

ESTIMASI HAMBATAN TOTAL KAPAL TANKER KVLCC2M DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Yan Nohan Baharudin¹, Untung Budiarto¹, Muhammad Iqbal¹
Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia
Email: yannohan@gmail.com

Abstrak

Dalam operasinya di laut, kapal harus memiliki nilai ekonomis. Ketika kapal beroperasi pada kecepatan tertentu, lambung kapal yang bergerak akan menghasilkan aliran fluida. Aliran fluida ini 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. Hal ini pada akhirnya berpengaruh pada nilai ekonomis kapal pada saat beroperasi. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida setelah melewati lambung kapal dan besarnya nilai hambatan kapal yang terjadi dengan menggunakan program computational fluid dynamic (CFD).

Dalam melaksanakan penelitian ini penulis menggunakan program komputer berbasis computational fluid dynamic (CFD) untuk penyelesaian masalah dari tujuan penelitian, Computational fluid dynamic (CFD) merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisa dan menghitung hambatan total kapal menggunakan model 3D serta dilakukan analisa kecepatan aliran fluida pada kondisi pembebanan kapal design loading dan ballast loading.

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan hambatan total untuk kondisi pembebanan kapal design loading dan ballast loading. Pada kondisi pembebanan kapal design loading, diketahui hambatan total pada kondisi kecepatan f_n 0.27 yaitu sebesar 473,75 KN. Sedangkan pada kondisi pembebanan kapal ballast loading, hambatan total terkecil terjadi pada kondisi kecepatan f_n 0.27 yaitu sebesar 210,47 KN.

Kata kunci :

design loading, ballast loading, Fluida, hambatan total, CFD.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Saat 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.

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.

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 dan kontur kecepatan aliran fluida yang dihasilkan lambung kapal juga akan berubah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, analisa untuk mengetahui besarnya hambatan dan kontur kecepatan aliran fluida setelah melewati lambung kapal dalam dua kondisi pembebanan penuh dan kosong (*design loading* dan *ballast loading*) menjadi hal yang penting. Penelitian ini menganalisa kontur kecepatan aliran fluida pada variasi kondisi pembebanan kapal ditinjau dari besarnya nilai hambatan total kapal yang paling kecil menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

1.2 Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Mencari dan membandingkan nilai coef. hambatan total kapal metode CFD dengan hasil uji eksperimental *towing tank*.
2. Bagaimana nilai hambatan total terhadap variasi kecepatan pada masing-masing kondisi pembebanan kapal.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Desain dan dimensi kapal menggunakan kapal KRISO *tanker* KVLCC2M.
2. Penelitian mengacu pada hasil pengujian *towing tank* untuk KRISO *tanker* KVLCC2M 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. Analisa dan pengolahan data menggunakan software *Rhinoceros 5.0*, dan software berbasis CFD.
7. Hasil akhir dari penelitian ini adalah data hambatan total kapal dan mensimulasikan hasil analisis dengan software.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penyusunan tugas akhir ini yaitu:

1. Mendapatkan nilai koefisien hambatan total kapal yang menggunakan perhitungan metode CFD dengan membandingkan hasil uji eksperimental pada *towing tank*.
2. Mendapatkan nilai hambatan total terhadap variasi kecepatan pada masing-masing kondisi pembebanan kapal.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kondisi Pembebanan Muatan pada Kapal

Ukuran dan bentuk lambung kapal memegang peranan penting dalam menentukan performa hidrodinamika kapal, khususnya berhubungan dengan besarnya hambatan total dan kontur aliran fluida yang dihasilkan. Namun, kondisi pembebanan muatan pada kapal juga cukup berpengaruh terhadap nilai hambatan kapal dan kontur aliran fluida yang dihasilkan. Dengan berat pembebanan yang kecil, luasan lambung kapal yang terendam dalam air juga semakin kecil. Maka kemungkinan nilai hambatan kapal juga semakin kecil karena ruang gesek permukaan lambung dengan fluida yang kecil pula.



Gambar 1. Lambung kapal KRISO yang tercelup air pada kondisi *design loading*

3. Metodologi Penelitian

a) Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil uji *towing tank*.

Berikut data utama ukuran kapal :

- Length (m) : 320.00
- Breadth (m) : 58.00
- Depth (m) : 26.00
- Draft (m) : 20.80
- Wetted Surface Area (m²) : 2731
- Block Coefficient (Cb) : 0.809
- Speed (m/s) : 7.973
- Froude Number (Fn) : 0,27

Data ukuran utama model kapal :

- Length (m) : 4.970
- Breadth (m) : 0.900
- Depth (m) : 0.403
- Draft (m) : 0.323
- Wetted Surface Area (m²) : 6.589
- Block Coefficient (Cb) : 0.809
- Speed (m/s) : 0.994
- Froude Number (Fn) : 0,27
- Scala model kapal : 1: 64

b) Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literatur (jurnal, paten, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

3.1. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi kondisi pembebanan kapal dan kecepatan kapal. Penelitian ini disimulasikan agar dengan perubahan parameter tersebut akan didapatkan nilai hambatan total paling kecil dan paling besar.

Variasi kondisi pembebanan kapal dan variasi kecepatan kapal dilakukan agar proses simulasi pada penelitian ini mendekati pada keadaan sesungguhnya ketika kapal sedang beroperasi. Maka dari itu diperlukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk melakukan pengujian.

Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut:

➤ Parameter tetap :

- Dimensi properties dari lambung kapal antara lain,
 1. Length (LPP) (m)
 2. Breadth (B) (m)
 3. Draft (T) (m)
 4. Displacement (ton)

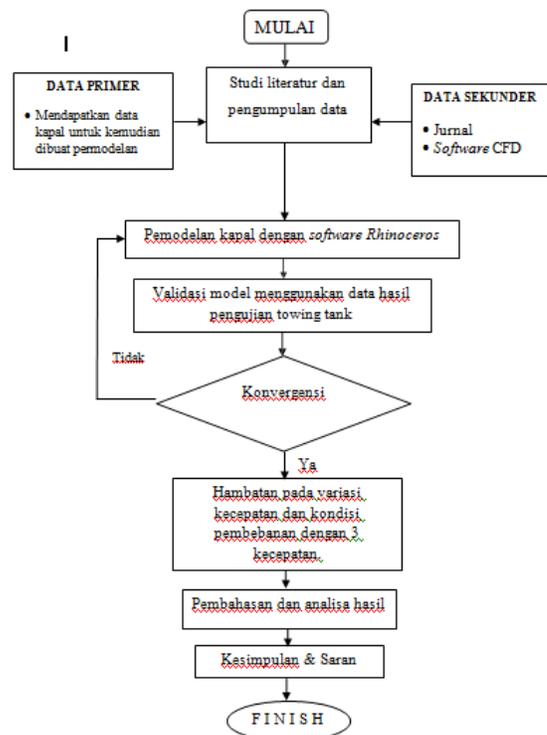
➤ Parameter peubah

Tabel 1. Parameter Peubah

No	parameter	keterangan
1	Kondisi pembebanan	<i>Design loading dan ballast loading</i>
2	Kecepatan	Kecepatan dengan 3 variasi <i>froude number</i>

3.2. Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

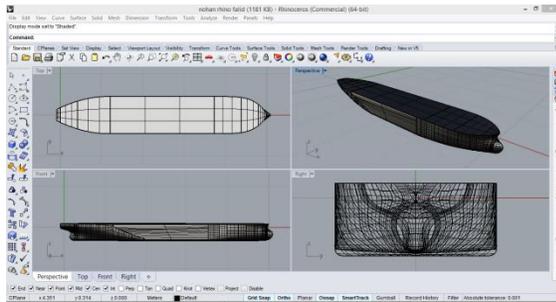
4. Perhitungan dan Analisa

Permodelan untuk analisa kontur aliran fluida serta hambatan kapal dengan berdasarkan variasi kondisi pembebanan muatan diperlukan sebagai pembanding 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 hambatan total yang minimal dipandang dari besar kecilnya kecepatan aliran fluida yang melewati lambung kapal berdasarkan parameter peubah yang telah ditentukan sebelumnya.

4.1. Pengolahan Data

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



Gambar 3. Pemodelan Menggunakan *Rhinoceros 5.0*

Hasil pemodelan dari *Rhinoceros 5.0* diexport dalam bentuk file *.stp* terlebih dahulu agar dapat dibuka di software CFD yaitu *Ansys 12.1*. Analisis CFD yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan, 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

No	Load	Draft pada AP (m)	Draft pada FP (m)	Kondisi Kapal
1	Muatan penuh	0,323	0,323	<i>Even keel</i>
2	Muatan kosong	0,422	0,311	<i>Trim by stern</i>

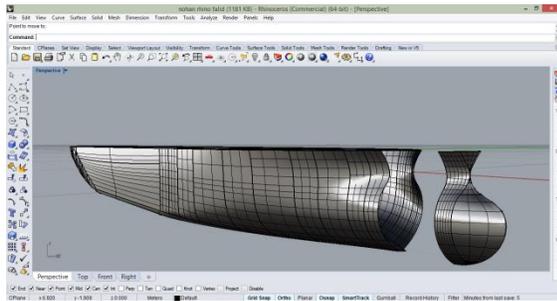
Kemudian dari 2 kondisi pembebanan diatas akan diuji menggunakan 3 macam kecepatan berbeda dengan cara merubah *froude number*nya, diantaranya adalah:

- V_0 : 0,27
Dimana V_0 merupakan *froude number* asli.
- V_1 : 0,29
- V_2 : 0,25

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*. Berikut adalah gambaran proses pembuatan model yang didalamnya terdapat ratusan kurva yang digabungkan menjadi *surface* dan *surface* tersebut digabungkan kembali untuk menjadi model yang *solid*.



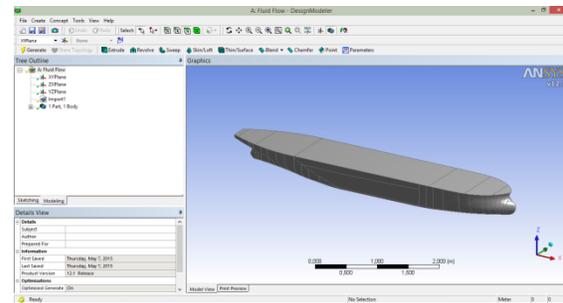
Gambar 4. Proses pembuatan model pada Software *Rhinoceros 5.0*

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 Analys (CFX)*. Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- a. *Geometry*
- b. *Mesh*
- c. *Setup*
- d. *Solution*
- e. *Result*

4.4. Tahap *Geometry*

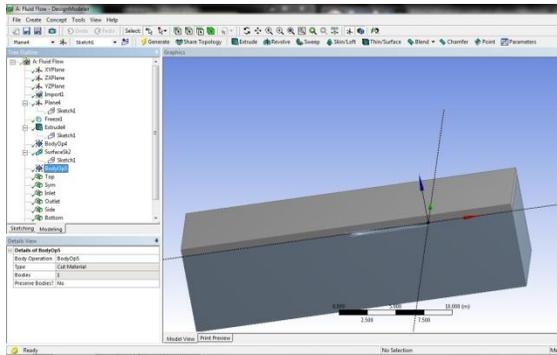
Tahap *geometry* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Pembuatan model dapat dilakukan langsung di tahap ini, jika model terlalu rumit bisa dibuat di program lain seperti *Rhinoceros* kemudian baru diimport di tahap ini. Tahap *geometry* juga merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model.



Gambar 5. Model solid

Apabila model bisa digunakan maka akan muncul keterangan *ready*. Langkah selanjutnya pembuatan kolam tempat pengujian. Pada tahap ini langkah yang digunakan pertama adalah pemilihan XY plan sebagai koordinat. Kemudian *rectangle* dengan ukuran 1 LPP - 2 LPP untuk ukuran panjang kolam. Langkah kedua membekukan kapal pada kolam menggunakan menu *freeze*. Lalu *extrude* digunakan untuk menanamkan kapal, menu ini juga digunakan untuk menentukan tinggi fluida. Dalam hal ini ketinggian air disesuaikan dengan tinggi sarat kapal.

Kemudian pembuatan *free surface*, *free surface* adalah *surface* yang diibaratkan sebagai garis air, yang memisahkan antara hambatan air dan hambatan udara. Untuk membuatnya menggunakan menu *concept > surface from sketch > klik sketch pada XY plan > base object > generate*. Kemudian akan terbentuk 2 *bodies*, *bodies* tersebut harus dijadikan 1 *part* agar bisa lanjut ke tahap selanjutnya. Untuk catatan pada tahap ini, bahwa selalu klik *generate* ketika kita melakukan sesuatu.



Gambar 6. *Free Surface* kolam pengujian pada tahap *Geometry*

4.5. Tahap Mesh

Tahap selanjutnya adalah pada mesh. Selanjutnya dalam tahap ini terbagi menjadi beberapa langkah, yaitu :

- a. *Virtual Topology*
- b. *Regions*
- c. *Mesh*

Virtual Topology adalah dimana kapal akan terbagi menjadi beberapa bagian, semua bagian tersebut terdiri dari 2 macam yaitu *face* dan *edge*. Langkahnya adalah klik kanan *Virtual Topology* > *Generate Virtual Topology on entire model*. Kemudian gabung bagian yang sudah terbagi sesuai dengan alur dan letak bagian. Bagian yang bisa digabung ditandai dengan munculnya keterangan *committed*.

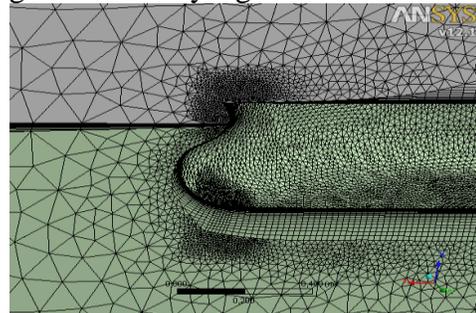
Langkah selanjutnya adalah penentuan *Regions*. Disini akan membagi boundary antara kapal dan kolam, karena semua bagian akan di meshing. Perintah yang dilakukan adalah klik kanan *Regions* > *insert* > *composite 2D regions*. Kemudian pilih penempatan *Regions* tersebut, lalu *rename*.

Langkah terakhir pada tahap mesh adalah meshing. Meshing dibagi menjadi beberapa sub, antara lain adalah *spacing*, *controls*, *inflation*, dan lainnya. *Spacing* adalah kita menentukan besar, sudut, radius, *expansion* dan lokasi meshing. Bentuk meshing yang digunakan antara lain adalah *nodes*, *tetrahedra*, *pyramids* dan *prism*.

Pemilihan bentuk meshing disesuaikan dengan lokasinya.

Inflation ditentukan untuk membedakan meshing dibagian *free surface*, bagian diatas garis air, dan bagian dibawah garis air. apabila semua langkah sudah dilakukan maka meshing bisa dimulai dengan memilih menu *generate volume mesh*.

Tahap mesh adalah tahap yang paling rumit. Apabila terjadi kesalahan sedikit pun, meshing akan berhenti dan gagal. Bila hal ini terjadi maka dalam tahap ini harus diulang. Maka disarankan agar teliti dan cermat. Semakin besar jumlah elemen *meshing* maka hasil *meshing* akan semakin halus dan bisa mendapatkan hasil yang lebih akurat. Namun perlu diingat bahwa semakin besar elemen yang kita buat, dalam proses simulasi numerik akan semakin berat dan berlangsung lama dan menghasilkan file yang semakin besar.



Gambar 7. Hasil *mesh* model 1

Tabel 3. Statistik mesh model 1:

No	Nama	Jumlah
1	Nodes	1267762
2	Tetrahedra	3864023
3	Pyramids	18167
4	Prims	1124494
	Total elemen	5006684

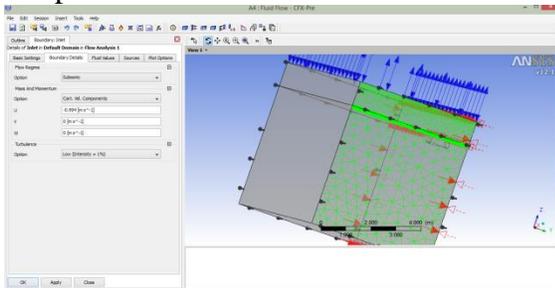
4.6. Tahap Setup

Setup adalah tahapan yang dilakukan setelah mesh berhasil dilakukan. Setup merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Pada tahap ini dibagi menjadi

beberapa langkah, antara lain default domain, solver, pembuatan expression, dan lain-lain.

Ditahap ini pembuatan domain dilakukan. Dengan penentuan arah aliran fluida pada saat simulasi. Domain tersebut dinamakan sesuai dengan tempat dan arahnya, yaitu top, symetri, outlet, inlet, side, bottom dan hull.

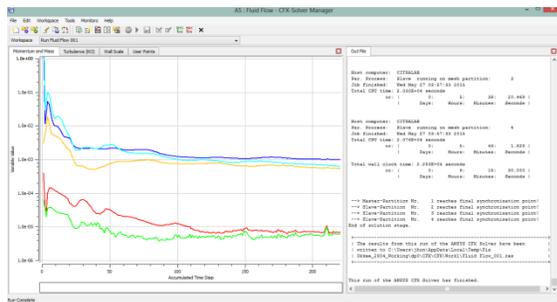
Disini juga ditentukan tingkat error simulasi. Tingkat error yang dipilih sangat minim, yaitu 0,0004. Angka tersebut dipilih karena semakin kecil tingkat error, semakin bagus pula kualitas hasil simulasi yang didapat.



Gambar 8. Domain inlet pada setup

4.7. Tahap Solution

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

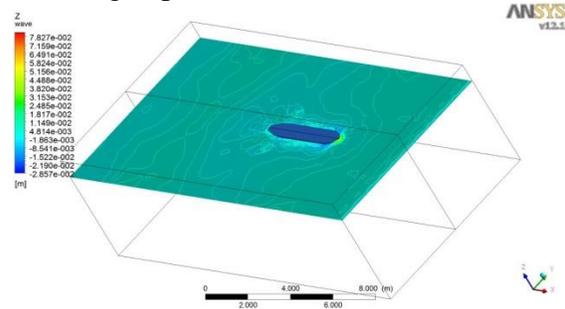


Gambar 9. Grafik perhitungan (running)

4.8. Tahap Result

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di **Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 3, No.4 Oktober 2015**

tahap solution. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal (*force*), model dan visualisasi aliran pada free surface maupun station di belakang lambung kapal.



Gambar 10. Visualisasi aliran fluida

4.9. Validasi Hasil Uji Model Menggunakan Software

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan hasil uji laboratorium hidrodinamika yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa hasil variasi *draft* kapal menggunakan *software* CFX. Adapun maximal *error* untuk validasi antara CFX dengan hasil uji laboratorium hidrodinamika adalah 5%.

Tabel 5. Data hasil Towing Tank

Ct	Eksperimen	CFD	Selisih
$Ct \times 10^{-3}$	4.152	4.244	2.215 %
$Cf \times 10^{-3}$	-	2.369	-

Hasil C_T atau koefisien hambatan total yang didapatkan pada CFX untuk model pertama atau model dengan kondisi *design loading* adalah 0,004244, hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dari hasil uji laboratorium hirodinamika yaitu 0,004152, jadi selisihnya 0,000092 atau 2,215 %. Sedangkan untuk hasil C_F

yang didapatkan pada CFD untuk model pertama atau model dengan kondisi *design loading* adalah 0,002369, hasil tersebut masuk.

4.10. Perhitungan Hambatan Kapal

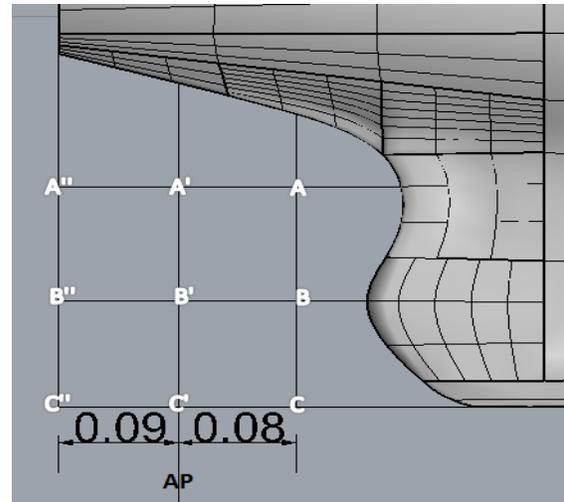
Perhitungan hambatan kapal dengan metode Computational Fluid Dynamic pada post processor (hasil running) diambil dari tahap *results*. Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data matang. Perhitungan nilai hambatan total tiap-tiap model pada variasi kecepatan yang telah ditentukan dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Nama Model	Nilai Fn	Kecepatan (m/s)	Ct	Rt (KN)
1	<i>design loading</i>	0.29	1.057	0.00447	531.2978
		0.27	0.994	0.004244	473.7579
		0.25	0.929	0.003148	328.7292
2	<i>ballast loading</i>	0.29	1.057	0.001926	228.8811
		0.27	0.994	0.001885	210.474
		0.25	0.929	0.001965	205.149

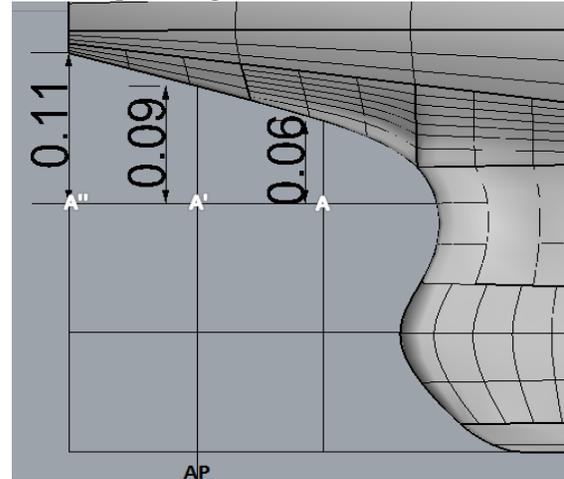
Tabel 6. Perhitungan nilai R_T (Hambatan Total) tiap-tiap model skala 1 : 1

4.11. Perhitungan Hambatan dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi Design Loading pada kecepatan Froude Number 0,27

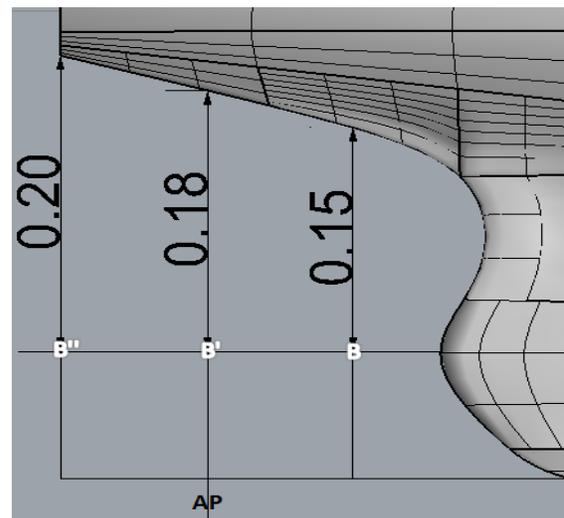
Pada perhitungan hambatan pada kecepatan menggunakan *froude number* 0,27 didapatkan nilai Ct terkecil yaitu 0.004244 atau sebesar 473.75 KN. Visualisasi bentuk aliran fluida pada free surface dengan parameter water velocity dengan asumsi kecepatan air pada titik A,B dan C dengan nilai terbesar 0,531 m/s. Untuk melihat kontur kecepatan fluida setelah melewati lambung kapal, maka dapat dilihat pada station-station di belakang propeller-boss. Pada titik B (tepat dibelakang propeller-boss), kecepatan maksimum yang terjadi pada bagian ini sebesar 0,287 m/s. Pada titik A kecepatan maksimum sebesar 0.531 m/s. Pada titik C kecepatan maksimum sebesar 0.116 m/s.



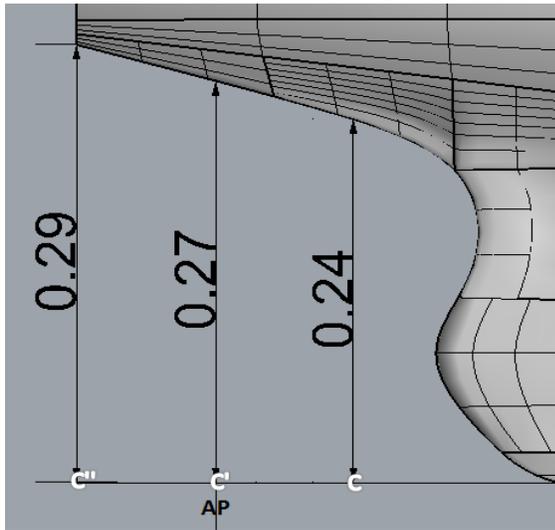
Gambar 11. Titik Koordinat Water Velocity kapal dengan froude number 0,27



Gambar 12. Water velocity pada titik A



Gambar 13. Water velocity pada titik B



Gambar 15. Water velocity pada titik C

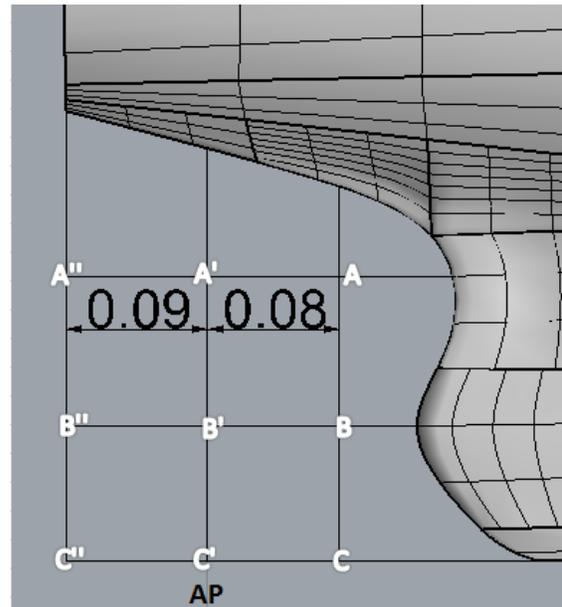
Nilai Water Velocity Design Loading (Fn 0.27)

Titik	Sector	Nilai	Water Velocity	Pressure
A	x	0.08	0.173 ms ⁻¹	8.020 (Pa)
	y	0		
	z	0.06		
A'	x	0	0.404 ms ⁻¹	6.530 (Pa)
	y	0		
	z	0.09		
A''	x	0.09	0.531 ms ⁻¹	3.584 (Pa)
	y	0		
	z	0.11		
B	x	0.08	0.287 ms ⁻¹	2.772 (Pa)
	y	0		
	z	0.15		
B'	x	0	0.208 ms ⁻¹	2.099 (Pa)
	y	0		
	z	0.18		
B''	x	0.09	0.141 ms ⁻¹	1.995 (Pa)
	y	0		
	z	0.2		
C	x	0.08	0.010 ms ⁻¹	1.445 (Pa)
	y	0		
	z	0.24		
C'	x	0	0.114 ms ⁻¹	1.118 (Pa)
	y	0		
	z	0.27		
C''	x	0.09	0.116 ms ⁻¹	0.915 (Pa)
	y	0		
	z	0.29		

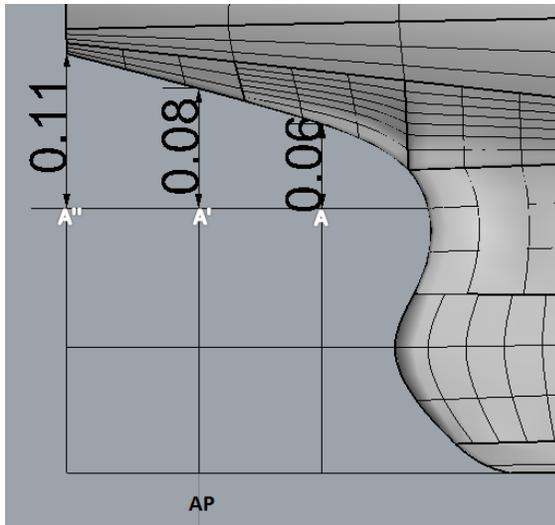
Tabel 7. Nilai Water Velocity Design Loading (Fn 0.27)

4.12 Perhitungan Hambatan dan Hasil Simulasi Kapal Kondisi Ballast Loading pada Kecepatan Froude Number 0,27

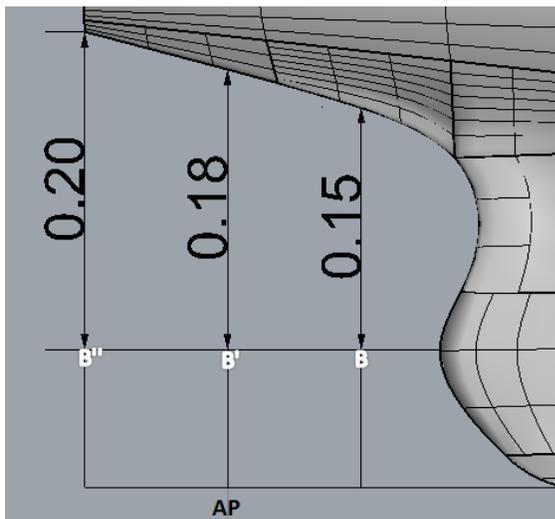
Pada perhitungan hambatan pada kecepatan menggunakan *froude number* 0,27 didapatkan nilai C_T terkecil yaitu 0.00188 atau sebesar 210.47 KN. Visualisasi bentuk aliran fluida pada free surface dengan parameter water velocity dengan asumsi kecepatan air pada titik A,B dan C dengan nilai sebesar 0.422 m/s. Untuk melihat kontur kecepatan fluida setelah melewati lambung kapal, maka dapat dilihat pada station-station di belakang propeller-boss. Pada titik B (tepat dibelakang propeller-boss), kecepatan maksimum yang terjadi pada bagian ini sebesar 0.422 m/s. Pada titik A kecepatan maksimum sebesar 0.240 m/s. Pada titik C kecepatan maksimum sebesar 0.281 m/s.



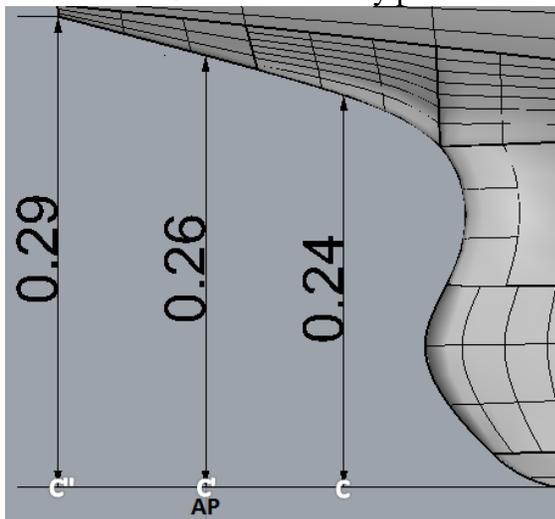
Gambar 16. Titik Koordinat Water Velocity kapal dengan froude number 0,27



Gambar 17. Water velocity pada titik A



Gambar 18. Water velocity pada titik B



Gambar 20. Water velocity pada titik C

Nilai Water Velocity Ballast Loading (Fn 0.27)

Titik	Sector	Nilai	Water Velocity	Pressure
A	x	0.08	0.122 ms ⁻¹	1.884 (Pa)
	y	0		
	z	0.06		
A'	x	0	0.074 ms ⁻¹	1.549 (Pa)
	y	0		
	z	0.08		
A''	x	0.09	0.240 ms ⁻¹	0.730 (Pa)
	y	0		
	z	0.11		
B	x	0.08	0.422 ms ⁻¹	0.391 (Pa)
	y	0		
	z	0.15		
B'	x	0	0.392 ms ⁻¹	0.344 (Pa)
	y	0		
	z	0.18		
B''	x	0.09	0.333 ms ⁻¹	0.256 (Pa)
	y	0		
	z	0.2		
C	x	0.08	0.281 ms ⁻¹	0.189 (Pa)
	y	0		
	z	0.24		
C'	x	0	0.202 ms ⁻¹	0.179 (Pa)
	y	0		
	z	0.26		
C''	x	0.09	0.097 ms ⁻¹	0.120 (Pa)
	y	0		
	z	0.29		

Tabel 8. Nilai Water Velocity Ballast Loading (Fn 0.27)

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dengan CFD didapatkan kesimpulan nilai hambatan total sebagai berikut :

1. Hasil C_T atau koefisien hambatan total yang didapatkan pada CFX untuk model pertama atau model dengan kondisi *design loading* adalah 0,004244, hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 5% dari hasil uji laboratorium hidrodinamika yaitu 0,004152, jadi selisihnya 0,000092 atau 2,215 %.
2. Pada perhitungan hambatan kapal pada kondisi *design loading* dengan

kecepatan menggunakan froude number 0,25 yaitu 328,729 KN, froude number 0,27 yaitu 473,757 KN (hambatan kapal pada kondisi *design loading* pada froude number 0,27 dengan C_T $4,152 \times 10^{-3}$ hasil uji Towing Tank yaitu 463,488 KN) sedangkan froude number 0.29 yaitu 531.29 KN.

5.2 Saran

- Dalam analisa menggunakan CFD, sebaiknya menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi sehingga dalam simulasi bisa menghemat waktu proses simulasi.
- Pembuatan *meshing* yang lebih *smooth* lagi. semakin halus meshing otomatis semakin banyak jumlah elemen *meshing* yang dibuat. Dengan demikian hasil simulasi yang dihasilkan lebih akurat, akan tetapi bila semakin besar *meshing* akan berbanding lurus juga dengan semakin lama proses simulasi.
- Melakukan analisa lanjutan hambatan total pada variasi bentuk buritan dan lambung kapal.

DAFTAR PUSTAKA

1. S.L. Toxopeus. D.1995. VERIFICATION AND VALIDATION OF CALCULATIONS OF THE VISCOUS FLOW AROUND KVLCC2M IN OBLIQUE MOTION, Maritime Research Institute, Netherlands.
2. SERGE. Toxopeus. D.2011. VISCOUS-FLOW CALCULATION FORN KVLCC2M IN DEEP AND SHALLOW WATER. Maritime Research Institute, Netherlands.
3. Barkhudarov. 2004. Lagrangian VOF advection Method for Flow- 3D Flow Science, Inc FSI-03-TN63-R
4. Fukuoka. Japan. 25TH INTERNASIONAL TOWING TANK CONFERENS, The Japan Society of Naval Arcitects and Ocean Engginering
5. Hwa seo, 2010. Flexible CFD meshing strategi for prediction. Seoul university, korea
6. Mahmood, Shadid. 2012. Computational Fluid Dynamics Based Bulbous Bow Optimization Using a Genetic Algorithm. Harbin University. 5 4-5.
7. Munson, Bruce R. Young, Donald F. Okiishi, Theodore H. 2003. Mekanika Fluida. Erlangga, Jakarta.
8. Otto. Hans. 2012. Report Project Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships. University of Shouthern denmark.
9. [Wikimedia Foundation, Inc.](https://en.wikipedia.org/wiki) 2013. computational fluid dynamic . <https://en.wikipedia.org/wiki>. 15 juni 2013