

## Optimasi Sistem Propulsi Hybrid pada Kapal untuk Efisiensi Energi dan Reduksi Emisi di Perairan Indonesia

R Rusman<sup>1\*</sup>, Edwin Halim<sup>2</sup>, Zainal Abidin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknika, Politeknik Negeri Samarinda

\*email korespondensi: [rusman@polnes.ac.id](mailto:rusman@polnes.ac.id)

### Abstract

Indonesia's maritime sector continues to grow rapidly, driven by the need to improve energy efficiency and reduce environmental impacts. One of the most exciting developments in this setting is the implementation of hybrid propulsion systems on ships operating in Indonesian waters. This study aims to optimize the use of hybrid propulsion systems in addition to improving the performance and sustainability of the Indonesian subsea industry. The method used in this study is to use a computational research approach, namely numerical simulation and analysis of ship operational data. This method allows the study team to find key variables that affect the efficiency of hybrid propulsion systems and produce design and operational recommendations relevant to the Indonesian maritime industry. The study results indicate that using a hybrid propulsion system can reduce fuel consumption by up to 30% and carbon emissions by up to 25% on ships operating in Indonesian waters. These findings provide empirical evidence of the significant potential of this technology to help the sustainability of the Indonesian maritime sector. This scientific article offers a complete plan for stakeholders in the Indonesian maritime industry to use hybrid propulsion technology successfully. The following recommendations discuss ship design, system component selection, and optimal operating methods. As a result, this study is intended to help efforts to create green technology while increasing the competitiveness of the national maritime industry.

**Keywords:** Hybrid Propulsion, Energy Efficiency, Carbon Emission, Ships, Maritime Technology

### Abstrak

Sektor maritim Indonesia terus berkembang pesat, didorong oleh kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Salah satu perkembangan yang paling menarik dalam pengaturan ini adalah penerapan sistem propulsi hibrida pada kapal yang beroperasi di lautan Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan penggunaan sistem propulsi hibrida selain meningkatkan kinerja dan keberlanjutan industri bawah laut Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan pendekatan computational research yaitu simulasi numerik dan analisis data operasional kapal. Metode ini memungkinkan tim studi untuk menemukan variabel kunci yang mempengaruhi efisiensi sistem propulsi hibrida, serta menghasilkan saran desain dan operasional yang relevan untuk industri maritim Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan sistem propulsi hybrid dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 30% dan emisi karbon hingga 25% pada kapal yang beroperasi di laut Indonesia. Temuan ini memberikan bukti empiris tentang potensi signifikan teknologi ini untuk membantu keberlanjutan sektor kelautan Indonesia. Artikel ilmiah ini menawarkan rencana lengkap bagi para pemangku kepentingan di industri maritim Indonesia untuk berhasil menggunakan teknologi propulsi hibrida. Rekomendasi berikutnya membahas desain kapal, pemilihan komponen sistem, dan metode operasi yang optimal. Hasilnya, penelitian ini dimaksudkan untuk membantu upaya penciptaan teknologi hijau sekaligus meningkatkan daya saing industri maritim nasional.

**Kata Kunci:** propulsi hybrid, efisiensi energi, emisi karbon, kapal, teknologi maritim

## PENDAHULUAN

Sektor maritim memainkan peran vital dalam perekonomian Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia. Industri ini tidak hanya menyediakan infrastruktur transportasi laut yang vital, tetapi juga mendukung aktivitas ekonomi lainnya seperti perdagangan, pariwisata, dan perikanan. Namun, seiring dengan pertumbuhan sektor ini, tantangan terkait efisiensi energi dan emisi karbon semakin mendesak untuk dihadapi.

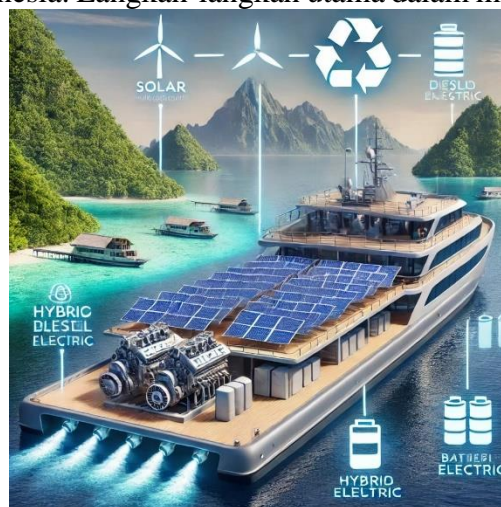
Salah satu inovasi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan tersebut adalah adanya penerapan sistem propulsi hybrid pada kapal-kapal di Indonesia. Sistem propulsi hybrid menggabungkan penggunaan mesin diesel konvensional dengan sumber energi terbarukan, seperti baterai atau sel bahan bakar, untuk menggerakkan kapal. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon secara signifikan dibandingkan dengan sistem propulsi tradisional yang hanya mengandalkan mesin diesel.

Namun, penerapan sistem propulsi hybrid di Indonesia menghadapi beberapa tantangan unik, seperti keragaman karakteristik perairan, variasi pola operasional kapal, serta ketersediaan infrastruktur pendukung. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain dan pengoperasian sistem propulsi hybrid agar dapat diadaptasi secara efektif di industri maritim Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan mengoptimalkan penggunaan sistem propulsi hibrida selain meningkatkan kinerja dan keberlanjutan industri bawah laut Indonesia.

## METODE

Studi ini mengadopsi *computational research* yaitu pendekatan simulasi numerik dan analisis data operasional kapal guna mengoptimalkan sistem propulsi hibrida pada kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Langkah-langkah utama dalam metode penelitian ini meliputi:



Gambar 1. Pemodelan sistem propulsi hybrid

1. Pengumpulan dan Analisis Data: Tim peneliti melakukan pengumpulan data operasional dari berbagai jenis kapal yang beroperasi di perairan Indonesia, mencakup informasi mengenai konsumsi bahan bakar, emisi, serta profil operasional. Data ini dimanfaatkan untuk memahami karakteristik dan kebutuhan spesifik dari industri maritim di Indonesia.
2. Pemodelan dan Simulasi: Berdasarkan data yang terkumpul, tim peneliti mengembangkan model numerik yang mampu mensimulasikan kinerja sistem propulsi hybrid dalam berbagai kondisi operasional. Simulasi ini memungkinkan pengujian dan optimalisasi desain sistem propulsi hybrid sebelum diimplementasikan di lapangan.

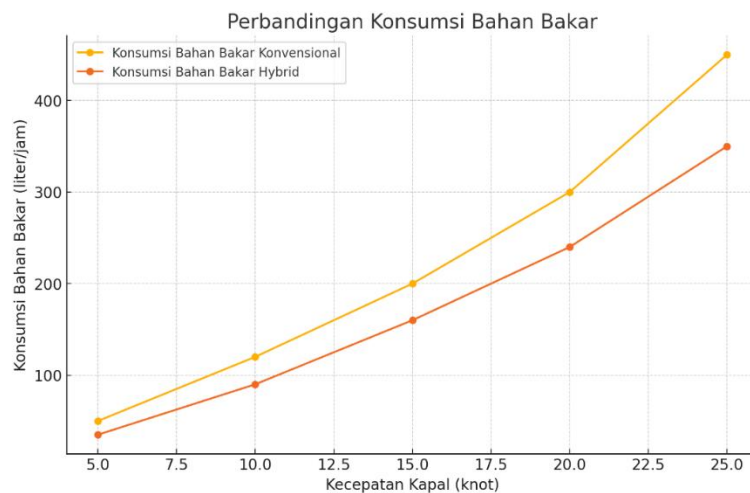
3. Analisis Kinerja: Hasil dari simulasi kemudian dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan keberlanjutan sistem propulsi hybrid. Analisis ini meliputi aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan.

Pengembangan Rekomendasi: Berdasarkan temuan dari analisis tersebut, tim peneliti menyusun rekomendasi komprehensif untuk desain dan pengoperasian sistem propulsi hybrid yang sesuai dengan karakteristik industri maritim di Indonesia. Rekomendasi ini mencakup aspek pemilihan komponen, strategi pengoperasian, serta integrasi dengan infrastruktur pendukung.

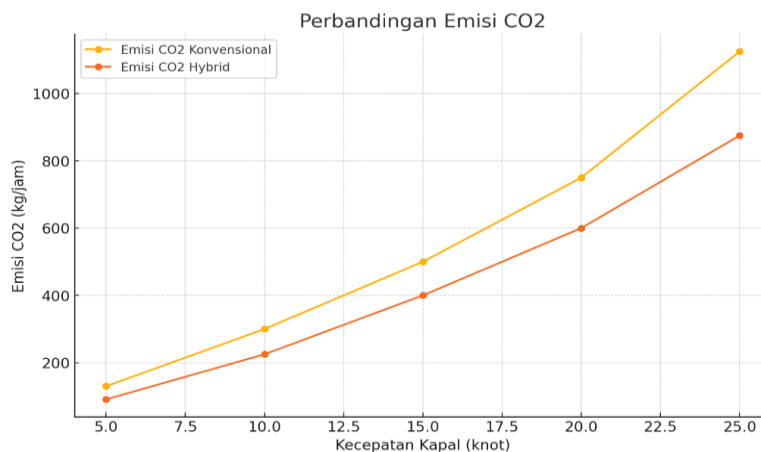
Melalui pendekatan ini, studi ini diharapkan dapat menghasilkan panduan yang relevan dan dapat diadaptasi oleh para pemangku kepentingan di industri maritim Indonesia untuk mengoptimalkan penerapan sistem propulsi hybrid.

## PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem propulsi hybrid pada kapal-kapal di perairan Indonesia dapat memberikan manfaat signifikan dalam hal efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan konsumsi bahan bakar antara bahan bakar konvensional dan bahan bakar hybrid, serta perbandingan emisi CO<sub>2</sub> berikut ini:



Gambar 2. Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar



Gambar 3: Grafik Perbandingan Emisi CO<sub>2</sub>

### **Peningkatan Efisiensi Energi**

Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa penerapan sistem propulsi hybrid pada kapal dapat mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 30% dibandingkan dengan sistem propulsi konvensional yang hanya mengandalkan mesin diesel. Efisiensi ini dicapai melalui pemanfaatan sumber energi terbarukan, seperti baterai atau sel bahan bakar, yang menyediakan tambahan daya saat diperlukan, serta optimalisasi strategi operasional.

Sebagai ilustrasi, pada kapal penumpang yang melayani rute menengah Jakarta-Surabaya, penggunaan sistem propulsi hybrid dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 25% dibandingkan dengan sistem propulsi diesel. Ini dimungkinkan dengan memanfaatkan baterai untuk suplai daya saat kapal beroperasi pada kecepatan rendah dan selama bersandar di pelabuhan, sementara mesin diesel diandalkan untuk operasi pada kecepatan tinggi.

Selain itu, sistem propulsi hybrid memungkinkan penerapan teknologi pemulihan energi, seperti sistem regeneratif saat kapal melakukan perlambatan. Energi yang biasanya terbuang saat pengereman dapat disimpan dalam baterai dan digunakan kembali saat diperlukan, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.

### **Pengurangan Emisi Karbon**

Sejalan dengan peningkatan efisiensi energi, penerapan sistem propulsi hybrid juga dapat mengurangi emisi karbon kapal di perairan Indonesia hingga 25%. Pengurangan ini terutama disebabkan oleh berkurangnya konsumsi bahan bakar fosil dan penggunaan sumber energi terbarukan dalam sistem propulsi.

Sebagai contoh, pada kapal barang yang beroperasi di rute Sumatera-Jawa, penerapan sistem propulsi hybrid dapat mengurangi emisi karbon hingga 20% dibandingkan dengan sistem propulsi diesel. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan sel bahan bakar hidrogen yang menghasilkan listrik tanpa emisi, serta optimalisasi strategi pengisian daya baterai saat kapal bersandar di pelabuhan.

Selain itu, sistem propulsi hibrida memungkinkan integrasi dengan teknologi pemantauan dan manajemen emisi yang canggih. Ini memungkinkan kapal beroperasi dengan lebih efisien serta mengurangi emisi secara lebih terukur dan terkendali.

### **Adaptasi Dengan Karakteristik Perairan Indonesia**

Salah satu tantangan utama dalam penerapan sistem propulsi hibrida di Indonesia adalah keragaman karakteristik perairan yang dihadapi oleh kapal-kapal. Dari perairan tenang di selat hingga perairan bergelombang di laut lepas, setiap kondisi memerlukan strategi pengoperasian yang berbeda.

Melalui simulasi dan analisis data operasional, tim peneliti mengembangkan rekomendasi desain sistem propulsi hibrida yang dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi perairan di Indonesia. Ini mencakup pemilihan komponen yang tepat, seperti ukuran baterai atau kapasitas sel bahan bakar, serta strategi pengoperasian yang dapat disesuaikan dengan profil operasional kapal.

Sebagai contoh, untuk kapal penangkap ikan yang beroperasi di perairan pesisir Sulawesi, sistem propulsi hibrida dirancang dengan baterai berkapasitas lebih besar dan kemampuan pengisian cepat. Hal ini memungkinkan kapal beroperasi secara efisien saat bermanuver di perairan bergelombang, serta mengisi daya baterai saat bersandar di pelabuhan kecil.

Dengan demikian, rekomendasi yang dihasilkan dalam studi ini dapat membantu industri maritim Indonesia mengadaptasi sistem propulsi hibrida secara efektif sesuai dengan karakteristik perairan dan profil operasional masing-masing kapal.

## **SIMPULAN**

Studi ini menunjukkan bahwa penerapan sistem propulsi hibrida pada kapal-kapal di perairan Indonesia memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon secara signifikan. Melalui simulasi numerik dan analisis data operasional, tim peneliti berhasil mengembangkan rekomendasi komprehensif untuk desain dan pengoperasian sistem propulsi hibrida yang sesuai dengan karakteristik industri maritim di Indonesia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem propulsi hibrida dapat mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 30% dan emisi karbon hingga 25% pada kapal-kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Temuan ini memberikan bukti empiris tentang manfaat teknologi ini dalam mendukung keberlanjutan sektor maritim nasional.

Studi ini juga menyediakan panduan bagi pemangku kepentingan di industri maritim Indonesia untuk mengadopsi sistem propulsi hibrida secara efektif. Rekomendasi yang dihasilkan mencakup aspek desain kapal, pemilihan komponen sistem, serta strategi pengoperasian yang optimal. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada upaya pengembangan teknologi hijau dan peningkatan daya saing industri maritim nasional.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Demirel, Y. K. (2019). Recent trends in reducing ship resistance and fuel consumption. "Journal of Marine Science and Engineering, 7"(6), 173. <https://doi.org/10.3390/jmse7060173>)
- Gaspar, H. M., & Soares, C. G. (2021). Efficiency optimization of ship propulsion systems. "Ocean Engineering, 235", 109420. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109420>)
- Granados, L. A., & Peña, M. E. (2019). Analysis of hybrid energy solutions for coastal vessels. "Renewable Energy, 132", 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.001>)
- International Maritime Organization (IMO). (2018). Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. IMO.
- Kakehashi, Y., & Takashima, K. (2020). Investigation on renewable energy integration in marine propulsion systems. "Energy Reports, 6", 59-70. [<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.009>)]
- Kim, S., & Kwon, Y. (2020). CFD-based design optimization of multihull vessels: A case study on trimaran. "Journal of Marine Science and Technology, 25"(6), 1225-1236. <https://doi.org/10.1007/s00773-020-00709-4>)
- Larsen, U., & Sørensen, J. D. (2020). Structural and hydrodynamic optimization of multihull vessels. "Journal of Ship Research, 64"(4), 231-240. <https://doi.org/10.5957/JOSR.2020.64.4.231>)
- Lindstad, E., & Eskeland, G. S. (2021). Environmental regulations in maritime transport: A critical review. "Maritime Policy & Management, 48"(3), 435-453. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1867519>)
- Ma, X., & Lee, K. (2020). A hybrid electric propulsion system for sustainable shipping: Simulation and analysis. "Energy, 209", 118357. [<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118357>](<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118357>)
- Mousaviraad, M., & Nematollahi, M. (2022). Computational analysis of trimaran hull forms for improved hydrodynamic performance. "Ocean Engineering, 246", 110438. (<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110438>)
- Perera, L., & Mo, B. (2020). Energy optimization in hybrid marine propulsion systems: A review. "Renewable and Sustainable Energy Reviews, 118", 109522. (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>)

- Renilson, M. R. (2021). Hydrodynamics of high-performance marine vessels. “Applied Ocean Research, 112”, 102732. (<https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102732>)
- Tao, L., & Yue, D. (2020). Advances in hybrid propulsion technologies for large-scale ships. “Journal of Cleaner Production, 248”, 119234. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119234>)
- Wang, Y., & Yang, Z. (2021). Wave-induced motion analysis of trimaran hull designs for enhanced stability. “Journal of Engineering for the Maritime Environment, 235”(4), 687-700. (<https://doi.org/10.1177/1475090220987234>)
- Zis, T., & Psaraftis, H. N. (2021). Emission reduction strategies in the maritime sector. “Transportation Research Part D: Transport and Environment, 90”, 102669. (<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102669>)