



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISIS PENGARUH VARIASI BENTUK HALUAN DAN BURITAN TERHADAP HAMBATAN PADA KAPAL US NAVY COMBATANT DTMB MODEL 5415 DENGAN METODE CFD

Marcelino Gabriel Hutabarat^{*)}, Samuel¹⁾, Andi Trimulyono¹⁾

Laboratorium Hidrodinamika Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : marselhutabarat@gmail.com,

Abstrak

Hambatan kapal adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan ketika merancang suatu kapal. Bentuk haluan dan buritan kapal yang menghasilkan nilai hambatan yang baik akan sangat berpengaruh dalam operasional suatu kapal. Penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai hambatan terkecil dengan memodifikasi bentuk haluan dan buritan kapal US Navy Combatant DTMB 5415 sebagai objek penelitian dan menggunakan software berbasis finite volume method. Penelitian ini menggunakan 3 model dengan memodifikasi bentuk haluan dan buritan kapal yang disimulasikan pada froude number 0.28, 0.33, 0.37 dan 0.41. Berdasarkan hasil simulasi software berbasis finite volume method, didapatkan hasil bahwa pada froude number 0.28 pengurangan nilai hambatan paling besar terdapat pada model c dengan selisih 3.11% dibandingkan dengan model barehull. Pada froude number 0.33, pengurangan nilai hambatan paling besar terdapat pada model c dengan selisih sebesar 5.88% dibandingkan dengan model barehull. Pada froude number 0.37, pengurangan nilai hambatan paling besar terdapat pada model c dengan selisih sebesar 6.47% dibandingkan dengan model barehull. Pada froude number 0.41, pengurangan nilai hambatan paling besar terdapat pada model c dengan selisih sebesar 6.51% dibandingkan dengan model barehull.

Kata Kunci : US Navy Combatant DTMB 5415, Hambatan, Froude Number

1. PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan kapal yang efisien dari segi performa dan efisiensi bahan bakar, maka perancang kapal harus menciptakan desain kapal yang optimal. Desain kapal dapat dikatakan optimal apabila kapal tersebut dalam pengoperasiannya menggunakan daya mesin sekecil mungkin dan juga mempertimbangkan kenyamanan dan keselamatan saat berlayar. Untuk memastikan kapal dapat berlayar

dengan daya seminim mungkin, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan mendesain kapal dengan hambatan dan propulsi yang baik. Salah satu cara untuk mengurangi nilai hambatan tersebut adalah dengan melakukan modifikasi pada bentuk haluan dan buritan kapal.

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan inovasi, para perancang kapal terus mengoptimalkan bentuk haluan dan

buritan kapal untuk menemukan bentuk haluan dan buritan yang paling optimal. *Bulbous bow* merupakan salah satu contoh hasil riset dalam mendesain kapal untuk mendapatkan pengurangan hambatan yang optimal. Cara kerja *bulbous bow* adalah dengan menimbulkan *wave* atau mengganggu gelombang kapal dari haluan, sehingga gelombang tersebut akan kehilangan daya akibat pengaruh gelombang yang disebabkan *bulbous bow* [1]

Pada eksperimen pengujian menggunakan *towing tank* yang dilakukan oleh Angelo Olivieri pada tahun 2001 [2] menunjukkan hasil bahwa hambatan total kapal DTMB 5415 masih memiliki nilai yang cukup besar sehingga memungkinkan dilakukannya modifikasi agar mendapat hasil yang optimal.

Modifikasi bentuk haluan dan buritan kapal adalah salah satu cara untuk mengurangi nilai hambatan total kapal. Pada penelitian yang dilakukan oleh Karim Akbari [3] menggunakan metode CFD menunjukkan bahwa variasi bentuk haluan dan buritan kapal dapat mengurangi nilai hambatan total kapal dibandingkan dengan model aslinya.

Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang sesuai dengan hasil pengujian eksperimental yang sudah dilakukan, maka penggunaan aplikasi berbasis CFD dipilih untuk menjalankan simulasi perhitungan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Firdaus [4] menunjukkan bahwa penggunaan CFD memiliki kesesuaian antara hasil eksperimental dengan perhitungan numerik

Oleh karena itu, dari penelitian bentuk haluan kali ini akan dilakukan variasi bentuk *bulbous bow* pada haluan kapal dan buritan kapal dengan kapal US Navy Combatant DTMB 5415 sebagai objek parameter yang akan diuji. Berdasarkan alasan diatas, maka akan dilakukan penelitian untuk mengetahui kesesuaian antara simulasi berbasis CFD dengan hasil pengujian eksperimental.

Dengan menggunakan bantuan *software* berbasis *finite volume method* maka akan diciptakan variasi bentuk *bulbous bow* dan buritan kapal serta menyesuaikan hasil perhitungan simulasi berbasis CFD dengan hasil eksperimental.

2. Metodologi

2.1 Objek Penelitian

Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah kapal US Navy Combatant DTMB 5415. Model kapal ini telah diuji oleh Angelo Olivieri [2] dan akan digunakan sebagai validasi pada penelitian ini. Data *principal dimension* kapal ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. *Principal Dimension* kapal [2]

No	Ukuran Utama	Barehull	Model
1.	Scale Factor (λ)	1	24.82
2.	Length of Waterline (m)	142.18	5.72
3.	Length Perpendicular (m)	142.00	5.72
4.	Breadth (m)	19.06	0.76
5.	Draft (m)	6.15	0.248
6.	Displacement (ton)	8636	0.549



Gambar 1. Model 3D Kapal DTMB 5415 [2]

2.2 Parameter Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal US Navy Combatant DTMB 5415 dengan variasi bentuk haluan dan buritan kapal. Parameter tetap pada penelitian ini adalah ukuran utama kapal DTMB 5415. Parameter peubah yang diterapkan pada simulasi ini adalah variasi pada panjang *bulbous bow* di haluan kapal dan juga modifikasi bentuk *aft body* pada buritan kapal dengan panjang *bulbous bow* 0.73m, 0.77m, 0.80m. Model kapal ini disimulasikan pada froude number 0.28, 0.33, 0.37, 0.41

2.3 Variasi Model Haluan dan Buritan

Untuk mendapatkan nilai hambatan yang optimal, maka dilakukan modifikasi pada bentuk haluan dan buritan. Untuk menentukan ukuran dari variasi pada *Bulbous Bows* ini diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Alfred Kracht [5]. yang mengatakan bahwa parameter *linear form coefficients* terdiri dari:

$$\text{Breadth Coefficients } (C_{BB}) : \frac{B}{B}$$

$$\text{Length Coefficients } (C_{LPR}) : \frac{L_{LPR}}{L_{PP}}$$

$$\text{Height Coefficients } (C_{ZB}) : \frac{Z_B}{T_{FP}}$$

LPR : panjang *bulbos bow* dari Fp

BB : lebar *bulbos bow* pada garis Fp

ZB : tinggi *bulbos bow* diukur dari *base line*.

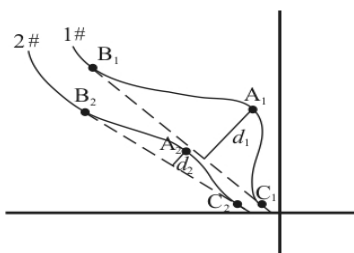
Tabel 2. Parameter *linear form coefficients* [5]

	Minimal	Maksimal
C_{BB}	0.17	0.2
C_{LPR}	0.018	0.031
C_{ZB}	0.26	0.55

Berdasarkan parameter diatas panjang *bulbos bow* dimodifikasi dengan ukuran sebagai berikut;

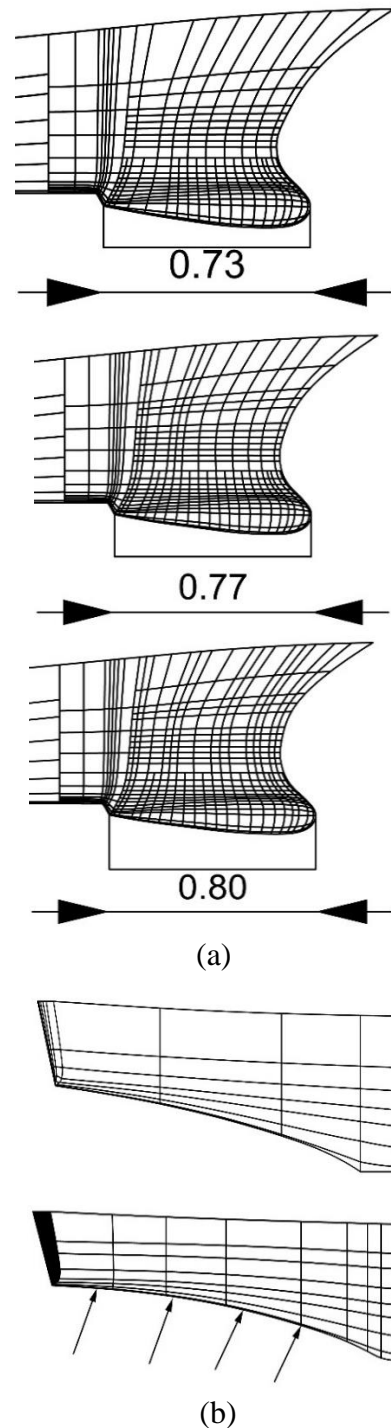
	Panjang <i>Bulbos Bow</i>
Model A	0.73 m
Model B	0.77 m
Model C	0.80 m

. Bentuk buritan kapal juga dimodifikasi untuk mendapatkan nilai hambatan yang optimal, untuk bentuk buritan parameter peubah bentuk buritan yang dapat dilihat pada gambar 2. diperlakukan sebagai *free variable* [6].



Gambar 2. *Parameters of stern* [6]

Hasil modifikasi bentuk haluan dan buritan dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Modifikasi bentuk haluan (a) dan buritan (b)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yu Lu [7] memperlihatkan bahwa modifikasi pada bentuk haluan dan buritan dapat mengurangi hambatan total kapal akibat pengurangan tinggi gelombang yang dihasilkan

Computational Fluid Dynamics

Pada riset ini simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* untuk mendapatkan nilai hambatan, *trim*, *sinkage*. Simulasi CFD diawali dengan membuat model 3d *barehull* kapal yang akan disimulasikan. Model yang dibuat harus dipastikan dalam kondisi *closed-solid* agar model kapal dapat diimport ke program CFD.

Secara umum, perhitungan menggunakan metode CFD terdiri dari 3 alur proses yaitu *Preprocessing*, *Solving*, dan *Postprocessing*. Dalam menghitung nilai hambatan total, *trim* dan *sinkage*, diterapkan persamaan Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) dengan merepresentasikan hukum konservasi massa dan momentum. Persamaan RANS ini dapat ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2 [8]

$$\nabla \cdot U = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -\nabla P + \mu \Delta U + \nabla \cdot T_{Re} + S_M \dots\dots\dots(2)$$

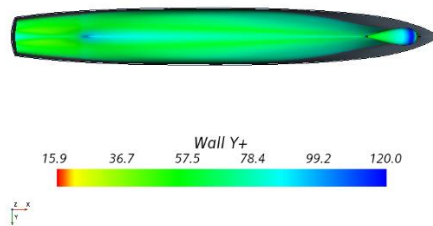
∇ adalah volume, U adalah vektor kecepatan rata-rata, ρ adalah massa jenis, t adalah waktu, P adalah bidang tekan rata-rata, μ adalah viskositas dinamis, T_{Re} adalah tensor dari Reynolds stress, Δ adalah displacement dan S_M adalah vektor sumber momentum. Komponen dihitung dengan menggunakan model turbulensi yang dipilih, sesuai dengan hipotesis Boussinesq pada persamaan 3.

$$\tau_{ij}^{Re} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \dots\dots\dots(3)$$

Wall function (y^+) berfungsi untuk menangkap boundary layer yang sangat dibutuhkan dalam menghitung nilai hambatan. Nilai y^+ berperan penting untuk mengurangi ketidakuratan pada perhitungan hambatan. Nilai y^+ yang dianjurkan menurut aturan ITTC [9] dapat dilihat di persamaan 4.

$$\frac{y}{L} = \frac{y^+}{Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}} \dots\dots\dots(4)$$

Pada penelitian yang dilakukan oleh Payam Lotfi [10] rentang y^+ yang disarankan berkisar antara $50 < y^+ > 150$. Nilai y^+ yang digunakan di penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Visualisasi Y^+ pada Fn 0.28

Time-step digunakan dalam simulasi aliran unsteady. *Time step* merupakan interval periode untuk setiap perhitungan iterasi. Untuk menentukan *time step* dalam perhitungan CFD tergantung pada kecepatan kapal. Semakin tinggi kecepatan kapal maka nilai *time step*nya semakin kecil dan waktu penyelesaiannya semakin lama. Nilai *time-step* yang dianjurkan oleh ITTC [9] dapat kita lihat pada persamaan 5. Dimana L merupakan panjang kapal dan V adalah kecepatan kapal.

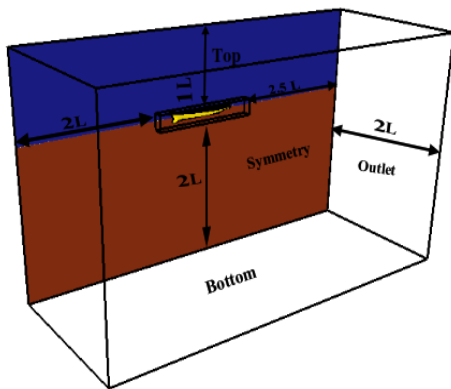
$$\Delta t_{ITTC} = 0.005 \sim 0.01 \frac{L}{V} \dots\dots\dots(5)$$

Penelitian ini menggunakan nilai *time-step* 0.0075

Metode *overset mesh* membagi dua geometri dari *virtual towing tank* yaitu *background* sebagai donor dan *overset* sebagai *acceptor*. Ukuran *virtual towing tank* dalam simulasi ini tertera pada Tabel 3 dan Gambar 5. Dimana L sebagai panjang kapal, H sebagai tinggi kapal, dan B sebagai lebar kapal. *Boundary Condition* pada *Virtual Towing Tank* dapat dilihat pada tabel 3. Jumlah elemen mesh yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Ukuran *Virtual Towing Tank*

Parameter	<i>Background</i>	<i>Overset</i>
Panjang	2L dari FP	0.25L dari FP
	2.5L dari AP	0.25L dari AP
Tinggi	1L dari <i>deck</i>	0.75H dari <i>deck</i>
	2L dari <i>keel</i>	0.75H dari <i>keel</i>
Lebar	2L dari <i>ymmetry</i>	0.5B dari <i>symmetry</i>



Gambar 5. Dimensi Virtual Towing Tank

Tabel 4. Boundary Condition Virtual Towing Tank

Part Surface	Background	Overset Mesh
Top	Velocity Inlet	Overset Mesh
Bottom	Velocity Inlet	Overset Mesh
Inlet	Velocity Inlet	Overset Mesh
Outlet	Pressure Outlet	Overset Mesh
Back	Velocity Inlet	Overset Mesh
Symmetry	Symmetry Plane	Symmetry Plane
Hull		No Slip Wall

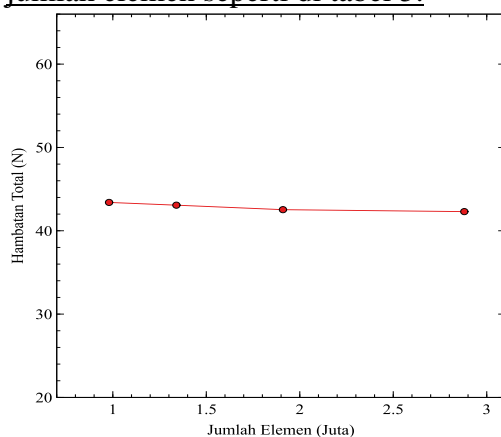
Tabel 5. Jumlah elemen mesh

Grid	Kualitas Mesh	Jumlah Total Elemen
1	Very Coarse	986422
2	Coarse	134168
3	Medium	1914279
4	Fine	2881372

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Mesh Independency

Berikut ini merupakan hasil analisis *mesh independency* yang dilakukan dengan jumlah elemen seperti di tabel 5.

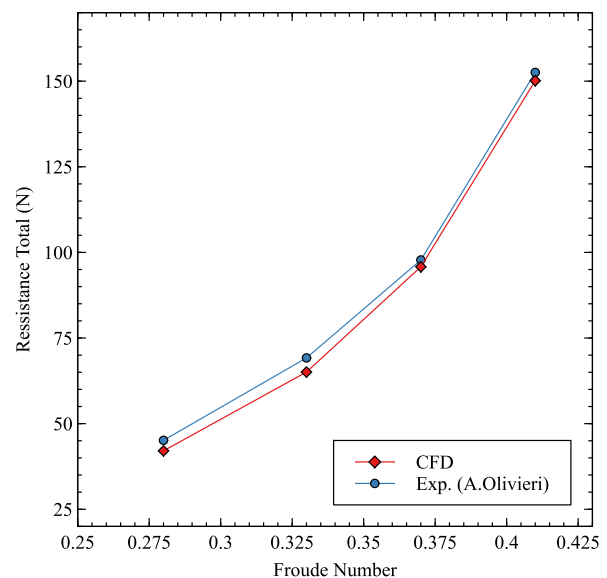


Gambar 6. Grafik Mesh Independency hambatan

Mesh independency divisualisasikan dengan perbandingan nilai hambatan, *trim* dan *heave* terhadap jumlah elemen seperti pada Gambar 6. Simulasi dilakukan pada Fn 0.28 dengan 4 variasi jumlah elemen. Berdasarkan hasil simulasi, mesh sudah konvergen pada jumlah elemen 1.91 juta.

3.2 Hasil Analisis Resistance total, Resistance Shear, Resistance Pressure pada model kapal DTMB 5415

Berikut ini merupakan nilai perhitungan hambatan kapal DTMB 5415 yang sudah *scaling* dengan skala 1:24.82. Hasil hambatan total yang didapat akan divalidasi dengan hasil pengujian *towing tank* yang dilakukan oleh Angelo Olivieri [2]

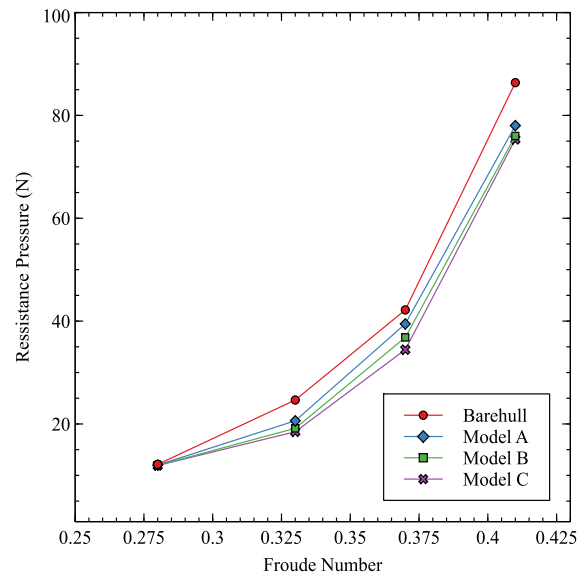
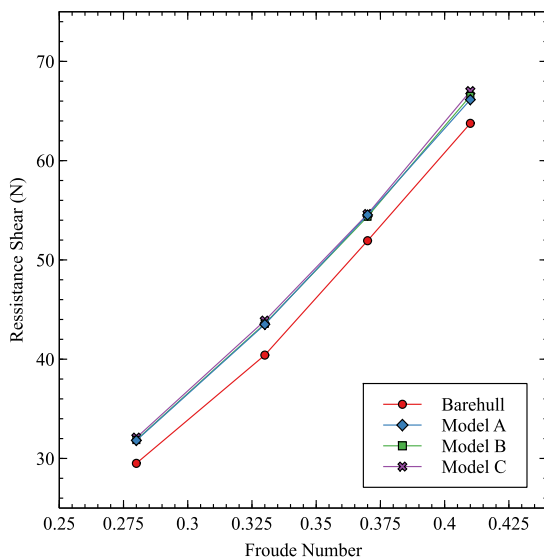
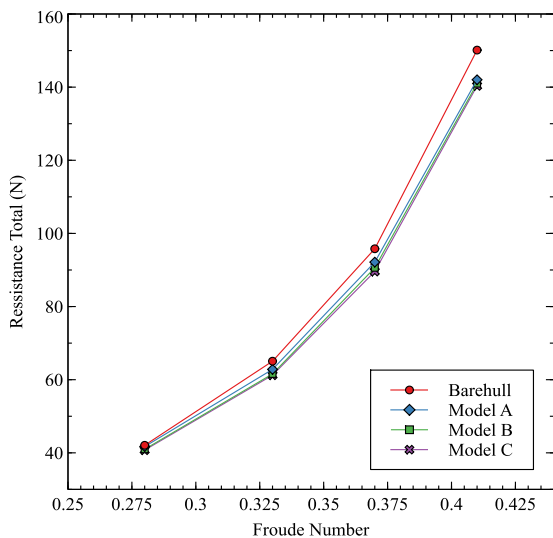


Gambar 7. Hasil analisis Hambatan total,

Resistance total terbagi menjadi 2 komponen, yaitu *Resistance shear* yang merupakan hambatan gesek dari kapal dan juga *Resistance Pressure* yang merupakan hambatan residu kapal. Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa kenaikan *froude number* kapal berbanding lurus dengan kenaikan nilai hambatan total dan juga hambatan *pressure* beserta hambatan gesek yang merupakan komponen utama *resistance total* kapal.

3.3 Hasil Analisis *Resistance total*, *Resistance Shear*, *Resistance Pressure* dengan Variasi Bentuk Haluan dan Buritan

Dibawah ini adalah hasil analisis hambatan total, *shear*, dan *pressure* menggunakan variasi panjang *bulbous bow* dan juga modifikasi bentuk buritan kapal

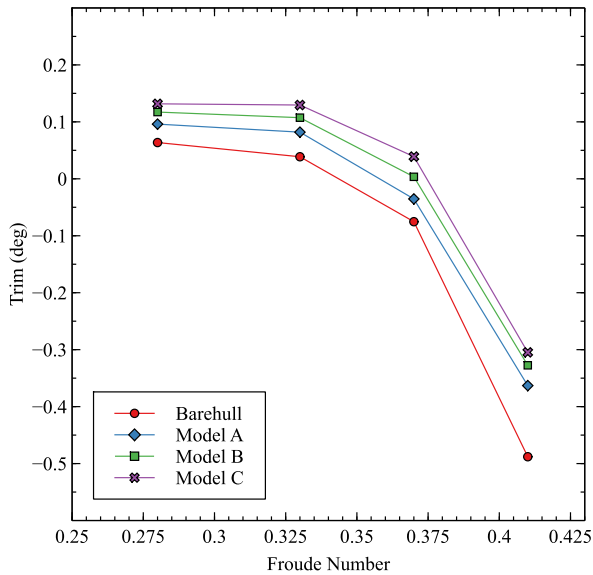


Gambar 8. Hasil analisis Hambatan total, Hambatan *Shear* dan Hambatan *Pressure* dengan variasi haluan dan buritan kapal

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai hambatan kapal akan meningkat jika *froude number* kapal juga meningkat. Pengurangan nilai hambatan total terbesar ditemukan pada model C pada froude number 0.41 dimana terjadi penurunan hambatan total sebesar 6.51%. akan tetapi pada hambatan *shear* terjadi penambahan dimana nilai hambatan gesek kapal bertambah. Hal ini terjadi karena dilakukan modifikasi penambahan panjang *bulbous bow* pada haluan kapal, sehingga menyebabkan luas area yang tercelup air semakin besar sehingga hambatan gesek yang dihasilkan juga bertambah.

3.4 Hasil Analisis *Trim*

Grafik dibawah ini merupakan hasil analisis *trim* kapal DTMB 5415 dengan froude number 0.28, 0.33, 0.37, 0.41.

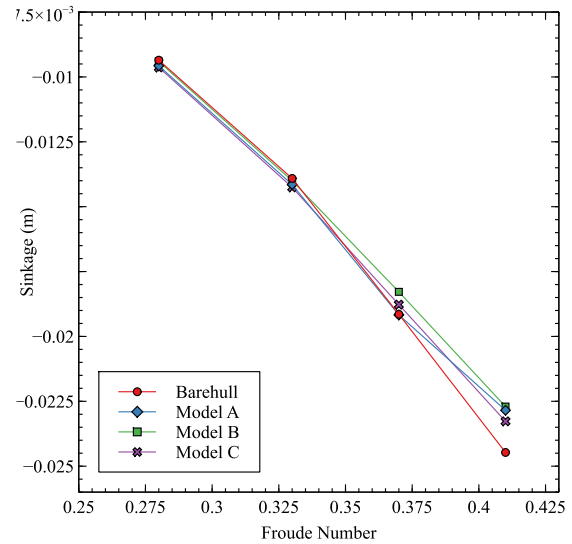


Gambar 9. Hasil Analisis *Trim* kapal dengan variasi bentuk haluan dan buritan

Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya nilai *froude number* kapal maka nilai derajat *trim* kapal akan mengalami penurunan. Dari grafik tersebut juga bisa dilihat kalau derajat *trim* dari setiap model modifikasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan model kapal asli. Hal ini disebabkan juga karena pengaruh modifikasi bentuk haluan sehingga massa kapal yang berada di haluan kapal bertambah besar sehingga menambah nilai derajat *trim* kapal yang sudah dimodifikasi.

3.5 Hasil Analisis *Sinkage*

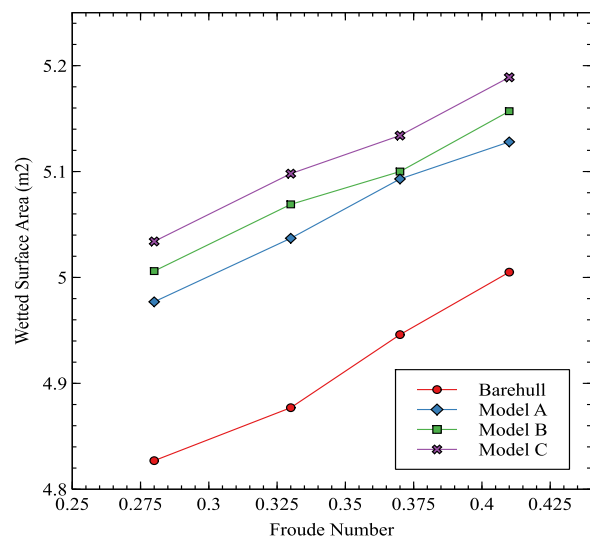
Grafik disamping ini merupakan hasil analisis *sinkage* kapal DTMB 5415 dengan *froude number* 0.28, 0.33, 0.37, 0.41.



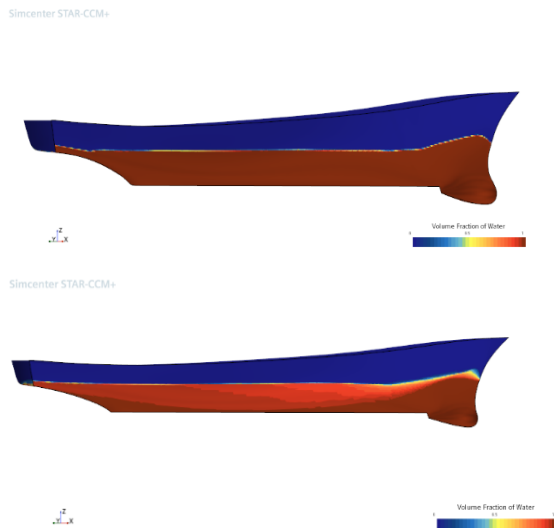
Gambar 10. Hasil analisis *sinkage* kapal dengan variasi bentuk haluan dan buritan
 Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *sinkage* seiring dengan bertambahnya nilai *froude number* kapal. akan tetapi nilai *sinkage* kapal hasil modifikasi masih lebih besar dibandingkan kapal aslinya. hal ini disebabkan karena modifikasi bentuk haluan kapal membuat massa kapal didaerah haluan lebih besar sehingga menyebabkan kapal hasil modifikasi memiliki nilai *sinkage* lebih besar dibandingkan kapal aslinya.

3.6 Wetted Surface Area (WSA)

Berikut ini merupakan hasil analisis WSA kapal DTMB 5415 dengan *froude number* 0.28, 0.33, 0.37, 0.41



Gambar 11. Hasil analisis WSA kapal

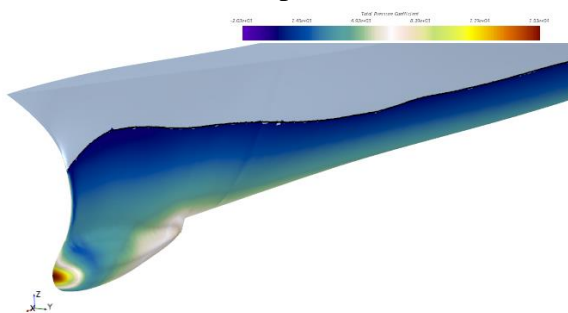


Gambar 12. Visualisasi WSA pada Fn 0.28 antara model C (atas) dengan model *barehull* (bawah)

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai WSA kapal yang sudah dimodifikasi pada bagian haluan dan buritan kapal lebih besar dibandingkan dengan nilai WSA kapal asli. dengan melakukan modifikasi pada haluan kapal dapat menambah luasan daerah yang tercelup air. Pada gambar 12 terlihat secara jelas bahwa penambahan panjang *bulbous bow* berpengaruh langsung menambah luas WSA di haluan kapal.

3.7 Pressure Distribution pada hull surface

Berikut ini merupakan hasil analisis *Pressure Distribution* kapal DTMB 5415



Gambar 13. *Pressure distribution* pada hull surface

Pada gambar 13 dapat dilihat distribusi penyebaran tekanan pada daerah di sekitar *bow*. Daerah ujung *bow* merupakan daerah dengan tekanan tertinggi. Setelah melewati

ujung *bow*, tekanan akan mulai berkurang dikarenakan bentuk lengkungan pada daerah kapal tersebut. Kemudian tekanan tersebut bertambah lagi ketika berada di daerah belakang *bow* dan akan stagnan pada daerah tengah kapal dikarenakan bentuk daerah tengah kapal yang rata. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Firdaus dalam penelitiannya [4].

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memodifikasi bentuk haluan dan buritan kapal DTMB 5415 dapat mengurangi nilai hambatan total sebesar 6.51% dan juga hambatan *pressure* sebesar 22.32% tetapi juga menambah nilai hambatan gesek sebesar 7%

5. Daftar Pustaka

- [1] F. Pérez, J. A. Suárez and J. A. Clemente, "Geometric modelling of bulbous bows with the use of non-uniform rational B-spline surface," *J Mar Sci Technol*, pp. 83-94, 2007.
- [2] A. Olivieri, F. Pistani and A. Avanzini, "Towing Tank Experiments of Resistance, Sinkage And Trim, Boundary Layer, Wake, and Free Surface Flow around a Naval Combatant Insean 2340 Model," *IIHR Technical Report No. 421*, 2001.
- [3] K. A. Wakilabadi and H. Motahar, "Analysis of Bow and Aft Modification Effect on DTMB 5415 Ship Resistance," *American Journal of Mechanical Engineering*, vol. 5, pp. 14-17, 2017.
- [4] A. Firdhaus, I. K. Suastika, Kiryanto and Samuel, "Benchmark Study of FINE™/Marine CFD Code for the Calculation of Ship Resistance," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, pp. 111-118, 2021.
- [5] A. M. Kracht, "Design of Bulbous Bows," *SNAME Transactions*, vol. 86, pp. 197-217, 1978.
- [6] Z. Ping, Z. De-xiang and L. Wen-hao, "Parametric Approach to Design of Hull Forms," *Journal of Hydrodynamics*, vol. 20, pp. 804-810, 2008.

- [7] Y. Lu, X. Chang, X. Yin and Z. Li, "Hydrodynamic Design Study on Ship Bow and Stern Hull Form Synchronous Optimization Covering Whole Speeds Range," *Mathematical Problems in Engineering*, pp. 1-19, 2019.
- [8] A. Fathuddiin and Samuel, "Meshing Strategi untuk Memprediksi Hambatan Total Pada Kapal Planing Hull," *Rekayasa Mesin*, vol. 12, pp. 381-390, 2021.
- [9] ITTC, "Practical Guidelines for Ship CFD Applications," in *Specialist Committee on CFD in Marine Hydrodynamics of the 27th ITTC*, 2014.
- [10] P. Lotfi, M. Ashrafizaadeh and R. K. Esfahan, "Numerical investigation of a stepped planing hull in calm water," *Ocean Engineering*, vol. 94, pp. 103-110, 2015.