

Analisis Pengaruh Modifikasi Lambung Kapal *Self Propelled Barge* 15000 DWT Terhadap Hambatan Total dengan Menggunakan Metode CFD

Gestra Arya Saputra*1, Mufti Fathonah Muvariz 1* and Hanifah Widiastuti 2*

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Jl. Ahmad Yani, Batam Center, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: Gesraaryas@gmail.com

Abstrak

Dalam perancangan sebuah kapal ada beberapa hal penting yang perlu dianalisis yang salah satunya yaitu hambatan kapal. Hambatan kapal adalah gaya yang ditimbulkan kapal saat bergerak atau beroperasi di dalam air, hambatan kapal dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang diantaranya yaitu bentuk lambung kapal, semakin bagus atau *streamline* lambung kapal semakin kecil hambatan pada kapal. Pada penelitian ini difokuskan pada modifikasi lambung kapal dengan merubah salah satu parameter pada kapal yaitu *Coefficient blok* (C_b). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Computational Fluids Dynamic*, atau biasa disebut dengan CFD. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai hambatan kapal setelah dimodifikasi dan mendapatkan perbandingan nilai hambatan kapal sehingga bisa menentukan nilai hambatan yang terkecil dari modifikasi dan juga menentukan bentuk lambung yang memiliki hambatan yang paling optimal dari analisis tersebut. Dari hasil modifikasi lambung kapal mendapatkan koefisien blok kapal yaitu, pada modifikasi bagian haluan dengan koefisien blok sebesar 0,875, modifikasi di bagian buritan kapal sebesar 0,876, modifikasi pada bagian haluan buritan sebesar 0,873, sedangkan model asli dari lambung kapal memiliki Koefisien blok sebesar 0,892. Dari hasil analisis yang didapatkan berdasarkan tujuan dari penelitian ini mendapatkan nilai hambatan total kapal pada model asli sebesar 58883,12 N, model modifikasi haluan sebesar 67464,42 N, model modifikasi buritan sebesar 69736,11 N, dan model modifikasi haluan buritan sebesar 56992,87 N. Nilai hambatan total kapal yang terkecil dari hasil analisis yaitu, pada modifikasi haluan buritan kapal dan bentuk lambung kapal yang paling optimal dilihat dari hasil analisis yaitu model lambung kapal modifikasi haluan buritan kapal.

Kata kunci: kapal *Self Propelled Barge*, hambatan total kapal, bentuk lambung kapal

Abstract

In the design of a ship, there are several important factors that need to be analyzed, one of which is the ship resistance. Ship resistance is the force exerted by the ship when it moves or operates in water. Ship resistance can be influenced by several factors, including the shape of the ship's hull. The more streamlined the ship's hull, the lower the resistance on the ship. This study focuses on modifying the ship's hull by changing one of the ship's parameters, namely the Block Coefficient (C_b). The method used in this research is Computational Fluid Dynamics, commonly known as CFD. The purpose of this study is to obtain the ship resistance value after modification and to compare the ship resistance values to determine the smallest resistance value from the modifications and also to identify the hull shape with the most optimal resistance based on the analysis. From the hull modification results, the block coefficient values obtained are: 0.875 for the bow modification, 0.876 for the stern modification, and 0.873 for the bow-stern modification, while the original ship's hull model has a block coefficient of 0.892. From the analysis results based on the objectives of this study, the total ship resistance values obtained are: 58883.12 N for the original model, 67464.42 N for the bow modification, 69736.11 N for the stern modification, and 56992.87 N for the bow-stern modification. The smallest total ship resistance value from the analysis results is the bow-stern modification, and the most optimal hull shape based on the analysis is the bow-stern modified hull model.

Keywords : *Self Propelled Barge Ship, Ship Resistance, Hull from*

1. Pendahuluan

Self Propelled Barge merupakan salah satu tipe kapal yang hampir mirip dengan kapal tongkang pada umumnya, yang memiliki bentuk lambung yang gemuk dan memiliki *draft* air yang rendah. Perbedaan kapal SPB ini dengan tongkang adalah terdapat pada tenaga pendorong untuk bergerak, kapal *Self Propelled Barge* memiliki mesin utama sendiri sedangkan tongkang pada umumnya masih mengandalkan bantuan dari kapal tunda atau kapal tugboat. Pada awalnya kapal *Self Propelled Barge* banyak digunakan pada perairan Sungai, dengan muatan curah. Namun dengan seiringnya perkembangan kapal *Self Propelled Barge* yang sebelumnya hanya membawa muatan curah, seperti muatan *Container*, LNG, dan muatan lainnya [1]. Penggunaan kapal *Self Propelled Barge* pada bidang industri khususnya pada perairan sangatlah penting, baik dari alat transportasi yang membawa muatan. Dilihat dari fungsi kapal *Self Propelled Barge* yang memiliki keunggulan dengan membawa muatan yang lebih banyak dari jenis tipe kapal lainnya.

Dalam *Naval Architecture* khususnya pada performa kapal perlu dilakukan percobaan untuk mendapatkan performa kapal yaitu dari segi hambatan pada kapal. Hambatan kapal sangatlah penting dalam merancang sebuah kapal, besarnya hambatan dapat dipengaruhi oleh bentuk lambung kapal, semakin bagus bentuk lambung kapal semakin kecil hambatan kapal. Hambatan kapal adalah gaya yang ditimbulkan oleh kapal yang bergerak dalam air yang menimbulkan gesekan antara lambung kapal dengan air. Faktor yang mempengaruhi hambatan pada kapal yang diantaranya gesekan antara lambung kapal dengan air, pembentukan gelombang kapal yang bergerak, dan interaksi turbulensi yang dihasilkan oleh interaksi antara lambung kapal dan air. Hambatan kapal dapat dibagi beberapa jenis yaitu, hambatan gesek pada kapal (*Friction Resistance*), hambatan gelombang (*Wave making Resistance*), dan hambatan tambahan pada kapal (*Appendages Resistance*).

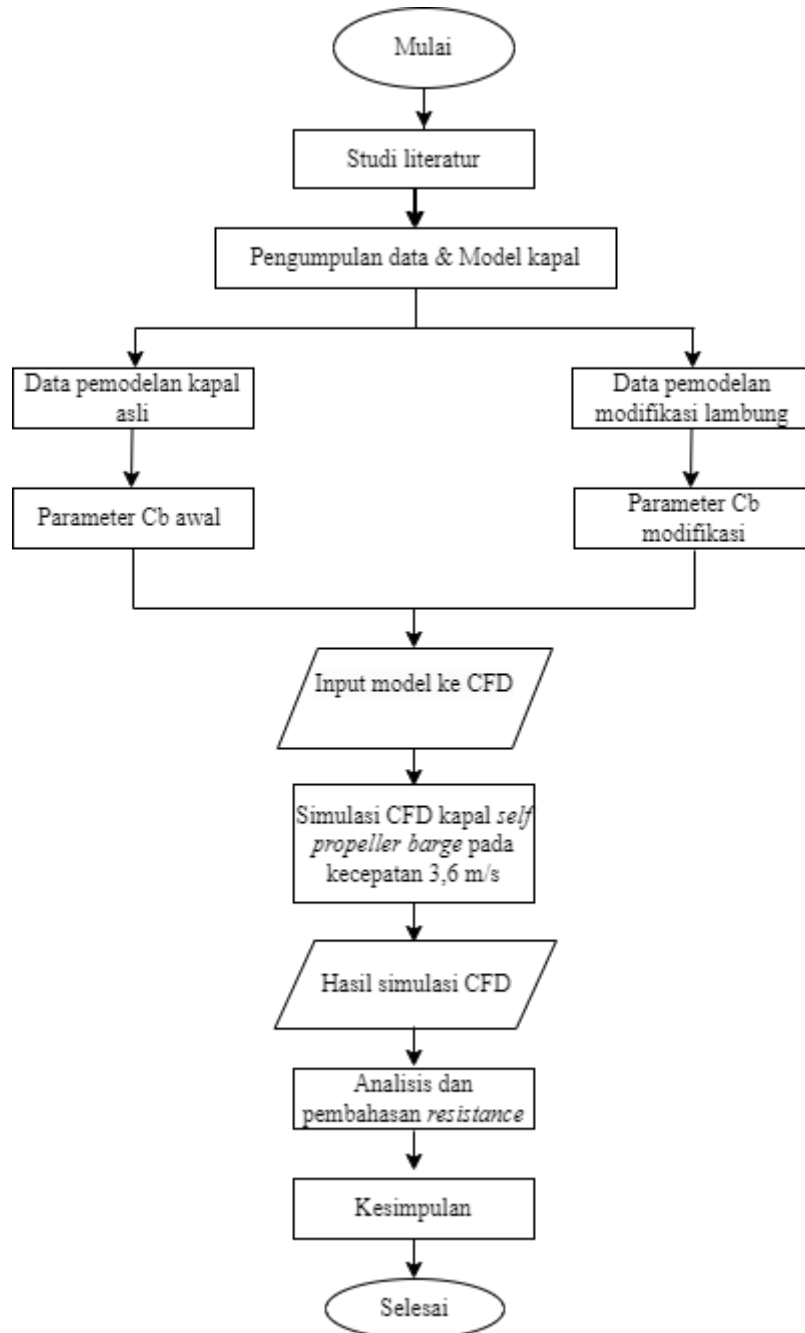
Menurut buku tahanan dan propulsi kapal, tahanan sebuah kapal pada dasarnya dapat dipengaruhi oleh kecepatan pada kapal, *displacement*, dan bentuk dari lambung kapal itu sendiri [2]. Berkaitan dengan hambatan kapal, untuk meminimalisir supaya tidak terlalu besar, dan untuk mengurangi kebutuhan daya atau meningkatkan nilai ekonomi bahan bakar, maka dari itu sangatlah penting bentuk dari lambung kapal yang streamline, yang bertujuan mengurangi hambatan pada kapal saat beroperasi [3]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Molland A, pada hambatan kapal menyatakan bahwa hambatan kapal dapat dipengaruhi oleh permukaan luas yang basah pada kapal, jenis fluida, dan kecepatan kapal, sehingga nilai hambatan kapal akan meningkat apabila *Froude number* (F_n) mengalami peningkatan [2]. Dilihat dari pernyataan diatas, kaitan kapal dengan hambatan sebuah kapal sangatlah penting, khususnya pada bagian lambung kapal.

Pada penelitian Baidowi membahas tentang pengembangan *27 series* bentuk lambung *Self Propelled Barge* dengan memvariasikan C_b rasio, L/B , B/T , L/H , dan H/T dengan berdasarkan *parent hull form*, sehingga mendapatkan bentuk lambung pada tipe B yang memiliki *Pressure contour* dengan pola aliran yang lebih *streamline* [4]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Febriani Rohmadhana dengan mengembangkan bentuk lambung dari kapal SPB terutama pada bagian haluan kapal, pengembangan lambung kapal dengan bentuk *X-bow* dan *Axe-bow* dengan tujuan untuk menurunkan hambatan dan memperbaiki gerak kapal kapal, hasil yang didapatkan pada penelitian ini mendapatkan bentuk lambung *X-bow* dengan menurunkan hambatan total kapal sebesar 4.78% [3]. Penelitian yang dilakukan oleh Deddy Chrismianto yaitu pengaruh variasi bentuk buritan kapal terhadap hambatan total kapal, dengan merubah sudut dan panjang pada bagian CSA kapal dan memvariasikan kecepatan kapal, sehingga mendapatkan hasil dan analisis hambatan total kapal yang terkecil pada kondisi kecepatan *Froude number* (F_n) 0.22 [5].

Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluids Dynamic*, metode CFD merupakan salah satu metode numerik yang digunakan untuk melakukan perhitungan, prediksi, dan pendekatan aliran fluida dengan bantuan perangkat lunak [6]. Metode CFD dengan pendekatan metode numerasi dan menggunakan persamaan-persamaan fluida dalam proses analisis. Dengan menggunakan persamaan pada dinamika fluida yaitu pada persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Pada penelitian ini akan difokuskan pada variasi modifikasi bagian lambung kapal dengan merubah salah satu parameter pada kapal yaitu koefisien blok kapal. Koefisien blok kapal adalah volume badan kapal yang dibawah sarat air kapal atau bagian dari lambung kapal yang terendam oleh air. Modifikasi lambung kapal yaitu pada bagian haluan, buritan dan kedua sisi lambung kapal, dengan perubahan koefisien blok kapal sebesar $\pm 5\%$. Tujuan yang ingin dicapai penelitian ini adalah untuk mencari nilai hambatan kapal dari modifikasi lambung, mengidentifikasi hambatan kapal yang terkecil, dan mendapatkan bentuk lambung yang memiliki hambatan yang paling optimal dari hasil analisis lambung kapal.

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan ukuran utama kapal yang sudah ada sebelumnya, dari data utama kapal dilanjutkan pada proses pemodelan lambung kapal untuk mendapatkan bentuk lambung awal dan untuk mendapatkan data *hydrostatic* untuk menjadi acuan dalam proses modifikasi nantinya.



Gambar 1. Flowchart penelitian.

2.1 Data kapal

Dalam penelitian ini menggunakan data kapal *Self Propelled Barge* yang sudah ditentukan, berikut data kapal *Self Propelled Barge* :

Table 1. Data utama kapal *Self Propelled Barge*

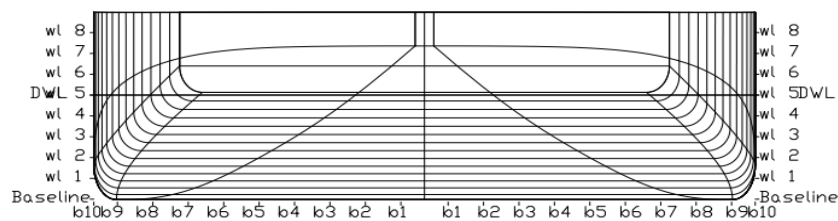
| Principal dimension | |
|-------------------------------|-------|
| <i>Loa</i> (m) | 115 |
| <i>Breadth</i> (m) | 28 |
| <i>Depth</i> (m) | 9 |
| <i>Draft</i> (m) | 5 |
| <i>Block Coefficient</i> (Cb) | 0,892 |
| <i>Speed</i> (m/s) | 3.6 |

Tabel 1 memberikan informasi ukuran utama pada kapal *Self Propelled Barge* dengan panjang kapal 115 meter, lebar 28 meter, tinggi 9 meter, sarat air 5 meter, koefisien blok 0,899 dan kecepatan kapal 3,6 m/s.

Table 2. Data hydrostatics *Self Propelled Barge*

| No | Measurement | Value | Unit |
|----|-------------------------------|-----------|----------------|
| 1 | <i>Displacement</i> | 14554 | t |
| 2 | <i>Volume (displaced)</i> | 14199,466 | m ³ |
| 3 | <i>Draft Amidships</i> | 5 | m |
| 4 | <i>Immersed depth</i> | 5 | m |
| 5 | <i>WL Length</i> | 113,208 | m |
| 6 | <i>Beam max extents on WL</i> | 28 | m |
| 7 | <i>Wetted Area</i> | 4026,997 | m ² |
| 8 | <i>Max sect. Area</i> | 139,913 | m ² |
| 9 | <i>Waterpl. Area</i> | 3049,07 | m ² |
| 10 | <i>Prismatic coeff. (Cp)</i> | 0,896 | |
| 11 | <i>Block coeff. (Cb)</i> | 0,892 | |

Tabel 2 memberikan informasi terkait data hydrostatics kapal *Self Propelled Barge* yaitu parameter pada kapal yang menggambarkan stabilitas dan performa hidrodinamik dalam berbagai kondisi beban dan *draft* pada kapal. Data yang ditampilkan berupa yaitu berat kapal senilai 19266 ton, *volume* 18796,137 m³, sarat air 5 meter, *Immersed depth* 5 meter, *WL Length* 113,208 meter, *Beam max extents on WL* 28 meter, *Wetted Area* 4026,997 m², *Max sect. area* 139,913 m², *Water Plant. Area* 3049,07 m², *Prismatic coeff. (Cp)* 0,896, dan *Block coeff. (Cb)* 0,892.



Gambar 2. *Body plan* Lambung *Self Propelled Barge*

Gambar 2 menampilkan objek yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *body plan* kapal *Self Propelled Barge* yang berukuran 115 meter yang dibangun di salah satu galangan di Kota Batam.

2.2 Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Menurut buku panduan ITTC ada beberapa parameter yang diperhatikan saat mempersiapkan proses simulasi CFD yang diantaranya [7] :

1. Domain komputasi saat simulasi untuk bagian inlet adalah panjang dari L_{BP} kapal diukur dari bow kapal, outlet adalah $3 L_{BP}$ yang diukur dari *stern* kapal, dan *side boundary* L_{BP} , dari *center line bottom*, dan *upper boundary* adalah L_{BP} diukur dari *keel* kapal.
2. Domain terdiri dari yaitu domain utama yang menjadi *air* (udara) atau *air inlet* dari *outlet* dan domain kedua *body of influence* dari kapal yang menjadi *sea water inlet* dan *outlet*.
3. Untuk *meshing generation* menggunakan *structured mesh* dengan pendekatan $y+ 30$ pada sekitar model kapal yang berguna untuk keakuratan hasil dari simulasi. Dalam buku ITTC untuk $y+$ pada sebuah kapal berkisar antara 30-100.
4. *Solver* yang digunakan adalah *pressure based* dengan *time solver* yaitu *steady* dengan pengaplikasian gravitasi $-9,8 \text{ m/s}^2$.
5. Model yang digunakan untuk *multiphase* menggunakan *Volume of Fluid 2* fase *open channel* dengan jenis fluida yaitu *air* dan *sea water* dengan *surface tension* $7,2 \times 10^{-2} \text{ N/m}$. Pada *viscous* model menggunakan SST $k-\omega$.
6. Kecepatan pengujian simulasi hambatan kapal 7 knot atau sebesar $3,6 \text{ m/s}$.
7. Pada simulasi CFD kondisi air pada saat simulasi dibuat tidak bergelombang atau kondisi air yang tenang (*calm water*).

Secara garis besar langkah – langkah saat melakukan proses simulasi *Computational Fluid Dynamic* antara lain :

1. Proses Geometri CAD

Pada proses ini dimulai dari pembuatan model badan kapal yang berasal dari software pemodelan kapal dalam bentuk *3D modelling* kapal, untuk membuat model kapal menjadi solid. Kapal akan dibuat dari beberapa *surface* untuk dijadikan sebuah bentuk tertutup sehingga menjadi *solid*. Kemudian setelah lambung kapal sudah dipastikan lalu akan disimpan dalam bentuk format *parasolid* (.x_t).

2. Domain

Dalam tahap ini akan dilakukan pembuatan dua bidang utama yaitu lambung kapal dan bidang balok, lambung kapal akan menjadi bidang yang dicari nilai gayanya, sedangkan bidang balok sebagai media fluida atau tempat mengalirnya fluida.

3. *Boundary*

Setelah domain dibuat, tahap selanjutnya menentukan batas-batas untuk menentukan letak input dan output fluida serta solid atau tidaknya domain. *Boundary* yang dibuat untuk mengetahui karakteristik dari model dan fluida yang bekerja. Sehingga akan mendekati kondisi sebenarnya, pemberian batas hanya menggunakan fitur *surface* yang digambar dalam bentuk balok yang dibuat mengelilingi model atau lambung kapal.

4. *Meshing*

Meshing merupakan proses pembagian *geometry* yang menjadi elemen-elemen atau disebut *cells* dan *node-node* yang lebih kecil. Pengujian dengan *software* CFD, pada setiap elemen tersebut akan diberikan perhitungan oleh *software* CFD. Lamanya proses *meshing* tergantung pada ukuran *meshing* dan jumlah elemen yang dihasilkan, semakin kecil ukuran *meshing* dan semakin banyak jumlah elemennya, maka akan semakin lama proses durasi *meshing*. Dengan ukuran *mesh* jumlah elemen optimum tersebut, *mesh* yang dihasilkan berukuran yang sangat kecil dan sangat rapat, akan memberikan hasil yang optimum dan meningkatkan ketelitian ketika dilakukan simulasi.

5. *Running*

Pada tahap ini pada pengujian model akan dilakukan dengan memberikan parameter yang digunakan. Parameter yang diantaranya kondisi aliran, jenis fluida yang akan digunakan, jenis aliran, kondisi batas geometri, kondisi kapal, kondisi gerak kapal, *variable control* serta hasil simulasi yang mendefinisikan mengenai jumlah dari *time step* dan periode gerakan kapal yang digunakan, proses *running* simulasi ini merupakan perhitungan data secara komputasi oleh komputer.

6. Hasil simulasi model

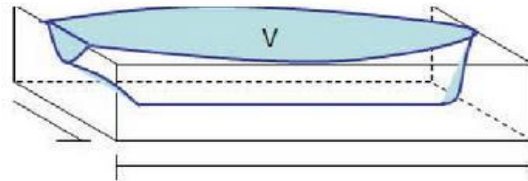
Model yang sudah disimulasikan akan menghasilkan data berupa nilai tahanan kapal pada setiap model kapal yang telah dibuat.

2.3 Parameter penelitian

Parameter pada penelitian ini adalah memodifikasi lambung kapal dengan tiga variasi lambung yaitu modifikasi lambung bagian haluan, modifikasi lambung bagian buritan dan modifikasi kombinasi antara haluan dan buritan kapal. Memodifikasi lambung dengan merubah salah satu parameter kapal dengan metode yang sudah ditentukan. Parameter yang tetap dan parameter yang berubah pada kapal adalah sebagai berikut :

- a) Parameter tetap
 - *Length overall all*
 - *Breadth*
 - *Depth*
 - *Draft*
 - *Displacement*
- b) Parameter peubah
 - *Coefficient block (Cb)*

Coeffisien block kapal adalah parameter pada kapal yang menggambarkan volume bawah air dari lambung kapal, relatif terhadap blok segi empat sama panjang, lebar dan kedalaman pada kapal tersebut. *Coefficient block* dihitung dengan membagi volume bawah air dari lambung kapal oleh volume blok kapal. *Coefficient block* kapal ditandai dengan simbol 'Cb' yang memberikan informasi tentang bentuk dan karakteristik dari lambung kapal yang mempengaruhi hambatan kapal dan seperti hidrodinamika lainnya.



Gambar 3. *Coefficient block (Cb)* [8]

2.4 Hambatan total kapal

Hambatan total kapal adalah sebuah gaya atau aliran yang bergerak pada lambung kapal dengan melawan arah gerak kapal. Besarnya hambatan total kapal dapat dipengaruhi oleh kecepatan kapal saat berlayar, hambatan total kapal akan mengalami kenaikan dengan seiringnya bertambahnya kecepatan kapal tersebut, pada kecepatan tertentu hambatan akan sangat besar pada kenaikan kecepatan yang tidak signifikan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hambatan total pada kapal yang diantaranya, hambatan gelombang, hambatan gesek, hambatan viskositas, dan hambatan angin [9]. Berikut rumus hambatan total kapal pada persamaan sebagai berikut. :

$$R_t = R_f + R_w + R_a \quad [9]$$

Dimana :

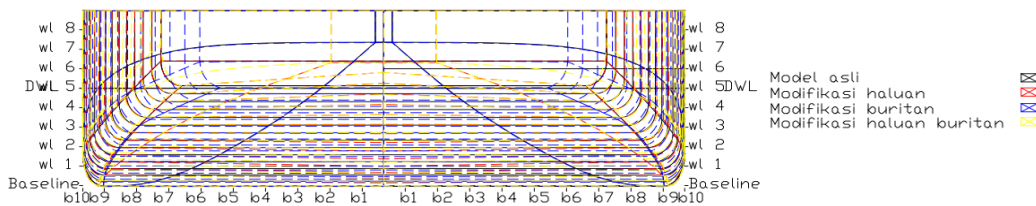
- R_t = Hambatan total kapal
- R_f = Hambatan viskos
- R_w = Hambatan gelombang kapal
- R_a = Hambatan udara

3. Analisis Data dan Pembahasan

3.1 Modifikasi lambung kapal

Pada penelitian ini analisis dilakukan pada empat variasi model kapal *Self Propelled Barge*, dengan beberapa variasi modifikasi sebagai berikut :

- Tanpa modifikasi, mempunyai koefisien blok kapal sebesar 0,892 dengan *surface area* 1807,41 m²
- Modifikasi haluan, mempunyai koefisien blok kapal sebesar 0,875 dengan *surface area* 1726,32 m²
- Modifikasi buritan, mempunyai koefisien blok kapal sebesar 0,876 dengan *surface area* 1807,21 m²
- Modifikasi haluan buritan, mempunyai koefisien blok kapal sebesar 0,873 dengan *surface area* 1665,74 m²



Gambar 4. *Body plan* lambung asli dan lambung modifikasi.

Gambar 4 menunjukkan bentuk lambung asli dengan bentuk lambung yang sudah dimodifikasi, lambung model asli dengan C_b kapal sebesar 0,892, lambung dengan modifikasi bagian haluan dengan C_b sebesar 0,875, lambung dengan modifikasi bagian buritan dengan C_b kapal sebesar 0,876, dan lambung dengan modifikasi bagian haluan buritan dengan C_b sebesar 0,873.

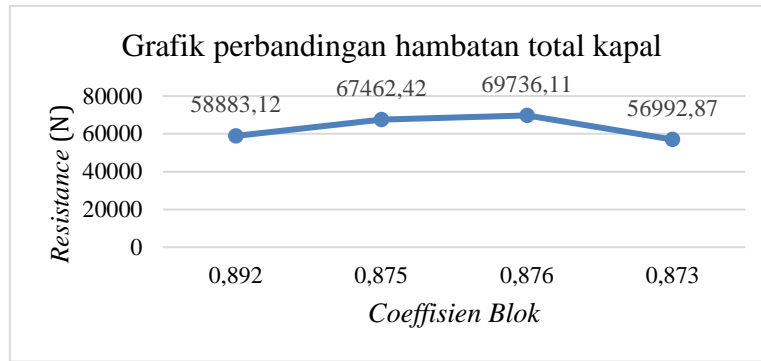
3.2 Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)

Dari hasil hambatan total kapal yang dianalisa berdasarkan nilai grafik pada gaya-gaya yang bekerja pada kapal, nilai grafik ini menyatakan *conergens* atau tidaknya hasil simulasi yang dilakukan, hasil simulasi yang layak atau dikatakan berhasil memiliki grafik yang lurus pada bagian akhir dari grafik tersebut. Berikut hasil analisis hambatan total dan grafik hasil simulasi kapal *Self Propelled Barge* dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. Data perbandingan hasil simulasi CFD

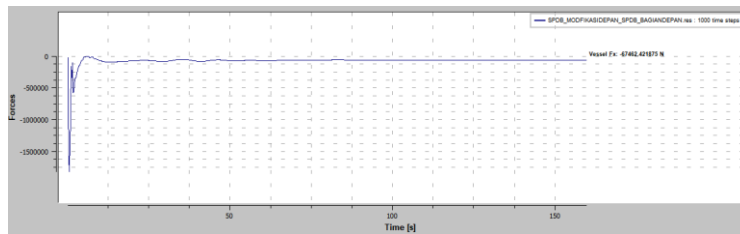
| Model | Coefisien blok | Resistance |
|---------------------------|----------------|------------|
| Tanpa modifikasi | 0,892 | 58883,12 |
| Modifikasi Haluan | 0,875 | 67462,42 |
| Modifikasi buritan | 0,876 | 69736,11 |
| Modifikasi haluan buritan | 0,873 | 56992,87 |

Tabel 4 menunjukkan data perbandingan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamic* kapal *Self Propelled Barge*. Model tanpa modifikasi dengan C_b 0,892, memiliki *resistance* sebesar 58883,12 N, model modifikasi haluan dengan C_b 0,875, memiliki *resistance* sebesar 67462,42 N, model modifikasi buritan dengan C_b 0,876, memiliki *resistance* sebesar 69736,11N, dan model modifikasi haluan buritan dengan C_b 0,873, memiliki *resistance* sebesar 56992,87 N.



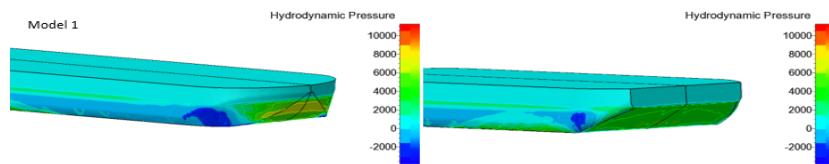
Gambar 5. Grafik perbandingan Cb vs Resistance

Gambar 5 menunjukkan hasil perbandingan antara Cb dengan *resistance* kapal, grafik tersebut dapat dilihat bahwa Cb kapal 0,892 didapatkan sebesar 58883,12 N, pada Cb 0,875 mengalami kenaikan *resistance* kapal sebesar 14,57 % dengan *resistance* sebesar 67462,42 N, dilanjutkan Cb kapal 0,876 mengalami kenaikan sebesar 15,52 % dengan *resistance* sebesar 69736,11 N, dan pada Cb 0,873 mengalami penurunan *resistance* kapal sebesar 22,36 % dengan *resistance* sebesar 56992,87 N.

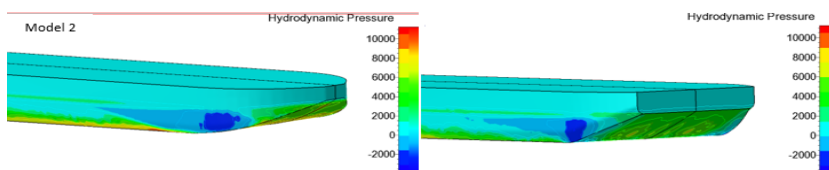


Gambar 6. Contoh garfik *convergens* hasil simulasi CFD

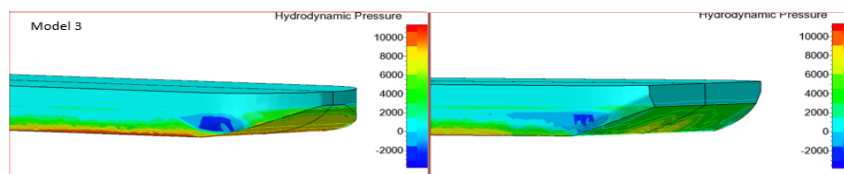
Pada gambar 6 menunjukkan salah satu contoh grafik dari hasil simulasi pada penelitian ini, grafik ini menyatakan *convergens* atau tidaknya hasil simulasi yang dilakukan, hasil simulasi yang layak atau dikatakan berhasil memiliki grafik yang lurus pada bagian akhir dari grafik tersebut.



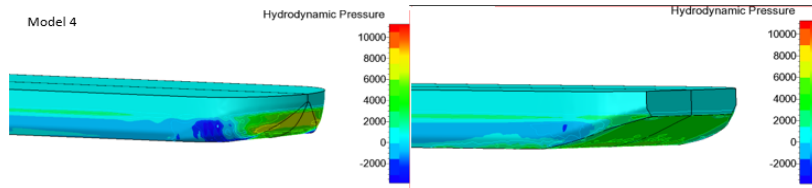
Gambar 7. Hasil simulasi *hydrodynamic pressure* model asli



Gambar 8. Hasil simulasi *hydrodynamic pressure* modifikasi haluan

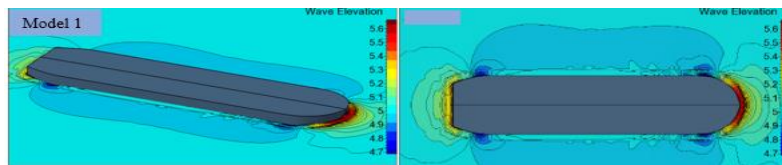


Gambar 9. Hasil simulasi *hydrodynamic pressure* modifikasi buritan

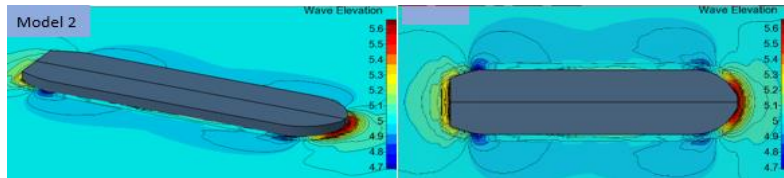


Gambar 10. Hasil simulasi *hydrodynamic pressure* modifikasi haluan buritan

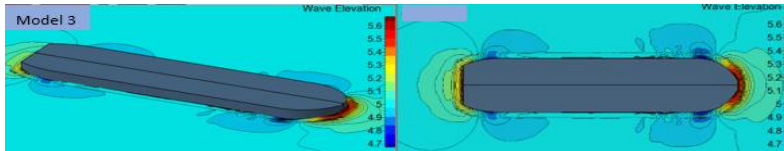
Gambar 7-10 menunjukkan data hasil simulasi CFD pada kapal *Self Propelled Barge*, hasil simulasi yang di dapatkan yaitu pada tekanan aliran fluida pada kapal atau disebut *Hydrodynamic Pressure*. *Pressure* pada kapal lambung asli tertinggi 8802,13 n/m² dan terendah -8485,28 n/m², lambung kapal pada modifikasi haluan memiliki *pressure* tertinggi 11235,2 n/m² dan terendah -3826,49 n/m². lambung kapal modifikasi buritan memiliki *pressure* tertinggi 11986,4 n/m² dan terendah -4530,84 n/m², dan pada lambung kapal modifikasi haluan buritan memiliki *pressure* tertinggi 8807,61 n/m² dan terendah -7711,23 n/m².



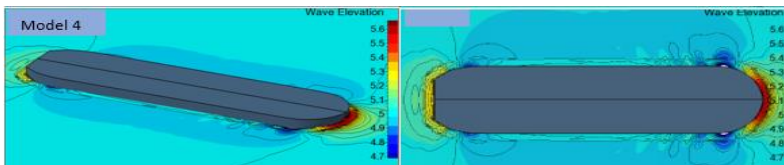
Gambar 11. Hasil simulasi pola gelombang pada kecepatan 3,6 m/s pada model asli



Gambar 12. Hasil simulasi pola gelombang pada kecepatan 3,6 m/s pada modifikasi haluan

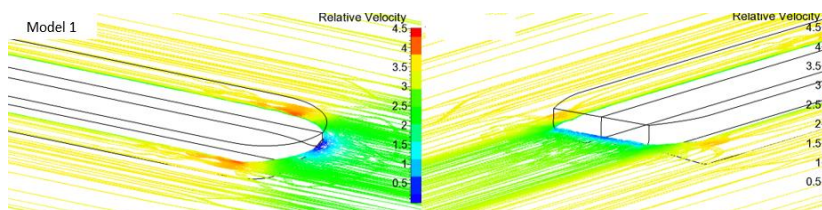


Gambar 13. Hasil simulasi pola gelombang pada kecepatan 3,6 m/s pada modifikasi buritan

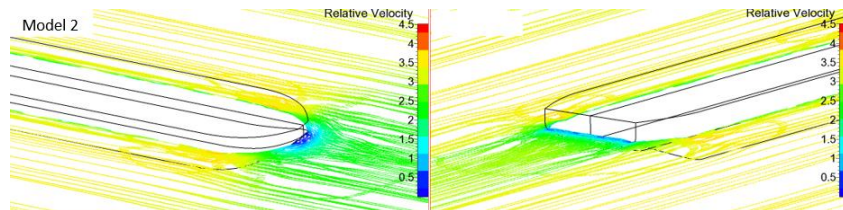


Gambar 14. Hasil simulasi pola gelombang pada kecepatan 3,6 m/s pada modifikasi haluan buritan

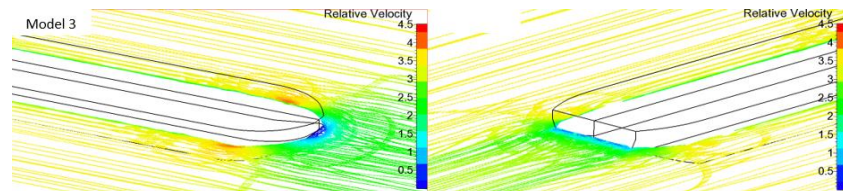
Gambar 11-14 menunjukkan hasil simulasi *wave elevation* kapal *Self Propelled Barge*, hasil simulasi didapatkan kapal asli memiliki tinggi gelombang mencapai 5,664 meter, kapal dengan modifikasi haluan memiliki tinggi gelombang mencapai 5,683 meter, kapal dengan modifikasi buritan memiliki tinggi gelombang mencapai 5,670 meter, dan kapal dengan modifikasi haluan buritan memiliki tinggi gelombang mencapai 5,660 meter.



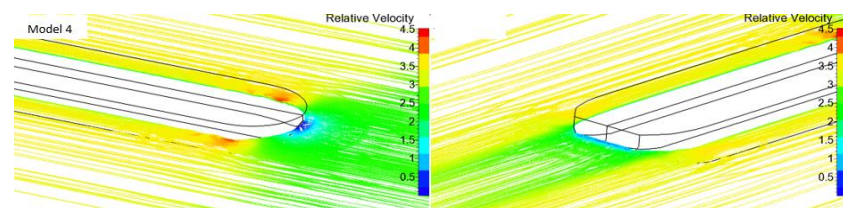
Gambar 15. Hasil simulasi *relative velocity* model asli



Gambar 16. Hasil simulasi *relative velocity* modifikasi haluan



Gambar 17. Hasil simulasi *relative velocity* modifikasi buritan



Gambar 18. Hasil simulasi *relative velocity* modifikasi haluan buritan

Gambar 15-18 menampilkan hasil pemodelan menggunakan CFD pada hasil sebelum modifikasi dan sesudah modifikasi, pada kondisi model 1 yang mana kecepatan alirannya 2,5 m/s, pada model 2 yaitu modifikasi bagian haluan terdapat kecepatan aliran 1,5 m/s, pada model 3 yaitu modifikasi di bagian buritan terdapat kecepatan aliran 3 m/s dan pada model 4 yaitu modifikasi bagian haluan buritan terdapat kecepatan aliran 2,9 m/s pada bagian yang dimodifikasi terdapat memperlambat kecepatan kapal, model sebelum modifikasi 1 sebesar 0,5 m/s, model 2 sebesar 1 m/s model 3 sebesar 1 m/s, dan model 4 sebesar 1 m/s.

Dari hasil simulasi kapal didapatkan perbandingan hambatan total kapal dari model asli dengan hasil modifikasi pada lambung kapal dengan parameter C_b kapal. Karakteristik lambung yang memiliki tahanan yang optimal adalah, bentuk lambung yang hidrodinamis karena memiliki bentuk yang dapat mengurangi resistansi air saat bergerak. Untuk mengurangi resistansi atau hambatan sering kali membuat desain lambung yang lancip di bagian depan atau haluan lambung, dan merampingkan bagian belakang lambung atau biasa disebut buritan lambung. Hasil simulasi didapatkan lambung kapal yang memiliki tahanan kapal yang paling kecil yaitu pada modifikasi haluan dan buritan kapal dengan tahanan total kapal sebesar 56992,87 N, kecepatan aliran sebesar 3 m/s, dan C_b kapal 0,873.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis hambatan total kapal *Self Propelled Barge* 15000 Dwt, dengan modifikasi lambung pada bagian haluan, buritan, dan bagian haluan buritan dengan merubah salah satu parameter pada kapal yaitu koefisien blok sebesar $\pm 5\%$. Pada bagian haluan kapal yang dimodifikasi mendapatkan koefisien blok kapal sebesar 0,875, bagian buritan kapal sebesar 0,876, bagian haluan buritan kapal sebesar 0,873, dan pada model asli kapal memiliki koefisien blok kapal sebesar 0,892. Analisis lambung kapal menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD), dengan hasil yang didapatkan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu mencari nilai hambatan kapal dan menentukan lambung kapal yang paling optimal dari hasil modifikasi lambung kapal yang telah dianalisis. Analisis lambung kapal dengan mendapatkan hasil hambatan kapal pada kecepatan kapal 3,6 m/s, dengan model asli sebesar 58883,12 N dan WSA kapal 1807,41 m², modifikasi di bagian haluan nilai hambatan total kapal sebesar 67462,42 N dan WSA kapal 1726,32 m², modifikasi di bagian buritan nilai hambatan total kapal sebesar 69736,11 N dan WSA kapal 1807,21 m², dan modifikasi di bagian haluan buritan kapal nilai hambatan total kapal sebesar 56992,87 N dan WSA kapal 1665,74 N. Berdasarkan hasil analisis lambung kapal dapat ditentukan lambung yang paling optimal dengan hambatan terkecil, yaitu pada hasil modifikasi lambung di bagian modifikasi haluan buritan kapal.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Yasim, dan Abdul Ghofur, and B. Teknologi Hidrodinamika -BPPT, “STUDI VARIASI MODEL SKEG BERDASARKAN TAHANAN DAN POLA ALIRAN YANG MELEWATI LAMBUNG BARGE BERPENGGERAK SENDIRI-Kasus pada Desain Wahana Pembongkaran ALPO-Study of Skeg Models Variation Based on Resistance and Flow Patternson the Hull of Self Propulsion Barge,” 2018.
- [2] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion : Practical Estimation of Ship Propulsive Power*. Cambridge University Press, 2011.
- [3] Rohmadhana, “ANALISIS ALTERNATIF HULL FORM SELF-PROPELLED BARGE UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA HIDRODINAMIKA.”
- [4] A. Baidowi and W. D. Aryawan, “PENGEMBANGAN SERIES BENTUK LAMBUNG SELF-PROPELLED BARGE.”
- [5] D. Chrismianto, B. Arswendo, and J. T. Perkapalan, “PENGARUH VARIASI BENTUK BURITAN KAPAL TERHADAP HAMBATAN TOTAL MENGGUNAKAN METODE CFD,” 2014.
- [6] J. F. Douglas, *Fluid mechanics*. Pearson/Prentice Hall, 2005.
- [7] “ITTC-Recommended Procedures and Guidelines Uncertainty Analysis in CFD Verification and Validation Methodology and Procedures,” 2008.
- [8] M. Fathonah Muvariz *et al.*, “STUDI PERHITUNGAN TAHANAN KAPAL KONTAINER 8500 DWT,” 2019. [Online]. Available: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>,<https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>
- [9] “ANALISIS ALTERNATIF HULL FORM SELF-PROPELLED BARGE UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA HIDRODINAMIKA.”