

OPTIMASI SISTEM PROPULSI KAPAL UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI BAHAN BAKAR PADA KAPAL NIAGA

Moh. Hafidz Efendy^{1*}, Ramdhani Yusli Arbain Sugoro², Agustin Dwi Sumiwi³, Deza Zalia Permata Dewi⁴, Riski Aditia⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Ibnu Sina, Batam, Indonesia
e-mail: *efendyy@uis.ac.id

Abstrak

Biaya bahan bakar merupakan komponen terbesar dalam biaya operasional kapal sehingga efisiensi sistem propulsi sangat penting. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan sistem propulsi kapal feri ro-ro rute Batam–Tanjung Balai Karimun milik PT Pelindo (Persero) Terminal Batu Ampar, Batam. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) aktual diukur selama 30 hari menggunakan flow meter digital dan menghasilkan 182 g/kWh. Optimasi dilakukan dengan Wageningen B-Series Propeller Chart dan analisis matching diagram. Penggantian propeller dari diameter 1,6 m menjadi 1,75 m dengan pitch ratio 0,82 meningkatkan efisiensi propulsif dari 62,4% menjadi 71,8%, setara penghematan bahan bakar 14,3% (SFOC 182 menjadi 156 g/kWh), dan menurunkan slip ratio dari 8,7% menjadi 5,2%. Analisis kelayakan menunjukkan payback period 11 bulan dan NPV Rp 1,8 miliar selama 5 tahun pada discount rate 8%.

Kata kunci : propulsi kapal; efisiensi bahan bakar; propeller; Wageningen B-Series; kapal niaga

Abstract

Fuel cost is the largest component of ship operating costs, so propulsion efficiency is important. This study optimizes the propulsion system of Ro-Ro ferries on the Batam–Tanjung Balai Karimun route owned by PT Pelindo (Persero) Batu Ampar Terminal, Batam. Actual specific fuel oil consumption (SFOC) was measured for 30 days using a digital flow meter and found to be 182 g/kWh. Optimization used the Wageningen B-Series Propeller Chart and matching diagram analysis. Replacing the propeller with a 1.75 m diameter and a pitch ratio of 0.82 increased propulsive efficiency from 62.4% to 71.8%, equivalent to 14.3% fuel saving (SFOC from 182 to 156 g/kWh), and reduced the slip ratio from 8.7% to 5.2%. The feasibility analysis shows a payback period of 11 months and an NPV of IDR 1.8 billion over 5 years at an 8% discount rate.

Keywords : ship propulsion; fuel efficiency; propeller; Wageningen B-Series; merchant ship

1. PENDAHULUAN

Sistem propulsi mengubah daya mesin menjadi gaya dorong untuk menggerakkan kapal. Efisiensi propeller sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara karakteristik propeller, lambung, dan mesin (Carlton, 2019). Propeller yang tidak sesuai akan beroperasi jauh dari titik efisiensi optimalnya sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi dari yang diperlukan.

Selain berdampak pada biaya, konsumsi bahan bakar juga berkaitan dengan emisi gas rumah kaca dari kapal, yang diatur melalui panduan efisiensi energi IMO (IMO, 2021). Oleh karena itu, optimasi propeller menjadi langkah praktis untuk menurunkan biaya operasional sekaligus emisi.

Penelitian ini dilakukan pada armada feri ro-ro milik PT Pelindo (Persero) Terminal Batu Ampar, Batam. Tujuannya adalah mengukur konsumsi bahan bakar aktual, merancang propeller yang lebih sesuai menggunakan seri Wageningen B, serta menilai kelayakan ekonominya.

2. METODE PENELITIAN

Objek dan Pengumpulan Data

Data operasional diperoleh dari 3 unit kapal feri ro-ro dengan LOA 45 m, B 12 m, T 2,40 m, kecepatan dinas 12 knot, MCR 2×650 kW, konsumsi 280 L/trip, dan 6 trip per hari. Pengukuran SFOC dilakukan selama 30 hari menggunakan *flow meter* digital dengan dukungan teknis divisi armada mitra.

Analisis Propeller

Optimasi menggunakan *Wageningen B-Series Propeller Chart* dan analisis *matching diagram*. Koefisien *advance* dihitung dengan $J = V_a / (n \cdot D)$, sedangkan koefisien gaya dorong (K_T) dan koefisien torsi (K_Q) ditentukan dari diagram *Wageningen B-Series* (Oosterveld & Van Oossanen, 1975; Kuiper, 1992).

Analisis Kelayakan

Kelayakan ekonomi dinilai melalui *payback period* dan *Net Present Value* (NPV) selama 5 tahun dengan *discount rate* 8%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Propeller Eksisting dan Optimasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa propeller eksisting beroperasi jauh dari titik efisiensi optimal. Perbandingan parameter propeller eksisting dan hasil optimasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan propeller eksisting dan optimasi

Parameter	Eksisting	Optimasi	Perubahan
Diameter (m)	1,600	1,750	+9,4%
Pitch ratio (P/D)	0,72	0,82	+13,9%
Jumlah daun	4	5	+25%
EAR	0,55	0,65	+18,2%
Putaran (rpm)	280	250	-10,7%
Thrust (kN)	85,4	97,8	+14,5%
Efisiensi propulsif (η_P)	62,4%	71,8%	+9,4 pp
SFOC (g/kWh)	182	156	-14,3%

Propeller optimasi berdiameter lebih besar dengan putaran lebih rendah dan lima daun menghasilkan gaya dorong 14,5% lebih besar. Efisiensi propulsif naik 9,4 poin persentase dan *slip ratio* turun dari 8,7% menjadi 5,2%. Penurunan SFOC sebesar 14,3% sejalan dengan peningkatan efisiensi tersebut.

Proyeksi Penghematan Armada

Tabel 2. Proyeksi penghematan armada

Kapal	Penghematan BBM (L/tahun)	Penghematan biaya (Rp/tahun)	Reduksi CO ₂ (ton)
Kapal 1	34.694	312.247.800	91,2
Kapal 2	34.218	307.962.000	90,0
Kapal 3	33.906	305.154.000	89,2
Total	102.818	925.363.800	270,4

Secara armada, proyeksi penghematan mencapai 102.818 liter per tahun atau Rp 925.363.800 per tahun, dengan reduksi emisi CO₂ sebesar 270,4 ton. Analisis kelayakan menunjukkan *payback period* 11 bulan dan NPV Rp 1,8 miliar selama 5 tahun pada *discount rate* 8%, sehingga penggantian propeller layak secara ekonomi.

Kendala Penelitian

Variasi beban penumpang dan kendaraan antar trip menyulitkan normalisasi data konsumsi bahan bakar sehingga memerlukan analisis statistik yang lebih kompleks. Cuaca buruk selama 3 hari di Selat Riau juga menunda pengambilan data pada kondisi gelombang tertentu.

4. KESIMPULAN

1. SFOC aktual kapal feri ro-ro hasil pengukuran 30 hari adalah 182 g/kWh, dan propeller eksisting beroperasi jauh dari titik efisiensi optimal.

2. Penggantian propeller menjadi diameter 1,75 m, *pitch ratio* 0,82, lima daun, dan putaran 250 rpm meningkatkan efisiensi propulsif dari 62,4% menjadi 71,8%, menurunkan SFOC menjadi 156 g/kWh (−14,3%), dan menurunkan *slip ratio* menjadi 5,2%.
3. Penggantian propeller layak secara ekonomi dengan *payback period* 11 bulan dan NPV Rp 1,8 miliar selama 5 tahun.

5. SARAN

Berikut beberapa saran dari penelitian ini:

1. Optimasi propulsi sebaiknya diintegrasikan dengan analisis *vibro-acoustic* untuk mencegah kavitasi berlebih.
2. Perlu dikembangkan sistem pemantauan propulsi berbasis IoT agar efisiensi dapat dipantau secara *real-time* pada armada mitra.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlton, J. S. (2019). *Marine Propellers and Propulsion* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Dang, J., & Dong, G. (2019). An approach to combining propeller design with wake field. *Journal of Marine Science and Technology*, 24(2), 521–534.
- IMO. (2021). *MEPC 76/15/Add.2 Annex 11: Revised Guidelines on EEDI for New Ships*.
- Kuiper, G. (1992). *The Wageningen Propeller Series*. MARIN Publication 92-001.
- Molland, A. F. (2008). *The Maritime Engineering Reference Book*. Butterworth-Heinemann.
- Oosterveld, M. W. C., & Van Oossanen, P. (1975). Computer-analyzed data of the Wageningen B-screw series. *International Shipbuilding Progress*, 22(251), 251–262.
- Stopford, M. (2009). *Maritime Economics* (3rd ed.). Routledge.
- Volkov, I., & Gordienko, I. (2023). Energy efficiency optimization of marine propulsion systems. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 237(1), 45–61.
- Wärtsilä. (2022). *Wärtsilä Ship Power Technology: Propulsion Solutions*. Technical Report TR2022-04.