



ISSN

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis Hambatan Variasi Sudut Strut Pada Lambung SWATH Dengan Sistem *Reconfigurable Wings* Menggunakan Metode CFD

Gomgom Suryadi Sianturi<sup>1)\*</sup>, Andi Trimulyono<sup>2)</sup>, Samuel<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>e-mail: [gomgom@students.undip.ac.id](mailto:gomgom@students.undip.ac.id)

### Abstrak

Inovasi pada lambung kapal sudah mengalami banyak perkembangan salah satunya adalah Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH). Adanya inovasi pada bentuk lambung kapal mempunyai tujuan untuk memaksimalkan kinerja kapal dan mengurangi nilai hambatan menjadi hal yang sering dipertimbangkan. Teknologi *Reconfigurable Wings* merupakan inovasi untuk membuat strut pada kapal SWATH agar dapat diatur sedemikian rupa. Pada kapal yang menggunakan inovasi ini terdapat 2 mode kapal yaitu high speed untuk kecepatan tinggi dan low speed untuk kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat ragam variasi sudut strut baik pada kecepatan rendah maupun kecepatan tinggi, dan kemudian mencari nilai hambatan yang optimal dari sudut yang sudah divariasikan. Penelitian ini menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) berbasis kondisi batas untuk memprediksi nilai hambatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah ( $F_n=0,3$ ) sudut  $35^\circ$  merupakan sudut dengan nilai hambatan terkecil diantara sudut lainnya di setiap froude number kapal dengan nilai hambatan 7,97kN. Dan pada kecepatan tinggi ( $F_n=0,76$  &  $F_n=1,13$ ) sudut  $73^\circ$  menjadi nilai hambatan paling kecil dengan nilai 35,85 kN.

Kata Kunci: SWATH, Hambatan, *Reconfigurable Wings*, Computational Fluid Dynamic

### 1. PENDAHULUAN

SWATH merupakan lambung twin hull yang memiliki luas bidang garis air yang kecil sehingga dapat mengurangi kontak antara strut dengan permukaan air. Dengan begitu, nilai hambatan pada lambung tersebut dapat diminimalisir. Kapal tipe SWATH memiliki lambung ganda, dengan dua lambung dihubungkan oleh struktur geladak kokoh yang membentang di atasnya untuk menahan momen lentur dan gaya geser yang besar. [1].

Lambung dapat dirancang dengan bentuk prisma tinggi dan prisma rendah, tergantung dari kebutuhan kecepatan dimana kapal tertentu dimaksudkan untuk beroperasi. Lambung biasanya berbentuk elips dengan alasan untuk menjaga *draft* seminimal mungkin, sambil mempertahankan bentuk lambung yang pada dasarnya melingkar untuk hidrodinamika yang baik.

Panjang strut yang relatif terhadap panjang lambung adalah pilihan desain terkait dengan pilihan pengaturan kemudi. Sebuah strut pendek cenderung

menghasilkan kemudi yang terletak di lambung daripada mengadopsi pengaturan sekop sederhana di belakang strut. Namun, memilih strut lebih pendek dari lambung, resistensi dan eksitasi pitch berkurang. Hal ini juga meminimalkan *scoupling* kapal pada *pitch* dan *heave*. [3].

Sebagian besar kapal SWATH memiliki satu strut per hull, meskipun ada konfigurasi twin strut. *Single* strut memberikan pengurangan *drag* dengan menghilangkan efek interferensi gelombang antara strut dan kinerja yang lebih baik di laut bergelombang ekstrik [3].

Terdapat penelitian yang dilakukan oleh Guan Guan mengenai sudut strut atau *inclined strut*, dimana pada penelitian tersebut membandingkan strut konvensional dengan strut miring menunjukkan bahwa *inclined strut* lebih kondusif dalam peningkatan performa hambatan. Dan juga dilakukan analisis terhadap desain SWATH dimana ditemukan bahwa deformasi longitudinal haluan lambung bawah air dan deformasi lateral buritan, posisi *Parallel-Middle-Body* strut SWATH dan kemiringan strut memiliki dampak

yang lebih besar pada hambatan SWATH[4].

Penelitian juga dilakukan oleh Peng Qian menunjukkan bahwa, terdapat kenaikan nilai hambatan pada model kapal SWATH *inclined strut* pada gelombang sangat kecil bahkan bisa negatif. Ada sedikit peningkatan hambatan saat kecepatan juga dinaikkan. Hal ini dikarenakan kombinasi beberapa faktor hidrodinamika yang kompleks seperti variasi trim dan *sinkage*. Dari sudut pandang propulsi, peningkatan hambatan negatif pada gelombang adalah salah satu keunggulan terbesar pada desain SWATH *inclined strut* [5].

Saat ini terdapat inovasi yang dikembangkan pada kapal SWATH khususnya pada strut kapal. Hasil inovasi tersebut adalah *reconfigurable wings* dimana berfungsi untuk mengubah sudut atau kemiringan strut agar dek dapat dinaikkan dan diturunkan pada kedalaman laut tertentu.

Kapal dengan *reconfigurable wings* akan memiliki sarat yang berbeda pada kedalaman dan kecepatan tertentu. Pada saat kecepatan tinggi (*High speed & Sea State*) dek kapal akan terangkat sampai pada posisi tertinggi dan pada saat kecepatan rendah (*Slow & Shallow*) dimana dek kapal akan mendekati permukaan air.

Berdasarkan hasil patennya kapal tersebut terdapat beberapa kemiringan strut seperti pada *mode high speed* dan *low speed*. Penambahan sudut antara dek dan strut di luar dari dua mode tersebut akan mempengaruhi nilai hambatan dari kapal tersebut maka akan mempengaruhi nilai hambatan. Berdasarkan hasil tersebut perlu untuk menganalisis penambahan atau pengurangan sudut untuk mengetahui pengaruh kemiringan sudut strut dan dek guna mengetahui nilai hambatan dan nilai hambatan optimal.

## 2. METODE

### 2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini merupakan kapal SWATH yang didesain menyerupai kapal yang di produksi Juliet Marine System dan kapal didesain ulang dengan referensi ukuran utama yang di publikasikan. Objek penelitian didesain 1:1 dan disimulasikan dengan software maxsurf sebagai hasil validasi dan metode CFD menggunakan software ANSYS Fluent sebagai hasil pembandingan. data ukuran utama kapal ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Dimensi	Ukuran	Satuan
<i>Length Over All</i>	18,89	m
<i>Breadth</i>	4,26 – 11,45	m
<i>Strut Length</i>	3,65	m
<i>Draft</i>	1,21 – 1,82	m
<i>Speed</i>	<i>Low speed</i> : ≤ 8 kn, <i>High speed</i> : 32,5 kn	knot

### 2.2 Parameter Penelitian

Analisis pada penelitian ini dilakukan pada Kapal yang didesain ulang dengan variasi sudut strut.

Parameter tetap merupakan parameter tetap yang digunakan merupakan ukuran utama Kapal SWATH. Parameter tidak tetap merupakan variasi bentuk sudut, kecepatan dan sarat. Pada variasi sudut, *mode high speed* 73<sup>0</sup>, 80<sup>0</sup> dan 90<sup>0</sup>. Dan pada *low speed* 30<sup>0</sup> dan 35<sup>0</sup>. Variasi kecepatan disimulasikan baik pada *mode high speed* dan pada *low speed* dengan variasi kecepatan menggunakan Fn 0.3, 0.76 dan 1.13. Pada kecepatan rendah sarat kapal sebesar 1,21 m dikarenakan lebar kapal meningkat dan pada saat kecepatan tinggi sarat kapal sebesar 1,82 m dikarenakan lebar kapal berkurang.

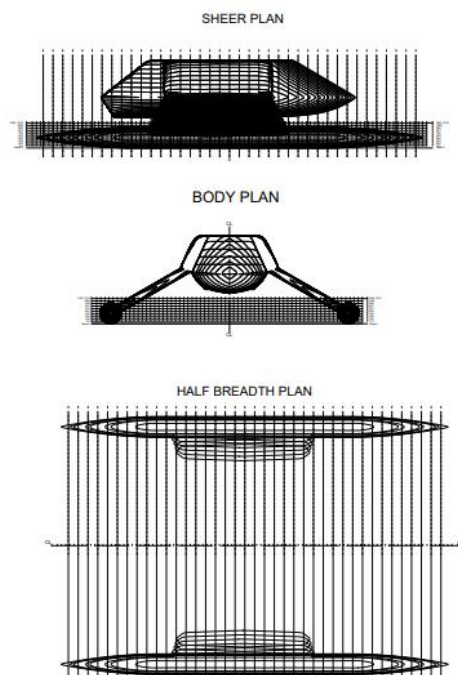
Tabel 2. Ukuran Lebar Kapal

Sudut Strut (°)	Lebar Kapal (m)
30	11.45
35	11.08
73	6.73
80	5.73
90	4.26

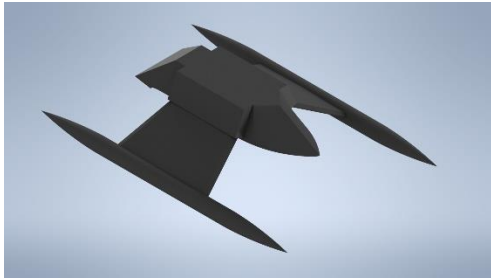
### 2.3 Model Kapal Patroli

Model Kapal didesain ulang berdasarkan data ukuran utama yang telah dipublikasikan. Model kapal didesain berdasarkan nilai ukuran utama kapal menggunakan software 3D CAD CATIA.

Dibawah ini merupakan gambar *Linesplan* dan model 3D menggunakan bantuan *software* pemodelan 2D dan pemodelan 3D seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Lines Plan Kapal



Gambar 2. Model 3D Kapal

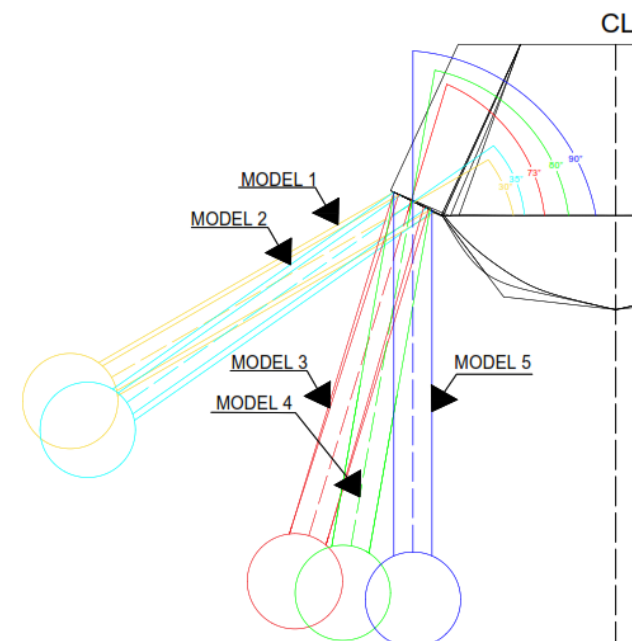
## 2.4 Variasi Sudut Strut

Variasi ini merupakan sudut kemiringan antara strut kapal.

Kapal ini memiliki 2 mode dalam pengaplikasiannya, *mode high speed* dan *low speed*. Pada *mode high speed* sudut strut divariasikan menjadi 73°, 80° dan 90°. Sedangkan pada *low speed* divariasikan menjadi 30° dan 35°. Berikut variasi sudut strut yang diberikan pada tabel 3.

Model	Variasi sudut
Model 1	30°
Model 2	35°
Model 3	73°
Model 4	80°
Model 5	90°

Berikut ini merupakan model variasi sudut strut menggunakan *software* pemodelan 2D.



Gambar 3. Variasi Model

## 2.5 Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Analisis penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui

*software* ANSYS Fluent dalam menganalisis hambatan. Proses simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) diawali dengan membuat model yang berpengaruh dalam perhitungan CFD yaitu model hull kapal. Pembuatan model dibuat dengan menggunakan *software* pemodelan 3D, dalam pembuatan model pastikan seluruh komponen berupa *close-solid* agar dapat di *import* kedalam program CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Secara umum dalam perhitungan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terdapat 3 alur proses pengerjaan merupakan *Pre-processing*, *Solving*, dan *Postprocessing*.

Persamaan Navierstokes, yang menggambarkan perpindahan fluida, adalah persamaan umum yang digunakan dalam perhitungan CFD. Fluida dihipotesiskan tidak termampatkan dalam persamaan ini. Persamaan ini kemudian akan mulai menghasilkan persamaan lain seperti persamaan kekekalan massa, persamaan kekekalan volume, dan lain-lain..

Bentuk umum persamaan navier-stokes adalah sebagai berikut[17]:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 + \dots \dots (1)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran

$\nabla$  = Perpindahan

$\rho$  = massa jenis fluida

$\mu$  = *frictional resistance* (viskositas)

f = gaya dari luar

t = waktu

Teknik kondisi batas dan kondisi awal digunakan dalam simulasi ini. Persamaan Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) mencerminkan hukum kekekalan massa dan momentum. Setiap sel seharusnya menjadi fraksi volume dengan nilai antara satu dan nol. Atribut fraksi volume mempengaruhi fungsi cairan air dan udara. Karena itu, hukum konservasi ditetapkan dalam persamaan 1, permukaan laut diasumsikan F.

$$\frac{\delta F}{\delta T} + \frac{\delta u F}{\delta X} + \frac{\delta v F}{\delta y} + \frac{\delta w F}{\delta z} = 0 \quad \dots (2)$$

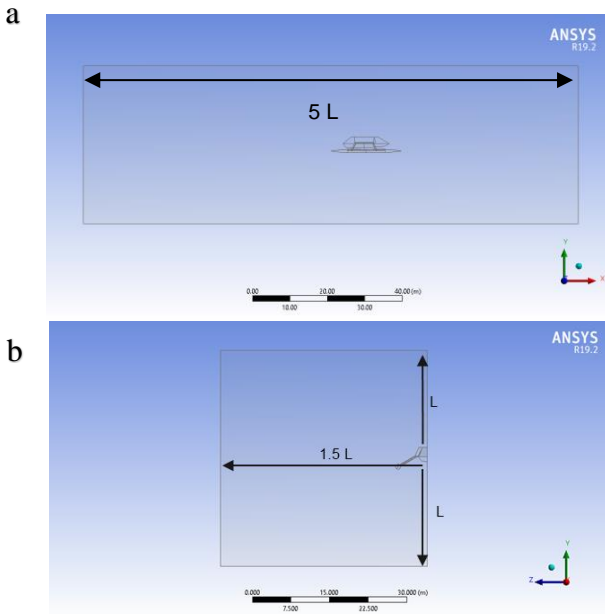
Persamaan RANS diturunkan dengan asumsi bahwa kecepatan dan panjang kapal cukup untuk mewakili efek turbulensi di sekitar lambung. Model k-turbulensi yang berfungsi sebagai dinding dalam komputasi digunakan untuk mengkarakterisasi pengaruh turbulensi pada aliran [18].

Pada perhitungan domain untuk pembuatan towing tank terdapat perbedaan lebar kapal untuk tiap sudut. Berikut nilai ukuran domain dari tiap sudut.

Tabel 4. Ukuran Domain

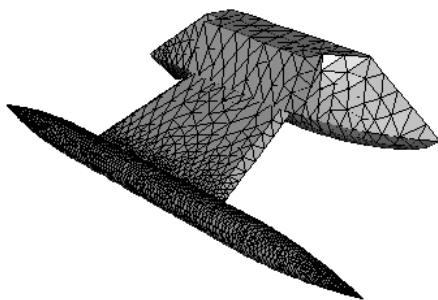
Sudut	30°	35°	73°	80°	90°
Panjang (5L)	94.45	94.45	94.45	94.45	94.45
Lebar (1.5L+0.5B)	34.06	33.86	31.72	31.15	30.42
Tinggi(L)	18.89	18.89	18.89	18.89	18.89

Berikut merupakan dimensi towing tank yang ditunjukkan dalam gambar.

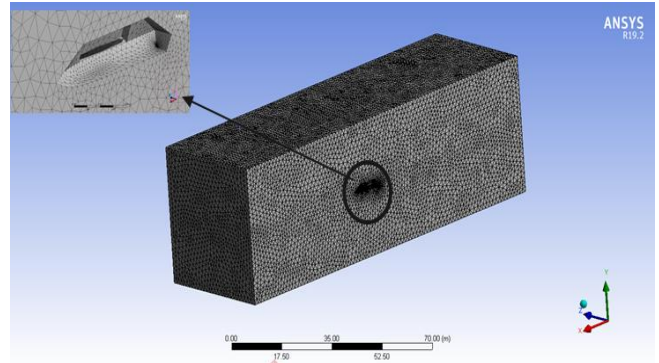


Gambar 4 (a) & (b). Ukuran Domain

Pada bagian ini dilakukan diskretisasi geometri, dimana domain yang akan di analisis akan dipecah menjadi elemen-elemen. Elemen-elemen ini dapat mempengaruhi strategi diskretisasi. Dalam penerepannya harus dilakukan seakurat mungkin agar mendapatkan hasil yang maksimal. Berikut tampilan bentuk meshing kapal dan meshing domain/ towing tank.

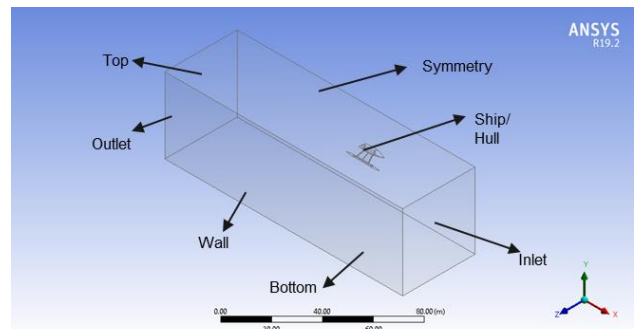


Gambar 5. Meshing Kapal



Gambar 6. Meshing Domain

Setelah *meshing* pada model lalu dilanjutkan dengan batas kondisi atau *setup boundary*. Di bagian ini menjelaskan kondisi batas yang berada pada model. *Setup boundary* harus diatur sesuai dengan kondisi dan batasan agar dapat mewakili kondisi fisik aslinya. Didalam domain fluida terdapat beberapa *boundary*, yaitu; *boundary inlet*, *outlet*, *side* dan *hull wall*. Pengaturan pada *boundary* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Boundary Condition

## 2.6 Variasi Kecepatan

Setelah pembuatan variasi model kapal selanjutnya dilakukan variasi kecepatan kapal dengan mengubahnya ke dalam angka *froude number* (Fn). *Froude Number* merupakan suatu bilangan yang didasarkan pada rasio kecepatan kapal [21]. Kecepatan kapal di variasikan sesuai dengan *froude number* kapal *displacement* (Fn<0.4) , *semi displacement* (0.4-0.5< Fn <1.0-1.2) dan *planing hull* (Fn> 1.0-1.2) [22]. Dimana nilai *froude number* divariasikan sesuai dengan kenaikan kecepatan kapal. Persamaan dari *froude number* sebagai berikut [23]:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- Fn : Froude Number
- V : Kecepatan Dinas (m/s)
- g : Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- L : Panjang Kapal (m)

Speed	Fn
-------	----

Knot	m/s	
8	4.1155	0.3
20	10.289	0.76
30	15.433	1.13

## 2.7 Wetted Surface Area (WSA)

Wetted surface area merupakan luas permukaan badan kapal yang tercelup untuk tiap-tiap sarat kapal. Besarnya nilai WSA dapat berpengaruh terhadap nilai hambatan dan hasilnya berbanding lurus. Hambatan gesek merupakan komponen dari hambatan viskositas yang dominan dan didapatkan dari seluruh permukaan basah kapal atau *wetted surface area*. Berikut nilai WSA pada tiap model kapal:

Tabel 5. Nilai WSA

Sudut (°)	WSA (m <sup>2</sup> )
30	101.502
35	96.8522
73	116.499
80	116.774
90	116.347

## 2.8 Slender Body

Hasil analisis yang diperoleh dari software maxsurf digunakan sebagai validasi dan hasil dari ANSYS Fluent sebagai hasil pembandingan CFD nilai hambatan dari tiap variasi bentuk kapal. Metode *Slender Body* menjadi metode yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut beberapa pertimbangan alasan menggunakan *Slender Body* sebagai perhitungan hambatan[1]:

1. Metode *Slender Body* cocok untuk menghitung tahanan kapal karena digunakan untuk menghitung hambatan kapal dengan lambung ramping, sehingga digunakan dalam menghitung hambatan kapal menggunakan Hullspeed.
2. Menurut penelitian M. Insell, pendekatan *Slender Body* menggunakan software Michlet menghasilkan variasi nilai hambatan (selisih) paling sedikit jika dibandingkan dengan metode penghitungan lainnya. Dengan kata lain, ketika digunakan pada kapal multihull, pendekatan *Slender Body* akan memiliki faktor kesalahan yang lebih rendah daripada metode lainnya.

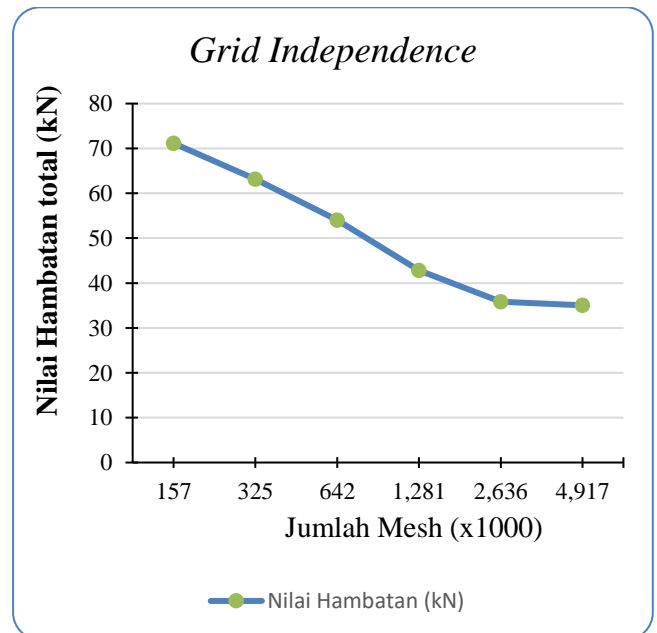
## 2.9 Grid Independence

*Grid Independence* adalah proses penentuan jumlah grid yang optimal dalam proses perhitungan CFD. Ukuran grid yang digunakan dapat mempengaruhi hasil secara signifikan, oleh karena itu jumlah grid yang digunakan harus dipertimbangkan. Penggunaan grid yang terlalu sedikit berpengaruh pada keakuratan data yang dikumpulkan setelah simulasi, oleh karena itu diperlukan suatu teknik untuk menentukan jumlah

grid yang sesuai. Kapal ini berisi total 263449 elemen. Angka ini didasarkan pada data eksperimen yang dikumpulkan melalui CFD, di mana hasil yang diperoleh dari penambahan jumlah komponen konstan, menunjukkan bahwa grid yang digunakan telah mencapai hasil yang optimal. Nilai ini diperoleh dari data eksperimen yang diperoleh melalui CFD, dimana hasil penambahan jumlah komponen berupa grid konstan yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Untuk mencapai grid ideal ini, jumlah komponen tambahan harus cukup banyak, 1,5x -2x dari jumlah elemen sebelumnya. Jumlah grid ideal bisa dikatakan valid apabila penambahan jumlah grid setelah memasuki zona konstan tidak mempengaruhi besarnya hasil temuan yang diperoleh. Jumlah elemen dihitung menggunakan nilai terkecil dari jumlah elemen yang masuk ke zona konstan. Hal ini dapat bermanfaat untuk mempersingkat waktu yang diperlukan untuk metode simulasi. [17]. Berikut adalah tabel jumlah mesh dan nilai hambatan yang digunakan dalam pembuatan *grid independence*.

Tabel 6. Jumlah Mesh dan Nilai Hambatan

Grid	Jumlah Mesh (x1000)	Nilai Hambatan (kN)
150	156.505	71.15
1000	325.427	63.17
2000	641.665	54.03
3000	1281.135	42.80
4000	2636.449	35.86
5000	4917.433	35.04



Gambar 8. Grafik *Grid Independence*

## 2.10 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika, Departemen S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah selanjutnya merupakan analisis dari hasil-hasil yang telah didapatkan pada analisis CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

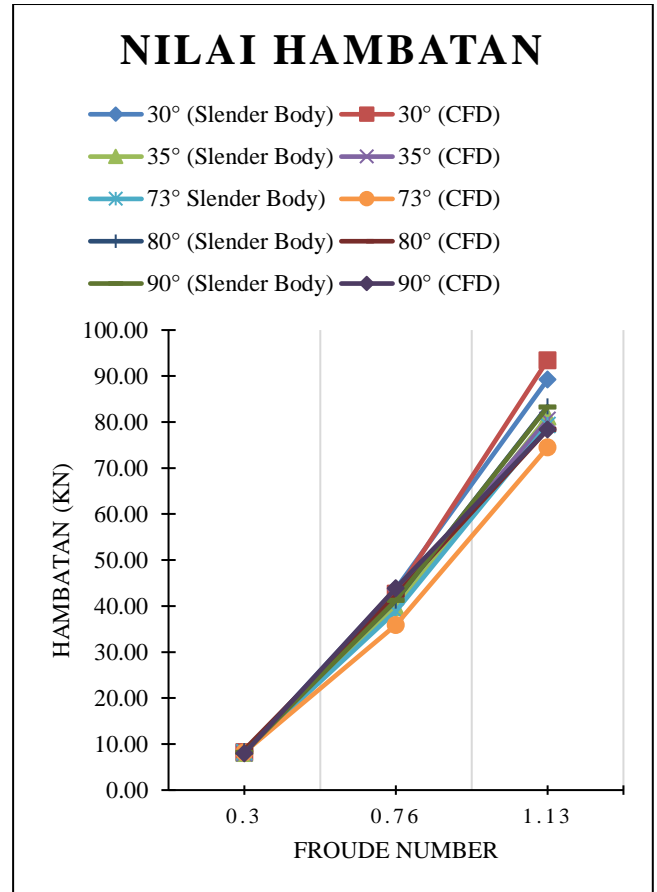
#### 3.1 Hasil Analisis Hambatan Total

Berikut ini merupakan hasil hambatan total pada perhitungan menggunakan maxsurf dan CFD. Hasil analisis slender body digunakan sebagai acuan validasi dan hasil CFD (Ansys) sebagai hasil pembandingan, hasil nilai hambatan ditunjukkan pada tabel.

Tabel 7. Nilai Hambatan

fn/sudut	30°	35°	73°	80°	90°	
0.3	Slender Body(kN)	8.16	8.09	8.25	8.46	8.18
	CFD (kN)	8.296	7.976	8.214	8.78	8.016
	Rasio (%)	1.62	-1.45	-0.47	3.82	-1.98
0.76	Slender Body(kN)	43.74	39.76	38.90	41.18	41.23
	CFD (kN)	42.73	41.96	35.86	42.34	43.93
	Rasio (%)	-2.31	5.54	-7.83	2.81	6.54
1.13	Slender Body(kN)	89.24	81.18	79.36	83.44	83.27
	CFD (kN)	93.44	80.472	74.5	78.372	78.4
	Rasio (%)	4.71	-0.87	-6.13	-6.08	-5.85

Hasil grafik nilai hambatan tiap sudut ditunjukkan pada gambar.



Gambar 9. Grafik hambatan pada kecepatan rendah

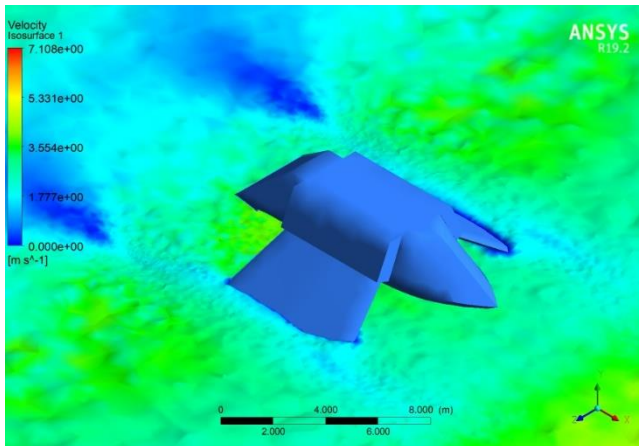
Pada *mode low speed* terdapat 2 variasi sudut dan yaitu pada sudut 30° dan 35°. Berdasarkan hasil simulasi, ditunjukkan bahwa sudut 30° memiliki nilai hambatan yaitu 8.296 kN pada Fn 0.3 tetapi memiliki hambatan paling besar pada Fn 1.13 sebesar 93.44 kN. Pada sudut 35° memiliki nilai hambatan paling kecil di Fn 0.3, lebih kecil 0.32 kN dari sudut 30°. Untuk Fn 0.76 dan 1.13 sudut 35° juga memiliki nilai hambatan lebih kecil dari sudut 30° dengan selisih 3.98 kN pada Fn 0.76 dan 8,06 kN pada Fn 1.13.

Pada *mode high speed* terdapat 3 variasi sudut dan kecepatan yaitu pada sudut 73°, 80° dan 90°. Berdasarkan hasil simulasi, ditunjukkan bahwa sudut 73° memiliki nilai hambatan paling kecil diantara 2 model variasi lainnya dengan nilai hambatan 35,85 kN. Hasil nilai hambatan mengalami kenaikan tiap kecepatannya dan linier dengan sudut elevasi lainnya. Selisih perbedaan nilai hambatan adalah 6,482 kN – 8,068 kN pada Fn 0.76 dan 3,872 kN-3,9 kN pada Fn 1.13. Pada *mode high speed* yang disimulasikan pada kecepatan rendah (Fn=0.3) memiliki nilai hambatan yang lebih besar dari *mode low speed* baik di ketiga variasinya.

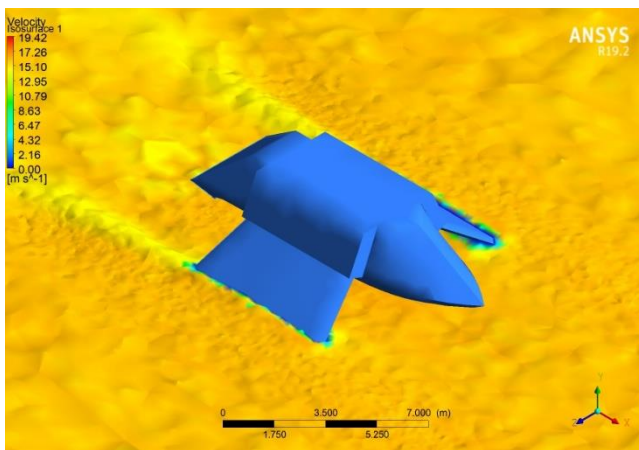
#### 3.2 Hasil Pola Aliran Kapal

Berikut hasil pola aliran kapal yang mewakili *velocity* pada fasa air dan udara menggunakan

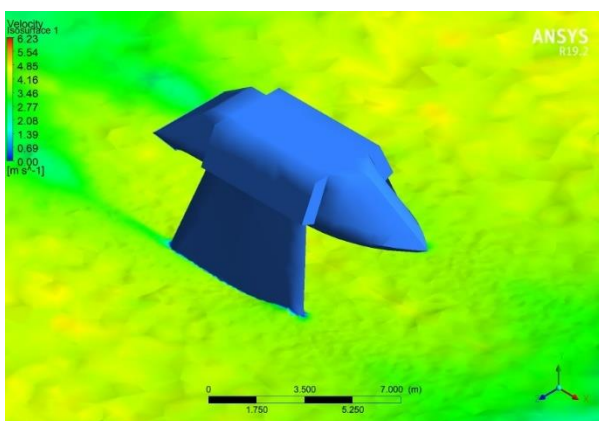
command plane pada ANSYS. Gambar menunjukkan *mode low speed* dan gambar menunjukkan *mode high speed*.



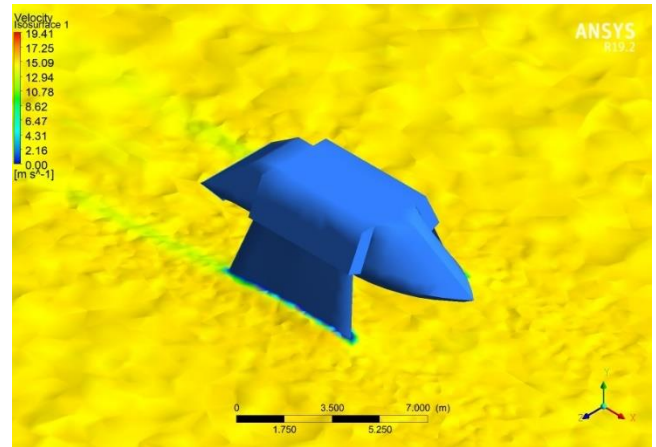
Gambar 11. Tampilan isometri pola aliran kapal sudut strut 35° Fn 0.3



Gambar 12. Tampilan isometri pola aliran kapal sudut strut 30° Fn 1.13



Gambar 13. Tampilan isometri pola aliran kapal sudut strut 73° Fn 0.3



Gambar 14. Tampilan isometri pola aliran kapal sudut strut 73° Fn 1.13

Pada kapal dengan sudut strut 35° memiliki hambatan lebih besar dibanding dengan  $Fn=1.13$ , dikarenakan gelombang sudah mencapai badan kapal dan menambah nilai hambatan kapal tersebut (gambar 12). Tetapi pada kapal dengan sudut strut 73° cenderung bergerak stabil baik di semua nilai *Froude Number*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kapal dengan *mode low speed* baik pada sudut 30° dan 35° memiliki nilai hambatan sedikit lebih kecil pada kecepatan rendah ( $Fn=0.3$ ) tetapi menghasilkan nilai hambatan yang sangat besar pada kecepatan tinggi ( $Fn=0.76$  &  $Fn=1.13$ ). Dan pada *mode high speed*, ketiga sudut variasi memiliki nilai hambatan yang lebih rendah pada kecepatan tinggi ( $Fn=0.76$  &  $Fn=1.13$ ) dan memiliki nilai hambatan sedikit lebih besar pada kecepatan rendah ( $Fn=0.3$ ). Ini juga membuktikan bahwa variasi kapal *mode low speed* (sudut 30° dan 35°) menghasilkan nilai hambatan lebih rendah. Nilai hambatan optimal pada mode ini adalah 35 dengan 7,976 kN ( $Fn=0.3$ ). Pada *mode high speed* pada kapal memiliki nilai hambatan optimal pada sudut 73° dengan nilai sebesar 38,9 kN pada  $Fn=0.76$  dan 79,36 kN pada  $Fn=1.13$

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bahatmaka, E. H. Sasmito, and I. P. Mulyatno, "Studi Perancangan Lambung Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH) Kapal Protector Dengan Sistem Unmanned Surface Vehicle (USV) Untuk Perairan Amabalat," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 2, no. 1, pp. 4–5, 2014.
- [2] T. Lamb and Society of Naval Architects and Marine Engineers (U.S.), *Ship design and construction*, 4th ed., vol. 1. New Jersey: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.
- [3] S. Kos, D. Brčić, and F. Vlado, "Comparative analysis of conventional and SWATH passenger

- catamaran,” Croatia: Univeristy of Rijeka. May 2009.
- [4] G. Guan, Z. Zhuang, Q. Yang, and S. Jin, “Design parameter sensitivity analysis for SWATH with minimum resistance at design and service speeds,” *Ocean Engineering*, vol. 240, pp. 2–3, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109961.
- [5] P. Qian, H. Yi, and Y. Li, “Numerical and experimental studies on hydrodynamic performance of a small-waterplane-area-twin-hull (SWATH) vehicle with inclined struts,” *Ocean Engineering*, vol. 96, pp. 181–191, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.12.039.
- [6] A. P. Sidabalok, D. Chrismianto, and M. Iqbal, “Analisa Perbandingan Ulstein X-Bow Dengan Bulbuos Bow Konvensional Terhadap Nilai Hambatan Total Dan Seakeeping Kapal Menggunakan Metode CFD,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 141–151, Jan. 2016.
- [7] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power.*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- [8] EN Course Coordinator, *EN400 Principles of Ship Performance Course Notes*, Spring. Maryland: United States of Naval Academy, 2020.
- [9] S. Anggara and I. K. A. P. Utama, “Analisa CFD Pengaruh Penambahan Appendage pada Lambung Katamaran terhadap Hambatan Viskos,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, pp. 1–2, 2012, doi: 10.12962/j23373539.v1i1.328.
- [10] A. Sukaroni, “Analisis Bentuk Gelombang Pada Model Kapal Selam Dengan Perubahan Kecepatan Dan Sarat Kapal,” Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [11] H. Sid’qon, “Shallow Draft Untuk Meningkatkan Performance Kapal Study For The Stern Hull In Shallow Draft Vessel To Increase Ship,” Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [12] I. Technologies, “<https://www.insvivia.com/swath>,” *Insvivia Technologies AS*, 2016. (accessed Aug. 20, 2021)
- [13] A. Łebkowski and W. Koznowski, “Analysis of the Use of Electric and Hybrid Drives on SWATH Ships,” *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 24, p. 6486, Dec. 2020, doi: 10.3390/en13246486.
- [14] L. Yun, A. Bliault, and H. Z. Rong, *High Performance Marine Vessels*, 1st ed., vol. 2. Boston: Springer New York, 2012. doi: 10.1007/978-1-4939-7891-5\_9.
- [15] Juliet, “Juliet Marine Systems.” [Online]. Available: <http://www.julietmarine.com/news.htm> (accessed Aug. 20, 2021)
- [16] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Element Method*, 2nd ed. Harlow: Pearson Education. Ltd, 2007.
- [17] M. A. Alamsyah, “Analisis Computational Fluid Dynamic Terhadap Hambatan Crew Boat Dengan Penambahan Integrated Wedges-Flap,” Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [18] E. Salzano, G. Spadoni, and V. Cozzani, *Detailed Studies of Domino Scenarios*. Amsterdam: Nazione editore, 2013.
- [19] K. Aria and P. Utama, “CFD Analysis of the Viscous Resistance of a Staggered Demihulls Catamaran,” Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [20] B. E. Launder and D. B. Spalding, “The numerical computation of turbulent flows,” *Comput Methods Appl Mech Eng*, vol. 3, no. 2, pp. 269–289, 1974, doi: [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(74\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2).
- [21] D. Savitsky, “Hydrodynamic Design of Planing Hulls,” *Marine Technology*, vol. 1, pp. 71–95, 1964.



- [22] M. Ricciardo, Planning Hull Hydrodynamics Study of the Effects Caused by Variation of the Thrust Line Due to Displacement Series 62 Model No. 4667-1. 2010.
- [23] A. Saputra, U. Budiarto, and R. Good, “Analisa Pengaruh Bilge Keel Tipe Bulb Terhadap Lambung V Dan U Pada Kapal Patroli Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD),” Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 7, no. 1, p. 25, 2019.

