



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis
(Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

ANALISA PENGARUH VARIASI SUDUT *CHINE* PADA LAMBUNG KAPAL PATROLI DENGAN MENGGUNAKAN METODE CFD

Abdul Rohman¹, Anggra Fiveriati¹, I Gusti Ngurah Agung Satria Prasetya Eka Darma¹, Khairul Muzaka¹, Frandy Dharma Putra¹

¹) Program Studi Teknik Manufaktur Kapal, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Banyuwangi

Corresponding Author: rahmanabd@poliwangi.ac.id

Article Info

Abstract

Keywords:

chine angle, patrol boat, CFD, resistance, WSA.

Article history:

Received: 10/09/2025
Last revised: 16/10/2025
Accepted: 20/10/2025
Available online: 5/11/2025
Published: 28/11/2025

DOI: 10.35314/9cqndd78

Abstrak

Kapal patroli memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keamanan maritim, menegakkan hukum, dan mengawasi perairan nasional. Untuk mendukung hal tersebut, diperlukan kapal patroli dengan performa kecepatan tinggi dan efisiensi hidrodinamika yang optimal. Salah satu cara untuk meningkatkan performa kapal adalah dengan memodifikasi bentuk lambung, khususnya melalui penambahan variasi *chine*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bentuk *chine* terhadap hambatan total kapal. Terdapat lima variasi desain yang dianalisis: desain asli, *single chine* 10°, *double chine* 0°, dan *double chine* 10°, masing-masing diuji pada kecepatan 2 knot, 10 knot, dan 20 knot. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bentuk *double chine* dengan sudut 10° memberikan performa terbaik secara keseluruhan. Pada kecepatan 10 knot, variasi *double chine* 10° menghasilkan hambatan total terendah yaitu sebesar 4145,86 N dan menunjukkan efisiensi yang baik meskipun *wetted surface area* (WSA) meningkat menjadi 15,913162 m². Sementara pada kecepatan 2 knot, variasi ini menunjukkan hasil yang mendekati optimal dengan hambatan sebesar 1371,34 N. Pada kecepatan 20 knot, variasi ini menunjukkan hambatan sebesar 5795,54 N dengan WSA 11,378655 m². Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi jumlah dan sudut *chine* memiliki pengaruh nyata terhadap performa hidrodinamika kapal patroli, dan desain *double chine* 10° merupakan pilihan paling efisien dalam mengurangi hambatan tanpa meningkatkan WSA secara signifikan.

Abstract

Patrol boats play a vital role in maintaining maritime security, enforcing laws, and monitoring national waters. To support these missions, patrol boats require high-speed performance and optimal hydrodynamic efficiency. One method to enhance vessel performance is by modifying the hull form, specifically through the addition of chine variations. This study aims to analyze the effect of chine shape variations on the total resistance of the boat. Five design variations were analyzed: the original design, *single chine* 10°, *double chine* 0°, and *double chine* 10°, each tested at speeds of 2 knots, 10 knots, and 20 knots. The simulation results show that the *double chine* shape with a 10° angle delivers the best overall performance. At a speed of 10 knots, the *double chine* 10° variation yielded the lowest total resistance of 4145.86 N and demonstrated good efficiency, even though the wetted surface area (WSA) increased to 15.913162 m². At 2 knots, this variation also showed near-optimal results with a resistance of 1371.34 N. At 20 knots, it exhibited a resistance of 5795.54 N with a WSA of 11.378655 m². These results prove that the combination of the number and angle of the chine has a significant impact on the hydrodynamic performance of patrol boats, and the *double chine* 10° design is the most efficient choice for reducing resistance without a significant increase in WSA.

1. PENDAHULUAN

Kapal patroli memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga keamanan perairan, menegakkan hukum, dan mengawasi perairan nasional. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia,

Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau yang tersebar di wilayah laut seluas 6,4 juta kilometer persegi[1].

Faktor penting dalam industri perkapalan yang mempengaruhi efisiensi operasional kapal adalah hambatan yang dihasilkan oleh pergerakan kapal di air[2]. Hambatan ini, yang dikenal sebagai hambatan gesekan atau drag, dapat berpengaruh besar terhadap konsumsi bahan bakar dan kecepatan kapal[3]. Untuk merancang kapal yang lebih efisien, salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah desain bentuk lambung kapal, yang mencakup bentuk dan sudut *Chine* (bagian bawah kapal yang menghubungkan sisi lambung dengan dasar kapal)[4].

Varian bentuk *Chine* yang berbeda akan mempengaruhi distribusi aliran air di sekitar lambung kapal, sehingga berpotensi mengubah karakteristik hambatan yang dialami oleh kapal saat berlayar[5]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak variasi bentuk *Chine* terhadap hambatan kapal, dengan menggunakan simulasi berbasis metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai hubungan antara desain *Chine* dan hambatan kapal.

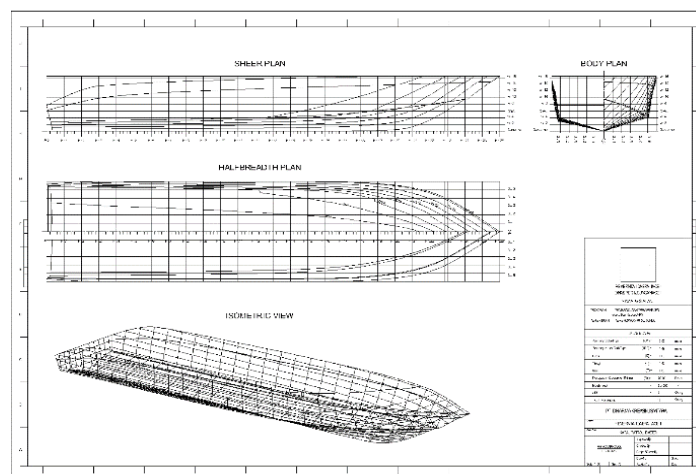
Metode CFD, yang merupakan perangkat lunak analisis elemen, memungkinkan untuk mensimulasikan aliran fluida dengan presisi tinggi, serta memperhitungkan interaksi kompleks antara kapal dan air. Dengan menggunakan CFD, berbagai variasi bentuk *Chine* dapat diuji untuk melihat bagaimana masing-masing desain memengaruhi hambatan kapal dalam kondisi operasi yang berbeda[6]. Dalam penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan desain *Chine* yang optimal dan efisien, yang tidak hanya dapat mengurangi hambatan, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional kapal secara keseluruhan[7].

Variasi *hard chine* pada kapal patroli namun terbatas pada sudut 0° dan 15°[8]. Single chine tanpa eksplorasi *double chine*[9]. Bentuk *chine* tanpa variasi sudut detail[10]. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah dengan menganalisis pengaruh variasi sudut *chine* 0° dan 10° pada konfigurasi *single* dan *double chine* terhadap hambatan kapal patroli menggunakan metode CFD.

2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ukuran utama lambung kapal patroli didapatkan oleh penyusun pada di salah satu perusahaan galangan reparasi kapal di PT. 4S Marine Jawa Timur.



Gambar 1. Rencana Garis

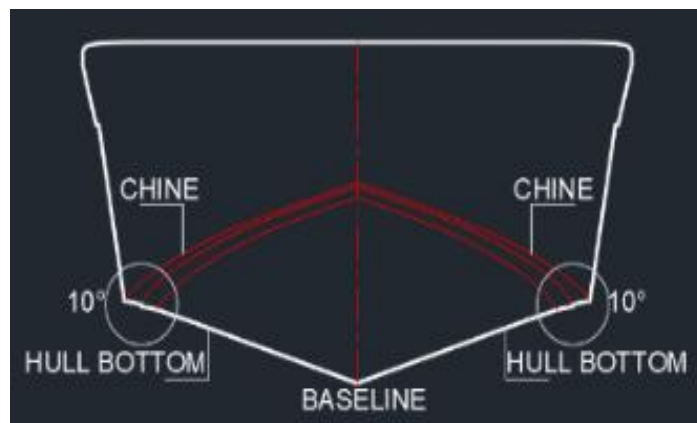
Tabel 1. Data Utama Lambung Kapal Patroli

Panjang keseluruhan (LOA)	13 m
Lebar (B)	3 m
Tinggi (H)	1,3 m
Sarat air (T)	0,6 m
Kecepatan Dinas (Vs)	20 Knot
Mesin Induk	2 x 250 HP

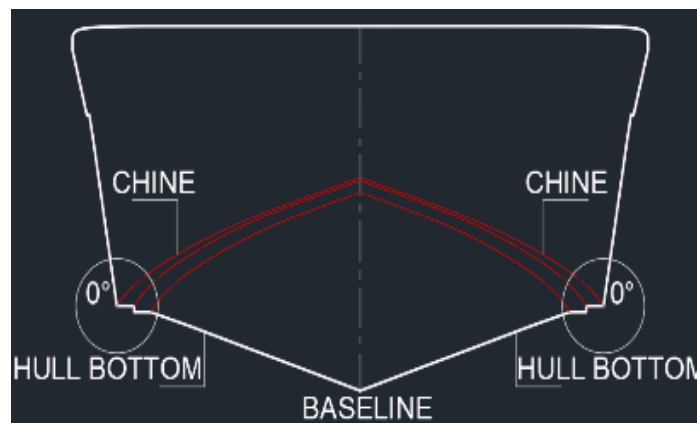
2.2 Sudut *Chine*

Pemodelan lambung dikembangkan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeller, dengan rencana garis ditunjukkan pada Gambar 2,3,4 Variasi *chine* dibuat menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 3D berdasarkan data yang diperoleh dari galangan kapal.

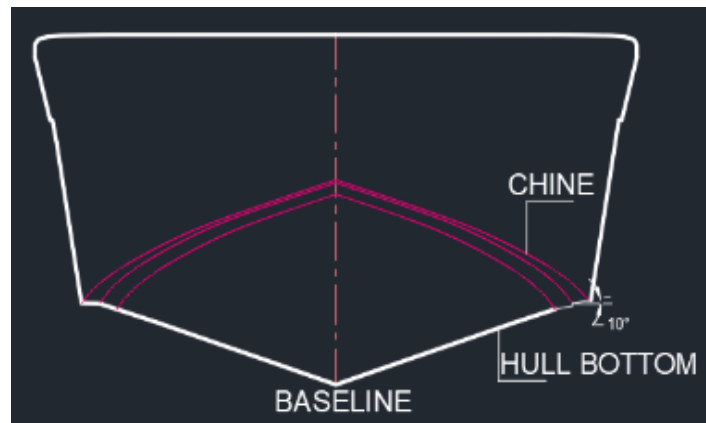
Variasi *chine* yang diimplementasikan dalam penelitian ini meliputi: Desain asli (tanpa *chine*), Single *chine* dengan sudut 10°, *Double chine* dengan sudut 0°, *Double chine* dengan sudut 10°. Semua variasi diuji pada tiga kecepatan berbeda: 2 knot, 10 knot, dan 20 knot untuk menganalisis karakteristik hambatannya. Variasi bentuk *chine* dapat dilihat pada Gambar bawah ini.



Gambar 2. Single Chine 10



Gambar 3. Double Chine 0



Gambar 4. Double Chine 10

2.3 Validasi Desain Hull

Validasi model dilakukan untuk membandingkan nilai yang terdapat pada software *Maxsurf* dengan data perhitungan manual dari volume *displacement* kapal. Disini validasi model digunakan untuk menjamin keakuratan dan ketepatan permodelan dari lambung kapal, batas koreksi maksimal perbandingan hidrostatis kapal senilai $\pm 5\%$. Nilai ini diambil berdasarkan pada penelitian terdahulu yang menganggap bahwa nilai demikian masih dalam toleransi yang baik.

Tahap validasi merupakan cara untuk mencari selisih antara *displacement* pada *Maxsurf* dan perhitungan manual. Dikarenakan pada data utama kapal tidak terdapat *displacement* maka dilakukan perhitungan manual dengan menggunakan rumus berikut[11]:

$$\Delta = Lwl \times B \times T \times Cb \times \rho \quad (1)$$

Dimana :

- Δ : *Displacement* (Ton)
- Cb : Koefisien Blok
- Lwl : Panjang Garis Air Kapal (m)
- ρ : Densitas air (kg/m^3)
- B : Lebar Kapal (m)
- T : Sarat Air kapal (m)

Sebelum menghitung *displacement* kapal, diperlukan data koefisien blok (Cb) terlebih dahulu. Namun, karena pada pengambilan data *lines plan* dari perusahaan tidak terdapat data koefisien blok (Cb), maka dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui nilai dari koefisien blok (Cb) kapal[12]. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh *The Watson and Gilfillan C_b/F_n relationship* sebagaimana dijelaskan dalam buku *Practical Ship Design*. Berikut ini merupakan proses perhitungan dari koefisien blok (Cb) kapal[13].

$$C_b = 0.70 + 1/8 \tan^{-1} \left(\frac{23-100 F_n}{4} \right) \text{ radians} \quad (2)$$

Dimana :

- F_n : *Froude Number*

2.4 Hambatan

Hambatan kapal merupakan gaya hambat dari air yang dilalui oleh kapal saat kapal tersebut tercelup dalam air dan beroperasi dengan kecepatan tertentu[14]. Dalam merencanakan kapal, faktor umum yang memegang peranan penting adalah hambatan yang akan dialami oleh kapal pada waktu bergerak[15].

Hambatan total pada kapal secara umum dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_T \cdot WSA \cdot V_s^2 \quad (3)$$

Dimana:

- R_T : Hambatan total kapal rancangan.
- C_T : Koefisien hambatan total.
- ρ : Berat jenis air laut (kg/m³)
- WSA : *Wetted Surface Area* (m²)
- V_s : Kecepatan kapal rancangan.(knot)

2.5 Skema Eksperimen Numerik

Penelitian mengikuti skema eksperimen numerik komprehensif seperti yang ditabelkan di bawah ini:

Tabel 2. Skema Eksperimen Numerik

Variabel	Spesifikasi
Variasi Desain	Original, <i>Single</i> 10°, <i>Double</i> 0°, <i>Double</i> 10°
Kecepatan Uji	2 knot, 10 knot, 20 knot
Parameter Terukur	Hambatan Total (RT), Luas Permukaan Basah (WSA)
Metode Analisis	Simulasi CFD menggunakan NUMECA <i>Fine/Marine</i>
Metode Validasi	Perbandingan <i>displacement</i> dan Cb dengan Maxsurf

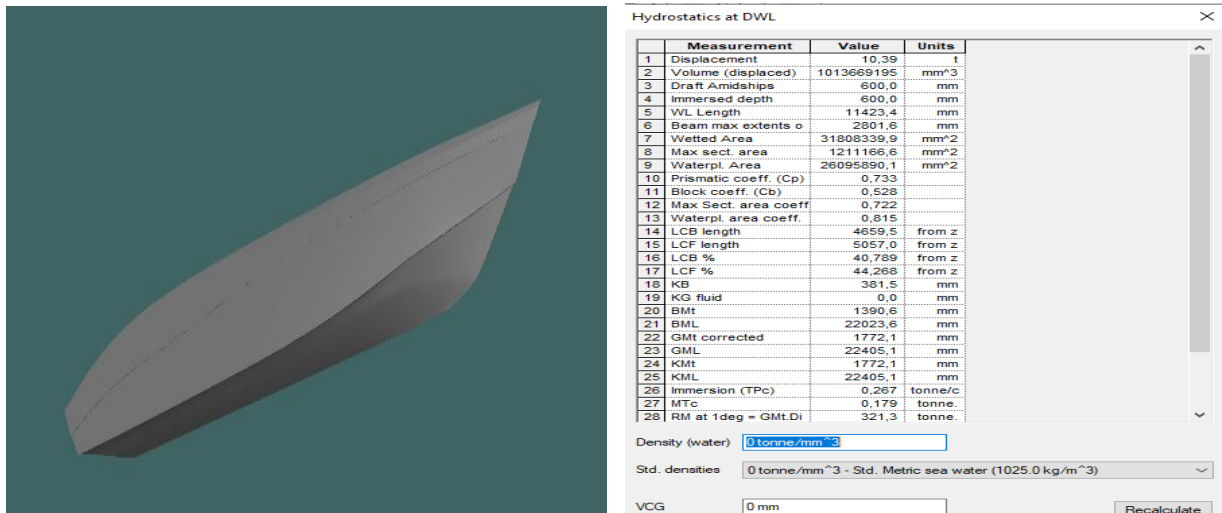
Hasil simulasi untuk setiap variasi dianalisis untuk menentukan konfigurasi *chine* optimal yang memberikan hambatan total terendah sambil mempertahankan nilai luas permukaan basah yang dapat diterima.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil penelitian yang diperoleh melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak NUMECA *Fine/Marine*. Hasil berupa nilai hambatan total dari empat variasi desain *chine* dianalisis pada tiga kondisi kecepatan berbeda, yaitu kecepatan 2 knot, kecepatan 10 knot, dan kecepatan 20 knot. Pembahasan ini mencakup interpretasi data, perbandingan antar model, serta hubungan hasil penelitian dengan teori dan studi sebelumnya. Selain itu, juga dijelaskan pengaruh perubahan desain sudut *chine* terhadap aliran fluida dan efisiensi hambatan berdasarkan analisis ilmiah dan rumus hidrodinamika.

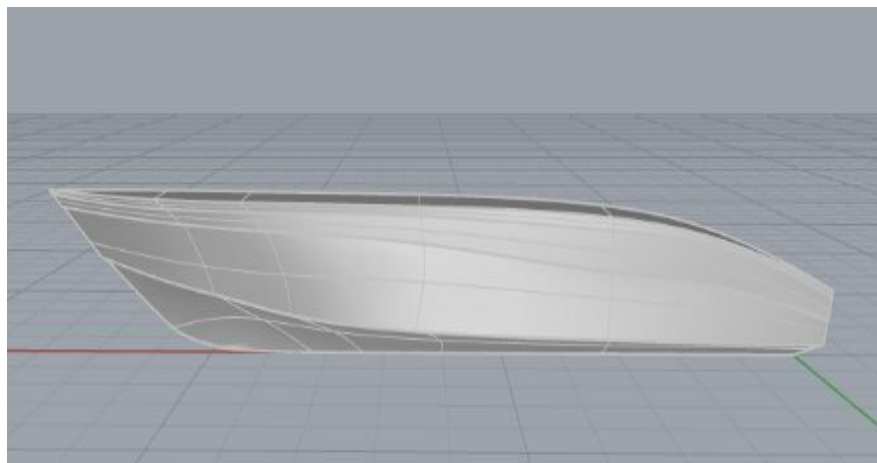
3.1 Desain Lambung dan Sudut *Chine*

Pemodelan lambung dan chine ini menggunakan Software Maxsurf Modeller. Hasil dari pemodelan lambung kapal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Model Lambung dan Data Hidrostatik

Permodelan *chine* yang digunakan pada lambung kapal patroli dibuat dengan *software rhinoceros* sesuai dengan data yang telah didapatkan oleh perusahaan Galangan. Gambar permodelan *chine* dapat dilihat pada Gambar 6. berikut ;



Gambar 6. Pemodelan 3D Lambung Kapal Patroli

3.2 Validasi Model Lambung

Sebelum menghitung *displacement* kapal, diperlukan data koefisien blok (C_b) terlebih dahulu. Namun, karena pada pengambilan data *lines plan* dari perusahaan tidak terdapat data koefisien blok (C_b), maka dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui nilai dari koefisien blok (C_b) kapal. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh David G.M. Watson yaitu *The*

Watson and Gilfillan C/F , relationship sebagaimana dijelaskan dalam buku *Practical Ship Design*. Langkah awal yaitu mencari *froude number* terlebih dahulu yakni :

$$Fn = Vs / (\sqrt{g.L}) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Fn &= Vs / (\sqrt{g.L}) \\ &= 10,288 / (\sqrt{9,81 \times 11,42}) \\ &= 0,972 \\ &= 0,972 \end{aligned}$$

Maka nilai C_b dapat dihitung dengan persamaan (2):

$$\begin{aligned} C_b &= 0.70 + 1/8 \tan^{-1} \left(\frac{23-100 \cdot Fn}{4} \right) \text{ radians} \\ &= 0.70 + 1/8 \tan^{-1} \left(\frac{23-100 \times 0,972}{4} \right) \text{ radians} \\ &= \mathbf{0,5104} \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai *displacement* dapat dihitung dengan persamaan (1) :

$$\begin{aligned} \Delta &= Lwl \times B \times T \times C_b \times \rho \\ &= 11,42 \times 3 \times 0,6 \times 0,5104 \times 1,025 \\ &= \mathbf{10,7537 \text{ Ton}} \end{aligned}$$

Untuk memastikan model kapal sama dengan gambar *lines plan* yang sebenarnya, maka dilakukan validasi model kapal dengan cara membandingkan data *displacement* dan C_b pada *Software maxsurf* dengan data perhitungan manual seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai-nilai memiliki perbedaan hasil ukuran kapal utama dengan toleransi $\pm 5\%$. dengan demikian hasil pemodelan line plan dedefinisikan valid.

Tabel 3. Validasi Pada Model Kapal

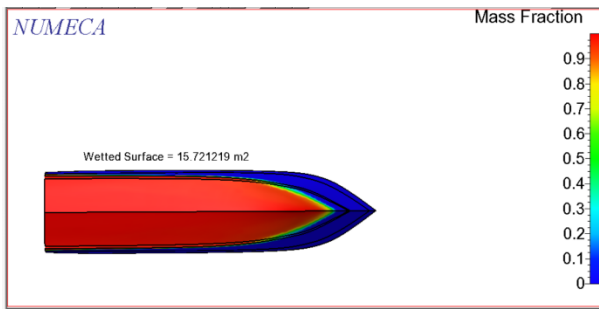
Validasi	Data Kapal	Model Maxsurf	Selisih	Toleransi	Status
<i>Displacement</i>	10,753 Ton	10,39 Ton	3,38217434 %	$\pm 5\%$.	Memenuhi
C_b	0,5104	0,528	-3,4518136 %	$\pm 5\%$.	Memenuhi

Sudut *Chine* berpengaruh signifikan terhadap pengurangan hambatan pada kapal cepat. Dampak dari perubahan variabel, yaitu bentuk dan sudut chine, terbukti menghasilkan perubahan aliran fluida disekitar lambung. Semakin baik aliran diarahkan (minim separasi). Maka semakin rendah gaya hambat yang terjadi. Oleh karena itu, desain *double chine* dengan sudut 10° menjadi pilihan paling efisien dalam konteks hidrodinamika.

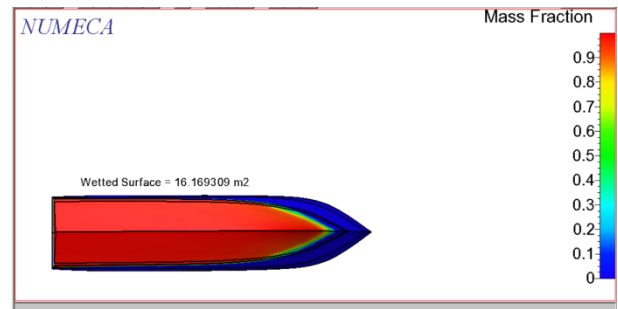
3.3 Hambatan Lambung Kapal

Setelah dilakukan proses analisa hambatan total lambung kapal dengan penambahan variasi sudut *chine* menggunakan metode CFD hasil simulasi pada kecepatan 2 knot, kecepatan 10 knot, dan kecepatan 20 knot didapatkan hasil sebagai berikut :

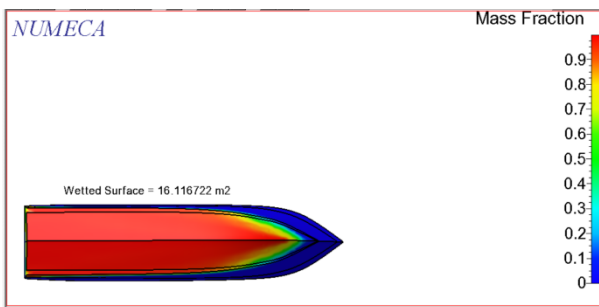
a. Pada Kecepatan 2 Knot



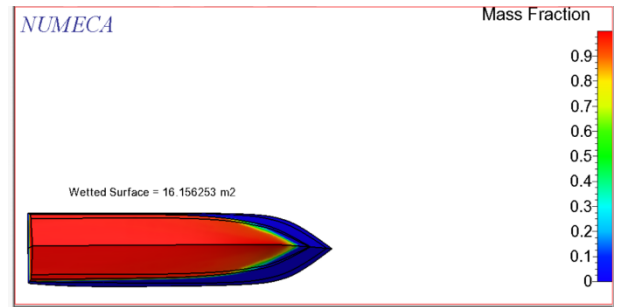
Gambar 7. WSA Desain Awal



Gambar 8. WSA Single 10°



Gambar 9. WSA Double 0°

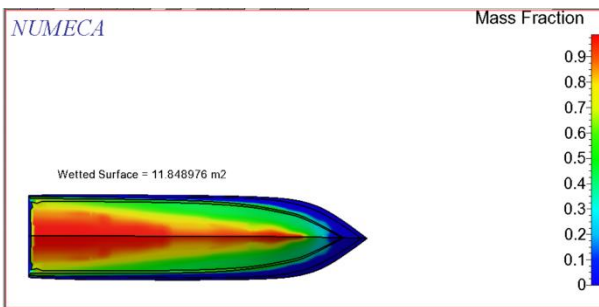


Gambar 10. WSA Double 10°

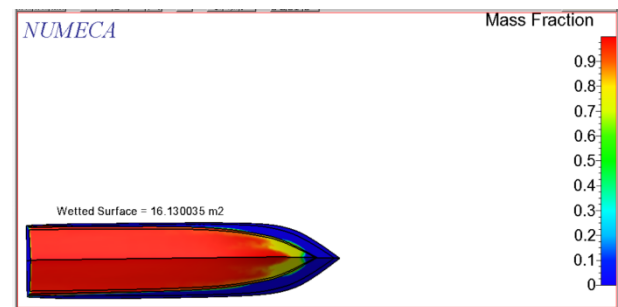
Desain asli memiliki hambatan paling rendah yaitu 1349,27 N. Penambahan *chine* meningkatkan hambatan, di mana variasi *single chine* mencapai 1949,89 N, sedangkan konfigurasi *double chine* menurunkan hambatan menjadi 1936,09 N pada sudut 0° dan 1912,14 N pada sudut 10°. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *chine* menambah hambatan, *double chine* dengan sudut 10° lebih efisien dibanding *single chine*.

Nilai luas permukaan basah (WSA/Wetted Surface Area) juga memengaruhi besarnya hambatan. Desain asli memiliki WSA terkecil yaitu 10,57 m², sementara *single chine* memiliki WSA terbesar 11,4 m². Pada *double chine*, WSA berada di 10,96 m² untuk sudut 0° dan 11,15 m² untuk sudut 10°. Semakin besar WSA, semakin luas kontak lambung dengan air, sehingga nilai hambatan kapal ikut meningkat.

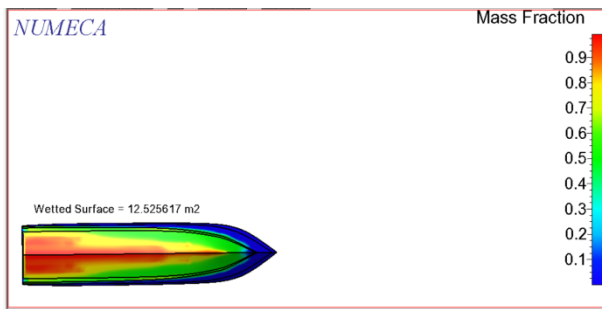
b. Pada Kecepatan 10 Knot



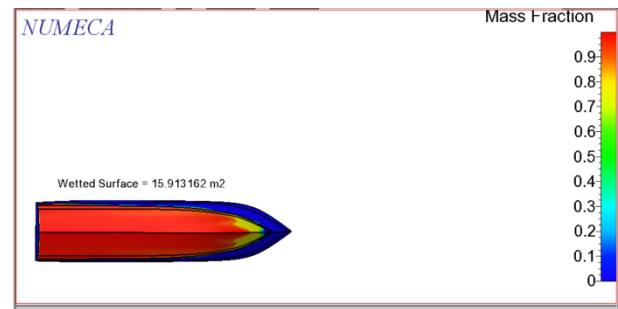
Gambar 11. WSA Desain Awal



Gambar 12. WSA Single 10°



Gambar 13. WSA Double 0°



Gambar 14. WSA Double 10°

Konfigurasi *single chine* sudut 10° menghasilkan hambatan tertinggi yaitu 4895,69 N, sedangkan hambatan terendah terdapat pada *double chine* sudut 10° sebesar 4145,86 N. Desain asli memiliki hambatan 4436,65 N, sementara *double chine* sudut 0° sedikit lebih rendah dari desain asli. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *double chine* dengan sudut 10° paling efektif dalam mengurangi hambatan kapal pada kecepatan sedang.

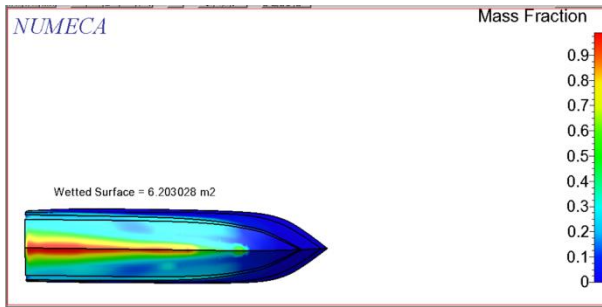
Tabel 4. Hasil Analisa Nilai Resistance dan WSA

Variasi Desain	Total Resistance (N)	WSA (m²)
Original	4436,65	12,10
Single 10°	4895,69	13,19
Double 0°	5983,93	12,04
Double 10°	4145,86	15,91

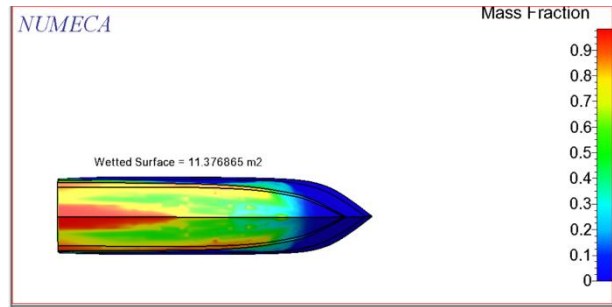
Nilai WSA (*Wetted Surface Area*) tertinggi terdapat pada konfigurasi *single chine* sebesar 13,19 m², sedangkan yang terendah ada pada *double chine* sudut 0° sebesar 12,04 m². Desain asli memiliki WSA sebesar 12,1 m². Meskipun WSA tidak selalu berbanding lurus dengan hambatan, luas permukaan basah yang terlalu besar dapat memperbesar hambatan, sehingga kombinasi antara WSA dan bentuk lambung yang tepat sangat berpengaruh terhadap performa kapal.

c. Pada Kecepatan 20 Knot

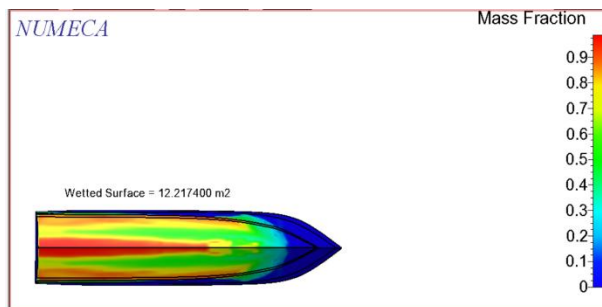
Desain *chine* memberikan pengaruh berbeda terhadap nilai *wetted surface area* (WSA) dan hambatan total. Desain asli memiliki WSA 6,203026 m² dengan hambatan 5338,89 N, menunjukkan efisiensi hidrodinamika yang baik. Variasi *Single 10°* meningkatkan WSA menjadi 11,378655 m² dan hambatan 5883,93 N, sedangkan *Double 0°* menghasilkan WSA 12,217400 m² dengan hambatan tertinggi yaitu 5983,93 N. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya luas permukaan basah dan gangguan aliran di sekitar lambung.



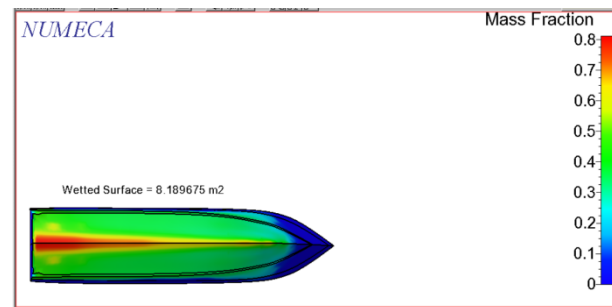
Gambar 15. WSA Desain Awal



Gambar 16. WSA Single 10°



Gambar 17. WSA Double 0°



Gambar 18. WSA Double 10°

Variasi *Double* 10° menunjukkan hasil berbeda, dengan WSA 8,189675 m² dan hambatan 5795,54 N. Meskipun luas permukaan basah cukup tinggi, konfigurasi ini memberikan kinerja hidrodinamika lebih baik dibandingkan dua *chine* tanpa sudut, karena aliran air lebih terarah dan turbulensi dapat ditekan. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan sudut pada *double chine* lebih efektif dalam mengurangi hambatan dibandingkan variasi lainnya pada kecepatan tinggi. Aliran dengan bentuk *double chine* 10° mampu mengarahkan aliran air lebih efektif, mengurangi separasi di daerah buritan. Aliran Turbulensi sudut *chine* mengurangi turbulensi dengan mempertahankan *attached flow*. Distribusi tekanan lebih merata pada *double chine* 10° mengurangi komponen tekanan hambatan.

Desain *double chine* 10° cocok untuk kapal patroli ukuran menengah dengan kecepatan operasi 10-20 knot. Namun, implementasinya memerlukan pertimbangan kompleksitas konstruksi dan ketersediaan material.

4. KESIMPULAN

Dari Analisa pengaruh hambatan kapal dengan variasi sudut *chine* pada lambung kapal patroli dengan menggunakan CFD adalah sebagai berikut :

Penambahan *chine* pada lambung kapal berpengaruh signifikan terhadap nilai hambatan total pada berbagai kecepatan. Berdasarkan hasil simulasi CFD, variasi *double chine* dengan sudut 10° memberikan performa hidrodinamika paling optimal dibandingkan desain tanpa *chine* maupun *single chine*. Bentuk ini mampu memperbaiki pola aliran dengan mengurangi turbulensi dan tekanan berlebih, sehingga distribusi aliran menjadi lebih halus dan efisiensi hidrodinamika meningkat.

Dari pengujian beberapa variasi kecepatan 2 knot, kecepatan 10 knot, dan kecepatan 20 knot, variasi *double chine* 10° secara konsisten menunjukkan hambatan terendah. Pada kecepatan 10 knot, konfigurasi ini menghasilkan hambatan 4313,86 N dengan WSA 15,913162 m², sedangkan pada 20 knot hambatan naik menjadi 5795,54 N namun tetap lebih baik dibanding variasi lainnya. Dengan

mempertahankan keseimbangan antara hambatan dan luas permukaan basah, *double chine* sudut 10° dapat dinilai sebagai desain paling efisien untuk lambung kapal patroli berdasarkan analisis CFD.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh tim dari Jurusan Teknik Mesin Program di Studi Teknik D4 Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi, dan tim, atas kerjasama dan dukungan yang luar biasa dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Rahmaji, A. R. Prabowo, T. Tuswan, T. Muttaqie, N. Muhayat, and S.-J. Baek, "Design of Fast Patrol Boat for Improving Resistance, Stability, and Seakeeping Performance," *Designs (Basel)*, vol. 6, no. 6, p. 105, Nov. 2022, doi: 10.3390/designs6060105.
- [2] P. A. S. Sudiro, I. N. P. Apriyanto, and J. Jupriyanto, "CONCEPT DESIGN OF FERROCEMENT PATROL VESSEL SUPPORTING INDONESIAN COAST GUARD PATROL OPERATION IN NATUNA SEA," *ICSOT Indonesia 2021*, Nov. 2021, doi: 10.3940/rina.icsotindonesia.2021.18.
- [3] A. P. Fuadi *et al.*, "Patrol Boat Strengthening Against a Collision with COLL Notation Based on Class Rules and Regulation in Indonesia – An Overview," *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, vol. 23, no. 1, p. 1, Mar. 2024, doi: 10.20961/mechanika.v23i1.74967.
- [4] M. A. Rahmansetayesh, R. Khazaei, and S. Hajizadeh, "Numerical simulation of the effect of chine on the performance of planing hull," *Marine Engineering*, vol. 19, no. 39, pp. 153–168, Sep. 2023, doi: 10.61186/marineeng.19.39.153.
- [5] R. Tayeb, S. E. Belhenniche, M. Belkadi, M. A. Rizk, O. K. Kinaci, and P. Liu, "Optimizing Geometric Parameters of Planing Vessels for Enhanced Hydrodynamic Performance," *Journal of Marine Science and Application*, vol. 24, no. 5, pp. 970–983, Oct. 2025, doi: 10.1007/s11804-025-00632-5.
- [6] R. Tayeb, S. E. Belhenniche, M. Belkadi, M. A. Rizk, O. K. Kinaci, and P. Liu, "Optimizing Geometric Parameters of Planing Vessels for Enhanced Hydrodynamic Performance," *Journal of Marine Science and Application*, vol. 24, no. 5, pp. 970–983, Oct. 2025, doi: 10.1007/s11804-025-00632-5.
- [7] A. E. Udo, C. A. N. Johnson, and J. P. Archibong, "Modification of ship hull form using a developed cylindrical optimization model for hydrodynamic performance assessment," *International Journal of Fluid Engineering*, vol. 2, no. 2, Jun. 2025, doi: 10.1063/5.0220981.
- [8] P. Ghadimi, S. M. Sajedi, and A. Ghadimi, "Impact of aft deformation with wedge and step on performance and stability of high-speed hard chine monohulls via experimental and numerical assessments," *Physics of Fluids*, vol. 37, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.1063/5.0253163.
- [9] M. A. Budiyo *et al.*, "Performance Analysis of Duct Vane Application on Patrol Boats Using Computational Fluid Dynamics," *International Journal of Technology*, vol. 15, no. 2, p. 247, Feb. 2024, doi: 10.14716/ijtech.v15i2.6661.

- [10] S. Tavakoli, A. V. Babanin, and S. Hirdaris, "Hydroelastic Analysis of Hard Chine Sections Entering Water—Observations for Use in Preliminary Design Stage," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 145, no. 5, Oct. 2023, doi: 10.1115/1.4056162.
- [11] R. A. Anugrah and M. P. Awwaludien Al-Fath, "Simulasi Numerik Kapal Katamaran Pendeteksi Kedalaman Banjir Menggunakan Software Maxsurf Untuk Mencari Resistance," *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 65–70, Apr. 2022, doi: 10.18196/jqt.v3i2.13900.
- [12] T. Cepowski and P. Chorab, "Determination of design formulas for container ships at the preliminary design stage using artificial neural network and multiple nonlinear regression," *Ocean Engineering*, vol. 238, p. 109727, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109727.
- [13] M. Khosravi Babadi and H. Ghassemi, "Optimization of ship hull forms by changing CM and CB coefficients to obtain optimal seakeeping performance," *PLoS One*, vol. 19, no. 5, p. e0302054, May 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0302054.
- [14] D. Kim and S. H. Rhee, "Data-driven modeling and regression analysis on ship resistance of in-service performance," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 16, p. 100623, 2024, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2024.100623.
- [15] S. Song, M. Terziev, T. Tezdogan, Y. K. Demirel, C. De Marco Muscat-Fenech, and A. Incecik, "Investigating roughness effects on ship resistance in shallow waters," *Ocean Engineering*, vol. 270, p. 113643, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.113643.