

APLIKASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC PADA ANALISIS DAMPAK BULBOUS BOW TERHADAP HAMBATAN KAPAL BANTU CAIR MINYAK

Application of Computational Fluid Dynamic in Analyzing The Impact of Bulbous Bow on Resistance of Auxiliary Oil Vessel

Alina Rizka Maulidah¹, Tri Karyono², Priyambodo Nur Ardi Nugroho^{2*}, Dyah Arum Wulandari³

¹ Program Studi D4 Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Surabaya, Indonesia

² Program Studi D3 Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Surabaya, Indonesia

³ Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta 13220, Indonesia

* Email Korespondensi : priyambodo@ppns.ac.id

Artikel Info - : Diterima : 10-03-2024; Direvisi : 28-03-2024; Disetujui : 02-05-2024

ABSTRAK

Kapal bantu cair minyak (BCM) adalah kombinasi kapal tanker dan kontainer yang dirancang untuk mencapai kecepatan tinggi dengan *displacement* yang sama, sehingga analisis desain diperlukan untuk mengoptimalkan hambatan lambung kapal. Untuk mencapai tujuan ini, lambung kapal dilengkapi dengan *bulbous bow*. Studi ini menggunakan metode *computational fluid dynamic* (CFD) dengan aplikasi NUMECA untuk membandingkan hambatan kapal BCM-3 dengan lambung konvensional dan kapal BCM-4 dengan lambung *bulbous bow*. Kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 16 knot, 17 knot, dan 18 knot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *bulbous bow* pada kapal BCM-4 menghasilkan hambatan total yang lebih rendah; pada 16 knot, nilai hambatannya 339,807 N, pada 17 knot, dan pada 18 knot, nilai hambatannya 374,558 N.

Kata Kunci: Kapal Bantu Cair Minyak, *Computational Fluid Dynamic*, Hambatan, *Bulbous bow*

ABSTRACT

The concept of oil liquid auxiliary vessel combines tanker and container ship features, designed to achieve high speed while maintaining the same displacement, necessitating design analysis to optimize hull resistance. One approach used is the addition of a bulbous bow to the hull. This study compares the resistance between the conventional hull of BCM-3 and the bulbous bow-equipped hull of BCM-4 using computational fluid dynamic (CFD) method with NUMECA. Speed variations used were 16 knots, 17 knots, and 18 knots. The research results show that the use of a bulbous bow on BCM-4 yields more optimal total resistance, with respective resistance values of 339.807 N at 16 knots, 374.558 N at 17 knots, and 497.606 N at 18 knots.

Keywords: Oil Liquid Auxiliary Vessel, *Computational Fluid Dynamic*, Resistance, *Bulbous Bow*

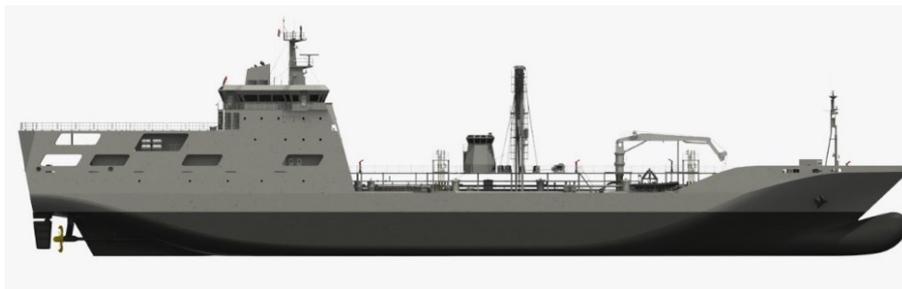
1. Pendahuluan

Saat ini, kebutuhan akan kapal bantu untuk mendukung operasi armada kapal perang yang lebih cepat mulai menjadi pertimbangan penting dalam aspek waktu ekonomis selama operasi tempur [1]. Untuk mengatasi permintaan ini, penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi, terutama dalam

bidang desain kapal, di mana kapal diharapkan memiliki kemampuan transportasi yang efisien waktu dengan kecepatan tinggi [2]. Dalam praktiknya, setiap peningkatan kecepatan kapal perang selama operasi di laut mengakibatkan peningkatan relatif dalam hambatan akibat gerakan kapal tersebut [3]. Peningkatan hambatan ini memerlukan peningkatan yang sesuai dalam tenaga mesin dan konversi tenaga pada baling-baling [4]. Dalam perencanaan desain kapal, inovasi penting untuk menguji berbagai bentuk badan kapal, dengan penelitian ini berfokus pada konfigurasi bentuk badan kapal dan korelasinya dengan gaya hidrodinamis.



Gambar 1. Kapal BCM-3 (tanpa *Bulbous Bow*)



Gambar 2. Kapal BCM-4 (dengan *Bulbous Bow*)

Kapal bantu cair minyak (BCM) merupakan bagian dari armada Tentara Nasional Indonesia-Angkatan Laut (TNI-AL) yang bertugas mendukung operasi kapal perang di Laut Natuna Utara [5]. Kapal ini membantu kapal-kapal TNI-AL dengan pengawalan dan penjagaan, memastikan agar tetap berada di laut tanpa harus kembali ke pangkalan untuk mengangkut kebutuhan lainnya atau mengisi bahan bakar. Desain kapal BCM mengambil inspirasi dari kapal kontainer karena kapal ini adalah kapal tanker yang memerlukan kecepatan tinggi [6]. Dilengkapi dengan sistem *replenishment at sea* (RAS), kapal ini dapat mentransfer berbagai jenis bahan ke kapal perang lainnya dengan cara: *solids transfer*, yaitu mengirimkan barang-barang padat dengan kapasitas angkut 2 T pada jarak 24-55 m. Cara lainnya adalah *liquid transfer* yaitu menyalurkan bahan bakar menggunakan pipa/selang dengan jarak 24-55 m [7]. Dengan konsep desain ini, kapal BCM dapat memenuhi persyaratan sebagai kapal bantu yang menyediakan kebutuhan bagi kapal-kapal TNI-AL [5].

Berdasarkan hal tersebut di atas, diperlukan analisis hambatan terhadap bentuk badan kapal baik secara umum maupun dengan penambahan *bulbous bow*. *Bulbous bow* adalah bagian dari kapal yang terletak di bagian haluan [8]. Penggunaan *bulbous bow* ini mempengaruhi aliran air di sekitar lambung kapal. Penjelasan tentang efek aliran air yang terjadi di sekitar kapal adalah bahwa air dipaksa mengalir di atas *bulbous bow* sehingga membantu memecah gelombang air yang menghalangi di depannya [9]. Menurut Kracht, terdapat tiga jenis bentuk *bulbous bow* yaitu Δ , O, dan V [10]. Ketiga bentuk ini dilihat dari garis tegak lurus ke depan (*forward perpendicular*). Dalam perencanaan desain *bulbous bow*, terdapat dimensi dan beberapa parameter desain, termasuk tiga parameter linear dan non-linear:

Melalui hasil penelitian ini, diharapkan perancang dapat memperbarui dan mengoptimalkan desain bentuk badan kapal. Analisis hambatan dilakukan menggunakan program berbasis CFD.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan dalam proses perancangan kapal bantu cair minyak dengan kendala yang masih dapat dikendalikan atau diatasi oleh perancang. Fokus penelitian adalah untuk menentukan dampak dari penambahan *bulbous bow* terhadap besarnya hambatan, dengan mempertimbangkan sarat maksimum kapal dan tiga variasi kecepatan.

Perbandingan antara kapal tanpa *bulbous bow* dan dengan *bulbous bow* dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2, selanjutnya akan dilakukan analisis untuk mencapai tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mencari konfigurasi yang menghasilkan nilai hambatan total terendah, sehingga kapal dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi tanpa terlalu banyak menghadapi hambatan. Hal ini penting karena kapal BCM dirancang untuk mencapai kecepatan tinggi dengan menggunakan daya mesin yang efisien dan bahan bakar yang ekonomis. Selain itu, kenyamanan dan stabilitas kapal juga menjadi perhatian, sehingga kapal ini dapat berfungsi dengan baik sebagai kapal bantu.

2. Metodologi Penelitian

Perumusan masalah ini dilakukan melalui observasi di perusahaan yang mengurus proses desain kapal BCM, sehingga diputuskan untuk menyeleksi suatu masalah yang akan dijadikan fokus penelitian ini. Problem yang diangkat dalam penelitian ini adalah tentang analisis penggunaan *bulbous bow* pada kapal BCM terhadap hambatan kapal. Dengan fokus pada masalah tersebut, akan dapat dilakukan analisis yang diharapkan dapat membantu memperlancar proses desain kapal tersebut.

Studi literatur merupakan kegiatan survei untuk mencari teori dan data yang mendukung terkait dengan kondisi atau masalah yang ada dalam kasus yang akan diteliti. Teori dan data dapat diperoleh dari buku teks, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan bidang penelitian ini, misalnya hambatan total untuk berbagai variasi bentuk *bulbous bow* pada kapal katamaran [11]. Referensi yang dicari meliputi: kapal BCM [6], komponen hambatan kapal [11], konsep *computational fluid dynamics* (CFD) [9], simulasi CFD *numeca*.

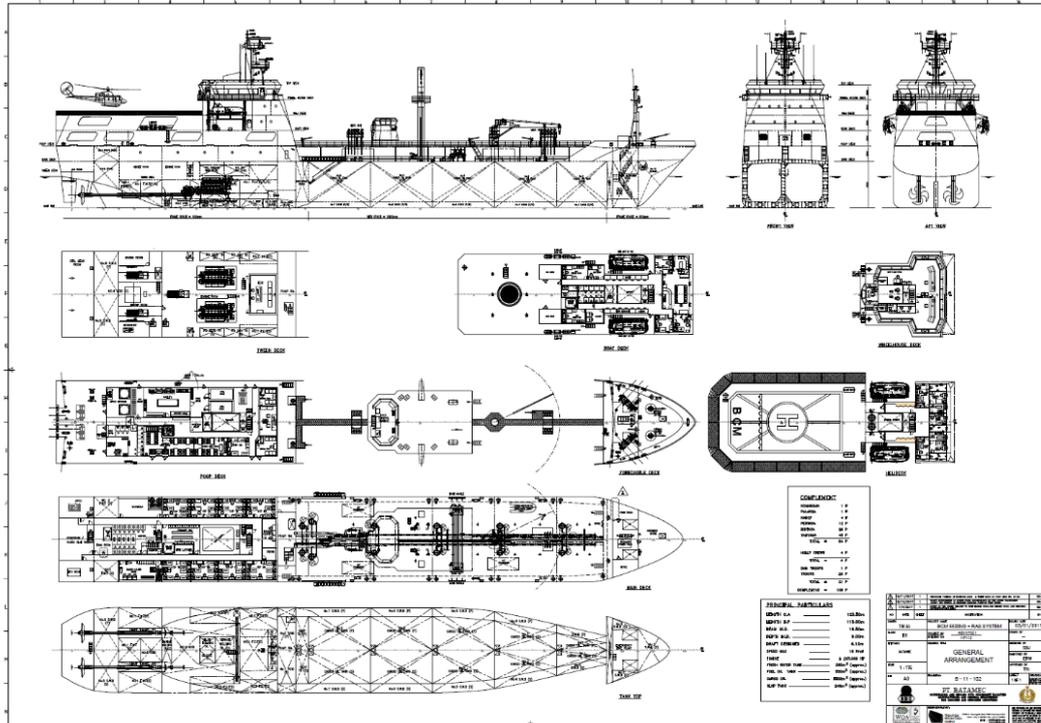
Setelah studi literatur dilakukan, penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan data kapal yang diperlukan untuk proses penelitian. Data kapal yang dikumpulkan meliputi, Ukuran utama kapal, gambar rencana garis, gambar rencana umum, tabel hidrostatis dari objek penelitian. Pada tahap ini dilakukan pembuatan model lambung kapal dengan menggunakan bantuan *software Tribon*. Dalam penelitian ini terdapat dua jenis penggambaran bentuk lambung kapal, yaitu lambung kapal tanpa *bulbous bow* (Gambar 1), dan lambung kapal dengan *bulbous bow* (Gambar 2). *Principal Dimension* kapal BCM ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Principal Dimension* Kapal BCM

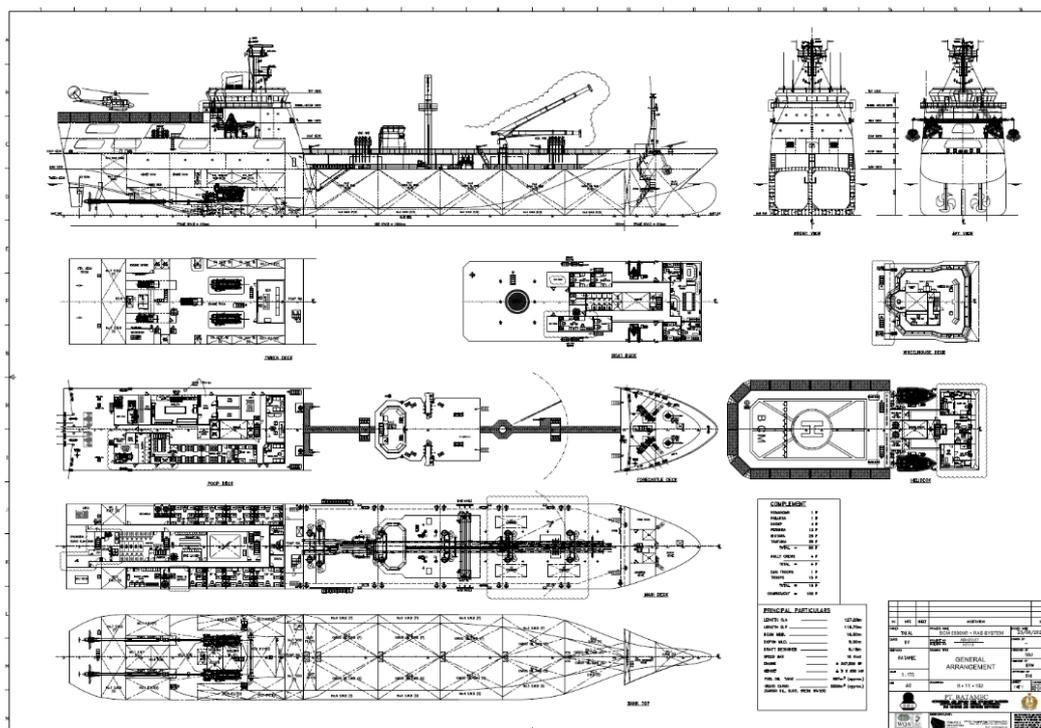
No	Data	BCM - 3	BCM - 4
1	<i>Length Over All (LoA)</i>	123,50 m	127,20 m
2	<i>Length between Perpendiculars (LBP)</i>	115,00 m	116,70 m
3	<i>Breadth (Moulded)</i>	16,50 m	16,50 m
4	<i>Depth (Moulded)</i>	9,00 m	9,00 m
5	<i>Draft Design</i>	6,10 m	6,15 m
6	<i>Displacement at Draft Design</i>	9032 T	9167 T
7	<i>Cruising Speed</i>	16,00 knot	16,00 knot
8	<i>Maximum Speed</i>	18,00 knot	18,00 knot
9	<i>CB</i>	0,761	0,755

Tahap selanjutnya adalah Simulasi Komputer dengan CFD dengan cara dilakukan pemodelan kondisi sarat maksimum untuk kapal BCM-3 dengan bentuk haluan konvensional dan analisis hambatannya menggunakan perangkat lunak CFD. Simulasi ini bertujuan untuk memverifikasi nilai hambatan untuk 3 variasi kecepatan. Selanjutnya, dilakukan pemodelan dengan variasi yang sama untuk kapal BCM-4 dengan bentuk haluan menggunakan *bulbous bow*. Kedua jenis kapal ini akan

dievaluasi dan dianalisis terhadap hasil nilai hambatan total (R_t). Data gambar rencana garis (*lines plan*) dan rancangan umum (*general arrangement*) dari kedua kapal digunakan untuk mengetahui bentuk badan kapal yang direncanakan terutama bagian yang berada di bawah garis air. Gambar 3 dan 4 menunjukkan gambar rancangan umum pada kedua kapal.



Gambar 3. Rancangan Umum Kapal BCM-3 (tanpa *Bulbous Bow*)

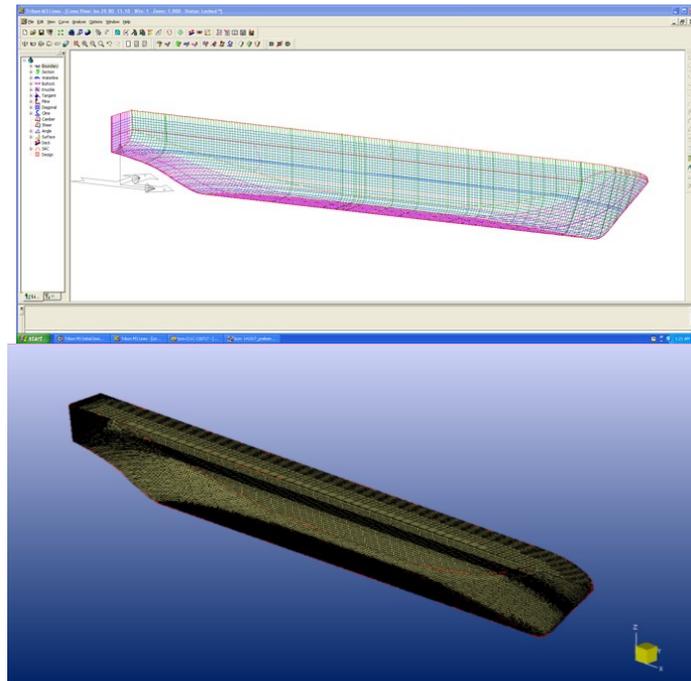


Gambar 4. Rancangan Umum Kapal BCM-4 (dengan *Bulbous Bow*)

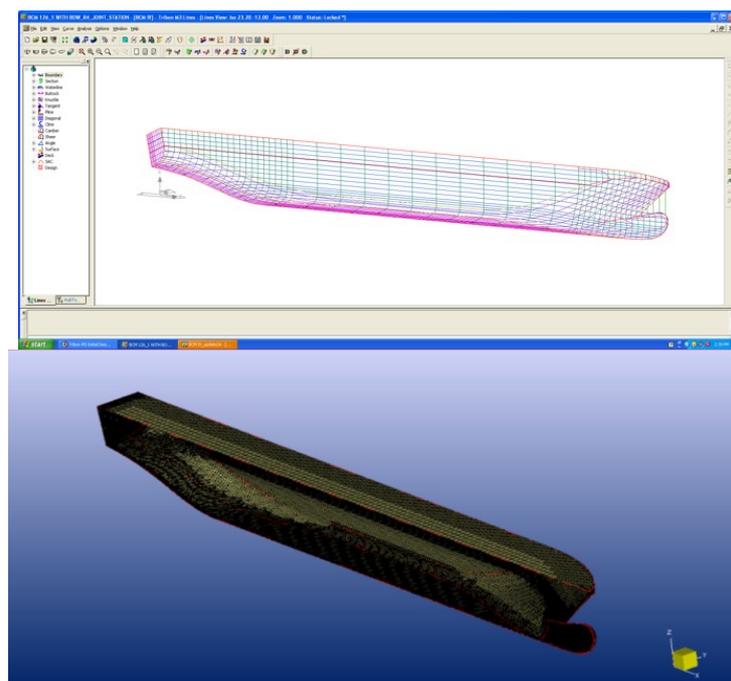
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Modelling dan Meshing

Proses modeling kapal dilakukan berdasarkan data *linesplan* kapal dengan menggunakan *software Tribon* yang berfokus pada pemodelan lambung kapal. Model kapal kemudian dibagi menjadi komponen-komponen diskrit yang akan dianalisis sehingga dapat menyelesaikan persamaan-persamaan atau *mesh*. Hasil modeling kapal dan *meshing* dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 berikut ini.



Gambar 5. Modeling dan *Mesh* Kapal BCM-3



Gambar 6. Modeling dan *Mesh* Kapal BCM-4

Proses validasi dilakukan dengan memastikan bahwa hasil dari proses pemodelan memiliki akurasi terhadap data hidrostatis yang diperoleh dari data kapal, menggunakan perangkat lunak *Numeca*. Berdasarkan *rule* BKI 2021 edition Pt. 4 vol. 1 Sec. 1 tentang *loading computer system* [12], nilai toleransi yang diperbolehkan adalah sesuai dengan Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Parameter Toleransi Nilai Deviasi

No	Parameter	Toleransi (%)
1	<i>Displacement</i>	± 2
2	<i>Longitudinal centre of buoyancy (LCB), from AP</i>	± 1
3	<i>Longitudinal centre of floatation (LCF), From AP</i>	± 1

Hasil proses validasi pada Tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa pemodelan dari kapal BCM-3 dan BCM-4 telah memenuhi kriteria berdasarkan *rule* yang berlaku [12] dan dapat dilanjutkan pada proses berikutnya.

Tabel 3. Validasi Model Kapal BCM-3 (tanpa *Bulbous Bow*)

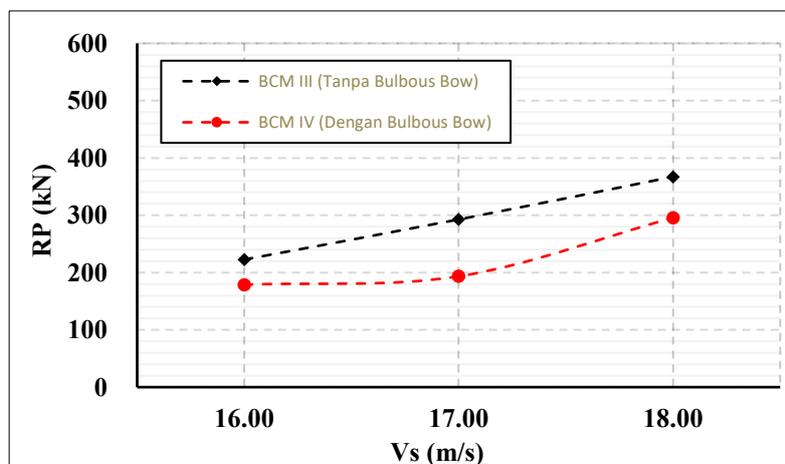
Parameter	Data Kapal	CFD	Toleransi (%)	Deviasi (%)	Keterangan
<i>Displacement</i>	9032,606	9105,752	± 2	0,80	Memenuhi
LCB	57,553	57,514	± 1	0,07	Memenuhi
LCF	54,330	54,237	± 1	0,17	Memenuhi

Tabel 4. Validasi Model Kapal BCM-4 (dengan *Bulbous Bow*)

Parameter	Data Kapal	CFD	Toleransi (%)	Deviasi (%)	Keterangan
<i>Displacement</i>	9167,771	9154,849	± 2	0,14	Memenuhi
LCB	58,546	58,542	± 1	0,01	Memenuhi
LCF	54,295	54,295	± 1	0,00	Memenuhi

3.2 Hambatan Tekanan

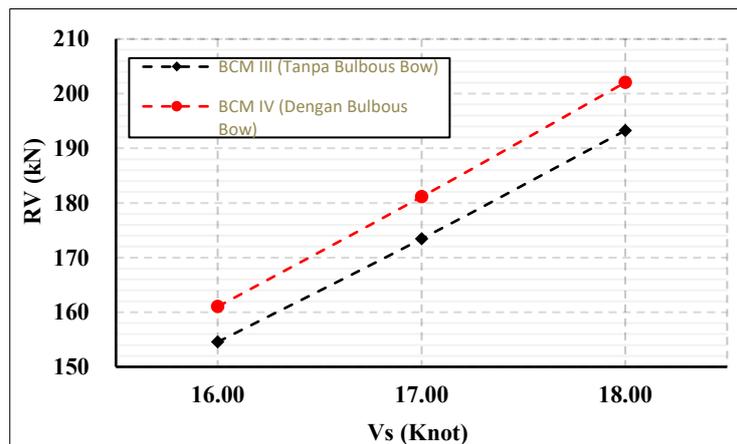
Hambatan tekanan adalah hambatan yang timbul akibat adanya gaya tekan ke atas oleh fluida [13]. Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa grafik hambatan yang dihasilkan kapal BCM-3 lebih tinggi daripada grafik hambatan yang dihasilkan kapal BCM-4 dimana dapat dikatakan bahwa hambatan tekanan yang dihasilkan kapal BCM-3 lebih besar daripada kapal BCM-4, untuk semua variasi kecepatan yang diujikan.



Gambar 7. Hambatan Tekanan

3.3 Hambatan Viskositas

Hambatan viskositas disebabkan oleh adanya gesekan antara badan kapal dengan permukaan kapal dengan fluida yang bekerja [14]. Jika dilihat menurut grafik pada Gambar 8, hambatan viskositas dari kapal BCM-4 menghasilkan hambatan viskositas yang lebih besar daripada kapal BCM-3. Selain kecepatan kapal dan massa jenis fluida, yang juga mempengaruhi hambatan viskositas adalah WSA atau luas permukaan badan kapal yang tercelup ke dalam air. Tabel 5 menunjukkan bahwa semua nilai WSA yang dihasilkan lebih besar pada kapal BCM-4 daripada kapal BCM-3, sehingga menyebabkan nilai hambatan viskositas kapal BCM-4 lebih besar daripada kapal BCM-3.

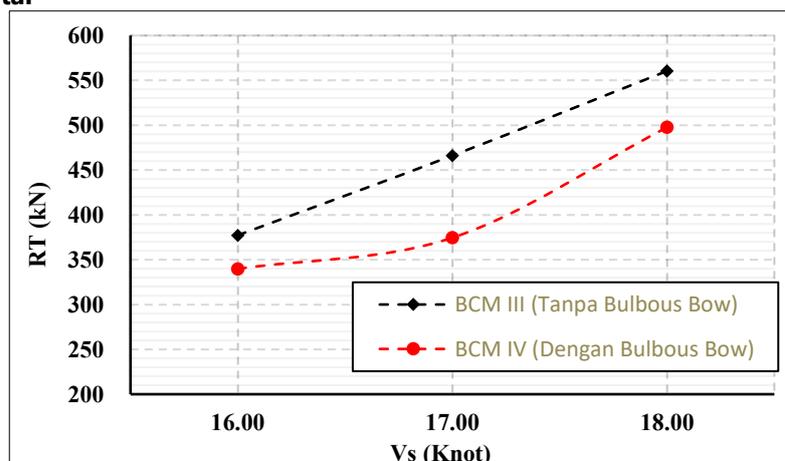


Gambar 8. Hambatan Viskositas

Tabel 5. Luas WSA pada Setiap Variasi Kecepatan

Speed (knot)	Luas WSA (m ²)	
	BCM-3 (Tanpa <i>Bulbous Bow</i>)	BCM-4 (Dengan <i>Bulbous Bow</i>)
16,00	1384,57	1453,72
17,00	1388,04	1459,17
18,00	1363,62	1465,48

3.4 Hambatan Total



Gambar 9. Hambatan Total

Hambatan total merupakan hasil dari penjumlahan antara hambatan tekanan (*pressure resistance*) dengan hambatan viskositas (*viscous resistance*) [15] [16]. Hasil hambatan total yang ditunjukkan oleh Gambar 9 menunjukkan bahwa kapal BCM-3 memiliki hambatan total yang lebih besar daripada kapal

BCM-4. Terlihat bahwa grafik yang dihasilkan oleh kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*) lebih rendah dari grafik yang dihasilkan oleh kapal BCM-3 (tanpa *bulbous bow*). Dimana dari setiap perpindahan fluida yang terjadi pada saat dimulainya percobaan hingga mencapai kondisi *steady* hambatan kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*) lebih optimal dari kapal BCM-3 (tanpa *bulbous bow*).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat diambil, antara lain: hambatan viskositas pada kapal BCM-3 (tanpa *bulbous bow*) menghasilkan nilai yang lebih optimal daripada BCM-4 (dengan *bulbous bow*). Nilai hambatan viskositas pada masing-masing kecepatan adalah 154,555 N pada 16 knot, 173,412 N pada 17 knot, dan 193,262 N pada 18 knot. Penyebab dari tingginya hambatan viskositas pada kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*) adalah luas *wetted surface area* (WSA) yang lebih besar dibandingkan kapal BCM-3 (tanpa *bulbous bow*), dengan luas masing-masing pada setiap kecepatan. Di sisi lain, hambatan total pada kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*) lebih optimal dibandingkan kapal BCM-3 (tanpa *bulbous bow*). Hambatan total merupakan hasil penjumlahan dari hambatan viskositas dan hambatan tekanan. Pada kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*), hambatan tekanan lebih optimal, sehingga secara keseluruhan, kapal BCM-4 (dengan *bulbous bow*) memiliki hambatan total yang lebih optimal. Nilai hambatan total pada masing-masing kecepatan adalah 339,807 N pada 16 knot, 374,558 N pada 17 knot, dan 497,606 N pada 18 knot.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. Moelyanto, "Sistem Pemeliharaan Kapal Selam dalam Mendukung Kestinambungan Pelaksanaan Pertahanan Negara di Laut (Studi di KRI Cakra – 401 Periode Tahun 2011 – 2013)," Tesis, Fakultas Strategi Pertahanan, Program Studi Strategi Perang Semesta, Universitas Pertahanan Indonesia, 2013.
- [2] D. S. Suyadi, J. S. Putrahardja, and R. Ichwan, "Pengaruh Waktu Kerja Efektif terhadap Kinerja Pembongkaran Muatan Curah dari Kapal pada Terminal Khusus PT. Krakatau Bandar Samudera di Pelabuhan Cigading, Banten," *Jurnal Logistik*, vol. 3, no. 2, pp. 36-46, 2010.
- [3] T. Putranto and A. Sulisetyono, "Analisa Numerik Gerakan dan Kekuatan Kapal Akibat Beban Slamming pada Kapal Perang Tipe Corvette," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 12, no. 3, pp. 158-164, 2015, doi:10.14710/kpl.v12i3.9979.
- [4] I. K. A. P. Utama, "Potensi Peningkatan Efisiensi Kapal Masa Depan: Tinjauan Aspek Desain dan Operasional Kapal," *presented at the Seminar Nasional "Archipelago Engineering" (ALE)*, 2018.
- [5] Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. "Kemhan dan KKIP Tinjau Fasilitas dan Kemampuan Galangan Kapal Pembuat Kapal BCM TNI AL di Batam," [Online]. Available: <https://www.kemhan.go.id/2017/07/20/kemhan-dan-kkip-tinjau-fasilitas-dan-kemampuan-galangan-kapal-pembuat-kapal-bcm-tni-al-di-batam.html>.
- [6] M. F. F. Ramadan, "Desain Kapal Bantu untuk Mengangkut Kontainer Menggunakan Software Sketch Up," *SENSISTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 20-22, 2022.
- [7] A. H. Fajar, D. Chrismianto, and E. S. Hadi, "Studi Analisa Slamming & Deck Wetness Akibat Gerakan Heaving – Pitching Coupling & Gerakan Non-Linier Rolling (Studi Kasus Kapal MT. Pandan)." *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, No. 4, pp. 677-687, 2017.
- [8] P. Adi and A. Amiadji. "Analisa Penerapan Bulbous Bow pada Kapal Katamaran untuk Meningkatkan Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar." *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. F13-F18, 2013.
- [9] R. R. Harahap, E. S. Hadi, and G. Rindo, "Analisa Pengaruh Sudut Masuk Kapal Perintis 750 Dwt terhadap Slamming Kapal dengan Penambahan Anti-Slamming Bulbous Bow Tipe Delta (Δ – Type) Menggunakan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 37-46, 2018.

- [10] A. M. Kracht, "Design of Bulbous Bows," *SNAME Transactions*, vol. 86, pp. 197-217, 1978.
- [11] F. A. Prasetyo, D. Chrismianto, and M. Iqbal, "Analisa Pengaruh Variasi Bulbous Bow terhadap Hambatan Total pada Kapal Katamaran Penyeberangan Kepulauan Seribu dengan Parameter Non-Linear menggunakan CFD," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, Jan. 2017.
- [12] Rule BKI "Guidelines for Certification of Loading Computer System" Part. 4, Vol. 1, Sec. 1, 2021 Edition.
- [13] A. F. Molland and S. R. Turnock, "Chapter 3 - Physics of Control Surface Operation," in *Marine Rudders, Hydrofoils and Control Surfaces (Second Edition)*, A. F. Molland and S. R. Turnock, Eds. Butterworth-Heinemann, 2022, pp. 21-56.
- [14] L. Birk, "Chapter 18 - Viscous Pressure Resistance," in *Book Author(s):Lothar Birk*, First published: 29 April 2019, <https://doi.org/10.1002/9781119191575.ch18>.
- [15] E. C. Tupper, "Chapter 7 - Resistance," In *Introduction to Naval Architecture (Fifth Edition)*, E. C. Tupper, Ed. Butterworth-Heinemann, 2013, pp. 131-160.
- [16] A. Coraddu, M. Kalikatzarakis, J. Walker, D. Ilardi, and L. Oneto, "Chapter 7 - Data Science and Advanced Analytics for Shipping Energy Systems," in *Sustainable Energy Systems on Ships*, F. Baldi, A. Coraddu, and M. E. Mondejar, Eds. Elsevier, 2022, pp. 303-349.