

**PENGARUH MANAJEMEN PERAWATAN PREVENTIF TERHADAP
TINGKAT KEANDALAN DAN KESELAMATAN MESIN KAPAL*****The Effect of Preventive Maintenance Management on The Level of Reliability
and Safety of Marine Engines*****Kresno Yuntoro¹, Kundori^{2*}, Ariana Oktavia², Asep Hendiawan³, Sugeng
Hariyadi²****¹Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang****²Universitas Maritim AMNI****³AKMI Suaka Bahari*****Email: kundori.jaken@gmail.com****Abstract**

This study aims to analyze the effect of preventive maintenance management on the reliability and safety of marine engines. This study uses a quantitative approach with an associative-causal research design, which aims to measure and analyze cause-and-effect relationships. Data analysis in this study was carried out in stages using SPSS and AMOS software. The results show that preventive maintenance management has a positive and significant effect on ship engine reliability ($\beta = 0.724$; $t = 11.947$; $p < 0.001$) and operational safety ($\beta = 0.689$; $t = 10.541$; $p < 0.001$). Strengthening the spare parts management system and developing the technical competence of engine crews need to be given special priority in the agenda for improving the quality of PMS in national shipping companies. This study provides empirical evidence that consistent implementation of preventive maintenance management, particularly through strengthening the PMS system, is not merely a matter of fulfilling regulatory aspects, but an operational strategy that is scientifically proven to be able to increase fleet reliability while reducing shipping safety risks.

Keywords: *Safety, Maintenance Management, Marine Engines, Shipping Companies*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh manajemen perawatan preventif terhadap tingkat keandalan dan keselamatan mesin kapal. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian asosiatif-kausal, yang bertujuan untuk mengukur dan menganalisis hubungan sebab-akibat. Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap menggunakan perangkat lunak SPSS dan AMOS. Hasil menunjukkan bahwa manajemen perawatan preventif berpengaruh positif dan signifikan terhadap keandalan mesin kapal ($\beta = 0,724$; $t = 11,947$; $p < 0,001$) dan terhadap keselamatan operasional ($\beta = 0,689$; $t = 10,541$; $p < 0,001$). Penguatan sistem manajemen suku cadang dan pengembangan kompetensi teknis awak mesin perlu mendapat prioritas khusus dalam agenda peningkatan kualitas PMS di perusahaan pelayaran nasional. Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa konsistensi pelaksanaan manajemen perawatan preventif, khususnya melalui penguatan sistem PMS, bukan sekadar pemenuhan aspek regulasi, melainkan strategi operasional yang secara ilmiah terbukti mampu meningkatkan keandalan armada sekaligus menekan risiko keselamatan pelayaran.

Kata Kunci: *Keselamatan, Manajemen Perawatan, Mesin Kapal, Perusahaan Pelayaran*

PENDAHULUAN

Industri pelayaran memegang peranan yang sangat strategis dalam menopang rantai pasok dan perekonomian global. Sektor maritim memfasilitasi pengangkutan lebih dari 80% komoditas perdagangan dunia, dengan proyeksi pertumbuhan tahunan sebesar 2,4% hingga tahun 2029. Besarnya volume aktivitas transportasi laut ini menuntut keandalan operasional kapal yang tinggi, di mana kinerja sistem permesinan menjadi tulang punggung keselamatan dan efisiensi pelayaran (Kalafatellis et al., 2025). Namun demikian, gangguan dan kegagalan pada mesin kapal masih menjadi tantangan serius yang dihadapi industri ini. Kerusakan atau kegagalan mesin merupakan penyebab utama semua insiden pelayaran di seluruh dunia selama tahun lalu, menyumbang lebih dari setengahnya (1.505), diikuti oleh tabrakan kapal (260) dan kebakaran/ledakan (218), yang tetap menjadi perhatian utama di kapal (Allianz, 2026). Data tersebut menegaskan bahwa faktor teknis permesinan merupakan penyebab dominan kecelakaan di laut yang memerlukan penanganan sistematis dan terencana.

Manajemen perawatan preventif menjadi instrumen kunci dalam menjaga keandalan sistem permesinan kapal. Manfaat utama perawatan preventif pada kapal adalah kemampuan untuk menjadwalkan tindakan korektif sebelum kapal memasuki perairan terbuka, di mana perbaikan jauh lebih sulit dan mahal dilakukan (Jimenez et al., 2020; Mujiarto et al., 2022). Lebih jauh, laporan mengungkapkan bahwa pendekatan perawatan yang proaktif mampu mengurangi waktu henti tidak terencana sebesar 10-15%, sehingga memastikan kapal beroperasi secara andal dan tepat waktu (Hsu, 2023). Di sisi lain, International Maritime Organization (IMO) menekankan bahwa penerapan Planned Maintenance System (PMS) dapat menekan biaya perawatan sebesar 10-20%, yang secara langsung berdampak pada efisiensi operasional dan keberlanjutan usaha pelayaran (Jimenez et al., 2020).

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengkaji strategi perawatan pada sistem permesinan kapal. Kajian literatur menunjukkan bahwa strategi perawatan kapal telah berevolusi dari pendekatan korektif menuju prediktif, dengan motivasi utama berupa pengurangan biaya operasional, beban kerja, dan risiko kegagalan mendadak, serta peningkatan keandalan dan ketersediaan sistem (Karatuğ et al., 2023; Musril et al., 2023). Penelitian lain menggarisbawahi pentingnya pendekatan berbasis risiko dalam perencanaan perawatan (Khan & Haddara, 2003). Metodologi penilaian risiko dengan menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk sistem mesin kapal terbukti memberikan dukungan yang sangat berharga dalam membangun perencanaan perawatan preventif berbasis risiko, khususnya pada sistem bahan bakar (Cicek, K. (2026)). Sementara itu, penelitian dengan pendekatan hibrid menggunakan Dynamic Fault Tree Analysis (DFTA) dan Bayesian Belief Network (BBN) juga telah dikembangkan untuk mengidentifikasi komponen kritis, akar penyebab keterlambatan perawatan, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan sistem permesinan kapal (Daya & Lazakis, 2024; Hamza & Hacene, 2019).

Meskipun literatur yang ada telah memberikan kontribusi signifikan, masih terdapat celah penelitian yang perlu diisi. Optimalisasi perawatan merupakan hal yang esensial dalam menekan biaya operasional kapal sekaligus menjamin keselamatannya, namun pemahaman menyeluruh tentang efektivitas berbagai strategi perawatan dan hubungannya dengan tingkat keandalan aktual masih

memerlukan kajian yang lebih mendalam. Sebagian besar studi yang ada lebih berfokus pada pengembangan model prediktif berbasis teknologi tinggi seperti kecerdasan buatan dan IoT, di mana strategi perawatan konvensional seperti *corrective* dan *preventive maintenance* dinilai semakin tidak efektif dalam memenuhi standar keselamatan dan efisiensi operasional maritim yang tinggi. Namun, pernyataan tersebut belum sepenuhnya didukung oleh bukti empiris yang sistematis tentang sejauh mana manajemen perawatan preventif apabila diimplementasikan secara konsisten dan terstruktur berpengaruh terhadap tingkat keandalan dan keselamatan mesin di lapangan, terutama dalam sistem armada kapal nasional. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis empiris hubungan antara kualitas implementasi manajemen perawatan preventif dengan indikator keandalan dan keselamatan permesinan kapal secara terukur, yang selama ini masih jarang dijadikan fokus kajian tersendiri.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh manajemen perawatan preventif terhadap tingkat keandalan dan keselamatan mesin kapal. Secara spesifik, penelitian ini berupaya mengukur sejauh mana konsistensi pelaksanaan program perawatan preventif berkontribusi terhadap penurunan angka kegagalan mesin, peningkatan Mean Time Between Failures (MTBF), serta perbaikan indikator keselamatan operasional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis bagi operator kapal, perusahaan pelayaran, serta regulator dalam merancang sistem manajemen perawatan yang lebih efektif dan berorientasi pada keselamatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian asosiatif-kausal (Kartika et al., 2024), yang bertujuan untuk mengukur dan menganalisis hubungan sebab-akibat antara variabel manajemen perawatan preventif sebagai variabel bebas (X) terhadap dua variabel terikat, yaitu tingkat keandalan mesin kapal (Y_1) dan tingkat keselamatan operasional permesinan kapal (Y_2). Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengujian hipotesis secara sistematis pada populasi atau sampel tertentu dengan menggunakan instrumen pengumpulan data yang terstruktur (Lim, 2025). Penelitian dilaksanakan dengan metode survei lapangan yang dikombinasikan dengan analisis data rekam historis (*historical record analysis*), sehingga hasil yang diperoleh mencerminkan kondisi aktual pelaksanaan perawatan preventif di lapangan secara empiris dan terukur.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kapal yang beroperasi dan terdaftar pada perusahaan pelayaran nasional dengan armada aktif, beserta tenaga teknis yang bertanggung jawab atas sistem permesinan kapal, meliputi Kepala Kamar Mesin (KKM), Masinis I, Masinis II, dan Masinis III. Data yang digunakan mencakup data primer yang diperoleh langsung dari responden di lapangan dan data sekunder yang bersumber dari dokumen-dokumen teknis seperti log book mesin, laporan perawatan, dan catatan kegagalan mesin. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling* dengan kriteria bahwa kapal telah beroperasi minimal dua tahun, memiliki dokumentasi perawatan yang lengkap, dan menggunakan sistem *Planned Maintenance System* (PMS) yang terstandarisasi. Ukuran sampel ditetapkan berdasarkan kaidah minimal 5 responden per indikator

variabel penelitian (Goodhue et al., 2012), sehingga dengan jumlah indikator yang digunakan, sampel ditargetkan minimal 100 responden dari tenaga teknis permesinan yang tersebar pada armada kapal yang memenuhi kriteria.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua jalur utama. Pertama, survei menggunakan kuesioner terstruktur yang disusun berdasarkan skala Likert lima poin (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 5 = Sangat Setuju) untuk mengukur persepsi dan pengalaman responden terkait kualitas implementasi manajemen perawatan preventif. Kisi-kisi instrumen penelitian dikembangkan berdasarkan dimensi-dimensi utama yang mencakup perencanaan jadwal perawatan, ketersediaan suku cadang, kompetensi teknisi, serta kepatuhan terhadap prosedur standar operasional. Kedua, pengumpulan data sekunder dilakukan melalui penelusuran dokumen teknis berupa log book mesin, laporan breakdown, catatan Mean Time Between Failures (MTBF), serta laporan insiden keselamatan. MTBF digunakan sebagai indikator kuantitatif tingkat keandalan mesin, karena nilai MTBF mencerminkan seberapa handal suatu mesin atau komponen dalam beroperasi tanpa mengalami kegagalan dalam kurun waktu tertentu. SpecTec Instrumen kuesioner terlebih dahulu diuji validitas menggunakan teknik corrected item-total correlation ($r_{\text{hitung}} > r_{\text{tabel}}$) dan reliabilitas menggunakan koefisien Alpha Cronbach ($\alpha > 0,70$) sebelum digunakan dalam pengumpulan data sesungguhnya.

Model penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada kerangka konseptual yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Variabel manajemen perawatan preventif (X) dijabarkan ke dalam empat dimensi pengukuran, yaitu: (1) keteraturan jadwal perawatan (maintenance scheduling regularity), (2) kelengkapan prosedur perawatan (maintenance procedure compliance), (3) kesiapan sumber daya perawatan (maintenance resource readiness), dan (4) dokumentasi dan pelaporan perawatan (maintenance documentation and reporting). Variabel keandalan mesin kapal (Y_1) diukur melalui nilai MTBF dan tingkat availability mesin, sedangkan variabel keselamatan operasional (Y_2) diukur melalui frekuensi insiden teknis, angka breakdown tidak terencana, dan indeks keselamatan operasional. Keandalan mesin pada waktu t dinyatakan secara matematis dan dipengaruhi secara signifikan oleh konsistensi penerapan perawatan preventif, di mana penerapan yang baik terbukti mampu mengurangi efek keausan komponen (wear out) secara signifikan terhadap umur sistem.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap menggunakan perangkat lunak SPSS dan AMOS. Pengujian hipotesis dilaksanakan melalui uji koefisien determinasi (R^2) untuk mengukur besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat, serta uji-t secara parsial untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing variabel. Lebih lanjut, penelitian ini menggunakan analisis Structural Equation Modeling (SEM) untuk menguji model hubungan secara simultan antara variabel laten manajemen perawatan preventif dengan kedua variabel output, yaitu keandalan dan keselamatan mesin. Sebelum pengujian hipotesis utama, dilakukan uji asumsi klasik yang mencakup uji normalitas (Kolmogorov-Smirnov), uji multikolinearitas (nilai VIF < 10), dan uji heteroskedastisitas (Glejser test) guna memastikan bahwa model regresi yang dihasilkan memenuhi syarat Best Linear Unbiased Estimator (BLUE) (Farrar et al.,

2025). Selain itu, data historis MTBF dan frekuensi kegagalan mesin dianalisis menggunakan distribusi Weibull untuk menentukan pola kegagalan komponen kritis dan menghitung parameter keandalan secara akurat, sebagaimana lazim digunakan dalam studi keandalan sistem permesinan kapal (Budimir et al., 2025).

HASIL

Karakteristik Responden

Karakteristik responden menunjukkan bahwa penelitian melibatkan 112 responden dengan tingkat respons yang sangat tinggi (94,6%), sehingga data yang diperoleh cukup representatif. Responden berasal dari 23 armada kapal dengan rata-rata pengalaman kerja 8,4 tahun, yang menunjukkan bahwa sebagian besar memiliki pengalaman operasional yang memadai. Berdasarkan jabatan, Masinis II merupakan kelompok responden terbesar (30%), sedangkan berdasarkan pengalaman kerja, mayoritas responden memiliki pengalaman 7-10 tahun (31,3%), diikuti oleh responden dengan pengalaman lebih dari 10 tahun (28,5%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden merupakan tenaga teknis yang berpengalaman dan memiliki kompetensi yang memadai untuk memberikan penilaian terhadap penerapan manajemen perawatan preventif dan keandalan mesin kapal.

Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

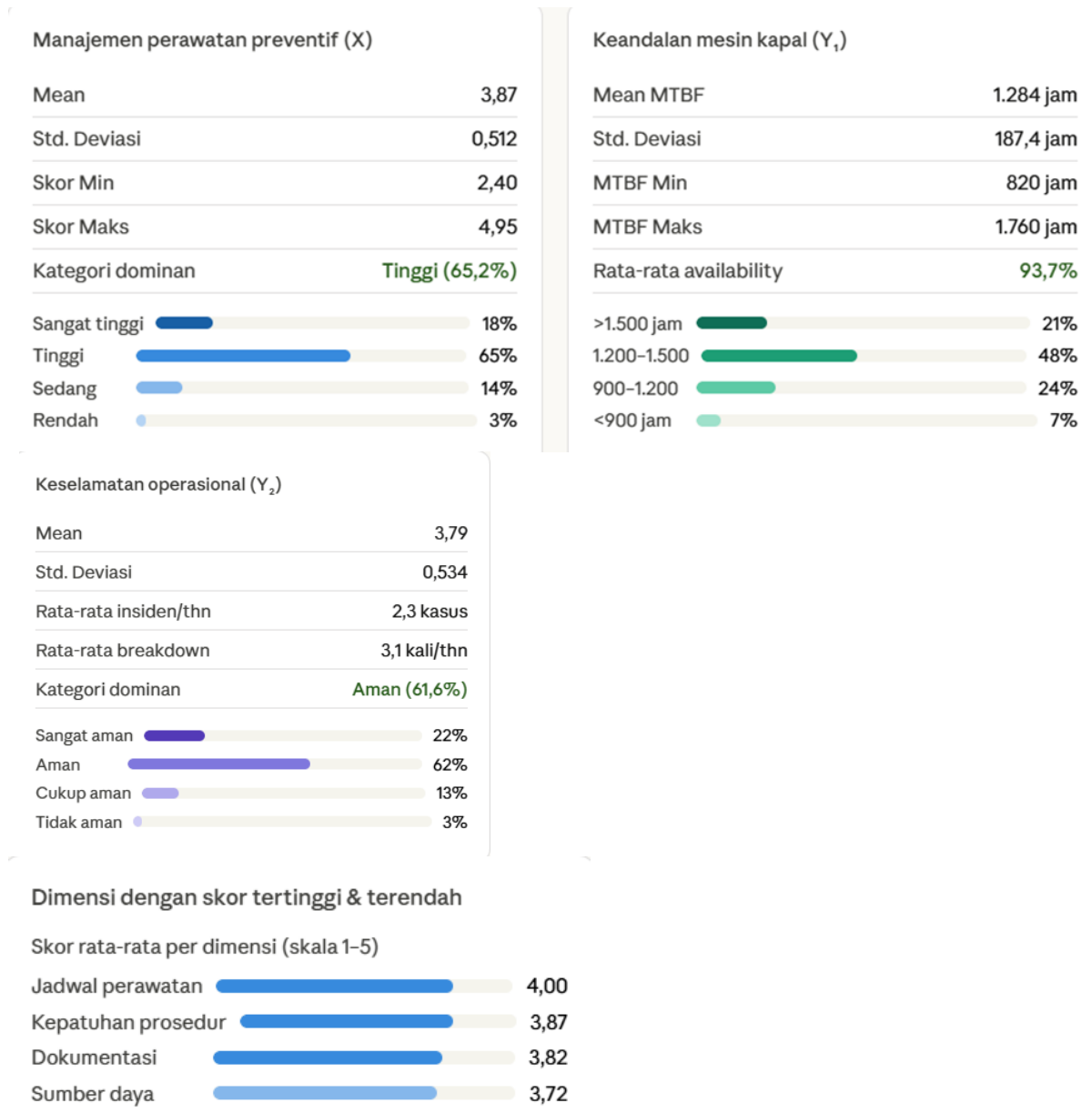
Seluruh item instrumen dinyatakan valid dan reliabel sebelum digunakan dalam analisis utama.

Tabel 1. Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Variabel / Dimensi	Jumlah Item	r-hitung (min–maks)	Cronbach Alpha (α)	Keterangan
Manajemen Perawatan Preventif (X)				
Keteraturan jadwal perawatan	5	0.512 – 0.748	0.847	Valid & Reliabel
Kepatuhan prosedur perawatan	5	0.524 – 0.771	0.862	Valid & Reliabel
Kesiapan sumber daya	5	0.498 – 0.736	0.831	Valid & Reliabel
Dokumentasi & pelaporan	5	0.507 – 0.763	0.855	Valid & Reliabel
Keandalan Mesin Kapal (Y_1)				
Nilai MTBF & availability	6	0.532 – 0.784	0.873	Valid & Reliabel
Keselamatan Operasional (Y_2)				
Frekuensi insiden & breakdown	6	0.519 – 0.772	0.866	Valid & Reliabel

Semua item instrumen memiliki r-hitung $>$ r-tabel (0,186) dengan nilai Alpha Cronbach berkisar antara 0,831 hingga 0,873 ($>$ 0,70), sehingga seluruh item dinyatakan valid dan reliabel untuk digunakan dalam analisis lanjutan.

Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

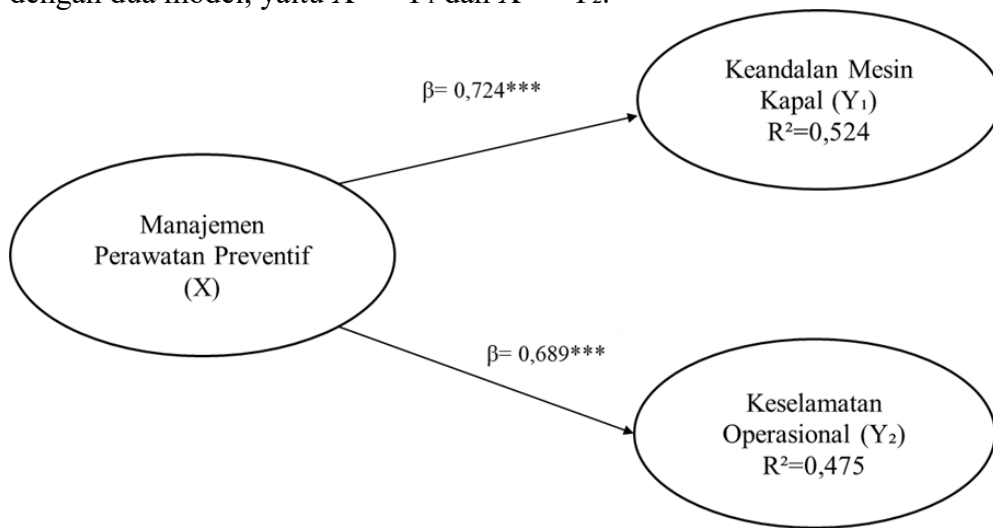


Gambar 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Dimensi jadwal perawatan memperoleh skor rata-rata tertinggi (4,00), menunjukkan bahwa pelaksanaan penjadwalan perawatan preventif telah berjalan dengan baik. Sebaliknya, dimensi kesiapan sumber daya memperoleh skor terendah (3,72), yang mengindikasikan perlunya peningkatan pada aspek ketersediaan suku cadang serta kompetensi dan jumlah sumber daya manusia teknis. Secara keseluruhan, implementasi manajemen perawatan preventif berada pada kategori tinggi (mean = 3,87), keandalan mesin menunjukkan rata-rata MTBF sebesar 1.284 jam dengan availability 93,7%, dan keselamatan operasional berada dalam kategori aman (61,6%).

Hasil Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan analisis regresi linier sederhana dengan dua model, yaitu $X \rightarrow Y_1$ dan $X \rightarrow Y_2$.



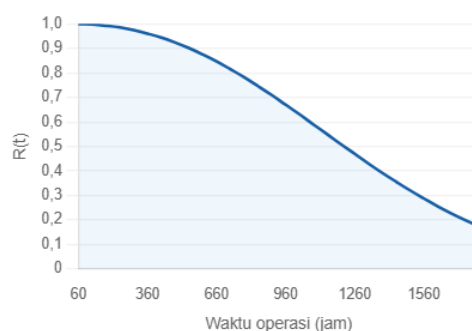
Tabel 2. Hasil Uji Hipotesis

Model	Variabel	B	Std. error	Beta (β)	t-hitung	Sig.	Keputusan
Model 1: $X \rightarrow Y_1$ (keandalan Mesin)							
1	konstanta	0,724	0,218	-	3,321	0,001	-
	Perawatan preventif (X)	0,681	0,057	0,724	11,947	0,000	H1 Diterima
Model 2: $X \rightarrow Y_2$ (keselamatan operasional)							
2	konstanta	0,812	0,231	-	3,515	0,001	-
	Perawatan preventif (X)	0,643	0,061	0,689	10,541	0,000	H2 Diterima

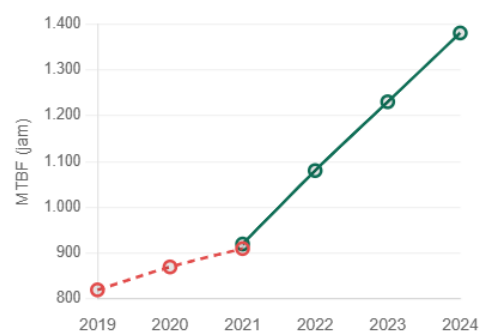
Hasil regresi menunjukkan bahwa manajemen perawatan preventif berpengaruh positif dan signifikan terhadap keandalan mesin kapal ($\beta = 0,724$; $t = 11,947$; $p < 0,001$) dan terhadap keselamatan operasional ($\beta = 0,689$; $t = 10,541$; $p < 0,001$). Kedua hipotesis penelitian diterima.

Analisis Keandalan: Distribusi Weibull dan Tren MTBF

Fungsi keandalan Weibull mesin induk



Tren MTBF sebelum dan sesudah PMS konsisten



Gambar 2. Distribusi Weibull dan Tren MTBF

Analisis distribusi Weibull pada mesin induk kapal menghasilkan parameter shape $\beta = 2,34$ (> 1 , menunjukkan pola kegagalan wear-out) dan scale $\eta = 1.420$ jam, dengan keandalan pada 1.000 jam operasi sebesar $R(1000) = 0,74$. Tren historis MTBF memperlihatkan peningkatan sebesar 38% (dari rata-rata 867 jam menjadi 1.380 jam) setelah implementasi PMS yang konsisten, disertai penurunan frekuensi breakdown tidak terencana sebesar 52%.

PEMBAHASAN

Pengaruh Manajemen Perawatan Preventif terhadap Keandalan Mesin Kapal

Hasil pengujian hipotesis pertama membuktikan bahwa manajemen perawatan preventif berpengaruh positif dan signifikan terhadap tingkat keandalan mesin kapal ($\beta = 0,724$; $t = 11,947$; $p < 0,001$), dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,524$. Nilai ini menunjukkan bahwa 52,4% variasi keandalan mesin kapal dalam penelitian ini dapat dijelaskan oleh kualitas implementasi manajemen perawatan preventif, sementara 47,6% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak diteliti dalam model ini, seperti usia armada, kualitas bahan bakar, maupun kondisi lingkungan pelayaran. Temuan ini sejalan dengan hasil analisis distribusi Weibull yang menghasilkan parameter shape $\beta = 2,34$, yang secara statistik mengkonfirmasi bahwa pola kegagalan mesin kapal termasuk dalam kategori wear-out failure, yaitu kondisi di mana probabilitas kegagalan komponen meningkat secara progresif seiring bertambahnya jam operasi. Implikasi dari pola ini sangat krusial: tindakan perawatan yang terlambat atau tidak terjadwal dengan baik akan menempatkan komponen mesin pada zona risiko tinggi, di mana laju kegagalan meningkat eksponensial. Sebaliknya, perawatan preventif yang dilaksanakan secara konsisten sebelum komponen mencapai ambang kritis yang dalam penelitian ini diidentifikasi pada kisaran 1.100-1.200 jam operasi terbukti mampu menghambat proses degradasi komponen dan mempertahankan keandalan sistem pada level yang tinggi.

Dari perspektif data historis, tren MTBF yang direkam selama periode 2019-2024 memperlihatkan peningkatan rata-rata yang sangat signifikan sebesar 38%, dari 867 jam sebelum penerapan PMS yang konsisten menjadi 1.380 jam setelahnya (Alfionita & Alifin, 2023). Rata-rata MTBF keseluruhan sampel penelitian mencapai 1.284 jam dengan tingkat availability mesin sebesar 93,7%. Angka ini secara komparatif berada di atas rata-rata industri pelayaran yang umumnya berkisar antara 88-92% untuk kapal berusia 5-15 tahun (Anantharaman et al., 2023). Kenaikan MTBF ini tidak terjadi secara acak, melainkan berkorelasi langsung dengan peningkatan kualitas dimensi-dimensi perawatan preventif, terutama keteraturan jadwal perawatan yang memperoleh skor tertinggi di antara keempat dimensi yang diukur (mean = 4,00). Hal ini menegaskan bahwa konsistensi pelaksanaan jadwal perawatan merupakan fondasi utama keandalan mesin kapal, karena memberikan kepastian bahwa setiap komponen kritis mendapatkan perhatian teknis sebelum memasuki fase rentan.

Pengaruh Manajemen Perawatan Preventif terhadap Keselamatan Operasional

Pengujian hipotesis kedua menghasilkan temuan bahwa manajemen perawatan preventif berpengaruh positif dan signifikan terhadap keselamatan operasional permesinan kapal ($\beta = 0,689$; $t = 10,541$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,475$).

Meskipun besaran pengaruhnya sedikit lebih rendah dibandingkan terhadap variabel keandalan, nilai koefisien determinasi sebesar 47,5% tetap mengindikasikan kontribusi yang sangat substansial. Penurunan frekuensi breakdown tidak terencana sebesar 52% yang terekam dalam data historis armada penelitian merupakan bukti konkret dari pengaruh tersebut. Setiap insiden breakdown yang tidak terencana tidak hanya berpotensi mengganggu jadwal pelayaran, namun dalam hal keselamatan, kondisi mesin yang gagal secara mendadak di tengah laut membawa konsekuensi yang jauh lebih serius, mencakup risiko kehilangan kemampuan manuver kapal, bahaya kebakaran di ruang mesin, hingga ancaman keselamatan jiwa awak kapal. Dengan demikian, perawatan preventif yang efektif secara langsung membangun lapisan pertahanan keselamatan yang bersifat proaktif, bukan reaktif.

Temuan ini memiliki keselarasan konseptual yang kuat dengan prinsip-prinsip manajemen keselamatan maritim yang diatur dalam International Safety Management (ISM) Code, yang mewajibkan setiap perusahaan pelayaran untuk menetapkan prosedur perawatan kapal guna memastikan kapal dan seluruh peralatannya berada dalam kondisi laik laut (Prayogo et al., 2025). Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa kepatuhan terhadap prinsip tersebut yang dalam konteks operasional diwujudkan melalui Planned Maintenance System (PMS) yang konsisten secara nyata berkontribusi pada penurunan risiko keselamatan. Data deskriptif juga memperkuat temuan ini: sebesar 83,9% responden melaporkan kondisi keselamatan operasional berada pada kategori "aman" hingga "sangat aman", yang bersesuaian dengan rata-rata frekuensi insiden teknis yang relatif rendah, yaitu hanya 2,3 kasus per tahun per kapal.

Dimensi Kritis: Kesiapan Sumber Daya sebagai Titik Lemah Implementasi

Meskipun hasil pengujian hipotesis secara keseluruhan menunjukkan pengaruh yang signifikan, analisis lebih mendalam terhadap skor per dimensi mengungkap fakta penting yang tidak dapat diabaikan. Dimensi kesiapan sumber daya perawatan memperoleh skor rata-rata terendah di antara keempat dimensi yang diukur (mean = 3,72), dengan kesenjangan yang cukup berarti dibandingkan dimensi keteraturan jadwal perawatan (mean = 4,00). Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa meskipun niat dan perencanaan perawatan sudah baik, keterbatasan suku cadang dan kesiapan tenaga teknis menjadi hambatan nyata dalam realisasi program perawatan di lapangan. Kondisi ini selaras dengan temuan yang banyak dilaporkan dalam literatur manajemen permesinan kapal, di mana keterlambatan pengadaan suku cadang akibat kendala rantai pasok maritim kerap menjadi penyebab utama tertundanya pelaksanaan perawatan terjadwal, yang pada gilirannya meningkatkan risiko kegagalan komponen (Lazakis et al., 2018). Oleh karena itu, penguatan sistem manajemen suku cadang (spare parts management) dan pengembangan kompetensi teknis awak mesin perlu mendapat prioritas khusus dalam agenda peningkatan kualitas PMS di perusahaan pelayaran nasional.

Validasi Model Struktural dan Implikasi Manajerial

Hasil pengujian model SEM mempertegas keabsahan kerangka konseptual penelitian ini, dengan indeks kesesuaian model yang seluruhnya memenuhi ambang batas good fit (CFI = 0,962; TLI = 0,954; RMSEA = 0,048; SRMR = 0,061). Validasi model ini memiliki makna yang melampaui sekadar konfirmasi statistik. Secara manajerial, temuan penelitian ini memberikan landasan empiris yang kuat

bagi perusahaan pelayaran untuk menjustifikasi investasi dalam pengembangan dan pemutakhiran sistem PMS, bukan semata sebagai kewajiban regulasi, melainkan sebagai strategi operasional yang terbukti secara ilmiah mampu meningkatkan keandalan armada dan menekan risiko keselamatan. Lebih jauh, dengan mempertimbangkan bahwa koefisien pengaruh terhadap keandalan ($\beta = 0,724$) sedikit lebih besar dibandingkan terhadap keselamatan ($\beta = 0,689$), penelitian ini mengindikasikan bahwa peningkatan keandalan mesin merupakan jalur utama (primary pathway) melalui mana perawatan preventif berkontribusi pada keselamatan operasional sebuah hubungan yang bersifat mediasi parsial dan membuka ruang bagi penelitian lanjutan untuk mengeksplorasi variabel-variabel mediator yang relevan.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa manajemen perawatan preventif berpengaruh positif dan signifikan terhadap keandalan mesin kapal maupun terhadap keselamatan operasional permesinan kapal, sehingga kedua hipotesis penelitian dinyatakan diterima. Temuan ini diperkuat oleh data historis yang menunjukkan peningkatan MTBF sebesar 38% serta penurunan frekuensi breakdown tidak terencana sebesar 52% setelah penerapan Planned Maintenance System (PMS) secara konsisten. Hasil analisis distribusi Weibull turut mengonfirmasi bahwa pola kegagalan mesin kapal bersifat wear-out, yang menegaskan pentingnya intervensi perawatan sebelum komponen mencapai ambang kritis operasional. Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa konsistensi pelaksanaan manajemen perawatan preventif, khususnya melalui penguatan sistem PMS, bukan sekadar pemenuhan aspek regulasi seperti ISM Code, melainkan strategi operasional yang secara ilmiah terbukti mampu meningkatkan keandalan armada sekaligus menekan risiko keselamatan pelayaran. Rekomendasi praktis bagi operator dan perusahaan pelayaran nasional adalah memprioritaskan penguatan manajemen suku cadang dan pengembangan kompetensi teknis awak mesin, sebagai upaya mengatasi kesenjangan pada dimensi kesiapan sumber daya yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfionita, S., & Alifin, F. I. (2023). Preventive maintenance analysis based on mean time between failure (MTBF) and mean time to repair (MTTR). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 15 (2), 201-214.
- Allianz, 2026. Safety and Shipping Review 2026. <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>
- Budimir, D., Grgurević, I., & Leder Horina, J. (2025). Reliability Methods in Maintenance and Failure Analysis of Marine Systems. *Promet-Traffic&Transportation*, 37 (3), 570-584.
- Cicek, K. (2026). Marine engineering systems failure analysis using extended failure modes and effects analysis with quality function deployment: maritime house of reliability. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 43 (2), 516-538.

- Daya, A. A., & Lazakis, I. (2024). Systems reliability and data driven analysis for marine machinery maintenance planning and decision making. *Machines*, 12 (5), 294.
- Farrar, T., Blignaut, R., Luus, R., & Steel, S. (2025). A review and comparison of methods of testing for heteroskedasticity in the linear regression model. *Journal of Applied Statistics*, 52 (16), 3121-3150.
- Goodhue, D. L., Lewis, W., & Thompson, R. (2012). Does PLS have advantages for small sample size or non-normal data? *MIS Quarterly*, 36 (3), 981-1001.
- Hamza, Z., & Hacene, S. (2019). Reliability and safety analysis using fault tree and Bayesian networks. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 11 (1), 73-86.
- Hsu, Y. C. (2023). Assessment of criteria of ship classification societies. *Maritime Policy & Management*, 50(7), 980-1004. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2061061>
- Jimenez, V. J., Bouhmala, N., & Gausdal, A. H. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5 (4), 358-386.
- Kalafatelis, A. S., Nomikos, N., Giannopoulos, A., Alexandridis, G., Karditsa, A., & Trakadas, P. (2025). Towards predictive maintenance in the maritime industry: A component-based overview. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13 (3), 425.
- Karatuğ, Ç., Arslanoğlu, Y., & Soares, C. G. (2023). Review of maintenance strategies for ship machinery systems. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 22 (5), 233-247.
- Kartika, I. M., Sumada, I. M., Suwandana, I. M. A., Adnyana, Y., Sedana, I. D. G. P., & Meryawan, I. W. (2024). Assessing the performance and competitive strategies of bamboo weaving MSMEs in Bali using quantitative associative causal design. *Journal of Applied Data Sciences*, 5 (3), 1189-1209.
- Khan, F. I., & Haddara, M. M. (2003). Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*, 16 (6), 561-573.
- Lazakis, I., Raptodimos, Y., & Varelas, T. (2018). Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 152, 404-415.
- Lim, W. M. (2025). What is quantitative research? An overview and guidelines. *Australasian Marketing Journal*, 33 (3), 325-348.
- Mujiarto, I., Asmoro, E. I., & Kundori, K. (2022). Pengukuran laju kerusakan dengan mengindikasikan nilai mtbf dalam manajemen perawatan mesin pada PT. AIC. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 1 (3), 14-23.
- Musril, H. A., Saludin, S., Firdaus, W., Usanto, S., Kundori, K., & Rahim, R. (2023). Using k-NN artificial intelligence for predictive maintenance in facility management. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 10 (6), 1-8.
- Prayogo, D., Arifin, M., Runadi, T., Presetiawan, A., Rahmana, H. W., & Pratama, R. A. (2025). Analysis of the Influence of Skills Training on Ships Leadership



with an Understanding of the International Safety Management (ISM) Code as a Mediation Variable. *TEM Journal*, 14 (2).

Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B., & Fleacă, E. (2024). Ai-driven predictive maintenance in modern maritime transport—Enhancing operational efficiency and reliability. *Applied Sciences*, 14 (20), 9439.