

Evaluasi Efisiensi Propulsi KM. Sabuk Nusantara 101 Berdasarkan Kinerja Sistem Penggerak

Jemssy R. Rohi^{1*}, Boy Bistolen¹, Marsianus M. F. Hanmina², Elakana B. Lopo³, Gaspar P. M. Pinto³ Diah Berlian Amelia³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang

³Program Studi Permesinan Kapal, Fakultas Logistik Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Alamat : Jl. Adisucipto Penfui, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur 85228

Email : jemssyr@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi propulsi KM Sabuk Nusantara 101 berdasarkan kinerja sistem penggerak dalam kondisi operasional aktual. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan mengumpulkan data daya mesin, konsumsi bahan bakar, kecepatan kapal, dan spesifikasi propeller. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi propulsi total kapal sebesar 22,28%, terdiri dari efisiensi termal mesin 38,91%, efisiensi mekanik 95%, dan efisiensi propeller 60,3%. Efisiensi tertinggi dicapai pada beban mesin 85% dengan nilai 24,18%, yang menandakan titik kerja optimal dari sistem penggerak. Efisiensi menurun pada beban maksimum 95% karena meningkatnya konsumsi bahan bakar dan kerugian mekanis. Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi meliputi beban mesin, kondisi propeller, kebersihan lambung, dan kecepatan operasional kapal. Penelitian ini menyarankan pengoperasian mesin pada beban optimal, perawatan rutin terhadap lambung dan propeller, serta pemanfaatan simulasi teknis seperti CFD untuk peningkatan kinerja sistem propulsi.

Kata kunci: Efisiensi propulsi, Sistem penggerak, Beban mesin, Konsumsi bahan bakar, KM Sabuk Nusantara 101

Abstract

This study aims to evaluate the propulsive efficiency of KM Sabuk Nusantara 101 based on the actual performance of its propulsion system during normal operations. A descriptive-quantitative approach was used, collecting data on engine power, fuel consumption, vessel speed, and propeller specifications. The analysis revealed a total propulsive efficiency of 22.28%, derived from a thermal efficiency of 38.91%, mechanical efficiency of 95%, and propeller efficiency of 60.3%. The highest efficiency was achieved at 85% engine load with a value of 24.18%, indicating the optimal operating point for the propulsion system. Efficiency decreased at maximum load (95%) due to increased fuel consumption and mechanical losses. Factors affecting efficiency include engine load, propeller condition, hull cleanliness, and vessel speed. This study recommends operating the engine at optimal load, performing regular maintenance of the hull and propeller, and utilizing technical simulations such as Computational Fluid Dynamics (CFD) to enhance propulsion performance.

Keywords: *propulsive efficiency, propulsion system, engine load, fuel consumption, KM Sabuk Nusantara 101*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia menghadapi tantangan geografis yang kompleks dalam mengintegrasikan wilayah-wilayahnya. Sistem transportasi laut menjadi tulang punggung konektivitas nasional 17.000 pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Lebih dari 90% volume perdagangan domestik Indonesia masih bergantung pada moda transportasi laut (1).

Kapal motor Sabuk Nusantara 101 merupakan bagian dari program Tol Laut yang dirancang untuk mendukung konektivitas maritim di wilayah 3TP (tertinggal, terdepan, dan terluar) Indonesia. Sebagai kapal perintis, performa sistem propulsi sangat menentukan keberhasilan pelayanannya. Sistem

propulsi adalah sistem yang menghasilkan gaya dorong untuk menggerakkan suatu objek. Pada kapal, sistem propulsi meliputi mesin induk, sistem transmisi, dan alat gerak seperti baling-baling yang menghasilkan dorongan untuk menggerakkan kapal. Namun, dalam operasionalnya, KM Sabuk Nusantara 101 mulai menunjukkan gejala penurunan performa mesin, menurunnya kecepatan jelajah, dan munculnya getaran berlebih pada sistem mesin. Penurunan performa ini berdampak langsung terhadap efisiensi propulsi kapal dan berpotensi menambah biaya operasional secara signifikan.

Efisiensi propulsi merupakan rasio antara daya efektif (*effective power*) yang digunakan untuk menggerakkan kapal dengan daya dari mesin utama (*brake power*). Efisiensi propulsi total kapal umumnya hanya mencapai 20%–25% dari daya mesin

yang tersedia (2). Artinya, sebagian besar energi dari bahan bakar hilang akibat gesekan, turbulensi, dan konversi mekanis yang tidak efisien. Ketika performa mesin menurun, nilai efisiensi ini cenderung semakin memburuk, sehingga kapal memerlukan lebih banyak energi untuk menghasilkan kecepatan yang sama (3).

Penurunan efisiensi ini bisa dipicu oleh berbagai faktor, seperti keausan komponen mesin, *mismatch* antara putaran mesin dan karakteristik *propeller* (*engine-propeller mismatch*), hingga kondisi lambung kapal yang mengalami *biofouling* atau kerusakan permukaan. Selain itu, perawatan yang tidak optimal serta variasi beban operasional juga memperburuk performa mesin dalam jangka panjang (4).

Tanpa evaluasi efisiensi yang komprehensif, akar masalah pada sistem propulsi sulit diidentifikasi secara tepat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengkaji efisiensi propulsi KM Sabuk Nusantara 101 berdasarkan data operasional aktual, termasuk konsumsi bahan bakar, putaran mesin, kecepatan kapal, serta kondisi lingkungan pelayaran. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran teknis yang akurat dan menjadi dasar rekomendasi perbaikan, baik melalui optimasi sistem propulsi maupun tindakan retrofit.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi propulsi KM Sabuk Nusantara 101. Evaluasi dilakukan melalui analisis teknis terhadap data operasional kapal, perhitungan daya, dan efisiensi sistem propulsi berdasarkan parameter mesin, propeller, dan performa pelayaran. Data yang digunakan terdiri dari data primer, berupa pengukuran langsung di atas kapal dan data sekunder, yaitu spesifikasi teknis mesin utama. Data kecepatan kapal, konsumsi bahan bakar, dan putaran mesin dikumpulkan untuk mendukung perhitungan daya dan efisiensi.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi efisiensi propulsi kapal berdasarkan data operasional nyata dengan cara mengukur parameter teknik seperti daya mesin, konsumsi bahan bakar, kecepatan kapal, serta menghitung efisiensi termal, mekanik, dan propeller menggunakan metode kuantitatif-deksriptif.

Analisis data dilakukan dengan mengolah data spesifikasi mesin KM Sabuk Nusantara 101 dan berfokus pada efisiensi propulsi kapal.

Tabel 1. Data spesifikasi KM. Sabuk Nusantara 101

Parameter	Keterangan
Jenis Kapal	Kapal Perintis Penumpang & Barang
Pemilik / Operator	Direktorat Jenderal Perhubungan Laut
Galangan Pembuat	PT Dok & Perkapalan Kodja Bahari (DPKB)
Klasifikasi	Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)
Bahan Baku Lambung	Baja laut (<i>marine grade steel</i>)
Panjang Keseluruhan (LOA)	62.8 meter
Lebar (Breadth)	12 meter
Tinggi (Depth)	4 meter
Sarat Air (Draft)	3,5 meter
Luas Basah	600 m ²
DWT (Deadweight Tonnage)	505 ton
GT (Gross Tonnage)	1.258 GT
Kapasitas Penumpang	400 orang
Kapasitas Muatan Barang	100 ton (kargo campuran)
Mesin Utama	2 x Yanmar 6EY17W
Daya Mesin Utama	2 x 600 kW atau 805 HP
Sistem Penggerak	<i>Fixed Pitch Propeller</i> (FPP)
Kecepatan Operasional Mesin	950 RPM atau 15,83 RPS
Kecepatan Operasional	10 knot atau 5,14 m/s
Kecepatan Maksimum	13 knot
Mesin Bantu (Genset)	SpecTec C128
Sistem Pengemudian	Hidrolik (<i>steering gear</i>)
Kapasitas Tangki BBM	150.000 liter

Tabel 2. Data Propeller KM Sabuk Nusantara 101

Parameter	Nilai Estimasi
Tipe Propeller	Fixed Pitch Propeller (FPP)
Jumlah Blade	4 (empat)
Diameter	2,2 meter
Material Umum	Bronze atau Ni-Al-Bronze
Tipe Aplikasi	Kapal perintis, twin screw

Tabel 3. Daya Mesin Vs Konsumsi Bahan Bakar

Daya Mesin (kW)	Konsumsi BB (g/Jam)	Konsumsi BB (Liter/Jam)
360	72.000	84,7
450	90.000	106
510	102.000	120
600	120.000	142

Data pada tabel diatas diambil pada nilai SFOC (*Specific Fuel Oil Consumption*) 200 g/kWh. Daya mesin merupakan output daya nyata dari mesin saat beroperasi, 600 kW adalah MCR (*Maximum Continuos Rating*) mesin. Tabel menunjukan bahwa konsumsi bahan bakar meningkat secara proporsional terhadap kenaikan daya output mesin. Diasumsikan SFOC tetap, tetapi kenyataan SFOC bisa berubah tergantung beban mesin.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Hambatan Kapal

a. Hambatan Gesekan Kapal

$$R_F = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_F \quad (5)$$

Diketahui,

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 5,144 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$S = 600 \text{ m}^2$$

$$c_f = 0,00181$$

$$\text{Dihitung nilai } \frac{1}{2} \rho V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot (5,144)^2 = 13.561 \text{ N/m}^2$$

$$R_F = 13.561 \cdot 600 \cdot 0,00181 = 14.727 \text{ N}$$

b. Hambatan Gelombang

$$R_W = 0,1 \times R_F = 0,1 \times 14.727 \text{ N} = 1.472 \text{ N}$$

Nilai 0,1 merupakan rasio empiris antara hambatan gesekan dan hambatan gelombang.

c. Hambatan Total

$$R_t = R_f + R_W = 14.727 + 1.472 = 16.199 \text{ N}$$

Efisiensi Propulsi

a. Efisiensi Termal Mesin

$$\eta_{thermal} = \frac{P_{brake}}{m_f \cdot LHV} \quad (6)$$

Diketahui, *Brake Power* (P) pada beban 95% adalah 570 kW tiap mesin dan total dua mesin 1.140 kw.

1) Laju massa bahan bakar (m_f)

Untuk menghitung laju massa bahan bakar (*mass flow rate*) dari konsumsi bahan bakar dalam liter per jam, kita perlu mengubah volume menjadi massa menggunakan densitas bahan bakar.

Perhitungan massa per jam = 142 liter/jam x 0,84 kg/liter = 123,48 kg/jam

$$m = \frac{123,48 \text{ kg/jam}}{3600 \text{ s}} = 0,0343 \text{ kg/s}$$

Dari hasil *Brake power* dan laju massa bahan bakar di dapatkan hasil efisiensi termal mesin sebagai berikut :

$$\eta_{thermal} = \frac{570.000}{0,0343 \times 42700000} = 0,3891 = 38,91 \%$$

Efisiensi termal mesin yaitu 38,91 %

b. Efisiensi Mekanik

$$\eta_m = \frac{P_{brake}}{P_{indikasi}} \quad (6)$$

Diketahui Daya indikasi 600 kW dan Brake Power (mesin utama) 570 kW, maka hasil efisiensi mekanik adalah sebagai berikut :

$$\eta_m = \frac{570 \text{ kW}}{600 \text{ kW}} = 95 \%$$

Efisiensi mekanik 95% berarti sebesar 95% dari daya yang dihasilkan dalam ruang bakar (daya indikasi) berhasil diteruskan ke poros sebagai daya poros (*brake power*), sedangkan 5% hilang karena gesekan mekanis dan kerugian internal mesin (7).

c. Efisiensi Propeller

Secara umum, efisiensi *propeller* η_p didefinisikan sebagai:

$$\eta_p = \frac{T \cdot Va}{2 \pi n Q} \quad (8)$$

1) Menghitung T (*Thrust*)

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (9)$$

Diketahui,

$$K_T = 0,2$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 5,28 \text{ rps}$$

$$D = 2,2 \text{ meter}$$

$$\text{– Hitung } n^2 = 5,28 \times 5,28 = 27,8784 \text{ rps}$$

$$\text{– } D^4 = (2,2)^4 = 23,4256 \text{ Meter}$$

Jadi, nilai T adalah sebagai berikut

$$T = 0,2 \times 1025 \times 27,8784 \times 23,4256$$

$$T = 133.878,99 \text{ N}$$

2) Menghitung Q (Torsi Propeller)

$$\text{Torsi mesin} = \frac{P_{brake} \cdot 9550}{n} = \frac{570 \times 9550}{950} = 5.730 \text{ Nm}$$

Gearbox rasio 3:1 sehingga nilai Torsi *propeller* adalah sebagai berikut,

$$T_{propeller} = T_{mesin} \times 3 = 5.730 \times 3 = 17.190 \text{ Nm}$$

3) Menghitung Efisiensi Propeller

$$\eta_p = \frac{133.878 \text{ N} \times 2,57 \text{ m/s}}{6,28 \times 5,28 \times 17.190} = \frac{344.066}{569.992} = 0,603 = 60,3 \%$$

c. Efisiensi propulsi total

$$\eta_{tot} = \eta_{thermal} \times \eta_{mechanical} \times \eta_{propeller} \quad (10)$$

$$= 0,3891 \times 0,95 \times 0,603 = 22,28 \%$$

Hasil dari efisiensi propulsi total adalah 22,28% yang berarti sebanyak 22,28 % energi dalam bahan bakar benar -benar menjadi energi

dorong untuk menggerakkan sistem propulsi kapal.

Efisiensi Propulsi pada Berbagai Tingkat Beban Mesin

Tabel 4. Perbandingan beban mesin vs efisiensi

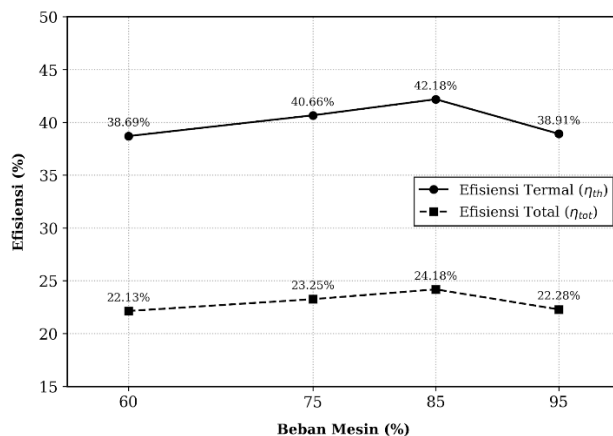
Beban Mesin (%)	RPM Mesin	Torsi (Nm)	Brake Power (kW)	Konsumsi BBM (L/jam)	Efisiensi Termal (%)	Efisiensi Total (%)
60	825	5.250	360,27	84,7	38,69	22,13
75	875	6.000	450,34	106	40,66	23,25
85	915	6.600	510,38	120	42,18	24,18
95	950	5.730	570,42	142	38,91	22,28

Data yang tertera pada tabel 4 menunjukkan bahwa efisiensi total propulsi mengalami peningkatan seiring kenaikan beban mesin, dan mencapai nilai tertinggi pada beban 85% sebesar 24,18%. Sementara itu, pada beban maksimum (95%), efisiensi menurun kembali menjadi 22,28%, meskipun *Brake Power* tertinggi dicapai. Hal ini menunjukkan bahwa beban 85% merupakan kondisi operasi paling efisien secara teknis dan ekonomis.

3.2 Pembahasan

Efisiensi Propulsi pada Berbagai Tingkat Beban Mesin

Efisiensi propulsi total merupakan indikator penting dalam menilai performa sistem penggerak kapal secara menyeluruh, karena mencakup efisiensi termal mesin, efisiensi mekanik, dan efisiensi propeller.



Gambar 1. Grafik Karakteristik Efisiensi Termal dan Efisiensi Total terhadap Variasi Beban Mesin.

Berdasarkan Gambar 1, secara umum terjadi tren yang serupa antara efisiensi termal (η_{th}) dan efisiensi total (η_{tot}) terhadap peningkatan pembebanan mesin. Pada rentang pembebanan rendah hingga menengah (60% hingga 85%), kedua parameter efisiensi mengalami

peningkatan secara kontinu. Efisiensi termal meningkat dari 38,69% menjadi puncaknya sebesar 42,18% pada beban 85%. Peningkatan yang sejalan juga ditunjukkan oleh efisiensi total yang naik dari 22,13% hingga mencapai nilai optimum sebesar 24,18% pada titik pembebanan yang sama. Peningkatan efisiensi pada fase ini mengindikasikan bahwa peningkatan beban mesin (yang diikuti oleh kenaikan RPM dan Torsi hingga mencapai 915 RPM dan 6.600 Nm) mampu mengoptimalkan kondisi termodinamika di dalam ruang bakar. Temperatur dinding silinder yang meningkat pada beban tinggi berkontribusi positif dalam mengurangi kerugian perpindahan panas (*heat transfer losses*) ke sistem pendingin (11). Selain itu, pada beban 85%, homogenitas campuran bahan bakar dan udara berada pada kondisi stoikiometris yang paling ideal, sehingga menghasilkan efisiensi pembakaran (*combustion efficiency*) yang maksimal untuk dikonversikan menjadi kerja poros (12). Namun, ketika pembebanan ditingkatkan lebih lanjut menuju kondisi maksimal (95%), terjadi penurunan drastis pada kedua parameter efisiensi, di mana efisiensi termal merosot ke 38,91% dan efisiensi total menjadi 22,28%. Penurunan performa pada beban ekstrem ini berkorelasi langsung dengan lonjakan konsumsi bahan bakar yang signifikan dari 120 L/jam menjadi 142 L/jam, yang tidak diimbangi oleh kenaikan torsi (torsi justru turun menjadi 5.730 Nm). Fenomena penurunan efisiensi pada beban 95% ini disebabkan oleh fenomena *rich mixture*, di mana suplai bahan bakar berlebih disuntikkan untuk memenuhi kebutuhan daya (13). Akibatnya, pasokan oksigen di dalam ruang bakar menjadi tidak mencukupi, memicu terjadinya pembakaran tidak sempurna (*incomplete combustion*), serta meningkatkan kerugian energi berupa panas yang terbuang melalui gas buang (*exhaust gas losses*) (14).

Evaluasi Efisiensi Propulsi KM Sabuk Nusantara 101

Evaluasi efisiensi sistem propulsi pada KM Sabuk Nusantara 101 menghasilkan efisiensi total sebesar 22,28%. Nilai ini diperoleh dari kombinasi antara efisiensi termal mesin sebesar 38,91%, efisiensi mekanik 95%, dan efisiensi propeller sebesar 60,3%. Artinya, hanya sekitar seperlima dari energi kimia dalam bahan bakar yang benar-benar digunakan untuk mendorong kapal maju. Sisanya hilang dalam bentuk panas, gesekan mekanis, serta kerugian hidrodinamik pada sistem propulsi (15).

Jika dibandingkan dengan grafik efisiensi terhadap beban mesin yang ditunjukkan pada Gambar 1, terlihat bahwa efisiensi propulsi meningkat seiring bertambahnya beban mesin hingga mencapai puncaknya pada beban 85%, dengan efisiensi total sebesar 24,18%. Ini merupakan titik kerja paling efisien bagi sistem propulsi kapal. Peningkatan

efisiensi ini berkaitan erat dengan kondisi pembakaran yang optimal pada beban parsial tinggi, di mana torsi, tekanan kerja, dan rasio pembakaran berada dalam keseimbangan yang ideal (16).

Namun, saat beban mesin dinaikkan hingga 95%, efisiensi total justru menurun menjadi 22,28% meskipun daya output mesin mencapai titik tertinggi. Penurunan efisiensi ini mengindikasikan bahwa operasi mendekati batas maksimum mesin menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar, suhu, dan gesekan internal, sehingga energi yang seharusnya dikonversi menjadi daya dorong lebih banyak terbuang. Sebaliknya, efisiensi pada beban 60% juga rendah (22,13%) karena pembakaran bahan bakar tidak sempurna pada beban rendah, menyebabkan nilai SFOC menjadi tinggi.

Hasil ini menunjukkan bahwa KM Sabuk Nusantara 101 sebaiknya dioperasikan dalam rentang beban mesin antara 75–85% untuk memperoleh efisiensi maksimal. Hal ini penting tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga ekonomis, karena pengoperasian dalam rentang efisiensi tertinggi secara langsung berdampak pada penghematan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi.

Jika ditinjau dari standar efisiensi kapal niaga konvensional, efisiensi propulsi total dalam kisaran 20–25% dianggap wajar. Dengan demikian, kinerja sistem penggerak KM Sabuk Nusantara 101 masih dapat diterima, namun belum optimal. Komponen yang paling besar menyumbang kerugian energi adalah *propeller* dengan efisiensi 60,3%. Nilai ini dapat ditingkatkan melalui pendekatan teknis seperti optimalisasi desain diameter dan *pitch propeller*, pemilihan material yang lebih ringan dan efisien, serta penerapan teknologi baru seperti *ducted propeller* atau *control pitch propeller* apabila memungkinkan. Selain itu, faktor eksternal seperti hambatan lambung kapal akibat *fouling* juga turut berpengaruh pada penurunan efisiensi. Permukaan lambung yang tidak bersih akan meningkatkan hambatan gesek air, sehingga menambah beban kerja mesin. Oleh karena itu, pemeliharaan lambung kapal secara berkala dan penerapan cat anti-*fouling* yang sesuai dengan kondisi perairan tropis sangat disarankan untuk mengurangi kehilangan energi.

Secara keseluruhan, sistem propulsi KM Sabuk Nusantara 101 telah menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam batas operasional dan rancang bangunnya. Namun, dengan berbagai upaya teknis dan manajerial seperti optimasi desain *propeller*, perawatan rutin, dan pengaturan kecepatan jelajah, efisiensi sistem penggerak ini masih bisa ditingkatkan lebih lanjut.

Evaluasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan strategi perawatan prediktif dan kebijakan operasional kapal, serta memberikan arahan menuju sistem propulsi yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi efisiensi propulsi KM Sabuk Nusantara 101, di mana sistem penggerak menghasilkan efisiensi propulsi total sebesar 22,28% pada kondisi operasional aktual. Nilai tersebut dikontribusikan oleh efisiensi termal mesin sebesar 38,91%, efisiensi mekanik sebesar 95%, dan efisiensi *propeller* sebesar 60,3%. Evaluasi karakteristik pembebanan menunjukkan secara logis bahwa titik kerja optimal sistem propulsi dicapai pada beban mesin 85% dengan efisiensi total tertinggi sebesar 24,18%, karena didukung oleh kondisi termodinamika dan pembakaran yang paling ideal di dalam ruang bakar. Sebaliknya, efisiensi menurun pada beban maksimum 95% akibat fenomena *rich mixture* yang memicu pembakaran tidak sempurna dan melonjaknya konsumsi bahan bakar hingga 142 Liter/jam. Meskipun kinerja sistem penggerak saat ini dinilai wajar dan masih dapat diterima berdasarkan standar kapal niaga konvensional, performanya belum sepenuhnya optimal akibat besarnya kerugian energi hidrodinamik pada komponen *propeller*.

Sebagai implikasi praktis, operator disarankan untuk mengoperasikan mesin induk secara konsisten pada rentang beban optimal 75–85% demi menghemat konsumsi bahan bakar, serta melakukan perawatan periodik terhadap lambung kapal untuk mencegah *fouling* yang dapat meningkatkan hambatan gesek air. Untuk penyempurnaan dan keberlanjutan hasil penelitian ini, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada pendekatan teknis modifikasi sistem propulsi, seperti simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk optimasi desain diameter dan *pitch*, serta studi kelayakan penerapan teknologi *ducted propeller* atau *Controllable Pitch Propeller* (CPP) guna meminimalkan kerugian energi secara lebih signifikan.

Daftar Pustaka

1. Nasution M. POTENSI DAN TANTANGAN BLUE ECONOMY DALAM Mendukung PERTUMBUHAN EKONOMI DI INDONESIA: KAJIAN LITERATUR THE POTENTIAL AND CHALLENGES OF THE BLUE ECONOMY IN SUPPORTING. 7:340–63.
2. Klous V. Wärtsilä's new retractable thruster is an improvement across all parameters. 2018;(01).
3. Yao Z, Qian Z, Li R, Hu E. Energy efficiency analysis of marine high-powered medium-speed diesel engine base on energy balance and exergy. Energy [Internet]. 2019;

- Available from:
<https://consensus.app/papers/energy-efficiency-analysis-of-marine-highpowered-yao-qian/8043c8e8790756a2a7d0d2d4d593a9cb/>
4. Firdaus HF, Hadi ES, Santosa AWB. Analisa Engine Propeller Matching Pada Kapal Perintis Sabuk Nusantara 95. Diponegoro Univ. 2018;Vol 6, No.
5. Molland AF, Turnock SR, Hudson DA. Ship Resistance and Propulsion. Sh Resist Propuls. 2011;
6. Cengel YA, Boles MA. Solutions Manual for Thermodynamics : An Engineering Approach 8th Edition in SI Units Chapter 1 INTRODUCTION AND BASIC CONCEPTS_Solution. 2015;
7. Mytrofanov O, Proskurin A, Poznanskyi A, Zivenko O. Determining the power of mechanical losses in a rotary-piston engine. Eastern-European J Enterp Technol [Internet]. 2022; Available from: <https://consensus.app/papers/determining-the-power-of-mechanical-losses-in-a-mytrofanov-proskurin/a7afebaa91bb5f0090207a6a35efaf07/>
8. Carlton J. Propulsion systems. In: Green Energy and Technology. 2013. p. 121–34.
9. Lumbanraja KCP, Chrismianto D, Samuel. Perhitungan Nilai Maksimum Thrust , Torque , dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter , Rake , dan Pitch menggunakan Metode Komputasi. 2021;5:63–78.
10. Molland AF, Turnock SR, Hudson DA. Frontmatter. In: Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Propulsive Power. Cambridge University Press; p. i–iv.
11. Mahardika AR, Kurniawan A. Analisa Pengaruh Model Injektor Tipe 80 Dan 90 Terhadap Performa Mesin Detroit Diesel 6V92T. 2025;5(2):45–51.
12. Hu X, Li J, Pan J, Zhang R, Wei H, Shu G. On combustion and emission characteristics of ammonia/hydrogen engines: Emphasis on energy ratio and equivalence ratio. Fuel [Internet]. 2024; Available from: <https://consensus.app/papers/on-combustion-and-emission-characteristics-of-hu-li/c16442cd6c4950adbe325a7b382855f3/>
13. Dahham R, Wei H, Pan J. Improving Thermal Efficiency of Internal Combustion Engines: Recent Progress and Remaining Challenges. Energies [Internet]. 2022; Available from: <https://consensus.app/papers/improving-thermal-efficiency-of-internal-combustion-dahham-wei/28cd56cc19bf54e7a540c3b78fa0e922/>
14. Jiang M, Sun WC, Guo L, Zhang H, Zhu G, Yu C, et al. Numerical study of the combustion process and NOx evolution mechanism of ammonia-hydrogen compound fuel engine under different intake conditions. J Energy Inst [Internet]. 2024; Available from: <https://consensus.app/papers/numerical-study-of-the-combustion-process-and-nox-jiang-sun/e8a965e9c3ef50649dc9e255362c08bd/sun/e8a965e9c3ef50649dc9e255362c08bd/>
15. Radica G, Vidović T, Šimunović J, Jurić Z. Overview of Hybrid Marine Energy System Configurations and System Component Modeling Approaches. Energies [Internet]. 2025; Available from: <https://consensus.app/papers/overview-of-hybrid-marine-energy-system-configurations-radica-vidovi/268dfc8b947557f1985c4286aeaa7e36/>
16. Lu D, Wang A, Gan H, Su Y, Ao X. A multi-objective collaborative optimization method of ship energy efficiency based on NSGA-II and TOPSIS. Brodogradnja [Internet]. 2025; Available from: <https://consensus.app/papers/a-multiobjective-collaborative-optimization-method-of-lu-wang/94b0d9073ae2506791ae4c9830e17047/>