

## ANALISIS RISIKO OPERASIONAL PERAWATAN BERKALA PADA *AUXILIARY ENGINE* UNTUK MENGURANGI PENINGKATAN BIAYA *OVERHAUL* DENGAN METODE FMEA DAN FTA

**Maulana Bintang Fajar<sup>1)</sup>, Gaguk Suhardjito<sup>2)</sup>, dan Medi  
Prihandono<sup>3)</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2</sup> Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>3</sup> Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: [1maulanabintang@student.ppns.ac.id](mailto:1maulanabintang@student.ppns.ac.id) [2gaguksh@ppns.ac.id](mailto:2gaguksh@ppns.ac.id)  
[3mediprihandono@ppns.ac.id](mailto:3mediprihandono@ppns.ac.id)

### Abstract

*Delivering the efficiency and effectiveness of operations in the Auxiliary Engine system, it is essential to improve the quality of planning, scheduling, and maintenance management, particularly during General Overhaul activities. Every maintenance process inevitably carries potential risks that may affect the continuity of ship operations. Therefore, this study was conducted to identify, analyze, and anticipate the risks that may arise during the maintenance of the Auxiliary Engine, as well as to propose appropriate mitigation strategies. The methodology applied combines Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), which is used to determine the level of risk based on the Risk Priority Number (RPN), and Fault Tree Analysis (FTA), which is applied to investigate the root causes of priority risks. The results of the FMEA identified 15 sub-risks across several categories, with 6 of them classified as priority risks. These priority risks were then further examined using FTA to provide a clearer understanding of their root causes. Finally, this research proposes risk mitigation strategies that can minimize potential impacts and prevent recurring failures during the General Overhaul process of the Auxiliary Engine.*

**Keywords:** *Auxiliary Engine, Failure Mode and Effect Analysis, Fault Tree Analysis, General Overhaul, Maintenance Management, Risk Priority Number.*

### Abstrak

Dalam mendukung efisiensi dan efektivitas operasional pada sistem Auxiliary Engine, diperlukan peningkatan kualitas perencanaan, penjadwalan, serta manajemen perawatan yang tepat, khususnya pada kegiatan General Overhaul. Setiap proses perawatan mesin tentu memiliki potensi risiko yang dapat mempengaruhi keberlangsungan operasional kapal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengantisipasi risiko yang mungkin timbul dalam proses perawatan Auxiliary Engine, serta merumuskan strategi mitigasi yang sesuai. Metode yang digunakan adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN), serta Fault Tree Analysis (FTA) untuk menganalisis akar penyebab dari risiko prioritas. Berdasarkan hasil analisis FMEA diperoleh 15 sub risiko dari beberapa kategori, dengan 6 di antaranya ditetapkan sebagai risiko prioritas. Risiko prioritas tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan FTA sehingga diperoleh gambaran akar penyebabnya. Hasil akhir penelitian menghasilkan usulan strategi mitigasi risiko melalui yang dapat meminimalisir dampak dan mencegah terjadinya kegagalan berulang pada proses General Overhaul Auxiliary Engine.

**Kata kunci:** *Auxiliary Engine, Failure Mode Effect Analysis, Fault tree analysis General Overhaul, Manajemen Perawatan, Risk Priority Number*

## 1. Pendahuluan

Menurut Jusolihun, N. (2019) perawatan merupakan kegiatan didalam suatu sistem produksi, dimana fungsi berupa objek dengan cara pemeliharaan, perbaikan, penggantian perusahaan. Mesin menjadi bagian penting pada suatu objek, tidak terkecuali mesin kapal yang membutuhkan perawatan ekstra guna menunjang operasional sehari-hari. Semakin sering mesin berfungsi secara terus menerus dalam mencapai tujuan suatu kinerja diluar kapasitasnya akan mempengaruhi suatu kinerja kekuatan mesin, mengurangi berapa umur mesin, dan seringkali membutuhkan perawatan intensif (Ahuja & Khamba, n.d.). Tidak hanya menjaga stabilitas ataupun mesin pada kapal, namun dengan adanya perawatan rutin akan mengurangi biaya overhaul pada mesin maupun biaya docking pada kapal. Perawatan mesin kapal memegang peranan penting dalam menjaga kelancaran operasional kapal, karena mesin merupakan komponen vital yang menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kapal dan menunjang aktivitas di atasnya. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui risiko yang dihasilkan setelah melakukan perawatan berkala yang kurang optimal sehingga mengakibatkan *overhaul engine* yang memakan biaya tinggi, dimana seharusnya biaya bisa diminimalisasi dengan mengoptimalkan perawatan berkala secara cermat, teliti, dan terukur.

## 2. Tinjauan Pustaka

Dalam Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam jenis kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen, menganalisa pengaruh-pengaruh terhadap keandalan suatu sistem dengan penelusuran pengaruh-pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level item-item khusus dari sistem yang kritis dapat dinilai dan tindakan yang diperlukan untuk memperbaiki desain dan mengeliminasi dan mereduksi probabilitas metode-metode kegagalan yang kritis (Kimura, 2002 dalam Ansori, 2013).

Menurut Munawir dan Yunanto (2014), Fault tree analysis (FTA) adalah metode untuk menganalisa kegagalan sistem kegagalan dari gabungan beberapa sub-sistem dan beberapa level yang dibawahnya, serta kegagalan komponen. Fault tree analysis dapat dideskripsikan sebagai Teknik analitis, untuk menemukan Solusi dari masalah yang muncul (Lee et al., 1985). Fault tree analysis menjelaskan hubungan antara basic event (akar kejadian yang menyebabkan Top Event terjadi) dan top event (kejadian yang terjadi). FTA adalah sebuah metode yang difungsikan untuk menganalisis risiko kegagalan produksi. Metode ini merupakan pendekatan top-down. Dengan kata lain dimulai dari gagasan kegagalan acara

puncak atau acara utama dan terus menjelaskan top event sampai kegagalan dasar (root cause) (Dahlan, 2019).

### 3. Metode Penelitian

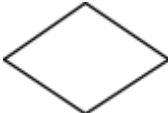
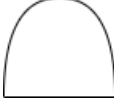
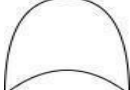
Dalam penelitian ini, penilaian risiko dilakukan oleh tiga orang *expert* dari perusahaan pelayaran di Surabaya, yaitu seorang Pimpinan Proyek (Pimpro) dengan pengalaman 12 tahun, seorang Mandor Mesin dengan pengalaman 17 tahun di bidang perawatan *Auxiliary Engine*, serta seorang Mualim yang berpengalaman 9 tahun dalam operasional dan pengawasan kegiatan perawatan kapal. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk menganalisis upaya pencegahan, serta potensi kerugian yang mungkin terjadi pada perusahaan, khususnya terkait risiko saat proses overhaul mesin kapal.

Permasalahan yang diidentifikasi terdiri dari 15 sub-risiko yang diperoleh melalui wawancara dengan para ekspert. Data kemudian dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner FMEA secara langsung kepada expert, mencakup tiga kategori risiko yaitu internal, eksternal, dan SDM. Hasil penilaian dari masing-masing expert diolah dengan metode konsensus untuk memperoleh nilai akhir *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Skala penilaian menggunakan rentang 1–10, di mana nilai 10 menunjukkan kondisi paling buruk (misalnya hampir mustahil terdeteksi), sedangkan nilai 1 menunjukkan kondisi paling baik (hampir pasti terdeteksi). Hasil rata-rata penilaian dibulatkan ke bilangan bulat terdekat. Selanjutnya, nilai *Risk Priority Number* (RPN) dihitung berdasarkan kombinasi S, O, dan D, dengan kategorisasi: risiko tinggi ( $RPN \geq 200$ ), risiko sedang ( $100 \leq RPN < 200$ ), dan risiko rendah ( $RPN < 100$ ).

| Kemungkinan Kegagalan Terdeteksi | Kriteria berdasarkan rancangan pengendalian saat ini                                                | Peringkat |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Hampir mustahil                  | Tidak ada kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan                                                | 10        |
| Sangat kecil                     | Terdapat sangat sedikit kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan                                  | 9         |
| Kecil                            | Terdapat sedikit kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan                                         | 8         |
| Sangat rendah                    | Terdapat kendali tetapi sangat rendah kemampuannya untuk mendeteksi potensi kegagalan               | 7         |
| Rendah                           | Terdapat kendali tetapi rendah kemampuannya untuk mendeteksi potensi kegagalan                      | 6         |
| Sedang                           | Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sedang / cukup untuk mendeteksi potensi kegagalan          | 5         |
| Agak tinggi                      | Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sedang cenderung tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan | 4         |
| Tinggi                           | Terdapat kendali yang memiliki kemampuan tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan                  | 3         |
| Sangat tinggi                    | Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan           | 2         |
| Hampir pasti                     | Kendali hampir pasti dapat mendeteksi potensi kegagalan                                             | 1         |

Gambar 1 Daftar Skala Peringkat Kemungkinan Kegagalan Deteksi

FTA adalah teknik untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor yang dapat berkontribusi pada kejadian yang tidak diinginkan (disebut “kejadian puncak” / “peristiwa risiko utama”). Analisis pohon kesalahan merupakan Solusi yang dapat dilakukan untuk memahami bagaimana sebuah sistem dapat gagal dengan cara mengidentifikasi masalah dan mengurangi Tingkat risiko beserta faktornya. Faktor penyebab risiko sendiri disusun secara logis dan tergambar dalam bentuk diagram pohon. Pohon kesalahan dapat digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan jalur menuju risiko utama. Dalam penerapannya, teknik FTA yang digunakan secara kualitatif memiliki 2 (dua) tipe notasi dasar: peristiwa (*events*) dan gerbang logika (*logic gates*).

| NO | SIMBOL                                                                            | NAMA                      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. |  | <i>Basic Event</i>        |
| 2. |  | <i>Intermediate Event</i> |
| 3. |  | <i>Undeveloped Event</i>  |
| 4. |  | <i>Transfer Symbol</i>    |
| 5. |  | <i>And Gate</i>           |
| 6. |  | <i>Or Gate</i>            |

Gambar 2 Daftar simbol Event

1. Lingkaran (*basic event*) = sumber penyebab risiko.
2. Persegi (*intermediate event*) = peristiwa yang memerlukan Analisa lanjutan.
3. Segi 4 bujur sangkar (*undeveloped event*) = peristiwa tidak dapat dianalisis karena kekurangan data.
4. Segitiga (*transfer symbol*) = memerlukan analisa lanjutan diluar dari peristiwa risiko.
5. *And Gate* = peristiwa risiko akan terjadi apabila input peristiwa dibawahnnya terjadi.
6. *Or Gate* = peristiwa risiko dapat terjadi apabila salah satu atau kedua peristiwa dibawahnya terjadi.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### Kerangka Penelitian

Hasil dari proses wawancara kepada ekspert telah didapatkan sebanyak 15 risiko kejadian pada salah satu kapal penyeberangan disalah satu perusahaan pelayaran di Surabaya. Dalam metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) akan dilakukan penyebaran kuesioner untuk mengetahui penilaian tiap risiko oleh ekspert.

**Analisis Risiko dengan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)**

| Risiko                     | Kode Sub Risiko | Sub Risiko                                                                                                        |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Risiko Kegagalan Internal  | IN 1            | Filter oli yang kotor menyebabkan oli tidak tersaring dengan sempurna sehingga terjadi gesekan tinggi pada mesin. |
|                            | IN 2            | Terjadi kerusakan pada <i>bearing</i> yang menyebabkan keausan pada as <i>turbocharger</i> .                      |
|                            | IN 3            | Turbin yang mendorong gas buang mengalami kerusakan.                                                              |
|                            | IN 4            | <i>Intercooler</i> mengalami kebocoran, mesin mengalami <i>overheat</i> .                                         |
|                            | IN 5            | Perbaikan mesin kapal diluar jadwal saat ada kendala.                                                             |
|                            | IN 6            | Penggantian oli mesin melampaui jadwal.                                                                           |
|                            | IN 7            | Pemakaian <i>sparepart</i> mesin dalam keadaan tidak layak pakai.                                                 |
|                            | IN 8            | Kegagalan fungsi mesin kapal secara mendadak.                                                                     |
|                            | IN 9            | Pembengkakan biaya perbaikan mesin kapal.                                                                         |
| Risiko Kegagalan Eksternal | EK 1            | Suku cadang tidak tersedia atau <i>discontinue</i> .                                                              |
|                            | EK 2            | Keterlambatan material suku cadang pada saat perawatan kapal.                                                     |
|                            | EK 3            | Peningkatan harga suku cadang mesin kapal.                                                                        |
| Risiko Kegagalan SDM       | SDM 1           | Jadwal perawatan mesin kapal tidak pada waktunya atau tidak <i>On time</i>                                        |
|                            | SDM 2           | Kurangnya kemampuan ABK dalam <i>maintenance</i> mesin kapal.                                                     |
|                            | SDM 3           | Kelalaian ABK saat pemasangan atau penggantian <i>sparepart</i> mesin kapal.                                      |

Gambar 3 Daftar Risiko dan Sub Risiko

Penelitian ini memperoleh daftar risiko dari hasil wawancara identifikasi risiko dengan para ahli, langkah berikutnya adalah melakukan analisis menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Pada tahap ini, setiap risiko dievaluasi berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tingkat keparahan dampak (severity), frekuensi kemunculan (occurrence), dan kemungkinan kegagalan terdeteksi (detection). Proses analisis FMEA dilaksanakan melalui dua langkah utama, yakni perhitungan Risk Priority Number (RPN) untuk mengetahui nilai prioritas setiap risiko, serta evaluasi risiko guna menentukan kategori risiko berdasarkan tingkat urgensinya. Dengan cara ini, risiko yang memiliki potensi dampak besar dan sering terjadi dapat segera diidentifikasi untuk mendapatkan penanganan yang tepat.

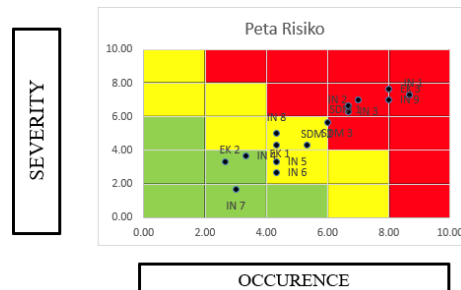
### Analisis Perhitungan Risk Priority Number (RPN)

| Risiko                     | Kode Sub Risiko | Sub Risiko                                                                                                        | S    | O    | D    | RPN    |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|--------|
| Risiko Kegagalan Internal  | IN 1            | Filter oli yang kotor menyebabkan oli tidak tersaring dengan sempurna sehingga terjadi gesekan tinggi pada mesin. | 7.33 | 8.66 | 6.66 | 422,76 |
|                            | IN 2            | Terjadi kerusakan pada <i>bearing</i> yang menyebabkan keausan pada <i>as turbocharger</i> .                      | 7.00 | 7.00 | 6.66 | 326,34 |
|                            | IN 3            | Turbin yang mendorong gas buang mengalami kerusakan.                                                              | 6.33 | 6.66 | 7.00 | 295.10 |
| Risiko Kegagalan Internal  | IN 4            | <i>Intercooler</i> mengalami kebocoran, mesin mengalami <i>overheat</i> .                                         | 3.66 | 3.33 | 2.66 | 32.41  |
|                            | IN 5            | Perbaikan mesin kapal diluar jadwal saat ada kendala.                                                             | 3.33 | 4.33 | 3.33 | 48.01  |
|                            | IN 6            | Penggantian oli mesin melampaui jadwal.                                                                           | 2.66 | 4.33 | 3.66 | 42.15  |
|                            | IN 7            | Pemakaian <i>sparepart</i> mesin dalam keadaan tidak layak pakai.                                                 | 1.66 | 3.00 | 2.00 | 9.96   |
|                            | IN 8            | Kegagalan fungsi mesin kapal secara mendadak.                                                                     | 5.00 | 4.33 | 4.33 | 93.74  |
|                            | IN 9            | Pembengkakan biaya perbaikan mesin kapal.                                                                         | 7.00 | 8.00 | 7.66 | 428.96 |
| Risiko Kegagalan Eksternal | EK 1            | Suku cadang tidak tersedia atau <i>discontinue</i> .                                                              | 4.33 | 4.33 | 4.00 | 74.99  |
|                            | EK 2            | Keterlambatan material suku cadang pada saat perawatan kapal.                                                     | 3.33 | 2.66 | 3.33 | 29.50  |
|                            | EK 3            | Peningkatan harga suku cadang mesin kapal.                                                                        | 7.66 | 8.00 | 6.66 | 408.12 |
| Risiko Kegagalan SDM       | SDM 1           | Jadwal perawatan mesin kapal tidak pada waktunya atau tidak <i>On time</i>                                        | 6.66 | 6.66 | 6.33 | 280.77 |
|                            | SDM 2           | Kurangnya kemampuan ABK dalam <i>maintenance</i> mesin kapal.                                                     | 4.33 | 5.33 | 5.00 | 115.39 |
|                            | SDM 3           | Kelalaian ABK saat pemasangan atau penggantian <i>sparepart</i> mesin kapal.                                      | 5.66 | 6.00 | 4.66 | 158.25 |

Gambar 4 Pengolahan Data dan Hasil Perhitungan RPN

Hasil pengolahan data FMEA yang didapatkan meliputi 15 Sub-Risiko yang akan diolah menggunakan peta risiko untuk mengklasifikasikan sesuai dengan area risiko berdasarkan matriks risiko. Setelah melakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada seluruh sub risiko, akan dilanjutkan dengan pemetaan risiko dimana langkah ini bertujuan untuk mengelompokkan tingkat risiko dimulai dari *Low Risk*, *Medium Risk*, dan *High Risk*. Area *Low Risk* ditunjukkan dengan warna hijau, area *Medium Risk* ditunjukkan dengan warna kuning, dan area *High Risk* ditunjukkan dengan warna merah. Pada gambar 5 terdapat 15 risiko yang telah

dipetakan atau dikelompokkan pada masing masing area.



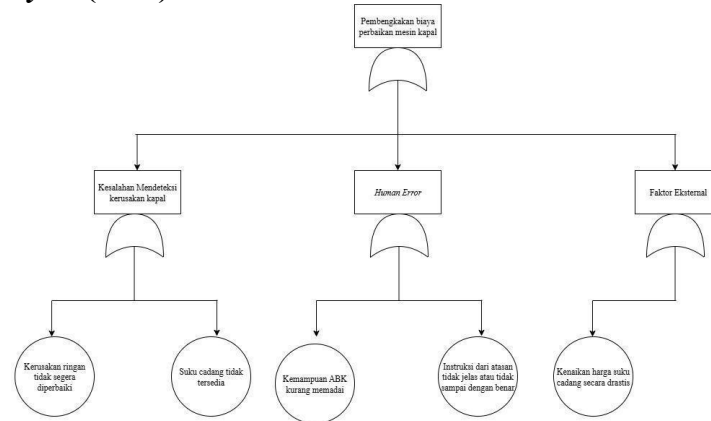
Gambar 5 Diagram Peta Risiko

Pada gambar 5 terdapat 6 sub risiko yang berada pada area *high risk* (warna merah) adalah sebagai berikut :

1. Filter oli yang kotor menyebabkan oli tidak tersaring dengan sempurna sehingga terjadi gesekan tinggi pada mesin (IN 1)
2. Terjadi kerusakan pada *bearing* yang menyebabkan keausan pada as turbocharger (IN 2)
3. Turbin yang mendorong gas buang mengalami kerusakan (IN 3)
4. Pembengkakan biaya perbaikan mesin kapal (IN 9)
5. Peningkatan harga suku cadang mesin kapal (EK 3)
6. Jadwal perawatan mesin kapal tidak pada waktunya atau tidak *On time* (SDM 1)

Enam sub resiko tersebut menjadi risiko prioritas yang akan ditindak lanjuti dan dilakukan langkah strategi mitigasi yang tepat agar masalah tersebut tidak terulang kembali dan tidak menimbulkan pembengkakan biaya. Dengan adanya pemetaan risiko secara sistematis, perusahaan dapat memiliki panduan yang lebih jelas dalam mengendalikan potensi permasalahan di masa mendatang. Pada 6 risiko prioritas yang masuk ke dalam kategori *high risk* yaitu Filter oli yang kotor menyebabkan oli tidak tersaring dengan sempurna sehingga terjadi gesekan tinggi pada mesin (IN 1), Terjadi kerusakan pada *bearing* yang menyebabkan keausan pada as turbocharger (IN 2), Turbin yang mendorong gas buang mengalami kerusakan (IN 3), Pembengkakan biaya perbaikan mesin kapal (IN 9), Peningkatan harga suku cadang mesin kapal (EK 3), dan Jadwal perawatan mesin kapal tidak pada waktunya atau tidak *On time* (SDM 1).

### Fault Tree Analysis (FTA)



Gambar 6 Fault Tree Analysis Sub Risiko IN 9

Diatas merupakan salah satu contoh penerapan cutset dari permasalahan pada penelitian ini. Berikut merupakan top Event dari permasalahan pada penelitian ini

| No. | Top Event                                 |
|-----|-------------------------------------------|
| 1.  | Pembengkakan Biaya Perbaikan Mesin Kapal  |
| 2.  | Filter Oli Kotor                          |
| 3.  | Peningkatan Harga Suku Cadang             |
| 4.  | Kerusakan Pada <i>Bearing</i>             |
| 5.  | Kerusakan Pada Turbin <i>Turbocharger</i> |
| 6.  | <i>Schedule</i> Tidak <i>On Time</i>      |

Gambar 7 Top Event

### Rekomendasi Strategi

Berdasarkan hasil analisis, strategi mitigasi pemeliharaan mesin kapal sebaiknya difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu perencanaan perawatan, pengelolaan suku cadang, dan pengelolaan sumber daya manusia (ABK), karena ketiganya terbukti berperan penting dalam menjaga performa operasional kapal.

Pertama, aspek perencanaan perawatan perlu ditingkatkan dengan melakukan perencanaan yang teratur serta disiplin dalam penggantian oli mesin, pelaksanaan jadwal pelumasan, dan perawatan preventif secara menyeluruh. Selain itu, pencatatan usia spare part dan waktu pemasangannya juga harus dilakukan secara konsisten agar kondisi mesin dapat terpantau dengan baik.

Kedua, aspek pengelolaan suku cadang harus diperhatikan dengan melakukan evaluasi ketersediaan suku cadang minimal satu bulan sebelum pemakaian, mengecek stok barang pada vendor, serta melakukan koordinasi intensif dengan supplier untuk mengantisipasi kenaikan harga maupun keterlambatan pengiriman. Upaya ini juga dapat diperkuat dengan analisis dan penelitian guna mencari alternatif persamaan spare part yang

sudah tidak diproduksi (discontinue).

Ketiga, aspek pengelolaan sumber daya manusia (ABK) harus dijaga dengan baik melalui evaluasi kepatuhan terhadap SOP, pelatihan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan, serta pengawasan yang rutin agar seluruh ABK menjalankan perawatan dan pemeliharaan kapal sesuai prosedur. Evaluasi berkala juga diperlukan untuk memastikan bahwa jadwal perawatan tidak diabaikan, sehingga potensi kendala saat operasional kapal dapat diminimalkan.

Meskipun aspek lain seperti dokumentasi ruang spare part maupun koordinasi administratif tidak memiliki pengaruh langsung secara signifikan, namun tetap penting untuk diperhatikan agar strategi mitigasi berjalan menyeluruh dan saling mendukung. Dengan mengoptimalkan tiga aspek utama dan menjaga konsistensi pada aspek lainnya, diharapkan kegiatan pemeliharaan mesin kapal dapat berlangsung lebih efektif, teratur, dan mampu meningkatkan keandalan operasional kapal.

## **5. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis, risiko perawatan mesin kapal (Auxiliary Engine) terbagi dalam tiga kategori utama, yaitu kegagalan internal, eksternal, dan sumber daya manusia, dengan total 15 sub risiko yang terdiri atas 6 risiko tinggi, 6 risiko sedang, dan 3 risiko rendah. Risiko prioritas tertinggi adalah pembengkakan biaya perbaikan mesin, diikuti oleh filter oli kotor, kenaikan harga suku cadang, kerusakan bearing, kerusakan turbin, serta keterlambatan jadwal perawatan. Penyebab utama berasal dari ketidakteraturan perawatan preventif, keterbatasan kemampuan ABK, ketersediaan suku cadang yang terbatas, serta fluktuasi harga material. Mitigasi paling efektif adalah penerapan perawatan preventif yang disiplin, teratur, dan tepat waktu, disertai peningkatan keterampilan ABK dan manajemen suku cadang yang baik agar operasional kapal tetap optimal dan berkelanjutan.

## Referensi

- Aprianto, T., Setiawan, I., & Purba, H. H. (2021). *Implementasi metode Failure Mode and Effect Analysis pada Industri di Asia–Kajian Literatur*. Matrik: **Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi**, 21(2), 165-174.
- Ananto, A. D. (2022). *Analisis Keterlambatan Perawatan Shaft Propeller dengan Metode FTA dan FMEA*. Skripsi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
- Asmara, R. G. (2022). *Analisa Kegagalan Sistem Bahan bakar Kapal Dengan Menggunakan Metode Preliminary Hazard Analysis (PHA) dan Fault Tree Analysis (FTA)*. Matrik: **Jurnal Teknik dan Sains**, 3(1), 34-39.
- Azhari, H., Ganap, J. G., & Nisah, F. A. (2024). *Analisis Perawatan Mesin Kapal dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT Jasa Armada Indonesia Tbk*. Industrika: **Jurnal Ilmiah Teknik Industri**, 8(2), 407–417.
- Bancin, S. G. K., Yudo, H., & Kiryanto. (2025). *Analisis Keandalan Sistem Pelumasan Mesin Induk Kapal Menggunakan Metode Rantai Markov dan FMEA Berbasis Fuzzy*. **Jurnal Teknik Perkapalan**, 13(1), 1–10.
- Huda, A. M., & Basuki, M. (2023). *Penilaian Risiko Keterlambatan Pekerjaan Reparasi Kapal Bg. APC XVIII di PT. Gapura Shipyard*. **Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim**, 2(3), 207-219.
- Irwan, I., Ilham, C. I., & Novrianti, N. (2023). *Analysis Of Injector Flowing On Auxiliary Engine On KMP*. Portlink. **IWTJ: International Water Transport Journal**, 5(1).
- Madyantoro, H. I., Adib, A., Yaqin, R. I., Siahaan, J. P., & Barokah, B. (2022). *Penerapan Metode FMEA Dalam Perawatan Mesin Pendingin Kapal Penangkap Ikan*. **Aurelia Journal**, 4(1), 97-106.
- Nainggolan, B. A., & Wulandari, L. M. C. (2021). *Analisis Risiko Operasional Menggunakan Metode FMEA di CV. Gamarends Marine Supply Surabaya*. **Proceedings of Human Centered Intelligent Technology**, A15-1.