

ANALISIS EFISIENSI DESAIN LAMBUNG KAPAL TERHADAP PENGURANGAN HAMBATAN MENGGUNAKAN METODE CFD

Ramdhani Yusli Arbain Sugoro^{1*}, Moh. Hafidz Efendy², Agustin Dwi Sumiwi³, Aldiano⁴

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

Abstrak

Hambatan hidrodinamik merupakan faktor utama yang menentukan kebutuhan daya dan konsumsi bahan bakar kapal. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi desain lambung kapal dalam mengurangi hambatan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Objek penelitian adalah kapal patroli kelas 28 meter di PT Batam Shipyard & Offshore (PT BSO), Tanjung Uncang, Batam. Model lambung dibuat dengan MAXSURF Modeler Advanced v21 dan disimulasikan menggunakan ANSYS Fluent 2023 R1 pada kecepatan 10–20 knot dengan model turbulensi $k-\omega$ SST dan 4,2 juta sel polyhedral mesh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa modifikasi lambung tipe round bilge dengan bulbous bow menurunkan hambatan total sebesar 18,7% pada kecepatan servis 15 knot ($F_n = 0,496$), dengan reduksi terbesar terjadi pada hambatan gelombang (–42,9%). Validasi dengan data towing tank PT BSO menunjukkan selisih kurang dari 4,3%. Penghematan daya propulsi berpotensi menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂.

Kata kunci : CFD; hambatan kapal; lambung kapal; bulbous bow; ANSYS Fluent

Abstract

Hydrodynamic resistance is a major factor determining the power demand and fuel consumption of a ship. This study analyzes the efficiency of hull design in reducing resistance using Computational Fluid Dynamics (CFD). The object is a 28-meter patrol vessel at PT Batam Shipyard & Offshore (PT BSO), Tanjung Uncang, Batam. The hull was modeled in MAXSURF Modeler Advanced v21 and simulated in ANSYS Fluent 2023 R1 at 10–20 knots using the $k-\omega$ SST turbulence model and 4.2 million polyhedral cells. The results show that a round bilge hull with a bulbous bow reduces total resistance by 18.7% at the service speed of 15 knots ($F_n = 0.496$), with the largest reduction in wave resistance (–42.9%). Validation against PT BSO towing tank data shows a difference of less than 4.3%. The reduction in propulsion power has the potential to lower fuel consumption and CO₂ emissions.

Keywords : CFD; ship resistance; ship hull; bulbous bow; ANSYS Fluent

1. PENDAHULUAN

Hambatan kapal adalah gaya yang melawan gerak kapal di air dan menentukan besarnya daya penggerak yang dibutuhkan. Hambatan total terdiri atas hambatan gesek, hambatan gelombang, dan hambatan tekanan (Molland et al., 2017). Semakin kecil hambatan, semakin kecil pula daya mesin dan bahan bakar yang diperlukan untuk mencapai kecepatan yang sama, sehingga desain bentuk lambung menjadi aspek penting dalam efisiensi operasional kapal.

Pengujian hambatan secara eksperimental di *towing tank* memerlukan biaya dan waktu yang besar. Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) menjadi alternatif yang banyak digunakan untuk memprediksi hambatan kapal pada berbagai kecepatan dan bentuk lambung (Ahmed, 2011; Peng & Wan, 2020), asalkan hasilnya diverifikasi dan divalidasi sesuai pedoman yang berlaku (ITTC, 2021).

Penelitian ini dilakukan pada kapal patroli kelas 28 meter di PT Batam Shipyard & Offshore (PT BSO), Tanjung Uncang, Batam. Tujuannya adalah menganalisis seberapa besar modifikasi lambung tipe *round bilge* dengan *bulbous bow* dapat mengurangi hambatan kapal pada rentang kecepatan 10–20 knot menggunakan CFD.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Perkapalan Universitas Ibnu Sina dan PT Batam Shipyard & Offshore, Tanjung Uncang, Batam. Pelaksanaan penelitian mengikuti skema Penelitian Dasar Pemula tahun 2025.

Pemodelan Lambung

Model lambung dibuat menggunakan MAXSURF Modeler Advanced v21 berdasarkan data teknis kapal patroli dari mitra, kemudian diimpor ke ANSYS Fluent 2023 R1. Dua desain dibandingkan, yaitu lambung asli dan lambung modifikasi tipe *round bilge* dengan *bulbous bow*.

Simulasi CFD

Simulasi dilakukan pada kecepatan 10, 12, 15, 18, dan 20 knot. Model turbulensi yang digunakan adalah $k-\omega$ SST dengan *polyhedral mesh* sebanyak 4,2 juta sel. Hambatan total (R_T) diuraikan menjadi hambatan gesek (R_F), hambatan gelombang (R_W), dan hambatan tekanan (R_P).

Validasi

Hasil simulasi dibandingkan dengan data pengujian *towing tank* milik PT BSO untuk mengetahui selisih antara prediksi CFD dan hasil eksperimen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Kapal

Spesifikasi utama kapal patroli yang dianalisis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi utama kapal

Parameter	Nilai
LOA	28,00 m
LBP	25,50 m
B	6,20 m
H	3,10 m
T	1,80 m
Displasemen (Δ)	125,4 ton
Kecepatan servis (V_s)	15 knot
C_b	0,482

Hambatan Total pada Berbagai Kecepatan

Hasil simulasi hambatan total lambung asli dan lambung modifikasi disajikan pada Tabel 2. Modifikasi lambung menurunkan hambatan pada seluruh kecepatan yang dianalisis, dengan penurunan terbesar 18,7% pada kecepatan 15 knot.

Tabel 2. Hasil simulasi CFD – hambatan total pada berbagai kecepatan

Kecepatan	Lambung asli (kN)	Modifikasi (kN)	Reduksi (%)
10 knot	12,4	10,8	12,9
12 knot	18,7	15,9	15,0
15 knot	34,2	27,8	18,7
18 knot	58,6	49,3	15,9
20 knot	81,3	70,4	13,4

Reduksi hambatan paling besar terjadi pada kecepatan servis 15 knot ($F_n = 0,496$). Pada kecepatan yang lebih rendah maupun lebih tinggi, reduksi hambatan lebih kecil, yaitu 12,9% pada 10 knot dan 13,4% pada 20 knot.

Dekomposisi Hambatan

Tabel 3. Dekomposisi hambatan pada $V_s = 15$ knot

Komponen hambatan	Asli (kN)	Modifikasi (kN)	Perubahan
Hambatan gesek (R_F)	18,4	18,1	-1,6%
Hambatan gelombang (R_W)	12,6	7,2	-42,9%
Hambatan tekanan (R_P)	3,2	2,5	-21,9%
Hambatan total (R_T)	34,2	27,8	-18,7%

Tabel 3 menunjukkan bahwa penurunan hambatan terutama berasal dari hambatan gelombang yang turun 42,9%. Distribusi tekanan di sekitar lambung memperlihatkan penurunan *wave-making resistance* yang signifikan akibat kehadiran *bulbous bow*. Hambatan gesek hampir tidak berubah (-1,6%) karena luas permukaan basah relatif sama. Penghematan daya propulsi sebesar 18,7% berpotensi menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂.

Validasi dan Keterbatasan

Validasi dengan *towing tank* PT BSO menunjukkan selisih hasil CFD dan eksperimen kurang dari 4,3%, sehingga model dinilai cukup akurat. Kendala yang dihadapi adalah terbatasnya waktu akses *towing tank* karena padatnya jadwal pengujian kapal produksi, serta konvergensi simulasi pada kecepatan di atas 18 knot yang membutuhkan *mesh refinement* sehingga waktu komputasi lebih lama dan beberapa skenario tambahan belum terselesaikan.

4. KESIMPULAN

1. Modifikasi lambung tipe *round bilge* dengan *bulbous bow* pada kapal patroli 28 meter menurunkan hambatan total pada seluruh kecepatan 10–20 knot, dengan reduksi terbesar 18,7% pada kecepatan servis 15 knot (34,2 kN menjadi 27,8 kN).
2. Penurunan hambatan terutama disumbang oleh hambatan gelombang yang turun 42,9%, diikuti hambatan tekanan (-21,9%), sedangkan hambatan gesek relatif tetap (-1,6%).
3. Hasil simulasi CFD dengan model $k-\omega$ SST divalidasi dengan *towing tank* dengan selisih kurang dari 4,3%.

5. SARAN

Berikut beberapa saran dari penelitian ini:

1. Penelitian lanjutan disarankan mengoptimalkan propeller yang sesuai dengan lambung termodifikasi menggunakan CFD dan *Blade Element Momentum Theory* (BEMT).
2. Kerja sama dengan PT BSO perlu diperluas untuk pengujian skala penuh, serta menyelesaikan skenario simulasi kecepatan tinggi yang belum terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Y. M. (2011). Numerical simulation for the free surface flow around a complex ship hull form at different Froude numbers. *Alexandria Engineering Journal*, 50(3), 229–235.
- Bertram, V. (2012). *Practical Ship Hydrodynamics* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Ferziger, J. H., Perić, M., & Street, R. L. (2020). *Computational Methods for Fluid Dynamics* (4th ed.). Springer.
- Harvald, S. A. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. Wiley-Interscience.
- ITTC. (2021). *Recommended Procedures and Guidelines: CFD Verification and Validation*.
- Larsson, L., Stern, F., & Bertram, V. (2003). Benchmarking of CFD for ship flows. *Journal of Ship Research*, 47(1), 63–81.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship Resistance and Propulsion* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Peng, H., & Wan, D. (2020). Numerical prediction of ship resistance using CFD. *Journal of Hydrodynamics*, 32(4), 741–754.
- SNAME. (2018). *Principles of Naval Architecture: Resistance, Propulsion, and Vibration*. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Wigley, W. C. S. (1934). A comparison of experiment and calculated wave-profiles. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 144(853), 144–159.