

# ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN TERHADAP TEKANAN, KECEPATAN ALIRAN FLUIDA DAN NILAI HAMBATAN TOTAL PADA KAPAL KRISO 3600 TEU MENGGUNAKAN CFD

Cahyo Dwi Yantoro<sup>1</sup>, Untung Budiarto<sup>1</sup>, Good Rindo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : [c.yantoro@gmail.com](mailto:c.yantoro@gmail.com)

## Abstrak

Dalam operasinya di laut, kapal harus memiliki nilai ekonomis. Aliran fluida ketika kapal bergerak akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus. Mengacu pada aliran fluida yang terjadi, perhitungan nilai hambatan total kapal saat kapal beroperasi menjadi penting karena berpengaruh terhadap aliran fluida yang ditimbulkan serta besarnya kecepatan kapal. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan tekanan, kecepatan aliran fluida dan besarnya nilai hambatan kapal yang terjadi dengan menggunakan program *computational fluid dynamic* (CFD). Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa dan menghitung hambatan total kapal menggunakan model 3D serta dilakukan perhitungan kecepatan aliran fluida dan besarnya tekanan pada kondisi pembebanan kapal *design loading* dan *ballast loading*. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan didapatkan kontur kecepatan aliran fluida, tekanan dan hambatan total untuk kondisi pembebanan kapal *design loading* dan *ballast loading*. Pada kondisi pembebanan kapal *design loading*, nilai hambatan total sebesar 2598.85 KN. Sedangkan pada kondisi pembebanan kapal *ballast loading*, nilai hambatan total sebesar 1783.11 KN. Pada variasi *froude number* yang telah dilakukan, nilai kecepatan aliran fluida terbesar dan nilai tekanan terkecil pada sarat dibelakang *propeller-boss* dan +/- 0.8R terjadi pada *station* -0.169, baik pada kapal kondisi *design loading* maupun *ballast loading*.

Kata kunci : *Design loading*, *ballast loading*, *froude number*, hambatan total, lambung, CFD.

## Abstract

*In the operations at sea, a ship must have the economical value. When a ship operated in a specific time, the hull that moved will produce a fluid flow. Referring to the fluid flow that currently happening, the calculation of the total resistance value when a ship operated become important because its influential to the fluid flow and the magnitude of the ship's velocity. This research is purposed to get pressure, the fluid flow velocity and total ship resistance that happens using Computational Fluid Dynamic (CFD). This research is done by analyze and calculate the ship's resistance using 3D model and also analyzing the fluid flow velocity and the value of pressure in a design loading and ballast loading conditions. Based on the analysis result and calculations, can be obtained a contour of the fluid flow velocity, pressure and total ship resistance at design loading and ballast loading ship conditions. At design loading condition, the total resistance value is 2598.85 KN. Meanwhile, at ballast loading condition, the total resistance value is 1783.11 KN. When simulation with Froude Number variations was done, the biggest value of fluid flow and the smallest pressure at draft behind propeller-boss and +/- 0.8R happens at station - 0.169, either at design loading condition or at ballast loading condition.*

*Keywords : Design loading, ballast loading, froude number, total resistance, hull, CFD.*

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini desain perencanaan kapal berkembang sangat pesat. Hal yang cukup krusial dalam perancangan sebuah kapal adalah menentukan besarnya nilai hambatan. Besarnya hambatan kapal berpengaruh besar terhadap pencapaian efisiensi yang optimum baik dalam ekonomis maupun *performance*. Nilai ekonomis dan *performance* akan mempengaruhi biaya operasional kapal. Karena pada dasarnya, ketika kapal beroperasi pada kecepatan tertentu, lambung kapal yang bergerak akan menghasilkan aliran fluida. Aliran fluida ini akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus. Gesekan antara lambung kapal dan fluida inilah yang menghasilkan hambatan kapal. Sehingga perhitungan nilai hambatan total kapal saat kapal beroperasi menjadi penting karena berpengaruh terhadap kecepatan aliran fluida yang terjadi, serta besarnya kecepatan kapal.

Ketika kapal beroperasi, kapal akan membawa muatan penuh sesuai dengan perhitungan ketika perencanaan kapal. Namun dalam operasional kapal, kondisi pembebanan muatan kapal dapat bervariasi. Ada kalanya kapal beroperasi dengan tanpa muatan. Padahal ketika keadaan pembebanan kapal berubah, maka besarnya hambatan kapal, tekanan dan kontur kecepatan aliran fluida yang dihasilkan lambung kapal juga akan berubah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, analisa untuk mengetahui besarnya hambatan, kecepatan aliran fluida, serta besarnya tekanan yang terjadi dalam dua kondisi pembebanan penuh dan kosong (*design loading* dan *ballast loading*) menjadi hal yang penting. Penelitian ini menganalisa besarnya hambatan total kapal pada variasi pembebanan dan kecepatan yang berbeda. Serta menganalisa besarnya tekanan dan kontur kecepatan aliran fluidanya

menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Desain dan dimensi kapal menggunakan kapal KRISO Container Ship (KCS) 3600 TEU.
2. Penelitian mengacu pada hasil pengujian *towing tank* untuk KRISO Container Ship (KCS) 3600 TEU yang sudah dilakukan oleh MOERI (*Maritime and Ocean Engineering Research Instituted*).
3. Perhitungan hambatan total akibat dari fluida air dan fluida udara.
4. Pengolahan data menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.
5. Kontur aliran fluida yang dibahas adalah fluida air.
6. Hasil akhir dari penelitian ini adalah hambatan total kapal, tekanan dan data kontur kecepatan aliran fluida.
7. Tidak menghitung besarnya getaran yang terjadi.
8. Tidak menghitung kemungkinan kavitasi yang terjadi.

Adapun tujuan penyusunan penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan nilai koefisien hambatan total kapal yang menggunakan perhitungan metode CFD dengan hasil uji eksperimental pada *towing tank*.
2. Mendapatkan nilai hambatan total pada masing-masing kondisi pembebanan kapal.
3. Mendapatkan kontur kecepatan aliran fluida untuk 5 variasi kecepatan angka *froude number* (*Fr*) yang direncanakan.
4. Mendapatkan besarnya tekanan yang terjadi untuk 5 variasi kecepatan angka *froude number* (*Fr*) yang direncanakan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hukum Bernoulli dan Perubahan Kecepatan

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran zat cair atau gas, akan mengakibatkan penurunan tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut. Adapun berkaitan dengan hukum Bernoulli, suatu fluida dikatakan mempunyai peningkatan kecepatan, jika fluida tersebut mengalir dari suatu bagian dengan tekanan tinggi menuju bagian lainnya yang bertekanan rendah. Sedangkan suatu fluida dikatakan mempunyai penurunan kecepatan, jika fluida tersebut mengalir dari suatu bagian bertekanan rendah, menuju bagian lain bertekanan tinggi.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Pengumpulan Data

#### Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil uji *towing tank*.

Berikut data utama ukuran kapal:

- Length (m) : 230.0
- Breadth (m) : 32.2
- Depth (m) : 19.0
- Draft (m) : 10.8
- Wetted Surface Area (m<sup>2</sup>) : 9,498.0
- Block Coefficient (Cb) : 0.6505
- Speed (m/s) : 12.3467
- Froude Number (Fr) : 0.26

Data ukuran utama model kapal :

- Length (m) : 7.2786
- Breadth (m) : 1.0190
- Depth (m) : 0.6013
- Draft (m) : 0.3418
- Wetted Surface Area (m<sup>2</sup>) : 9.5121
- Block Coefficient (Cb) : 0.6505
- Speed (m/s) : 2.1964
- Froude Number (Fr) : 0.26

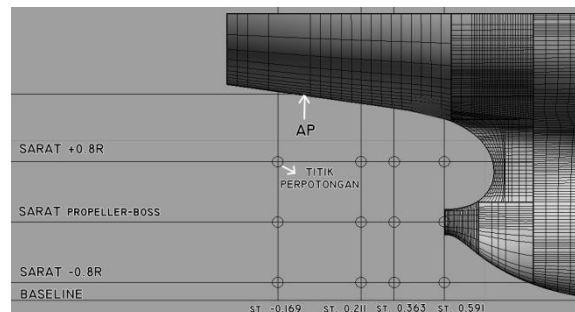
### 3.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi kondisi pembebanan kapal dan kecepatan kapal. Variasi kondisi pembebanan kapal dan variasi kecepatan kapal dilakukan agar proses simulasi pada penelitian ini mendekati pada keadaan sesungguhnya ketika kapal sedang beroperasi. Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Peubah

No	Parameter	Keterangan
1.	Kondisi pembebanan	<i>Design loading</i> dan <i>ballast loading</i>
2.	Kecepatan	Kecepatan dengan 5 variasi <i>froude number</i>

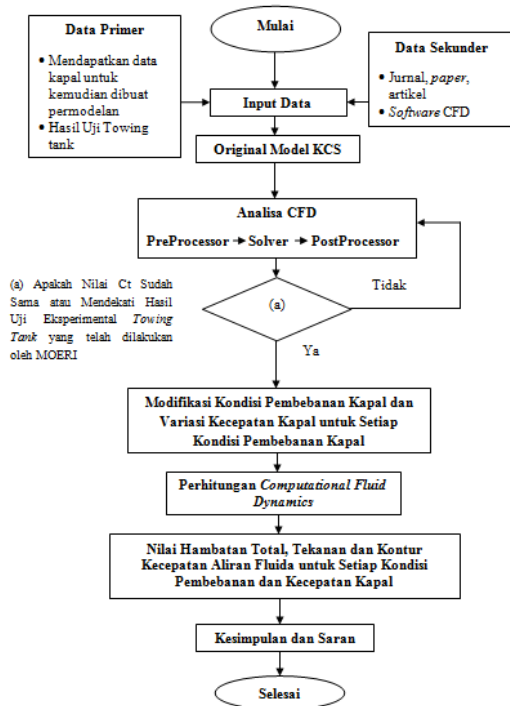
Untuk mengetahui besarnya tekanan dan kecepatan aliran fluida yang terjadi, maka ditentukan suatu titik untuk melihat tekanan dan kecepatan aliran yang terjadi. Penentuan titik tersebut dilakukan dengan menentukan perpotongan *station-station* disekitar *propeller-boss* dengan sarat kapal pada +/- 0,8R (R = jari-jari *propeller*).



Gambar 1. Perpotongan *station* dengan sarat kapal

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

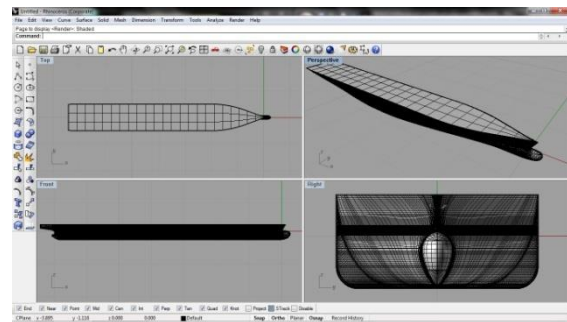
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan untuk analisa tekanan, kontur kecepatan aliran fluida serta hambatan kapal dengan berdasarkan variasi kondisi pembebanan muatan diperlukan sebagai pembandingan antara perhitungan metode CFD dengan hasil uji *towing tank* dimana langkah ini juga bertujuan sebagai salah satu cara untuk mengkalibrasi uji hasil *towing tank*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tekanan, hambatan total serta kontur kecepatan aliran fluida yang melewati lambung kapal berdasarkan parameter peubah yang telah ditentukan sebelumnya.

##### 4.1. Pengolahan Data

Dari data tersebut dibuat permodelan badan kapal dengan bantuan *software Rhinoceros 5.0*.



Gambar 3. Pemodelan Menggunakan *Rhinoceros 5.0*

Hasil pemodelan dari *Rhinoceros 5.0* diekspor dalam bentuk file *.stp* terlebih dahulu agar dapat dibuka di *software* CFD. Analisis CFD yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan, nilai tekanan, visualisasi aliran, dan nilai hambatan kapal pada kecepatan dan kondisi pembebanan tertentu.

##### 4.2. Variasi Kondisi Pembebanan Kapal

Parameter yang digunakan dalam variasi kondisi pembebanan kapal adalah kondisi pembebanan penuh (*design loading*) dan tanpa pembebanan (*ballast loading*). Pada *design loading*, kapal diasumsikan sedang mengangkut muatan penuh. Pada kondisi ini, kapal dalam keadaan *even keel*, dengan *draft* kapal berada pada batas maksimal. Sedangkan pada *ballast loading*, kapal diasumsikan sedang tanpa muatan. Pada kondisi ini, kapal dalam keadaan *trimmed by stern*. Berikut ini adalah kondisi *draft* kapal pada masing-masing kondisi pembebanan:

Tabel 2. Kondisi Pembebanan Kapal

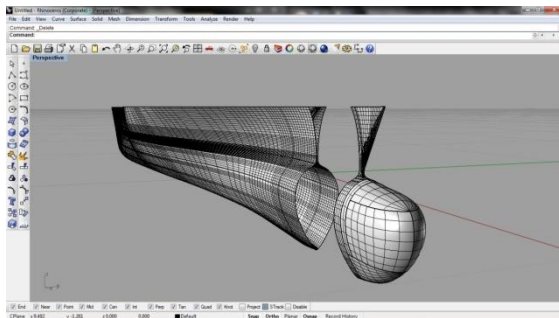
Kondisi pembebanan	Draft pada AP(m)	Draft pada FP(m)	Kondisi Kapal
<i>Design Loading</i>	0,3418	0,3418	<i>Even keel</i>
<i>Ballast Loading</i>	0,2815	0,1435	<i>Trim by stern</i>

Kemudian dari 2 kondisi pembebanan diatas akan diuji menggunakan 5 macam kecepatan berbeda dengan cara merubah *froude number*-nya, diantaranya adalah:

- Fr1 : 0,26  
Dimana Fr1 merupakan *froude number* asli.
- Fr2 : 0,11
- Fr3 : 0,16
- Fr4 : 0,21
- Fr5 : 0,31

#### 4.3. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model lambung kapal. Pemodelan dengan menggunakan program *Rhinoceros 5.0*, kemudian file tersebut diexport dalam bentuk *file .stp*. Model yang digunakan haruslah *solid*. Sebelum model menjadi *solid*, terlebih dahulu dibuat *surface* dari ratusan *curve* yang telah dibuat sebelumnya. Dari beberapa *surface* yang terbentuk barulah seluruhnya di-*joint* menjadi satu agar menjadi *solid*.



Gambar 4. Proses pembuatan model pada Software *Rhinoceros 5.0*

Setelah model selesai dibuat, pengerjaan dilanjutkan menggunakan simulasi numerik. *Software* simulasi numerik yang digunakan adalah *ANSYS 12.1* yang berbasis *Computational Fluid Dynamic*. Pengujian ini menggunakan perhitungan *solver Fluid Flow Analysis (CFX)*. Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- Geometry*
- Mesh*
- Setup*
- Solution*
- Result*

Tahap *geometry* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pembuatan kolam *towing tank* dilakukan dengan menyesuaikan ukuran kapal. Panjang kolam *towing tank* 4 Lpp, di depan haluan 1 Lpp dan dibelakang buritan 2 lpp. Tinggi kolam *towing tank* 1 Lpp untuk fluida air dan 0,1 Lpp untuk fluida udara.

Penelitian ini pada tahap meshing menggunakan metode *CFX-mesh*, dengan statistik jumlah elemen *mesh* pada tiap-tiap model sebagai berikut.

Tabel 3. Statistik *mesh* model 1 (*design*):

No	Nama	Jumlah
1	Nodes	707818
2	Tetrahedra	1489595
3	Pyramids	6232
4	Prisms	847553
Total elemen		2343380

Tabel 4. Statistik *mesh* model 2 (*ballast*):

No	Nama	Jumlah
1	Nodes	727848
2	Tetrahedra	1489762
3	Pyramids	8236
4	Prisms	885092
Total elemen		2383090

Tahap *setup* adalah tahapan yang dilakukan setelah *mesh* berhasil dilakukan. *Setup* merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Tingkat error yang dipilih pada saat simulasi yaitu 0,0004. Angka tersebut dipilih karena semakin kecil tingkat error, semakin bagus pula kualitas hasil simulasi yang didapat.

Setelah *setup* selesai di program, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini simulasi dilakukan dengan proses perhitungan (*running*) yang berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.



Gambar 5. Grafik perhitungan *running*

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap *results*. Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai tekanan (*pressure*), hambatan kapal (*force*), dan visualisasi kecepatan aliran fluida pada *free surface* maupun *station* di belakang lambung kapal.

#### 4.4. Validasi Hasil Simulasi CFD dengan Hasil Eksperimental Towing Tank

Pada penelitian ini validasi hasil dari simulasi CFD menggunakan hasil uji eksperimental *towing tank* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa hasil variasi kecepatan dan pembebanan kapal menggunakan *software* CFX. Adapun *maximal error* untuk validasi antara CFX dengan hasil uji laboratorium *towing tank* adalah 5%.

Tabel 5. Data hasil CFD dan *Towing Tank*

	<i>Towing Tank</i>	CFD	Selisih
$C_t (x10^{-3})$	3.557	3.506	0.051 (1.43 %)
$C_f (x10^{-3})$	2.832	2.797	0.035 (1.23 %)

Hasil  $C_t$  atau koefisien hambatan total yang didapatkan pada CFX untuk model pertama atau model dengan kondisi *design loading* adalah  $3,506 \times 10^{-3}$ , hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dari hasil uji laboratorium hirodinamika yaitu  $3.557 \times 10^{-3}$ , jadi selisihnya  $5.09 \times 10^{-5}$  atau 1,43 %. Sedangkan untuk hasil  $C_f$  yang

didapatkan pada CFD untuk model pertama atau model dengan kondisi *design loading* adalah  $2.797 \times 10^{-3}$ , hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dari hasil uji laboratorium hirodinamika yaitu  $2.832 \times 10^{-3}$ , jadi selisihnya  $3.485 \times 10^{-5}$  atau 1,23 %.

#### 4.5. Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* diambil dari tahap *results*. Data diambil dari menu *expressions* pada tahap *results*. Data yang diperlukan untuk menentukan hambatan kapal total adalah  $C_t$  atau koefisien hambatan total kapal model yang didapat dari CFD. Kemudian dari data koefisien tersebut kita olah sehingga kita mendapat nilai hambatan total kapal sebenarnya.

Tabel 6. Nilai  $C_t$ ,  $C_f$ ,  $C_r$

No	Nama Model	Nilai Fr	$C_t (x10^{-3})$	$C_f (x10^{-3})$	$C_r (x10^{-3})$
1	Model 1	0.11	3.669	3.343	0.325
		0.16	3.631	3.095	0.535
		0.21	3.102	2.902	0.200
		0.26	3.506	2.797	0.708
		0.31	4.516	2.714	1.801
2	Model 2	0.11	3.098	2.690	0.408
		0.16	3.243	2.518	0.724
		0.21	3.083	2.332	0.750
		0.26	3.007	2.248	0.759
		0.31	3.384	2.171	1.212

Rumus umum dari hambatan total kapal adalah :

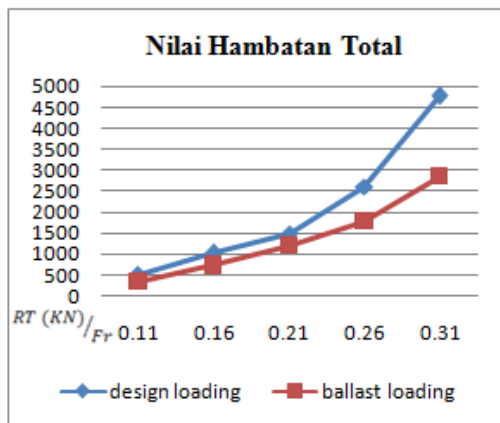
$$RT = \frac{1}{2} \rho \cdot C_t \cdot S \cdot V^2$$

Dimana,

- $\rho$  : massa jenis air laut
- $C_t$  : koefisien hambatan total
- $S$  : *wetted surface area*
- $V$  : kecepatan

Dengan menggunakan rumus maka nilai hambatan total kapal skala 1:1 dapat dilihat pada grafik berikut.

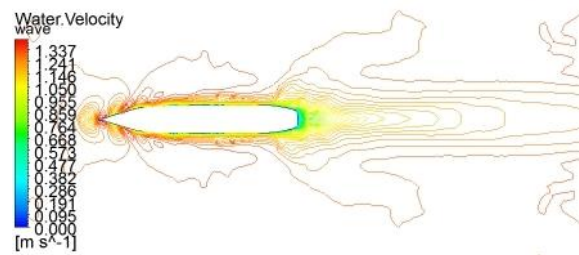




Grafik 1. Nilai Hambatan Total

#### 4.6. Perhitungan Hambatan Total dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi Design Loading pada Fr 0,16

Pada perhitungan hambatan total pada froude number 0,16 didapatkan nilai Ct yaitu  $3,631 \times 10^{-3}$  atau sebesar 1020,90 KN. Visualisasi pola gelombang pada free surface dengan parameter water velocity dengan asumsi kecepatan air yang terjadi yaitu pada warna merah dengan nilai maksimum dengan nilai terbesar 1,337 m/s.

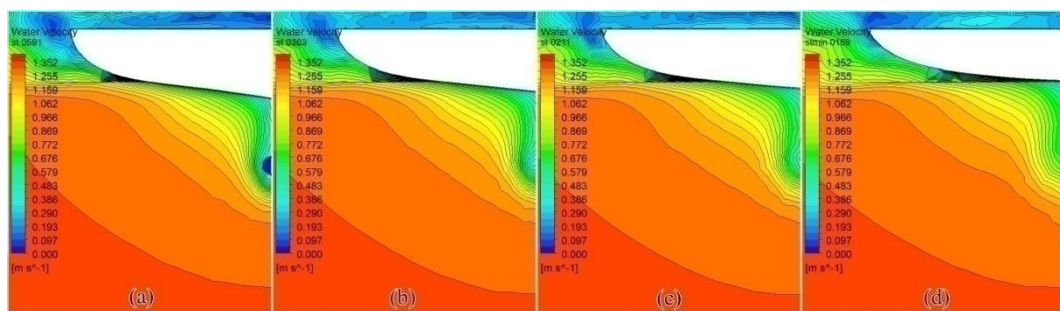


Gambar 6. Pola gelombang untuk kapal kondisi design loading pada Fr 0,16

Untuk melihat kontur kecepatan fluida, maka dapat dilihat pada station-station di belakang propeller-boss. Untuk besarnya kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi, maka dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Water velocity dan pressure pada kapal kondisi design loading Fr 0,16

Tinggi Sarat (m)	Station	Water Velocity (m/s)	Pressure (Pa)
0.2296	st 0.591	0.454	1307.92
	st 0.363	0.544	1308.16
	st 0.211	0.600	1305.80
	st -0.169	0.691	1301.59
0.1296 (dibelakang propeller-boss)	st 0.591	0.000	2264.33
	st 0.363	0.388	2269.19
	st 0.211	0.517	2258.86
	st -0.169	0.772	2255.10
0.0296	st 0.591	1.134	3235.07
	st 0.363	1.172	3220.41
	st 0.211	1.174	3212.84
	st -0.169	1.182	3201.03

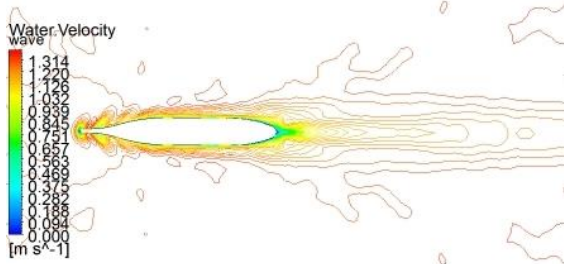


Gambar 7. Water velocity kapal kondisi design loading pada Fr 0,16. (a)St. 0,591; (b)St.0,363; (c)St. 0,211; (d) St. -0,169

#### 4.7. Perhitungan Hambatan Total dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi Ballast Loading pada Fr 0,16

Pada perhitungan hambatan total pada froude number 0,16 didapatkan nilai Ct yaitu  $3,243 \times 10^{-3}$  atau sebesar 728,09 KN. Visualisasi pola gelombang pada free

surface dengan parameter water velocity dengan asumsi kecepatan air yang terjadi yaitu pada warna merah dengan nilai maksimum dengan nilai terbesar 1,314 m/s.

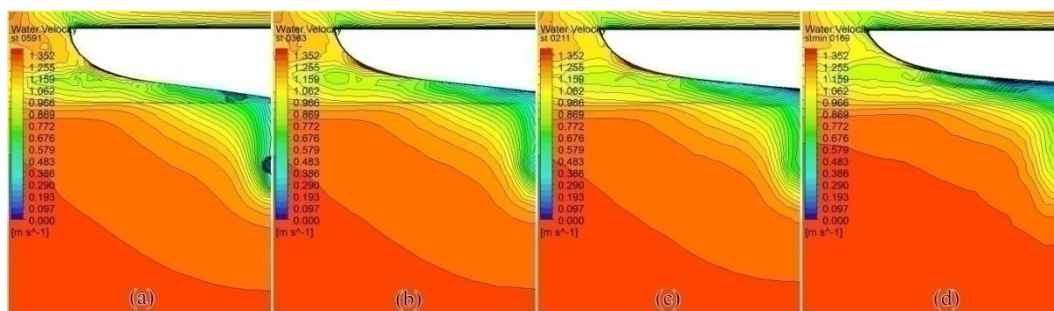


Gambar 8. Pola gelombang untuk kapal kondisi *ballast loading* pada  $Fr$  0,16

Untuk melihat kontur kecepatan fluida, maka dapat dilihat pada *station-station* di belakang *propeller-boss*. Untuk besarnya kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi, maka dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 8. *Water velocity* dan *pressure* pada kapal kondisi *ballast loading*  $Fr$  0,16

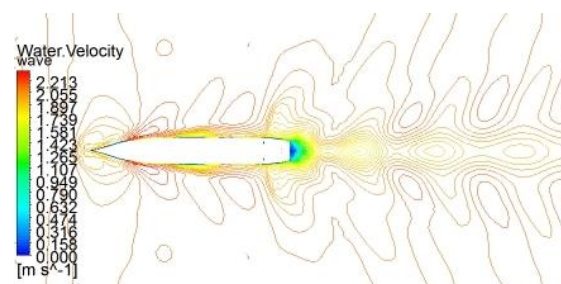
Tinggi Sarat (m)	Station	Water Velocity (m/s)	Pressure (Pa)
0.2241	st 0.591	0.451	821.89
	st 0.363	0.535	805.12
	st 0.211	0.625	774.63
	st -0.169	0.798	683.73
0.1241 (dibelakang <i>propeller-boss</i> )	st 0.591	0.000	1750.03
	st 0.363	0.454	1743.17
	st 0.211	0.659	1719.56
	st -0.169	0.862	1659.21
0.0241	st 0.591	1.114	2719.05
	st 0.363	1.137	2685.65
	st 0.211	1.127	2668.30
	st -0.169	1.172	2626.19



Gambar 9. *Water velocity* kapal kondisi *ballast loading* pada  $Fr$  0,16. (a)St. 0,591; (b)St.0,363; (c)St. 0,211; (d) St. -0,169

#### 4.8 Perhitungan Hambatan Total dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi *Design Loading* pada $Fr$ 0,26

Pada perhitungan hambatan total pada *froude number* 0,26 didapatkan nilai  $C_t$  yaitu  $3,506 \times 10^{-3}$  atau sebesar 2598,85 KN. Visualisasi pola gelombang pada *free surface* dengan parameter *water velocity* dengan asumsi kecepatan air yang terjadi yaitu pada warna merah dengan nilai maksimum dengan nilai terbesar 2,213 m/s.



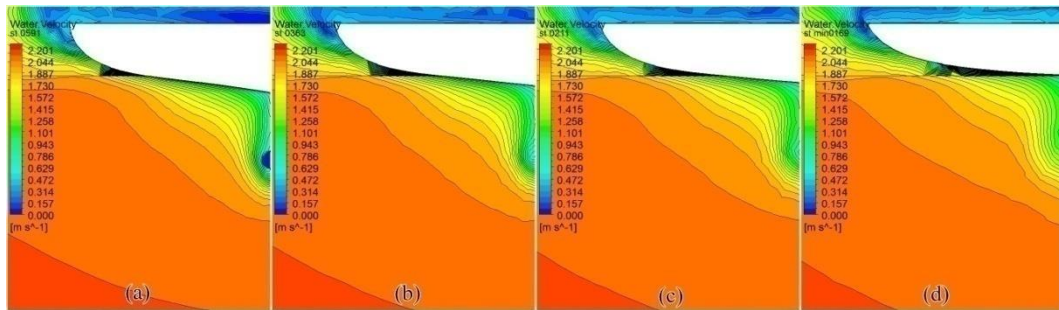
Gambar 10. Pola gelombang untuk kapal kondisi *design loading* pada  $Fr$  0,26

Untuk melihat kontur kecepatan fluida, maka dapat dilihat pada *station-station* di belakang *propeller-boss*. Untuk besarnya kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi, maka dapat dilihat pada Tabel 9.



Tabel 9. *Water velocity* dan *pressure* pada kapal kondisi *design loading*  $Fr$  0,26

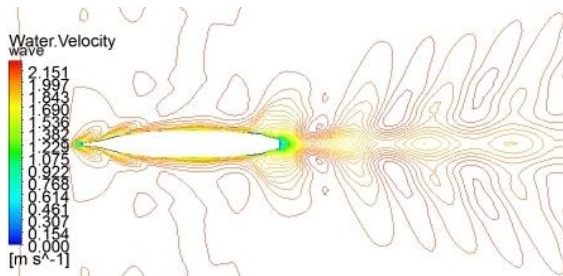
Tinggi Sarat (m)	Station	Water Velocity (m/s)	Pressure (Pa)
0.2296	st 0.591	0.799	1578.37
	st 0.363	0.945	1570.28
	st 0.211	1.036	1557.51
	st -0.169	1.180	1535.82
0.1296 (dibelakang <i>propeller-boss</i> )	st 0.591	0.000	2502.19
	st 0.363	0.733	2515.61
	st 0.211	0.966	2483.60
	st -0.169	1.372	2488.23
0.0296	st 0.591	1.882	3471.53
	st 0.363	1.936	3433.83
	st 0.211	1.941	3417.40
	st -0.169	1.951	3403.43



Gambar 11. *Water velocity* kapal kondisi *design loading* pada  $Fr$  0,26. (a)St. 0,591; (b)St.0,363; (c)St. 0,211; (d) St. -0,169

#### 4.9. Perhitungan Hambatan Total dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi *Ballast Loading* pada $Fr$ 0,26

Pada perhitungan hambatan total pada *froude number* 0,26 didapatkan nilai  $C_t$  yaitu  $3,007 \times 10^{-3}$  atau sebesar 1783,11 KN. Visualisasi pola gelombang pada *free surface* dengan parameter *water velocity* dengan asumsi kecepatan air yang terjadi yaitu pada warna merah dengan nilai maksimum dengan nilai terbesar 2,151 m/s.

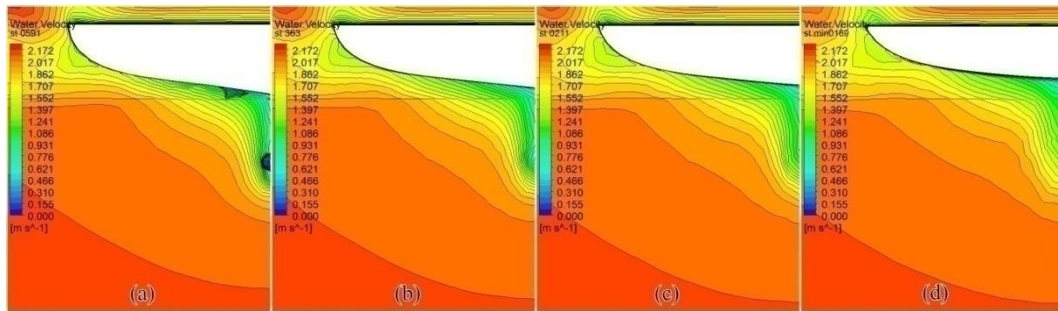


Gambar 12. Pola gelombang untuk kapal kondisi *ballast loading* pada  $Fr$  0,26

Untuk melihat kontur kecepatan fluida, maka dapat dilihat pada *station-station* di belakang *propeller-boss*. Untuk besarnya kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi, maka dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. *Water velocity* dan *pressure* pada kapal kondisi *ballast loading*  $Fr$  0,26

Tinggi Sarat (m)	Station	Water Velocity (m/s)	Pressure (Pa)
0.2241	st 0.591	0.847	1128.84
	st 0.363	0.932	1126.84
	st 0.211	1.009	1120.99
	st -0.169	1.161	1128.56
0.1241 (dibelakang <i>propeller-boss</i> )	st 0.591	0.000	2034.62
	st 0.363	0.812	2057.46
	st 0.211	1.152	2040.62
	st -0.169	1.421	2014.77
0.0241	st 0.591	1.857	2995.69
	st 0.363	1.890	2951.15
	st 0.211	1.870	2937.17
	st -0.169	1.900	2911.64



Gambar 13. *Water velocity* kapal kondisi *ballast loading* pada  $Fr$  0,26. (a)St. 0,591; (b)St.0,363; (c)St. 0,211; (d) St. -0,169

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Didapatkan koefisien hambatan total yang mendekati antara model perhitungan CFD dengan hasil eksperimental *towing tank*. Nilai  $C_t$  perhitungan CFD adalah  $3.506 \times 10^{-3}$ . Sedangkan nilai  $C_t$  pada hasil eksperimental *towing tank* adalah  $3.557 \times 10^{-3}$ . Hasil perhitungan CFD masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dengan selisih  $5.1 \times 10^{-5}$  atau 1.43%.
2. Nilai hambatan total pada kondisi *design loading* pada perhitungan CFD adalah 2598,85 KN. Sedangkan nilai hambatan total pada kondisi *ballast loading* adalah sebesar 1783,11 KN.
3. Kontur kecepatan aliran fluida pada tiap-tiap variasi kecepatan memiliki kontur yang variatif. Kecepatan aliran fluida pada sarat sejajar *propeller boss*, +0,8R dan -0,8R pada tiap-tiap *station* perpotongan pada kondisi *design loading* selalu mengalami peningkatan. Sedangkan pada kondisi *ballast loading*, kecepatan aliran fluida pada sarat sejajar *propeller-boss* dan +0,8R juga mengalami peningkatan, tetapi mengalami fluktuasi kecepatan pada sarat -0,8R.
4. Besarnya tekanan yang terjadi pada tiap-tiap variasi kecepatan memiliki nilai yang variatif. Besarnya tekanan pada sarat -0,8R pada tiap-

tiap *station* perpotongan pada kondisi *design loading* dan *ballast loading* selalu mengalami penurunan. Sedangkan pada kondisi *design loading* dan *ballast loading* pada sarat sejajar *propeller boss* dan +0,8R, besarnya tekanan yang terjadi mengalami fluktuasi. Dengan adanya perbedaan tekanan pada radius  $\pm 0,8R$ , maka hal ini dapat mengakibatkan terjadinya getaran pada kapal.

### 5.2. Saran

1. Pembuatan *meshing* yang lebih *smooth* lagi. Semakin halus *meshing* otomatis semakin banyak jumlah elemen *meshing* yang dibuat sehingga hasil simulasi yang dihasilkan lebih akurat.
2. Melakukan analisa lanjutan mengenai terjadinya getaran dan kavitasi pada kapal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Banks, Joe., Phillips, A.B., Turnock, S.R. *Free-surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS*. Southampton University.
- [2] Chrismianto, D., & Hidayat N.M. 2013. *Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Untuk Menentukan Minimal Hambatan Total Dengan Menggunakan Program Komputer Berbasis CFD (Studi Kasus Kriso Kontainer Ship)*. Skripsi Jurusan Teknik Perkapalan. FT. UNDIP. Semarang.
- [3] Ir.Syerly Klara, MT. 2011. *Mekanika Fluida* Universitas Hasanuddin. Makassar.

- [4] ITTC. 1957. International Towing Tank Conference. Recommended Procedures. Performance, Propulsion. *ITTC Performance Prediction Method. 7.5-0.2-03-01.4*
- [5] J. Y. Lee, B. G. Paik, S. J. Lee. 2009. *PIV measurements of Hull Wake Behind a Container Ship Model with Varying Loading Condition*. Daejeon. Marine Transportation Research Department, Maritime and Ocean Engineering Research Institute.
- [6] Lewis, E. V. (Editor), 1988. *Principles of Naval Architecture Second Revision*. Volume II. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 601 Pavonia Avenue, Jersey City, NJ
- [7] Maulana, A., 2011, *Optimasi Hambatan Kapal Skala Penuh Berdasarkan Analisa Uji Tarik Kapal Model*, Skripsi Jurusan Teknik Perkapalan. FT. UI. Depok.
- [8] W. J. Kim, S.H. Van, D. H. Kim. 2001, *Measurement of Flows around Modern Commercial Ship Models*. Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering.
- [9] Y. M. Ahmed. 2011. *Numerical Simulation for the Free Surface Flow Around a Complex Ship Hull Form at Different Froude Numbers*. Naval Architecture and Marine Engineering Department, Alexandria University, Alexandria, Egypt.