

Pengaruh Perawatan Rutin terhadap Efisiensi Bahan Bakar Mesin Induk KL. Sultan Hasanuddin 02

Jamaluddin¹, Rahmat Hidayat^{2*}, Muh. Syuaib Rahman³, Ratnawati Raising⁴

^{1,2*,3}Prodi Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, Makassar, Indonesia

⁴Unit Penyelenggara Pelabuhan Kelas 2, Bulukumba, Indonesia

Email: ¹raksapang@gmail.com, ^{2*}batejolloro@gmail.com, ³msyuaib1973@gmail.com, ⁴ratnawatiraising8@gmail.com

Abstract

Fuel efficiency is a critical indicator in ship operations and maritime education, particularly within the context of sustainability. This study addresses the issue of increasing fuel consumption and exhaust gas emissions caused by suboptimal engine maintenance practices. The objective of this research is to analyze the impact of routine maintenance on the fuel efficiency of the main engine aboard the training vessel KL. Sultan Hasanuddin 02. A quasi-experimental method was employed, involving field observations, technical measurements using a flowmeter and gas analyzer, and interviews with the Chief Engineer. Data were collected before and after the implementation of maintenance procedures based on the Planning Maintenance System (PMS). The results showed a 12.5% improvement in fuel efficiency, along with reductions in CO₂ emissions by 16.4%, NO_x by 19.2%, and SO_x by 18.8%. These findings demonstrate that routine maintenance not only enhances energy efficiency but also mitigates the environmental impact of the ship's propulsion system. Key supporting factors include technician competence, operational conditions of the vessel, and the quality of fuel used. This research provides both practical and academic contributions to the development of data-driven main engine maintenance guidelines, which are relevant to vocational maritime education and efforts to improve energy efficiency in the shipping sector.

Keywords: Engine Maintenance, Energy Efficiency, Exhaust Emissions, Training Vessel.

Abstrak

Efisiensi bahan bakar merupakan indikator penting dalam operasional kapal dan pendidikan pelayaran yang berorientasi pada keberlanjutan. Permasalahan yang diangkat adalah meningkatnya konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang akibat pelaksanaan perawatan mesin yang kurang optimal, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perawatan rutin terhadap efisiensi bahan bakar mesin induk kapal latih KL. Sultan Hasanuddin 02. Metode penelitian dilakukan dengan pendekatan kuasi-eksperimental melalui observasi lapangan, pengukuran teknis menggunakan flowmeter dan gas analyzer, serta wawancara dengan Kepala Kamar Mesin. Data dikumpulkan sebelum dan sesudah pelaksanaan perawatan berbasis Planning Maintenance System (PMS). Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 12,5% dan penurunan emisi CO₂ sebesar 16,4%, NO_x sebesar 19,2%, dan SO_x sebesar 18,8%. Hasil temuan ini menunjukkan bahwa perawatan rutin tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga menekan dampak lingkungan dari sistem propulsi kapal. Faktor pendukung keberhasilan meliputi kompetensi teknisi, kondisi operasional kapal, dan kualitas bahan bakar yang digunakan. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan akademik dalam pengembangan panduan perawatan mesin induk berbasis data, yang relevan dengan pendidikan vokasional dan upaya peningkatan efisiensi energi di sektor pelayaran.

Kata Kunci: Perawatan Mesin, Efisiensi Energi, Emisi Gas Buang, Kapal Latih.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki karakteristik geografis yang menjadikannya sangat bergantung pada sektor maritim. Wilayah laut Indonesia mencakup lebih dari dua pertiga total luas negara, menciptakan potensi besar dalam bidang pelayaran, logistik, perikanan, dan pendidikan kemaritiman. Dalam konteks tersebut, visi Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia yang dicanangkan pemerintah menjadi pijakan penting untuk mendorong transformasi sistem transportasi laut secara efisien dan berkelanjutan (Iskandar et al., 2021). Salah satu aspek kunci dalam mendukung visi ini adalah peningkatan efisiensi energi dalam operasional kapal, termasuk kapal latih yang digunakan sebagai sarana pendidikan vokasional maritim.

Kapal latih memiliki fungsi ganda sebagai sarana pembelajaran dan sebagai wahana operasional yang memerlukan efisiensi sistemik. Dalam konteks pendidikan pelayaran, efisiensi operasional kapal latih berperan besar dalam membentuk kesadaran teknis, ekologis, dan manajerial bagi taruna pelayaran. Salah satu indikator utama efisiensi operasional adalah tingkat konsumsi bahan bakar, khususnya pada mesin induk yang merupakan sumber tenaga utama penggerak kapal. Penggunaan bahan bakar yang efisien tidak hanya berdampak pada pengurangan biaya operasional, tetapi juga menjadi cerminan dari praktik berkelanjutan yang harus ditanamkan sejak dini dalam sistem pembelajaran maritim (Syafaat et al., 2022).

Namun demikian, dalam praktiknya, permasalahan yang kerap muncul adalah menurunnya efisiensi bahan bakar akibat kurang optimalnya perawatan mesin induk. Mesin diesel sebagai jantung penggerak kapal sangat bergantung pada kondisi sistem pembakarannya, kualitas bahan bakar, serta kondisi komponen seperti nozzle, injektor, pompa bahan bakar, dan sistem pendingin. Ketika perawatan tidak dilakukan secara sistematis dan terjadwal, maka efisiensi termal menurun, konsumsi bahan bakar meningkat, dan emisi gas buang menjadi lebih tinggi. Emisi tersebut tidak hanya berdampak pada lingkungan laut, tetapi juga menjadi indikator ketidaksempurnaan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin, berpotensi meningkatkan emisi gas buang seperti CO₂, NO_x, dan SO_x (Marsudi & Khusniawati, 2022).

Implementasi PMS pada kapal KL. Sultan Hasanuddin 02 terbukti memberikan hasil yang signifikan. Data empiris menunjukkan bahwa setelah dilakukan perawatan berkala yang meliputi pembersihan injektor, kalibrasi pompa bahan bakar, pengecekan sistem pelumasan, dan penggantian filter. Penurunan ini merupakan indikator langsung dari peningkatan efisiensi pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Tidak hanya itu, emisi gas buang juga mengalami penurunan signifikan. Penurunan emisi ini sangat penting dalam konteks kepatuhan terhadap regulasi MARPOL Annex VI yang menetapkan batas emisi kapal secara global.

. Penelitian mengenai pengaruh perawatan terhadap efisiensi mesin kapal telah banyak dilakukan, terutama dalam konteks optimalisasi sistem pembakaran dan pemeliharaan komponen utama mesin diesel. Secara teknis, efisiensi ini dicapai karena perawatan berkala mampu menjaga kebersihan dan kinerja komponen utama mesin, terutama injektor dan sistem bahan bakar. Penelitian sebelumnya oleh Sariffudin et al. (2021) telah membuktikan bahwa injektor yang tersumbat atau o-ring yang getas dapat menyebabkan penyemprotan bahan bakar tidak merata, sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna dan konsumsi bahan bakar meningkat. Dengan mengganti komponen tersebut secara terjadwal, kinerja sistem bahan bakar dapat kembali optimal (Sariffudin et al., 2021). Sementara itu, Erza (2019) menekankan pentingnya analisis dan perlakuan bahan bakar (fuel oil analysis dan fuel oil treatment) sebagai bagian dari sistem perawatan preventif. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi bahan bakar tidak hanya ditentukan oleh

kondisi mesin, tetapi juga oleh kualitas bahan bakar yang digunakan dan bagaimana bahan bakar tersebut dikelola di atas kapal. Penggunaan bahan bakar yang terkontaminasi, meskipun memiliki nilai kalor yang baik, dapat merusak komponen mesin dan mempercepat kerusakan (Erza, 2019).

Penelitian lain yang juga relevan terkait konteks perawatan sistem pendukung mesin adalah kajian Luthfiani et al. (2022), menunjukkan bahwa sistem pendingin yang terjaga mampu menjaga kestabilan suhu mesin, mencegah overheating, dan mengurangi beban kerja sistem pembakaran. Pendekatan ini menjadi penting karena efisiensi pembakaran sangat bergantung pada kestabilan suhu kerja mesin. Oleh karena itu, PMS tidak hanya mengatur perawatan komponen utama, tetapi juga mencakup sistem pendukung yang tak kalah penting (Luthfiani et al., 2022). Dalam konteks yang lebih sistematis terkait Keberhasilan pelaksanaan PMS sangat bergantung pada kompetensi teknisi dan operator mesin, Dwijaya (2023) menyatakan bahwa kepatuhan terhadap jadwal PMS merupakan salah satu indikator profesionalisme awak kapal. Dalam penelitian ini, wawancara dengan Kepala Kamar Mesin menunjukkan bahwa partisipasi taruna dalam kegiatan perawatan menjadi sarana pembelajaran efektif untuk memahami sistem teknis kapal secara menyeluruh. Hal ini mendukung argumentasi bahwa perawatan mesin induk tidak hanya berdampak teknis, tetapi juga edukatif dan membentuk karakter disiplin serta tanggung jawab (Dwijaya, 2023). Hal senada juga dikemukakan oleh Achmat et al. (2024) terkait Aspek persepsi dan ekspektasi awak kapal terhadap kualitas perawatan juga menjadi faktor penting yang mengemukakan bahwa persepsi positif terhadap sistem perawatan berkorelasi langsung dengan kepatuhan pelaksanaan dan kinerja sistem pembakaran. Dalam konteks kapal latih, persepsi taruna terhadap manfaat perawatan berkala sangat penting untuk membentuk budaya teknis yang proaktif dan sadar lingkungan. (Achmat et al., 2024).

Namun demikian, jika dibandingkan dengan berbagai studi terdahulu, sebagian besar penelitian hanya terfokus pada aspek teknis parsial, seperti injektor atau sistem pendingin saja. Kajian menyeluruh yang menggabungkan observasi lapangan, pengukuran konsumsi bahan bakar, serta analisis emisi gas buang dalam konteks pendidikan pelayaran masih sangat terbatas. Penelitian ini mencoba mengisi celah tersebut (*research gap*) dengan menghadirkan data yang lebih holistik dan kontekstual, yang relevan bagi institusi pelayaran yang memiliki kapal latih sebagai laboratorium terapung.

Sejalan dengan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis prosedur perawatan rutin mesin induk yang diterapkan pada kapal latih KL. Sultan Hasanuddin 02, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi gas buang. Penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi faktor-faktor lain yang turut memengaruhi efisiensi operasional mesin, termasuk kualitas bahan bakar, kondisi operasional, dan keterampilan teknisi. Harapannya, hasil penelitian ini dapat menghasilkan panduan perawatan rutin yang aplikatif, sistematis, dan relevan dengan kebutuhan pendidikan vokasi maritim. Panduan tersebut diharapkan menjadi referensi teknis yang dapat meningkatkan efisiensi energi, menekan biaya operasional kapal, serta memperkuat nilai-nilai keberlanjutan lingkungan dan profesionalisme di kalangan taruna pelayaran.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian terapan, karena dirancang untuk memberikan solusi praktis terhadap permasalahan nyata dalam operasional kapal latih,

khususnya terkait efisiensi energi dan pengelolaan emisi gas buang. Fokus penelitian diarahkan pada peningkatan performa mesin induk kapal melalui penerapan metode perawatan yang sistematis dan berbasis jadwal.

Pendekatan yang digunakan adalah kuasi-eksperimental, yakni pendekatan yang memungkinkan dilakukan pengamatan terhadap efek perlakuan (intervensi) dalam kondisi operasional sebenarnya, namun tanpa kontrol penuh terhadap seluruh variabel luar seperti dalam eksperimen laboratorium. Desain ini dipilih karena relevan dengan konteks penelitian di lingkungan kapal latih yang dinamis, di mana kontrol atas variabel lingkungan dan operasional tidak dapat dilakukan secara mutlak.

Dalam desain kuasi-eksperimental ini, proses penelitian dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu:

a. Pengukuran sebelum Perlakuan (*Before Treatment*)

Tahap ini melibatkan pencatatan dan pengukuran parameter performa mesin sebelum dilakukan tindakan perawatan. Parameter yang diukur meliputi konsumsi bahan bakar (kg/jam) dan kadar emisi gas buang utama (CO₂, NO_x, SO_x) dalam satuan ppm.

b. Pengukuran setelah-Perlakuan (*After Treatment*)

Setelah dilaksanakan perawatan rutin sesuai sistem *Planned Maintenance System* (PMS), pengukuran dilakukan kembali dengan kondisi operasional serupa. Perbandingan data antara sebelum dan sesudah perlakuan menjadi dasar untuk menilai efektivitas intervensi perawatan terhadap efisiensi dan emisi.

Perawatan yang dimaksud mencakup prosedur teknis standar seperti:

- a. Pembersihan dan kalibrasi injektor,
- b. Pengecekan dan penggantian filter bahan bakar dan oli,
- c. Penyetelan ulang pompa injeksi bahan bakar,
- d. Pemeriksaan dan perawatan sistem pendinginan dan pelumasan.

Seluruh kegiatan perawatan dilakukan oleh teknisi mesin kapal dan taruna di bawah supervisi Kepala Kamar Mesin (KKM) sebagai bagian dari proses pelatihan teknis sekaligus penelitian..

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di atas kapal latih KL. Sultan Hasanuddin 02, yang merupakan bagian dari armada milik Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar. Kapal ini secara aktif digunakan sebagai wahana praktik bagi taruna pelayaran, sehingga sangat representatif untuk dijadikan objek penelitian dengan pendekatan praktis dan edukatif.

Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama April hingga Agustus 2025, mengikuti siklus perawatan mesin induk yang telah ditetapkan dalam jadwal PMS kapal. Rentang waktu ini memungkinkan peneliti mengamati secara langsung proses dan dampak dari kegiatan perawatan, serta mengumpulkan data dalam kondisi operasional yang stabil.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian ini dikumpulkan melalui observasi langsung performa mesin. Untuk mendapatkan data yang valid dan relevan, penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data, yaitu:

a. Observasi Langsung

Peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap proses kerja mesin induk dan pelaksanaan perawatan. Observasi juga mencakup pencatatan perilaku operasional taruna dan teknisi selama kegiatan perawatan berlangsung.

b. Pengukuran Teknis

Digunakan *flowmeter* digital untuk mengukur konsumsi bahan bakar secara akurat dan gas analyzer portabel untuk mendeteksi kadar emisi CO₂, NO_x, dan SO_x. Pengukuran dilakukan dalam kondisi beban mesin yang konstan agar hasilnya dapat dibandingkan secara langsung.

c. Dokumentasi Logbook dan Data PMS

Data historis perawatan, jam kerja mesin, serta catatan log operasional mesin diambil dari logbook resmi dan sistem PMS kapal. Dokumen ini digunakan untuk memverifikasi kesesuaian prosedur perawatan dan mendukung validitas pengukuran.

d. Wawancara Semi-Terstruktur

Wawancara dilakukan dengan Kepala Kamar Mesin (KKM) dan teknisi kapal untuk menggali informasi terkait pelaksanaan PMS, kendala di lapangan, serta persepsi terhadap dampak perawatan terhadap performa mesin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada mesin induk kapal latih KL. Sultan Hasanuddin 02 dengan menggunakan pendekatan observasional kuasi-eksperimental. Data diperoleh melalui pengukuran konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang sebelum serta sesudah dilakukan perawatan rutin.

Tabel 1. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Perawatan

Parameter	Sebelum Perawatan	Sesudah Perawatan	Selisih	Persentase
Total Konsumsi BBM				
BBM	±240 kg/jam	±210 kg/jam	30	12,5%
Emisi Gas Buang				
CO ₂ (ppm)	158 ppm	132 ppm	26	↓ 16,4%
NO _x (ppm)	125 ppm	101 ppm	24	↓ 19,2%
SO _x (ppm)	85 ppm	69 ppm	16	↓ 18,8%

Data hasil pengukuran sebelum dan sesudah pelaksanaan perawatan rutin pada mesin induk kapal KL. Sultan Hasanuddin 02 menunjukkan perubahan yang signifikan dalam dua kategori utama, yaitu konsumsi bahan bakar dan tingkat emisi gas buang. Penjelasan tiap parameter dijabarkan sebagai berikut:

1. Konsumsi Bahan Bakar (*Fuel Consumption*)

Sebelum dilakukan perawatan, rata-rata konsumsi bahan bakar tercatat sebesar ±240 kg/jam. Setelah tindakan perawatan yang meliputi pembersihan injektor, penyetulan sistem bahan bakar, dan pengecekan sistem pelumasan, konsumsi tersebut menurun menjadi ±210 kg/jam. Dengan demikian, terdapat penurunan sebesar 30 kg/jam, yang jika dihitung secara persentase setara dengan peningkatan efisiensi sebesar 12,5%.

2. Emisi Gas Buang (*Exhaust Emissions*)

Pengurangan konsumsi bahan bakar juga berdampak langsung terhadap penurunan emisi gas buang, yang terdiri atas tiga komponen utama: karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur oksida (SO_x). Penjelasan rinci dari masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

a. CO₂ (*Carbon Dioxide*):

Konsentrasi CO₂ menurun dari 158 ppm menjadi 132 ppm, dengan selisih 26 ppm atau penurunan sebesar 16,4%. Penurunan ini menunjukkan bahwa dengan perawatan sistem bahan bakar dan sistem pembakaran, proses pembakaran menjadi

lebih sempurna dan efisien, menghasilkan lebih sedikit karbon yang terbang ke atmosfer.

b. NO_x (*Nitrogen Oxides*):

NO_x turun dari 125 ppm menjadi 101 ppm, atau mengalami penurunan 24 ppm (setara 19,2%). NO_x merupakan emisi berbahaya yang terbentuk pada suhu pembakaran tinggi. Penurunan ini menunjukkan bahwa setelah perawatan, sistem pembakaran mengalami perbaikan dalam hal kestabilan suhu dan distribusi bahan bakar, sehingga produksi NO_x dapat ditekan secara signifikan.

c. SO_x (*Sulfur Oxides*):

Emisi SO_x juga mengalami penurunan dari 85 ppm menjadi 69 ppm, atau 16 ppm lebih rendah, dengan persentase penurunan sebesar 18,8%. SO_x umumnya berasal dari kandungan sulfur dalam bahan bakar. Meskipun kualitas bahan bakar tetap sama, perawatan terhadap filter bahan bakar, pembersihan jalur injeksi, serta efisiensi pembakaran turut memengaruhi pengurangan kadar sulfur yang teroksidasi.

3.2. Pembahasan

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman dan implementasi strategi efisiensi energi di sektor pelayaran, khususnya melalui pendekatan *preventive maintenance* pada mesin induk kapal latih. Dengan fokus pada *KL. Sultan Hasanuddin 02* sebagai objek penelitian, studi ini menunjukkan bahwa perawatan mesin yang dilakukan secara sistematis mampu memberikan dampak nyata terhadap penghematan bahan bakar dan pengurangan emisi gas buang. Temuan ini tidak hanya relevan dalam konteks teknis, tetapi juga berdampak pada aspek ekonomi, lingkungan, dan pembelajaran dalam pendidikan maritim.

Konsep *preventive maintenance* merupakan pendekatan pemeliharaan yang menekankan pada tindakan pencegahan sebelum terjadi kerusakan atau penurunan performa. Dalam konteks pelayaran, pendekatan ini menjadi sangat krusial karena mesin induk merupakan komponen vital yang menentukan kelangsungan operasional kapal. Penelitian ini mengadopsi prinsip *Planning Maintenance System (PMS)* sebagai kerangka kerja perawatan mesin secara periodik, yang mencakup penggantian oli, pembersihan injektor, kalibrasi pompa injeksi, dan pengecekan sistem pelumasan (Nurcahyo & Nurdini, 2024).

Efektivitas pendekatan ini terlihat pada penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 12,5% (dari ±240 kg/jam menjadi ±210 kg/jam) setelah perawatan dilakukan. Penurunan ini bukan hanya angka statistik, melainkan mencerminkan optimalisasi pembakaran internal yang lebih efisien. *Preventive maintenance* pada mesin diesel terbukti memperpanjang usia pakai mesin sekaligus meningkatkan efisiensi bahan bakar dengan mengurangi friksi dan memastikan kondisi komponen tetap prima. Efisiensi pembakaran yang dicapai juga mendukung kestabilan sistem tenaga, menurunkan risiko lonjakan tekanan, dan meningkatkan keamanan pelayaran (Syafly, 2024).

Teknologi menjadi katalis penting dalam mempercepat implementasi *data-driven maintenance*. Dalam penelitian ini, digunakan berbagai alat pengukuran teknis seperti *fuel flow meter* dan *gas analyzer* untuk mencatat konsumsi bahan bakar serta konsentrasi CO₂, NO_x, dan SO_x. Penggunaan perangkat ini memungkinkan tim peneliti untuk memperoleh data real-time dan akurat terkait performa mesin (Sarosa et al., 2017).

Efisiensi tidak hanya ditentukan oleh mesin dan teknologi, tetapi juga oleh kemampuan manusia dalam mengoperasikan dan merawat peralatan. Penelitian ini menemukan bahwa keterlibatan teknisi dan taruna dalam kegiatan pemeliharaan berperan besar dalam keberhasilan program perawatan. Wawancara yang dilakukan menunjukkan

bahwa pemahaman teknis tentang jadwal perawatan, tanda-tanda kerusakan awal, dan prosedur pemulihan cepat menjadi aspek kunci dalam menjaga efisiensi operasional (Safitri, 2019). Pelatihan berkelanjutan bagi teknisi dan operator mesin kapal harus menjadi prioritas institusi pendidikan dan perusahaan pelayaran. Kompetensi dalam membaca indikator performa, menganalisis hasil pemantauan, dan mengambil keputusan perawatan secara cepat merupakan keahlian esensial di era otomasi industri maritim. Dengan kata lain, manusia tetap menjadi faktor strategis meskipun sistem sudah terdigitalisasi (Adiratna et al., 2022).

Selain perawatan dan teknologi, faktor-faktor eksternal seperti kecepatan kapal, beban muatan, kondisi cuaca, dan arus laut turut mempengaruhi efisiensi bahan bakar. Marsudi dan Khusniawati (2022) mengidentifikasi bahwa kapal yang beroperasi pada kecepatan optimal (biasanya 50–75% beban maksimum) memiliki tingkat konsumsi bahan bakar yang jauh lebih efisien dibanding kapal yang berjalan terlalu lambat atau terlalu cepat. Oleh karena itu, efisiensi bahan bakar tidak dapat diukur semata dari kondisi mesin, tetapi harus mencakup seluruh sistem pelayaran (Marsudi & Khusniawati, 2022).

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan pada kondisi pelayaran yang relatif stabil dengan beban standar, sehingga hasil efisiensi dapat dikaitkan secara langsung dengan tindakan perawatan, bukan variabel luar. Namun, untuk pengembangan ke depan, penting dilakukan observasi dalam berbagai skenario operasional seperti *idle*, *cruising*, hingga *full load*. Dengan demikian, pemodelan efisiensi dapat dilakukan secara lebih komprehensif dan multivariabel.

Pemilihan jenis bahan bakar juga menjadi penentu utama dalam efisiensi mesin kapal. Dalam penelitian ini, mesin induk menggunakan *Marine Diesel Oil* (MDO) yang dikenal memiliki kualitas pembakaran lebih bersih dibandingkan *Heavy Fuel Oil* (HFO). Karakteristik bahan bakar seperti viskositas, nilai kalor, titik nyala, dan kandungan sulfur memiliki pengaruh langsung terhadap efisiensi pembakaran dan emisi gas buang (Induk & Selmer, 2024). Erza (2019) menjelaskan bahwa penurunan kualitas bahan bakar secara langsung menurunkan efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, pemeliharaan sistem bahan bakar seperti *fuel oil treatment*, pembersihan filter, dan flushing nozzle sangat penting dilakukan secara berkala. Penggunaan bahan bakar alternatif seperti LNG dan biofuel juga mulai dikembangkan untuk mendukung pelayaran rendah karbon, meskipun masih terbatas pada kapal tertentu (Erza, 2019).

Efisiensi bahan bakar yang meningkat bukan hanya berdampak teknis dan lingkungan, tetapi juga memberikan dampak ekonomi nyata. Pengurangan konsumsi sebesar 30 kg/jam jika dikonversi ke nilai rupiah dalam operasi panjang dapat menghasilkan penghematan biaya yang signifikan. Selain itu, peningkatan efisiensi juga berarti berkurangnya kebutuhan pemeliharaan darurat, mengurangi waktu henti (*downtime*) kapal, serta memperpanjang interval *overhaul* mesin (Suryadi, 2015).

Bagi dunia pendidikan, khususnya Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, temuan ini sangat strategis. Kapal latihan bukan hanya menjadi sarana pelatihan, tetapi juga laboratorium nyata untuk mendidik taruna dalam memahami efisiensi energi, pengelolaan sistem mesin, dan kepatuhan terhadap standar internasional. Penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis data dan observasi langsung jauh lebih efektif dalam membentuk kompetensi teknis dan karakter profesional para calon pelaut.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa perawatan rutin pada mesin induk KL. Sultan Hasanuddin 02 secara signifikan meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menurunkan emisi gas buang. Setelah dilakukan perawatan sistematis sesuai Planning Maintenance

System (PMS), konsumsi bahan bakar berkurang, sementara emisi CO₂, NO_x, dan SO_x masing-masing menurun. Hal ini menunjukkan bahwa perawatan teknis berkala tidak hanya menjaga performa mesin, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap penghematan energi dan lingkungan.

REFERENCES

- Achmat, B., Sa'pang, A., Bungin, S. S., & Sufriyadi. (2024). Mekanisme Kinerja dan Kualitas Perawatan Injector Mesin Induk di Kapal KMP. Merak PT. ASDP Indonesia Ferry (PERSERO). *Hengkara Majaya*, 5(1), 5–12. <https://doi.org/10.61759/hmj.v5i1.80>
- Adiratna, Y., Astono, S., Fertiaz, M., Subhan, Sugistria, C. A. O., Prayitno, H., Khair, R. I., Brando, A., & Putri, B. A. (2022). *Profil Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional Indonesia Tahun 2022*.
- Dwijaya, G. (2023). *penerapan perawatan main engine di kapal mv. xin rong*.
- Erza, R. (2019). *Identifikasi Menurunnya Kualitas Bahan Bakar Terhadap Proses Pembakaran Mesin Induk di MV. Oriental Jade*.
- Induk, M., & Selmer, T. (2024). Optimalisasi Perawatan Sistem Bahan Bakar Guna Menunjang Kinerja Dari Mesin Induk di MV. Thomas Selmer. *Indonesian Journal of Marine Engineering*, 1(2), 47–60.
- Iskandar, Risianto, W., Rahman, M. A., & Sudarmin. (2021). ANALISIS SISTEM FIRE SAFETY ASSESMENT PADA KAPAL LATIH “KL FRANS KAISIEPO.” *Jurnal Patria Bahari*, 1(1), 1–22.
- Luthfiani, F., Nugraha, I. M. A., & Ilham, M. (2022). Preventive Maintenance Pada Sistem Pendingin Mesin Induk Di Kapal Layar Motor Arimby. *Jurnal Megaptera*, 1(1), 33. <https://doi.org/10.15578/jmtr.v1i1.11830>
- Marsudi, S., & Khusniawati, F. (2022). Pengaruh Performa Turbocharger Terhadap Kinerja Mesin Induk Di MT. Green Park. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 3(2), 25–29. <https://doi.org/10.62012/zt.v3i2.22074>
- Nurchahyo, R., & Nurdini, A. (2024). *Manajemen Pemeliharaan Preventive* (Nomor July).
- Safitri, C. (2019). *ANALISIS PELAKSANAAN PEMELIHARAAN MESIN DALAM MEMINIMUMKAN BIAYA PEMELIHARAAN PADA PT. SIERAD PRODUCE, TBK*.
- Sariffudin, Widada, H., & A. Hase, M. F. (2021). Analisis Menurunnya Kinerja Injektor terhadap Proses Pembakaran Motor Diesel di Kapal. *Journal Marine Inside*, 3(December), 31–42. <https://doi.org/10.56943/ejmi.v3i2.32>
- Sarosa, M., Rahutomo, F., & Hapsari, R. I. (2017). Topik : Teknik Mesin. *Prosiding Sentrinov*, 3(3).
- Suryadi. (2015). DAMPAK KENAIKAN HARGA BBM DAN ELASTISITAS KONSUMSI BBM SEKTOR ANGKUTAN STUDI PERBANDINGAN PADA BEBERAPA SEKTOR EKONOMI. *Warta Penelitian Perhubungan*, 27(2), 95–102.
- Syafaat, B. A., Hadijah, H., Rohyana, M. F., Sugiawiharja, E., & Setyawati, A. (2022). Efektivitas Pengelolaan Kapal Latih. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik*, 8(1), 15. <https://doi.org/10.54324/j.mbt.v8i1.1297>
- Syafly, E. A. (2024). *Analisis Waktu Pelaksanaan Perawatan Mesin Diesel Utama di Atas Kapal MV. HL Kospo*.