

# Kajian Modifikasi Bentuk Buritan Kapal Polbeng 2 Menggunakan Analisa Numerik

Muhammad Helmi\*, Edy Haryanto, Fahendi Roher, Fauzi Hanif, Ali Rahman Hakim

Program Studi Teknik Perkapalan, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau

\*Koresponden email: helmi@polbeng.ac.id

Diterima: 25 Desember 2025

Disetujui: 13 Januari 2026

## Abstract

This study aims to enhance the performance of the Polbeng 2 ship, which has experienced a reduction in speed due to increased hydrodynamic resistance at the stern. The existing stern condition shows turbulent flow, which disrupts the fluid flow behind the ship and thus impacts its performance when operating at medium speeds. To address this issue, the shape of the stern was modified by creating several models based on the initial design. Numerical analysis simulations were carried out at the same ship speed for each model. The performance of each stern model was then compared based on its hydrodynamic resistance value and the characteristics of the fluid flow in the stern area (wake flow). The study's results are expected to demonstrate the impact of stern shape modifications on reducing drag and enhancing ship performance. These findings are expected to serve as a technical reference for Bengkalis State Polytechnic in optimising the function of the Polbeng 2 ship for use as a learning and research facility in marine engineering.

**Keywords:** *polbeng ship, turbulent, fluid flow, wave resistance, hydrodynamics, wake flow*

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja Kapal *Polbeng 2* yang mengalami penurunan kecepatan akibat meningkatnya hambatan hidrodinamika pada bagian buritan. Kondisi buritan eksisting menunjukkan adanya aliran turbulen yang mengganggu aliran fluida di belakang kapal, sehingga berdampak pada menurunnya performa kapal saat beroperasi pada kecepatan menengah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan modifikasi bentuk buritan kapal dengan memvariasikan beberapa model buritan berdasarkan desain awal. Analisis dilakukan menggunakan simulasi analisa numerik dengan kecepatan kapal yang sama untuk setiap model. Kinerja masing-masing model buritan dibandingkan berdasarkan nilai tahanan hidrodinamika dan karakteristik aliran fluida di area buritan (*wake flow*). Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan pengaruh perubahan bentuk buritan terhadap penurunan hambatan dan peningkatan performa kapal. Temuan ini diharapkan menjadi acuan teknis bagi Politeknik Negeri Bengkalis dalam mengoptimalkan fungsi Kapal *Polbeng 2* sebagai sarana pembelajaran dan penelitian di bidang teknik perkapalan.

**Kata Kunci:** *kapal polbeng, turbulen, aliran fluida, tahanan gelombang, hidrodinamika, wake flow*

## 1. Pendahuluan

Kapal *Polbeng 2* yang dikembangkan oleh Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Bengkalis pada tahun 2023 memiliki peran strategis sebagai sarana pendukung kegiatan praktikum, penelitian, dan transportasi laut bagi sivitas akademika. Sebagai kapal multifungsi, *Polbeng 2* dirancang untuk merepresentasikan kondisi operasi nyata sehingga mahasiswa dapat mengaplikasikan teori hidrodinamika, stabilitas, dan sistem propulsi secara langsung dalam kegiatan pembelajaran berbasis praktik. Keberadaan kapal ini menjadi elemen penting dalam mendukung peningkatan kompetensi lulusan di bidang teknik perkapalan. Namun demikian, setelah beroperasi selama kurang lebih dua tahun, hasil inspeksi dan pemeliharaan menunjukkan adanya penurunan performa operasional kapal. Penurunan tersebut ditandai dengan ketidakstabilan daya dorong mesin utama serta indikasi kegagalan struktural pada bagian buritan kapal. Kondisi buritan yang tidak ideal berdampak langsung terhadap pola aliran air di belakang kapal (*wake flow*), yang selanjutnya berpengaruh terhadap peningkatan tahanan hidrodinamika dan penurunan kecepatan maksimum kapal. Situasi ini tidak hanya mengganggu efektivitas pelaksanaan praktikum, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan selama operasi kapal berlangsung [1].

Dari sisi hidrodinamika, deformasi dan keausan pada buritan memperburuk karakteristik aliran fluida di area belakang lambung. Aliran yang tidak teratur menyebabkan meningkatnya koefisien tahanan gelombang dan menurunkan efisiensi propulsi kapal [2]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya intervensi

teknis berupa optimalisasi desain buritan agar aliran fluida menjadi lebih terarah, drag hidrodinamik berkurang, serta performa propulsi dapat ditingkatkan secara keseluruhan [3].

Selain faktor desain, kondisi perairan di sekitar Bengkalis memiliki karakteristik lingkungan yang cukup kompleks, meliputi pengaruh arus pasang surut, perbedaan densitas air tawar dan payau, serta gelombang pantai yang fluktuatif. Profil buritan *Polbeng 2* pada desain awal lebih ditujukan untuk perairan relatif tenang, sehingga belum sepenuhnya optimal ketika dioperasikan pada kondisi perairan lokal. Deformasi buritan akibat kelelahan material dan paparan gelombang secara berulang memperparah fenomena *stern squat* dan *slamming*, yang pada akhirnya meningkatkan tahanan gelombang secara signifikan pada kecepatan jelajah kapal [4][5]. Dari aspek mesin utama, data log operasional menunjukkan adanya penurunan efisiensi termal hingga sekitar 12% dibandingkan dengan spesifikasi pabrikan. Hasil pengujian lapangan mengindikasikan ketidakkonsistenan tekanan bahan bakar, keausan pada silinder, serta penurunan performa sistem pendinginan. Kondisi ini menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat hingga 8%, sehingga berdampak langsung pada kenaikan biaya operasional kapal [6][7]. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan parsial saja tidak cukup, dan diperlukan pendekatan terpadu yang mempertimbangkan interaksi antara kinerja mesin dan karakteristik hidrodinamika lambung, khususnya pada bagian buritan.

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa optimasi dan redesain buritan kapal melalui pendekatan numerik mampu menurunkan koefisien tahanan gelombang secara signifikan [8][9]. Namun, penerapan metode tersebut masih terbatas pada kapal penumpang atau kapal kerja tertentu, dan belum banyak diaplikasikan pada kapal multifungsi berukuran sedang seperti *Polbeng 2*, yang memiliki variasi muatan dan sarat berbeda sesuai kebutuhan praktikum. Selain itu, kajian yang mengintegrasikan perbaikan desain buritan dengan analisis pola aliran fluida secara simultan masih relatif terbatas, padahal pendekatan ini berpotensi memberikan peningkatan performa yang lebih optimal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menutup celah kajian yang ada dengan melakukan analisis hidrodinamika buritan eksisting menggunakan metode simulasi numerik, merancang ulang profil buritan berdasarkan hasil analisis tersebut, serta mengevaluasi perbandingan karakteristik aliran fluida antara desain awal dan desain hasil redesain. Analisis visualisasi aliran dan parameter hidrodinamika diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh perubahan bentuk buritan terhadap performa kapal. Dengan dukungan pendanaan PNBPN Tahun 2025, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi teknis dalam pengembangan dan pemeliharaan kapal *Polbeng 2*. Selain meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional kapal, hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi bahan ajar aplikatif bagi mahasiswa dalam memahami fenomena hidrodinamika kapal berbasis simulasi numerik. Lebih lanjut, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat peran Politeknik Negeri Bengkalis sebagai institusi vokasi unggulan dalam pengembangan riset dan inovasi di bidang teknologi perkapalan dan kemaritiman di Indonesia.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (applied research) dengan pendekatan kuantitatif dan analisa numerik, menggunakan simulasi numerik untuk menganalisis karakteristik aliran fluida dan tahanan hidrodinamika pada buritan kapal *Polbeng 2*. Metode ini dipilih karena mampu memvisualisasikan fenomena aliran fluida secara detail serta mengevaluasi pengaruh perubahan bentuk buritan terhadap performa hidrodinamika kapal dan metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kajian tentang aliran fluida kapal *Polbeng 2* di mulai dari penentuan di antaranya :

### a. Studi Literatur

Tahap awal dilakukan dengan mengkaji literatur yang relevan, meliputi:

- 1) Teori hidrodinamika kapal dan tahanan kapal
- 2) Karakteristik aliran fluida di daerah buritan (wake flow)
- 3) Konsep dan jenis desain buritan kapal
- 4) Metode simulasi analisa numerik dalam analisis kapal
- 5) Penelitian terdahulu terkait optimasi dan redesain buritan kapal

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh dasar teori serta menentukan parameter simulasi yang sesuai.

### b. Pengumpulan Data Kapal

pengumpulan data yang perlu merupakan data utama ukuran kapal, kecepatan kapal dan bentuk buritan kapal pada saat ini yang akan dilakukan modifikasi.

### c. Pemodelan Geometri Kapal

Pada tahap ini dilakukan:

- 1) Pembuatan model 3D kapal *Polbeng 2* dengan bentuk buritan eksisting

- 2) Penyederhanaan geometri tanpa menghilangkan karakteristik utama aliran
- 3) Penyesuaian model dengan kondisi simulasi analisa numerik

Model ini menjadi acuan awal untuk analisis hidrodinamika.

#### d. Simulasi Analisa Numerik Buritan Eksisting

Simulasi numerik dilakukan untuk menganalisis kondisi buritan awal dengan tahapan:

- 1) Penentuan domain fluida dan boundary condition
- 2) Pembuatan mesh (grid) di sekitar lambung dan buritan
- 3) Penentuan model turbulensi
- 4) Simulasi aliran fluida pada kecepatan operasi kapal

Hasil simulasi meliputi:

- 1) Pola aliran fluida (velocity contour dan streamline)
- 2) Distribusi tekanan pada buritan
- 3) Indikasi daerah turbulensi dan wake flow

#### f. Analisis Hasil Simulasi Eksisting

Hasil simulasi dianalisis untuk mengidentifikasi:

- 1) Area aliran tidak stabil di buritan
- 2) Sumber peningkatan tahanan hidrodinamika
- 3) Ketidakefisienan pola aliran fluida

Hasil analisis ini menjadi dasar untuk melakukan redesain buritan.

#### g. Redesain Bentuk Buritan

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan:

- 1) Modifikasi bentuk buritan menggunakan kombinasi bentuk buritan
- 2) Penyesuaian sudut, kontur, dan transisi buritan
- 3) Pembuatan model 3D buritan hasil redesain

Tujuan redesain adalah untuk memperbaiki pola aliran fluida dan mengurangi drag hidrodinamika.

#### h. Simulasi Analisa Numerik Buritan Redesain

Model buritan hasil redesain kemudian disimulasikan kembali dengan parameter yang sama seperti simulasi awal, agar hasil dapat dibandingkan secara objektif. Output simulasi meliputi:

- 1) Pola aliran fluida
- 2) Distribusi tekanan
- 3) Perubahan karakteristik wake flow

#### i. Perbandingan dan Evaluasi

Dilakukan perbandingan antara:

- 1) Buritan eksisting vs buritan redesain
- 2) Pola aliran fluida
- 3) Indikasi penurunan tahanan hidrodinamika

Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan efektivitas redesain buritan.

#### j. Kesimpulan dan Rekomendasi

Tahap akhir meliputi:

- 1) Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil simulasi dan analisis
- 2) Penyusunan rekomendasi teknis untuk pengembangan dan pemeliharaan kapal *Polbeng 2*
- 3) Penyusunan implikasi hasil penelitian sebagai bahan ajar dan referensi teknis

Untuk lebih jelas bisa melihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Flowchart penelitian

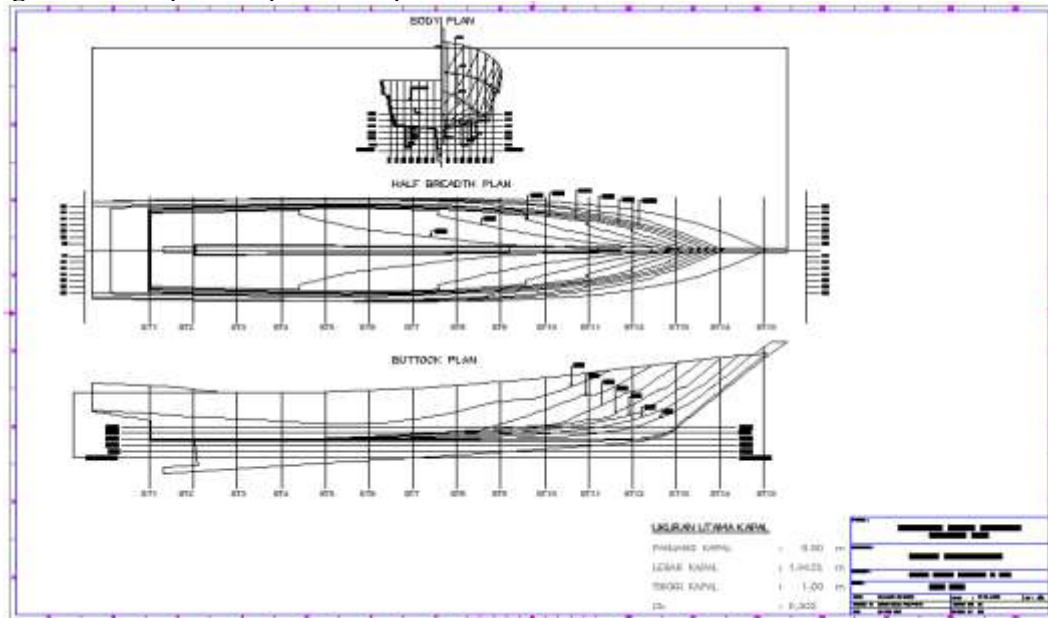
### 3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan pemodelan pada buritan kapal *Polbeng 2* terlebih dahulu penulis harus menampilkan ukuran utama kapal sebagai berikut di jelaskan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Dimensi ukuran utama kapal Polbeng 2.

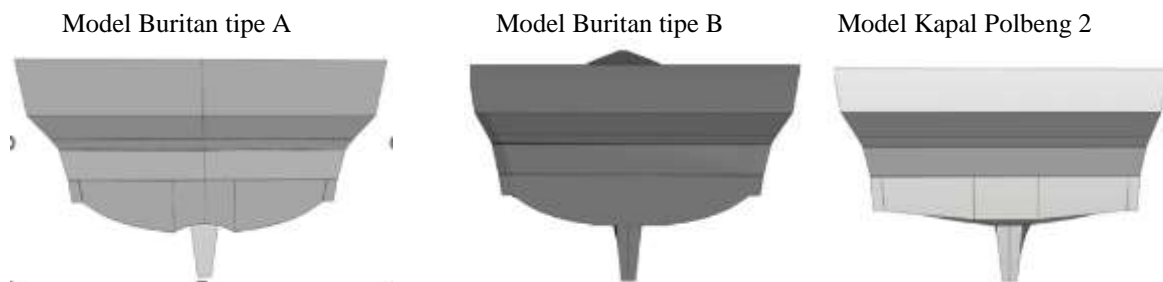
No.	Dimensi	Ukuran
1.	Panjang (LOA)	9,50 Meter
2.	Tinggi	1,00 Meter
3.	Lebar	1,663 Meter
4.	Sarat	0,405 Meter
5.	Coefisien Block (Cb)	0,302
6.	Kecepatan Kapal	15 Knot

Untuk gambar lines plane dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Lines plane kapal Polbeng 2

Pemodelan 3D bagian buritan kapal tentunya melibatkan gambar lines plane dan memodifikasi bentuk buritan kapal Polbeng 2 yang ada pada saat ini. Kemudian dilakukan perbandingan antara model yang buritan kapal Polbeng 2 saat ini dengan model modifikasi bentuk buritan kapal berbentuk model A dan model B. Untuk lebih jelas bentuk buritan kapal seperti terlihat pada **Gambar 3**.

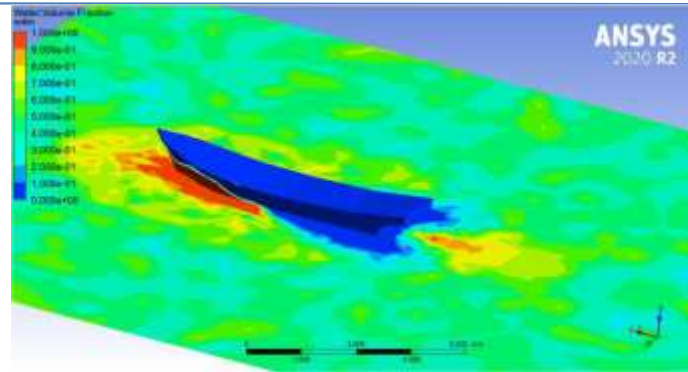


**Gambar 3.** Model buritan kapal

Berdasarkan bentuk-bentuk model pada **Gambar 3**, maka dapat ditentukan kajian tentang bentuk aliran fluida pada kapal dengan kecepatan yang sama yang dihasilkan dalam bentuk kajian analisa numerik yang menghasilkan bentuk gambar yang bisa dianalisa dimulai seperti dari :

#### 1. Model buritan kapal Polbeng 2

Analisa numerik pada model buritan kapal Polbeng 2 menghasilkan bentuk gambar yang bisa dianalisa seperti pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Hasil analisa numerik buritan kapal Polbeng 2

Berdasarkan analisa dari **Gambar 4** menunjukkan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 2** tentang nilai kecepatan velocity dengan froude number di setiap station.

**Tabel 2.** Hasil velocity dan froude number buritan kapal Polbeng 2

Profil Wake (m)		Velocity (M/S)	Froude Number
Station			
1	1	6.7858	0.843
2	2	6.6039	0.821
3	3	5.6832	0.706
4	4	5.5627	0.691
5	5	5.4705	0.680
6	6	7.2568	0.902
7	6.5	6.0412	0.751
8	6.7	6.5690	0.816
9	7	6.1416	0.763

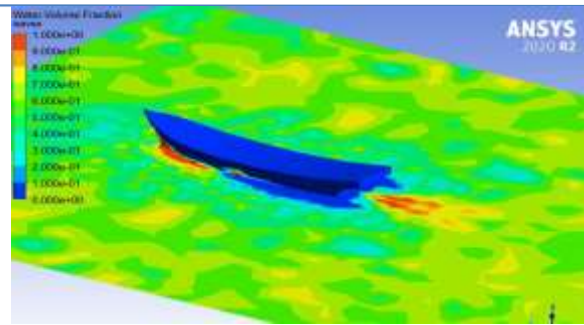
Hasil Analisa numerik berdasarkan **Gambar 4** dan **Tabel 2** menunjukkan hasil numeriknya dapat dijelaskan secara terperinci menunjukkan hasil simulasi hidrodinamika pada kondisi buritan lain (dapat merepresentasikan model buritan berbeda atau kondisi operasi tertentu). Data meliputi gaya hambat (drag), kecepatan aliran, tekanan maksimum, serta profil wake flow di belakang kapal. Secara umum, hasil pada tabel ini memperlihatkan peningkatan hambatan total yang cukup signifikan terlihat di Analisa gaya hambat (Drag) Aero-drag = 333,54723 N. Nilai aero-drag pada kondisi ini merupakan yang tertinggi [10][11]. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi bagian atas kapal dengan aliran udara meningkat, yang dapat disebabkan oleh perubahan trim kapal atau peningkatan area frontal yang terpapar aliran udara. Kemudian nilai Hydro-drag = 780,20655 N, Hydro-drag mengalami peningkatan cukup besar, menunjukkan bahwa interaksi lambung dan buritan dengan fluida air semakin tidak efisien dan total drag = 1113,75378 N, sehingga Total drag pada kondisi ini merupakan yang terbesar di antara seluruh kondisi simulasi. Hal ini berarti kapal membutuhkan daya mesin yang jauh lebih besar untuk mempertahankan kecepatan operasinya, sehingga efisiensi propulsi menjadi paling rendah pada konfigurasi ini [12]. Nilai ini mengindikasikan adanya:

- Aliran yang lebih turbulen di buritan
- Separasi aliran yang lebih luas
- Wake flow yang lebih kuat dan Panjang

## 2. Model Buritan Tipe A

Analisa numerik pada model buritan tipe A menghasilkan bentuk gambar yang bisa dianalisa seperti pada **Gambar 5**.





**Gambar 5.** Hasil Analisa Numerik model buritan tipe A

Berdasarkan analisa dari **Gambar 5** menunjukkan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 3** tentang nilai kecepatan velocity dengan froude number di setiap station.

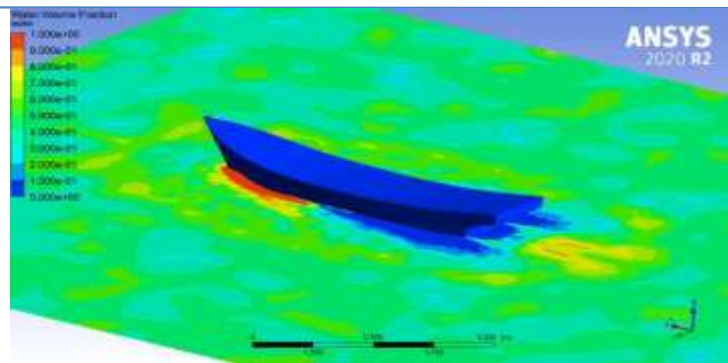
**Tabel 3.** Hasil velocity dan froude number buritan kapal model tipe A

Propil Wake (m)		Velocity (M/S)	Froude Number
Station			
1	1	7.3781	0.9169
2	2	5.8077	0.7219
3	3	5.3885	0.6698
4	4	5.4653	0.6793
5	5	5.9759	0.7428
6	6	6.0994	0.7581
7	6.5	6.0854	0.7564
8	6.7	6.3647	0.7911
9	7	6.6098	0.8216

Hasil Analisa numerik yang di tunjukkan pada **Gambar 5** dan **Tabel 3** ini menyajikan hasil simulasi numerik hidrodinamika pada Kapal *Polbeng 2* yang berfokus pada gaya hambat (drag), kecepatan aliran, tekanan, serta karakteristik wake flow di belakang kapal. Data ini digunakan untuk mengevaluasi performa buritan dan pengaruhnya terhadap efisiensi gerak kapal. Gaya Hambat (Drag) seperti ; Aero-drag = 294,39364 N Aero-drag merupakan gaya hambat yang disebabkan oleh interaksi antara lambung kapal bagian atas dengan udara. Nilai ini relatif lebih kecil dibandingkan hidro-drag karena densitas udara jauh lebih rendah dibandingkan air. Namun demikian, aero-drag tetap berkontribusi terhadap total hambatan kapal, khususnya pada kecepatan operasi menengah hingga tinggi dan Hydro-drag = 540,5048 N. Hydro-drag adalah gaya hambat utama yang berasal dari interaksi lambung kapal dengan fluida air, termasuk tahanan gesek, tahanan gelombang, dan tahanan tekanan. Nilai hidro-drag yang lebih besar menunjukkan bahwa desain lambung dan buritan sangat berpengaruh terhadap performa kapal, terutama pada daerah buritan yang menghasilkan wake flow, sehingga Total drag = 834,89844 N. Total drag merupakan penjumlahan dari aero-drag dan hydro-drag. Nilai ini merepresentasikan gaya total yang harus diatasi oleh sistem propulsi kapal untuk mempertahankan kecepatan operasi. Semakin besar nilai total drag, semakin besar pula daya mesin yang dibutuhkan [12].

### 3. Model Buritan Tipe B

Analisa numerik pada model buritan tipe B menghasilkan bentuk gambar yang bisa dianalisa seperti pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Hasil Analisa Numerik model buritan tipe B

Berdasarkan analisa dari **Gambar 6** menunjukkan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 4** tentang nilai kecepatan velocity dengan froude number di setiap station.

**Tabel 4.** Hasil velocity dan froude number buritan kapal model tipe B

Propil Wake (m)	Station	Velocity (M/S)	Froude Number
1	1	7.4829	0.930
2	2	6.1463	0.764
3	3	5.6918	0.707
4	4	5.5329	0.687
5	5	5.3423	0.664
6	6	5.6884	0.707
7	6.5	5.3924	0.670
8	6.7	5.4091	0.672
9	7	5.5056	0.684

Aero-drag : 291,95673 (n)  
Hydro-drag : 679,4922 (n)  
Total drag : 971,44893 (n)  
Velocity : 8,50725 m/s  
velocity wave local : 5,96718 m/s  
Pressure : max 104398 Pa

profil wake (m)	Station	velocity (m/s)	froude number
1	1	7,48299	0,930
2	2	6,14628	0,764
3	3	5,6918	0,707
4	4	5,53294	0,687
5	5	5,34228	0,664
6	6	5,68854	0,707
7	6,5	5,39244	0,670
8	6,7	5,40907	0,672
9	7	5,50563	0,684

Hasil Analisa numerik yang di tunjukkan pada **Gambar 6** dan **Tabel 4** ini menampilkan hasil simulasi hidrodinamika pada kondisi kecepatan operasi yang berbeda dibandingkan hasil simulasi numerik sebelumnya. Data mencakup gaya hambat (drag), kecepatan aliran, tekanan maksimum, serta profil wake flow di belakang buritan kapal. Tabel ini dapat merepresentasikan kondisi buritan lain (misalnya hasil pemodelan atau kondisi operasi berbeda). Analisis Gaya Hambat (Drag) seperti, Aero-drag = 291,95673 N; Nilai hambatan udara relatif hampir sama dengan kondisi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan yang terjadi pada kapal tidak signifikan memengaruhi bagian atas kapal, dan aero-drag bukan faktor dominan dalam perubahan performa dan Hydro-drag = 679,4922 N; Nilai hydro-drag mengalami peningkatan cukup signifikan, yang menandakan bahwa interaksi lambung dan buritan dengan air semakin tidak efisien serta menghasilkan Total drag = 971,44893 N. Total drag meningkat cukup besar dibandingkan kondisi sebelumnya. Artinya, kapal membutuhkan daya mesin yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan operasinya. Kondisi ini menunjukkan bahwa performa hidrodinamika pada konfigurasi buritan atau kondisi ini lebih buruk dibandingkan kondisi awal [13]. Peningkatan ini biasanya disebabkan oleh:

- Aliran yang lebih turbulen di buritan
- Separasi aliran yang lebih luas
- Wake flow yang lebih besar dan tidak stabil

#### 4. Kesimpulan

- Bentuk buritan kapal terbukti berpengaruh signifikan terhadap karakteristik hidrodinamika Kapal *Polbeng 2*, khususnya terhadap nilai hambatan total dan pola aliran fluida di daerah wake.
- Kondisi buritan tipe A menunjukkan performa hidrodinamika paling optimal, ditandai dengan nilai hambatan total terendah serta pola aliran wake yang lebih stabil dan cepat pulih dibandingkan kondisi buritan lainnya.
- Kondisi buritan tipe B dan model kapal *Polbeng 2* menghasilkan peningkatan hambatan hidrodinamika dan ketidakstabilan aliran wake, dengan kondisi model kapal *Polbeng 2* menunjukkan performa terburuk akibat fluktuasi aliran yang tinggi dan kebutuhan daya mesin yang lebih besar.

4. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi desain buritan sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi propulsi dan kinerja operasional Kapal Polbeng 2, serta sebagai dasar teknis dalam pengembangan dan pemeliharaan kapal di Politeknik Negeri Bengkalis.

## 5. Referensi

- [1] Ugoji, Kelechi U., et al. "Improving the operational output of marine vessel main engine system through cost reduction using reliability." *International Journal of Engineering and Modern Technology (IJEMT)* 8.2 (2022): 36-52.
- [2] S. Tripathi and R. Vijayakumar, "Numerical and experimental study of stern flaps impact on resistance and propulsion of high-speed displacement ships," *Ocean Engineering*, vol. 292, p. 116483, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.116483.
- [3] A. Windyandari, S. Sugeng, M. Ridwan, and A. K. Yusim, "Study on resistance performance of hexagonal hull form with variation of angle of attack, deadrise, and stern for flat-sided catamaran vessel," *Curved and Layered Structures*, vol. 11, no. 1, Nov. 2024, doi: 10.1515/cls-2024-0016.
- [4] K.-H. Pferdekämper and A. Bekker, "Investigation of vessel slamming and fatigue using a full-scale test sequence," *Applied Ocean Research*, vol. 144, p. 103883, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.apor.2024.103883.
- [5] H. Li, J. Zou, B. Deng, R. Liu, and S. Sun, "Experimental study of stern slamming and global response of a large cruise ship in regular waves," *Marine Structures*, vol. 86, p. 103294, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.marstruc.2022.103294.
- [6] T. G. Tran and H. C. Kim, "New approaches to assess and improve ship operating performance," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 16, p. 100607, 2024, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2024.100607.
- [7] K. U. Ugoji, O. E. Isaac, B. Nkoi, and W.-N. O.K, "Improving the Operational Output of Marine Vessel MainEngine System through Cost Reduction using Reliability Technique," *International Journal Of Engineering And Modern Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 36–52, Jul. 2022, doi: 10.56201/ijemt.v8.no2.2022.pg36.52.
- [8] O. Osmanov and E. Aksu, "Impact of Tunnel Stern Design on Hydrodynamic Characteristics of Catamarans," *Polish Maritime Research*, vol. 32, no. 1, pp. 31–43, Mar. 2025, doi: 10.2478/pomr-2025-0003.
- [9] C.-Y. Lau, J. Ali-Lavroff, D. S. Holloway, J. A. Mehr, and A. Dashtimanesh, "A novel CFD approach for the prediction of ride control system response on wave-piercing catamaran in calm water," *Ocean Engineering*, vol. 286, p. 115494, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115494.
- [10] J. Li, L. Ma, D. Chen, Y. Qi, T. Bai, and G. Pan, "Comparative Study of Hydrodynamic Performance of Submerged Water Jet Propeller and Conventional Propeller Under Multiple Operating Conditions," *Machines*, vol. 13, no. 2, p. 147, Feb. 2025, doi: 10.3390/machines13020147.
- [11] S. Nugroho, B. Nugroho, E. Fusil, and R. Chin, "Effects of varied roughness coverage area on drag in a turbulent boundary layer using numerical simulations," *Ocean Engineering*, vol. 287, p. 115721, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115721.
- [12] Q. Zeng, R. Hekkenberg, C. Thill, and H. Hopman, "Scale effects on the wave-making resistance of ships sailing in shallow water," *Ocean Engineering*, vol. 212, p. 107654, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107654.
- [13] S. Q. Zaheer and P. J. Disimile, "Simulation of SFS2 using Embedded LES: Part-II Understanding the asymmetry in bistable airwake at zero yaw," *Ocean Engineering*, vol. 272, p. 113838, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.113838.