



Analisis Hambatan Total pada *Stepped Planing Hull* dengan Variasi Geometri Trim Tab *Dropfins* menggunakan *Computational Fluid Dynamics*

Ridho Justicia Simatupang¹⁾, Untung Budiarto²⁾, Good Rindo³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
³⁾e-mail :ridhojusticiasima@students.undip.ac.id

Abstrak

Planing hull memiliki karakteristik hidrodinamika pada fase *planing* yang menimbulkan gaya angkat. Dalam mendesain *planing boat* harus dapat memaksimalkan gaya hidrodinamika untuk menghasilkan performa yang baik. Upaya untuk meningkatkan performa kapal adalah menambahkan *appendage*. Penelitian ini menggunakan trim tab untuk mereduksi nilai hambatan yang dihasilkan oleh kapal. Penelitian ini menggunakan model *stephull* dan modifikasi pada trim tab, yaitu menambahkan *dropfins* dengan variasi lebar span dan chord, serta kecepatan kapal. Penelitian ini menggunakan FVM dengan persamaan RANS dan model turbulensi $k-\omega$ SST untuk memperkirakan aliran turbulensi di sekitar kapal dan *free surface* dimodelkan menggunakan VOF dengan fasa air dan fasa udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan hambatan total setelah dilakukan instalasi trim tab, dimana reduksi hambatan total terbesar terdapat pada trim tab C2 di Fn 2.29 sebesar 6.8%. Kenaikan hambatan total terjadi di satu variasi, yaitu trim tab A di Fn 1.41 sebesar 2.84%. Trim tab tanpa *dropfins* lebih baik dalam mereduksi hambatan total, tetapi tidak lebih baik dalam menurunkan sudut trim kapal. Seluruh variasi pada penelitian ini mampu menurunkan sudut trim dengan perubahan terbesar pada trim tab A di semua kecepatan, namun variasi trim tab A di Fn 1.41 menciptakan penambahan hambatan total.

Kata Kunci : *planing hull*, hambatan, trim tab, CFD

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, kapal dengan kecepatan tinggi sering digunakan untuk menunjang berbagai hal, seperti penyeberangan, patroli, atau wisata. Salah satu kapal yang memiliki kecepatan tinggi adalah kapal bertipe *planing hull*. *Planing hull* sendiri merupakan kapal yang memiliki *Froude Number* tinggi ketika beroperasi atau bergerak di air. Terdapat tiga (3) jenis kapal berdasarkan kecepatan (nilai Fn), yaitu *displacement hull* ($Fn < 0,4$), *semi displacement hull* ($0,4 < Fn < 1,2$), dan *planing hull* ($1,2 < Fn$) [1]. Pada penelitian yang lain, kapal akan mengalami gaya angkat ke atas (gaya hidrodinamika) pada nilai *Froude Number* 1,0-3,5 [2]. Dimana berat kapal akan ditopang oleh gaya *hidrodinamika* pada saat fase *planing* yang mengakibatkan kapal ini mengalami gaya angkat

dan mempengaruhi sudut trim. Oleh sebab itu, adanya gaya *hidrodinamika* akan berakibat pada performa kapal.

Untuk menghasilkan performa yang baik, maka perancangan kapal harus memperhatikan nilai hambatan. Dalam pengujian eksperimen *hard chine planing hull* pada beberapa parameter membuktikan bahwa desain lambung mempengaruhi nilai hambatan yang sangat signifikan, dimana model kapal dengan *stephull* pada kecepatan tinggi mampu mereduksi nilai hambatan dari kapal tanpa *stephull* [3]. *Stephull* atau *transverse step* merupakan salah satu modifikasi bentuk atau desain *planing boat*. Pada penelitian yang telah dilakukan, kapal dengan *stephull* mampu mereduksi nilai hambatan sebesar 16,96% dibanding desain orisinalnya [4].

Suatu kapal memiliki beberapa komponen hambatan, yaitu hambatan karena gesekan, hambatan tekanan karena viskositas, dan hambatan karena gelombang air. Kapal cepat sendiri memiliki gaya hambatan yang terbentuk dari gerakan kapal saat berlayar, dimana kapal cepat mendapat gaya *hidrostatic* dan *hidrodinamics* [5]. Kapal cepat memiliki gaya hidrostatic yang dominan pada kecepatan rendah, sedangkan pada kecepatan tinggi kapal cepat akan dominan mendapatkan gaya *hidrodinamics*.

Selain mempertimbangkan desain atau bentuk kapal, salah satu upaya untuk mengurangi nilai hambatan pada kapal cepat adalah menambah *appendage* pada bagian buritan. Trim tab merupakan satu dari banyak *appendage* yang dapat mengurangi hambatan. Trim tab sendiri merupakan *appendage* yang berbentuk permukaan plat yang diletakkan pada bagian bawah transom kapal yang berjumlah dua (2) dan masing-masing berada di *portside* dan *starboard*.

Dalam penelitian tentang evaluasi performa hidrodinamics pada *planing boat* dengan trim tab dan *interceptor* mengungkapkan bahwa pemasangan trim tab pada *planing boat* akan meningkatkan gaya angkat yang akan memperkecil sudut trim dan ketinggian *draft* atau sarat sehingga dapat mengurangi nilai hambatan sebesar 6,9% pada sudut trim $1,924^\circ$ [6]. Dalam jurnal Analisis Dampak Variasi Sudut Kemiringan Tab Trim terhadap Kebutuhan Daya Propulsi *Speed Boat* 6 Meter juga mengungkapkan bahwa pengaturan sudut trim tab dapat mempengaruhi gaya angkat kapal yang juga mempengaruhi nilai hambatan [7]. Prinsip pada penambahan trim tab adalah mempengaruhi efek hidrodinamika pada permukaan kapal yang disebabkan oleh turbulensi yang timbul pada bawah lambung kapal saat berlayar. Namun, ukuran geometri trim tab juga harus ditentukan sebaik mungkin agar penggunaannya optimal. Pada penelitian hambatan dengan trim tab pada *planing boat* menghasilkan bahwa ukuran *span* dari trim tab akan mempengaruhi nilai hambatan, dimana ukuran *span* yang besar menghasilkan hambatan yang lebih besar dibanding *span* dengan ukuran yang lebih kecil [8].

Selain berpengaruh pada nilai hambatan, variasi penambahan trim tab kapal tipe *planing hull* juga mempengaruhi nilai trim. Mansoori dan Fernandes, dalam penelitian kombinasi *interceptor* dan trim tab menghasilkan bahwa dua (2) variasi trim tab dengan panjang *chord* berbeda akan menyebabkan nilai trim kapal yang berbeda, dimana trim tab yang memiliki panjang *chord* hampir empat (4) kali lipat dari trim tab yang lain memiliki nilai trim yang lebih baik [9]. Hal tersebut

mengindikasikan bahwa ukuran geometri pada trim tab mempengaruhi nilai trim yang dihasilkan oleh kapal. Penggunaan trim tab juga sangat efektif dalam menangkal *porpoising* pada *planing boat* [10].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan membahas hambatan yang terjadi pada kapal *step hull* dengan variasi geometri trim tab, yaitu lebar *span* dan *chord*, serta kecepatan kapal. Penelitian ini juga akan memodifikasi trim tab dengan menambahkan *dropfins* pada tiap sisi *chord*. Dimana pemasangan *dropfins* ini diharapkan dapat menangkap aliran air sepanjang trim tab untuk memaksimalkan kinerja trim tab.

2. METODE

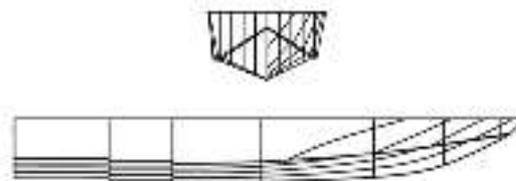
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari trim tab yang dipasangkan pada kapal *step hull* terhadap hambatan yang terjadi menggunakan metode numerik, yaitu *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Analisis dilakukan pada kondisi air tenang (*calm water*). Dilakukan juga validasi nilai hambatan dengan penelitian sebelumnya.

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian ini menggunakan model *Hard Chine Planing Hull* dengan modifikasi *step hull* yang diperoleh dari penelitian dari Taunton, et. al. yang menggunakan metode eksperimen [3]. Model tersebut menggunakan skala 1:7.5 dari ukuran kapal asli. Data ukuran utama kapal dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Ukuran Utama *Hard Chine Planing Hull*

Item	Kapal Asli	Kapal Model
L (m)	15	2
B (m)	2.993	0.399
T (m)	0.717	0.0956
Δ	10459	24.8
$L/\nabla^{1/3}$	6.86	6.86



Gambar 1. *Linesplan Hard Chine Planing Hull* dengan *Stephull* [3]

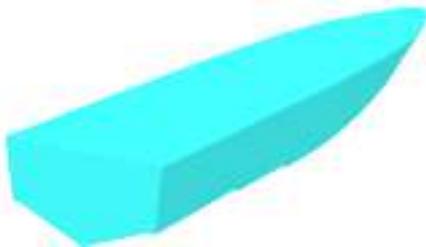
2.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini menggunakan parameter dengan menggunakan model *Hard Chine Planing Hull*

dengan modifikasi *step hull* dan penambahan trim tab. Parameter tetap pada penelitian ini mencakup tebal dan sudut masuk trim tab yang masing-masing adalah 2° dan 0.36 mm. Untuk *dropfins* memiliki ukuran tinggi 10.16 mm. Sedangkan untuk parameter peubah, yaitu lebar *span* dan *chord*, serta kecepatan kapal.

2.3. Pemodelan Kapal

Pembuatan model kapal didasari pada ukuran utama model yang telah diskala dari ukuran asli. Pemodelan kapal juga dibantu oleh *software* 3D model, yaitu Rhinoceros 6.0 yang kemudian dilakukan pengecekan objek. Tujuan dilakukan pengecekan adalah untuk memastikan model tersebut sudah solid (*closed surface*) agar dapat dilakukan analisis di *software* Star-CCM+. Gambar 2 merupakan 3D model kapal tanpa trim tab.



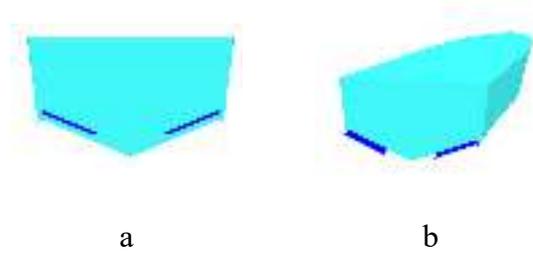
Gambar 2. Model Kapal tanpa Trim Tab

2.4. Variasi Model Kapal

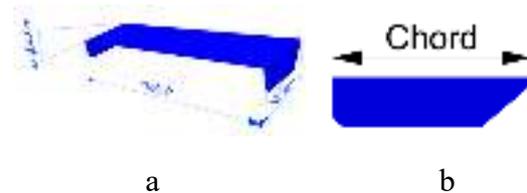
Penelitian ini menggunakan variasi geometri trim tab untuk mengetahui pengaruh hambatan kapal yang terjadi. Dimana variasi mencakup lebar *span* dan *chord*, serta kecepatan kapal. Kemudian menambahkan *dropfins* pada masing-masing trim tab yang mengikuti atau menyesuaikan dengan lebar *chord*. Tabel 2 merupakan detail dari variasi geometri trim tab untuk model kapal.

Tabel 2. Variasi Geometri Trim Tab dan Kecepatan Kapal

<i>Span x Chord</i> (mm)	Kecepatan (m/s)
A (121.92 x 40.64)	
B (121.92 x 30.48)	
C (101.6 x 40.64)	1.41, 1.61, 1.84, 2.07, 2.29
D (101.6 x 30.48)	
C2 (101.6 x 40.64 w/o <i>dropfins</i>)	
Total	25



Gambar 3. Detail Kapal: a. Transom, b. Perspektif



Gambar 4. Detail Trim Tab: a. Geometri, b. Dropfins

2.5. Komputasi Numerik

Metode numerik menggunakan *software* Star-CCM+ (Siemens) yang merupakan simulasi CFD untuk menganalisis karakteristik *hidrodinamika* pada kapal, termasuk *planing hull*. Metode numerik yang digunakan dalam Star-CCM+ adalah *finite volume* (FV), yaitu menggunakan persamaan bentuk integral konservasi dan membagi domain komputasi menjadi volume kontrol terbatas, lalu membentuk *mesh* atau *grid*. FVM merupakan metode CFD yang paling akurat dalam memprediksi karakteristik hidrodinamika kapal [11]. *planing* RANS (*Reynold-Averaged Navier Stokes*) *solver* digunakan sebagai pendekatan numerik dalam mempresentasikan hukum konservasi momentum dan massa yang terdapat pada persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \oint_S \rho (V - V_s) \cdot ds \\
 &= \oint_S \mu \text{grad } u_i \cdot ds \\
 &+ \int_S \mu [(\text{grad } v)^T \cdot i_i \cdot ds \\
 &- \oint_S p i_i \cdot ds \\
 &+ \oint_V \rho f_{bi} \cdot dV
 \end{aligned} \tag{1}$$

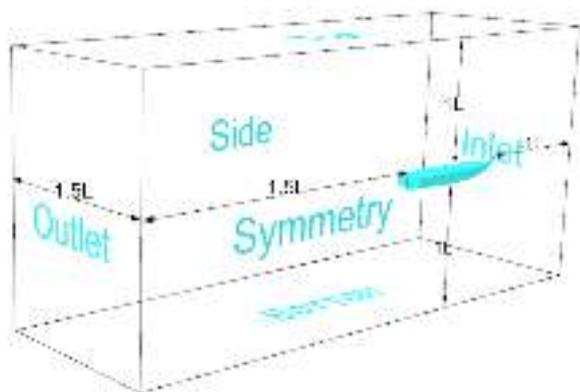
$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \int_V \rho \phi dV + \oint_S \rho \phi (V - V_s) \cdot dS \\
= \oint_S \Gamma_\phi \text{grad}_\phi \cdot d \\
+ \oint_S Q_\phi S \cdot ds \\
+ \oint_V Q_\phi V \cdot dV
\end{aligned} \tag{2}$$

Dimana V adalah volume kontrol, S merupakan permukaan yang bergerak, V_s merupakan kecepatan permukaan CV.

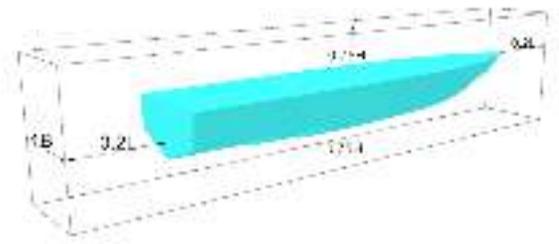
Dalam melakukan simulasi numerik untuk memprediksi hambatan diperlukan pembuatan *computational domain*. Salah satunya adalah *background domain* (*virtual towing tank*) sesuai dengan standar ITTC (*International Towing Tank Conference*). Ukuran dimensi *background domain* disesuaikan dengan ukuran kapal yang akan dianalisis. Penelitian ini menggunakan metode *overset mesh*, yaitu metode *donor-acceptor cell*. Dimana metode ini terdapat dua (2) region, yaitu *background* sebagai pendonor, *overset* sebagai penerima. Tabel 3 merupakan dimensi ukuran *domain* yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah itu, dilakukan pendefinisian *boundary condition* yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 3. Ukuran Domain Komputasi

Parameter	Background	Overset
Length (m)	1L from FP 2.5L from AP	0.2L from FP 0.2L from AP
Height (m)	1L from deck 1L from keel	0.75H from deck 0.75H from keel
Breadth (m)	1.5L from symmetry	1B from symmetry



Gambar 5. Computational Domain



Gambar 6. Overset

Tabel 4. Boundary Condition

Parameter	Boundary	Boundary Type
Background	Inlet	Velocity Inlet
	Outlet	Pressure Outlet
	Top	Velocity Inlet
	Bottom	Velocity Inlet
	Side	Velocity Inlet
	Symmetry	Symmetry Plane
Overset	Block Surface	Overset Mesh
	Hull	No-Slip Wall
	Symmetry	Symmetry Plane

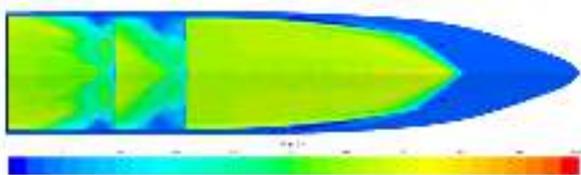
Penelitian ini menggunakan salah satu model turbulensi RANS, yaitu $k-\omega$ SST sesuai dengan rekomendasi ITTC [12]. Model turbulensi ini adalah gabungan model $k-\epsilon$ standar dan model $k-\omega$, dimana turbulensi berbasis model $k-\omega$ pada dinding dan model $k-\epsilon$ standar pada aliran massal dipecahkan oleh model turbulensi ini.

Free surface adalah permukaan air tenang antara air dan udara. Posisi *free surface* dengan bentuk gelombang datar dapat dimodelkan dengan metode *Volume of Fluid* (VOF). Model VOF menggunakan asumsi persamaan dasar yang digunakan untuk menyelesaikan masalah fase tunggal untuk fase fluida dalam domain, karena diasumsikan memiliki kecepatan, tekanan, dan suhu yang sama.

Wall function (y^+) adalah dinding yang memisahkan dinding (wall) atau badan kapal dengan aliran fluida yang memiliki fungsi untuk menangkap *boundary layer* (*shear stress*) yang berperan penting dalam perhitungan hambatan. Nilai y^+ berperan penting untuk mengurangi ketidakakuratan perhitungan. ITTC memberikan rekomendasi nilai y^+ adalah $30 < y^+ < 100$. Nilai y^+ yang berdasarkan ITTC adalah sebagai berikut [12].

$$\frac{y}{L} + \frac{y^+}{Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}} \tag{3}$$

Penelitian ini sendiri menggunakan nilai y^+ sebesar 50 yang berdasar dari penelitian Nourghasemi et. al. [13]. Gambar 6 merupakan visualisasi dari y^+ .

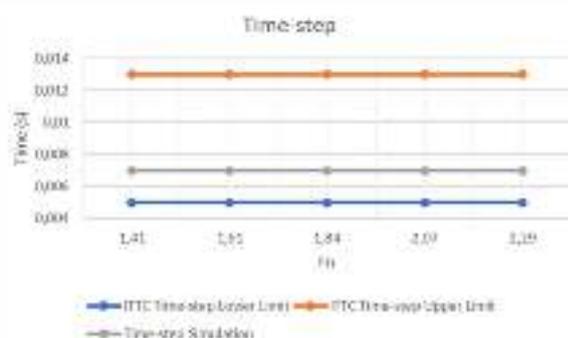


Gambar 7. Visualisasi Wall Y+

Angka Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) digunakan untuk menentukan *time-step*. Angka CFL menunjukkan berapa banyak titik yang dilalui oleh partikel fluida dalam rentang waktu. *Time-step* merupakan interval setiap iterasi perhitungan, semakin cepat kapal, semakin sedikit langkah yang dibutuhkan. Perhitungan yang direkomendasikan oleh ITTC untuk *time-step* sebagai berikut.

$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 \frac{L}{U} \quad (4)$$

Dimana L merupakan panjang kapal dan U adalah kecepatan kapal. Penelitian ini menggunakan nilai interval *time-step* 0.007s yang terletak diantara 0.005s–0.013s sesuai rekomendasi dari ITTC [12] pada *Froude Number* (Fn) 1.41, 1.61, 1.84, 2.07, dan 2.29.

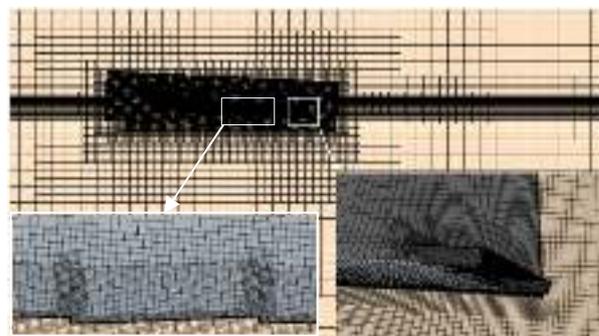


Gambar 8. Time-Step

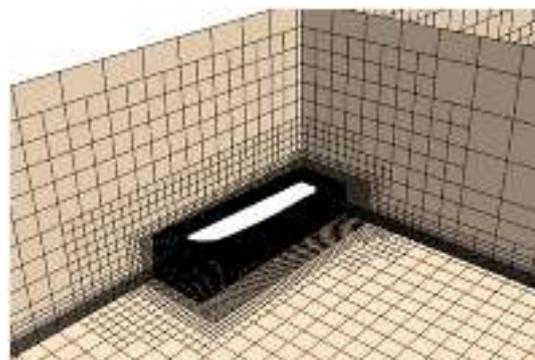
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Grid Independence

Mesh refinement merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini untuk merapatkan konsentrasi mesh pada bagian *hull* dan *free surface*. Penggunaan *mesh refinement* ditandai dengan pembuatan beberapa *volumetric control* pada bagian tersebut. Hal itu dilakukan untuk meningkatkan keakuratan hasil simulasi. Metode ini telah dilakukan oleh Gray-Stephen et. al. [14] dan berhasil dalam menyelesaikan NVP. Selain itu, penelitian ini juga hanya menggunakan setengah domain komputasi untuk mengurangi beban dan mempercepat waktu komputasi. Gambar 9 dan 10 merupakan gambaran *computational mesh* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 9. Mesh Refinement bagian Hull

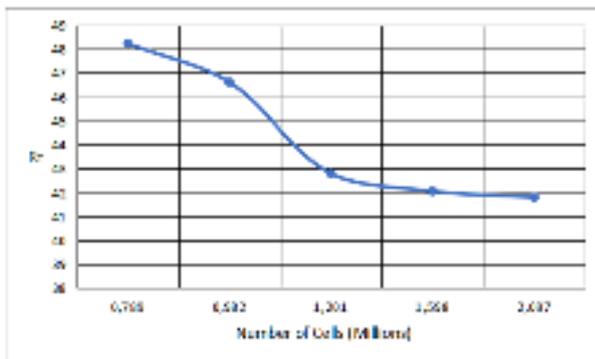


Gambar 10. Visualisasi Mesh Refinement

Terdapat beberapa parameter untuk memastikan bahwa hasil penelitian telah tervalidasi dengan baik, seperti konvergensi, *grid independence*, dan perbandingan hasil dengan penelitian sebelumnya. Penentuan grid dilakukan untuk menemukan mesh yang sesuai dalam simulasi dan menunjukkan kestabilan pada saat analisis. *Grid study* dilakukan pada Fn 1.41. Pada Tabel 5 dan Gambar 11 menunjukkan rincian dari *grid study* yang dilakukan dengan lima (5) tipe *grid* berbeda. Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa perbedaan hasil pada *medium grid* sampai *very fine grid* kurang dari 3%, berbanding terbalik dengan *very coarse* sampai *medium* yang memiliki nilai perbedaan lebih dari 3%, seperti pada penelitian Kazemi et. al. yang memiliki *difference percentage* yang lebih besar pada *Coarse to Medium* dibanding *Fine to Medium* [15].

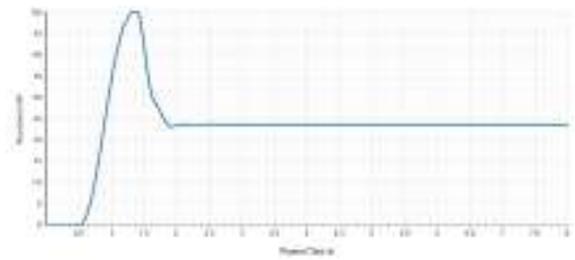
Tabel 5. Data *Grid Independence*

Type	Base Size	Cell (million)	R _T (N)	Diff (%)
Very Course	0.115	0.789	48.234	-
Course	0.105	0.982	46.614	-3.36
<u>Medium</u>	<u>0.095</u>	<u>1.201</u>	<u>42.804</u>	<u>-8.17</u>
Fine	0.085	1.598	42.058	-1.74
Very FIne	0.075	2.097	41.808	-0.59



Gambar 11. Grafik *Grid Study*

Selain melakukan verifikasi menggunakan *grid independence*, penelitian ini juga melihat grafik konvergen sebagai parameter keberhasilan simulasi. Dimana keberhasilan simulasi dilihat dari kestabilan nilai yang dihasilkan oleh grafik pada setiap iterasi sampai pada waktu yang telah ditentukan. Gambar 12 merupakan salah satu hasil grafik konvergen setelah dilakukan simulasi dengan grid medium, yaitu pada *barehull* dengan Fn 1.41.



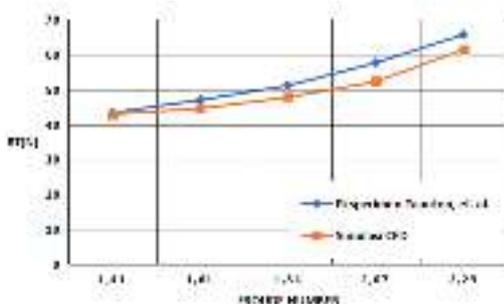
Gambar 12. Grafik Konvergen Hambatan Total

3.2. Validasi

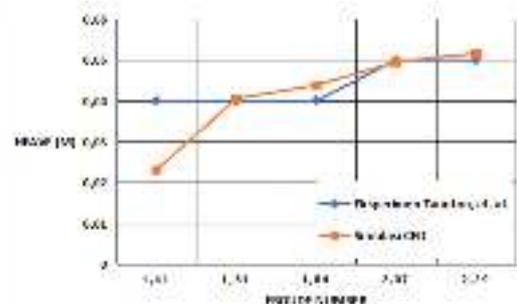
Penelitian ini menggunakan validasi dengan cara membandingkan hasil simulasi numerik dengan eksperimen yang telah dilakukan oleh Taunton, et. al. [3]. Metode ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi numerik yang diterapkan memiliki akurasi yang baik. Penelitian ini akan memvalidasi tiga (3) kriteria, yaitu hambatan total (R_T), trim (τ), dan heave (Z) pada kondisi air tenang. Validasi yang dilakukan mencakup beberapa variasi kecepatan, yaitu Fn 1.41, 1.61, 1.84, 2.07, dan 2.29.

Tabel 6. Perbandingan Data Hasil Eksperimen dan CFD

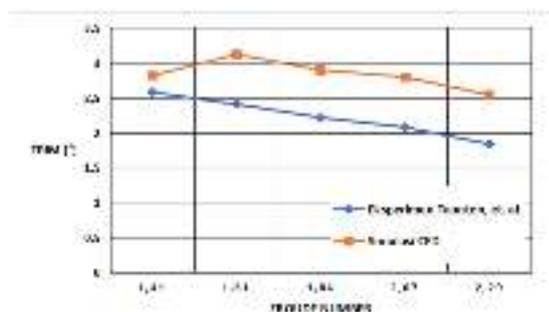
Fn	Simulasi Numerik			Eksperimen Taunton, et. al.			Error (%)		
	R_T	τ°	Z	R_T	τ°	Z	R_T	τ°	Z
1.41	42.80	2.81	0.023	43.26	2.57	0.04	1.06	9.34	42.50
1.61	44.48	3.11	0.041	46.89	2.40	0.04	5.14	29.58	1.25
1.84	47.68	2.89	0.044	51.01	2.21	0.04	6.53	30.77	9.63
2.07	52.14	2.79	0.049	57.52	2.07	0.05	9.35	34.78	1.08
2.29	61.32	2.53	0.052	65.62	1.83	0.05	6.55	38.25	3.38



Gambar 13. Perbandingan Hambatan Total antara Eksperimen dan CFD



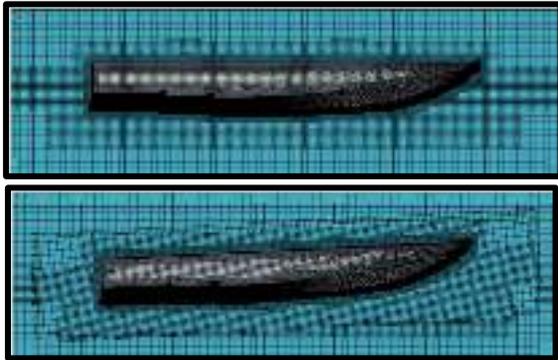
Gambar 15. Perbandingan Heave antara Eksperimen dan CFD



Gambar 14. Perbandingan Trim antara Eksperimen dan CFD

Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi CFD dan eksperimen mengalami nilai *error*. Pada perbandingan nilai hambatan total diketahui bahwa nilai *error* sudah masuk dalam kriteria koreksi penelitian ini, yaitu di bawah 10% dengan pola yang mirip pada grafik di gambar 12. Nilai *error* hambatan total tertinggi sebesar 9.35% pada Fn 2.07. Namun, pada nilai *error* trim kapal menunjukkan nilai yang sangat tinggi, dimana pada Fn 1.61-2.29 menampilkan *error* di atas 10%. Untuk nilai heave, nilai *error* pada Fn 1.61-2.29

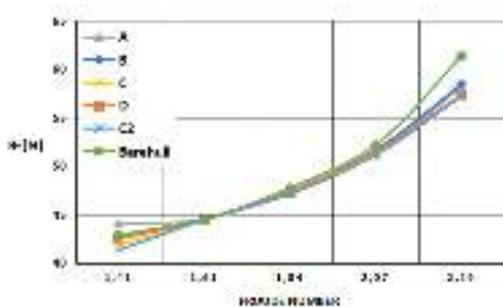
menunjukkan nilai yang cukup baik di bawah 10%, dengan nilai terburuk pada Fn 1.41, yaitu 42.50%. Adapun pola yang terjadi pada grafik nilai trim dan heave antara CFD dan eksperimen cenderung mirip. Oleh sebab itu, hasil simulasi CFD yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai parameter validasi.



Gambar 16. Visualisasi Mesh Sebelum dan Setelah Simulasi

3.3. Analisis Variasi

Hambatan total pada kapal pada penelitian ini mencakup hambatan gesek (*shear*) dan hambatan residu (*pressure*). Untuk hambatan residu sendiri merupakan hambatan sisa dari hambatan total dikurangi hambatan gesek (tangensial). Selain itu, hambatan total pada *planing hull* juga dipengaruhi gaya lain, seperti trim dan heave pada kapal yang dihasilkan oleh karakteristik hidrodinamika pada fase *planing*. Berdasarkan simulasi numerik (CFD) yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 16 merupakan grafik perbandingan nilai hambatan total antara *barehull* dan tiap variasi.

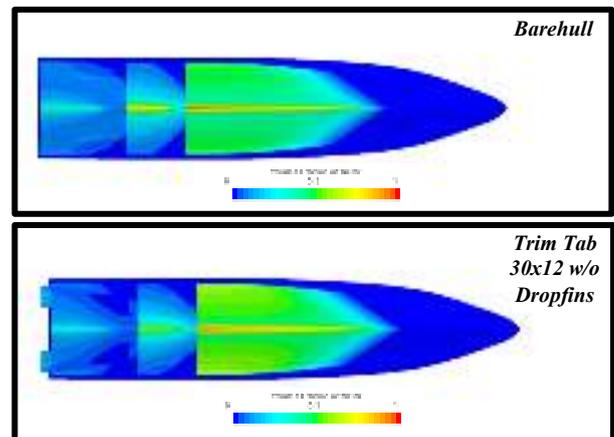


Gambar 17. Grafik Hambatan Total pada Semua Variasi

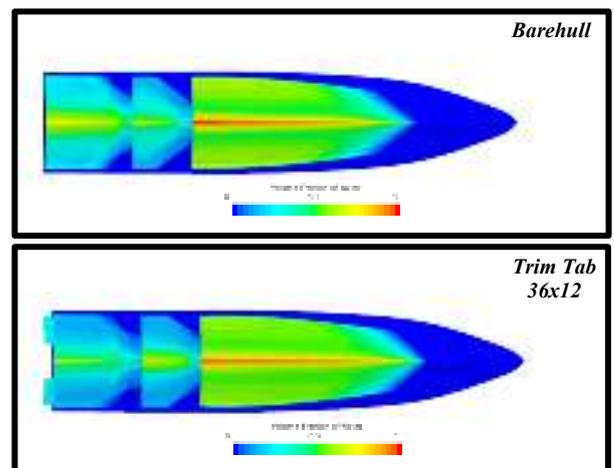
Gambar 17 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai hambatan total setelah ditambahkan variasi trim tab. Penurunan hambatan total tertinggi terdapat pada variasi trim tab C2 di Fn 2.29, yaitu sebesar 6.8% dan penurunan terendah pada trim tab A pada Fn 1.61 sebesar 0.01%. Selain penurunan, terdapat pula kenaikan nilai hambatan total setelah ditambahkan variasi,

yaitu pada variasi trim tab A pada Fn 1.41 kenaikan hambatan totalnya adalah 2.84%. Terjadinya kenaikan dapat disebabkan oleh faktor kecepatan kapal dan pemilihan trim tab (geometri), baik itu lebar *span*, *chord*, ataupun sudut masuk. Diketahui juga seiring bertambahnya kecepatan pada kapal, mengakibatkan semakin besar pula nilai hambatan total. Untuk variasi yang paling efektif dalam mengurangi nilai hambatan total pada seluruh kecepatan adalah pada trim tab C2.

Gambar 18 adalah salah satu contoh yang menunjukkan pengurangan nilai hambatan total yang terjadi pada kapal dengan instalasi trim tab disebabkan oleh perubahan WSA (*volume fraction*) yang terjadi di sekitar lambung. Terlihat bahwa penyebaran *scalar* dari *volume fraction* pada trim tab C2 berkurang setelah *transverse step* 1 dan *transverse step* 2 kapal, sedangkan pada trim tab A di Fn 1.41 terjadi peningkatan setelah *transverse step* 1.



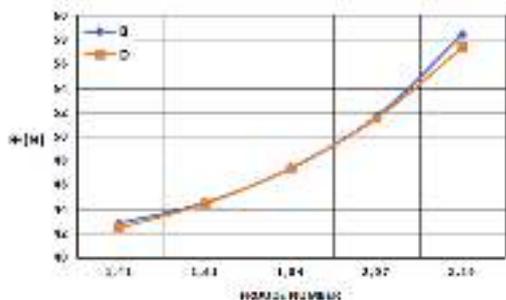
Gambar 18. WSA pada *Barehull* dan Trim Tab C2 di Fn 2.29



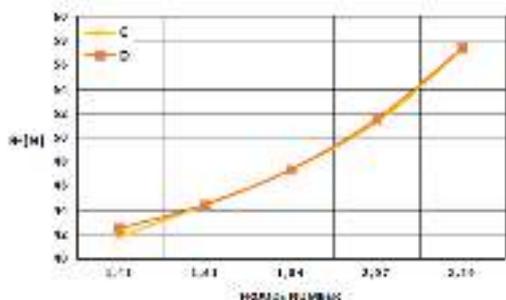
Gambar 19. WSA pada *Barehull* dan Trim Tab A di Fn 1.41

Pada hasil simulasi penelitian ini dapat dikatakan bahwa lebar geometri memiliki pengaruh yang linier pada nilai hambatan total.

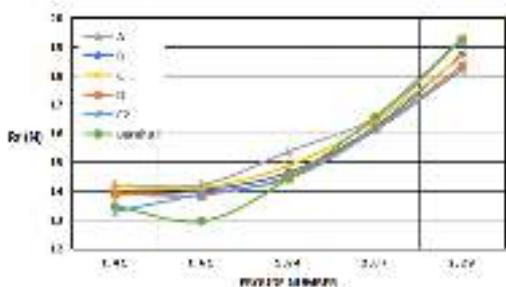
Sebagai contoh perbedaan nilai hambatan total yang dihasilkan oleh trim tab B dan trim tab D, pada Gambar 20 terlihat semakin besar lebar *span* maka nilai hambatan total yang dihasilkan juga semakin besar. Namun, pada Gambar 21 fenomena tersebut berbanding terbalik dengan perbedaan lebar *chord*, dimana semakin besar lebar *chord* maka nilai hambatan total yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 20. Perbandingan Hambatan Total pada Perbedaan Lebar *Span*



Gambar 21. Perbandingan Hambatan Total pada Perbedaan Lebar *Chord*

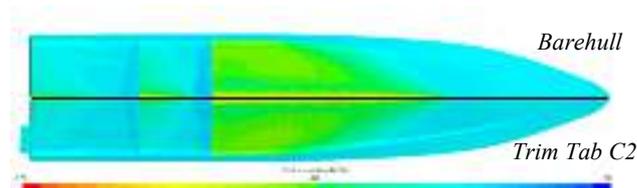


Gambar 22. Grafik Hambatan Gesek pada Semua Variasi

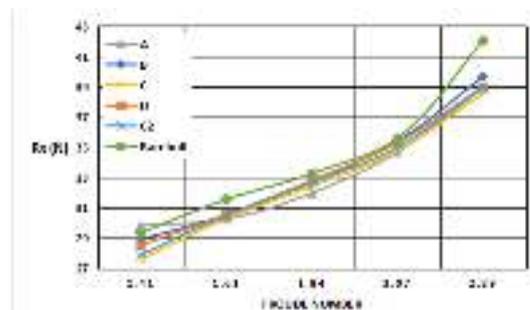
Hambatan gesek merupakan hambatan yang bekerja secara tangensial terhadap lambung kapal. Pada Gambar 22 menunjukkan grafik hasil simulasi untuk hambatan gesek pada seluruh variasi. Data menunjukkan pengaruh trim tab terhadap hambatan gesek beragam. Nilai hambatan gesek yang terjadi pada Fn 1.41-1.84 mengalami penambahan pada semua variasi geometri trim tab dari barehull, kecuali pada trim tab C2 di Fn 1.41 dengan pengurangan 1.46%. Penambahan nilai

hambatan gesek paling besar terjadi pada trim tab A di Fn 1.61, yaitu 9.81%, dan penambahan hambatan gesek terbesar pada setiap variasi selalu pada Fn 1.61. Hambatan gesek baru mengalami pengurangan pada Fn 2.07-2.29, dimana pengurangan hambatan gesek terbesar terjadi pada trim tab C2 sebesar 5.60% pada Fn 2.29 dan pengurangan terkecil pada trim tab A sebesar 0.06% di Fn 2.07.

Wall Shear Stress Distribution merupakan distribusi gaya gesekan yang terjadi pada dinding kapal yang berakibat terjadinya hambatan gesek kapal. Gambar 23 menunjukkan salah satu contoh perbandingan Wall Shear Stress Distribution yang dihasilkan oleh kapal, yaitu barehull dan trim tab C2 di Fn 2.29. Terlihat bahwa kontur pada Trim Tab C2 memiliki warna hijau ke kuning yang lebih sedikit dibanding barehull. Selain itu, pola berwarna biru muda pada barehull terlihat lebih lebar.



Gambar 23. Wall Shear Stress Distribution antara Barehull dan Trim Tab C2 di Fn 2.29



Gambar 24. Grafik Hambatan Residu pada Semua Variasi

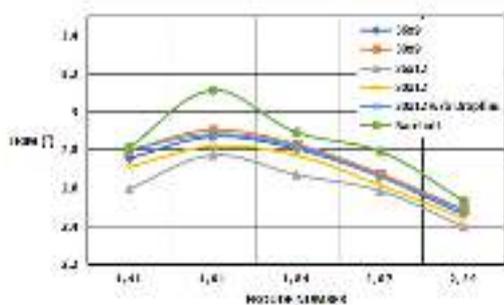
Gambar 24 menunjukkan tren grafik hambatan residu pada seluruh variasi, dimana pola dari grafik cenderung memiliki kesamaan dengan hambatan total dan hambatan gesek, yaitu semakin bertambahnya kecepatan kapal, semakin bertambah pula nilai hambatan yang dihasilkan. Pada trim tab A juga terjadi penambahan nilai hambatan di Fn 1.41 dengan persentase penambahan hambatan residu 1.64%. Berbeda dengan hambatan gesek, pada nilai hambatan residu hampir seluruhnya mengalami reduksi pada semua variasi dibanding *barehull*. Pengurangan terbesar terjadi pada trim tab C sebesar 8.26%.

Pemasangan trim tab mempengaruhi nilai hambatan kapal, salah satunya melalui perubahan

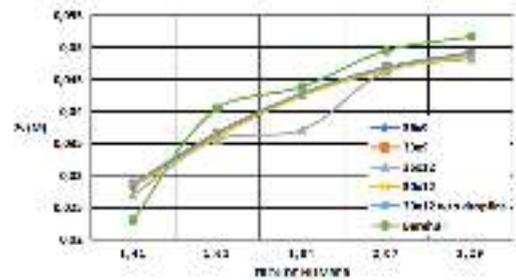
nilai WSA yang dihasilkan. Fenomena tersebut juga terjadi pada penelitian Mansoori, et. al. [9]. Perubahan WSA berakibat pada karakteristik hidrodinamika yang terjadi, meliputi hambatan total, hambatan gesek, dan hambatan residu. WSA memiliki pengaruh secara langsung terhadap hambatan gesek, dimana besarnya nilai WSA menciptakan hambatan gesek yang besar pula. Untuk hambatan residu dipengaruhi oleh WSA yang menciptakan *wave-making* dan tekanan.

Instalasi trim tab pada *stephull* juga mempengaruhi efek hidrodinamika kapal, seperti trim dan heave. Pada grafik trim yang ada pada gambar 25 menunjukkan adanya perubahan trim yang terjadi ketika dipasang trim tab. Secara keseluruhan pemasangan pada semua variasi trim tab mengalami penurunan sudut trim kapal. Penurunan sudut trim terbesar ada pada variasi trim tab A di Fn 1.61 hingga 10.93% dari sudut trim pada *barehull*. Untuk penurunan sudut trim terkecil terjadi pada variasi trim tab D di Fn 1.41, yaitu 0.53%. Selain itu, variasi trim tab A menjadi trim tab dengan penurunan sudut trim paling besar pada semua kecepatan. Namun, walaupun mengalami penurunan sudut trim yang sangat besar, tidak membuat variasi ini ideal untuk digunakan pada model kapal, karena menambah hambatan total pada salah satu kecepataannya, yaitu Fn 1.41. Oleh karena itu, variasi trim tab C menjadi variasi yang efektif dalam menurunkan sudut trim kapal yang diimbangi dengan penurunan nilai hambatan total pada semua kecepatan.

Gambar 26 menunjukkan efek penambahan trim tab terhadap perubahan heave kapal. Melihat dari perubahan heave di setiap variasi dari *barehull*, pada Fn 1.41 terjadi kenaikan di seluruh variasi. Kenaikan heave tertinggi terjadi pada trim tab C2 di Fn 1.41 sebesar 24.83%, sedangkan penurunan terbesar terjadi pada trim tab A di Fn 1.84 sebesar 13.03%. Untuk Fn 1.61-2.29 pada seluruh variasi mengalami penurunan.

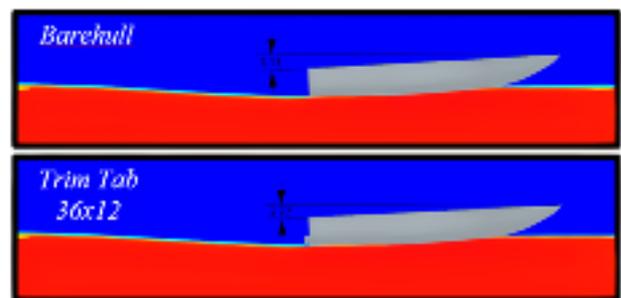


Gambar 25. Grafik Trim pada Semua Variasi

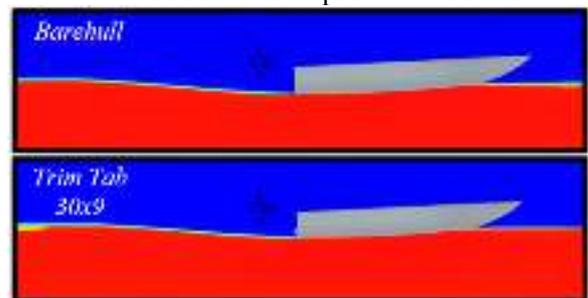


Gambar 26. Grafik Heave pada Semua Variasi

Gambar 27 dan 28 menunjukkan visualisasi perbedaan sudut trim yang dihasilkan sebelum dan setelah dipasang trim tab. Trim tab A menjadi trim tab dengan persentase penurunan sudut trim terbesar, dan trim tab D adalah penurunan terkecil.



Gambar 27. Perbandingan Trim antara *Barehull* dan Trim Tab A pada Fn 1.61



Gambar 28. Perbandingan Trim antara *Barehull* dan Trim Tab D pada Fn 1.41

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode numerik CFD mampu memprediksi hambatan total kapal yang dibuktikan oleh nilai *error* yang dibandingkan dengan metode eksperimen pada penelitian sebelumnya sesuai dengan batas toleransi yang ditentukan. Nilai terbesar pada terjadi pada Fn 2.07 sebesar 9.35%. Meskipun pada nilai trim dan heave terdapat nilai *error* yang cukup tinggi, tetapi terjadi perubahan yang berbanding lurus dengan metode eksperimen dan memiliki pola grafik yang mirip, dimana pada trim mulai dari Fn 1.61-2.29 terjadi penurunan sudut trim seiring bertambahnya kecepatan dan heave yang terjadi penurunan mulai Fn 1.41-2.29.

Instalasi trim tab pada kapal *stephull* memiliki pengaruh terhadap efek hidrodinamika kapal yang dihasilkan. Efek tersebut mampu mereduksi hambatan total kapal secara keseluruhan pada variabel geometri trim tab (*span* dan *chord*) dan kecepatan hingga 6.8%, walaupun pada trim tab A di Fn 1.41 terjadi peningkatan. Trim tab yang paling efektif dalam mereduksi hambatan adalah trim tab C2 karena selalu mengalami hambatan total terkecil di setiap kecepatan dari semua variasi.

Jika dilihat dari masing-masing variabel variasi geometri juga terdapat perubahan yang linier. Pada perbedaan lebar *span* menunjukkan bahwa semakin kecil lebarnya, nilai hambatan total semakin kecil, sedangkan pada lebar *chord* terjadi sebaliknya. Untuk perbedaan antara trim tab dengan *dropfins* dan tanpa *dropfins* juga memiliki perbedaan, dimana trim tab tanpa *dropfins* memiliki nilai hambatan total yang lebih kecil dibanding trim tab dengan *dropfins*, namun pada nilai trim terjadi sebaliknya.

Pada komponen hambatan kapal yang lain, yaitu hambatan gesek dan hambatan residu juga terjadi perubahan. Hambatan gesek mulai mengalami penurunan nilai hambatan pada rentang Fn 2.07-2.29 dibanding *barehull*. Sedangkan pada hambatan residu berbanding lurus dengan hambatan total yang mampu mengurangi nilai hambatan pada hampir semua variasi terhadap *barehull*.

Pada perubahan sudut trim, variasi yang paling efektif dalam mengontrol trim di semua kecepatan adalah trim tab C. Walaupun trim tab A memiliki persentase penurunan pada seluruh kecepatan lebih besar, namun pada Fn 1.41 terjadi peningkatan hambatan total. Sedangkan pada perubahan nilai heave terjadi penurunan pada Fn 1.61-2.29 di semua variasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] O. M. Faltinsen, Hydrodynamics of high-speed marine vehicles. Cambridge university press, 2005.

[2] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, Ship resistance and propulsion. Cambridge university press, 2017.

[3] D. J. Taunton, D. A. Hudson, and R. A. Sheno, "Characteristics of a series of high speed hard chine planing hulls-part 1: performance in calm water," International Journal of Small Craft Technology, vol. 152, pp. 55–75, 2010.

[4] C. E. Febrian, D. Chrismianto, and G. Rindo, "Analisis Hambatan dan Gaya Angkat dari Modifikasi Stephull dengan Variasi Sudut pada Kapal Pilot Boat 15 Meter ALU

Menggunakan Metode CFD," Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 6, no. 1, 2018.

- [5] I. Iskendar, "Komponen Gaya Hambatan Kapal Cepat," Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, vol. 8, no. 2, p. 131126, 2006.
- [6] A. Sakaki, H. Ghassemi, and S. Keyvani, "Evaluation of the Hydrodynamic Performance of Planing Boat with Trim Tab and Interceptor and Its Optimization Using Genetic Algorithm," Journal of Marine Science and Application, vol. 18, no. 2, pp. 131–141, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11804-018-0040-6.
- [7] A. B. Amiadji and A. N. Oktova, "Impact Analysis of Trim Tab Inclination Angles Variation to Propulsion Power Requirement of 6 Meter's Speed Boat," International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, vol. 6, no. 3, 2021.
- [8] H. Ghassemi, H. Bahrami, A. Vaezi, and M. A. Ghassemi, "Minimization of Resistance of the Planing Boat by Trim-tab "Minimization of Resistance of the Planing Boat by Trim-tab," International Journal of Physics, vol. 7, no. 1, pp. 21–26, 2019, doi: 10.12691/ijp-7-1-4.
- [9] M. Mansoori and A. C. Fernandes, "Interceptor and trim tab combination to prevent interceptor's unfit effects," Ocean Engineering, vol. 134, pp. 140–156, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.02.024.
- [10] H. Jokar, H. Zeinali, and M. H. Tamaddondar, "Planing craft control using pneumatically driven trim tab," Mathematics Computers in Simulation, vol. 178, pp. 439–463, 2020.
- [11] R. Yousefi, R. Shafaghat, dan M. Shakeri, "Hydrodynamic analysis techniques for high-speed planing hulls," Applied Ocean Research, vol. 42. hlm. 105–113, Agustus 2013. doi: 10.1016/j.apor.2013.05.004.
- [12] ITTC, "Practical guide;ines for ship CFD applications," ITTC – Recomm. Proced. Guidel. ITTC. pp. 1-8, 2011.
- [13] Nourghasemi, H., Bakhtiari, M., & Ghassemi, H. (2017). Numerical study of step forward swept angle effects on the hydrodynamic performance of a planing hull. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, 51(123), 35–42. <https://doi.org/10.17402/228>
- [14] A. Gray-Stephens, T. Tezdogan, dan S. Day, "Strategies to minimise numerical ventilation in CFD simulations of high-speed planing hulls," dalam International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers, 2019.

- [15] H. Kazemi, M. Salari, H. Nowruzi, dan A. Najafi, "Hydrodynamics analysis of stepped planing hull under different physical and geometrical conditions," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 41, hlm. 1–12, 2019.

