

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/psnp.18301>

Efektivitas Reliability Centered Maintenance (RCM) Untuk Menurunkan Risiko Kegagalan Mesin Kapal Perikanan Di PPS Belawan

Effectiveness Of Reliability Centered Maintenance (RCM) In Reducing The Risk Of Engine Failures On Fishing Vessels At Belawan Fishing Port

Rizqon Hasibuan¹, Nabila Khairiyah Sitompul^{2*}, Steven Rendi Situmeang¹

¹Sekolah Tinggi Perikanan dan Kelautan Matauli

²Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau

Alamat Instansi penulis korespondensi

*E-mail: nabilakhairiyah@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Mesin kapal perikanan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan merupakan komponen strategis dalam operasional penangkapan ikan, namun rentan mengalami kegagalan yang berdampak pada downtime, peningkatan biaya, dan risiko keselamatan awak kapal. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dalam menurunkan risiko kegagalan mesin, mengidentifikasi komponen kritis, serta mengevaluasi strategi pemeliharaan yang sesuai dengan karakteristik operasi kapal perikanan skala kecil dan menengah. Metode penelitian meliputi pengumpulan data primer melalui logbook pemeliharaan dan observasi langsung pada kapal tipe PSPK, analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas risiko komponen, serta *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen paling kritis secara berurutan adalah sistem pendingin, injektor, aki, *gearbox*, dan tangki bahan bakar. Strategi pemeliharaan kombinasi, yaitu *Time Directed* (TD) untuk komponen yang bersifat *safety critical* dan *Condition Directed* (CD) untuk komponen dengan degradasi gradual, terbukti efektif dalam menurunkan downtime, meningkatkan keandalan mesin, serta mengoptimalkan biaya pemeliharaan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan RCM berbasis data lapangan mampu menghasilkan rekomendasi pemeliharaan yang kontekstual dan aplikatif, sehingga mendukung operasional kapal yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Kapal Perikanan, Komponen Kritis, PPS Belawan; *Reliability Centered Maintenance*; Strategi Pemeliharaan

ABSTRACT

Fishing vessel engines at the Belawan Fishing Port (PPS Belawan) are strategic components in fishing operations but are prone to failures that result in downtime, increased costs, and safety risks for crew members. This study aims to evaluate the effectiveness of Reliability Centered Maintenance (RCM) in reducing engine failure risks, identifying critical components, and assessing maintenance strategies suitable for small- to medium-scale fishing vessel operations. The methodology involved primary data collection from maintenance logbooks and direct observations on PSPK-type vessels, followed by Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to determine component risk priorities and Logic Tree Analysis (LTA) to trace the root causes of failures. The results revealed that the most critical components, in sequence, are the cooling system, injector, battery, gearbox, and fuel tank. A combined maintenance strategy Time Directed (TD) for safety-critical components and Condition Directed (CD) for components with gradual degradation proved effective in reducing downtime, improving engine reliability, and optimizing maintenance costs. The study concludes that field-based RCM implementation provides contextual and practical maintenance recommendations, thereby supporting safer, more efficient, and sustainable vessel operations.

Keywords: *Fishing Vessels; Critical Components; PPS Belawan; Reliability Centered Maintenance; Maintenance Strategy*

PENDAHULUAN

Keandalan mesin kapal merupakan determinan utama dalam keberhasilan operasi penangkapan ikan. Setiap kegagalan mesin tidak hanya menimbulkan *downtime* dan kerugian finansial, tetapi juga berdampak langsung pada keselamatan awak kapal serta kontinuitas rantai pasok perikanan (Baihaqi *et al.*, 2024). Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan memiliki armada kapal kecil hingga menengah, seperti Jaring Hela Ikan Berkantong (JHIB) dan *Purse Seine* Pelagis Kecil (PSPK). Kapal-kapal tersebut menghadapi beban kerja mesin yang berat, kualitas bahan bakar yang fluktuatif, dan kondisi operasi laut yang dinamis. Faktor-faktor ini mempercepat degradasi komponen mesin dan meningkatkan risiko kegagalan mendadak (Azhari *et al.*, 2024).

Reliability Centered Maintenance (RCM) telah lama diakui sebagai pendekatan efektif dalam manajemen aset kritis di industri aviasi, manufaktur, hingga kelautan. Namun, penerapan RCM di sektor perikanan tangkap, khususnya dalam konteks mesin kapal di pelabuhan perikanan Indonesia masih sangat terbatas dan belum mendapat kajian yang cukup. RCM memungkinkan strategi pemeliharaan berbasis risiko melalui identifikasi kegagalan kritis dan evaluasi konsekuensinya (Umarwan and Pranoto, 2025), sehingga lebih adaptif dibandingkan pemeliharaan berbasis jadwal konvensional. Integrasi RCM dengan sensor prognostik dan *Internet of Things* (IoT) bahkan terbukti meningkatkan reliabilitas sistem, mempercepat deteksi dini kerusakan, serta menekan biaya hingga 70% (Kalghatgi, 2023).

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan penerapan RCM mampu mengurangi *downtime* tak terencana lebih dari 50% dan meningkatkan *availability* sistem dari 57% menjadi di atas 90% (Umarwan and Pranoto, 2025), sebagian besar studi masih berfokus pada kapal komersial berukuran besar atau sistem permesinan industri berat (Daryanto, 2024). Padahal, kapal perikanan skala kecil–menengah memiliki karakteristik operasional yang jauh berbeda, siklus operasi panjang tanpa jeda, keterbatasan sumber daya teknis, serta lingkungan laut tropis dengan kelembapan dan salinitas tinggi yang mempercepat korosi. Kompleksitas ini menuntut kajian spesifik yang belum banyak dieksplorasi.

Kebaruan penelitian terletak pada analisis empiris berbasis data lapangan kegagalan mesin kapal perikanan di PPS Belawan. Pendekatan ini tidak hanya menilai frekuensi kerusakan dan biaya perawatan, tetapi juga mengevaluasi prosedur inspeksi aktual yang diterapkan di lapangan. Dengan menggabungkan *Failure Mode and Effect*

Analysis (FMEA) dan *Logic Tree Analysis* (LTA) dalam kerangka RCM, penelitian ini menghadirkan rekomendasi pemeliharaan yang kontekstual, aplikatif, dan relevan dengan kondisi nyata armada perikanan Indonesia. Secara lebih luas, hasil kajian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan model pemeliharaan mesin kapal perikanan yang berorientasi pada keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Data primer dikumpulkan langsung di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan, mencakup karakteristik kegagalan mesin (jenis, frekuensi, penyebab, dampak, dan waktu kejadian) serta aktivitas perawatan (jenis tindakan, *downtime*, waktu perbaikan, interval, biaya, dan frekuensi). Objek penelitian difokuskan pada kapal perikanan tipe *Purse Seine* Pelagis Kecil (PSPK) yang mewakili armada operasional di PPS Belawan.

Metode

Metode penelitian menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yaitu metode sistematis untuk mengembangkan dan mengoptimalkan strategi pemeliharaan berbasis keandalan dan risiko kegagalan komponen. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan menggabungkan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Logic Tree Analysis* (LTA). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab, dan dampaknya terhadap kinerja mesin serta dasar penentuan prioritas pemeliharaan berdasarkan tingkat risiko. Setiap mode kegagalan dievaluasi menggunakan *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus:

$$RPN = S \times O \times D$$

Keterangan:

S (*Severity*) : tingkat keparahan dampak kegagalan

O (*Occurrence*): frekuensi atau probabilitas terjadinya kegagalan

D (*Detection*) : kemungkinan terdeteksinya kegagalan sebelum berdampak

Selanjutnya, LTA digunakan untuk menelusuri akar penyebab kegagalan melalui pohon logika (*logic tree*), sehingga setiap mode kegagalan dapat dikategorikan sebagai *safety-related*, *operational*, atau *economic consequence*. Pendekatan ini memperkuat hasil FMEA dengan justifikasi logis terhadap pemilihan tindakan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi operasional kapal perikanan.

Rancangan penelitian merujuk pada pedoman *RCM Naval Aviation Maintenance Process* (Wings *et al.*, 2021) yang telah disesuaikan dengan karakteristik mesin kapal di PPS Belawan. Identifikasi komponen kritis dilakukan berdasarkan data empiris dari observasi lapangan dan rekaman aktivitas pemeliharaan selama periode penelitian. Prosedur inspeksi dan perawatan yang dievaluasi meliputi sistem bahan bakar, *filter* oli, aki (*accu*), sistem pendingin, injektor, *gearbox*, dan komponen utama lainnya sesuai standar operasi kapal perikanan setempat.

Pengumpulan data didukung oleh penggunaan peralatan utama, yaitu multimeter digital *Fluke* untuk pengukuran tegangan aki, *fuel injector pressure tester* Bosch untuk mengukur tekanan injektor, serta *stopwatch* digital untuk pencatatan waktu *downtime* dan perbaikan mesin. Seluruh peralatan memiliki tingkat akurasi sesuai standar pengukuran teknik perkapalan, sehingga data yang diperoleh valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Mesin Kapal di PPS Belawan

Hasil survei lapangan dan wawancara dengan pengelola PPS Belawan menunjukkan bahwa KM PSPK (25–88 GT) dengan mesin 300 Pk merepresentasikan armada perikanan skala menengah di pelabuhan ini. Operasi kapal berlangsung hampir tanpa jeda istirahat pada beban penuh, sementara kualitas bahan bakar sering berfluktuasi. Kondisi tersebut mempercepat degradasi komponen mesin dan menurunkan tingkat keandalannya. Fenomena ini sejalan dengan temuan Ojo *et al.*, (2022), bahwa durasi operasi berkepanjangan mempercepat kerusakan sistem pendingin dan memperbesar risiko kegagalan komponen kritis.

Ketergantungan pada *time-based maintenance* membuat kapal dengan intensitas operasi tinggi rentan terhadap *downtime* tak terencana. Sebaliknya, *Reliability Centered Maintenance* (RCM) menawarkan penyesuaian jadwal perawatan berbasis kondisi aktual. Penelitian sebelumnya menunjukkan penerapan RCM mampu menurunkan *downtime* hingga 55,77% dan meningkatkan reliabilitas komponen sebesar 28% (Umarwan and Pranoto, 2025). Sehingga, kondisi KM PSPK menegaskan urgensi transisi dari strategi konvensional ke pendekatan berbasis keandalan.

Data Kegagalan Komponen Mesin Kapal

Hasil pencatatan *logbook* pemeliharaan dan wawancara dengan Kepala Kamar Mesin (KKM) mengidentifikasi enam komponen utama yang sering mengalami kegagalan. Secara rinci data kegagalan mesin kapal di PPS Belawan ditunjukkan pada Tabel 1 .

Tabel 1. Data kegagalan mesin kapal di PPS Belawan

Table 1. Fishing Vessel Engine Failure Data at Belawan Fishing Port

Komponen	Jenis Kegagalan	Frekuensi
Injektor	Kebocoran <i>nozzle</i> dan penyemprotan tidak merata	3 kali/6 bulan
Filter oli	Penyumbatan media filter	2–3 kali/3 bulan
Sistem pendingin	Kerusakan pompa sirkulasi	1–2 kali/bulan (pelayaran >10 hari tanpa perawatan tengah laut)
<i>Accu</i>	Penurunan kapasitas simpan	4 kali selama 1 bulan, terutama pada kapal yang sering <i>idle</i> terlalu lama
<i>Gearbox</i>	Slip kopling dan keausan pada <i>gear</i>	Slip kopling 3 bulan sekali dan aus pada <i>gear</i> mulai 6 bulan setelah pemakaian
Tangki Bahan Bakar	Kontaminasi air laut berlebih	1 kali/tahun

Sumber: Data lapangan PPS Belawan (2025)

Pola kegagalan tersebut memperlihatkan bahwa subsistem yang berhubungan dengan suplai energi dan pengaturan termal terutama injektor, filter oli, dan sistem pendingin merupakan titik paling rentan. Hasil ini konsisten dengan Azhari *et al.*, (2024) yang melaporkan kualitas bahan bakar, kadar sulfur, serta kontaminan biologis berperan besar terhadap kerusakan injektor dan percepatan degradasi komponen pembakaran.

Ditinjau dari perspektif teknis, jam operasi panjang dan lingkungan laut yang korosif memperbesar peluang kebocoran injektor, kerusakan pompa pendingin, serta slip kopling. Dari sisi operasional, beban berlebih dan *idle* berkepanjangan mempercepat penyumbatan filter dan degradasi oli. Mutu bahan bakar rendah juga berimplikasi pada erosi *nozzle*, kavitasi pompa, dan ketidakstabilan semprotan (Sforzo *et al.*, 2019). Bukti eksperimental dari Chybowski *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa penyimpangan sifat

fisikokimia bahan bakar dapat memicu kegagalan berantai pada mesin utama dan *auxiliary engines*.

Kegagalan komponen tidak hanya menimbulkan konsekuensi teknis tetapi juga finansial dan keselamatan. Secara teknis, injektor dan sistem filtrasi yang rusak memicu pembakaran tidak sempurna, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan menurunkan *mean effective pressure*. Kegagalan sistem pendingin berisiko menimbulkan *thermal runaway* dan *power derating*, sedangkan kerusakan *gearbox* berujung pada *loss of propulsion*. Dari sisi finansial, perbaikan darurat, keterlambatan sandar, dan kebutuhan *towing* menghasilkan biaya jauh lebih tinggi dibanding perawatan terencana. Adapun dari sisi keselamatan, kegagalan mesin di laut berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja maupun risiko navigasi serius.

Penentuan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan LTA (*Logic Tree Analysis*)

Berdasarkan hasil wawancara teknis, setiap komponen mesin dievaluasi menggunakan skala 1–10 untuk tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Hasil penelitian dimuat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Table 2. Results of *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Komponen	Kegagalan Fungsi	Efek Potensial	S	Penyebab	O	Pengendalian (<i>Detection Control</i>)	D	RPN
Injektor	Nozzle bocor dan penyumbatan	Tekanan semprot turun, performa mesin menurun	8	Residu BBM, keausan nozzle	7	Pemeriksaan tekanan dan semprotan	6	336
Filter Oli	Penyumbatan media filter	Aliran oli terhambat, mesin <i>overheating</i>	7	Kotoran dalam oli, filter aus	6	Pemeriksaan rutin filter, penggantian berkala Inspeksi visual,	7	294
Sistem Pendingin	Kebocoran pipa dan pompa rusak	Overheatin g mesin, kerusakan komponen	9	Korosi, karat, keausan pompa	8	monitoring suhu, perawatan pompa	6	432
Accu	Penurunan kapasitas	Starter sulit, suplai	7	Umur baterai,	9	Pemeriksaan tegangan,	5	315

Komponen	Kegagalan Fungsi	Efek Potensial	S	Penyebab	O	Pengendalian (Detection Control)	D	RPN
Gearbox	simpan dan konektor	listrik tidak stabil	8	korosi konektor	5	penggantian baterai rutin	7	280
	Slip kopling dan keausan pada gear	Perpindahan gigi tidak halus, kerusakan bearing		Keausan komponen, kebocoran oli		Pemeriksaan kebocoran oli, perawatan kopling		
Tangki Bahan Bakar	Kontaminasi air laut berlebih	Risiko kebakaran, kerusakan mesin akibat bahan bakar tercemar	9	Korosi, mikroba, las yang tidak sempurna	4	Inspeksi las, pengujian kontaminasi bahan bakar	8	288

Nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi terdapat pada sistem pendingin (432), diikuti oleh injektor (336), *accu* (315), filter oli (294), tangki bahan bakar (288), dan *gearbox* (280). Nilai RPN yang tinggi pada sistem pendingin menegaskan posisinya sebagai komponen paling kritis, karena kegagalannya berpotensi menimbulkan *overheating* dan kerusakan mekanis yang meluas. Temuan ini konsisten dengan penelitian Badrus *et al.*, (2020), yang menunjukkan bahwa 86% kegagalan mesin pada kapal tunda berasal dari subsistem pendingin, sebagian besar berupa *evident failures* yang dapat diatasi dengan pemeliharaan terjadwal.

Injektor dengan nilai RPN 336 menunjukkan kerentanan tinggi akibat kebocoran *nozzle* dan penyumbatan residu bahan bakar. Kondisi ini menurunkan tekanan semprotan dan performa mesin, sejalan dengan temuan Ardhiyansah *et al.*, (2025) yang menekankan hubungan erat antara kualitas bahan bakar yang buruk dengan kerusakan injektor, khususnya pada kapal dengan jam operasi panjang. Filter oli (RPN 294) juga masuk kategori kritis karena penyumbatan media filter berimplikasi pada *overheating* mesin. Optimasi interval penggantian filter menjadi sangat penting. Pendekatan *hybrid* yang menggabungkan FMEA dengan *Fault Tree Analysis* (FTA) terbukti meningkatkan efektivitas strategi RCM. Tripathi dan Prasad, (2024) melaporkan bahwa integrasi ini,

ditambah optimisasi jadwal perawatan menggunakan algoritma genetik, berhasil meningkatkan *availability* sistem mesin diesel sekaligus menurunkan biaya operasional.

Komponen *accu* mendapatkan nilai RPN sebesar 315, meskipun lebih rendah dari pendingin dan injektor tetap membutuhkan perhatian khusus. Kapasitas simpan daya yang turun dan korosi konektor dapat menimbulkan suplai listrik tidak stabil dan kesulitan menyalakan mesin. Pemeriksaan tegangan berkala dan penggantian terjadwal menjadi langkah kunci menjaga reliabilitas sistem kelistrikan kapal.

Gearbox (RPN 280) mengalami kegagalan berupa slip kopling, kebocoran oli, dan keausan *bearing*. Walaupun nilai RPN relatif lebih rendah, konsekuensinya signifikan karena dapat mengganggu transmisi daya dan merusak *driveline*. Pemeriksaan oli dan perawatan kopling perlu ditingkatkan untuk mencegah degradasi lebih lanjut. Tangki bahan bakar memiliki nilai RPN sebesar 288, nilai yang cukup tinggi dikarenakan tingkat keparahan kegagalan yang sangat serius (S=9) meskipun frekuensi kegagalannya relatif lebih rendah (O=4). Kebocoran pada las tangki, kontaminasi air laut, dan pertumbuhan mikroba seperti *diesel bug* dapat menimbulkan risiko kebakaran dan kerusakan mesin akibat bahan bakar yang tercemar. Inspeksi las secara berkala dan pengujian kualitas bahan bakar perlu menjadi prioritas untuk mencegah kerusakan yang lebih serius.

Secara keseluruhan, metode RPN terbukti efektif dalam mengidentifikasi komponen mesin kapal yang paling berisiko gagal, sehingga memudahkan penentuan prioritas perawatan. Komponen dengan nilai RPN tinggi, seperti sistem pendingin, injektor, dan tangki bahan bakar, dikategorikan sebagai kritis (RPN >100) dan memerlukan tindakan perawatan intensif (Haq *et al.*, 2021). Penerapan strategi ini diharapkan meningkatkan keandalan mesin sekaligus meminimalkan gangguan operasional, khususnya melalui pemanfaatan teknologi monitoring dan inspeksi untuk menurunkan nilai *Detection* (D) sehingga RPN keseluruhan dapat direduksi.

Sementara itu, hasil penerapan *Logic Tree Analysis* (LTA) disajikan dalam bentuk daftar kegagalan fungsi yang dikelompokkan berdasarkan dampaknya terhadap kinerja sistem, potensi penyebab, serta kategori penanganan yang direkomendasikan. Parameter “YA” pada Tabel 3 menunjukkan bahwa aspek tersebut memenuhi kriteria signifikan dalam penilaian risiko. Kode tindakan terdiri atas B (*Breakdown Repair*, yaitu perbaikan segera setelah kerusakan terjadi), D (*Scheduled Maintenance/Deferred Repair*, yaitu pemeliharaan atau perbaikan yang dapat dijadwalkan kemudian), B/D (kombinasi kondisi

yang memerlukan perbaikan segera pada beberapa kasus namun dapat dijadwalkan pada kasus lain tergantung tingkat urgensinya), dan A/C (*Inspection or Component Replacement*, yaitu inspeksi dan/atau penggantian komponen kritis). Tabel 3 menyajikan ringkasan hasil LTA yang memberikan pemahaman terstruktur mengenai hubungan antara kegagalan fungsi, dampak potensial, penyebab yang mendasari, serta rekomendasi tindak lanjut. Informasi ini menjadi dasar dalam perumusan strategi failure prevention yang lebih efektif, adaptif, dan berbasis bukti.

Tabel 3. Hasil *Logic Tree Analysis*

Table 3. Results of *Logic Tree Analysis*

Kegagalan Fungsi	Efek dari Potensi Kegagalan	Potensi Penyebab	E	S	O	C
Nozzle bocor dan penyumbatan	Penurunan tekanan semprot, performa mesin turun	Residu bahan bakar, keausan <i>nozzle</i>	YA	YA	YA	B/D
Penyumbatan media filter	Aliran oli terhambat, <i>overheating</i>	Kotoran dalam oli, filter aus	YA	TIDAK	YA	B/D
Kebocoran pipa dan pompa rusak	<i>Overheating</i> mesin, kerusakan komponen	Korosi, karat, keausan pompa	YA	YA	YA	B
Penurunan kapasitas simpan dan konektor	Starter sulit, suplai listrik tidak stabil	Umur baterai, korosi konektor	TIDAK	YA	YA	B/D
Slip kopling, kebocoran oli	Perpindahan gigi tidak halus, kerusakan bearing	Keausan komponen, kebocoran oli	YA	TIDAK	YA	B/D
Kebocoran las dan kontaminasi air laut	Risiko kebakaran, kerusakan mesin akibat bahan bakar tercemar	Korosi, mikroba, las tidak sempurna	YA	YA	YA	A/C

Tabel 3 memperlihatkan berbagai kegagalan fungsi kritis pada komponen utama mesin kapal, mencakup dampak potensial, penyebab kegagalan, serta evaluasi risiko berdasarkan parameter efek (E), signifikansi (S), peluang terjadinya (O), dan jenis pengendalian (C). Analisis ini menjadi pijakan penting dalam penerapan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* untuk memitigasi risiko kegagalan yang berpotensi mengganggu kinerja maupun keselamatan operasional mesin kapal. Kegagalan pada *nozzle* injektor, berupa kebocoran dan penyumbatan, berkontribusi langsung terhadap penurunan tekanan semprot bahan bakar yang menyebabkan penurunan performa mesin. Faktor utama penyebabnya adalah akumulasi residu bahan bakar dan keausan fisik *nozzle*. Tingkat efek dan signifikansinya tergolong tinggi, karena kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap fenomena kavitasi yang memengaruhi atomisasi dan efisiensi pembakaran (Kevorkijan *et al.*, 2024).

Filter oli juga menunjukkan potensi kegagalan signifikan. Penyumbatan akibat kontaminan atau keausan filter dapat menghambat aliran oli, yang pada kondisi ekstrem berujung pada *overheating* mesin. Walaupun signifikansinya dalam konteks keseluruhan sistem lebih rendah dibanding injektor atau pendingin, pengendalian tetap diperlukan. Studi Kamal *et al.*, (2024) menegaskan bahwa penggunaan filter halus mampu menurunkan kadar kontaminan oli secara signifikan, memperpanjang masa pakai komponen, dan menekan risiko kegagalan.

Sistem pendingin, terutama pompa dan pipa, termasuk komponen paling kritis. Kebocoran maupun kerusakan pompa berisiko menimbulkan *overheating* dan kerusakan berantai pada komponen lain. Penyebab dominannya adalah korosi, karat, dan keausan pompa. Karena masuk kategori pengendalian B (*Breakdown Repair*), kerusakan jenis ini memerlukan respons cepat untuk mencegah *unplanned downtime*. Fakta lapangan ini konsisten dengan laporan bahwa kerusakan sistem pendingin dan pelumasan merupakan penyebab utama *critical breakdown* mesin laut, dengan konsekuensi biaya perbaikan yang sangat tinggi.

Kegagalan lain yang lebih moderat ditemukan pada *accu*, berupa penurunan kapasitas penyimpanan daya dan korosi konektor listrik. Dampaknya berupa gangguan *starter* mesin dan suplai listrik tidak stabil. Walaupun tidak selalu memicu kerusakan besar, tingginya frekuensi kejadian menjadikan inspeksi periodik sebagai tindakan pencegahan yang esensial. Pada *gearbox*, kegagalan berupa slip kopling dan kebocoran

oli menimbulkan perpindahan gigi yang tidak halus serta risiko kerusakan *bearing*. Faktor penyebab utamanya adalah keausan komponen dan kebocoran oli yang tidak terdeteksi. Berdasarkan efek dan peluang kejadiannya, kegagalan ini dikategorikan B/D, sehingga memerlukan pengendalian campuran antara perawatan segera dan pemeliharaan terjadwal.

Adapun tangki bahan bakar menghadapi risiko kebocoran las dan kontaminasi air laut, yang berpotensi menimbulkan kebakaran dan kerusakan mesin akibat pencemaran bahan bakar. Penyebabnya meliputi korosi, pertumbuhan mikroba, serta kualitas las yang tidak sempurna. Dengan tingkat dampak dan signifikansi yang tinggi, kegagalan ini dikategorikan A/C (*Inspection or Component Replacement*), sehingga pengendalian korosi pada sistem bahan bakar perlu menjadi prioritas untuk mencegah *catastrophic failure* dan memastikan keandalan operasional.

Secara keseluruhan, hasil lapangan di PPS Belawan memperkuat bukti empiris bahwa strategi pemeliharaan berbasis analisis risiko mampu menekan kerugian ekonomi akibat *downtime* sekaligus meningkatkan keselamatan operasional. Hal ini sejalan dengan rekomendasi riset terbaru dalam manajemen pemeliharaan mesin kapal, yang menekankan perlunya integrasi pendekatan diagnostik dan preventif agar sistem pemeliharaan lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

Task Selection (Pemilihan Tindakan)

Pemilihan strategi pemeliharaan merupakan tahap akhir dalam penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), setelah diperoleh prioritas risiko dari FMEA dan kategorisasi konsekuensi kegagalan melalui *Logic Tree Analysis* (LTA). Tujuan utama tahap ini adalah memastikan setiap mode kegagalan dapat dikendalikan melalui strategi pemeliharaan yang paling sesuai, sehingga risiko keselamatan, gangguan operasional, maupun kerugian ekonomi dapat diminimalkan.

Pada kerangka RCM, terdapat tiga jenis tugas pemeliharaan yang menjadi dasar pengambilan keputusan, yaitu *Time Directed* (TD) berupa tindakan preventif yang dilakukan pada interval waktu atau jam operasi tertentu tanpa memperhatikan kondisi aktual. Kedua, *Condition Directed* (CD), yaitu tindakan pemeliharaan berbasis hasil pemantauan kondisi aktual komponen (*condition monitoring*). Terakhir, *Failure Finding* (FF) berupa pengujian fungsi untuk mendeteksi *hidden failure* yang tidak terlihat selama operasi normal. Literatur terkini menekankan perlunya kombinasi strategi ini agar sesuai

dengan karakteristik risiko dan operasional sistem perkapalan (Karatuğ et al., 2023). Berdasarkan hasil analisis, strategi pemeliharaan untuk setiap komponen kritis kapal di PPS Belawan dimuat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis *task selection* komponen mesin kapal

Table 4. Results of Task Selection Analysis of Vessel Engine Components

No	Komponen	Mode Kegagalan	RPN	Task Selection
1	Injektor	Nozzle bocor dan penyumbatan	336	CD
2	Filter Oli	Penyumbatan media filter	294	TD
3	Sistem Pendingin	Kebocoran pipa dan pompa rusak	432	TD
4	Accu (Baterai)	Kapasitas turun dan konektor korosi	315	CD
5	Gearbox	Slip kopling/keausan gear/kebocoran oli	280	CD
6	Tangki Bahan Bakar	Kebocoran las dan kontaminasi air laut	288	CD

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sebagian besar komponen kritis, seperti injektor, *accu*, *gearbox*, dan tangki bahan bakar, lebih tepat ditangani dengan strategi *Condition Directed* (CD). Hal ini disebabkan oleh sifat kegagalan yang berkembang secara bertahap dan dapat dideteksi melalui pemantauan kondisi, misalnya dengan pengukuran tekanan semprot injektor, tegangan *accu*, analisis getaran *gearbox*, maupun deteksi kontaminasi tangki bahan bakar. Strategi CD memungkinkan tindakan pemeliharaan dilakukan hanya ketika indikator degradasi muncul, sehingga risiko kegagalan dapat ditekan tanpa penggantian komponen prematur. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan tetapi juga mengefisienkan biaya, konsisten dengan temuan Karatuğ et al., (2023) yang melaporkan bahwa penerapan *condition-based maintenance* pada sistem propulsi kapal mampu menurunkan frekuensi *unscheduled downtime* sekaligus mengoptimalkan alokasi sumber daya.

Sebaliknya, filter oli dan sistem pendingin lebih sesuai dengan strategi *Time Directed* (TD). Kedua komponen ini memiliki mode kegagalan yang langsung berimplikasi pada keselamatan dan kontinuitas operasi mesin. Penyumbatan total filter oli maupun kegagalan sistem pendingin dapat menimbulkan *overheating* dan kerusakan

menyeluruh. Oleh karena itu, pemeliharaan harus mengikuti interval yang direkomendasikan pabrikan melalui penggantian atau pembersihan berkala. Studi Yaqin *et al.*, (2023) pada sistem pelumas kapal ferry membuktikan bahwa penerapan strategi TD pada filter oli efektif menjaga stabilitas suhu operasi mesin dan mencegah kerusakan kritis.

Secara umum, hasil ini menegaskan bahwa kombinasi strategi TD dan CD menjadi kunci dalam pemeliharaan mesin kapal perikanan. Strategi CD memberikan fleksibilitas dan efisiensi melalui pemantauan berbasis kondisi, sementara strategi TD menjamin pengendalian risiko pada komponen dengan konsekuensi kegagalan tinggi. Implikasi ini sejalan dengan studi Daya and Lazakis, (2023) yang menekankan bahwa efektivitas pemeliharaan dan keandalan sistem meningkat ketika strategi disesuaikan dengan *availability* dan tingkat kriticalitas komponen, misalnya melalui integrasi *Planned Maintenance System (PMS)* untuk unit dengan ketersediaan tinggi dan *condition monitoring* atau tindakan korektif untuk unit dengan ketersediaan rendah. Dengan demikian, pemilihan tindakan pemeliharaan berbasis hasil FMEA dan LTA di PPS Belawan tidak hanya menghasilkan kerangka kerja adaptif, tetapi juga membangun dasar penerapan RCM yang lebih efektif, aman, dan ekonomis bagi armada perikanan skala kecil–menengah.

Evaluasi Efektivitas Strategi Pemeliharaan

Evaluasi efektivitas strategi pemeliharaan dilakukan dengan menghubungkan hasil FMEA dan LTA terhadap tujuan penelitian. Adapun evaluasi yang dimaksud adalah untuk menurunkan *downtime* tak terencana, meningkatkan keandalan sistem, mengefisiensikan biaya, serta menyesuaikan strategi dengan kondisi operasional kapal perikanan di PPS Belawan.

Penurunan *Downtime*

Preventive maintenance pada filter oli, injektor, dan sistem pendingin terbukti efektif menekan frekuensi kerusakan mendadak yang sebelumnya sering menyebabkan mesin berhenti beroperasi. Penyumbatan filter oli berpotensi menurunkan tekanan pelumasan dan memicu *overheating*, sementara injektor aus menimbulkan ketidakseimbangan pembakaran. Melalui inspeksi rutin dan penggantian sesuai rekomendasi pabrikan, kerusakan dapat diantisipasi lebih awal. Strategi ini diproyeksikan menurunkan *downtime* tak terencana hingga 40–50%, sejalan dengan temuan Umarwan

and Pranoto, (2025) yang menunjukkan penurunan *downtime* 55,77% pada mesin *heavy duty* dengan penerapan RCM.

Peningkatan Keandalan Sistem

Condition-based maintenance (CBM) pada *accu* dan *gearbox* memberikan fleksibilitas signifikan. Pemeriksaan tegangan *accu* atau analisis getaran *gearbox* memungkinkan deteksi degradasi sebelum kegagalan nyata terjadi, sehingga penggantian hanya dilakukan pada saat kritis. Strategi ini meningkatkan *system reliability* dan memperpanjang *mean time to failure (MTTF)* hingga 22.000 jam, serta menurunkan proporsi kegagalan komponen kritis dari 64,3% menjadi 40% (Budimir *et al.*, 2025). Dengan demikian, kapal mempertahankan *availability* tinggi selama operasi, mengurangi risiko *in-service failure*, dan meningkatkan keselamatan operasional.

Efisiensi Biaya Pemeliharaan

Kombinasi strategi TD dan CD menciptakan keseimbangan antara keandalan dan efisiensi biaya. Filter oli dan sistem pendingin ditangani dengan strategi TD karena interval pemeliharannya jelas dan konsekuensi kegagalannya serius, sedangkan *accu* dan *gearbox* menggunakan strategi CD sehingga penggantian hanya dilakukan saat diperlukan. Biaya pemeliharaan pun lebih terkendali karena penggantian prematur dapat dihindari. Hal ini sesuai dengan Yaqin *et al.*, (2023) yang menekankan pentingnya pemilihan strategi berdasarkan prioritas risiko untuk menekan biaya operasional. Sementara itu, *corrective maintenance* tetap relevan untuk komponen non-kritis yang tidak memengaruhi sistem utama, sehingga sumber daya pemeliharaan dapat lebih terfokus.

Relevansi dengan Kondisi Operasional Kapal

Strategi kombinasi TD dan CD terbukti paling sesuai dengan karakteristik operasional kapal perikanan di PPS Belawan, yang beroperasi dalam mode *heavy duty* dengan siklus kerja panjang. Kerusakan mendadak di laut tidak hanya menghambat operasi tetapi juga mengancam keselamatan awak. Pendekatan adaptif ini memungkinkan kapal tetap beroperasi optimal dengan risiko kegagalan rendah. Temuan ini sejalan dengan Budimir *et al.*, (2025), yang menegaskan keberhasilan implementasi RCM pada kapal perikanan ditentukan oleh kemampuan strategi pemeliharaan menyesuaikan dengan kondisi dan waktu operasi. Berdasarkan hal tersebut, hasil penelitian ini bersifat aplikatif

dan dapat langsung diadopsi pemilik kapal untuk meningkatkan produktivitas sekaligus keselamatan.

SIMPULAN

Penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin kapal perikanan di PPS Belawan terbukti efektif menekan *downtime* tak terencana, meningkatkan keandalan sistem, serta mengefisiensikan biaya pemeliharaan. Kombinasi strategi *Time Directed* (TD) pada komponen kritis seperti filter oli dan sistem pendingin, serta *Condition Directed* (CD) pada komponen dengan pola degradasi gradual seperti injektor, *accu*, *gearbox*, dan tangki bahan bakar, sesuai dengan karakteristik operasional kapal perikanan yang beroperasi dalam mode *heavy duty*. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa penerapan RCM berbasis analisis risiko dapat meningkatkan produktivitas dan keselamatan operasional kapal perikanan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhiyansah, R. D. et al. (2025) 'Pengaruh Menurunnya Kinerja Injector terhadap Performa Mesin Induk di Kapal MV. SAVIOUR Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara, Indonesia karena emisi gas buang mengalami peningkatan (Erjavec, Jack 2005). Penurunan kinerja Sistem Kerja Mesin Induk (Mes)', *Journal of Marine Engineering Research*, 1(1), pp. 11–23.
- Azhari, H., Ganap, J. G. and 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), pp. 407–417. doi:10.37090/indstrk.v 8i2.1261.
- Badrus, M. et al. (2020) 'Reliability C entred M aintenance', *Journal of Southwest Jiaotong University*, Vol. 55 No (Aug 2009), p. 9. doi: 10.35741/issn.0258-2724.55.4.51.
- Baihaqi, B., Sulastriani, R., Nurmala, E., Sabaruddin, S., & Purba, B. H. (2024). Implementation of Work Safety for Crew on MV. Ibrahim Zahier: Penerapan Keselamatan Kerja untuk Anak Buah Kapal di MV. Ibrahim Zahier. *ALTAIR: Jurnal Transportasi dan Bahari*, 1(2), 33-41.
- Budimir, D., Medić, D., Ružić, V., & Kulej, M. (2025). Integrated Approach to Marine Engine Maintenance Optimization: Weibull Analysis, Markov Chains, and DEA Model. *Journal of marine science and engineering*, 13(4), 798.
- Chybowski, L., Myśków, J. and Kowalak, P. (2023) Analysis of fuel properties in the context of the causes of three marine auxiliary engines failure – A case study, *Engineering Failure Analysis*, 150(January). doi:10.1016/j.engfailanal.2023.107362.
- Daryanto, D. (2024) 'Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method in the Maritime Industry to Identify Potential Failures in Main Engine

- Components (Case Study on Vessel Xyz)', *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, pp. 256–265. Available at <http://journal.unhas.ac.id/index.php/zonalaut/article/view/42087>.
- Daya, A. A. and Lazakis, I. (2023) 'Developing an advanced reliability analysis framework for marine systems operations and maintenance', *Ocean Engineering*, 27 (November 2022).
- Haq, I. S., Darma, A. Y. and Batubara, R. A. (2021) 'Penggunaan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dalam Identifikasi Kegagalan Mesin untuk Dasar Penentuan Tindakan Perawatan di Pabrik Kelapa Sawit Libo', *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 3(1).
- Kalghatgi, U. S. (2023) 'Creating Value for Reliability Centered Maintenance (RCM) in Ship Machinery Maintenance from BIG Data and Artificial Intelligence', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 104(2), pp. 449–453. doi: 10.1007/s40032-022-00900-1.
- Kamal, M. et al. (2024) 'Analysis of the Use of Fine Filters on Lubricating Oil Content With Contaminant Tests in Diesel Engines', *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, pp. 90–98. doi: 10.24853/sintek.18.2.90-98.
- Karatuğ, Ç., Arslanoğlu, Y. and Soares, C. G. (2023) 'Review of maintenance strategies for ship machinery systems', *Journal of Marine Engineering and Technology*, 22(5), pp. 233–247. doi: 10.1080/20464177.2023.2180831.
- Kevorkijan, L. et al. (2024) 'The Effect of Fuel Quality on Cavitation Phenomena in Common-Rail Diesel Injector—A Numerical Study', *Sustainability (Switzerland)*, 16(12), pp. 1–18. doi:10.3390/su16125074.
- Ojo, E. R., Ujile, A. A. and Nkoi, B. (2022) 'Improving the Reliability of the Cooling Water System of a Marine Diesel Engine: A Case Study of Caterpillar C32 Diesel Engine', *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(5), pp. 755–764. doi: 10.22214/ijraset.2022.41166.
- Sforzo, B. A. et al. (2019) 'Fuel Nozzle Geometry Effects on Cavitation and Spray Behavior at Diesel Engine Conditions', *Proceedings of the 10th International Symposium on Cavitation (CAV2018)*, pp. 474–480. doi: 10.1115/1.861851_ch90.
- Tripathi, A. and Prasad, M. H. (2024) 'RCM based optimization of maintenance strategies for marine diesel engine using genetic algorithms', 15(August), pp. 3757–3775.
- Umarwan, A. and Pranoto, H. (2025) 'Literature Review: Comparison of the Effectiveness of Reliability- Centered Maintenance and Preventive Maintenance on Cost and Risk', 06(2), pp. 62–69.
- Wings, N. T. et al. (2021) 'The Naval Aviation Overview of the Naval Aviation Maintenance Program (NAMP) and Guide to the NAMP Instruction Table of Contents'.
- Yaqin, R. I. et al. (2023) 'Failure analysis of fuel system main engine fishing vessel (case study: KM. Sumber Mutiara)', *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 20(1), pp. 34–43. doi: doi.org/10.14710/kapal.v20i1.48530.