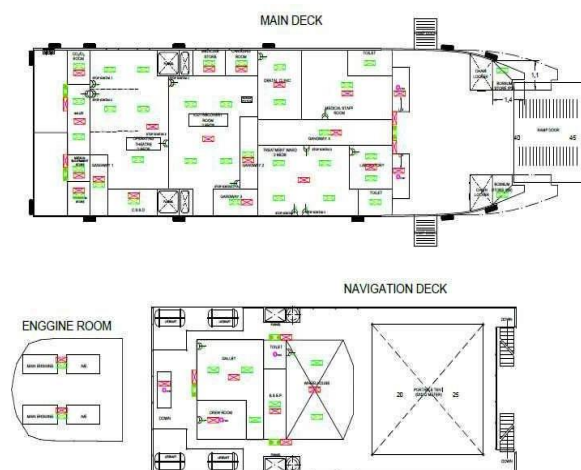
Tabel 1. Beban pencahayaan lampu (menggunakan LED)

No.	Deck	Daya (KW)
1	Engine Room	2.452 Kw
2	Main Deck	99.299 Kw
3	Navigation Deck	4.3962 Kw
<i>Quantity</i>		107.8 Kw

Berdasarkan Tabel 1, akumulasi beban terjadi pada *Main Deck* yang berfungsi sebagai area rumah sakit. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan daya listrik yang besar untuk mengoperasikan peralatan penunjang rumah sakit. Total kebutuhan daya generator pada Kapal Rumah Sakit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Total kebutuhan daya generator Kapal RS

Information	Berlayar	In Out Pelabuhan	Berlabuh	Emergency
Daya Total				
<i>Continuous load</i> (kW)	5.1	0.6	6.2	-
<i>Intermiten Load</i> (kW)	107.8	14.5	8.9	0.34
<i>Diversity Factor</i> (0,7)	75.5	10.1	6.2	-
Total Load (kW)	80.5	10.7	12.5	0.20
<i>Total Generator Power</i> kW	1 x 96	1 x 68	1 x 96	1 x 25
<i>Available Power Capacity</i> (kW)	96	96	96	15
<i>Generator Load Factor</i>	87%	83%	61.70%	82.60%



Gambar 4. Tata letak pencahayaan di kapal

Distribusi peletakan lampu untuk geladak pada kapal setelah dilakukan perhitungan kebutuhan daya listrik untuk penerangan seperti yang ditampilkan pada gambar 4. Metode *cavity* memungkinkan untuk dapat melihat besaran kebutuhan daya penerangan tiap ruangan dengan efisien, jika kasus pada kapal ini, penggunaan lampu LED juga dilakukan mengingat lampu tipe ini lebih hemat dibandingkan dengan lampu *Fluorescent* (TL).

5. Kesimpulan

Hasil analisis perbandingan konsumsi daya pencahayaan pada Kapal Rumah Sakit sepanjang 24 meter, dengan menggunakan lampu LED dan instalasi kelistrikan untuk kebutuhan rumah sakit, menunjukkan total daya sebesar 80,5 kW. Besarnya nilai ini disebabkan oleh tingginya beban listrik yang dibutuhkan oleh peralatan rumah sakit untuk memastikan fungsinya berjalan dengan baik. Kebutuhan daya keseluruhan sistem kelistrikan kapal dengan penggunaan lampu LED adalah sebagai berikut: 80,5 kW saat kondisi berlayar, 10,7 kW saat masuk dan keluar pelabuhan, 12,5 kW saat kapal berlabuh, dan 0,20 kW pada kondisi darurat. Perhitungan kelistrikan pada kapal rumah sakit ini hanya mempertimbangkan kebutuhan daya untuk pencahayaan dan pengoperasian peralatan rumah sakit yang diperlukan guna mendukung kelancaran operasional kapal rumah sakit. Demikian pula, perhitungan daya darurat dibatasi hanya untuk kebutuhan pencahayaan

Referensi

[1] P. Cremonesi *et al.*, "Transformation of a Ferry Ship into a Ship Hospital for COVID-19 Patients," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 23, p. 8976, 2020, doi: 10.3390/ijerph17238976.

[2] Suardi *et al.*, "Freeboard and Trim Measurement: A Case Study of Landing Craft Tank Conversion to Ship Power

Plan," *Zo. Laut J. Inov. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.62012/zl.v5i1.27886.

[3] Alamsyah, A. Hidayatullah, Suardi, W. Setiawan, Habibi, and S. D. Nurcholik, "Motion Response on The Water Ambulance Ship," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2023.

[4] Alamsyah *et al.*, "An Estimation Method for the Overthrowing Moment of Vehicles on the Car Deck of the Ro-Ro Ferry," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 19303–19309, 2025, doi: 10.48084/etasr.8887.

[5] Sunarsih, A. Baidowi, and K. A. Surbakti, "Design Optimization of Ventilation and Air-Conditioning Systems—A Case Study of a Hospital Ship," in *Marine Technology*, R. S. Widjaja, Hasanudin, Y. A. Hermawan, A. Ismail, F. N. Zulkipli, and A. Öchsner, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 117–124. doi: 10.1007/978-3-031-67788-5_14.

[6] Suardi, W. Setiawan, and S. N. N. Pos-Pos, "Desain Ship Power Plant sebagai Alternatif Krisis Listrik di Pulau Kangean, Jawa Timur," *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 6, no. 2, pp. 68–73, 2020, doi: 10.32487/jst.v6i2.873.

[7] Suardi, W. Setiawan, A. Y. Kyaw, Nurbaya, and M. R. T, "Plan for the Power Requirements of The Lights in the Fishing Boat Room Using LED Lights," *Indones. J. Marit. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2023.

[8] M. U. Pawara, F. Mahmuddin, S. Klara, M. R. Alwi, and A. B. Z. Abidin, "Analisis Keandalan dan Risiko Sistem Pelumasan Mesin Utama Sabuk Nusantara 43," *INOVTEK POLBENG*, vol. 13, no. 2, pp. 205–214, 2023.

[9] Suardi, A. Y. Kyaw, A. I. Wulandari, and F. Zahrotama, "Impacts of Application Light-Emitting Diode (LED) Lamps in Reducing Generator Power on Ro-Ro Passenger Ship 300 GT KMP Bambit," *JMES – Int. J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 44–53, 2023, doi: 10.12962/j25807471.v7i1.15004.

[10] American Bureau of Shipping (ABS), "Guide for Crew Habitability on Ships," Houston, Texas, 2016.

[11] Suardi *et al.*, "Calculation of Lighting Capacity on the Pinisi Tourist Ship Using the Zonal Cavity Method," *JMES – Int. J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 60–66, 2024, doi: 10.12962/j25807471.v8i2.17251.

[12] Suardi, M. U. Pawara, Alamsyah, A. M. N. Arifuddin, F. Mahmuddin, and S. Klara, "Perencanaan Distribusi Penerangan untuk Ruangan di Atas Kapal TB Liberty 217 GT menggunakan Metode Zonal Cavity," *INOVTEK POLBENG*, vol. 13, no. 1, pp. 29–36, 2023, doi: 10.35314/ip.v13i1.3164.

[13] D. S. Dwiyantri *et al.*, "Design of the Electrical System on a General Cargo Ship with a Length of 105.669 Meters," *Indones. J. Marit. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 60–64, 2023, doi: 10.35718/ismatech.v1i2.1044.

[14] Suardi, M. K. Maulana, R. J. Ikhwan, M. U. Pawara, F. Mahmuddin, and M. Tasrief, "Design and Implementation of Solar Cells as an Alternative Power Source for Pinisi Ships," *Comput. Exp. Res. Mater. Renew. Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 93–104, 2024, doi: 10.19184/cerimre.v7i2.52111.

[15] E. P. Hidayat, D. D. K. R. Antariksh, I. Sutrisno, Ardiansyah, and D. D. Suharso, "Pengembangan Sistem

- Kelistrikan Kapal untuk Mendukung Operasional Sea and Coast Guard Indonesia,” *Bull. Community Engagem.*, vol. 4, no. 2, pp. 159–165, 2024, doi: 10.51278/bce.v4i2.1353.
- [16] U. Adeli, C. Y. A. Nalle, R. P. Sumarta, and Filemon, “Penurunan Kinerja Kompresor pada Kapal: Faktor Penyebab dan Upaya Perbaikan di MV. Jales Mas,” *JPB J. Patria Bahari*, vol. 4, no. 2, pp. 28–32, 2024, doi: 10.54017/jpb.v4i2.150.
- [17] “Lighting Design: Zonal-Cavity Method (Lumen Method).”

Pengenalan dan Pendampingan Aplikasi Mikrokontroler pada Sistem Penyiraman Kebun guna Meningkatkan Produktivitas Ekonomi Petani di Desa Balla Kabupaten Enrekang

Faisal Mahmuddin^{1,*}, Syerly Klara¹, Surya Hariyanto¹, Arham Suhardi¹, Syahrin Ramadhan¹, Fadel Rezky Ramadhan¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia*

*Email: f.mahmuddin@unhas.ac.id

Abstrak

Desa Balla di Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang memiliki potensi besar di sektor pertanian, khususnya pada komoditas bawang. Namun, sistem penyiraman yang masih dilakukan secara konvensional menyebabkan rendahnya efisiensi penggunaan air, tingginya kebutuhan tenaga kerja, serta kurang optimalnya produktivitas hasil pertanian. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengenalkan dan mendampingi penerapan teknologi penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas petani. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatif berbasis teknologi tepat guna melalui tahapan sosialisasi, pelatihan, demonstrasi, dan pendampingan. Kegiatan dilaksanakan selama dua hari, yaitu pada tanggal 6–7 Oktober 2018, dengan materi berupa pengenalan sistem, komponen, prinsip kerja, serta praktik langsung instalasi dan pengoperasian sistem penyiraman otomatis yang didukung oleh energi surya. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa sistem yang diterapkan mampu bekerja dengan baik dalam mendistribusikan air ke lahan pertanian dan memberikan alternatif solusi terhadap keterbatasan sistem konvensional. Selain itu, terjadi peningkatan pengetahuan dan keterampilan petani dalam pemanfaatan teknologi, serta respon yang sangat positif dari masyarakat terhadap inovasi yang diperkenalkan. Dengan demikian, penerapan sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan tenaga kerja, serta mendukung peningkatan produktivitas dan kesejahteraan ekonomi petani.

Abstract

Introduction and Assistance of Microcontroller Application in Irrigation Systems to Improve the Economic Productivity of Farmers in Balla Village, Enrekang Regency. Balla Village in Baraka District, Enrekang Regency has significant potential in the agricultural sector, particularly in onion cultivation. However, the conventional irrigation system currently used by farmers leads to inefficient water usage, high labor demand, and suboptimal agricultural productivity. Therefore, this community service activity aims to introduce and assist in the implementation of a microcontroller-based automatic irrigation system to improve efficiency and farmers' productivity. The method applied in this program is a participatory approach based on appropriate technology, including socialization, training, demonstration, and assistance. The activity was conducted over two days, on October 6–7, 2018, covering system introduction, component explanation, working principles, and hands-on practice in installing and operating an automatic irrigation system powered by solar energy. The results indicate that the implemented system performed effectively in distributing water to agricultural land and provided an alternative solution to the limitations of conventional irrigation methods. Furthermore, there was a noticeable improvement in farmers' knowledge and skills in utilizing technology, along with a highly positive response from the community. Therefore, this system has the potential to enhance water and labor efficiency, as well as to support increased agricultural productivity and farmers' economic welfare.

Kata Kunci: Mikrokontroler; sistem penyiraman otomatis; pertanian, teknologi tepat guna; produktivitas petani

1. Pendahuluan

Desa Balla merupakan salah satu desa di Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan yang memiliki potensi besar pada

sektor pertanian, khususnya komoditas bawang. Kondisi geografis yang berada di wilayah perbukitan dengan tingkat kesuburan tanah yang baik menjadikan sektor pertanian sebagai mata pencaharian utama masyarakat. Namun demikian, pemanfaatan teknologi

dalam kegiatan pertanian masih relatif rendah sehingga produktivitas yang dihasilkan belum optimal.

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi petani di Desa Balla adalah sistem penyiraman tanaman yang masih dilakukan secara konvensional. Penyiraman umumnya dilakukan secara manual dengan bantuan pompa air, namun pengaturan waktu dan volume air masih berdasarkan perkiraan petani. Kondisi ini menyebabkan ketidaktepatan dalam pemberian air yang berdampak pada pertumbuhan tanaman serta efisiensi penggunaan sumber daya. Selain itu, sistem manual juga membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak dan waktu yang relatif lama, sehingga kurang efisien dalam pengelolaan lahan pertanian.

Perkembangan teknologi di bidang pertanian menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis mikrokontroler dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sistem ini umumnya memanfaatkan sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor) yang terintegrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino untuk mengontrol penyiraman secara otomatis sesuai dengan kondisi tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Kumar et al. menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan dibandingkan metode konvensional [1]. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian lain yang menyatakan bahwa sistem berbasis sensor mampu mengoptimalkan kondisi kelembaban tanah sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih optimal [2], [3].

Selain itu, penerapan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dalam sistem irigasi juga memungkinkan proses monitoring dan kontrol dilakukan secara real-time, sehingga meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengelolaan air [4], [5]. Studi lain menunjukkan bahwa penggunaan sistem irigasi otomatis dapat menghemat penggunaan air hingga 50–70% serta mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual [6], [7]. Tidak hanya itu, sistem ini juga terbukti mampu meningkatkan produktivitas hasil pertanian karena tanaman mendapatkan suplai air yang lebih tepat sesuai kebutuhannya [8].

Beberapa penelitian di Indonesia juga menunjukkan bahwa implementasi sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler relatif mudah diterapkan dan memiliki biaya yang terjangkau, sehingga sesuai untuk petani skala kecil hingga menengah [9], [10]. Dengan demikian, teknologi ini sangat relevan untuk diterapkan di Desa Balla yang memiliki karakteristik lahan pertanian yang luas serta keterbatasan tenaga kerja.

Berdasarkan permasalahan dan potensi yang ada, diperlukan suatu upaya untuk meningkatkan kapasitas petani dalam memanfaatkan teknologi modern guna

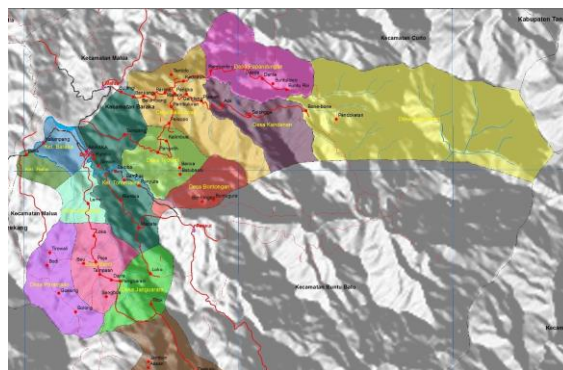
mendukung kegiatan pertanian mereka. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa pengenalan dan pendampingan aplikasi mikrokontroler pada sistem penyiraman kebun. Kegiatan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman teoritis sekaligus keterampilan praktis kepada petani dalam mengoperasikan dan merawat sistem penyiraman otomatis.

Melalui kegiatan pengabdian ini, diharapkan petani di Desa Balla, khususnya yang tergabung dalam Kelompok Tani “Berkah” dan “Remaja Balla”, mampu mengadopsi teknologi penyiraman otomatis secara mandiri. Dengan demikian, efisiensi penggunaan air dan tenaga kerja dapat ditingkatkan, produktivitas hasil pertanian menjadi lebih optimal, serta pada akhirnya dapat meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat setempat.

2. Metode Pelaksanaan

2.1. Nama dan lokasi mitra

Mitra dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini terdiri atas dua kelompok tani, yaitu Kelompok Tani “Berkah” dan Kelompok Tani “Remaja Balla”. Kedua kelompok mitra tersebut berlokasi di Desa Balla, Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan.



Gambar 1. Lokasi Desa Balla

Pemilihan mitra didasarkan pada kesesuaian karakteristik usaha, yaitu bergerak di bidang budidaya tanaman bawang serta memiliki permasalahan utama pada sistem penyiraman yang masih dilakukan secara konvensional. Selain itu, kedua kelompok tani ini memiliki potensi untuk dikembangkan melalui penerapan teknologi tepat guna, khususnya sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler.

2.2. Metode pengabdian

Metode pendekatan yang digunakan dalam kegiatan pengabdian ini adalah pendekatan partisipatif berbasis teknologi tepat guna (TTG), yang mengintegrasikan kegiatan edukasi, pelatihan,

implementasi, serta pendampingan secara berkelanjutan kepada mitra. Pendekatan ini dipilih agar masyarakat tidak hanya menjadi objek, tetapi juga subjek aktif dalam penerapan teknologi, sehingga mampu memahami, mengoperasikan, dan mengembangkan sistem yang diperkenalkan secara mandiri. Kegiatan ini dirancang dalam jangka waktu tiga tahun dengan tahapan yang berkesinambungan.

Secara operasional, kegiatan ini diawali dengan survei dan sosialisasi awal untuk mengidentifikasi kondisi eksisting, kebutuhan mitra, serta menentukan waktu pelaksanaan kegiatan yang tepat. Selanjutnya dilakukan persiapan alat dan bahan yang meliputi komponen sistem penyiraman otomatis seperti mikrokontroler, sensor kelembaban tanah, pompa air, sumber energi berupa panel surya dan baterai, serta peralatan pendukung instalasi. Setelah itu, dilakukan perakitan dan pengujian awal sistem sebelum dibawa ke lokasi mitra untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik. Kegiatan pelatihan kemudian dilaksanakan secara langsung di lokasi mitra selama kurang lebih 2–3 hari, yang mencakup penyampaian materi teoritis, demonstrasi sistem, serta praktik langsung pemasangan dan pengoperasian alat oleh peserta. Sistem yang telah dirakit kemudian diimplementasikan pada lahan pertanian sebagai percontohan untuk menunjukkan manfaat nyata dari teknologi yang diterapkan.

Selanjutnya, dilakukan evaluasi dan pemantauan secara berkala untuk mengukur tingkat keberhasilan program, baik dari aspek teknis maupun ekonomi, termasuk efisiensi penggunaan air, pengurangan tenaga kerja, serta peningkatan produktivitas tanaman. Evaluasi ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan sistem sebagai bahan perbaikan pada tahap selanjutnya. Seluruh rangkaian kegiatan kemudian didokumentasikan dalam bentuk laporan akhir yang memuat hasil pelaksanaan, analisis, serta rekomendasi pengembangan di masa mendatang. Selain itu, hasil kegiatan juga akan diseminasi melalui seminar atau publikasi ilmiah sebagai bentuk kontribusi akademik dan penyebarluasan teknologi kepada masyarakat yang lebih luas.

Dalam pelaksanaan kegiatan ini, mitra berpartisipasi aktif dalam berbagai tahapan, mulai dari koordinasi peserta pelatihan, penyediaan lokasi kegiatan dan lahan demonstrasi, hingga keterlibatan langsung dalam praktik instalasi dan pengoperasian sistem. Mitra juga berperan dalam memberikan informasi terkait permasalahan yang dihadapi di lapangan serta ikut serta dalam proses evaluasi kegiatan. Partisipasi aktif ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat adopsi teknologi serta menjamin keberlanjutan program pengabdian yang dilaksanakan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Persiapan pelaksanaan

Tahap persiapan pelaksanaan merupakan langkah awal yang sangat penting dalam menjamin keberhasilan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan ini diawali dengan sosialisasi dan survei lapangan yang dilakukan kepada mitra, yaitu Kelompok Tani “Berkah” dan “Remaja Balla”. Sosialisasi bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai program yang akan dilaksanakan, sekaligus membangun komunikasi dan komitmen antara tim pengabdian dan mitra. Sementara itu, survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting lahan pertanian, sumber air, serta sistem penyiraman yang selama ini digunakan oleh petani.



Gambar 2. Lokasi kebun tempat pengaplikasian alat

Berdasarkan hasil survei, diketahui bahwa sistem penyiraman yang digunakan masih bersifat konvensional, dengan mengandalkan pompa berbahan bakar serta distribusi air yang belum terkontrol secara optimal. Selain itu, lokasi kebun yang berada di daerah perbukitan menyebabkan distribusi air menjadi kurang efisien, sehingga diperlukan solusi teknologi yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut. Ketersediaan sumber air yang ditampung pada bak penampungan juga menjadi faktor penting dalam perancangan sistem, karena harus disesuaikan dengan kapasitas pompa dan kebutuhan air tanaman.



Gambar 3. Tempat penampungan air yang akan didistribusikan ke kebun

Selain kegiatan survei, dilakukan pula pertemuan dengan pemerintah daerah sebagai bentuk koordinasi dan dukungan terhadap pelaksanaan kegiatan. Pertemuan dengan Bupati Enrekang menjadi salah satu langkah strategis untuk memastikan bahwa kegiatan pengabdian ini sejalan dengan program pembangunan daerah, khususnya dalam peningkatan sektor pertanian berbasis teknologi. Dukungan dari pemerintah daerah diharapkan dapat memperkuat keberlanjutan program serta memperluas dampak kegiatan di masa mendatang.

Selanjutnya, dilakukan koordinasi intensif dengan pihak LPPM Universitas Hasanuddin terkait waktu pelaksanaan kegiatan. Hal ini dikarenakan kegiatan pengabdian ini merupakan bagian dari rangkaian kegiatan Dies Natalis Universitas Hasanuddin, sehingga pelaksanaannya perlu disinkronkan dengan agenda institusi. Koordinasi ini menjadi penting untuk memastikan keterlibatan berbagai pihak serta kelancaran pelaksanaan kegiatan secara keseluruhan.



Gambar 4. Pertemuan dengan Bupati Enrekang

Tahap persiapan juga mencakup penyediaan alat dan bahan yang akan digunakan dalam implementasi sistem. Berdasarkan kondisi lapangan, dipilih sistem berbasis energi terbarukan berupa panel surya sebagai sumber daya listrik untuk menggerakkan pompa air. Pemilihan panel surya didasarkan pada keterbatasan akses listrik di lokasi kebun serta kebutuhan akan sistem yang mandiri dan berkelanjutan. Selain itu, disiapkan pula komponen utama lainnya seperti pompa air listrik, mikrokontroler, sensor, serta peralatan instalasi pendukung. Tahap ini memastikan bahwa seluruh komponen telah siap digunakan sebelum kegiatan pelatihan dan implementasi dilakukan di lapangan.

3.2. Pelaksanaan kegiatan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian dilaksanakan selama dua hari dan terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu penyampaian materi (teoritis) dan demonstrasi langsung (praktik lapangan).



Gambar 5. Sosialisasi kegiatan ke masyarakat Desa Balla

Pada hari pertama, kegiatan difokuskan pada pemberian materi dan diskusi yang dilaksanakan di kantor kelurahan dan dibuka secara resmi oleh Lurah Desa Balla. Materi yang disampaikan meliputi pengenalan sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler, prinsip kerja sistem, serta manfaat penerapan teknologi dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Selain itu, dilakukan diskusi interaktif dengan peserta untuk menggali permasalahan yang dihadapi petani serta memberikan solusi yang sesuai dengan kondisi lapangan. Antusiasme peserta terlihat dari tingginya partisipasi dalam sesi tanya jawab, yang menunjukkan adanya kebutuhan dan ketertarikan terhadap teknologi yang diperkenalkan.

Pada hari kedua, kegiatan dilanjutkan dengan demonstrasi langsung pemasangan dan pengoperasian sistem penyiraman otomatis di salah satu kebun milik petani mitra. Kegiatan ini diawali dengan penyiapan alat dan bahan oleh tim pengabdian, yang kemudian dilanjutkan dengan proses instalasi sistem yang melibatkan partisipasi aktif masyarakat. Keterlibatan langsung petani dalam proses pemasangan bertujuan untuk meningkatkan pemahaman teknis serta membangun rasa memiliki terhadap teknologi yang diterapkan.

Setelah proses instalasi selesai, dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui kinerja pompa air dalam mendistribusikan air ke lahan pertanian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja dengan baik, di mana pompa air listrik yang didukung oleh panel surya dapat menyalurkan air dengan tekanan yang cukup untuk menjangkau area kebun. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang diterapkan telah sesuai dengan kebutuhan lapangan dan mampu menjadi alternatif solusi terhadap keterbatasan sistem penyiraman konvensional.

Dari sisi respon masyarakat, kegiatan ini mendapatkan tanggapan yang sangat positif. Petani menunjukkan ketertarikan terhadap penggunaan sistem penyiraman otomatis karena dinilai mampu menghemat waktu dan tenaga kerja. Selain itu, masyarakat juga melihat potensi pemanfaatan

teknologi ini tidak hanya untuk keperluan pertanian, tetapi juga untuk kebutuhan domestik seperti pemompaan air di rumah tangga. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi yang diperkenalkan memiliki fleksibilitas dan potensi pengembangan yang cukup besar.

Secara keseluruhan, pelaksanaan kegiatan ini tidak hanya berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam penggunaan teknologi, tetapi juga membuka wawasan masyarakat terhadap pentingnya inovasi dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha pertanian. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi beban kerja, serta meningkatkan hasil produksi pertanian.



Gambar 6. Foto bersama masyarakat Desa Balla

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Desa Balla, Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler yang didukung oleh sistem energi surya (photovoltaic) merupakan solusi yang tepat untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air pada lahan pertanian, khususnya pada kondisi wilayah perbukitan dengan keterbatasan akses energi listrik.

Kegiatan pelatihan dan pendampingan yang dilaksanakan selama dua hari, telah berjalan dengan baik melalui dua tahapan utama, yaitu penyampaian materi dan diskusi pada hari pertama serta demonstrasi dan implementasi langsung sistem pada hari kedua. Melalui kegiatan ini, mitra tidak hanya memperoleh pemahaman teoritis mengenai sistem penyiraman otomatis, tetapi juga mendapatkan pengalaman praktis dalam proses instalasi dan pengoperasian sistem berbasis Arduino yang terintegrasi dengan pompa air dan panel surya.

Hasil demonstrasi menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja secara efektif dalam mendistribusikan air ke lahan pertanian dengan tekanan yang memadai, sehingga dapat menjadi

alternatif solusi terhadap keterbatasan sistem penyiraman konvensional yang selama ini digunakan oleh petani. Selain itu, respon masyarakat terhadap teknologi yang diperkenalkan sangat positif, yang ditunjukkan dengan tingginya antusiasme dalam mengikuti kegiatan serta adanya ketertarikan untuk mengadopsi dan mengembangkan sistem tersebut secara lebih luas.

Secara umum, kegiatan ini telah berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam pemanfaatan teknologi tepat guna di bidang pertanian. Implementasi sistem penyiraman otomatis ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penggunaan air dan tenaga kerja, serta dalam jangka panjang mampu meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan ekonomi masyarakat petani di Desa Balla. Adapun luaran yang dihasilkan dari kegiatan ini berupa publikasi pada media massa dan jurnal nasional sebagai bentuk diseminasi hasil pengabdian kepada masyarakat.

Referensi

- [1] A. Kumar and H. Rajagopal, "Automated Seeding and Irrigation System using Arduino," *J. Robot. Netw. Artif. Life*, vol. 8, no. 4, pp. 259–262, 2022, doi: 10.2991/jmal.k.211108.006.
- [2] E. S. Rahayu and C. W. Hidayat, "Desain Sistem Penyiraman Tanaman Tomat Berbasis Suhu dan Kelembaban menggunakan Fuzzy dan IoT," *J. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 3, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i3.003.
- [3] M. Shaikh, T. Bhangare, S. Chavan, S. Bhosale, and D. Sawant, "Smart Irrigation Using Soil Moisture Sensor," in *4th International Conference on Communication & Information Processing (ICCIP)*, 2022, pp. 1–8. doi: 10.2139/ssrn.4297134.
- [4] U. R. B. P., K. N. A. Sattar, and A. A. Elngar, "A Smart Irrigation System Using the IoT and Advanced Machine Learning Model," *J. Smart Internet Things*, vol. 2024, no. 2, pp. 13–25, 2024, doi: 10.2478/jsiot-2024-0009.
- [5] M. R. Ramadhan, A. Zainuddin, and D. Susanto, "Design and Implementation of Smart Irrigation System Using ESP32," *J. Electron. Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 123–130, 2022.
- [6] P. Pandey and S. Agarwal, "A Low Cost Smart Irrigation Planning Based on Machine Learning and Internet of Things," 2023. doi: 10.2139/ssrn.4414709.
- [7] H. Wardhan, O. P. Yadav, A. Pandey, F. Siddiqui, and A. Srivastava, "A Comparative Study of Traditional Irrigation Techniques and an Arduino-Based Automated Water Sprinkler System," in *Proceedings of the 7th International Conference on Computing Sciences (ICCS 2023)*, 10.2139/ssrn.4483746, 2023, pp. 1–6. doi: 10.2139/ssrn.4483746.
- [8] R. K. Singh, A. Verma, and P. Sharma, "Smart Irrigation System for Agricultural Productivity Enhancement Using IoT," *Int. J. New Technol. Innov.*, vol. 3, no. 2, pp. 15–22, 2021.
- [9] R. Saputra, A. Trisanto, and S. R. Sulistiyanti, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Arduino," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 87–94, 2019.
- [10] K. Kansara, V. Zaveri, S. Shah, S. Delwadkar, and K. Jani, "Automatic Irrigation System Using Arduino," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 4, no. 10, pp. 199–202, 2015.