
**OPTIMALISASI DAN DIGITALISASI DESAIN KAPAL
TRADISIONAL NELAYAN UNTUK EFISIENSI ENERGI BERBASIS
ANALISIS CFD DI PELABUHAN RAKYAT PEKELINGAN****Bimo Hadi Putro¹, Hadi Suroso², Ali Yusa³**^{1,2,3}Dosen Program Studi Teknik Konstruksi Kapal, Universitas Muhammadiyah Gresik**Email Korespondensi: kaprodi.kapal@umg.ac.id****ABSTRAK**

Kapal tradisional nelayan di Pelabuhan Rakyat Pekelingan, Kabupaten Gresik, merupakan sarana utama kegiatan penangkapan ikan yang berperan penting dalam mendukung perekonomian masyarakat pesisir. Namun, sebagian besar kapal tersebut masih dibangun berdasarkan pengalaman empiris tanpa didukung dokumentasi teknis maupun analisis hidrodinamika yang memadai. Kondisi tersebut berpotensi menghasilkan hambatan kapal yang tinggi sehingga meningkatkan kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar. Selain itu, belum tersedianya model digital kapal menyebabkan proses evaluasi dan pengembangan desain kapal secara sistematis menjadi sulit dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan upaya penerapan teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi operasional kapal nelayan melalui pendekatan rekayasa yang mudah diterapkan dan berkelanjutan. Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk melakukan digitalisasi desain kapal tradisional nelayan, menganalisis karakteristik hambatan kapal menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD), serta menghasilkan rekomendasi desain lambung yang lebih efisien energi tanpa menghilangkan karakteristik konstruksi lokal. Metode pelaksanaan meliputi survei lapangan, pengukuran dimensi utama kapal, digitalisasi lambung menggunakan pemodelan tiga dimensi, simulasi CFD untuk memperoleh nilai hambatan kapal, optimasi parameter geometri lambung, perhitungan kebutuhan daya dan konsumsi bahan bakar berdasarkan hasil simulasi, serta pelatihan dan pendampingan kepada nelayan dan pengrajin kapal terkait penerapan teknologi desain kapal hemat energi.

Kata Kunci: kapal tradisional, digitalisasi kapal, Computational Fluid Dynamics (CFD), hambatan kapal, efisiensi energi, konsumsi bahan bakar.

A. Latar Belakang

Sektor perikanan tangkap merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional dan perekonomian masyarakat pesisir Indonesia. Sebagian besar aktivitas penangkapan ikan masih dilakukan oleh nelayan skala kecil yang menggunakan kapal tradisional sebagai sarana utama operasi penangkapan ikan (FAO, 2024; KKP, 2024). Meskipun kapal tradisional memiliki biaya pembangunan yang relatif rendah dan sesuai dengan karakteristik perairan lokal, sebagian besar desain kapal tersebut masih dibangun berdasarkan pengalaman empiris tanpa didukung oleh analisis hidrodinamika yang memadai sehingga potensi efisiensi energinya belum dapat dievaluasi secara optimal (Oyuela et al., 2024; Zhu et al., 2023).

Salah satu isu utama yang saat ini dihadapi oleh nelayan tradisional adalah meningkatnya biaya operasional akibat tingginya konsumsi bahan bakar kapal. Organisasi Maritim Internasional melaporkan bahwa efisiensi energi kapal menjadi salah satu faktor penting dalam menekan biaya operasional sekaligus mendukung keberlanjutan sektor maritim (IMO, 2023). Pada kapal perikanan skala kecil, konsumsi bahan bakar yang tinggi sering kali disebabkan oleh bentuk lambung yang belum optimal sehingga menghasilkan hambatan hidrodinamika yang besar selama operasi pelayaran (Díaz-Ojeda et al., 2023; Camerling et al., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan daya mesin meningkat, efisiensi operasi menurun, dan pada akhirnya mengurangi daya saing usaha perikanan rakyat (Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023).

Permasalahan serupa juga ditemukan pada kapal-kapal tradisional yang beroperasi di Pelabuhan Rakyat Pekelingan, Kabupaten Gresik. Berdasarkan observasi awal, sebagian besar kapal nelayan masih dibangun menggunakan metode konvensional yang mengandalkan pengalaman pengrajin tanpa adanya dokumentasi teknis berupa offset table, lines plan, maupun model tiga dimensi kapal. Akibatnya, proses evaluasi performa kapal dan pengembangan desain secara sistematis menjadi sulit dilakukan. Selain itu, belum terdapat basis data digital yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan desain kapal yang lebih efisien bagi masyarakat nelayan setempat.

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa optimasi bentuk lambung kapal mampu meningkatkan efisiensi energi secara signifikan. Oyuela et al. (2024) menunjukkan bahwa pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) mampu digunakan untuk mengevaluasi komponen hambatan kapal nelayan secara akurat. Díaz-Ojeda et al. (2023) menemukan bahwa modifikasi bentuk haluan dapat menurunkan hambatan gelombang sehingga meningkatkan efisiensi operasional kapal. Sementara itu, Camerling et al. (2024) menunjukkan bahwa perubahan parameter geometris lambung dapat menghasilkan penurunan hambatan dan kebutuhan daya yang signifikan pada kapal perikanan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa optimasi bentuk lambung memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi kapal nelayan.

Perkembangan teknologi Computational Fluid Dynamics (CFD) saat ini telah menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam bidang rekayasa perkapalan untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida, distribusi tekanan, pola gelombang, serta

hambatan kapal secara numerik sebelum proses pembangunan fisik dilakukan (ITTC, 2021; Sarker & Tarafder, 2024). Keunggulan metode CFD terletak pada kemampuannya untuk melakukan berbagai variasi desain secara cepat, ekonomis, dan akurat dibandingkan metode eksperimental yang membutuhkan biaya dan waktu yang relatif besar (Oyuela et al., 2024). Selain itu, CFD memungkinkan visualisasi fenomena aliran yang sulit diamati secara langsung melalui pengujian fisik sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap performa hidrodinamika kapal.

Meskipun berbagai penelitian mengenai optimasi hidrodinamika kapal telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada kapal komersial modern atau kajian akademik di laboratorium. Pemanfaatan teknologi CFD untuk membantu masyarakat nelayan tradisional, khususnya dalam bentuk digitalisasi desain kapal dan transfer teknologi kepada pengrajin kapal rakyat, masih sangat terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi rekayasa perkapalan modern dengan praktik pembangunan kapal tradisional yang masih digunakan oleh masyarakat nelayan di berbagai daerah pesisir Indonesia (FAO, 2024; KKP, 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu program pengabdian kepada masyarakat yang mampu menjembatani kesenjangan teknologi melalui penerapan digitalisasi desain kapal dan analisis hidrodinamika berbasis CFD. Program ini tidak hanya bertujuan menghasilkan rekomendasi desain lambung yang lebih efisien, tetapi juga meningkatkan kapasitas masyarakat nelayan dan pengrajin kapal dalam memahami prinsip-prinsip dasar desain kapal hemat energi sehingga manfaat teknologi dapat diterapkan secara berkelanjutan (FAO, 2024; IMO, 2023).

Perkembangan teknologi rekayasa perkapalan modern saat ini memungkinkan proses evaluasi performa kapal dilakukan secara numerik melalui pemodelan tiga dimensi (3D) dan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) (ITTC, 2021; Sarker & Tarafder, 2024). Digitalisasi lambung kapal menjadi model 3D merupakan langkah awal yang sangat penting karena seluruh parameter hidrodinamika kapal, seperti displacement, koefisien blok (C_b), koefisien prisma (C_p), luas permukaan basah (*wetted surface area*), distribusi tekanan, dan karakteristik aliran fluida akan diturunkan dari model geometris tersebut (Zhu et al., 2023; Zhou et al., 2022). Model digital yang akurat memungkinkan kapal tradisional yang sebelumnya hanya direpresentasikan dalam bentuk fisik dapat dianalisis secara ilmiah, terdokumentasi, dan dikembangkan secara berkelanjutan.

Dalam simulasi CFD, karakteristik aliran fluida di sekitar lambung kapal dianalisis menggunakan persamaan konservasi massa dan momentum yang dikenal sebagai persamaan Navier–Stokes (ITTC, 2021; Sarker & Tarafder, 2024). Persamaan kontinuitas yang digunakan untuk menjamin kekekalan massa fluida dinyatakan sebagai:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0$$

sedangkan persamaan momentum dituliskan sebagai:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} + \rho \vec{g}$$

Persamaan tersebut digunakan untuk memprediksi distribusi tekanan, pola aliran, pembentukan gelombang, serta gaya hambat yang bekerja pada lambung kapal (ITTC, 2021; Sarker & Tarafder, 2024).

Untuk meningkatkan akurasi simulasi, penelitian ini menggunakan model turbulensi Reynolds Averaged Navier–Stokes (RANS) dengan pendekatan $k-\omega$ SST yang banyak digunakan dalam simulasi hambatan kapal karena mampu menangkap fenomena *free-surface flow*, separasi aliran, dan vorteks buritan secara lebih baik dibandingkan model turbulensi lainnya (Sarker & Tarafder, 2024; Oyuela et al., 2024).

Melalui simulasi CFD akan diperoleh nilai hambatan total kapal (R_T) yang merupakan penjumlahan beberapa komponen hambatan sebagai berikut (Molland et al., 2023):

$$R_T = R_F + R_W + R_R + R_A$$

di mana R_F merupakan hambatan gesek, R_W merupakan hambatan gelombang, R_R merupakan hambatan residu, dan R_A merupakan hambatan tambahan akibat kondisi operasi kapal (Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023).

Nilai hambatan total yang diperoleh dari simulasi CFD kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan daya kapal melalui persamaan *Effective Horse Power* (EHP):

$$EHP = R_T \times V_s$$

dengan R_T merupakan hambatan total kapal dan V_s merupakan kecepatan kapal (Papanikolaou, 2022). Semakin kecil nilai hambatan yang dihasilkan suatu desain lambung, maka semakin kecil kebutuhan daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan yang sama (Molland et al., 2023).

Kebutuhan daya poros (*Shaft Horse Power* atau SHP) dan daya mesin (*Brake Horse Power* atau BHP) kemudian dihitung menggunakan efisiensi sistem propulsi kapal melalui persamaan:

$$SHP = \frac{EHP}{\eta_H \times \eta_R \times \eta_0}$$

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_S}$$

di mana η_H merupakan *hull efficiency*, η_R merupakan *relative rotative efficiency*, η_0 merupakan *open water efficiency*, dan η_S merupakan *shaft efficiency* (Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023).

Setelah kebutuhan daya mesin diperoleh, estimasi konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan parameter *Specific Fuel Oil Consumption* (SFOC) sebagai berikut:

$$FC = BHP \times SFOC$$

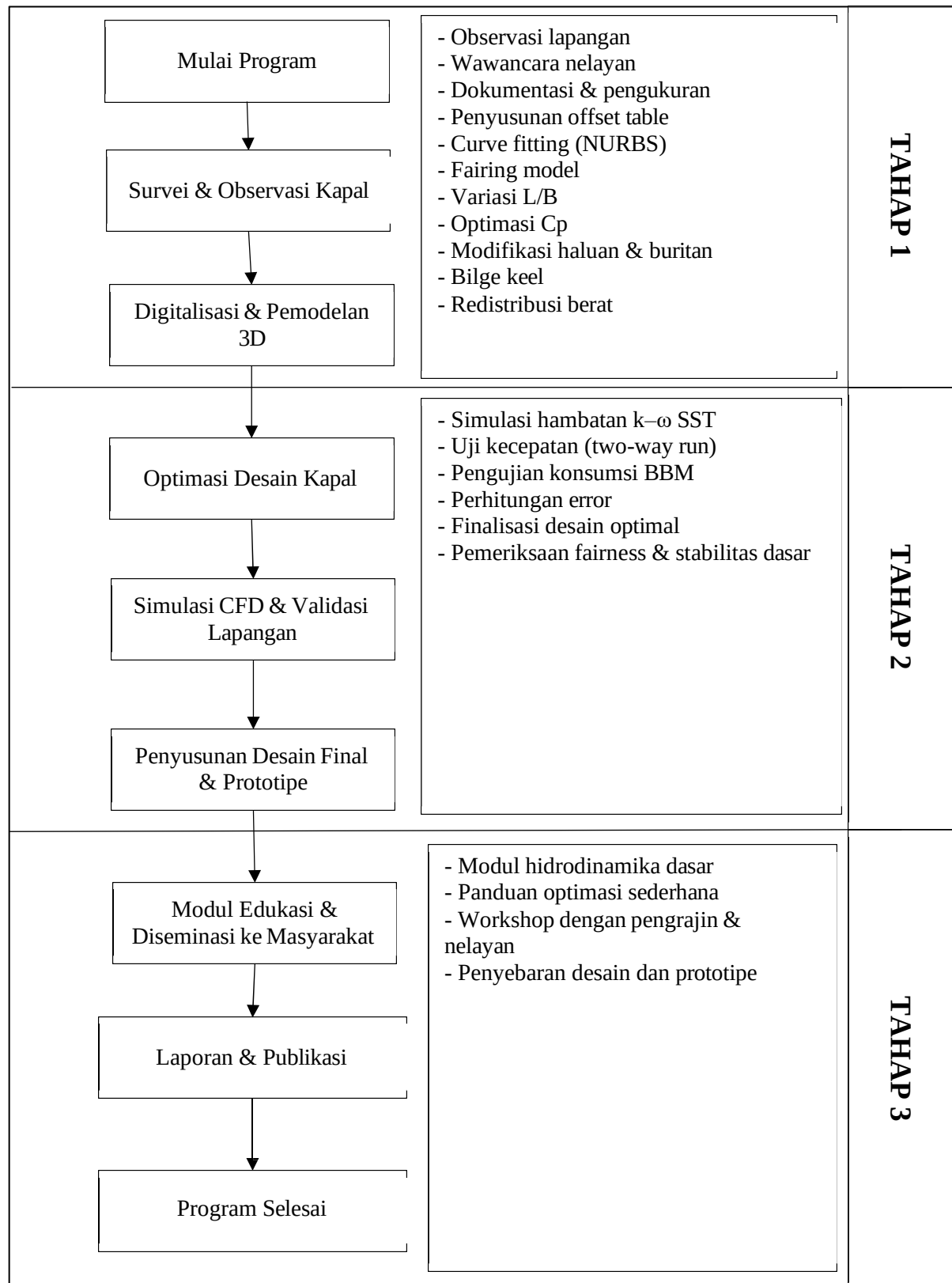
dan

$$FC_{liter} = \frac{FC}{\rho_f}$$

Melalui pendekatan tersebut, setiap perubahan desain lambung hasil optimasi dapat dievaluasi secara langsung terhadap penurunan hambatan, kebutuhan daya mesin, dan konsumsi bahan bakar kapal (Díaz-Ojeda et al., 2023; Camerling et al., 2024). Dengan membandingkan performa desain eksisting dan desain hasil optimasi, dapat ditentukan konfigurasi lambung yang paling efisien untuk diterapkan pada kapal tradisional nelayan Pekelingan.

Oleh karena itu, program pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk melakukan digitalisasi kapal tradisional nelayan, analisis hidrodinamika berbasis CFD, optimasi desain lambung, serta transfer teknologi kepada nelayan dan pengrajin kapal melalui pelatihan dan pendampingan. Program ini diharapkan mampu menurunkan konsumsi bahan bakar, meningkatkan efisiensi operasional kapal, memperkuat kapasitas masyarakat dalam bidang teknologi perkapalan, serta mendukung keberlanjutan sektor perikanan rakyat di Kabupaten Gresik (FAO, 2024; IMO, 2023; KKP, 2024).

B. METODE PENELITIAN



Metode pelaksanaan kegiatan ini terdiri atas lima tahapan utama, yaitu studi literatur dan identifikasi kebutuhan mitra, digitalisasi desain kapal tradisional, analisis hidrodinamika berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), analisis kebutuhan daya dan konsumsi bahan bakar, serta transfer teknologi kepada masyarakat nelayan dan pengrajin kapal di Pelabuhan Rakyat Pekelingan, Kabupaten Gresik.

1. Studi Literatur dan Identifikasi Kebutuhan Mitra

Tahap awal dilakukan melalui studi literatur mengenai karakteristik kapal nelayan tradisional, prinsip hidrodinamika kapal, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), optimasi bentuk lambung kapal, serta hubungan antara hambatan kapal, kebutuhan daya, dan konsumsi bahan bakar (FAO, 2024; ITTC, 2021; Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023). Selain itu, dilakukan survei lapangan dan wawancara dengan nelayan serta pengrajin kapal untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi dalam operasional kapal, khususnya terkait tingginya konsumsi bahan bakar dan performa pelayaran.

Data yang dikumpulkan meliputi dimensi utama kapal berupa *Length Overall* (LOA), *Length Between Perpendicular* (LBP), lebar kapal (B), tinggi kapal (H), sarat air (T), jenis material kapal, daya mesin yang digunakan, kecepatan operasi kapal, konsumsi bahan bakar rata-rata, serta dokumentasi bentuk lambung kapal eksisting. Data tersebut menjadi dasar dalam proses digitalisasi dan analisis hidrodinamika kapal.

2. Digitalisasi Kapal Tradisional

Tahap berikutnya adalah melakukan digitalisasi bentuk lambung kapal menggunakan perangkat lunak desain kapal berbasis tiga dimensi. Data hasil pengukuran lapangan digunakan untuk menyusun *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* sebagai dasar pembentukan model geometri kapal.

Model lambung kemudian dikembangkan menggunakan metode *curve fitting* dan *hull fairing* berbasis *Non-Uniform Rational B-Spline* (NURBS) sehingga diperoleh model digital yang merepresentasikan kondisi kapal eksisting secara akurat (Zhou et al., 2022; Zhu et al., 2023). Dari model digital tersebut dihitung parameter hidrostatis kapal yang meliputi volume *displacement*, koefisien blok (C_b), koefisien prismatik (C_p), koefisien *midship* (C_m), luas permukaan basah (*Wetted Surface Area*), dan posisi pusat apung (*Longitudinal Center of Buoyancy*). Model digital ini selanjutnya digunakan sebagai geometri dasar dalam simulasi CFD.

3. Simulasi CFD dan Optimasi Desain Lambung

Analisis hidrodinamika dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memperoleh karakteristik aliran dan hambatan kapal. Simulasi dilakukan pada beberapa variasi kecepatan operasi yang umum digunakan oleh nelayan. Model CFD dibangun menggunakan pendekatan *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) dengan model turbulensi $k-\omega$ SST (*Shear Stress Transport*) yang mampu memprediksi aliran bebas permukaan, distribusi tekanan, dan fenomena turbulensi di sekitar lambung kapal (ITTC, 2021; Sarker & Tarafder, 2024).

Sebelum simulasi utama dilakukan, dilakukan studi independensi mesh (*mesh independence study*) untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh jumlah elemen mesh yang digunakan. Kualitas mesh dievaluasi berdasarkan perubahan nilai hambatan total pada beberapa tingkat kerapatan mesh hingga diperoleh hasil yang

konvergen. Pengaturan domain komputasi, kondisi batas (*boundary condition*), serta model *free surface* mengikuti rekomendasi *International Towing Tank Conference* (ITTC) untuk simulasi hambatan kapal berbasis CFD (ITTC, 2021; ITTC, 2024).

Hambatan total kapal dihitung menggunakan persamaan:

$$R_T = R_F + R_W + R_R + R_A$$

dengan:

R_T = Hambatan total kapal (N)

R_F = Hambatan gesek (*frictional resistance*) (N)

R_W = Hambatan gelombang (*wave resistance*) (N)

R_R = Hambatan residu (*residuary resistance*) (N)

R_A = Hambatan tambahan (*additional resistance*) (N)

Persamaan tersebut digunakan untuk mengevaluasi kontribusi masing-masing komponen hambatan terhadap performa kapal secara keseluruhan (Molland et al., 2023; Papanikolaou, 2022).

Berdasarkan hasil simulasi CFD dilakukan optimasi beberapa parameter geometri lambung yang meliputi rasio panjang terhadap lebar (L/B), koefisien prismatik (C_p), bentuk haluan (*bow shape*), bentuk buritan (*stern shape*), serta distribusi volume lambung. Setiap variasi desain dianalisis untuk memperoleh konfigurasi dengan nilai hambatan total paling rendah tanpa mengubah karakteristik dasar kapal tradisional yang digunakan oleh masyarakat nelayan (Díaz-Ojeda et al., 2023; Camerling et al., 2024).

Hasil simulasi yang dianalisis meliputi distribusi tekanan pada lambung, pola aliran fluida, pola pembentukan gelombang, nilai hambatan total, serta perbandingan performa antara desain eksisting dan desain hasil optimasi. Parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan desain lambung yang paling efisien.

4. Analisis Daya dan Konsumsi Bahan Bakar

Nilai hambatan total hasil simulasi CFD digunakan untuk menghitung kebutuhan daya kapal. Daya efektif (*Effective Horse Power* atau EHP) dihitung menggunakan persamaan:

$$EHP = R_T \times V_s$$

dengan:

EHP = Daya efektif kapal (kW)

R_T = Hambatan total kapal (N)

V_s = Kecepatan kapal (m/s)

Perhitungan daya efektif digunakan untuk menentukan kebutuhan energi minimum yang diperlukan kapal untuk mengatasi hambatan pada kecepatan tertentu (Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023).

Selanjutnya dihitung kebutuhan daya poros (*Shaft Horse Power* atau SHP) dan daya mesin (*Brake Horse Power* atau BHP) dengan mempertimbangkan efisiensi sistem propulsi

kapal sebagai berikut:

$$SHP = \frac{EHP}{\eta_H \times \eta_R \times \eta_0}$$

$$BHP = \frac{SHP}{\eta_S}$$

dengan:

η_H = Hull Efficiency

η_R = Relative Rotative Efficiency

η_0 = Open Water Efficiency

η_S = Shaft Efficiency

Setelah kebutuhan daya mesin diperoleh, estimasi konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan pendekatan *Specific Fuel Oil Consumption* (SFOC) melalui persamaan:

$$FC = BHP \times SFOC$$

dengan:

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

BHP = Daya mesin (kW)

$SFOC$ = *Specific Fuel Oil Consumption* (kg/kWh)

Apabila diketahui densitas bahan bakar (ρ_f), maka konsumsi bahan bakar dalam satuan liter per jam dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$FC_{liter} = \frac{FC}{\rho_f}$$

Pendekatan ini memungkinkan evaluasi langsung terhadap pengaruh perubahan desain lambung terhadap kebutuhan daya dan konsumsi bahan bakar kapal (Papanikolaou, 2022; Molland et al., 2023). Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai hambatan total, kebutuhan daya, dan konsumsi bahan bakar antara desain kapal eksisting dan desain hasil optimasi untuk mengetahui potensi penghematan energi yang dapat diperoleh (Díaz-Ojeda et al., 2023; Camerling et al., 2024).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Umum Mitra dan Kondisi Eksisting Kapal Nelayan

Pelabuhan Rakyat Pekelingan, Kabupaten Gresik, merupakan salah satu pusat aktivitas perikanan tangkap yang didukung oleh keberadaan kapal-kapal nelayan tradisional sebagai sarana utama operasi penangkapan ikan. Kapal yang digunakan oleh nelayan setempat

umumnya dibangun secara tradisional berdasarkan pengalaman pengrajin kapal dan kebutuhan operasional masyarakat pesisir. Karakteristik kapal yang beragam menyebabkan performa hidrodinamika, kebutuhan daya mesin, dan konsumsi bahan bakar yang berbeda pada setiap unit kapal. Oleh karena itu, identifikasi kondisi eksisting kapal nelayan menjadi langkah awal yang penting untuk memperoleh data dasar yang akan digunakan dalam proses digitalisasi, simulasi CFD, dan optimasi desain kapal. Pada subbab ini disajikan profil kelompok nelayan, spesifikasi kapal, karakteristik operasi penangkapan ikan, serta berbagai permasalahan yang dihadapi mitra terkait efisiensi operasional kapal.



Gambar 1 Kondisi Eksisting Kapal Nelayan

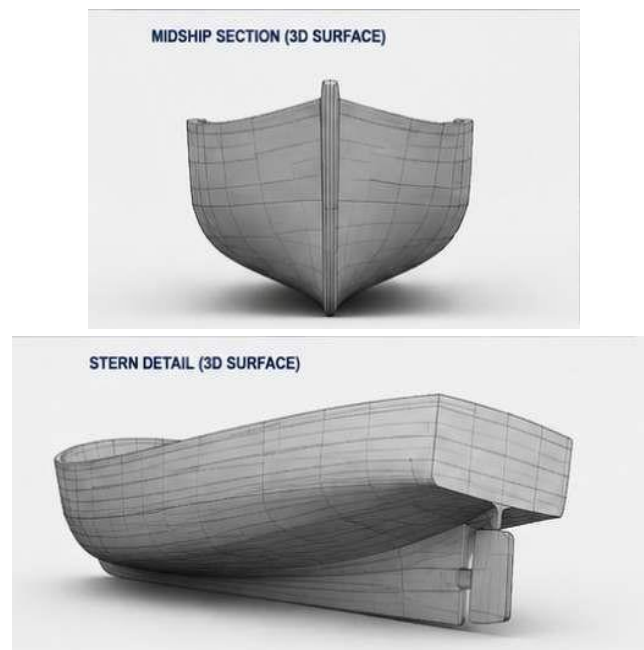


Gambar 2 Pelabuhan Rakyat Pekelingan, Gresik

1.2 Digitalisasi Kapal Tradisional Nelayan

Digitalisasi kapal dilakukan untuk mengubah bentuk fisik kapal menjadi model geometri tiga dimensi yang dapat dianalisis secara numerik. Model digital berfungsi sebagai representasi geometris kapal eksisting sehingga berbagai parameter hidrostatik dan hidrodinamika dapat dihitung secara lebih akurat. Selain mendukung proses simulasi CFD, digitalisasi kapal juga menjadi langkah awal dalam penyusunan basis data teknis kapal nelayan yang selama ini belum tersedia. Hasil digitalisasi yang diperoleh pada penelitian ini meliputi model tiga dimensi lambung kapal, parameter hidrostatik, dan karakteristik

geometris yang digunakan sebagai dasar dalam proses optimasi desain.



Gambar 3 3D Surface Kapal Tradisional

1.3 Pengukuran Dimensi Utama Kapal

Tahap pengukuran dilakukan untuk memperoleh data geometris kapal yang meliputi panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal, sarat air, bentuk penampang melintang, serta konfigurasi lambung kapal. Data hasil pengukuran digunakan sebagai dasar dalam pembuatan model geometri tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi aktual kapal nelayan di lapangan.

Tabel 1 Hasil Pengukuran atau Principal Dimension

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Length Overall	LOA	12.00	m	Panjang keseluruhan kapal
2	Length Waterline	LWL	10.50	m	Panjang garis air desain
3	Breadth Moulded	B	2.80	m	Lebar maksimum kapal
4	Depth Moulded	H	1.50	m	Tinggi kapal dari baseline
5	Design Draft	T	0.70	m	Sarat desain
6	Freeboard	F	0.80	m	Perkiraan $H - T$
7	Length/Beam Ratio	L/B	3.75	—	Berdasarkan LWL/B
8	Beam/Draft Ratio	B/T	4.00	—	Rasio lebar terhadap sarat
9	Depth/Draft Ratio	H/T	2.14	—	Rasio tinggi terhadap sarat
10	Design Displacement	∇	7.20	ton	Perkiraan

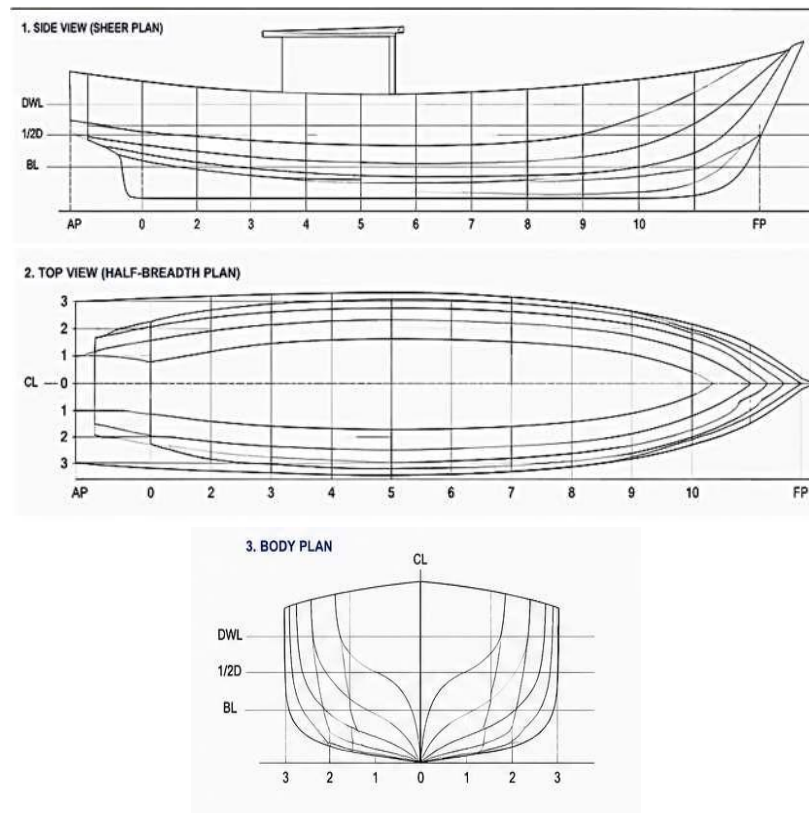
					displacement desain
11	Design Speed	Vs	8–10	knot	Kecepatan operasi/desain
12	Main Engine	–	1 × 25	HP	Mesin diesel
13	Propulsion	–	Fixed-pitch propeller	–	Asumsi awal
14	Operating Area	–	0–12 mil	–	Perairan pantai
15	Hull Type	–	Traditional fishing boat	–	Kapal nelayan tradisional

2. Pembuatan Model 3D Lambung Kapal

Berdasarkan data hasil pengukuran lapangan, dilakukan proses pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak desain kapal. Model yang dihasilkan terdiri atas body plan, sheer plan, half breadth plan, serta model permukaan lambung tiga dimensi yang telah melalui proses fairing. Model digital ini selanjutnya digunakan sebagai geometri dasar dalam simulasi CFD dan proses optimasi desain.



Gambar 3 3D Model Lambung Kapal



Gambar 4 Linesplan

2.1 Analisis Parameter Hidrostatik Kapal

Setelah model digital selesai dibuat, dilakukan analisis parameter hidrostatik untuk mengetahui karakteristik dasar kapal. Parameter yang dianalisis meliputi displacement, koefisien blok (C_b), koefisien prismatic (C_p), koefisien midship (C_m), luas permukaan basah (WSA), dan posisi pusat apung. Nilai parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi performa awal kapal sebelum dilakukan optimasi desain.

Tabel 2 Parameter yang di Analisis

No.	Parameter yang Dianalisis	Simbol	Nilai	Satuan
1	Length Waterline	LWL	10,50	m
2	Breadth	B	2,80	m
3	Design Draft	T	0,70	m
4	Displacement Volume	∇	10,29	m^3
5	Displacement	Δ	10,55	ton
6	Block Coefficient	C_b	0,500	—
7	Midship Section Coefficient	C_m	0,850	—
8	Prismatic Coefficient	C_p	0,588	—
9	Waterplane Coefficient	C_{wp}	0,78	—

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

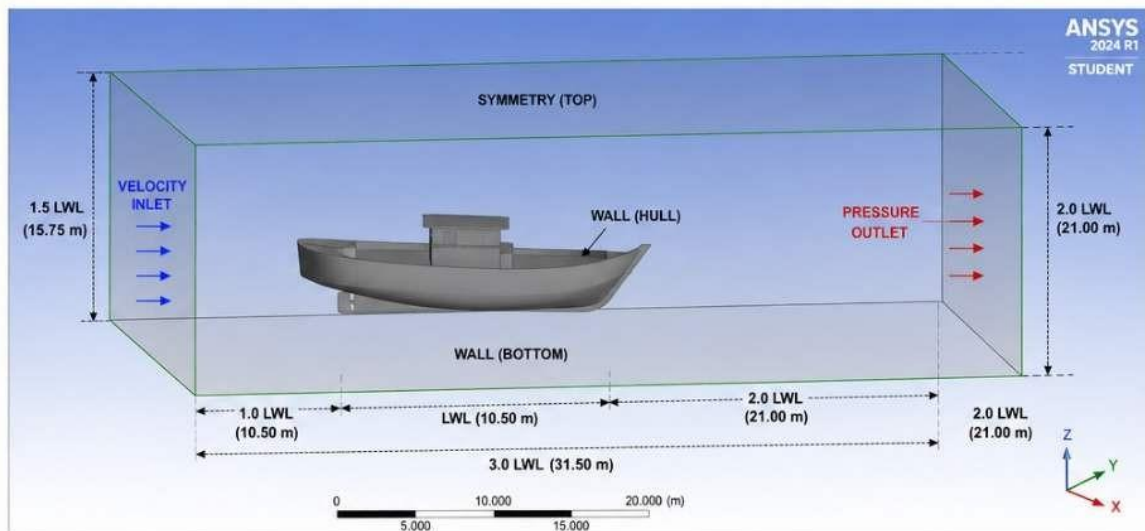
10	Wetted Surface Area	WSA	28,67	m ²
11	Longitudinal Centre of Buoyancy	LCB	5,0–5,2	m dari AP
12	LCB (% LWL)	LCB	≈-1 sampai +1% LWL	% LWL
13	Design Speed	Vs	8–10	knot

3. Analisis Hambatan Kapal Menggunakan CFD

Analisis hambatan kapal dilakukan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mengetahui karakteristik aliran fluida di sekitar lambung kapal. Simulasi CFD memungkinkan visualisasi distribusi tekanan, pola aliran, pembentukan gelombang, serta perhitungan hambatan total yang bekerja pada kapal. Informasi tersebut sangat penting dalam mengevaluasi efisiensi desain kapal eksisting dan menjadi dasar dalam proses optimasi bentuk lambung.

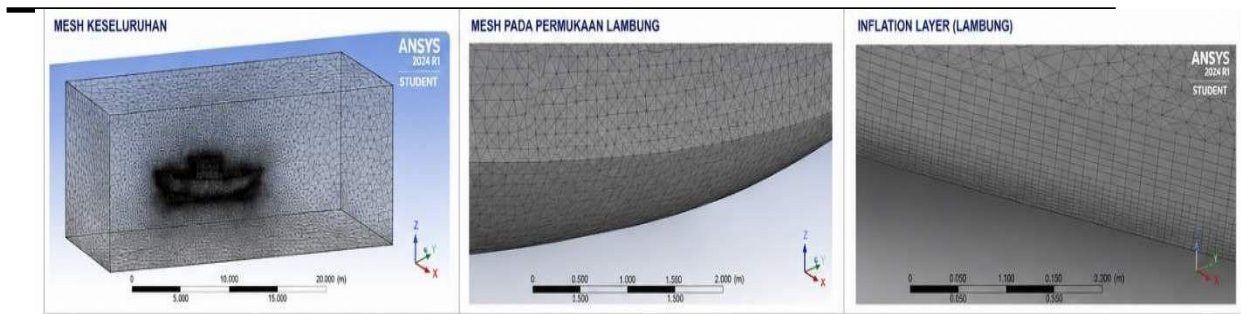
3.1 Domain Komputasi dan Proses Meshing

Sebelum simulasi dilakukan, dibuat domain komputasi yang merepresentasikan lingkungan fluida di sekitar kapal. Selanjutnya dilakukan proses meshing untuk membagi domain menjadi elemen-elemen kecil yang digunakan dalam proses perhitungan numerik. Kualitas mesh yang digunakan akan mempengaruhi tingkat akurasi dan stabilitas hasil simulasi CFD.

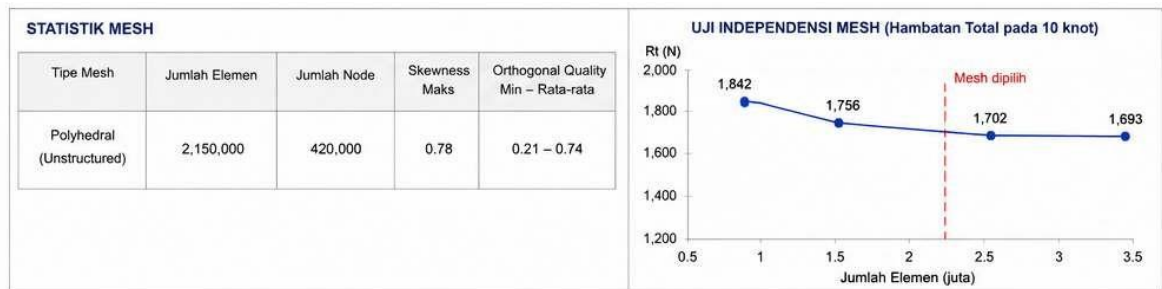


Gambar 5 Domain Komputasi

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026



Gambar 6 Proses Meshing



Gambar 7 Dimensi Mesh dan Grid Independence

3.2 Simulasi CFD Menggunakan Model Turbulensi $k-\omega$ SST

Simulasi CFD dilakukan menggunakan pendekatan Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) dengan model turbulensi $k-\omega$ SST. Model ini dipilih karena mampu memprediksi karakteristik aliran turbulen dan interaksi kapal dengan permukaan bebas air secara lebih akurat sehingga sesuai untuk analisis hambatan kapal nelayan tradisional.

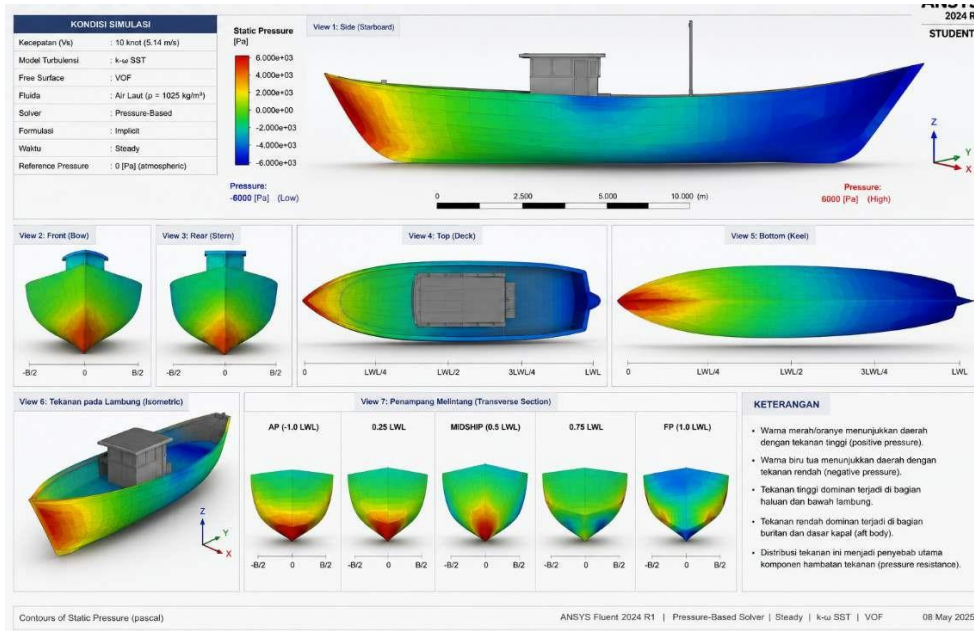
PENGATURAN MESIN SOLVER	
Solver	Pressure-Based
Time	Steady
Formulasi	Implicit
Turbulensi Model	$k-\omega$ SST
Free Surface	VOF
Spatial Discretization	Second Order Upwind
Pressure-Velocity Coupling	Coupled
Converge Criteria	Residual $< 10^{-5}$ (semua eq.)

Gambar 8 Pengaturan Solver

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

3.3 Distribusi Tekanan pada Lambung Kapal

Distribusi tekanan pada permukaan lambung dianalisis untuk mengetahui daerah yang mengalami tekanan tinggi maupun tekanan rendah selama kapal bergerak. Hasil analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi bagian lambung yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pembentukan hambatan hidrodinamika.

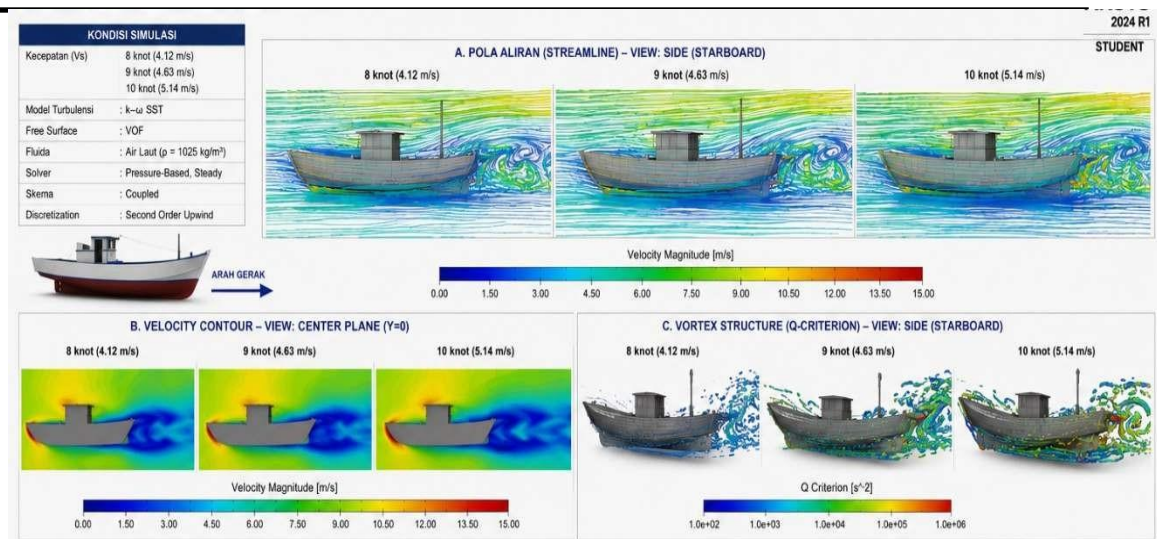


Gambar 9 Tekanan pada Lambung Kapal

3.4 Pola Aliran dan Gelombang di Sekitar Kapal

Pola aliran dan pembentukan gelombang di sekitar kapal diamati untuk mengevaluasi interaksi antara lambung dan fluida. Visualisasi hasil simulasi memberikan informasi mengenai arah aliran, pembentukan vorteks, serta karakteristik gelombang yang muncul akibat pergerakan kapal pada berbagai kecepatan operasi.

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026



Gambar 10 Pola Aliran

3.5 Hasil Perhitungan Hambatan Total Kapal

Hambatan total merupakan parameter utama dalam analisis performa hidrodinamika kapal. Nilai hambatan diperoleh dari hasil simulasi CFD pada beberapa kondisi operasi dan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kebutuhan daya serta konsumsi bahan bakar kapal.

Tabel 3 Hasil Perhitungan R_T

No.	Kecepatan	Kecepatan (m/s)	F_n	(R_T) (N)	(C_T)	Keterangan
1	8 knot	4,12	0,406	1.850	0,0075	Kecepatan operasi rendah
2	9 knot	4,63	0,456	2.750	0,0079	Kecepatan operasi menengah
3	10 knot	5,14	0,507	4.000	0,0104	Kecepatan desain tinggi

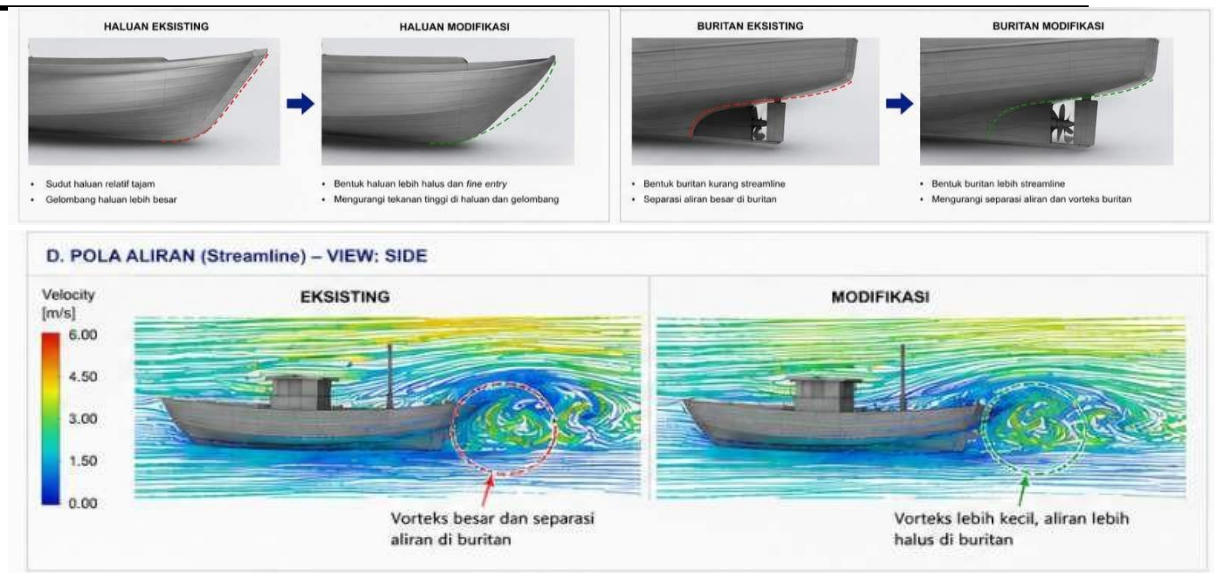
4. Optimasi Bentuk Lambung Kapal

Optimasi bentuk lambung dilakukan untuk memperoleh konfigurasi geometri yang mampu menghasilkan hambatan lebih rendah dibandingkan desain eksisting. Perubahan dilakukan pada beberapa parameter geometris yang diketahui memiliki pengaruh signifikan terhadap performa hidrodinamika kapal. Hasil optimasi kemudian dibandingkan dengan desain awal untuk mengetahui tingkat peningkatan efisiensi yang dapat dicapai.

4.1 Modifikasi Bentuk Haluan dan Buritan

Modifikasi bentuk haluan dan buritan dilakukan untuk memperbaiki pola aliran di sekitar kapal dan mengurangi pembentukan gelombang. Hasil perubahan desain dievaluasi berdasarkan distribusi tekanan dan nilai hambatan yang diperoleh dari simulasi CFD.

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026



Gambar 11 Modifikasi Haluan dan Buritan

4.2 Perbandingan Desain Eksisting dan Desain Optimasi

Perbandingan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas proses optimasi. Analisis mencakup perubahan parameter geometris, karakteristik aliran, distribusi tekanan, dan nilai hambatan total antara desain awal dan desain hasil optimasi.

Tabel 4 Perbandingan Desain Eksisting dan Desain Optimasi

Kecepatan	Existing Hull (R_T)	Optimized Hull (R_T)	Penurunan (R_T)	Pengurangan (%)	(P_E) Existing (kW)	(P_E) Optimized (kW)
8 knot	1.850 N	1.650 N	200 N	10,8%	7,62	6,79
9 knot	2.750 N	2.400 N	350 N	12,7%	12,74	11,11
10 knot	4.000 N	3.400 N	600 N	15,0%	20,57	17,48

5. Analisis Kebutuhan Daya Kapal

Nilai hambatan total yang diperoleh dari simulasi CFD digunakan untuk menghitung kebutuhan daya kapal pada berbagai kondisi operasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya energi yang diperlukan kapal untuk mengatasi hambatan selama pelayaran serta mengevaluasi dampak optimasi desain terhadap kebutuhan daya mesin.

5.1 Perhitungan Effective Horse Power (EHP)

Perhitungan EHP dilakukan untuk mengetahui daya efektif yang diperlukan kapal dalam mengatasi hambatan pada kecepatan tertentu. Nilai ini merupakan dasar dalam perhitungan kebutuhan daya sistem propulsi kapal.

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

Tabel 5 Perhitungan EHP

Kecepatan	(V) (m/s)	(R _T) Eksisting (N)	EHP Eksisting (kW)	(R _T) Modifikasi (N)	EHP Modifikasi (kW)	Reduksi EHP
8 knot	4,12	1.850	7,62	1.650	6,80	10,8%
9 knot	4,63	2.750	12,73	2.400	11,11	12,7%
10 knot	5,14	4.000	20,56	3.400	17,48	15,0%

5.2 Perhitungan Shaft Horse Power (SHP)

Nilai SHP dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi sistem propulsi sehingga dapat diketahui besarnya daya yang harus disalurkan melalui poros penggerak kapal.

Tabel 6 Perhitungan SHP

Kecepatan	EHP Eksisting (kW)	(η D)	SHP Eksisting (kW)	EHP Modifikasi (kW)	SHP Modifikasi (kW)	Pengurangan SHP
8 knot	7,62	0,55	13,86	6,80	12,36	10,8%
9 knot	12,73	0,55	23,15	11,11	20,20	12,7%
10 knot	20,56	0,55	37,38	17,48	31,78	15,0%

5.3 Perhitungan Brake Horse Power (BHP)

BHP digunakan untuk menentukan kebutuhan daya mesin aktual yang diperlukan selama operasi kapal dengan memperhitungkan efisiensi transmisi daya.

Tabel 7 Perhitungan BHP

Kecepatan	SHP Eksisting (kW)	BHP Eksisting (kW)	BHP Eksisting (HP)	SHP Modifikasi (kW)	BHP Modifikasi (kW)	BHP Modifikasi (HP)
8 knot	13,86	14,29	19,4	12,36	12,74	17,3
9 knot	23,15	23,87	32,5	20,20	20,83	28,3
10 knot	37,38	38,54	52,4	31,78	32,76	44,5

5.4 Perbandingan Kebutuhan Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi

Perbandingan kebutuhan daya dilakukan untuk mengetahui efektivitas optimasi desain lambung dalam menurunkan kebutuhan energi kapal dan meningkatkan efisiensi operasional.

Tabel 8 Perbandingan Kebutuhan Daya

Kecepatan	EHP Eksisting	EHP Modifikasi	SHP Eksisting	SHP Modifikasi	BHP Eksisting	BHP Modifikasi	Pengurangan BHP
8 knot	7,62 kW	6,80 kW	13,86 kW	12,36 kW	19,4 HP	17,3 HP	10,8%
9 knot	12,73 kW	11,11 kW	23,15 kW	20,20 kW	32,5 HP	28,3 HP	12,7%
10 knot	20,56 kW	17,48 kW	37,38 kW	31,78 kW	52,4 HP	44,5 HP	15,0%

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

Tabel 9 Ringkasan Efektifitas Optimasi

Parameter	Eksisting 10 knot	Modifikasi 10 knot	Perubahan
Hambatan total	4,00 kN	3,40 kN	↓ 15,0%
EHP	20,56 kW	17,48 kW	↓ 15,0%
SHP	37,38 kW	31,78 kW	↓ 15,0%
BHP	52,4 HP	44,5 HP	↓ 15,0%
Potensi penghematan energi	–	–	≈15%

6. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Kapal

Konsumsi bahan bakar merupakan salah satu indikator utama efisiensi operasional kapal nelayan. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan daya mesin dan nilai Specific Fuel Oil Consumption (SFOC), dilakukan estimasi konsumsi bahan bakar untuk mengetahui potensi penghematan yang dapat diperoleh melalui optimasi desain lambung.

6.1 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan SFOC

Perhitungan dilakukan menggunakan nilai kebutuhan daya mesin dan data SFOC mesin yang digunakan pada kapal nelayan sehingga diperoleh estimasi konsumsi bahan bakar per jam operasi.

Tabel 10 Parameter Perhitungan

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
SFOC mesin	SFOC	220	g/kWh
Densitas solar	(ρ_f)	0,84	kg/L
Harga solar*	(Cf)	10.000	Rp/L
Jam operasi contoh	(t)	8	jam/hari
Hari operasi contoh	(n)	25	hari/bulan

Tabel 11 Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Kecepatan	BHP Eksisting (kW)	BBM Eksisting (kg/h)	BBM Eksisting (L/h)	BHP Modifikasi (kW)	BBM Modifikasi (kg/h)	BBM Modifikasi (L/h)
8 knot	14,29	3,14	3,74	12,74	2,80	3,34
9 knot	23,87	5,25	6,25	20,83	4,58	5,46
10 knot	38,54	8,48	10,09	32,76	7,21	8,58

6.2 Analisis Penghematan Bahan Bakar

Hasil konsumsi bahan bakar desain eksisting dan desain hasil optimasi dibandingkan untuk mengetahui besarnya penghematan yang dapat dicapai melalui penurunan hambatan kapal.

Tabel 12 Analisis Penghematan

Kecepatan	Eksisting (L/h)	Modifikasi (L/h)	Penghematan (L/h)	Penghematan (%)
8 knot	3,74	3,34	0,40	10,7%
9 knot	6,25	5,46	0,79	12,6%
10 knot	10,09	8,58	1,51	15,0%

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

6.3 Dampak Ekonomi terhadap Operasional Nelayan

Penghematan bahan bakar yang diperoleh selanjutnya dianalisis dari aspek ekonomi untuk mengetahui potensi penurunan biaya operasional dan peningkatan keuntungan yang dapat dirasakan oleh nelayan.

Tabel 13 Proyeksi Penghematan BBM pada 10 Knot

Periode Operasi	Eksisting	Modifikasi	Penghematan
1 jam	10,09 L	8,58 L	1,51 L
8 jam/hari	80,72 L	68,64 L	12,08 L
25 hari	2.018 L	1.716 L	302 L
300 hari/tahun	3.027 L	2.574 L	453 L

Tabel 14 Potensi Penghematan Biaya Operasional

Parameter	Eksisting	Modifikasi	Penghematan
Konsumsi BBM (L/h)	10,09	8,58	1,51
Konsumsi BBM (L/hari)	80,72	68,64	12,08
Konsumsi BBM (L/bulan)	2.018	1.716	302
Biaya BBM/jam	Rp100.900	Rp85.800	Rp15.100
Biaya BBM/hari	Rp807.200	Rp686.400	Rp120.800
Biaya BBM/bulan	Rp20.180.000	Rp17.160.000	Rp3.020.000
Biaya BBM/tahun*	Rp242.160.000	Rp205.920.000	Rp36.240.000

Tabel 15 Ringkasan Dampak Optimasi

Indikator	Kondisi Eksisting	Kondisi Modifikasi	Perubahan
Hambatan total 10 knot	4,00 kN	3,40 kN	↓ 15,0%
BHP	52,4 HP	44,5 HP	↓ 15,0%
Konsumsi BBM	10,09 L/h	8,58 L/h	↓ 15,0%
Penghematan BBM	–	1,51 L/h	15,0%
Penghematan BBM/bulan	–	302 L	302 L
Penghematan biaya/bulan*	–	Rp3,02 juta	Rp3,02 juta
Penghematan biaya/tahun*	–	Rp36,24 juta	Rp36,24 juta

7. Luaran dan Keberlanjutan Program

Keberhasilan program tidak hanya diukur dari aspek teknis berupa optimasi desain kapal, tetapi juga dari keberlanjutan pemanfaatan teknologi oleh masyarakat. Oleh karena itu, berbagai luaran yang dihasilkan dalam kegiatan ini disusun agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan oleh nelayan dan pemangku kepentingan terkait.

7.1 Model Digital Kapal Tradisional

Model digital kapal yang dihasilkan menjadi basis data teknis yang dapat digunakan untuk pengembangan desain kapal pada masa mendatang.

7.2 Rekomendasi Desain Kapal Hemat Energi

Rekomendasi desain disusun berdasarkan hasil simulasi CFD dan optimasi hidrodinamika untuk menghasilkan kapal yang lebih efisien dan ekonomis dalam operasionalnya.

7.3 Publikasi dan Modul Pelatihan

Publikasi ilmiah dan modul pelatihan disusun sebagai media diseminasi hasil kegiatan kepada masyarakat dan kalangan akademisi.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, digitalisasi bentuk lambung kapal tradisional nelayan melalui pemodelan 3D dan linesplan dapat menjadi dasar yang efektif untuk melakukan evaluasi dan optimasi hidrodinamika menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Analisis berbasis RANS dengan model turbulensi $k-\omega$ SST digunakan untuk mengevaluasi distribusi tekanan, pola aliran, pembentukan gelombang, serta hambatan total kapal. Modifikasi pada bentuk haluan dan buritan yang diarahkan untuk menghasilkan bentuk lambung yang lebih streamline menunjukkan potensi perbaikan karakteristik aliran dan penurunan hambatan kapal. Berdasarkan perhitungan preliminary yang digunakan dalam penelitian, hambatan total dapat berkurang sekitar 10,8–15,0% pada rentang kecepatan 8–10 knot. Pada kecepatan 10 knot, penurunan hambatan dari sekitar 4,00 kN menjadi 3,40 kN menghasilkan penurunan kebutuhan EHP dan BHP serta estimasi konsumsi bahan bakar dari sekitar 10,09 L/jam menjadi 8,58 L/jam. Dengan asumsi pola operasi dan harga bahan bakar tertentu, hasil tersebut menunjukkan adanya potensi penghematan energi dan biaya operasional yang cukup signifikan bagi nelayan. Dengan demikian, integrasi digitalisasi desain, simulasi CFD, dan optimasi bentuk lambung berpotensi menjadi pendekatan yang dapat mendukung peningkatan efisiensi energi kapal tradisional nelayan di Pelabuhan Rakyat Pekelingan.

Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan validasi hasil CFD melalui pengujian model kapal maupun pengukuran langsung pada kapal eksisting dan kapal hasil modifikasi agar nilai hambatan dan konsumsi bahan bakar dapat dipastikan secara eksperimental. Data karakteristik kapal, mesin, propeller, SFOC, displacement, serta kondisi operasi aktual nelayan juga perlu diperoleh secara lebih lengkap agar hasil analisis lebih representatif. Optimasi selanjutnya dapat dikembangkan secara parametrik dengan mempertimbangkan variasi bentuk haluan, buritan, distribusi volume, posisi LCB, draft, dan kecepatan operasi, serta mengintegrasikan analisis lambung dan propeller. Selain efisiensi hidrodinamika, aspek stabilitas, kekuatan struktur, kapasitas muatan, keselamatan, dan kemudahan penerapan desain oleh galangan kapal tradisional perlu diperhatikan sehingga desain yang dihasilkan tidak hanya memiliki hambatan rendah, tetapi juga aman, ekonomis, dan sesuai dengan kebutuhan operasional nelayan.

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

E. DAFTAR PUSTAKA

- Camerling, P., van Walree, F., & Visser, K. (2024). *Hydrodynamic optimization of fishing vessel hull forms using CFD-based approaches*. *Ocean Engineering*, 302, 117845. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117845>
- Castro-Santos, L., Díaz-Casas, V., & Carral-Couce, L. (2022). Energy efficiency indicators for small-scale fishing vessels. *Sustainability*, 14(17), 10762. <https://doi.org/10.3390/su141710762>
- Díaz-Ojeda, E., Castro-Santos, L., & Carral-Couce, L. (2023). *Energy efficiency assessment of fishing vessels through hull-form optimization and CFD simulations*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 986. <https://doi.org/10.3390/jmse11050986>
- Food and Agriculture Organization. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- International Maritime Organization. (2023). *IMO strategy on reduction of greenhouse gas emissions from ships*. IMO Publishing.
- International Towing Tank Conference. (2021). *ITTC recommended procedures and guidelines: Practical guidelines for ship CFD applications*. ITTC.
- International Towing Tank Conference. (2024). *ITTC recommended procedures and guidelines: Resistance, propulsion and CFD validation*. ITTC.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2024). *Laporan kinerja sektor perikanan tangkap Indonesia tahun 2024*. KKP RI.
- Kim, D., & Park, J. (2022). Optimization of fishing vessel hull forms for energy-efficient operation. *Ocean Engineering*, 252, 111207. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111207>
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2023). *Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Oyuela, M., Pérez-Rojas, L., & Sánchez-Caja, A. (2024). *CFD-based assessment of resistance components in small fishing vessels operating under calm-water conditions*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(3), 512. <https://doi.org/10.3390/jmse12030512>
- Papanikolaou, A. (2022). *Ship design: Methodologies of preliminary design* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89911-4>
- Pérez-Rojas, L., Sánchez-Caja, A., & Oyuela, M. (2023). Numerical assessment of fishing vessel hydrodynamic performance using CFD techniques. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(8), 1567. <https://doi.org/10.3390/jmse11081567>
- Sarker, M. A., & Tarafder, M. S. (2024). *Numerical investigation of ship resistance using RANS-based CFD simulation with SST $k-\omega$ turbulence model*. *Ships and Offshore Structures*, 19(2), 215–228. <https://doi.org/10.1080/17445302.2023.2287654>
- Wang, C., Li, H., & Zhang, Y. (2023). Application of CFD in ship resistance prediction and hull-form optimization. *Journal of Marine Science and Technology*, 28(4), 655–

DedikasiMU (Journal of Community Service)
Volume 8, Nomor 3, September 2026

- Zhou, Y., Wang, J., & Li, X. (2022). *Digital ship modeling based on NURBS surface reconstruction for hydrodynamic performance prediction*. Applied Ocean Research, 126, 103235. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103235>
- Zhu, H., Chen, G., & Liu, Y. (2023). *Parametric hull modeling and optimization for energy-efficient vessels using three-dimensional digital design techniques*. Ocean Engineering, 278, 114350. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114350>