

Tinjauan Sistem Monitoring Dan Manajemen Perawatan Mesin Kapal : Integrasi Teknologi Digital Dan Pendekatan Prediktif

Ivana Bulawanta Purba¹, Haikal Auliansyah Putra², Leonio Soares Da Cruz³

¹²³Prodi Permesinan Kapal, Fakultas Vokasi Logistik Militer, Universitas Pertahanan Indonesia

Alamat : Fatukety, Kakuluk Mesak, Belu-NTT

Email : ivanapurba67@gmail.com

Abstrak

Mesin kapal merupakan komponen vital dalam menjaga keselamatan, efisiensi, dan keandalan operasi pelayaran. Permasalahan utama yang dihadapi adalah kerusakan mendadak akibat keterlambatan perawatan serta keterbatasan monitoring kondisi mesin. Penelitian ini bertujuan meninjau literatur nasional dan internasional terkait sistem monitoring serta manajemen perawatan mesin kapal. Metode yang digunakan adalah kajian literatur sistematis terhadap 10 artikel ilmiah, terdiri dari 7 jurnal nasional dan 3 jurnal internasional. Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian nasional lebih banyak berfokus pada perancangan sistem monitoring berbasis IoT, digitalisasi data mesin, serta penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM). Sementara itu, literatur internasional lebih menekankan penerapan metode prediktif berbasis kecerdasan buatan, analisis getaran dan machine learning untuk condition-based maintenance. Rekomendasi penelitian ke depan adalah integrasi IoT dengan kecerdasan buatan untuk mendukung efisiensi perawatan mesin kapal di Indonesia.

Kata kunci: Mesin Kapal, Sistem Monitoring, Perawatan Prediktif, Lot, Manajemen Perawatan

Abstract

Ship engines are a vital component in maintaining the safety, efficiency, and reliability of shipping operations. The main problems faced are sudden breakdowns due to delayed maintenance and limited engine condition monitoring. This study aims to review national and international literature related to ship engine monitoring and maintenance management systems. The method used was a systematic literature review of 10 scientific articles, consisting of 7 national journals and 3 international journals. The results indicate that national research focuses primarily on designing IoT-based monitoring systems, digitizing engine data, and implementing Reliability-Centered Maintenance (RCM). Meanwhile, international literature emphasizes the application of predictive methods based on artificial intelligence, vibration analysis, and machine learning for condition-based maintenance. Future research recommendations include the integration of IoT with artificial intelligence to support efficient ship engine maintenance in Indonesia.

Keywords: Ship Engine, Monitoring System, Predictive Maintenance, Lot, Maintenance Management

1. Pendahuluan

Industri pelayaran modern menuntut keandalan mesin kapal yang tinggi untuk menjamin kelancaran operasi. Mesin induk maupun mesin bantu memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dan kegagalan pada salah satu komponennya dapat menimbulkan kerugian besar. Menurut Herlambang (2022), manajemen perawatan yang kurang optimal menjadi salah satu penyebab meningkatnya downtime mesin pada kapal. Sistem perawatan yang masih dominan adalah time-based maintenance dengan jadwal berkala. Namun, menurut Lazakis dan Theotokatos (2018), pendekatan tersebut memiliki kelemahan, seperti biaya tinggi, risiko over-maintenance, dan tidak mampu mengantisipasi kegagalan mendadak. Oleh karena itu, pendekatan condition-based maintenance (CBM) dan predictive menjadi pilihan yang lebih efektif. Di Indonesia, penelitian lebih banyak difokuskan pada perancangan sistem monitoring sederhana berbasis IoT. Misalnya, Agustini (2023) merancang sistem monitoring digital untuk RPM dan temperature minyak pelumas mesin kapal. Penelitian serupa dilakukan oleh Cahyono dan Wibowo (2024) yang mengembangkan sistem monitoring kinerja main

engine. Menurut JCS (2025), integrasi sensor dengan notifikasi real-time dapat meningkatkan kesiapan operasional mesin di atas kapal.

Sebaliknya, literatur internasional telah bergerak ke arah pemanfaatan analisis data skala besar. Menurut Gkerekos, Lazakis, dan Theotokatos (2016), data getaran dapat digunakan untuk mendeteksi potensi kerusakan mesin melalui supervised learning. Karatug et al. (2023) mengembangkan sistem pendukung Keputusan berbasis hybrid predictive maintenance untuk dukung efisiensi perawatan. Berdasarkan uraian tersebut, terlihat bahwa ditingkat nasional, riset masih berfokus pada proof of concept untuk sistem monitoring digital, sementara tren global sudah beralih pada pemanfaatan kecerdasan buatan untuk prediksi kerusakan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau literatur nasional dan internasional terkait sistem monitoring dan manajemen perawatan mesin kapal, serta memberikan rekomendasi arah pengembangan riset di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan sistematis. Artikel yang dijadikan

rujukan terdiri 10 publikasi ilmiah, yaitu 7 jurnal nasional dan 3 jurnal internasional yang relevan dengan topik monitoring dan manajemen perawatan mesin kapal. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran database jurnal daring serta repositori institusi Pendidikan tinggi

Kriteria inklusi yang digunakan dalam seleksi artikel adalah sebagai berikut : (1) artikel membahas sistem monitoring mesin kapal, manajemen perawatan, atau predictive maintenance; (2) artikel dipublikasikan dalam kurun waktu lima tahun terakhir; (3) artikel memiliki relevansi langsung dengan aspek perawatan mesin kapal.

Artikel yang memenuhi kriteria kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis isi (content analysis). Proses analisis dilakukan dengan mengelompokkan artikel berdasarkan focus kajian yaitu sistem monitoring berbasis IoT, strategi manajemen perawatan, serta predictive maintenance berbasis analisis data. Hasil analisis selanjutnya disintesis untuk mengidentifikasi tren penelitian, perbedaan antara publikasi nasional dan internasional, serta peluang pengembangan penelitian di masa depan.

No	Referensi	Metode/pendekatan	Teknologi/Fokus	Temuan Utama
1.	Herlambang (2022)	Studi kasus	Manajemen perawatan kapal latih	Menegaskan manajemen perawatan yang lemah = naiknya downtime
2.	Agustini (2023)	Rancang bangun (IoT prototype)	Monitoring RPM & temperature pelumas	IoT efektif untuk digitalisasi parameter dasar
3.	Cahyono & Wibowo (2024)	Rancang bangun/eksperimen	Monitoring kinerja main engine (IoT)	Monitoring real-time membantu deteksi awal anomali
4.	PDP Journal (2024)	Eksperimental / analisis data	Pengaruh kualitas bahan bakar	Kualitas bahan bakar signifikan mempengaruhi performa & kebutuhan perawatan
5.	Industrika (2024)	Analisis metode (RCM)	Reliability Centered Maintenance	RCM mampu meningkatkan efisiensi perawatan
6.	Saintara (2025)	Studi konsep/ implementasi awal	Pemeliharaan berbasis AI	AI potensial memprediksi kebutuhan perawatan
7.	JCS (2025)	Rancang-bangun sistem	Engine Health Control System (real-time)	Notifikasi real-time memperbaiki respons operasi
8.	Gkerekos et al. (2016)	Data-driven / ML (vibration)	Analisis getaran + supervised learning	Deteksi dini kerusakan via pola getaran
9.	Lazakis & Theotokatos (2018)	Metode gabungan (reliability + data)	Reliability analysis + data-driven	Integrasi reliability & data-driven meningkatkan akurasi prediksi
10.	Karatuğ et al. (2023)	Decision support (hybrid)	Hybrid predictive maintenance	Sistem pendukung keputusan menurunkan biaya perawatan

Tabel 1. Daftar referensi acuan

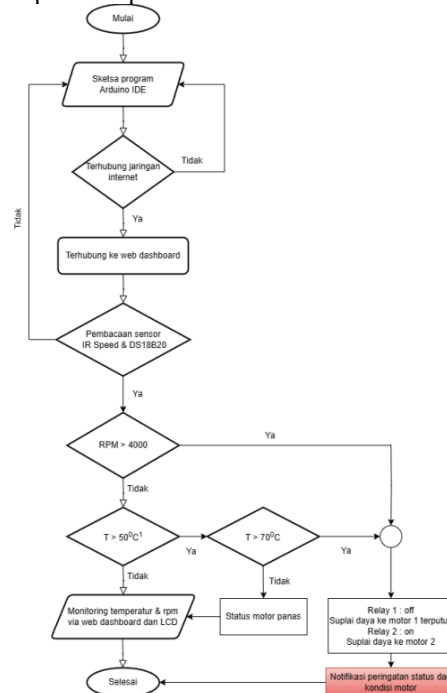
Sumber: Diolah peneliti

3. Hasil dan Pembahasan

Kajian literatur terhadap 10 artikel menunjukkan adanya tiga arah utama penelitian terkait monitoring dan manajemen perawatan mesin kapal.

Pertama, penelitian nasional lebih banyak menitikberatkan pada pengembangan sistem berbasis

IoT. Agustini (2023) merancang digitalisasi data RPM dan temperature pelumas



Gambar 1. Flowchart kerja software monitoring RPM dan temperatur minyak lubrikan

Sedangkan Cahyono & Wibowo (2024) mengembangkan sistem monitoring kinerja main engine. Jadi main engine diukur menggunakan sensor thermocouple dan IR sensor. Sementara pemantauan melalui Blynk menggunakan ESP32 sebagai server atau pemrosesan data.

1. Pengujian ESP32

ESP32 digunakan sebagai cloud server. Sebelum dihubungkan ke hp, perlu diberi coding menggunakan software Arduino Uno kemudian upload coding ke ESP32. Hubungkan ESP32 ke jaringan internet kemudian cocokkan username dan password di hp maupun di ESP32.

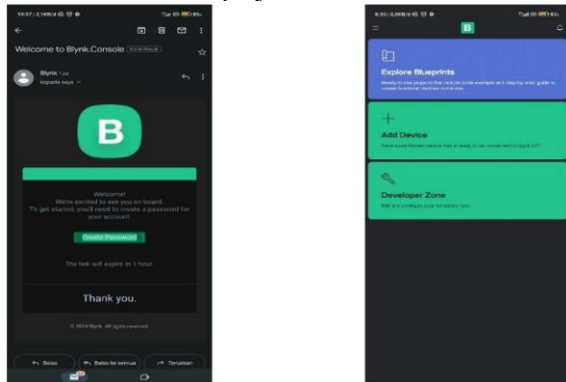


Gambar 2. Pengujian alat ESP32

2. Pengujian Blynk

Dilakukan dengan cara mendaftarkan akun dengan menggunakan alamat email. Kemudian verifikasi di Gmail lalu buat

password untuk akun baru. Setelah itu buka aplikasi blynk di hp lalu log in, kemudian tambahkan proyek baru.



Gambar 4. Pendaftaran Blynk

3. Pengujian Thermocouple

Dengan cara menempatkan hot junction atau ujung thermocouple ditempat yang akan diukur. Pastikan thermocouple sudah terhubung atau terpasang dengan ESP32 di breadboard menggunakan kabel jumper. Kemudian ESP32 akan menampilkan data yang diterima dari thermocouple berupa suhu panas melalui Blynk



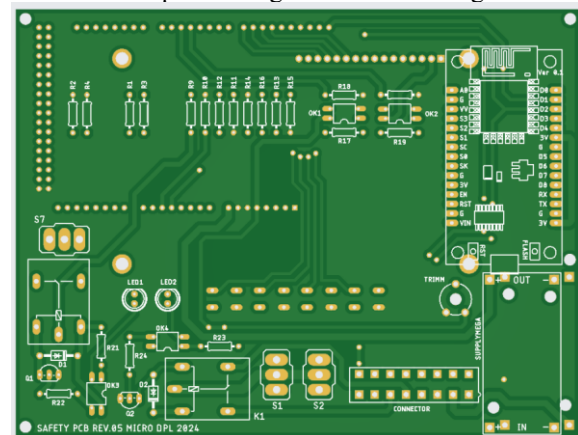
Gambar 3. Pengujian Termocouple dan RPM

Tabel 2. Hasil pengujian Termocouple dan RPM

NO	MENIT	SUHU (°C)	RPM	STATUS
1.	1 menit	26	24.500	Normal
2.	5 menit	45	24.500	Perhatian
3.	10 menit	52	24.500	Kritis

- JCS (2025) merancang engine health control system dengan notifikasi real-time, dengan mendesain PCB yang dibuat menggunakan aplikasi Eagle. PCB dirancang untuk mengakomodasi semua komponen utama seperti Arduino Mega, ESP8266, input sensor (Pressure Oil, Suhu, RPM, Battery), dan modul pendukung lainnya seperti regulator tegangan. Proses routing pada PCB

dilakukan secara cermat dengan mempertimbangkan efisiensi ruang.



Gambar 4. Desain PCB

Hasil ini memperlihatkan bahwa digitalisasi monitoring menjadi solusi awal dalam meningkatkan keterpantauan kondisi mesin kapal. Namun, sebagian besar penelitian masih sebatas proof of concept tanpa implementasi nyata di kapal komersial.

Kedua, terdapat kelompok penelitian yang membahas strategi manajemen perawatan. Herlambang (2022) menyoroti pentingnya manajemen perawatan di kapal latih. Schedule perawatan sebagai berikut,

- Periodic maintenance schedule:
Tiap bulan melakukan perawatan 6 item dan kadang juga 2 item. melakukan perawatan 1 jenis item perawatan jenis yang baru dapat dilakukan pada 2 bulan berikut atau 3 bulan berikut dan seterusnya sampai setahun, artinya jenis perawatan ini dilakukan sekali setahun.
 - Schedule for engine equipment maintenance:
Perawatan yang dilakukan juga dalam setahun dimana tiap bulannya tetap melakukan 8 item yang sama dalam waktu (tanggal) yang sama pula pada bulan berikutnya. Misalnya perawatan bulan januari setiap tanggal 1, tanggal 8, tanggal 10, tanggal 15, tanggal 18, tanggal 22, tanggal 26, dan tanggal 29. Pada bulan february hingga desember melakukan perawatan jenis item yang sama pada tanggal yang sama.
- PDP Journal (2024) mengkaji pengaruh kualitas bahan bakar terhadap performa mesin, dalam pembahasannya bahan bakar sangat berpengaruh terhadap performa dan perawatan mesin induk kapal.

Industrika Journal (2024) mengaplikasikan metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Dengan menerapkan Reliability Centered Maintenance (RCM), informasi mengenai langkah-langkah yang perlu diambil untuk memastikan mesin atau peralatan beroperasi secara optimal dapat diperoleh, Manfaat dari pendekatan RCM adalah

peningkatan efektivitas kegiatan perawatan karena terjadi pengurangan waktu downtime, sehingga waktu penggunaan mesin dapat dimaksimalkan secara lebih optimal. Langkah-langkah dalam melaksanakan Reliability Centered Maintenance (RCM), diantaranya :

- a. Pemilihan sistem serta pengumpulan informasi Proses RCM pada sistem yang dianalisis memberikan informasi rinci tentang fungsionalitas dan kemungkinan malfungsi komponen
 - b. Definisi batasan sistem Definisi sistem dilaksanakan untuk memastikan bahwa ruang lingkup sistem yang diidentifikasi dan dievaluasi menjadi lebih jelas dan terstruktur
 - c. Deskripsi sistem dan Functional Diagram Block (FDB) Diagram blok fungsional mengilustrasikan relasi antara fungsi utama dan komponen pendukung atau sub-sistem. dengan cara ini, struktur sistem dan interaksi antar komponen dapat dipahami, dan hasilnya dapat digunakan untuk merencanakan jadwal perawatan di masa mendatang.
6. Zona Mesin (2025) menelaah sistem perawatan mesin kapal secara menyeluruh Perawatan (preventive maintenance) terbagi atas tiga model:
- Periodic maintenance
adalah pelaksanaan service yang harus dilakukan setelah peralatan bekerja untuk jumlah jam operasi tertentu. Jumlah jam kerja ini adalah sesuai dengan jumlah yang ditunjukkan oleh pencatat jam operasi (service meter) yang ada pada alat tersebut .
 - Schedule Overhaul
Perawatan yang dilakukan dengan interval tertentu sesuai dengan standard overhaul di lakukan yang telah ditemukan terhadap masing-masing komponen yang ada. Schedule overhaul dilaksanakan untuk merekondisi machine atau komponen agar kembali ke kondisi standard sesuai dengan Standard Factory.
 - Condition Base Maintenance
Jenis perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan kondisi unit seperti semula (standard), dengan cara melakukan pekerjaan service Seperti: PPM, PPU yang hasil pengukurannya disesuaikan dengan standard yang terbaru (service news dan modification program).
Artikel-artikel ini menekankan bahwa aspek manajerial dan strategi pemeliharaan sama pentingnya dengan sistem monitoring digital.

Ketiga, baik pada level nasional maupun internasional, mulai muncul kajian terkait AI dan predictive maintenance.

7. Saintara Journal (2025) mengusulkan pemeliharaan berbasis kecerdasan buatan untuk mesin kapal, yaitu dengan penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam pemeliharaan prediktif di sektor maritim, yang berfokus pada peningkatan efisiensi operasional, efisiensi bahan bakar, pengurangan emisi, dan peningkatan keselamatan kapal.
8. Sementara itu, literatur internasional lebih matang dalam pendekatan ini. **Gkerekos et al. (2016)** memanfaatkan data getaran dan supervised learning untuk deteksi dini kerusakan. Dengan menggunakan metode mengumpulkan data kondisi mesin dari sensor, menggunakan algoritma pembelajaran mesin (decision tree, support vector machine, neural networks) untuk mendeteksi pola kerusakan.
9. **Lazakis & Theotokatos (2018)** mengintegrasikan analisis data dengan keandalan sistem. Metode yang digunakan yaitu dengan mengombinasikan reliability-centered maintenance (RCM) dengan analisis big data dari mesin dan menggunakan **probabilistic model** untuk memprediksi kegagalan komponen.
10. **Karatug et al. (2023)** bahkan mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis hybrid predictive maintenance. Menggunakan metode reliability-centered maintenance (RCM), condition-based maintenance (CBM), studi kasus pada bearing engine utama yang dimana data operasi mesin dipakai untuk mendeteksi kondisi pelumasan, terutama dibeban mesin rendah sehingga gangguan bisa dideteksi lebih awal sebelum kerusakan menjadi parah.
Hal ini menunjukkan bahwa internasional telah beralih pada pemanfaatan big data, sedangkan nasional masih dalam tahap awal digitalisasi.

Perbandingan ini menunjukkan adanya kesenjangan signifikan. Penelitian nasional masih berfokus pada monitoring digital dan manajemen perawatan berbasis jadwal, sedangkan penelitian internasional telah beralih pada integrasi big data dan kecerdasan buatan. Dengan demikian, terdapat peluang besar untuk mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT yang terintegrasi dengan algoritma prediktif sebagai langkah strategis menuju efisiensi perawatan mesin kapal di Indonesia.

Tabel 3. Temuan manfaat AI dalam pemeliharaan prediktif kapal

Temuan Peneliti an	Deskripsi Temuan	Referensi
Peningkatan Efisiensi Operasional	Pemeliharaan prediktif berbasis AI mengurangi <i>downtime</i> dan menghemat biaya perbaikan dengan mendeteksi kerusakan sejak dini.	Feng et al. (2022)
Peningkatan Keselamatan Kapal	Sistem AI mendeteksi anomali pada komponen mesin seperti suhu dan getaran, memungkinkan pencegahan kerusakan kritis yang berpotensi meningkatkan keselamatan.	Thombr e et al. (2020)
Efisiensi Bahan Bakar	AI menghemat konsumsi bahan bakar dengan mengoptimalkan kondisi operasional berdasarkan data sensor seperti cuaca dan kecepatan mesin.	Feng et al. (2022)
Pengurangan Emisi Gas Buang	AI mampu mengurangi emisi CO ₂ mendukung kebijakan lingkungan dengan mengoptimalkan pembakaran bahan bakar.	Molęda et al. (2023)
Pengurangan Biaya Operasional	Pemeliharaan prediktif menghemat biaya tahunan pemeliharaan dengan mengurangi frekuensi perbaikan besar. Potensi penghematan yang ditemukan pada kapal di Indonesia.	Zhang et al. (2022); Beşikçi et al. (2016)
Kepatuhan Terhadap PP No. 31 Tahun 2021	Penerapan AI mendukung kapal untuk memenuhi standar keselamatan dan emisi yang diatur oleh peraturan pemerintah dengan data operasional yang akurat dan sistematis.	Biro Hukum Kement erian Perhubungan (2021)

4. Kesimpulan

Penelitian ini meninjau 10 jurnal nasional dan internasional mengenai sistem monitoring dan manajemen perawatan mesin kapal. Tiga arah utama yaitu :

- Monitoring berbasis IoT : banyak diadopsi pada jurnal nasional untuk pemantauan parameter mesin
- Strategi manajemen perawatan : mencakup RPM, manajemen operasional, serta factor kualitas bahan bakar
- Predictive maintenance berbasis AI : berkembang pesat pada jurnal internasional, dengan focus pada analisis big data dan algoritma kecerdasan buatan

Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian nasional masih dominan pada tahap monitoring digital, sedangkan penelitian internasional telah maju ke predictive maintenance berbasis big data dan kecerdasan buatan. Arah penelitian masa depan mencakup integrasi kecerdasan buatan tingkat lanjut

seperti deep learning dan digital twin, pengembangan standar regulasi internasional, studi lapangan jangka panjang untuk menguji sistem prediktif. Ini akan memperkuat efektivitas perawatan prediktif dalam konteks industri maritim global.

Daftar Pustaka

- [1] Agustini, D. (2023). *Perancangan sistem monitoring digital RPM dan temperatur minyak pelumas mesin kapal berbasis IoT*. Jurnal Teknologi Maritim Indonesia, 5(2), 45–53.
- [2] Cahyono, A., & Wibowo, R. (2024). *Pengembangan sistem monitoring kinerja main engine menggunakan ESP32 dan Blynk*. Jurnal Teknik Elektro dan Maritim, 8(1), 22–30.
- [3] Gkerekos, C., Lazakis, I., & Theotokatos, G. (2016). *Machine learning models for predicting ship engine condition based on vibration data*. Ocean Engineering, 121, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.04.002>
- [4] Herlambang, B. (2022). *Manajemen perawatan mesin pada kapal latih untuk efisiensi operasional*. Jurnal Teknik dan Transportasi Laut, 4(3), 55–63.
- [5] Industrika Journal. (2024). *Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) pada sistem permesinan kapal*. Industrika Journal of Engineering and Technology, 3(1), 12–19.
- [6] JCS. (2025). *Perancangan engine health control system dengan notifikasi real-time menggunakan Arduino Mega dan ESP8266*. JCS Journal of Control System, 7(2), 78–86.
- [7] Karatug, O., Ozturk, U., Yildiz, C., & Inal, C. (2023). *A hybrid predictive maintenance framework for marine engines using reliability-centered and condition-based approaches*. Journal of Marine Science and Application, 22(4), 235–246. <https://doi.org/10.1007/s11804-023-00360-2>
- [8] Lazakis, I., & Theotokatos, G. (2018). *Integrating reliability, condition monitoring, and data analytics for ship machinery maintenance*. Journal of Marine Engineering & Technology, 17(3), 129–141. <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1448309>
- [9] PDP Journal. (2024). *Pengaruh kualitas bahan bakar terhadap performa dan perawatan mesin induk kapal*. Power, Diesel, and Propulsion Journal, 6(1), 33–41.
- [10] Saintara Journal. (2025). *Implementasi kecerdasan buatan dalam predictive maintenance mesin kapal untuk efisiensi energi dan keselamatan maritim*. Saintara Journal of Artificial Intelligence and Maritime Systems, 2(1), 14–25.
- [11] Zona Mesin. (2025). *Analisis sistem perawatan mesin kapal berdasarkan model preventive dan*

*condition-based maintenance. Zona Mesin:
Jurnal Teknik Mesin dan Kelautan, 9(2), 56–68.*