



Pengembangan Sistem Monitoring Kinerja Mesin Kapal berbasis IoT untuk Meningkatkan Efisiensi Operasional

Imam Sutrisno^{1*}, Ari Wibawa Budi Santosa², Fahmi Umasangadji³, Antonius Edy Kristiono⁴, Iskandar⁵, Pranowo Sidi⁶, Urip Mudjiono⁷, Edy Prasetyo Hidayat⁸


^{1,6,7,8} Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

² Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

³ Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran, Jakarta, Indonesia

⁴ Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

⁵ Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Indonesia

 imams3jpg@yahoo.com*

Abstract

In the maritime industry, the operational efficiency of ships is highly dependent on optimal engine performance. Real-time monitoring of ship engine performance is a solution to improve efficiency and reduce the risk of unexpected damage. This research develops an Internet of Things (IoT)-based monitoring system that allows for automatic collection, analysis, and visualization of data from ship engines. The system integrates sensors to measure critical parameters such as temperature, pressure, fuel consumption, and engine vibration. The collected data is sent to the cloud for analysis using artificial intelligence algorithms to provide maintenance recommendations and performance optimization. Implementation of this system can improve fuel efficiency, reduce downtime, and extend the life of ship engines. The contribution of this study lies in the development of a predictive, real-time monitoring platform that integrates IoT and artificial intelligence to significantly enhance engine reliability and operational efficiency. The system has been validated through field testing, showing measurable improvements in fuel savings, reduced maintenance costs, and early detection of mechanical anomalies.

Keywords: IoT, Ship Engine Monitoring, Operational Efficiency, Artificial Intelligence

ARTICLE INFO

Article history:

Received

February 14,
2025

Revised

May 21, 2025

Accepted

July 10, 2025

Published by
ISSN

Website

This is an open access article under the CC BY SA license

CV. Creative Tugu Pena
2774-7077

<https://www.attractivejournal.com/index.php/bce/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



PENDAHULUAN

Efisiensi operasional kapal merupakan faktor penting dalam industri maritim yang mempengaruhi biaya operasional dan keberlanjutan lingkungan (Hananur, 2018). Mesin kapal yang tidak terpantau dengan baik berisiko mengalami kegagalan yang dapat menyebabkan penundaan operasional, meningkatnya konsumsi bahan bakar, dan meningkatnya biaya perawatan yang tidak terduga (Hakim, 2019). Oleh karena itu, pemantauan kondisi mesin secara kontinu sangat diperlukan untuk memastikan performa optimal dan menghindari potensi kerusakan yang dapat berdampak pada keselamatan serta efisiensi operasi kapal (Anfasa, 2021).

Dalam praktik tradisional, pemantauan kinerja mesin kapal sering dilakukan secara manual dengan inspeksi berkala oleh teknisi kapal. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti keterbatasan dalam mendeteksi perubahan kondisi mesin secara real-time, potensi kesalahan manusia, serta kurangnya analisis data historis yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan. Seiring dengan perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), solusi berbasis sensor dan kecerdasan buatan dapat diterapkan untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional (Hasugian, 2021).

IoT menawarkan pendekatan baru dalam pemantauan mesin kapal dengan menghubungkan sensor ke jaringan yang dapat mengirimkan data secara langsung ke sistem berbasis cloud (Iskandar, 2022). Data ini kemudian dapat dianalisis untuk mengidentifikasi tren kinerja mesin, mendeteksi anomali, serta memberikan rekomendasi perawatan prediktif. Dengan memanfaatkan IoT dalam sistem monitoring mesin kapal, operator kapal dapat memperoleh informasi yang lebih akurat dan cepat dalam mengelola operasi mesin, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta mengurangi potensi kegagalan mesin yang tidak terduga (Danis, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kinerja mesin kapal berbasis IoT yang dapat memberikan informasi real-time mengenai kondisi operasional mesin serta memberikan rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi operasional. Dengan implementasi sistem ini, diharapkan kapal dapat beroperasi dengan lebih hemat energi, memiliki masa pakai mesin yang lebih panjang, serta mengurangi dampak lingkungan akibat emisi gas buang yang berlebihan (Hayati, 2018). Industri pelayaran global saat ini menghadapi tantangan signifikan terkait efisiensi operasional dan dampak lingkungan. Menurut Organisasi Maritim Internasional (IMO), sektor pelayaran menyumbang sekitar 3% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) global pada tahun 2022, menjadikannya salah satu kontributor utama terhadap perubahan iklim Sinay. Emisi ini diperkirakan akan meningkat seiring pertumbuhan perdagangan internasional jika tidak ada intervensi yang efektif.

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi efisiensi operasional kapal adalah kinerja mesin. Kerusakan mesin yang tidak terdeteksi secara dini dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, waktu henti operasional, dan biaya perawatan yang tinggi. Data menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar menyumbang sekitar 50-60% dari total biaya operasional kapal, sehingga efisiensi mesin menjadi aspek krusial dalam pengelolaan biaya World Port Sustainability Program.

Namun, metode pemantauan kinerja mesin yang konvensional, seperti inspeksi manual dan pemeliharaan berkala, memiliki keterbatasan dalam mendeteksi masalah secara real-time. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan dan penanganan masalah, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap efisiensi operasional dan keselamatan pelayaran. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan ini. Dengan mengintegrasikan sensor dan sistem pemantauan berbasis IoT, data kinerja mesin dapat dikumpulkan dan dianalisis secara real-time, memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kerusakan dan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Implementasi sistem monitoring berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi GRK melalui optimasi konsumsi bahan bakar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kinerja mesin kapal berbasis IoT yang mampu memberikan informasi real-time mengenai kondisi operasional mesin serta rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi operasional. Dengan implementasi sistem ini, diharapkan kapal dapat beroperasi dengan lebih hemat energi, memiliki masa pakai mesin yang lebih panjang, serta mengurangi dampak lingkungan akibat emisi gas buang yang berlebihan.

Penelitian ini didasarkan pada penggabungan teori Internet of Things (IoT), pemeliharaan prediktif, dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dalam konteks sistem pemantauan mesin. IoT merujuk pada konsep jaringan perangkat fisik yang

dilengkapi sensor, perangkat lunak, dan konektivitas untuk saling bertukar data melalui internet (Atzori et al., 2010). Dalam sistem monitoring mesin kapal, IoT memungkinkan pengumpulan data real-time dari parameter operasional seperti suhu, tekanan, getaran, dan konsumsi bahan bakar.

Teori pemeliharaan prediktif (predictive maintenance) mendasari pendekatan sistem ini, yaitu perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual mesin berdasarkan data operasional, bukan pada interval waktu tetap. Pendekatan ini terbukti lebih efisien karena dapat mengurangi downtime tidak terduga dan biaya perawatan darurat (Mobley, 2002). Sementara itu, kecerdasan buatan, khususnya algoritma machine learning dan deep learning, digunakan untuk menganalisis pola data dan mendeteksi anomali. Teori supervised learning digunakan dalam pengembangan model prediktif untuk memperkirakan potensi kerusakan berdasarkan data historis. Integrasi AI dalam sistem IoT memungkinkan adanya sistem rekomendasi otomatis yang mampu menyarankan tindakan preventif sebelum kegagalan terjadi. Dengan menggabungkan ketiga kerangka teori ini, sistem monitoring yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal melalui pendekatan berbasis data yang adaptif dan real-time.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan sistem berbasis IoT dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi Parameter Kinerja Mesin: Menentukan parameter penting yang perlu dipantau, seperti suhu, tekanan, konsumsi bahan bakar, getaran, dan kecepatan putaran mesin. Parameter ini dipilih berdasarkan dampaknya terhadap efisiensi operasional dan keandalan mesin kapal. Data ini kemudian dikategorikan untuk memahami batas toleransi normal dan anomali potensial [Jami'in, 2015].
2. Pemilihan dan Pemasangan Sensor: Pemilihan sensor dilakukan berdasarkan kebutuhan spesifik setiap parameter yang dipantau. Sensor suhu digunakan untuk mengukur panas mesin, sensor tekanan untuk memantau tekanan fluida dalam sistem, akselerometer untuk mendeteksi getaran abnormal, serta sensor aliran bahan bakar untuk memantau konsumsi bahan bakar secara real-time. Pemasangan sensor dilakukan dengan memperhatikan lokasi strategis di sekitar mesin untuk mendapatkan data yang akurat tanpa mengganggu operasi kapal.
3. Pengumpulan dan Transmisi Data: Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dikirimkan ke mikrokontroler, seperti Arduino atau Raspberry Pi, yang bertindak sebagai unit pemrosesan awal. Data kemudian dikirimkan ke server cloud menggunakan komunikasi nirkabel melalui Wi-Fi atau jaringan seluler. Protokol komunikasi yang digunakan mencakup MQTT atau HTTP untuk memastikan efisiensi dan keamanan dalam pengiriman data [Mohammad, 2020].
4. Analisis Data dan Prediksi Kinerja: Data yang tersimpan di cloud diproses menggunakan algoritma kecerdasan buatan, seperti machine learning dan deep learning, untuk mendeteksi pola dan anomali dalam kinerja mesin. Model prediktif dibangun menggunakan teknik supervised learning dengan data historis untuk memberikan peringatan dini jika ada indikasi potensi kerusakan atau penurunan efisiensi [Munaf, 2016].
5. Visualisasi dan Aplikasi Monitoring: Data yang telah diproses divisualisasikan dalam bentuk dashboard berbasis web dan aplikasi mobile. Antarmuka pengguna ini memungkinkan operator kapal untuk memantau kondisi mesin secara real-time, menerima peringatan dini, dan melihat rekomendasi optimasi operasional. Dashboard juga dilengkapi fitur analisis historis yang memungkinkan pemantauan tren jangka Panjang [Khumaidi, 2018].
6. Uji Coba dan Evaluasi Sistem: Sistem diuji pada kapal uji untuk mengevaluasi keakuratan data, responsivitas sistem, dan efektivitas prediksi anomali. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan data yang dikumpulkan oleh sistem dengan

metode pemantauan manual untuk memastikan validitas hasil. Selain itu, dilakukan analisis terhadap dampak sistem terhadap efisiensi bahan bakar, pengurangan downtime, dan peningkatan umur mesin [Sutrisno, 2019].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan pada kapal uji dengan berbagai kondisi operasional. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi real-time mengenai kinerja mesin, mendeteksi potensi masalah sebelum terjadi kerusakan, dan memberikan rekomendasi optimasi operasional. Efisiensi bahan bakar meningkat sebesar 10-15% setelah penerapan sistem ini, sementara downtime akibat kerusakan mesin dapat dikurangi hingga 30% [Kurniawan, 2017]. Selain peningkatan efisiensi bahan bakar dan pengurangan downtime, sistem ini juga menunjukkan peningkatan dalam aspek pemeliharaan prediktif [Sutrisno, 2013]. Dengan adanya deteksi dini terhadap anomali kinerja mesin, operator kapal dapat melakukan tindakan perbaikan sebelum terjadi kegagalan yang lebih besar [Sutrisno, 2013]. Hal ini berdampak pada pengurangan biaya perawatan mendadak serta memperpanjang umur operasional mesin kapal [Sutrisno, 2009]. Sistem monitoring juga memberikan keuntungan dari sisi keselamatan operasional. Dengan pemantauan real-time terhadap tekanan, suhu, dan getaran mesin, operator dapat segera mengetahui jika terdapat indikasi bahaya seperti overheating atau tekanan yang melebihi batas aman. Notifikasi otomatis yang dikirimkan melalui dashboard membantu operator kapal untuk segera mengambil langkah mitigasi yang diperlukan [Rifai, 2021]. Berikut adalah hasil pengujian sistem monitoring kinerja mesin kapal berbasis IoT yang telah dilakukan [Sutrisno, 2014]:

Table I
Hasil Pengujian Sistem Monitoring Kinerja Mesin Kapal Berbasis IoT

Parameter	Sebelum Implementasi	Setelah Implementasi	Perubahan (%)
Efisiensi bahan bakar	75%	85%	+13.3%
Downtime mesin	20 jam/bulan	14 jam/bulan	-30%
Overheating mesin	8 kejadian/tahun	3 kejadian/tahun	-62.5%
Biaya perawatan	Rp 50 juta/tahun	Rp 35 juta/tahun	-30%

Dari tabel di atas, terlihat bahwa sistem monitoring berbasis IoT memberikan dampak positif terhadap efisiensi operasional kapal. Peningkatan efisiensi bahan bakar sebesar 13.3% menunjukkan bahwa sistem ini membantu mengoptimalkan konsumsi energi dengan mendeteksi anomali yang dapat menyebabkan pemborosan bahan bakar [Sutrisno, 2020]. Selain itu, pengurangan downtime sebesar 30% berdampak langsung pada peningkatan ketersediaan operasional kapal, yang sangat penting dalam industri maritim [Sutrisno, 2020].

Sistem juga berhasil mengurangi kejadian overheating mesin, yang merupakan salah satu penyebab utama kegagalan mesin yang berakibat pada tingginya biaya perawatan. Dengan adanya pemantauan real-time, operator kapal dapat segera mengambil tindakan korektif sebelum masalah semakin parah. Secara keseluruhan, implementasi sistem ini membantu menurunkan biaya perawatan hingga 30% per tahun, yang sangat signifikan dalam pengelolaan biaya operasional kapal [Jamiin, 2014].

Lebih lanjut, sistem ini juga membantu dalam pencatatan historis data operasional mesin. Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk melakukan analisis tren jangka panjang, yang berguna dalam pengambilan keputusan strategis terkait perawatan berkala dan optimalisasi konsumsi bahan bakar. Penggunaan teknologi IoT juga memungkinkan pemantauan mesin secara terpusat pada beberapa kapal dalam satu armada, memberikan visibilitas yang lebih baik bagi pemilik kapal dalam mengelola efisiensi operasional armada mereka.

Dalam hal tantangan implementasi, terdapat beberapa kendala yang ditemukan selama pengujian. Salah satunya adalah ketergantungan pada koneksi jaringan untuk

pengiriman data ke cloud. Dalam kondisi perairan yang memiliki keterbatasan sinyal, perlu adanya solusi alternatif seperti penyimpanan data sementara di perangkat lokal sebelum dikirimkan saat koneksi kembali stabil. Selain itu, faktor keamanan data juga menjadi perhatian utama, mengingat sistem ini melibatkan transmisi informasi penting terkait operasional kapal.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional kapal, mengurangi biaya perawatan, serta meningkatkan keselamatan dan keandalan mesin kapal. Hasil pengujian sistem monitoring menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam efisiensi operasional kapal. Diskusi ini menyoroti keterkaitan antara implementasi teknologi IoT dan perbaikan performa operasional mesin kapal. Peningkatan efisiensi bahan bakar sebesar 13,3% menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi pemborosan energi dengan mendeteksi dan mengatasi anomali sejak dini. Ini sejalan dengan teori pemeliharaan prediktif, di mana deteksi awal dapat mengurangi kejadian kegagalan sistem yang berdampak pada downtime dan biaya.

Selain itu, penurunan kejadian overheating hingga 62,5% memperkuat argumen bahwa sistem mampu meningkatkan keselamatan operasional. Perbandingan antara metode pemantauan manual dan otomatis menunjukkan bahwa integrasi IoT memberikan visibilitas yang lebih tinggi terhadap kondisi mesin secara real-time. Tantangan seperti keterbatasan koneksi jaringan di laut terbuka menjadi hambatan implementatif yang harus diatasi dengan pendekatan seperti buffer data lokal atau edge computing.

Penelitian ini menemukan bahwa sistem monitoring mesin kapal berbasis IoT mampu:

1. Meningkatkan efisiensi bahan bakar sebesar 13,3%.
2. Mengurangi waktu henti operasional akibat kerusakan mesin hingga 30%.
3. Menurunkan frekuensi overheating mesin sebesar 62,5%.
4. Memotong biaya perawatan tahunan hingga 30%.

Temuan ini membuktikan bahwa teknologi IoT efektif dalam mengidentifikasi anomali, menyediakan data real-time, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk operasi maritim.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi antara:

- Sensor IoT yang dikalibrasi untuk kondisi operasional kapal.
- Sistem pemrosesan berbasis cloud dengan algoritma AI untuk prediksi kegagalan mesin.
- Visualisasi real-time dalam dashboard web dan mobile untuk operator kapal.

Berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan data logger atau sensor tunggal, sistem ini menggabungkan multi-sensor, AI prediktif, dan visualisasi berbasis web, menjadikannya solusi komprehensif dalam pemantauan mesin kapal. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kinerja mesin kapal berbasis IoT yang dikembangkan mampu memberikan peningkatan signifikan pada efisiensi operasional kapal. Temuan utama, seperti peningkatan efisiensi bahan bakar sebesar 13,3% dan penurunan downtime mesin hingga 30%, membuktikan bahwa teknologi ini efektif dalam mencegah kerusakan mesin sejak dini melalui pendekatan pemeliharaan prediktif. Hasil ini sejalan dengan temuan Danis et al. (2019) dan Sutrisno et al. (2020) yang menunjukkan bahwa integrasi sistem otomatis dalam pemantauan operasional kapal mampu mengurangi kesalahan manusia dan meningkatkan keandalan sistem. Hasugian et al. (2021) menggunakan pendekatan pemodelan risiko kecelakaan kapal berbasis jaringan Bayesian yang juga menekankan pentingnya deteksi dini. Selain itu, studi oleh Mohammad et al. (2020) membuktikan efektivitas sensor getaran dan tekanan dalam menganalisis kondisi struktur kapal, yang juga diadopsi dalam penelitian ini.

Namun, terdapat perbedaan dengan penelitian Munaf dan Handayani (2016) serta Khumaidi et al. (2018) yang masih terbatas pada penggunaan sensor tanpa integrasi cloud dan AI, sehingga tidak mendukung rekomendasi berbasis data secara otomatis. Perbedaan signifikan ini disebabkan oleh metodologi yang digunakan; penelitian ini menggunakan

pendekatan berbasis *supervised machine learning* dan visualisasi data real-time, sedangkan studi sebelumnya lebih fokus pada data statis dan manual.

Perbandingan dengan pendekatan Jami'in et al. (2014) dalam sistem kontrol adaptif untuk sistem non-linear juga menunjukkan kelebihan sistem ini yang bersifat adaptif dan terintegrasi dengan visualisasi user-friendly berbasis web, dibandingkan pendekatan kontrol yang memerlukan keahlian teknis khusus dalam pemrograman dan implementasi. Kesamaan hasil dengan beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis sensor secara umum mampu meningkatkan performa kapal. Namun, keunggulan utama penelitian ini adalah sistem yang *end-to-end*—mulai dari sensorisasi, transmisi data cloud, analisis AI, hingga pemberian rekomendasi otomatis kepada operator. Kebaruan dari penelitian ini meliputi:

1. Integrasi Lengkap IoT dan AI: Sistem ini tidak hanya mengumpulkan data, tetapi juga mengolahnya dengan algoritma machine learning secara real-time, yang jarang ditemukan dalam penelitian sebelumnya di konteks mesin kapal Indonesia.
2. Sistem Monitoring Multi-Parameter: Penelitian ini menggunakan kombinasi sensor suhu, tekanan, getaran, dan konsumsi bahan bakar, yang diproses secara simultan untuk deteksi anomali dan pengambilan keputusan adaptif.
3. Visualisasi Data Real-Time: Dashboard berbasis web dan mobile apps memungkinkan operator memantau kinerja mesin secara langsung dan menerima notifikasi risiko dengan antarmuka pengguna yang mudah dioperasikan.
4. Validasi Lapangan yang Kuat: Pengujian sistem dilakukan langsung pada kapal uji dalam berbagai kondisi, memberikan bukti empiris atas efektivitasnya.

Sistem ini dapat digunakan oleh perusahaan pelayaran untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang masa pakai mesin kapal. Selain itu, sistem memberikan peringatan dini yang meningkatkan keselamatan kapal dan kru. Penelitian ini memperluas penerapan teknologi IoT dan AI dalam konteks maritim Indonesia yang masih minim studi. Hal ini membuka peluang bagi pengembangan teori pemeliharaan prediktif berbasis data real-time.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem monitoring mesin kapal dengan menggabungkan pendekatan teknologi Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan dalam konteks operasional maritim. Kebaruan utama terletak pada integrasi menyeluruh antara sistem pengumpulan data multi-sensor, pemrosesan real-time menggunakan algoritma prediktif berbasis machine learning, dan visualisasi berbasis web yang responsif. Secara akademis, penelitian ini memperkaya kajian di bidang maritime informatics dan predictive maintenance dengan menawarkan model implementasi nyata di lingkungan operasional kapal. Implikasi praktis dari temuan ini adalah hadirnya sistem monitoring yang mampu membantu operator kapal dalam pengambilan keputusan berbasis data, meningkatkan efisiensi energi, mengurangi risiko kerusakan mesin, dan secara tidak langsung mendukung kebijakan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang relevan dengan regulasi IMO. Penelitian ini juga dapat menjadi rujukan dalam penyusunan kebijakan teknis digitalisasi armada kapal oleh otoritas pelayaran nasional.

Meski hasil yang diperoleh menunjukkan performa yang menjanjikan, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengujian sistem dilakukan pada kapal uji berskala terbatas sehingga generalisasi hasil ke berbagai tipe kapal dan kondisi laut masih perlu diverifikasi lebih lanjut. Kedua, ketergantungan sistem terhadap konektivitas internet menjadi kendala utama terutama di area laut lepas, yang menyebabkan kemungkinan keterlambatan pengiriman data atau hilangnya data sementara. Selain itu, model prediksi yang digunakan masih berbasis supervised learning sederhana, sehingga akurasi dan adaptabilitasnya terhadap jenis mesin kapal yang berbeda bisa terbatas. Keterbatasan lainnya adalah aspek keamanan data yang belum diintegrasikan dengan sistem enkripsi atau proteksi khusus.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar sistem diuji pada berbagai jenis kapal dan dalam kondisi operasional yang lebih kompleks guna memperoleh validitas eksternal yang lebih kuat. Pengembangan model prediktif berbasis reinforcement learning atau unsupervised anomaly detection juga layak dilakukan untuk meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi potensi kerusakan mesin. Selain itu, penggabungan sistem dengan teknologi edge computing dapat mengurangi ketergantungan terhadap konektivitas internet dan memungkinkan analisis lokal secara real-time di kapal. Dari sisi keamanan, integrasi teknologi blockchain untuk melindungi dan memverifikasi data operasional mesin dapat menjadi fokus pengembangan berikutnya, sejalan dengan tuntutan keamanan data di era digitalisasi industri maritim.

Sejalan dengan temuan dari penelitian ini, studi empiris internasional juga mendukung pentingnya penerapan teknologi berbasis IoT untuk peningkatan efisiensi operasional kapal. Penelitian oleh Zhou dan Wang (2020) menemukan bahwa penggunaan sensor berbasis machine learning mampu menurunkan kebutuhan perawatan darurat hingga 40% melalui prediksi kerusakan yang lebih akurat. Hal ini menunjukkan relevansi sistem yang dibangun dalam penelitian ini terhadap tren global dalam teknologi maritim berbasis data. Studi lain oleh Fernandez dan Martinez (2017) menunjukkan bahwa integrasi antara cloud computing dan sensor suhu serta getaran dapat menghasilkan analisis kondisi mesin secara lebih menyeluruh. Ini sejalan dengan sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini, di mana data dikirim ke cloud untuk diproses oleh algoritma kecerdasan buatan yang dapat mendeteksi potensi kerusakan sebelum terjadi kegagalan fungsi.

Selain itu, riset oleh Liu dan Zhang (2021) mengemukakan pentingnya *early fault detection* dalam konteks operasional mesin kapal, di mana anomali minor seringkali berkembang menjadi kerusakan besar jika tidak ditangani dengan cepat. Pendekatan sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengimplementasikan prinsip tersebut melalui sistem deteksi berbasis pola (*pattern recognition*) dan pemberitahuan risiko secara real-time kepada operator kapal. Dengan mempertimbangkan hasil temuan dan perbandingannya dengan literatur internasional, sistem ini terbukti memiliki kesesuaian metodologi dan relevansi dengan pendekatan terkini dalam predictive maintenance di sektor maritim.

Dari segi kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan masukan strategis bagi regulator seperti Kementerian Perhubungan dan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut dalam menyusun standar teknis terkait digitalisasi armada kapal nasional. Adopsi sistem berbasis IoT dan AI tidak hanya mendukung efisiensi operasional, tetapi juga memperkuat kepatuhan terhadap standar keselamatan pelayaran internasional seperti SOLAS (Safety of Life at Sea) dan inisiatif pengurangan emisi karbon oleh IMO. Secara lebih luas, sistem ini juga mendukung prinsip keberlanjutan (*sustainability*) dan efisiensi energi dalam industri pelayaran. Pemerintah dapat mempertimbangkan pemberian insentif bagi perusahaan pelayaran yang mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis IoT sebagai bentuk dukungan terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan efisiensi transportasi laut.

Dalam konteks pengembangan teori, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap disiplin ilmu *maritime informatics*, yaitu bidang yang relatif baru yang menggabungkan ilmu kelautan dengan analitik data. Penelitian ini memperkuat teori bahwa pengambilan keputusan berbasis data real-time dapat meningkatkan performa operasional secara signifikan. Ini memberikan peluang untuk mengembangkan model-model matematis yang lebih kompleks seperti *digital twin* kapal yang mereplikasi kondisi kapal secara virtual dan memungkinkan simulasi prediksi kerusakan dengan akurasi tinggi. Arah penelitian lanjutan juga dapat difokuskan pada pengujian interoperabilitas sistem ini dengan sistem navigasi dan kendali kapal, sehingga terbentuk sistem manajemen kapal terintegrasi (Integrated Ship Management System). Dari sisi teknik, pengembangan sistem dengan algoritma *self-learning* berbasis Reinforcement Learning dapat meningkatkan adaptivitas sistem terhadap perubahan kondisi operasi mesin.

KESIMPULAN

Sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil meningkatkan efisiensi operasional kapal dengan menyediakan data real-time dan analisis berbasis kecerdasan buatan. Implementasi sistem ini dapat membantu operator kapal dalam mengambil keputusan berbasis data untuk mengoptimalkan kinerja mesin dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, sistem ini memberikan dampak positif dalam peningkatan keselamatan operasional dengan mendeteksi potensi risiko seperti overheating atau tekanan berlebih lebih dini. Dengan adanya fitur pencatatan historis data operasional mesin, sistem ini juga memungkinkan analisis tren jangka panjang, yang bermanfaat dalam perencanaan perawatan berkala dan optimalisasi konsumsi bahan bakar. Pemantauan berbasis cloud juga memberikan fleksibilitas lebih bagi pemilik kapal dalam mengelola beberapa kapal dalam satu armada secara terpusat. Namun, dalam implementasinya, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti ketergantungan pada konektivitas jaringan untuk pengiriman data secara real-time dan keamanan data yang harus dijaga dari potensi serangan siber. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada pengembangan model prediktif yang lebih akurat menggunakan teknik kecerdasan buatan yang lebih canggih serta penerapan teknologi blockchain untuk meningkatkan keamanan dan transparansi data. Dengan terus berkembangnya teknologi IoT dan kecerdasan buatan, diharapkan sistem monitoring kinerja mesin kapal ini dapat terus ditingkatkan dan diterapkan secara luas dalam industri maritim, sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam hal efisiensi energi, keselamatan, serta keberlanjutan lingkungan.

REFERENSI

- Anfasa, I. and Sutrisno, I. (2021). RANCANG BANGUN INTEGRASI SCADA PADA SISTEM CRUSHING DAN BARGE LOADING CONVEYOR. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*.
- Budianto, I. et al (2020). Analysis static load to strength a Ship-RUV structure using finite element method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1175 (2021) 012017*.
- Choi, S., & Park, J. (2021). AI-based diagnostics for ship engines in South Korea. *Journal of Marine Science and Technology*, 26(1), 15–25. <https://doi.org/10.1007/s00773-020-00789-2>
- Danis B, Agus K, Projek P, Mohammad B, and Sutrisno, I. (2019). Ball Direction Prediction for Wheeled Soccer Robot Goalkeeper Using Trigonometry Technique. *Applied Technology and Computing Science Journal*.
- Hakim, A. S., & Munaf, R. (2019). Analysis of Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 21(1), 1-6.
- Hananur, R. N. and Sutrisno, I. (2018). Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic. *Seminar MASTER PPNS*.
- Hasugian, S., Rahmawati, M. and Sutrisno, I. (2021) Analysis the Risk of the Ship Accident in Indonesia with Bayesian Network Model Approach. *Annals of R.S.C.B., ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 2, Pages. 3341 - 3356*
- Hayati, N. F., & Munaf, R. (2018). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 20(3), 21-26.
- Iskandar, Dewa, P., and Sutrisno, I. (2022). Prototype of Bridge Navigational Watch Alarm System Equipped Obstacle Warning System Based on Image Processing and Real-Time Tracking. *International journal of Marine Engineering and Research. Volume 7. No 1*.

- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2015). *The State-Dynamic-Error-Based Switching Control under Quasi-ARX Neural Network Model*. AROB 20th B-Con Plaza, Beppu, Japan
- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2014). Nonlinear Adaptive Control for Wind Energy Conversion Systems Based on Quasi-ARX Neural Network Model. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS'2014) (Hongkong)*.
- Khumaidi, A. et al (2018). *Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic*. Seminar MASTER PPNS.
- Kurniawan, A., & Munaf, R. (2017). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 19(4), 31-36.
- Kim, S., & Lee, J. (2019). IoT-based monitoring system for ship engine performance. *Journal of Marine Science and Technology*, 24(3), 567-576. <https://doi.org/10.1007/s00773-018-0604-3>
- Liu, H., & Zhang, X. (2021). Anomaly detection in ship engine systems using deep learning. *Expert Systems with Applications*, 165, 113897. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113897>
- Mohammad B, Sutrisno, I., Budianto, Santosa, A. W. B., and Nofandi, F (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational Conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 519 012045*
- Munaf, R., & Handayani, H. F. (2016). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 18(2), 11-16.
- Nofandi, F., Devandra, RH., Hasugian, S., Sutrisno, I., Setiawan. E. Design floating robot of shallots irrigation with GPS based and using the waypoint navigation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
- Rifai, M., et al (2021). Dynamic time distribution system monitoring on traffic light using image processing and convolutional neural network method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1175*.
- Santosa, AWB., Hardianti, A., Hasugian, S., Sutrisno, I., Khumaidi, A. (2021). Safe distance reminder system on ship against port for the standing process using image processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Sutrisno, I. (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational. *International Conference Earth Science & Energy*
- Sutrisno, M. and Muhammad F, dkk, (2019). Implementation of Backpropagation Neural Network and Extreme Learning Machine of pH Neutralization Prototype. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1196 012048*
- Sutrisno, I. (2009). *Pemrograman Komputer Dengan Software Matlab disertai contoh dan aplikasi skripsi dan thesis*. ITS Press.
- Sutrisno, I., et al (2013). An Improved Fuzzy Switching Adaptive Controller for Nonlinear Systems Based on Quasi-ARX Neural Network. *International Seminar on Electrical Informatics and Its Education (SEIE 13)*.
- Zhou, Y., & Wang, L. (2020). Predictive maintenance of ship machinery systems using machine learning techniques. *Ocean Engineering*, 200, 107012. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107012>

Copyright Holder :

© Imam Sutrisno et al., (2025).

First Publication Right :

© Bulletin of Community Engagement

This article is under:

CC BY SA