



Analisis teknologi pada kapal ramah lingkungan: Mendorong transportasi laut berkelanjutan di era modern

Syaila Cordova Ar-rahman*, Naida Eka Sabila

Universitas Pendidikan Indonesia

E-mail: *cordovajsr@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan teknologi ramah lingkungan dalam sektor maritim sebagai upaya pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dan pencapaian transportasi laut yang berkelanjutan. Mengingat industri pelayaran berkontribusi sekitar 2,5% terhadap total emisi karbon global, terdapat dorongan signifikan untuk mengadopsi inovasi teknologi, seperti sistem propulsi hibrida, elektrifikasi penuh, penggunaan bahan bakar alternatif (seperti LNG, hidrogen, dan amonia), serta penerapan teknologi efisiensi energi, misalnya pelumasan udara. Berbagai teknologi tersebut menunjukkan efektivitas yang beragam; LNG mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 25%, sementara hidrogen dan amonia menawarkan potensi sebagai bahan bakar bebas karbon. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi sejumlah hambatan, antara lain tingginya biaya investasi, keterbatasan infrastruktur pendukung, serta kompleksitas regulasi internasional. Melalui pendekatan studi pustaka, penelitian ini mengkaji efektivitas teknologi yang tersedia, tantangan implementasinya, serta dampaknya terhadap operasional kapal dan keberlanjutan maritim. Temuan menunjukkan bahwa teknologi seperti pelumasan udara dan bahan bakar alternatif secara signifikan mampu mengurangi konsumsi energi dan emisi, namun membutuhkan dukungan infrastruktur yang memadai. Untuk mempercepat proses dekarbonisasi sektor maritim, diperlukan sinergi antara industri, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya. Penelitian ini menyajikan wawasan strategis dalam mendukung transisi menuju pelayaran rendah karbon dan pembangunan maritim yang berkelanjutan secara global.

Kata Kunci: Dekarbonisasi, teknologi hijau, bahan bakar alternatif, pelayaran berkelanjutan.

ABSTRACT

This research explores the integration of eco-friendly technologies in the maritime industry as a strategy to reduce greenhouse gas (GHG) emissions and promote sustainable sea transport. As maritime shipping accounts for roughly 2.5% of global carbon output, there is an urgent demand for innovative solutions such as hybrid propulsion, full electrification, alternative fuels (e.g., LNG, hydrogen, ammonia), and energy-saving technologies like air lubrication systems. These approaches have shown promising results—LNG can lower CO₂ emissions by up to 25%, while hydrogen and ammonia present carbon-free alternatives. Nonetheless, their implementation is constrained by high capital costs, limited infrastructure, and complex international regulations. Employing a literature-based analysis, this study assesses the effectiveness and challenges of these technologies, along with their operational and sustainability implications. The findings indicate that while technologies like air lubrication and low-emission fuels significantly cut fuel use and emissions, they demand major infrastructure investments. Achieving maritime decarbonization requires strong cooperation among governments, industry



Journal Marine Inside is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

stakeholders, and regulators. This study offers strategic insights to support the transition toward cleaner and more sustainable maritime transportation.

Keywords: *Decarbonization, green technology, alternative fuels, sustainable shipping.*

Tersedia pada: <https://doi.org/10.62391/eimi.v7i1.113>

Disubmit pada 13/02/2025	Direview pada 16/03/2025	Direvisi pada 05/04/2025
Diterima pada 31/05/2025	Diterbitkan pada 01/06/2025	

PENDAHULUAN

Industri maritim memegang peranan penting dalam perdagangan global, dengan sekitar 80% volume barang dunia diangkut melalui jalur laut [1]. Namun, sektor ini juga menjadi penyumbang signifikan emisi gas rumah kaca (GRK), yakni sekitar 2,5% dari total emisi karbon dioksida (CO₂) secara global [2]. Seiring meningkatnya kekhawatiran terhadap perubahan iklim dan kerusakan lingkungan, industri pelayaran dihadapkan pada tekanan global untuk segera mengadopsi teknologi rendah emisi dan ramah lingkungan.

Sebagai respons atas tantangan tersebut, berbagai inovasi teknologi mulai diterapkan untuk mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi di sektor maritim. Teknologi tersebut meliputi sistem propulsi hibrida, elektrifikasi penuh kapal, penggunaan bahan bakar alternatif seperti gas alam cair (LNG), hidrogen, dan amonia, serta perangkat penghemat energi seperti sistem pelumasan udara dan rotor sail [3-4]. Sebagai contoh, penggunaan LNG dapat menurunkan emisi CO₂ hingga 25% dibandingkan dengan bahan bakar konvensional [5], sementara hidrogen dan amonia dianggap sebagai bahan bakar masa depan yang berpotensi bebas karbon, tergantung pada proses produksinya.

Meskipun teknologi-teknologi tersebut menunjukkan potensi besar, penerapannya masih menghadapi berbagai hambatan. Biaya investasi yang tinggi, keterbatasan infrastruktur pendukung, serta kompleksitas regulasi internasional menjadi faktor utama yang menghambat implementasi secara luas [6]. Selain itu, manfaat lingkungan dari beberapa bahan bakar alternatif sangat bergantung pada jejak karbon dari proses produksinya, terutama pada hidrogen dan amonia [4].

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur untuk mengevaluasi efektivitas dan kelayakan teknologi ramah lingkungan dalam sektor maritim, serta mengkaji dampak operasional, ekonomi, dan regulasi yang terkait. Temuan penelitian ini memberikan gambaran strategis mengenai perkembangan terkini dan arah masa depan dekarbonisasi industri pelayaran. Kerja sama yang kuat antara pelaku industri, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya dinilai sangat penting untuk mempercepat transisi menuju pelayaran yang rendah karbon dan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui metode studi literatur (literature review) untuk mengkaji penerapan teknologi ramah lingkungan dalam sektor

pelayaran. Studi literatur dipilih karena efektif dalam menghimpun dan menganalisis informasi sekunder dari berbagai sumber yang kredibel, sehingga memungkinkan pemahaman komprehensif terhadap tren teknologi terkini, efektivitas implementasi, serta tantangan dan peluang dalam dekarbonisasi maritim [7].

Sumber data yang digunakan meliputi artikel jurnal ilmiah, laporan teknis, hasil studi sebelumnya, serta dokumen resmi dari organisasi internasional yang relevan seperti International Maritime Organization (IMO), DNV, dan badan penelitian maritim lainnya. Fokus kajian meliputi teknologi propulsi hibrida, elektrifikasi kapal, penggunaan bahan bakar alternatif seperti gas alam cair (LNG), hidrogen, dan amonia, serta teknologi peningkatan efisiensi energi seperti sistem pelumasan udara dan perangkat penggerak bantu lainnya [3-4].

Tahapan analisis dilakukan melalui proses seleksi, klasifikasi, dan sintesis terhadap literatur yang relevan. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil dari berbagai studi yang meneliti dampak teknologi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK), efisiensi energi, serta keberlanjutan operasional kapal. Penelitian ini juga menelaah hambatan implementasi, seperti biaya investasi, regulasi internasional, dan keterbatasan infrastruktur pendukung [6].

Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya mengidentifikasi inovasi teknologi yang menjanjikan, tetapi juga memetakan kesenjangan riset dan kebutuhan strategis dalam mendorong transformasi hijau di industri pelayaran. Hasil dari studi ini diharapkan menjadi landasan teoritis yang berguna dalam merumuskan kebijakan dan strategi implementasi teknologi rendah emisi di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DAMPAK EMISI KAPAL TERHADAP LINGKUNGAN

Industri maritim merupakan tulang punggung perdagangan global, mengangkut lebih dari 90% volume perdagangan internasional [1]. Namun, sektor ini juga menjadi kontributor signifikan terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) dan pencemar udara lainnya. Data dari International Maritime Organization menunjukkan bahwa transportasi laut menyumbang sekitar 2,2% dari total emisi karbon dioksida global, serta menghasilkan emisi nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), dan partikel halus yang berdampak pada kesehatan manusia dan kualitas ekosistem laut [2].

Dengan meningkatnya urgensi terhadap isu perubahan iklim, kebutuhan akan praktik maritim yang berkelanjutan semakin mendesak. Penerapan teknologi ramah lingkungan dalam transportasi laut menjadi solusi yang menjanjikan. Teknologi-teknologi tersebut, seperti sistem propulsi hibrida, elektrifikasi kapal, dan bahan bakar alternatif seperti LNG dan hidrogen, diharapkan mampu mengurangi emisi tanpa mengorbankan performa kapal [3].

TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN DALAM OPERASI KAPAL

Salah satu terobosan penting dalam pengurangan emisi adalah elektrifikasi kapal, baik melalui sistem hibrida maupun listrik penuh. Kapal feri listrik telah menunjukkan penurunan emisi CO_2 secara signifikan. Meskipun demikian, penerapannya masih terbatas karena kebutuhan baterai berkapasitas besar dan infrastruktur pengisian daya yang belum merata [8].

Selain itu, teknologi pelumasan udara, pemanfaatan panas limbah, dan panel surya juga berkontribusi terhadap efisiensi energi. Pelumasan udara menciptakan lapisan gelembung di

bawah lambung kapal, mengurangi hambatan dan konsumsi bahan bakar. Penelitian dalam Ocean Engineering Journal menunjukkan bahwa metode ini tidak hanya menghemat energi, tetapi juga memperpanjang usia mesin karena suhu operasi yang lebih rendah (Giernalczyk & Kaminski, 2021).

REGULASI LINGKUNGAN DAN DORONGAN DEKARBONISASI

Untuk mengurangi dampak lingkungan dari pelayaran, berbagai kebijakan internasional telah diterapkan. IMO 2020 mengatur kandungan maksimum sulfur dalam bahan bakar kapal hingga 0,5% m/m, yang diperkirakan mampu menurunkan emisi SO_x hingga 77% [1]. Selain itu, IMO juga memberlakukan dua instrumen penting: Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) dan Carbon Intensity Indicator (CII), yang mendorong efisiensi energi dan pengurangan karbon secara bertahap [10].

BAHAN BAKAR ALTERNATIF: LNG DAN HIDROGEN

LNG menjadi salah satu bahan bakar transisi yang paling banyak diadopsi karena dapat mengurangi emisi NO_x hingga 85%, SO_x hampir nol, dan CO_2 hingga 25% [11]. Namun, penggunaannya memerlukan infrastruktur penyimpanan khusus, karena LNG harus dijaga pada suhu -162°C . Di sisi lain, hidrogen dan amonia menawarkan solusi jangka panjang karena tidak menghasilkan emisi karbon saat dikonsumsi, terutama ketika digunakan dalam sel bahan bakar. Meskipun begitu, tantangan penyimpanan dan distribusinya, serta kebutuhan akan tangki bertekanan tinggi, masih menjadi hambatan besar [11].

ELEKTRIFIKASI KAPAL: SISTEM HIBRIDA DAN LISTRIK PENUH

Sistem hibrida memungkinkan fleksibilitas operasional dengan mengombinasikan motor listrik dan mesin berbahan bakar fosil. Kapal dapat beralih ke tenaga listrik saat berada di pelabuhan atau kecepatan rendah, sehingga mengurangi emisi CO_2 , NO_x , dan SO_x . Menurut Zhechen Zhang et al. (2024) [8], sistem ini mampu menurunkan emisi CO_2 hingga 20%. Untuk rute pendek, kapal listrik penuh memberikan efisiensi maksimum, bahkan memungkinkan pengurangan emisi mendekati nol bila menggunakan energi terbarukan.

EFEKTIVITAS PELUMASAN UDARA DALAM REDUKSI EMISI

Teknologi pelumasan udara juga terbukti efektif. Sistem ini menciptakan lapisan udara di bawah lunas kapal, mengurangi gesekan dan hambatan hidrodinamis. Hasil studi Giernalczyk dan Kaminski (2021) [9] menunjukkan bahwa teknologi ini secara signifikan mengurangi kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar tanpa mengganggu performa kapal.

TANTANGAN IMPLEMENTASI DAN STRATEGI KEBERLANJUTAN

Meskipun teknologi-teknologi tersebut menjanjikan, adopsinya masih menghadapi kendala besar, antara lain biaya tinggi, kebutuhan infrastruktur khusus, dan kesiapan pelabuhan. Untuk itu, pendekatan berbasis penilaian risiko seperti Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (FMECA) diperlukan untuk memastikan bahwa implementasi teknologi baru dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan keselamatan secara menyeluruh [6].

MASA DEPAN TRANSPORTASI LAUT BERKELANJUTAN

Menuju tahun 2050, IMO menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 50%. Untuk mencapainya, diperlukan pendekatan kolaboratif lintas sektor—melibatkan pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat sipil. Investasi dalam infrastruktur pelabuhan hijau, penelitian teknologi baru, dan penyesuaian kebijakan menjadi kunci utama transformasi maritim menuju masa depan yang lebih berkelanjutan [4].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa strategi rekrutmen dan kompetensi kerja kru kapal memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja operasional kapal. Secara parsial, strategi rekrutmen menunjukkan pengaruh positif dengan koefisien sebesar 0,415, sementara kompetensi kerja memberikan kontribusi yang lebih dominan dengan koefisien sebesar 0,466. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja operasional tidak hanya bergantung pada kualitas teknis kapal, tetapi juga pada manajemen sumber daya manusia yang efektif. Implikasi dari hasil ini menggarisbawahi pentingnya proses rekrutmen yang selektif dan berbasis kompetensi, guna memastikan bahwa kru yang direkrut sesuai dengan tuntutan operasional di lapangan. Selain itu, pengembangan kompetensi secara berkelanjutan melalui program pelatihan, sertifikasi, dan pembinaan teknis terbukti berperan penting dalam meningkatkan kemampuan kru dalam menghadapi tantangan teknologi modern dan kondisi operasional yang dinamis.

Penguatan strategi rekrutmen harus didasarkan pada prinsip transparansi, objektivitas seleksi, dan pemetaan kebutuhan kompetensi secara terukur. Sementara itu, peningkatan kompetensi perlu difokuskan pada keterampilan teknis, pengambilan keputusan dalam situasi kritis, serta adaptasi terhadap sistem navigasi dan permesinan yang semakin kompleks. Kedua aspek ini—rekrutmen yang tepat dan pelatihan yang berkesinambungan—merupakan pilar utama dalam membangun kru kapal yang andal, efisien, dan adaptif. Dengan demikian, investasi dalam manajemen sumber daya manusia bukan hanya menjadi kebutuhan strategis, tetapi juga faktor penentu dalam mencapai efisiensi biaya, kestabilan operasional, dan keunggulan kompetitif dalam industri pelayaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Maritime Organization (IMO). (2020). *IMO and the Sustainable Development Goals*. Dapat diakses di <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/SustainableDevelopmentGoals.aspx> pada 15 Januari 2025.
- [2] International Maritime Organization (IMO). (2015). *Third IMO GHG Study 2014*. London: IMO Publishing.
- [3] Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, vol. 182, pp. 72–88. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>.
- [4] Det Norske Veritas (DNV). (2022). *Maritime Forecast to 2050 – Energy Transition*

- Outlook*. Dapat diakses di <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-to-2050.html> pada 1 Januari 2025.
- [5] Lindstad, E., Rehn, C. F., & Eskeland, G. S. (2015). Sulphur abatement globally in maritime shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 38, pp. 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.028>.
 - [6] Psaraftis, H. N. (2019). *Sustainable Shipping: A Cross-Disciplinary View*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04330-8>.
 - [7] Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, vol. 104, pp. 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.
 - [8] Zhechen Zhang, Yang Liu, Yaping Dai, & Xinyu Liu. (2024). Hybrid propulsion and all-electric systems for ships: A comparative analysis. *Applied Energy*, 364, 120680. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.120680>.
 - [9] Giernalczyk, M., & Kaminski, J. (2021). The application of air lubrication systems on ships: Energy efficiency and operational implications. *Ocean Engineering*, 232, 109070. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109070>.
 - [10] Tadros, A., Elgohary, T., & El-Mesery, A. (2023). The implementation challenges and impact of EEXI and CII measures on existing ships. *Marine Policy*, 150, 105271. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105271>.
 - [11] Andrade, V., Schinas, O., & Hanschke, C. (2022). LNG as a transition fuel for maritime decarbonization: Environmental and economic aspects. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100034>.