

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,

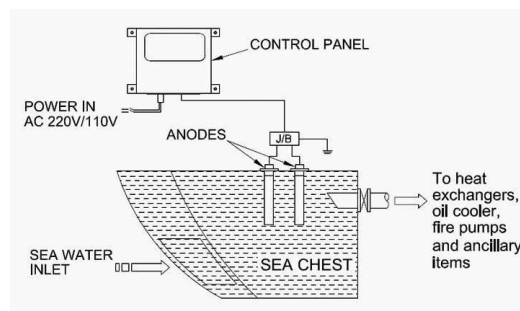
menghemat biaya pemeliharaan dengan umur pakai yang lebih lama. Adapun komponen – komponen yang digunakan yaitu *power control panel*, *Junction Box*, *Anodes assembly* atau *Electrode cell*, *Pump*, *pipe*, dan *Electrolytic Cell* [3].

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
6	Pengangkatan alat tangkap	Korosi Usia komponen 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 pengoprasian	Pengaturan yang salah dalam sistem.	Kurangnya keterampilan operator.	Kehilangan fungsi perlindungan korosi.	4.8	2.8	5.0	67.3
8	Gerataran 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. Tantomo, 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.