

Studi Komparasi Sudut Serang *Hull Vane* Berbasis CFD Terhadap Hambatan *Passenger Ferry* 31 M

Fajar Afridhani Eka Putra^{*1}, Naufal Abdurrahman Prasetyo^{*}, and Nur Rafia Dija^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: fajar.afridhani@gmail.com

Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan yang bergantung pada transportasi laut dalam sektor mobilisasi, perdagangan, dan pariwisata. Pada Desember 2019, tercatat Indonesia memiliki 2250 transportasi laut. Dalam rangka menerapkan *green shipping*, mengurangi konsumsi bahan bakar adalah langkah penting yang dilakukan melalui pengurangan hambatan kapal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Hull Vane*[®] (HV) dan variasi sudut serang terhadap hambatan kapal *passenger ferry* 31 m. Metode yang digunakan adalah deskriptif komparatif, melibatkan pengambilan data, pemodelan kapal, pemilihan *foil*, integrasi HV, dan simulasi hambatan dengan CFD. Hasil analisis CFD menunjukkan pada 14 kn, variasi *V-shape* sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° terjadi peningkatan hambatan total sebesar 8.77%, 10.98%, 13.46%, dan 19.24%. Sedangkan, pada 22 kn sudut serang 5° memiliki hambatan total 2% lebih kecil dari 3°. Perbandingan *pitch* pada kecepatan 14 – 28 kn, kapal tanpa HV mengalami *trim by stern* dengan *pitch* 0.5° – 2.5° dengan hambatan sebesar 21337.5 – 48451.3 N. Sedangkan *V-shape* mengalami kondisi *trim by stern* dan *trim by bow*, dengan hambatan *trim by bow* meningkat pada *pitch* terbesar dan hambatan *trim by stern* meningkat pada *pitch* terkecil. *Hydrodynamic pressure* menunjukkan *V-shape* HV memiliki *hydrodynamic pressure tertinggi* dari kapal tanpa HV. Sedangkan pada 22 kn, *hydrodynamic pressure V-shape* HV sudut 5° lebih rendah dari 3°. Selanjutnya, pola gelombang *V-shape* HV memiliki hambatan gelombang yang kecil pada kecepatan rendah, sedangkan *V-shape* HV sudut serang 0° menghasilkan tinggi gelombang yang kecil pada kecepatan tinggi dibandingkan tanpa HV dan *V-shape* HV sudut serang lainnya.

Kata kunci: Transportasi Laut, *Passenger ferry*, Hambatan, *Pressure*, *pitch*, Sudut Serang, HV

Abstract

As an archipelago country, Indonesia relies on maritime transportation for trade, tourism, and mobilization. Indonesia registered 2,250 sea transport services in December 2019. Reducing ship resistance is an essential step towards decreasing fuel use and implementing green shipping. The objective of this research is to determine how a 31-meter passenger ferry's resistance is affected by *Hull Vane*[®] (HV) and variations in angle of attack. Comparative descriptive methods are used, involving data collecting, ship modeling, foil selection, HV integration, and CFD resistance simulation. According to the CFD analysis, at 14 kn, increases in total resistance of 8.77%, 10.98%, 13.46%, and 19.24% were caused by alterations in the V-shaped angle of attack of 0°, 2°, 3°, and 5°. At 22 kn, however, a 5° angle of attack has a total resistance that is 2% less than 3°. A ship without HV experiences trim by stern with a pitch of 0.5° - 2.5° and resistance of 21337.5 - 48451.3 N when comparing pitch at a speed of 14 - 28 kn. Meanwhile, the V-shape experiences trim by stern and trim by bow conditions, with trim by bow resistance increasing at the largest pitch and trim by stern resistance increasing at the smallest pitch. When compared to ships without HV, the V-shaped HV has the maximum hydrodynamic pressure, according to hydrodynamic pressure data. The hydrodynamic pressure V-shaped HV angle of 5° is less than 3° at 22 kn. In addition, compared to both V-shaped HV and V-shaped HV with different angles of attack, the V-shaped HV wave pattern has a small wave resistance at low speeds, while the V-shaped HV with an angle of attack of 0° creates a relatively small wave height at high speeds.

Keywords : Sea Transportation, *Passenger ferry*, Resistance, *Pressure*, Angle of attack, HV

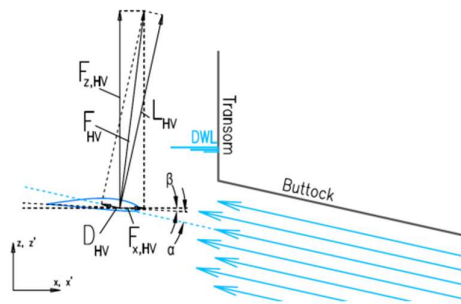
1 Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki wilayah laut yang luas menggunakan transportasi laut sebagai salah satu transportasi utama yang berperan penting dalam sektor mobilisasi manusia, perdagangan, dan pariwisata di Indonesia. Berdasarkan laporan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia per Desember 2019, Indonesia memiliki armada laut angkut manusia sebanyak 2250, terdiri dari 409 RO-RO, 733 kapal penyeberangan, 960 kapal penumpang, dan 148 kapal wisata [1]. Dengan armada laut yang cukup besar, tentunya akan memberikan dampak

ekonomi dan lingkungan. Komitmen Indonesia untuk menerapkan *green shipping*, yaitu pengurangan penggunaan energi dan menghasilkan emisi rendah, menjadikan Indonesia sebagai negara maritim yang harus menemukan cara untuk menekan konsumsi bahan bakar [2]. Salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah mengurangi hambatan pada kapal. Hambatan kapal yang rendah tentunya akan menekan penggunaan bahan bakar dan mengurangi emisi dari kapal.

Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengurangi hambatan kapal adalah *Hull Vane*[®] (HV) yang dipatenkan oleh Dr. Ir. Peter van Oossanen. HV merupakan jenis *foil* yang dipasang pada bagian buritan kapal di bawah garis air dengan tujuan untuk mengurangi hambatan gelombang dan memberikan gaya angkat pada bagian buritan kapal, yang dapat mengurangi hambatan kapal.

Secara umum, prinsip kerja dari HV sama seperti prinsip kerja dari *airfoil* atau *hydrofoil*, di mana HV bekerja dengan memanfaatkan aliran fluida dari belakang kapal. Pada dasarnya ada 3 komponen penting yang dapat mengurangi hambatan kapal yaitu gaya dorong, koreksi kemiringan sudut kapal, dan pengurangan hambatan gelombang [3]. Gaya dorong pada HV memiliki prinsip kerja yang sama pada sebuah *foil*. Di mana *foil* terbagi menjadi beberapa komponen, yaitu komponen gaya angkat (LHV) yang tegak lurus dengan arah aliran fluida dan gaya hambat (DHV) yang berlawanan dengan arah aliran fluida. Selanjutnya jika komponen vektor angkat lebih besar dari vektor hambat, gaya yang dihasilkan akan memberikan gaya dorong. Gaya dorong yang dimaksud adalah ketika HV memberikan dorongan ke atas, menciptakan kondisi *trim* yang *even keel*, yang berpengaruh pada hambatan gelombang kapal. Semua komponen ini berpengaruh pada hambatan total kapal [3].



Gambar 1: Skema gaya pada HV [3]

Ketika benda diam dan tidak bergerak relatif terhadap fluida, maka semua gaya yang ada di sekitar benda adalah sama (hidrostatik). Namun, ketika benda bergerak relatif terhadap fluida, akan terjadi perubahan yang tidak seimbang sehingga kondisi hidrostatik tidak lagi berlaku. Kondisi ini akan menghasilkan hambatan hidrodinamik yang berlawanan dengan arah pergerakan benda relatif terhadap fluida, yang dapat mengurangi kecepatan benda tersebut. Fenomena ini disebut hambatan kapal [4].

Kapal yang bergerak di atas air memiliki 2 jenis aliran, yaitu pola gelombang yang bergerak bersamaan dengan kapal dan area turbulensi yang meningkat sepanjang lambung kapal, serta membentuk *wake* pada buritan kapal. Kedua jenis aliran ini menyerap energi dari lambung kapal, yang disebut sebagai hambatan kapal. Gaya ini diterima oleh lambung kapal dalam bentuk distribusi tekanan dan *shear force*. *Shear force* sendiri terbentuk karena sifat kekentalan air. Sehingga, hambatan kapal dapat dibagi menjadi 4 komponen, yaitu hambatan friksi, hambatan tekanan, hambatan viskos, dan hambatan gelombang [5].

Beberapa studi pengaplikasian HV sebagai pengurang hambatan telah dilakukan, seperti pada studi analisis CFD pengaplikasian HV pada kapal OPV 108 meter menunjukkan pengurangan hambatan sebesar 15% pada kecepatan 17 kn [6]. Selanjutnya, pada studi pengaplikasian HV pada kapal *crew boat* menunjukkan pengurangan hambatan total pada kecepatan 22 kn, 24 kn, dan 28 kn sebesar 8.4 - 10% dari hambatan total kapal [7]. Studi pada *High-speed crew boat* menunjukkan pengurangan hambatan sebesar 25.09% pada HV lurus dan 30.75% pada *V-shape* HV [8].

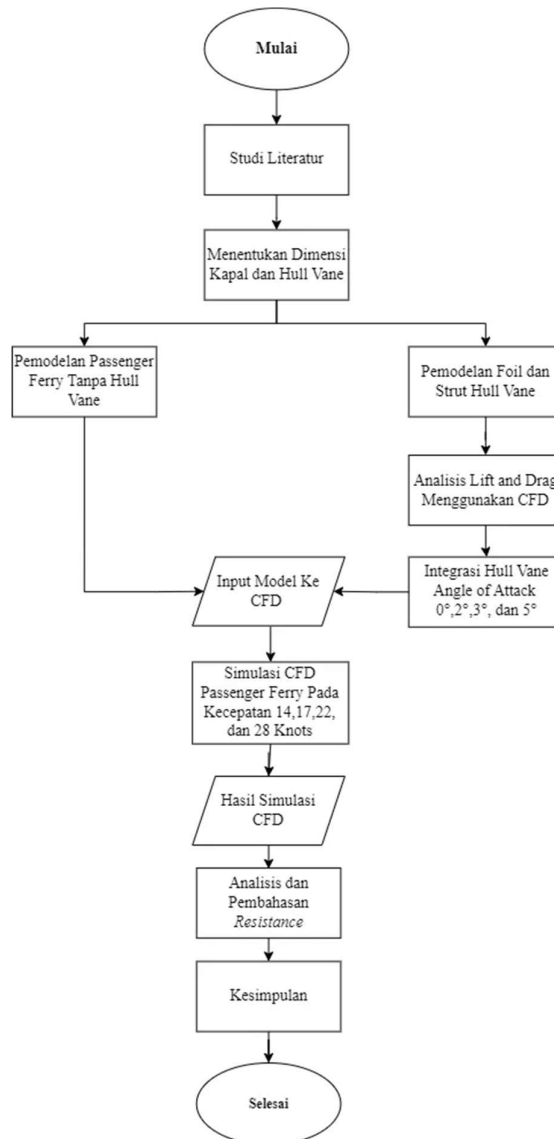
Pada studi kali ini akan dilakukan studi komparasi variasi sudut serang HV pada hambatan *passenger ferry* 31 meter dengan metode deskriptif komparatif yang menggambarkan bagaimana pengaruh HV dengan variasi sudut serang terhadap hambatan kapal *passenger ferry*. Studi ini menggunakan perangkat lunak berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang dilakukan melalui tahapan pengumpulan data, pemodelan 3D *passenger ferry* beserta HV, analisis CFD, dan perbandingan hambatan kapal.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui bagaimana pengaruh HV dan variasi sudut serang terhadap hambatan kapal *passenger ferry* 31 M. Studi ini memiliki batasan masalah yang menjadi fokus utama dalam penelitian, yaitu jenis kapal adalah *passenger ferry* dengan panjang 31 meter dengan jenis HV yang digunakan adalah *V-shape* HV.

Penentuan jenis *foil* HV menggunakan 2 tipe *foil* NACA yaitu seri 4412 dan seri 64(1)212 dengan tipe *strut* menggunakan tipe NACA 0012. Kecepatan fluida yang akan digunakan dalam analisis CFD disesuaikan dengan kecepatan kapal yang akan dianalisis yaitu 14 kn, 17 kn, 22 kn, dan 28 kn. Variasi sudut serang yang akan digunakan adalah 0°, 2°, 3°, dan 5°. Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam studi komparasi ini adalah perangkat lunak berbasis CFD.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif komparatif yang menggambarkan bagaimana pengaruh dari HV dengan variasi sudut serang terhadap hambatan total kapal. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2: pengumpulan data, menentukan dimensi kapal dan HV, pemodelan kapal dan HV, pemilihan jenis *foil* HV, mengintegrasikan HV ke model kapal, menginput model kapal ke dalam perangkat lunak CFD, melakukan simulasi CFD, dan melakukan perbandingan hambatan kapal berdasarkan hasil CFD.



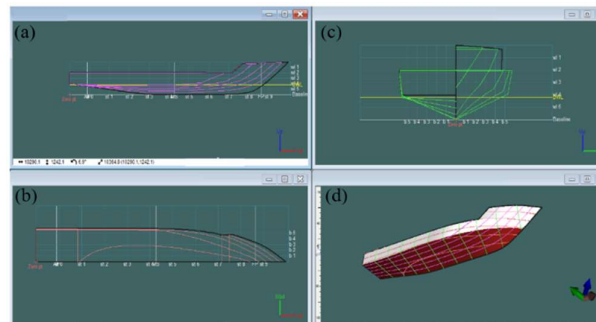
Gambar 2 Diagram alir penelitian

A. Pengumpulan Data Kapal

Pengumpulan data utama kapal *passenger ferry* dilakukan dengan menggunakan referensi dari katalog kapal dan badan klasifikasi kapal. Data yang menjadi referensi adalah ukuran utama dan *lines plan* dari kapal *passenger ferry* data ini nantinya akan digunakan dalam proses menggambar ulang. Perangkat lunak yang digunakan dalam tahapan menggambar ulang adalah perangkat lunak pemodelan 3D untuk mendesain geometri dan mendapatkan data utama dari *passenger ferry*, seperti pada tabel 1 dan gambar 3.

Tabel 1 Data utama *passenger ferry*

Data Utama	Kapal
L _{OA}	31.00 m
L _{WL} /L _{BP}	26.25 m
T	1.15 m
B	7
H	3.87
WSA	142.37 m ²
Displacement	60.78 ton



Gambar 3 Geometri *passenger ferry* (a) *Sheer plan* (b) *Half – breadth plan* (c) *Body plan* dan (d) *Tampak 3D*

B. Pemilihan Foil dan Strut HV

Adapun jenis *foil* yang digunakan pada penelitian ini adalah NACA 4412 dan NACA 64(1)212. Jenis *foil* ini dipilih karena *foil* ini sangat umum digunakan dalam studi analisis HV. NACA 4412 dan 64(1)212 akan dilakukan perbandingan *lift-to-drag ratio* dengan *lift-to-drag ratio* terbesar yang akan dipilih. Untuk *strut* dari HV, jenis *foil* yang digunakan adalah NACA 0012. *Strut* ini dipilih karena bentuknya yang simetris dan memiliki *lift-to-drag ratio* yang rendah pada sudut 0°, sehingga tidak mengganggu aliran pada bagian buritan kapal [9]. Adapun ukuran dari *foil* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Dimensi *foil*

Naca Series	Chord Length	Span
4412	0.525 m	7 m
64(1)212	0.525 m	7 m
0012	0.380 m	-

C. Pemodelan Kapal dan Integrasi HV

Model lambung kapal yang disiapkan terdiri atas 2 model yang dibuat menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D yaitu model tanpa HV dan model menggunakan HV dengan variasi sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5°. HV dipasang pada bagian buritan kapal dengan posisi di bawah sarat air kapal [10]. Di mana untuk jarak memanjang dari buritan ke HV adalah

$$\frac{\text{length of waterline}}{43} \quad (1)$$

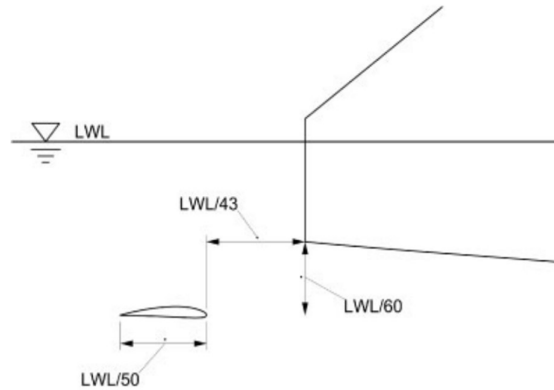
Dan jarak vertikal dari HV ke buritan kapal adalah

$$\frac{\text{length of waterline}}{60} \quad (2)$$

Posisi HV terhadap buritan kapal dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 4.

Tabel 3 Posisi HV

Posisi	Jarak
Horizontal	0.57 m
Vertikal	0.44 m



Gambar 4 Visualisasi posisi HV [10]

D. Simulasi CFD

Berdasarkan panduan ITTC [11], [12], [13] ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam mempersiapkan simulasi CFD yaitu:

1. Domain komputasi pada simulasi CFD untuk *inlet* adalah panjang L_{BP} dari *bow* kapal, untuk *outlet* $2L_{BP}$ dari buritan kapal, dan *side boundary* adalah L_{BP} dari *center line* kapal. *Bottom* dan *upper boundary* adalah L_{BP} dari *keel* kapal.
2. Domain komputasi terdiri atas dua domain, yaitu domain utama menjadi *air* (udara) *inlet* dan *outlet*, dan domain kedua yang menjadi *sea water* (air laut) *inlet* dan *outlet*.
3. Untuk *mesh generation* menggunakan *structured hexahedral mesh* dengan pendekatan *wall function* $y^+ = 30$.
4. *Solver* yang digunakan adalah *Steady Multi-fluid approach: time-marching approach*, dengan pengaplikasian gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$.
5. Pada *viscous model* menggunakan SST-Menter $k-\omega$.
6. Simulasi CFD dilakukan pada kondisi air tenang dengan kecepatan 14 kn, 17 kn, 22 kn, dan 28 kn.
7. Variasi sudut serang pada HV adalah 0° , 2° , 3° , dan 5° .

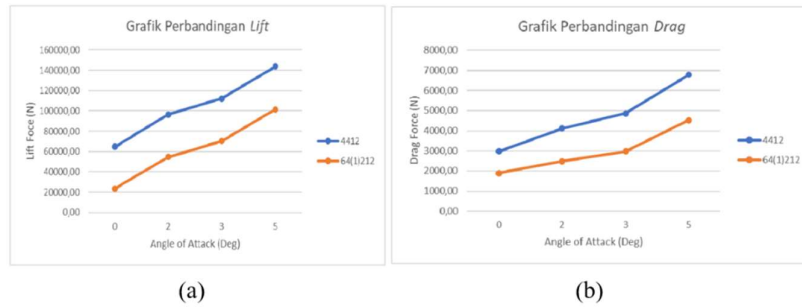
3 Pembahasan

A. Pemilihan Foil

Berikut adalah hasil perbandingan analisis *lift* dan *drag* pada *V-shape foil* tipe NACA 4412 dan NACA 64(1)212.

Tabel 4 Perbandingan Lift dan Drag

AOA \ Foil	4412			64(1)212		
	Lift (N)	Drag (N)	F_L/F_D	Lift (N)	Drag (N)	F_L/F_D
0°	64627.74	2964.77	21.80	23643.09	1887.25	12.53
2°	96467.50	4120.15	23.41	54755.96	2478.97	22.09
3°	112099.37	4868.82	23.02	70440.37	2969.66	23.72
5°	143943.42	6791.58	21.19	101474.6	4534.63	22.38



Gambar 5 Grafik Perbandingan (a) Lift dan (b) Drag

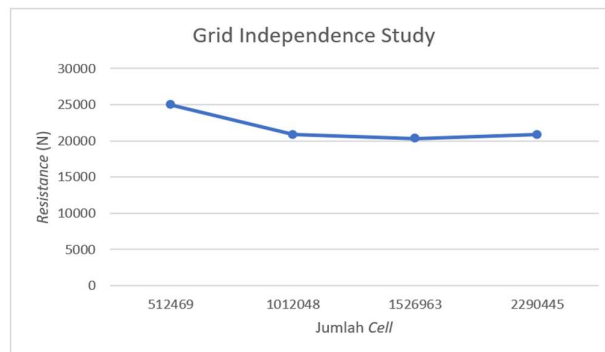
Berdasarkan hasil perbandingan lift dan drag kecepatan 28 kn pada tabel 4 dan gambar 5, jenis foil NACA 4412 memiliki nilai lift force pada sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° berturut-turut sebesar 64627.74 N, 96467.50 N, 112009.37 N, dan 143943.42 N, dengan nilai drag force berturut-turut sebesar 2964.77 N, 4120.15 N, 4868.82 N, dan 6791.58 N. Sedangkan pada jenis foil NACA 64(1)212 pada sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° memiliki nilai lift force berturut-turut sebesar 23643.09 N, 54755.96 N, 70440.37 N, dan 101474.6 N, dengan nilai drag force berturut-turut sebesar 1887.25 N, 2478.97 N, 2969.66 N, dan 4534.63 N. Sehingga jenis foil yang digunakan dalam studi ini adalah NACA 64(1)212, karena NACA 64(1)212 memiliki rata-rata lift dan drag yang lebih rendah dari NACA 4412, yang dapat mengurangi efek bow down dan drag yang berlebihan pada kecepatan yang lebih tinggi.

B. Studi Independensi Grid

Studi Independensi Grid merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam memvalidasi keakuratan pengujian hambatan kapal menggunakan CFD, dengan mencari persentase selisih hambatan pada setiap jumlah cell. Persentase selisih didapatkan dengan selisih hambatan akhir dan awal, lalu dibagi dengan hambatan awal dan dikali 100% untuk mendapatkan persentase selisih. Pada studi ini, jumlah cell awal yang digunakan adalah 512 ribu cell dengan peningkatan cell kurang lebih 500 ribu cell pada setiap pengujian.

Tabel 5 Data studi independensi grid

Grid Independence Study		
Jumlah Cell	Resistance (N)	Selisih
512469	24984	-
1012048	20834	16,61%
1526963	20314	2,49%
2290445	20842	-2,59%



Gambar 6 Grafik studi independensi Grid

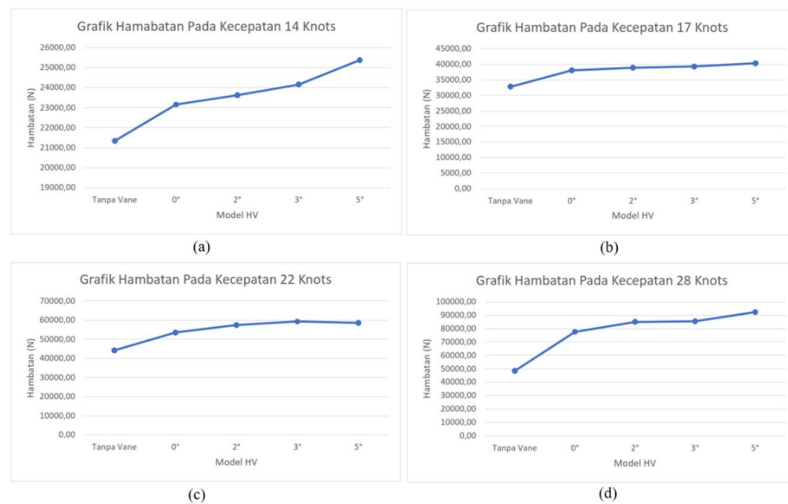
Berdasarkan pada tabel 5 dan gambar 6, jumlah cell yang digunakan dalam analisis CFD adalah antara 1 juta sampai 1.5 juta. Hasil studi independensi grid menunjukkan bahwa pada 1 juta cell, simulasi telah mengalami konvergensi dengan perbedaan persentase sebesar 2.49% dibandingkan dengan penggunaan 1.5 juta cell. Pemilihan rentang cell dari 1 juta hingga 1.5 juta juga mempertimbangkan lamanya waktu komputasi yang diperlukan.

C. Analisis Hambatan

Pada tahapan analisis hambatan didapatkan hasil simulasi CFD berupa tabel hambatan, *pitch*, dan WSA (*Wetted Surface Area*) dan grafik perbandingan hambatan total yang dapat dilihat pada tabel 6 dan gambar 7.

Tabel 6 Hasil analisis CFD

Kec. (kn)	Tanpa Vane			0°			2°			3°			5°		
	Hambatan (N)	Pitch	WSA (m ²)	Hambatan (N)	Pitch	WSA (m ²)	Hambatan (N)	Pitch	WSA (m ²)	Hambatan (N)	Pitch	WSA (m ²)	Hambatan (N)	Pitch	WSA (m ²)
14	21337.5	0.5	131.6	23159.2	-0.06	127.7	23630.2	-0.3	122.2	24159.0	-0.4	120.6	25388.0	-0.6	127.9
17	32820.6	1.4	113.1	38107.4	0.59	137.3	38920.2	0.3	139.2	39344.3	0.1	134.6	40382.5	-0.2	118.6
22	44223.5	2.3	96.8	53605.5	1.00	105.9	57411.7	0.5	130.8	59325.0	0.05	146.1	58591.6	-0.6	117.3
28	48451.3	2.5	60.4	77578.4	0.66	125.8	84915.5	-0.2	138.4	85444.4	-0.7	117.7	92297.3	-1.2	145.2



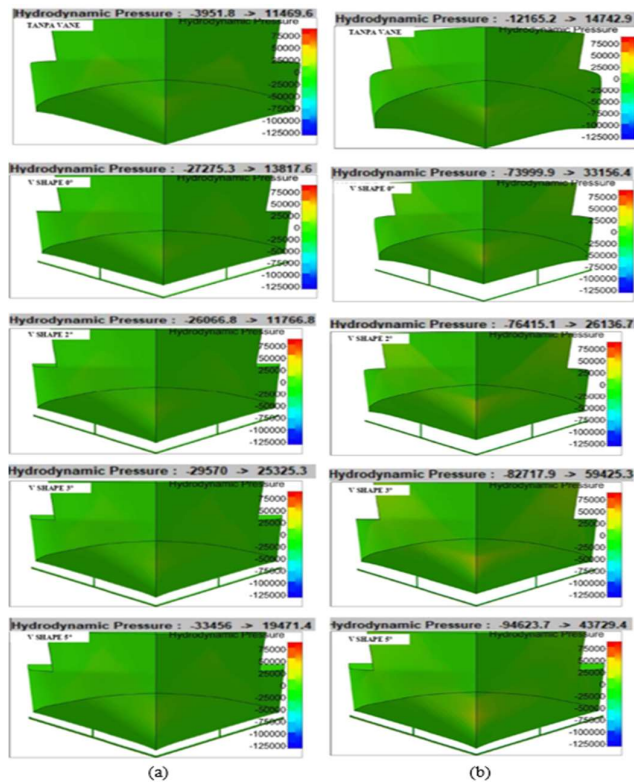
Gambar 7 Grafik Hambatan total pada kecepatan (a) 14 kn (b) 17 kn (c) 22 kn (d) 28 kn

Pada gambar 7, dapat dilihat pengaplikasian *V-shape* HV dengan variasi sudut serang masih memiliki hambatan lebih besar dari tanpa menggunakan HV. Pada kecepatan 14 kn, HV dengan sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° mengalami peningkatan hambatan total berturut-turut sebesar 8.77%, 10.98%, 13.46%, dan 19.24% dari hambatan tanpa menggunakan HV. Hambatan ini terus mengalami peningkatan pada kecepatan 17 kn, 22 kn dan 28 kn. Namun, terjadi perubahan hambatan pada kecepatan 22 kn antara sudut serang 3° dan 5°, di mana sudut serang 5° (58591.62 N) memiliki hambatan 2% lebih kecil dari sudut serang 3° (59324.96 N), yang berbanding lurus dengan perbedaan WSA kedua sudut serang, dengan 5° memiliki WSA sebesar 117.3 m² dan 3° dengan WSA sebesar 146.1 m². Jika dilihat dari *pitch* pada tabel 6, kondisi kapal dapat dibagi menjadi dua: *trim by stern* (*bow* terangkat, *pitch* positif) dan *trim by bow* (*bow* turun, *pitch* negatif). Pada kecepatan 17-28 kn, kapal tanpa HV mengalami *trim by stern* dengan *pitch* 0.5-2.5 yang berbanding lurus dengan meningkatnya hambatan total dari 21337.5 N hingga 48451.3 N. Pada kapal *V-shape* HV, dua kondisi terjadi: *trim by stern* dan *trim by bow*. Pada kecepatan 14 kn, sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° mengalami *trim by bow*, dengan *pitch* terbesar pada sudut 5° (-0.6°) dan terkecil pada sudut 0° (-0.06°), serta hambatan total meningkat pada sudut 5° (25388.0 N) dan sudut 0° (23159.2 N). Pada kecepatan 17 kn, *trim by bow* hanya terjadi pada sudut serang 5° (*pitch*: -0.2°, hambatan 40382.5 N), sedangkan sudut serang 0°-3° mengalami *trim by stern*, dengan *pitch* terbesar pada sudut 0° (0.59°, hambatan 38107.4 N) dan terkecil pada sudut 3° (0.1°, hambatan 39344.3 N). Pada kecepatan 22 kn, kondisi *trim* sama dengan kecepatan 17 kn, di mana sudut serang 0° (*pitch*: 1.00°) memiliki hambatan 53605.5 N dan sudut 3° (*pitch*: 0.05°) memiliki hambatan 59325.0 N, sedangkan sudut 5° (*pitch*: -0.6°) memiliki hambatan 58591.6 N. Pada kecepatan 28 kn, *trim*

by bow terjadi pada sudut 2°-5°, dengan *pitch* terbesar pada sudut 5° (-1.2°, hambatan 92297.3 N) dan terkecil pada sudut 2° (-0.2°, hambatan 84915.5 N). Ini menunjukkan bahwa pada kondisi *trim by bow*, hambatan tertinggi pada *V-shape* HV terjadi dengan *pitch* terbesar, sedangkan pada kondisi *trim by stern*, hambatan tertinggi terjadi dengan *pitch* terkecil.

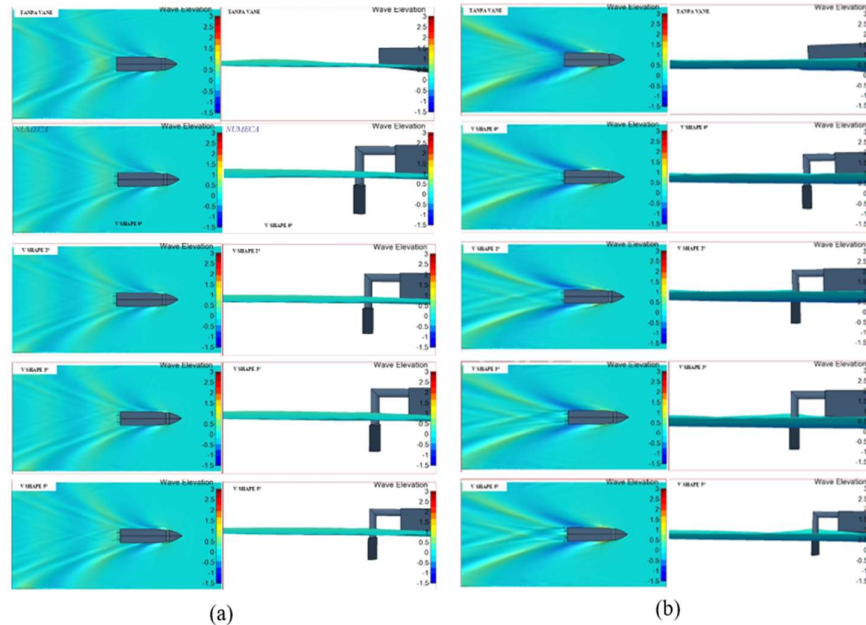
Tabel 7 Data *hydrodynamic pressure*

Kec. (kn)	<i>Hydrodynamic Pressure</i> (N/m ²)				
	Tanpa Vane	0°	2°	3°	5°
14	11300	11700	11600	11600	11600
17	14100	15200	17200	17200	16900
22	14500	20600	24000	29000	25700
28	15000	32400	42000	40000	45700



Gambar 8 Visualisasi *hydrodynamic pressure* kecepatan (a) 14 kn dan (b) 22 kn

Selanjutnya, pada gambar 8, *hydrodynamic pressure* pada bagian bow kapal tanpa HV sebesar 11300 N/m² untuk kecepatan 14 kn. Sedangkan untuk kapal yang menggunakan HV pada kecepatan 14 kn memiliki *hydrodynamic pressure* sekitar 11600 N/m² – 11700 N/m². Pada kecepatan 22 kn, *hydrodynamic pressure* dari kapal tanpa HV sebesar 14500 N/m² dan pada HV dengan sudut serang 0°, 2°, 3°, dan 5° mengalami kenaikan *hydrodynamic pressure* berturut-turut sebesar 20600 N/m², 24000 N/m², 29000 N/m², dan 25700 N/m². Pada kecepatan 22 kn, HV dengan sudut serang 3° dan 5° juga mengalami perubahan *hydrodynamic pressure* yang sama seperti pada perubahan hambatan total, di mana pada sudut serang 5° memiliki *hydrodynamic pressure* tertinggi yang lebih rendah daripada sudut serang 3°. Sedangkan pada tabel 7 dapat dilihat bahwa baik pada kecepatan 17 kn maupun 28 kn, baik tanpa HV dan HV mengalami peningkatan *hydrodynamic pressure* yang konsisten.



Gambar 9 Pola gelombang pada kecepatan (a) 14 kn dan (b) 22 kn

Pada gambar 9, dapat dilihat pola gelombang yang dihasilkan oleh kapal tanpa HV memiliki ketinggian gelombang transversal 0.456 meter. Berbeda dengan tinggi gelombang transversal *V-shape* HV pada kecepatan 14 kn untuk sudut 0° , 2° , 3° , dan 5° , secara berturut-turut memiliki ketinggian sekitar 0.3 m, 0.27 m, 0.29 m, dan 0.32 m. Pada kecepatan 22 kn, tinggi gelombang transversal pada kapal tanpa HV adalah 0.21 meter dan *V-shape* HV pada sudut serang 0° memiliki ketinggian sekitar 0.18 meter. Sedangkan pada sudut serang 2° , 3° , dan 5° , mengalami peningkatan tinggi gelombang sekitar 0.271–0.4 meter. Ini menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, *V-shape* HV memiliki hambatan gelombang lebih kecil daripada tanpa menggunakan HV. Sedangkan pada kecepatan 28 kn, *V-shape* HV dengan sudut serang 0° konsisten mengalami penurunan tinggi gelombang (0.114 m) dibandingkan sudut serang lainnya.

4 Kesimpulan

Berdasarkan analisis CFD pada *passenger ferry* 31 meter, *V-shape* HV dengan variasi sudut serang mempengaruhi secara signifikan besar dari hambatan total kapal. Pada kecepatan 14 kn HV dengan variasi sudut serang 0° , 2° , 3° , dan 5° terjadi peningkatan persentase hambatan total dibandingkan kapal tanpa HV sebesar 8.77%, 10.98%, 13.46%, dan 19.24%. Selanjutnya, pada kecepatan 22 knot sudut serang 5° memiliki hambatan total 2% lebih kecil dari 3° . Dari perbandingan analisis *pitch*, pada kecepatan 14–28 kn kapal tanpa HV mengalami *trim by stern* dengan *pitch* 0.5° – 2.5° yang berbanding lurus dengan meningkatnya hambatan total dari 21337.5 N naik hingga 48451.3 N. Selanjutnya, pada kapal *V-shape* HV mengalami *trim by stern* dan *trim by bow*. Di mana *V-shape* HV pada kondisi *trim by bow* memiliki hambatan tertinggi pada *pitch* terbesar. Sedangkan *V-shape* HV pada kondisi *trim by stern* memiliki hambatan tertinggi pada *pitch* terkecil. Perbandingan analisis *hydrodynamic pressure* menunjukkan *V-shape* HV memiliki *hydrodynamic pressure* tertinggi dari kapal tanpa HV. Sementara, pada 22 kn *V-shape* HV dengan sudut serang 5° memiliki *hydrodynamic pressure* lebih rendah dari 3° . Pada analisis pola gelombang, *V-shape* HV memiliki hambatan gelombang terendah pada 14 kn. Sedangkan pada kecepatan lebih tinggi *V-shape* HV menghasilkan tinggi gelombang yang rendah pada sudut serang 0° . Secara keseluruhan, *V-shape* HV mempengaruhi hambatan kapal *passenger ferry* 31 meter, di mana *V-shape* HV mampu mengurangi hambatan gelombang tetapi belum mampu mengurangi hambatan total.

5 Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “JUMLAH ARMADA NIAGA NASIONAL TAHUN 2017-2019,” 2020. Accessed: Feb. 27, 2024. [Online]. Available: https://ppid.dephub.go.id/fileupload/informasi-berkala/20200819131314.DATA_JUMLAH_ARMADA_NIAGA_NASIONAL_TAHUN_2017-2019.pdf
- [2] Bagian Organisasi dan Humas Kemenhub, “Kemenhub Dukung Penerapan Green Shipping Untuk Lindungi Lingkungan Maritim.” Accessed: Mar. 21, 2024. [Online]. Available: <https://hubla.dephub.go.id/home/post/read/16672/kemenhub-dukung-penerapan-green-shipping-untuk-lindungi-lingkungan-maritim>
- [3] K. Uithof, P. Van Oossanen, N. Moerke, P. G. Van Oossanen, and K. S. Zaaijer, “AN UPDATE ON THE DEVELOPMENT OF THE HULL VANE ®,” in *9th International Conference on High-Performance Marine Vehicles (HIPER)*, Athens, 2014, pp. 211–221.
- [4] W. F. DURAND, *THE RESISTANCE AND PROPULSION OF SHIPS*, vol. 1. 1898.
- [5] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, vol. 1. Cambridge University Press, 2011.
- [6] B. Bouckaert, K. Uithof, P. van Oossanen, and N. Moerke, “Hull Vane ® on 108m Holland-Class OPVs: Effects on Fuel Consumption and Seakeeping,” in *MAST Conference*, 2016.
- [7] K. Suastika and S. Riyadi, “Effects of the Application of a Buritan Foil on Ship Resistance: A Case Study of an Orela Crew Boat,” *International Journal of Technology*, vol. 8, p. 1266, Dec. 2017, doi: 10.14716/ijtech.v8i7.691.
- [8] Ketut Suastika, Ahmad Septiawan Saputra, Adnan Faiz Fauzi, and Ahmad Firdhaus, “Comparison of Performance of Straight- and V-shaped Vanes Applied as Energy Saving Device to High-speed Boats,” *CFD Letters*, vol. 15, no. 10, pp. 110–122, Aug. 2023, doi: 10.37934/cfdl.15.10.110122.
- [9] A. Akbar, “Effect of Angle of Attack on Airfoil NACA 0012 Performance,” *Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal* |, vol. 5, no. 1, pp. 2528–3723, 2020, doi: 10.21070/rem.v5i1.1235.
- [10] C. Çelik, D. Danişman, P. Kaklis, and S. Khan, “An investigation into the effect of the Hull Vane on the ship resistance in OpenFOAM,” in *18th International Congress of the Maritime Association of the Mediterranean, Varna, Bulgaria*, 2019, pp. 136–141.
- [11] ITTC, “ITTC Recommended Procedures and Guidelines Practical Guidelines for Ship Resistance CFD,” 2014. Accessed: Mar. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.ittc.info/media/8167/75-03-02-04.pdf>
- [12] ITTC, “ITTC Recommended Procedures and Guidelines Practical Guidelines for Ship CFD,” 2011. Accessed: Mar. 09, 2024. [Online]. Available: <https://itc.info/media/1357/75-03-02-03.pdf>
- [13] ITTC, “ITTC-Recommended Procedures Fresh Water and Seawater Properties,” 2011. Accessed: Mar. 09, 2024. [Online]. Available: <https://itc.info/media/4048/75-02-01-03.pdf>