

# Analisis Kinerja Operasional Mesin Utama Kapal Menggunakan Penerapan *Overall Equipment Effectiveness*

Al Fillah Ilham\*<sup>1</sup>, M. Rusydi Alwi<sup>1</sup>, Syerly Klara<sup>1</sup> and Surya Hariyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km. 6, Kecamatan Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171, Indonesia  
Email: alfillahilham0206@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.112024.04

## Abstrak

Pada setiap kapal terutama kapal ferry menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utamanya. Mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi didalam mesin itu sendiri (*internal combustion engine*). Mesin utama kapal tersebut akan mengalami penurunan kinerja berjalan usia dan lama beroperasi. Ada banyak hal yang menyebabkan kegagalan mesin utama salah satunya yaitu kurangnya perawatan dan penggunaan komponen penunjang yang salah seperti penggunaan bahan bakar atau *coolant* yang tidak direkomendasikan untuk mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa mesin yang dipakai selama operasional dengan menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) serta menganalisa penyebab kegagalan mesin utama kapal dengan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA), dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan efektivitas mesin utama kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai OEE selama 3 tahun terakhir yaitu 70,76%, keterkaitan antara *Six Big Losses* dan OEE, di mana semakin tinggi nilai OEE, semakin rendah nilai *Six Big Losses*, dan sebaliknya. Pada mesin utama KMP. Balibo *performance ratio* yang belum sesuai dengan standar. Hal ini terkait dengan tingginya tingkat losses, khususnya *Breakdown Losses* serta memiliki dampak besar pada *availibility ratio*.

## Abstract

*Operational Performance Analysis of Ship Main Engine Using the Application of Overall Equipment Effectiveness (OEE)* Diesel engines are widely used as the primary propulsion system on ships, particularly ferries. A diesel engine is an internal combustion engine in which the combustion process takes place inside the engine itself. Over time and with prolonged operation, the performance of a ship's main engine tends to decline. Several factors contribute to main engine failure, including inadequate maintenance and the use of non-recommended supporting components, such as unsuitable fuel or coolant. This study aims to evaluate the operational performance of the engine using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) method, identify the root causes of main engine failure through Root Cause Analysis (RCA), and propose recommendations to improve the effectiveness of the main engine. The results show that the average OEE value over the past three years is 70.76%. A strong correlation was found between Six Big Losses and OEE: the higher the OEE, the lower the Six Big Losses, and vice versa. In the case of the main engine of KMP. Balibo, the performance ratio did not meet the standard, largely due to high levels of Breakdown Losses, which significantly affected the availability ratio.

**Kata Kunci:** Performance, operation, main engine, OEE, RCA

## 1. Pendahuluan

Kapal Ferry bagaikan jembatan penghubung mengantarkan roda ekonomi dan pembangunan di daerah-daerah terpencil. Di mana jalur darat tak mampu menjangkau sehingga kapal Ferry memberi akses, menghubungkan antar pulau, antar kota, dan bahkan antar provinsi. Perannya tak tergantikan bagi masyarakat di daerah terpencil, kapal Ferry menjadi transportasi laut yang membantu mengangkut penumpang dan kendaraan [1]. Pada setiap kapal terutama kapal ferry menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utamanya. Mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi didalam mesin itu sendiri (*internal combustion*

*engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan / dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran [2].

Mesin utama kapal tersebut akan mengalami penurunan kinerja berjalan usia dan lama beroperasi [3]. Ada banyak hal yang menyebabkan kegagalan mesin utama salah satunya yaitu kurangnya perawatan dan penggunaan komponen penunjang yang salah seperti penggunaan bahan bakar atau *coolant* yang tidak direkomendasikan untuk mesin [4]. Dan apabila kejadian ini terjadi saat kapal sedang beroperasi maka akan sangat berpengaruh dalam

keselamatan dan operasional kapal. Objek penelitian yaitu Kapal KMP Balibo yang dikelola oleh PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar. Dalam pengoperasiannya, KMP Balibo berlayar di rute Bira – Pamatata. KMP. Balibo telah beroperasi di trayek Bira-Pamatata sejak tahun 2018. Sejak beroperasi KMP. Balibo diberitakan beberapa kali mengalami kerusakan. Seperti pada tanggal 12 September 2023 oli tercampur dengan air tawar, dan 19 Mei 2024 *bushing chamber injector* mengalami kebocoran sehingga performa mesin tidak berjalan normal.

Pentingnya peran dan fungsi masing-masing mesin utama maka perlu dilakukan upaya untuk kinerja mesin utama kapal serta melihat adanya faktor yang menyebabkan penurunan kinerja pada mesin utama pada kapal tersebut maka diperlukan suatu analisis untuk menentukan solusi apa yang perlu dilakukan perbaikan kualitas pada kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa mesin yang dipakai selama operasional dengan menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), sebuah metrik yang dikembangkan dari *Total Productive Maintenance* (TPM) oleh Seiichi Nakajima di tahun 1971 [5]. Serta menganalisa penyebab kegagalan mesin utama kapal dengan menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA), dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan efektivitas mesin utama kapal. Untuk meningkatkan efektivitas kinerja mesin utama kapal saat mengalami penurunan kinerja, diperlukan pengetahuan, keterampilan dan kemampuan awak kapal dalam mengidentifikasi masalah. Dengan mengidentifikasi penyebab kegagalan mesin, awak kapal dapat melakukan tindakan perawatan yang diperlukan.

Kapal Ro-Ro (*Roll-on/Roll-off*) merupakan kategori kapal yang difungsikan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan. Keunikan kapal ini terletak pada sistem muatannya, di mana kendaraan dapat langsung masuk dan keluar kapal dengan penggerakannya sendiri, tanpa memerlukan alat bantu tambahan. Hal ini menjadikan kapal Ro-Ro bagaikan jembatan yang bergerak. Kapal ini memiliki berbagai kegunaan, di antaranya sebagai kapal penumpang, kapal pesiar, dan kapal wisata. Ukuran kapal Ro-Ro biasanya menggunakan satuan *Gross Tonnage* (GT) dan *Lane Meter* (LM) [6]. Kinerja atau performa mesin

merupakan faktor terpenting yang sebenarnya membantu perusahaan melayani pasar dengan permintaan tinggi. Fungsionalitas mesin dapat menurun seiring bertambahnya usia mesin. Ini juga dapat digunakan oleh karyawan yang kurang berpengalaman [7]. Penggerak utama dari kapal adalah mesin diesel. Mesin diesel terbagi menjadi dua kelas yaitu dua-stroke dan empat-stroke. Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam yang berbeda dari motor bensin yang cara penyalanya tidak melalui percikan api listrik. Sebaliknya, bahan bakar disemprotkan ke udara yang telah dipadatkan dan dipanaskan secara intens, sebagai hasil dari tahapan kompresi dalam prosesnya [8].

Komponen-komponen dalam mesin utama kapal atau mesin diesel yaitu, *Cylinder Head, cylinder block, valve gear, rocker arm, cmashaft, piston & connecting rod, cylinder liner, crankshaft, push rod & tappet, injector, turbocharger*. Adapun sistem pendukung pada mesin utama kapal atau mesin diesel yaitu sistem bahan bakar, sistem pelumas dan sistem pendingin. *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) berperan dalam mengatasi dan meminimalisir gangguan produksi seperti downtime mesin. Ketailan metodenya, dengan indikator ketersediaan waktu, kinerja mesin, kualitas produk, dan identifikasi kerugian melalui six big losses, menjadikannya alat yang tepat untuk meningkatkan efisiensi. Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) didasarkan pada tiga faktor utama: *Availability Ratio, Performance Ratio, dan Quality Ratio* [9]. *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dihitung dengan mengalikan kerugian "six big losses" pada mesin atau peralatan.

Keenam faktor dalam "six big losses" ini dikelompokkan menjadi tiga komponen utama *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mengukur kinerja mesin, yaitu kerugian waktu henti (downtime losses), kerugian kecepatan (speed losses), dan kerugian cacat (*defect losses*). Nilai OEE yang diharapkan untuk mesin adalah 85%, menunjukkan bahwa kinerja mesin cukup efektif dan memenuhi standar produksi kelas dunia [10]. *Root Cause Analysis* (RCA) adalah metode yang ampuh untuk mengidentifikasi dan mengatasi akar permasalahan dalam operasi dan fungsi suatu sistem. Tujuan utama RCA adalah untuk menemukan penyebab utama suatu masalah atau kejadian, mencegah masalah yang

sama terulang kembali di masa depan dan meningkatkan keandalan dan keamanan sistem.

## 2. Metodologi

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui studi lapangan dan observasi, dengan cara melakukan wawancara langsung dengan awak kapal yang bertanggung jawab atas pemeliharaan mesin utama serta melakukan dokumentasi. Selain itu, observasi dilakukan untuk mendapatkan dokumen yang berhubungan dengan mesin utama kapal. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mendalam terkait permasalahan yang dihadapi dalam kinerja mesin utama kapal yang dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan yaitu data operasional KMP. Balibo selama 3 tahun terakhir mulai dari Juli 2021 – Juli 2024.



Gambar 1. Mesin Utama KMP. Balibo

Data berikut yang dijabarkan pada Tabel 1, merupakan data yang didapatkan dari dokumen yang dibuat oleh kru Engine Department kapal KMP. Balibo. Data ini terdapat di engine logbook dan laporan kondisi mesin. Data berikut berdasarkan data 3 tahun terakhir dari operasional KMP. Balibo. Adapun data-data yang didapat setelah melakukan observasi langsung di KMP. Balibo sebagai berikut :

Tabel 1. Data Operasional Mesin Utama Kapal KMP. Balibo

Tahun	Data			
	Bulan	Hari Beroperasi	Trip	Running Hours (Jam)
2024	Juli	30	81	243
	Juni	25	84	252
	Mei	23	62	197
	April	30	89	267
	Maret	10	21	63
	Februari	15	34	102
	Januari	21	59	177
2023	Desember	26	64	192
	November	24	68	170
	Oktober	23	63	189

2022	September	26	73	182,5
	Agustus	27	70	210
	Juli	31	91	227
	Juni	30	80	200
	Mei	24	73	182,5
	April	24	73	182,5
	Maret	3	8	35
	Februari	15	46	138
	Januari	16	49	122
	Desember	15	44	110
	November	20	60	180
	Oktober	12	36	144,7
2021	September	10	28	132,86
	Agustus	15	44	174,54
	Juli	16	50	267
	Juni	12	36	178
	Mei	5	14	70
	April	24	71	289
	Maret	20	61	354
	Februari	18	54	397
	Januari	6	19	184
	Desember	15	45	348
	November	22	65	480
	Oktober	21	63	463
September	13	40	335	
Agustus	18	55	404	
Juli	19	58	454	
<b>Jumlah</b>	<b>704</b>	<b>2031</b>	<b>8296,6</b>	

Data pada Tabel 2 didapatkan dari proses wawancara dan observasi langsung bersama Masinis II KMP. Balibo. Selain itu, engine logbook serta catatan pekerjaan dari Masinis II menjadi acuan dari penyebab penurunan kinerja atau penyebab kegagalan mesin utama kapal ini.

Tabel 2. Data Penyebab Penurunan Kinerja Mesin

No	Kategori Permasalahan
1	Kerusakan Komponen Mesin
2	Kesalahan Perawatan
3	Overheating Mesin
4	Pengoperasian yang tidak tepat
5	Konsumsi bahan bakar tidak stabil
6	Sirkulasi udara kamar mesin tidak baik
7	Kondisi Cuaca

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* KMP Balibo

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan terutama dengan merekapitulasi data historis perusahaan atau kapal dari periode Juli 2021 - Juli 2024. Objek penelitian ini adalah mesin utama kapal KMP. Balibo yang digunakan sebagai penggerak utama kapal. Beberapa jenis data yang diperlukan dalam penelitian ini

meliputi *Available Time, Planned Downtime, Loading Time, Total Downtime (Six Big Losses), Output, dan Ideal Cycle Time*. Informasi terkait total jam kerja atau *running hours* mesin utama kapal dan rencana produksi diperoleh dari data *Engine Logbook KMP*. Balibo yang dibuat oleh KKM (Kepala Kamar Mesin) atau kru yang bertugas di Kamar Mesin. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai dari *overall equipment effectiveness*:

**Tabel 2. Nilai Overall Equipment Effectiveness**

Tahun	Bulan	Availibilty (%)	Performace (%)	Quality (%)	OEE (%)
2024	Juli	77,87%	83%	89%	58%
	Juni	79,21%	83%	89%	59%
	Mei	79,47%	79%	89%	55%
	April	78,50%	83%	99%	65%
	Maret	75,58%	83%	57%	36%
	Februar i	76,39%	83%	68%	43%
	Januari	78,15%	83%	93%	61%
	Desem ber	77,14%	83%	78%	50%
	Novem ber	72,13%	100%	94%	68%
	Oktobe r	77,97%	83%	90%	59%
	Septem ber	72,03%	100%	93%	67%
	2023	Agustu s	77,56%	83%	84%
Juli		72,42%	100%	98%	71%
Juni		71,43%	100%	88%	63%
Mei		72,86%	100%	99%	72%
April		72,86%	100%	99%	72%
Maret		86,21%	57%	88%	43%
Februar i		78,70%	83%	98%	64%
Januari		72,78%	100%	98%	72%
Desem ber		72,50%	100%	98%	71%
Novem ber		78,57%	100%	100 %	79%
Oktobe r		85,09%	75%	100 %	64%
Septem ber		87,60%	99%	93%	81%
2022	Agustu s	84,78%	98%	98%	81%
	Juli	89,36%	93%	100 %	83%
	Juni	88,31%	100%	100 %	88%
	Mei	88,33%	100%	93%	82%
	April	85,27%	98%	99%	83%
	Maret	90,29%	100%	98%	89%

2021	Februar i	92,52%	100%	98%	91%
	Januari	94,48%	76%	95%	68%
	Desem ber	92,92%	95%	100 %	88%
	Novem ber	92,55%	100%	98%	91%
	Oktobe r	92,52%	100%	100 %	93%
	Septem ber	93,53%	88%	98%	80%
	Agustu s	92,53%	100%	98%	91%
	Juli	93,03%	94%	98%	86%
	<b>Jumlah</b>	<b>82,26%</b>	<b>91,50%</b>	<b>93,33 %</b>	<b>70,76 %</b>

Berdasarkan perhitungan *overall equipment effectiveness*, nilainya dibawah standar dari nilai *overall equipment effectiveness* secara umum yaitu 85%. Nilainya mengalami penurunan setiap tahun yang mana pada tahun 2021 nilainya sebesar 88%, 2022 sebesar 80%, 2023 sebesar 63% kemudian pada tahun 2024 sebesar 54%. Berikut tabel dari rata-rata nilai *quality ratio* selama periode 2024-2021.

**Tabel 3. Rata-rata Overall Equipment Effectiveness (Periode 2024-2021)**

Tahun	Nilai
2024	54%
2023	63%
2022	80%
2021	88%

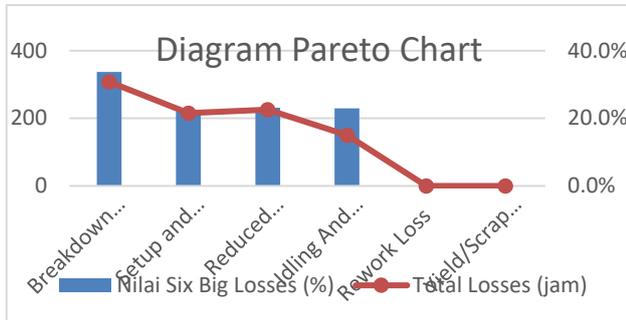
Nilai *Overall Equipment Effectiveness* Mesin Utama KMP. Balibo periode 2024-2021 ini mengalami penurunan. Sehingga perlu dianalisis apa penyebab penurunan dari nilainya. Oleh karena itu, analisis *six big losses* ini perlu dilakukan untuk mengetahui apa yang menyebabkan kerugian dan penurunan kinerja operasional mesin utama KMP. Balibo.

### 3.2 Perhitungan Six BIG Losses Analysis

**Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hari ke-7**

Six Big Losses	Total Jam	Nilai Six Big Losses
<b>Breakdown Losses</b>	308	33,8%
<b>Setup and Adjustment Losses</b>	215	22,1%

<b>Idling And Minor Stoppage</b>	226	23%
<b>Reduced Speed Losses</b>	150	23%
<b>Rework Loss</b>	0	0%
<b>Yield/Scrap Loss</b>	0	0%

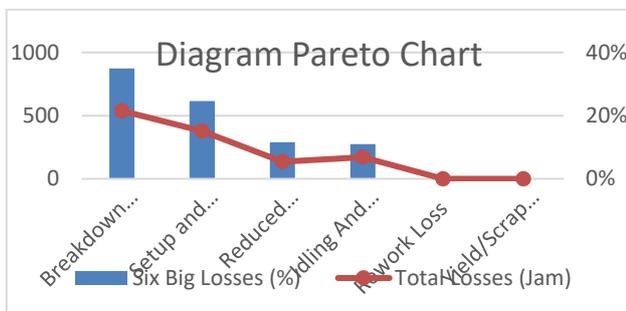


Gambar 1. Diagram Pareto Chart Six Big Losses 2024

Berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 32. Diagram pareto diatas, dapat disimpulkan bahwa faktor *losses* yang paling tinggi dalam mesin utama KMP. Balibo adalah *Breakdown Losses* dengan nilai persentase sebesar 33,8% dan waktu *losses* sebesar 308 Jam.

- Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2023  
Tabel 5 Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2023

Six Big Losses	Total Jam	Nilai Six Big Losses
<b>Breakdown Losses</b>	538	35%
<b>Setup and Adjustment Losses</b>	379	25%
<b>Idling And Minor Stoppage</b>	135,5	12%
<b>Reduced Speed Losses</b>	171	11%
<b>Rework Loss</b>	0	0%
<b>Yield/Scrap Loss</b>	0	0%



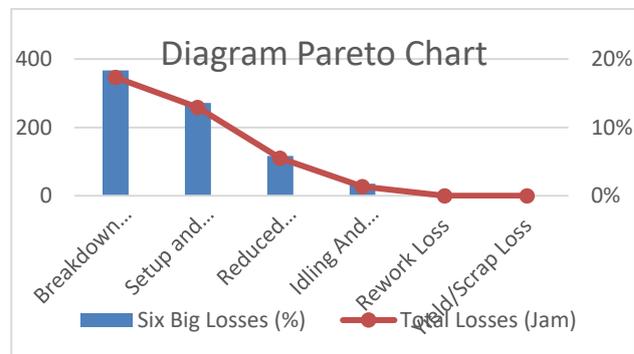
Gambar 2. Diagram Pareto Chart Six Big Losses 2023

Berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 33. Diagram pareto diatas, dapat disimpulkan bahwa faktor *losses* yang paling tinggi dalam mesin utama KMP. Balibo adalah

*Breakdown Losses* dengan nilai persentase sebesar 35% dan waktu *losses* sebesar 538 Jam.

- Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2022  
Tabel 6 Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2022

Six Big Losses	Total Jam	Nilai Six Big Losses
<b>Breakdown Losses</b>	346	18%
<b>Setup and Adjustment Losses</b>	258,5	14%
<b>Idling And Minor Stoppage</b>	109,98	6%
<b>Reduced Speed Losses</b>	27	2%
<b>Rework Loss</b>	0	0%
<b>Yield/Scrap Loss</b>	0	0%



Gambar 3 Diagram Pareto Chart Six Big Losses 2022

Berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 34. Diagram pareto diatas, dapat disimpulkan bahwa faktor *losses* yang paling tinggi dalam mesin utama KMP. Balibo adalah *Breakdown Losses* dengan nilai persentase sebesar 18% dan waktu *losses* sebesar 346 Jam.

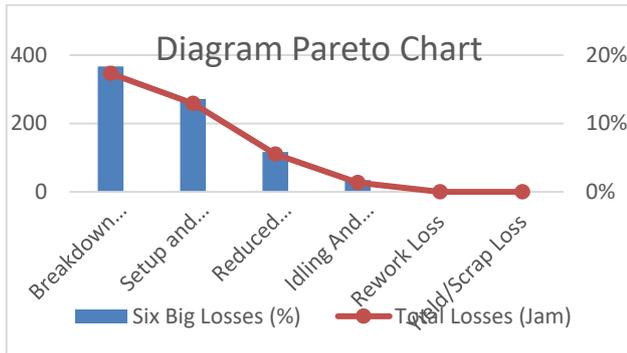
- a) Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2021

Tabel 8. Rata-rata *Six Big Losses* Tahun 2021

Six Big Losses	Total Jam	Nilai Six Big Losses
<b>Breakdown Losses</b>	216	9%
<b>Setup and Adjustment Losses</b>	163	7%
<b>Idling And Minor Stoppage</b>	84,64	7%
<b>Reduced Speed Losses</b>	12	1%
<b>Rework Loss</b>	0	0%
<b>Yield/Scrap Loss</b>	0	0%

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 35. Diagram pareto diatas, dapat disimpulkan bahwa faktor *losses* yang paling

tinggi dalam mesin utama KMP. Balibo adalah *Breakdown Losses* dengan nilai persentase sebesar 9% dan waktu *losses* sebesar 216 Jam.



Gambar 4 Diagram Pareto Chart Six Big Losses 2021

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai OEE mencapai 70,76% selama 3 tahun terakhir dimana nilai OEE pada tahun 2021 sebesar 88%, 2022 sebesar 80%, 2023 sebesar 63% dan 2024 sebesar 54%, yang belum memenuhi standar OEE kelas dunia sebesar 85%. Keterkaitan antara *Six Big Losses* dan OEE, di mana semakin tinggi nilai OEE, semakin rendah nilai *Six Big Losses*, dan sebaliknya, semakin rendah nilai OEE, semakin tinggi nilai *Six Big Losses*. Pada mesin utama KMP. Balibo, standar belum terpenuhi, terutama karena performance ratio yang belum sesuai dengan standar. Hal ini terkait dengan tingginya tingkat *losses*, khususnya *Breakdown Losses*, yang termasuk dalam *availibility* dan memiliki dampak besar pada *availibility ratio*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi penyebab *losses* tersebut sebagai dasar untuk merumuskan rekomendasi perbaikan guna meningkatkan efektivitas mesin utama KMP. Balibo.

3.3 Analisis Penyebab *Losses (Breakdown Losses) Pada Availibility Ratio*

Mengidentifikasi penyebab rendahnya *Availibility Ratio (Breakdown Losses)* Operasional mesin utama kapal KMP. Balibo dengan menggunakan metode root cause analysis (RCA).

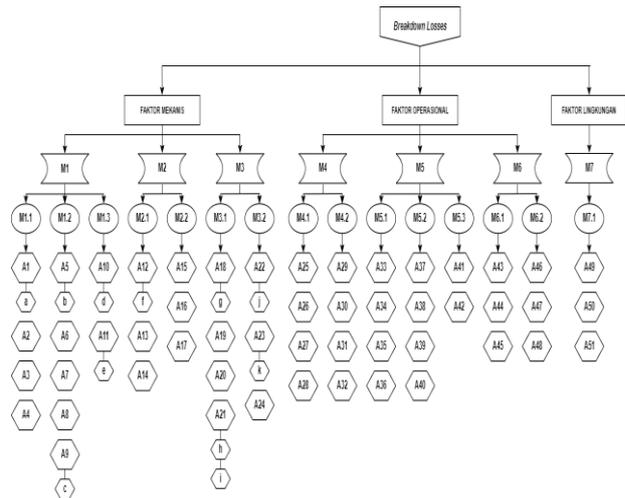
Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan Kepala Kamar Mesin dan Masinis 1 dan 2 di KMP. Balibo ada beberapa faktor yang menyebabkan rendahnya performance ratio sebagai berikut :

a. Faktor Mekanis, faktor mekanis berkaitan langsung dengan kondisi fisik dan teknis

komponen mesin. Kerusakan atau ketidaksempurnaan pada komponen mekanis bisa sangat mempengaruhi kinerja mesin.

b. Faktor Operasional, faktor operasional terkait dengan bagaimana mesin dioperasikan dan kondisi di mana mesin tersebut digunakan.

Faktor Lingkungan, faktor lingkungan adalah faktor yang berkaitan dengan kesalahan atau kekurangan manusia yang dapat mempengaruhi suatu kegagalan.



Gambar 5. Root Cause Map

Untuk mengetahui kode permasalahan pada gambar 36 pada diagram *root cause map* penyebab *idling and minor stoppage* mesin utama kapal tugboat dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Kode diagram untuk penyebab penurunan kinerja mesin

Kode Penyebab	Kategori akar penyebab, dekat akar penyebab, dan akar penyebab
M1.1	Fuel Injection Valve ME rusak/buntu
M1.2	Cylinder Head Retak
M1.3	Kurangnya pendinginan pada mesin
M2.1	Peralatan / Equipment
M2.2	Faktor Crew / Human
M3.1	Kurangnya tekanan air laut untuk mendinginkan mesin
M3.2	General Service Pump tidak berfungsi
M4.1	Overload Mesin
M4.2	Kondisi Mesin
M5.1	Filter Bahan Bakar tersumbat (kotor)
M5.2	Injection Pump terjadi kerusakan
M5.3	Pipa Bahan Bakar rusak
M6.1	Blower Kamar Mesin Tidak Maksimal

<b>M6.2</b>	Kondisi kamar mesin
<b>M7.1</b>	Berombak
<b>A1</b>	Pengabutan nozzle tidak maksimal
<b>A2</b>	Turbocharger tidak terpasang dengan baik
<b>A3</b>	Terdapat kelembapan minyak pada intercooler
<b>A4</b>	Setelan Valve in dan out tidak baik dan longgar
<b>A5</b>	push rod mengalami patah
<b>A6</b>	Kurang maksimalnya sistem pendinginan mesin
<b>A7</b>	Umur pemakaian cylinder head sudah lama
<b>A8</b>	Kurang sempurnanya proses pengabutan bahan bakar
<b>A9</b>	pelumasan di piston dan liner kurang
<b>A10</b>	putaran padaa impeller tidak normal
<b>A11</b>	Tidak adanya daya hisap untuk pendinginan Mesin
<b>A12</b>	Alat perawatan terbatas dan terjadi kerusakan
<b>A13</b>	Komponen mesin / spare parts sudah termakan usia akibat operasional
<b>A14</b>	Keterlambatan penggantian suku cadang
<b>A15</b>	Kondisi kesehatan kru akibat kondisi operasional yang tidak menentu
<b>A16</b>	Terlambat menyadari perubahan kecil yang signifikan terhadap kerusakan mesin
<b>A17</b>	Beban kerja yang tinggi
<b>A18</b>	Plunger dan Tappet tidak normal
<b>A19</b>	Kotoran Dan Penyumbatan pada pompa
<b>A20</b>	Tappet pada injection pump No. 4 Lecet
<b>A21</b>	Chamber / Bushing pada cylinder Head No. 1 bocor atau retak hingga menimbulkan rembesan air
<b>A22</b>	Chasing pada GS Pump mengalami korosi
<b>A23</b>	Terjadi kekocakan pada bearing pompa dan mechanical seal bocor
<b>A24</b>	Umur pemakaian impeller yang sudah lama
<b>A25</b>	Jadwal Kerja Mesin tidak sesuai dengan kapasitas
<b>A26</b>	Mesin dipaksa bekerja melebihi batas kemampuan
<b>A27</b>	Kebutuhan operasional lebih tinggi dari kemampuan mesin
<b>A28</b>	kecepatan kapal yang terganggu akibat kondisi ombak
<b>A29</b>	Pemeliharaan yang tidak memadai
<b>A30</b>	Kerusakan Komponen mesin yang tidak terdeteksi
<b>A31</b>	Jadwal pemeliharaan yang tidak konsisten
<b>A32</b>	Manual book yang sudah hilang
<b>A33</b>	Kotoran dari tangki bahan bakar

<b>A34</b>	Suhu operasi yang tinggi
<b>A35</b>	Filter mengalami kerusakan
<b>A36</b>	Usia Pakai
<b>A37</b>	Bahan bakar terkontaminasi air atau oil
<b>A38</b>	Rack bahan bakar rusak
<b>A39</b>	kotoran yang menghambat pompa
<b>A40</b>	Usia Pakai
<b>A41</b>	Korosi / Karat
<b>A42</b>	Kebocoran akibat packing yang rusak
<b>A43</b>	Motor Blower rusak
<b>A44</b>	Filter udara kotor
<b>A45</b>	Usia Blower yang sudah tua
<b>A46</b>	Adanya komponen/ kotoran yang menghalangi ventilasi
<b>A47</b>	Overheating main engine
<b>A48</b>	Kurangnya perawatan pada ventilasi kamar mesin
<b>A49</b>	Kecepatan Angin
<b>A50</b>	Pasang surut air laut
<b>A51</b>	Arus Laut
<b>a</b>	Rembesan minyak di stust cylinder No.2 ME
<b>b</b>	Rocker arm pada cylinder head No. 5 tidak terpasang dengan baik
<b>c</b>	Jet Nozzle Oil Tersumbat
<b>d</b>	Impeller tidak terpasang dengan baik
<b>e</b>	As Gear pada Cooling pump patah akibat usia pakai
<b>f</b>	Kerusakan akibat usia pakai
<b>g</b>	Kurang maksimal akibat usia pakai
<b>h</b>	akibat usia pakai
<b>i</b>	Jet nozzle oil tersumbat
<b>j</b>	akibat usia pakai
<b>k</b>	akibat usia pakai

### 3.4 Upaya Untuk Mencegah Penurunan Kinerja Pada Mesin Utama Kapal KMP. Balibo

Setelah mengidentifikasi penyebab dari penerunan kinerja mesin utama kapal menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*), berikut ini dijelaskan langkah-langkah yang perlu diambil untuk mencegah terjadinya hal-hal yang telah diidentifikasi menggunakan metode *5W+1H analysis* seperti yang ditampilkan pada Tabel dibawah.

Berdasarkan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) mesin utama kapal KMP. Balibo Merk Nigata Type 6 NSD – M4 TAK untuk periode 2024-2021. Terlihat bahwa rata-rata nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) selama 3 Tahun terakhir sekitar 70,76% dimana nilai OEE pada tahun 2021 sebesar 88%, 2022 sebesar 80%, 2023 sebesar 63% dan 2024

sebesar 54%, yang belum memenuhi standar OEE sebesar 85%. Ini mengindikasikan bahwa KMP. Balibo mengoperasikan mesinnya belum efektif karena nilainya sebesar 70,76% dalam periode tersebut.

<p>Faktor</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel Injection Valve ME rusak/buntu</li> <li>• Cylinder Head Retak</li> <li>• Kurangnya pendinginan pada mesin</li> <li>• Peralatan / Equipment</li> <li>• Faktor Crew / Human</li> <li>• Kurangnya tekanan air laut untuk mendinginkan mesin</li> <li>• General Service Pump tidak berfungsi</li> <li>• Overload Mesin</li> <li>• Kondisi Mesin</li> <li>• Filter Bahan Bakar tersumbat (kotor)</li> <li>• Injection Pump terjadi kerusakan</li> <li>• Pipa Bahan Bakar rusak</li> <li>• Blower Kamar Mesin Tidak Maksimal</li> <li>• Kondisi kamar mesin Berombak</li> </ul>
<p>Penyebab Dominan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengabutan nozzle tidak maksimal</li> <li>• Turbocharger tidak terpasang dengan baik</li> <li>• Terdapat kelembapan minyak pada intercooler</li> <li>• Setelan Valve in dan out tidak baik dan longgar</li> <li>• push rod mengalami patah</li> <li>• Kurang maksimalnya sistem pendinginan mesin</li> <li>• Umur pemakaian cylinder head sudah lama</li> <li>• Kurang sempurnanya proses pengabutan bahan bakar</li> <li>• pelumasan di piston dan liner kurang</li> <li>• putaran padaa impeller tidak normal</li> <li>• Tidak adanya daya hisap untuk pendinginan Mesin</li> <li>• Alat perawatan terbatas</li> <li>• Terjadi kerusakan Komponen mesin / spare parts sudah termakan usia akibat operasional</li> <li>• Keterlambatan penggantian suku cadang</li> <li>• Kondisi kesehatan kru akibat kondisi operasional yang tidak menentu</li> <li>• Terlambat menyadari perubahan kecil yang signifikan terhadap kerusakan mesin</li> <li>• Beban kerja yang tinggi</li> <li>• Plunger dan Tappet tidak normal</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kotoran Dan Penyumbatan pada pompa</li> <li>• Tappet pada injection pump No. 4 Lecet Chamber / Bushing pada cylinder Head No. 1 bocor atau retak hingga menimbulkan rembesan air</li> <li>• Chasing pada GS Pump mengalami korosi</li> <li>• Terjadi kekocakan pada bearing pompa dan mechanical seal bocor</li> <li>• Umur pemakaian impeller yang sudah lama</li> <li>• Jadwal Kerja Mesin tidak sesuai dengan kapasitas Mesin dipaksa bekerja melebihi batas kemampuan</li> <li>• Kebutuhan operasional lebih tinggi dari kemampuan mesin kecepatan kapal yang terganggu akibat kondisi ombak Pemeliharaan yang tidak memadai</li> <li>• Kerusakan Komponen mesin yang tidak terdeteksi</li> <li>• Jadwal pemeliharaan yang tidak konsisten</li> <li>• Manual book yang sudah hilang</li> <li>• Kotoran dari tangki bahan bakar</li> <li>• Suhu operasi yang tinggi</li> <li>• Filter mengalami kerusakan</li> <li>• Usia Pakai Bahan bakar terkontaminasi air atau oil</li> <li>• Rack bahan bakar rusak</li> <li>• Kotoran yang menghambat pompa</li> <li>• Usia Pakai Korosi / Karat</li> <li>• Kebocoran akibat packing yang rusak</li> <li>• Motor blower rusak</li> <li>• Filter udara kotor</li> <li>• Usia Blower yang sudah tua</li> <li>• Adanya komponen/ kotoran yang menghalangi ventilasi</li> <li>• Overheating main engine</li> <li>• Kurangnya perawatan pada ventilasi kamar mesin</li> <li>• Kecepatan Angin Pasang surut air laut Arus Laut</li> </ul>
<p>Why</p>	<p>Mengapa hal tersebut terjadi?</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat rembesan minyak di stut cylinder No. 2 ME akibat pengabutan nozzle kurang maksimal.</li> <li>• Turbocharger tidak terpasang</li> <li>• Terdapat kelembapan minyak pada intercooler</li> <li>• Setelan Valve in dan out tidak baik dan longgar</li> <li>• Rocker Arm pada cylinder head No. 5 goyang sehingga meyebabkan push rod mengalami patah</li> <li>• Kurang maksimalnya sistem pendingin</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umur pemakaian cylinder head yang sudah lama</li> <li>• Kurang sempurnanya proses pengabutan bahan bakar</li> <li>• Jen nozzle oil tersumbat sehingga pelumasan di piston kurang</li> <li>• As Gear pada LO pump patah sehingga tidak adanya daya hisap untuk pelumasan ME</li> <li>• Impeller tidak terpasang baik sehingga putaran pada impeller tidak normal</li> <li>• Alat perawatan terbatas atau terjadi kerusakan akibat usia pemakaian</li> <li>• Komponen mesin sudah termakan usia akibat operasional</li> <li>• Keterbatasan suku cadang</li> <li>• Keterlambatan penggantian suku cadang</li> <li>• Kondisi kesehatan kru akibat kondisi operasional yang tidak menentu</li> <li>• Terlambat menyadari perubahan kecil yang signifikan terhadap kerusakan mesin</li> <li>• Beban kerja yang tinggi</li> <li>• Plunger dan Tappet tidak normal</li> <li>• Penyumbatan pada pompa</li> <li>• Tappet pada <i>injection pump</i> No. 4 Lecet</li> <li>• <i>Chamber / Bushing</i> pada <i>cylinder Head</i> No. 1 bocor atau retak hingga menimbulkan rembesan air</li> <li>• <i>Chasing</i> pada <i>GS Pump</i> mengalami korosi akibat usia pompa.</li> <li>• Terjadi kekocakan pada <i>bearing</i> pompa dan <i>mechanical seal</i> bocor dikarenakan faktor usia pompa</li> <li>• Umur pemakaian <i>impeller</i> yang sudah lama</li> <li>• Jadwal Kerja Mesin tidak sesuai dengan kapasitas</li> <li>• Mesin dipaksa bekerja melebihi batas kemampuan</li> <li>• Kebutuhan operasional lebih tinggi dari kemampuan mesin</li> <li>• Kebutuhan operasional lebih tinggi dari kemampuan mesin</li> <li>• Jadwal yang berubah-ubah</li> <li>• Perencanaan dari pelayaran KMP. Balib direncanakan 3 Trip setiap harinya, apabila melebihi dari perencanaan akan mempengaruhi jadwal perawatan</li> <li>• Kelebihan muatan kapal</li> <li>• Pemeliharaan yang tidak memadai</li> <li>• Kerusakan Komponen mesin yang tidak terdeteksi</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jadwal pemeliharaan yang tidak konsisten</li> <li>• Manual book yang sudah hilang</li> <li>• Kotoran dari tangki bahan bakar</li> <li>• Suhu operasi yang tinggi</li> <li>• Filter mengalami kerusakan</li> <li>• Usia Pakai</li> <li>• Bahan bakar terkontaminasi air atau oil.</li> <li>• Rack bahan bakar rusak.</li> <li>• Adanya kotoran yang menghambat pompa.</li> <li>• Usia Pakai</li> <li>• Korosi / Karat</li> <li>• Kebocoran akibat packing yang rusak</li> <li>• Motor Blower rusak</li> <li>• Filter udara kotor</li> <li>• Usia Blower yang sudah tua</li> <li>• Adanya komponen/kotoran yang menghalangi ventilasi</li> <li>• Overheating main engine</li> <li>• Kurangnya perawatan pada ventilasi kamar mesin</li> </ul>
		<p>What</p>	<p>Apa yang dilakukan jika terjadi hal tersebut?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> <li>• Penggantian spare parts</li> <li>• Pembersihan cylinder block yang pengabutannya kurang maksimal.\</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> <li>• Pengadaan serta Penggantian spare parts</li> <li>• Perbaikan serta penggantian LO Pump</li> <li>• Pengecekan tiap-tiap cylinder head ME.</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> <li>• Pengadaan serta Penggantian spare parts</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan pembaruan dari alat kerja atau alat perawatan.</li> <li>• Pengadaan dan Penggantian komponen (spare parts) yang mengalami kerusakan.</li> <li>• Pemberian waktu istirahat bagi kru yang tidak fit</li> <li>• Bagi kru yang bertugas melakukan monitoring di Kama rmesin harus peka terhadap kondisi mesin dan segera melaporkan apabila terjadi kerusakan</li> <li>• Membuat laporan kesehatan</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengadaan dan penggantian <i>spare parts</i> (komponen) terutama plunger dan tappet</li> <li>• Service atau perbaikan pada <i>cylinder head</i> yang mengalami keretakan sehingga bocor</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> <li>• Pengadaan serta Penggantian <i>spare parts</i> seperti</li> <li>• Perbaikan serta penggantian LO Pump</li> <li>• Evaluasi dan Optimasi Jadwal Operasional</li> <li>• perencanaan pelayaran dengan mem pertimbangkan kondisi alam.</li> <li>• Mengurangi Kecepatan Operasional apabila kondisi lingkungan tidak normal</li> <li>• Perbaiki Konsistensi Jadwal Pemeliharaan</li> <li>• Mencari salinan manual book atau hubungi vendor mesin</li> <li>• Melakukan pelatihan untuk meningkatkan kapasitas kru kapal.</li> <li>• Evaluasi Kinerja Mesin dan Pemeliharaan</li> <li>• Dilaporkan ke pihak manajemen teknik darat agar segera dilakukan perbaikan.</li> <li>• Penggantian spare parts (filter)</li> <li>• Teratur dalam melakukan pembersihan filter</li> <li>• pembersihan tangki bahan bakar</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjaga kebersihan mesin maupun Engine Room setiap selesai dioperasikan</li> <li>• Kru yang tidak fit untuk bekerja harus diberi waktu istirahat yang cukup dan perawatan yang diperlukan</li> <li>• Membuat laporan kesehatan sesuai dengan prosedur perusahaan pelayaran untuk kecelakaan kerja dan kondisi kesehatan yang harus ditangani di darat.</li> <li>• Lub. Oil dimasukkan secara manual pada <i>cylinder head</i> agar bagian yang lecet dapat diatasi.</li> <li>• Kapal tidak membawa muatan yang melebihi kapasitas yang sudah ditentukan</li> <li>• perencanaan pelayaran realistis dan mempertimbangkan kondisi cuaca, arus laut, dan faktor eksternal lainnya. Pengurangan Kecepatan untuk Efisiensi Bahan Bakar, Pertimbangkan untuk menurunkan kecepatan pelayaran kapal pada kondisi tertentu.</li> <li>• Pembuatan SOP setiap penggunaan komponenn di kamar mesin terutama mesin utama kapal serta</li> <li>• pastikan semua kru memahami pentingnya pemeliharaan yang konsisten.</li> <li>• Latih teknisi dan tim pemeliharaan untuk patuh terhadap jadwal dan prosedur yang ada.</li> <li>• Pembuatan jadwal pemeliharaan (triwulan maintananc)</li> <li>• Peninjauan data performa mesin setelah pemeliharaan untuk mengetahui apakah hasilnya sesuai dengan ekspektasi</li> <li>• Melakukan pembersihan tangki bahan bakar saat tangki akan diisi.</li> <li>• Penggantian filter bahan bakar secara teratur.</li> <li>• Pengawasan suhu operasi mesin.</li> <li>• Evaluasi menyeluruh pada komponen mesin utama kapal yang sudah tua</li> <li>• Pemeriksaan menyeluruh pada motor blower untuk menentukan jenis kerusakan yang terjadi (misalnya, masalah listrik, kerusakan mekanis, atau keausan).</li> </ul>
Where	Dimana pemeriksaan dan pemeliharaan dilakukan?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KMP. Balibo</li> <li>• Kamar Mesin Kapal KMP. Balibo.</li> </ul>			
When	Kapan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Setiap pelayaran (trip) perharinya selesai dilakukan perawatan mesin kapal.</li> <li>• Apabila terjadi kerusakan harus dilakukan perbaikan secepatnya</li> </ul>			
Who	Siapa yang bertanggung jawab terkait hal ini?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pihak manajemen teknik PT. ASDP Selayar</li> <li>• KKM (Kepala kamar mesin)</li> <li>• Masinis 2</li> <li>• Masinis 3</li> <li>• Mandor Mesin</li> </ul>			
How	Bagaimana Cara Perbaikannya	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perbaikan (kalibrasi),dibuatkan permintaan perbaikan (permintaan barang/jasa kapal KMP. Balibo).</li> <li>• Melakukan penggantian spare parts</li> <li>• Melakukan pemeriksaan secara berkala pada mesin utama</li> </ul>			

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jika blower sudah terlalu tua atau tidak bisa diperbaiki, pertimbangkan untuk menggantinya dengan unit baru.</li> </ul>
--	--	--

#### 4. Kesimpulan

Nilai rata-rata OEE ini dihitung berdasarkan komponen-komponen, Berdasarkan nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) yang telah dihitung, kinerja operasional mesin utama KMP. Balibo ini mengalami penurunan. Dimana nilai dari availibility ratio, nilainya dibawah standar dari nilai availibility ratio secara umum yaitu 90%. Nilainya mengalami penurunan setiap tahun yang mana pada tahun 2021 nilainya sebesar 93%, 2022 sebesar 86%, 2023 sebesar 75% kemudian pada tahun 2024 sebesar 77,9%. Berikut tabel dari rata-rata nilai availability ratio selama periode 2024-2021. Untuk performance Ratio, nilainya dibawah standar dari nilai performance Ratio secara umum yaitu 95%. Nilainya mengalami penurunan setiap tahun yang mana pada tahun 2021 nilainya sebesar 96%, 2022 sebesar 94,9%, 2023 sebesar 91% kemudian pada tahun 2024 sebesar 82,7%. Berikut tabel dari rata-rata nilai performance Ratio selama periode 2024-2021. Sedangkan quality Ratio, nilainya dibawah standar dari nilai quality Ratio secara umum yaitu 99%. Nilainya mengalami penurunan setiap tahun yang mana pada tahun 2021 nilainya sebesar 99%, 2022 sebesar 98%, 2023 sebesar 92% kemudian pada tahun 2024 sebesar 83,4%. Setelah menghitung nilai six big losses faktor losses yang paling tinggi dalam mesin utama KMP. Balibo adalah Breakdown Losses. Pada tahun 2021 nilai breakdown losses sebesar 9%, 2022 sebesar 18%, 2023 sebesar 35% dan 2024 sebesar 33,6%. Sehingga dilakukanlah analisis penyebab permasalahan dengan metode root cause analysis (RCA). Oleh karena itu, ditemukanlah upaya yang harus dilakukan untuk mencegah terjadinya penurunan serta kegagalan pada kinerja mesin utama kapal KMP. Balibo yaitu dengan melakukan perawatan pada setiap komponen mesin secara rutin dan teratur yang dan dibuatkan perawatan setiap bulan (perawatan mesin secara spesifik dan menyeluruh pada setiap komponen mesin. serta pihak manajemen teknik PT. ASDP Cab. Selayar melakukan pemeriksaan secara rutin agar tidak adanya

kesalah pemahaman antara kru kapal dan pihak manajemen.

#### Referensi

- [1] Febriansyah, P. M. Latuheru, V. P. Sari, N. T. Susanto, and M. Royhan, "Evaluasi Tata Cara Pemuatan Kendaraan Di atas Kapal Penyeberangan Pada Lintasan Bira-Pamatata Provinsi Sulawesi Selatan," *Kohesi J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 5, pp. 61–70, 2024, doi: 10.3785/kohesi.v2i5.2151.
- [2] A. K. Samlawi, *Teori Dasar Motor Diesel*. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat, 2015.
- [3] M. D. Arifin, F. Octaviani, and T. D. Novita, "Analisa Kegagalan Sistem Pelumasan dan Pemilihan Metode Perawatan M/E di Kapal Menggunakan Metode FMEA dalam Rangka Menunjang Operasi Transportasi Laut di Indonesia," *J. Penelit. Transp. Laut*, vol. 17, no. 1, pp. 1–6, 2020, doi: 10.25104/transla.v17i1.1416.
- [4] A. Caswito and A. Hidayat Sutawijaya, "Analysis of Total Maintenance Productivity on Ships/Fleet To Increase Performance Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) Method and Analysis of Six Big Losses," *Am. Int. J. Bus. Manag.*, vol. 2, no. 9, pp. 23–37, 2019.
- [5] B. S. Waluyo, "Analisa Perbaikan Produktivitas Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) pada Mesin Filling dengan Pendekatan Six Big Losses untuk Mencari Penyebab Losses Tertinggi pada Produksi Skincare Studi Kasus PT XYZ," *J. Tek.*, vol. 8, no. 1, pp. 90–99, 2019, doi: 10.31000/jt.v8i1.1596.
- [6] B. G. P. Putra, "Analisis Aspek Lane Meter Terhadap Penentuan Ukuran Utama Kapal Ro-Ro di Perairan Indonesia," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [7] F. Karismawan and P. Katias, "Pengukuran Kinerja Mesin Perusahaan Menggunakan Overall Equipment Effectiveness dan Usulan Perbaikan Menggunakan Diagram Sebab Akibat (Fish-Bone) pada CV. Jati Makmur Pasuruan," *J. Manaj. Teor. dan Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 107–115, 2016, doi: 10.20473/jmtt.v8i1.2718.
- [8] A. Surbakti and S. Napid, "Kajian Kinerja Mesin Diesel Akibat Penambahan Oli Pendingin Luar," *Pist. J. Ilm. Tek. Mesin Fak. Tek. Univ. Islam Sumatera Utara*, vol. 4, no. 1, pp. 34–39, 2019.
- [9] E. N. Mahendra, "Analisis Produktivitas Mesin Single Dash Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (Studi Kasus: PT. Kusuma Mulia Plasindo Infitec)," *SENTRI J. Ris. Ilm.*, vol. 2, no. 5, pp. 1590–1607, 2023, doi: 10.55681/sentri.v2i5.853.
- [10] M. F. Hazmi, A. I. Juniani, and E. N. Budiyanto, "Analisis Perhitungan OEE dan Six Big Losses terhadap Produktivitas Mesin Tuber Bottomer Line 4 PT. IKSG Tuban," in *Proceeding 1st Conference on Safety Engineering and Its Application*, Tuban, 2017, pp. 161–166.