



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Hambatan Kapal Kontainer 25000 DWT Rute Perairan Surabaya - Kobe

Rasyid Firmansyah^{*)}, Andi Trimulyono¹⁾, Samuel¹⁾

¹⁾ Laboratorium Teknologi Hidrodinamika Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
^{*)}e-mail : rasfir19@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara kepulauan sangat bergantung pada transportasi laut untuk mendukung perekonomian dan perdagangan internasional, terutama dengan Jepang sebagai mitra dagang utama. Oleh karena itu, performa operasional kapal menjadi faktor krusial yang perlu diperhatikan, khususnya dalam hal hambatan total yang memengaruhi konsumsi bahan bakar dan efisiensi pelayaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hambatan total kapal kontainer 25.000 DWT pada rute Surabaya-Kobe menggunakan metode Holtrop sebagai pendekatan perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hambatan total kapal meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Pada kecepatan maksimum 16,51 knot, hambatan total tertinggi yang dihitung menggunakan metode Holtrop adalah 645,90 kN. Hambatan ini berbanding lurus dengan kebutuhan daya mesin induk kapal. Berdasarkan hambatan total tersebut, perhitungan daya mesin induk dilakukan untuk memastikan performa kapal pada kecepatan servis 16,51 knot. Nilai daya efektif kapal (EHP) tercatat sebesar 5.814,59 kW atau 7.905,63 hp. Setelah mempertimbangkan efisiensi propulsi, daya poros (SHP) yang dibutuhkan mencapai 10.032,53 hp, sedangkan daya rem mesin (BHP) yang harus disediakan adalah 12.500 hp. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan eksplorasi metode perhitungan hambatan lain atau penggunaan perangkat lunak tambahan sebagai pembanding agar analisis lebih komprehensif. Selain itu, uji coba langsung di kolam uji (towing tank) dapat dilakukan untuk memvalidasi hasil perhitungan simulasi sehingga data yang diperoleh lebih mendekati kondisi nyata di lapangan.

Kata Kunci : Hambatan Kapal, Hambatan Total, Hambatan Gesek, Hambatan Gelombang.

1. PENDAHULUAN

Transportasi laut penting untuk menghubungkan pulau-pulau di Indonesia yang memiliki perairan luas. Kapal tidak hanya berfungsi sebagai alat transportasi, tetapi juga berperan dalam menjaga keamanan perairan. Sebagai negara kepulauan dengan sumber daya alam seperti timah, tembaga, dan nikel, pengembangan pelayaran di Indonesia sangat diperlukan. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 2001, pelabuhan adalah tempat pengangkutan air dan darat yang mendukung kegiatan ekonomi dan pemerintahan. Pelabuhan berfungsi untuk kapal berlabuh, mengangkut penumpang, barang, dan kargo, serta menjadi

pusat transportasi antar moda, terutama dalam perdagangan internasional [1].

Jepang merupakan salah satu mitra utama Indonesia dalam perdagangan dan investasi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia, Jepang menjadi tujuan ekspor terbesar kedua bagi Indonesia, dengan kontribusi sebesar 10,54% dari total nilai ekspor, serta menempati posisi ketiga sebagai negara asal impor dengan kontribusi 9,71% dari total impor pada tahun 2017 [2]. Dalam mendukung hubungan perdagangan yang erat ini, diperlukan infrastruktur transportasi yang efisien, terutama dalam pengangkutan barang antara kedua negara. Kapal kontainer memainkan peran penting sebagai sarana pengangkutan barang yang murah dan efisien [3]. Kapal ini dirancang khusus untuk mengangkut peti kemas

dengan ukuran yang sudah distandarkan, sehingga memaksimalkan efisiensi transportasi barang [4].

Efisiensi operasional sebuah kapal dipengaruhi oleh hambatan yang dialami kapal saat berlayar[5]. Besar kecilnya hambatan pada kapal berhubungan dengan jumlah bahan bakar yang di konsumsi [6]. Penghematan konsumsi bahan bakar akan berdampak signifikan pada penghematan biaya pelayaran. Selain itu, pengurangan konsumsi bahan bakar memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, yang menjadi perhatian global [7]. Secara fisik, hambatan pada kapal terdiri dari dua komponen utama, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal berkaitan dengan hambatan yang dihasilkan oleh gelombang serta efek viskositas fluida. Di sisi lain, tegangan geser muncul sebagai akibat dari sifat kekentalan air. Secara umum, hambatan ini dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama, yakni hambatan viskos yang disebabkan oleh gesekan dan hambatan gelombang [8]. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan kapal (V_s), displacement (berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup), dan bentuk badan kapal (hull form). Metode Holtrop memainkan peran penting dalam menghitung nilai hambatan total kapal, yang pada akhirnya akan menentukan daya mesin yang diperlukan untuk mengoperasikan kapal [9].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil perhitungan hambatan kapal container menggunakan metode Holtrop dan perhitungan simulasi dengan software Maxsurf. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan memberikan rekomendasi bagi industri pelayaran mengenai hasil perhitungan kedua metode tersebut, untuk digunakan dalam desain dan operasi kapal container pada rute pelayaran Surabaya-Kobe. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi operasional kapal container dan mendukung pertumbuhan industri pelayaran nasional.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Kapal yang menjadi objek penelitian ini adalah kapal kontainer dengan kapasitas 25.000 DWT. Kapal kontainer dirancang khusus untuk mengangkut peti kemas, yang merupakan unit muatan standar dalam perdagangan internasional. Kapal ini termasuk dalam kategori kapal besar, dengan kemampuan mengangkut berbagai jenis barang secara efisien melalui rute laut.

Kapal kontainer 25.000 DWT memiliki desain lambung yang optimal untuk mendukung efisiensi operasional, stabilitas, dan daya apung. Kapasitas muatannya memungkinkan pengangkutan barang dalam jumlah besar sekaligus. Kapal kontainer dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan ruang kargo. Kapasitas kapal diukur dalam *Twenty-foot Equivalent Units* (TEU), yaitu jumlah kontainer standar berukuran $20 \times 8.0 \times 8.5$ kaki (sekitar $6.1 \times 2.4 \times 2.6$ meter) yang dapat diangkut. Namun, dalam praktiknya, ukuran kontainer yang paling sering digunakan saat ini adalah 40 kaki (sekitar 12 meter) panjangnya [10]. Kapal ini umumnya digunakan untuk rute perdagangan jarak jauh, seperti rute Surabaya-Kobe yang menjadi fokus penelitian ini. Rute ini melibatkan jalur laut internasional yang menuntut kapal beroperasi dengan kecepatan dan efisiensi bahan bakar tinggi.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

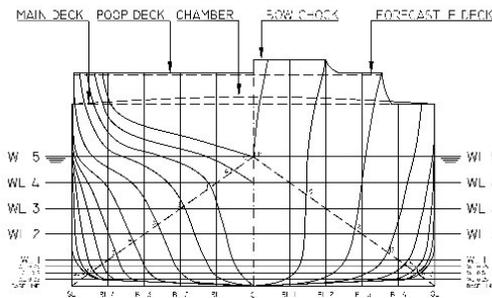
No	Ukuran	Dimensi
1	<i>Length Perpendicular</i> (m)	193,3
2	<i>Length Waterline</i> (m)	190,785
3	<i>Breadth</i> (m)	28,02
4	<i>Height</i> (m)	14,01
5	<i>Draft</i> (m)	9,94
6	<i>Speed</i>	16,51 (<i>knots</i>)
7	<i>Coefficient Block</i>	0,73
8	<i>Dead Weight Tonnage</i> (ton)	25000

Tabel 1. memberikan informasi terkait dimensi dan karakteristik teknis kapal kontaine 25000 DWT. Panjang kapal dari garis tegak lurus di bagian depan hingga bagian belakang (*Length Perpendicular*) adalah 193,3 meter. Sementara itu, panjang kapal pada garis air, yang merupakan panjang kapal yang berada di dalam air saat kapal mengapung, tercatat sepanjang 190,785 meter. Lebar kapal (*Breadth*) adalah 28,02 meter, yang menunjukkan jarak antara sisi kiri dan kanan kapal, sedangkan tingginya (*Height*) mencapai 14,01 meter, menggambarkan ketinggian kapal dari dasar ke bagian atas struktur kapal.

Kedalaman kapal atau draft, yang mengukur seberapa dalam kapal tenggelam di air, adalah 9,94 meter. Kapal ini memiliki kecepatan maksimum 16,51 knot, yang menggambarkan kemampuan kapal untuk bergerak di atas permukaan air. Koefisien blok kapal (*Coefficient Block*) adalah 0,73, yang menunjukkan efisiensi bentuk kapal dalam hal kapasitas dan desain,

dengan angka tersebut mengindikasikan kapal ini memiliki desain yang cukup padat dan efisien. Terakhir, kapal ini memiliki kapasitas tonase mati (Dead Weight Tonnage) sebesar 25.000 ton, yang berarti kapal dapat membawa beban hingga 25.000 ton tanpa melebihi batas draft yang telah ditentukan.

Secara keseluruhan, Tabel ini menggambarkan dimensi fisik dan karakteristik utama kapal yang berfungsi sebagai parameter dasar untuk analisis performa kapal. Panjang, lebar, draft, dan kecepatan digunakan untuk menghitung hambatan total kapal, sementara koefisien blok dan deadweight tonnage menggambarkan efisiensi desain kapal dalam mengangkut muatan. Data ini penting untuk mengoptimalkan desain, meningkatkan efisiensi operasional, dan memenuhi kebutuhan transportasi.



Gambar 1. Body Plan Kapal Kontainer 25000 DWT

Gambar 1 merupakan gambar body plan dari kapal container 25000 DWT. Body plan adalah gambar yang menunjukkan potongan melintang kapal pada setiap interval gading, memperlihatkan lengkungan bentuk lambung di berbagai posisi [11]. Body plan digunakan sebagai panduan untuk memodelkan geometri lambung kapal dalam Maxsurf. Setiap potongan (*station*) dapat diinput ke Maxsurf sebagai data kontrol titik-titik (*control points*) yang membentuk kurva lambung. Maxsurf kemudian menginterpolasi kurva-kurva ini untuk membangun permukaan lambung kapal secara 3D.

2.1. Analisis Pada Objek Penelitian

Analisis hambatan kapal melibatkan parameter tetap seperti desain lambung dan dimensi utama (LOA, LPP, B, T, H, dan V_s), serta parameter pengubah, yaitu kecepatan kapal. Desain lambung menentukan pola aliran air dan efisiensi hidrodinamika, sementara dimensi utama memengaruhi stabilitas, daya apung, dan hambatan. Hambatan total, yang terdiri dari hambatan gesek, gelombang, dan tambahan,

meningkat signifikan dengan bertambahnya kecepatan. Analisis ini membantu menentukan kecepatan optimal, memastikan desain lambung efisien, dan mengurangi efek hambatan tinggi untuk meningkatkan performa dan efisiensi operasional kapal.

2.2. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilakukan yaitu meliputi membuat model 3D menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeller, dengan lines plan sebagai referensi utama dan melakukan analisis hambatan total kapal pada model 3D yang telah dibuat, menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance.

2.3. Pemodelan Kapal Dengan Maxsurf Modeller

Model kapal kontainer 25.000 DWT akan dibuat menggunakan perangkat lunak Maxsurf. Data yang diperlukan untuk proses pemodelan ini meliputi dimensi utama kapal dan lines plan. Berdasarkan data tersebut, pemodelan kapal kontainer 25.000 DWT akan disusun dan dianalisis melalui perangkat lunak tersebut.

2.4. Analisis Hambatan

Hambatan kapal merupakan faktor penting dalam menentukan efisiensi dari kapal. Kapal bergerak dengan kecepatan dinas akan mengalami hambatan yang bekerja karena gesekan antara fluida dengan badan kapal. Hambatan atau tahanan kapal merupakan gaya yang bekerja berlawanan arah dengan arah gerak kapal yang sedang melaju. Saat perencanaan sebuah kapal, tahap awal perhitungan hambatan menjadi faktor utama dalam penentuan kebutuhan permesinan serta tenaga penggerak kapal. Semakin besar gaya hambat yang dialami suatu kapal, maka kebutuhan daya mesin penggeraknya juga akan tinggi dan menimbulkan konsumsi bahan bakar yang tinggi. Nilai hambatan dipengaruhi oleh kecepatan kapal (V_s), displacement, serta bentuk badan kapal (hull form) [12].

Pemahaman terpenting yakni tentang komponen hambatan kapal dan perilakunya, karena digunakan untuk menskalakan hambatan kapal dengan ukuran lain atau, skala hambatan dari pengujian pada ukuran model ke ukuran penuh. Hambatan seperti itu perkiraan selanjutnya digunakan dalam memperkirakan daya pendorong yang dibutuhkan [13].

Hambatan Metode Holtrop merupakan metode empiris yang digunakan untuk

memperkirakan hambatan total kapal. Hambatan total (RT) kapal dipecah menjadi beberapa komponen, yaitu :

1. Hambatan gesekan (Rf): Hambatan yang timbul akibat gesekan antara lambung kapal dan air.
2. Hambatan residu (Rr): Hambatan tambahan selain hambatan gesekan, seperti hambatan akibat bentuk kapal.
3. Hambatan gelombang (Rw): Hambatan yang timbul akibat pembentukan gelombang air oleh kapal saat bergerak.
4. Hambatan viskosa (Rv): Hambatan akibat viskositas air

Rumus umum yang digunakan adalah:

$$RT = Rf + Rr + Rw + Rv \quad (1)$$

perhitungan tiap komponen hambatan menggunakan metode Holtrop melibatkan beberapa parameter penting seperti koefisien gesekan (Cf), koefisien residu, serta pengaruh kecepatan dan bentuk kapal. Koefisien gesekan dihitung menggunakan persamaan ITTC:

$$Cf = 0.075 / (\log(Re) - 2)^2 \quad (2)$$

Di mana Re adalah bilangan Reynolds yang dihitung berdasarkan kecepatan kapal, panjang kapal, dan viskositas kinematik air.

2.5. Perhitungan Daya Mesin Induk Kapal

Perhitungan daya mesin dengan metode Holtrop adalah sebagai berikut [14]:

1. Perhitungan Daya Efektif (PE)

Daya Efektif (PE) adalah daya yang diperlukan untuk mengatasi hambatan pada badan kapal (hull) agar kapal dapat bergerak dengan kecepatan servis (VS) dari satu lokasi ke lokasi lain. Daya Efektif (PE) juga menjadi salah satu komponen utama dalam perhitungan total kebutuhan daya kapal, yang mencerminkan efisiensi desain kapal terhadap hambatan yang dihadapi. Besarnya Daya Efektif bergantung pada besarnya gaya hambatan total dan kecepatan kapal, yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$PE = R_t \times V_s \quad (3)$$

dengan:

- PE = Daya Efektif
- Rt = Hambatan Total
- Vs = Kecepatan dinas

3. Daya Dorong

Daya Dorong (PT) adalah daya yang dihasilkan oleh alat penggerak kapal (propulsor) untuk mendorong kapal. Besarnya Daya Dorong dipengaruhi oleh gaya dorong dan kecepatan aliran fluida di buritan kapal saat propulsor bekerja. Rumusnya adalah:

$$PT = T \times VAP \quad (4)$$

dengan:

- PT = Daya Dorong
- T = Gaya Dorong
- VA = Kecepatan aliran fluida di buritan kapal

4. Daya Disalurkan

Daya Disalurkan (PD) merupakan daya yang dikirimkan ke baling-baling kapal untuk menghasilkan Daya Dorong (PT). Dengan kata lain, PD adalah daya yang ditransmisikan dari mesin penggerak ke baling-baling, yang kemudian dikonversi menjadi daya dorong untuk menggerakkan kapal

5. Daya Poros

Daya Poros (PS) adalah daya yang diukur di bagian depan bantalan tabung poros dalam sistem transmisi daya pada kapal. Pada kapal yang menggunakan Turbin Gas sebagai penggerak utama, daya poros ini biasanya menjadi acuan utama dalam perhitungan performa. Sementara itu, Daya Rem (PB) mengacu pada daya yang dihasilkan langsung oleh mesin utama kapal, seperti mesin diesel. Daya rem ini adalah daya awal yang dihasilkan mesin sebelum mengalami kehilangan akibat efisiensi mekanis dalam sistem transmisi ke baling-baling..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Model Kapal

Pemodelan kapal menggunakan Software Maxsurf Modeler. Maxsurf Modeler adalah sistem pemodelan tiga dimensi yang sangat cocok untuk digunakan, karena mampu memberikan tampilan lingkungan yang jelas dan intuitif untuk pekerjaan desain. Penggunaan Maxsurf memungkinkan eksperimen yang sistematis dan pengoptimalan desain secara cepat [15]. Diawali dengan

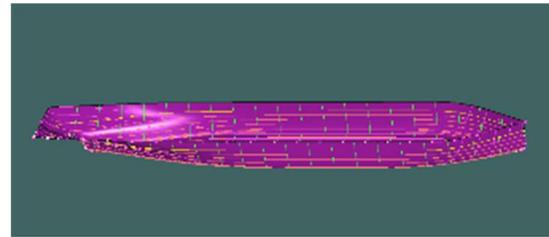
persiapan data body plan dalam format tabel Excel. Data ini mencakup koordinat tiga dimensi berupa panjang (X), lebar (Y), dan tinggi (Z) dari setiap stasiun kapal.

Untuk memastikan data dapat dimasukkan ke dalam Maxsurf dengan baik, formatnya harus disusun secara vertikal, yaitu dalam kolom-kolom menurun. Kolom pertama diisi dengan nomor stasiun, kolom kedua berisi panjang (X), kolom ketiga memuat lebar (Y) dari body plan, dan kolom keempat mencakup tinggi (Z). Nilai nol ditambahkan pada baris terakhir sebagai penutup untuk memastikan integritas model kapal di bagian bawah.

Setelah data diolah di Excel, langkah berikutnya adalah membuka perangkat lunak Maxsurf dan membuat desain baru melalui opsi File > New Design. Permukaan kapal dibuat dengan menambahkan elemen Surface dari menu Add Surface > Box. Pada tahap ini, permukaan awal hanya berupa kotak dasar yang kemudian diubah menjadi bentuk lambung kapal. Untuk membentuk lambung, titik-titik kontrol ditambahkan pada tampilan layout Profile sebanyak 20 titik dan pada layout Body Plan sebanyak 13 titik. Titik-titik kontrol ini berfungsi untuk mendefinisikan struktur permukaan model kapal. Setelah semua titik ditambahkan, pengecekan dilakukan pada titik paling kanan atas untuk memastikan jumlah kolom dan baris yang sesuai, yaitu 21 kolom dan 13 baris.

Data koordinat dari Excel, yang terdiri atas panjang (X), lebar (Y), dan tinggi (Z), kemudian diimpor ke dalam Maxsurf. Data ini dimasukkan ke bagian Longitudinal Position (X), Offset (Y), dan Height (Z) untuk membentuk permukaan tiga dimensi kapal. Setelah data diinput, model kapal dapat diperiksa melalui tampilan perspektif untuk memastikan kesesuaian bentuk dengan body plan yang dirancang. Jika bentuk kapal terlihat tidak sesuai, tampilan dapat direset menggunakan ikon Home View.

Proses selanjutnya adalah pengaturan grid spacing untuk mendistribusikan stasiun, buttock, dan garis air. Sebanyak 21 stasiun ditambahkan melalui menu Sections, dan data panjang stasiun dari Excel disalin ke Maxsurf. Pada menu Buttocks, empat buttock ditambahkan dengan opsi penyebaran merata di seluruh lebar model, sementara pada menu Waterlines, 13 waterline ditambahkan, dan data garis air dari Excel disalin ke perangkat lunak. Jika model terlihat kurang halus, properti permukaan dapat disesuaikan dengan mengubah pengaturan dari Linear (2) menjadi Flexible (3) di menu Surface Properties.



Gambar 2. Model 3 Dimensi Kapal Kontainer 25000 DWT.

Langkah terakhir adalah menyesuaikan bentuk haluan dan buritan kapal untuk memastikan keluwesan desain. Penyesuaian ini dilakukan dengan menggeser titik kontrol pada layout Profile secara manual atau dengan memasukkan data tambahan dari perangkat lunak CAD, seperti AutoCAD. Setelah semua tahap selesai, model tiga dimensi kapal akan sepenuhnya terbentuk di Maxsurf seperti terlihat pada Gambar 4 maka siap untuk digunakan dalam analisis simulasi hambatan.

3.2. Analisis Perhitungan Analitik Hambatan Total Kapal

Dalam perhitungan analitik, tahanan kapal dihitung menggunakan metode Holtrop. Untuk menghitung tahanan kapal dengan metode ini, terdapat beberapa komponen tahanan yang perlu ditentukan [14]. Komponen-komponen tersebut meliputi tahanan gesek (R_f), tahanan residu (R_r), tahanan gelombang (R_w), dan tahanan viskosa (R_v). Dengan mempertimbangkan komponen-komponen tersebut, hasil perhitungan tahanan total kapal dapat diperoleh.

$$RT = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} [C_f(1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \quad (5)$$

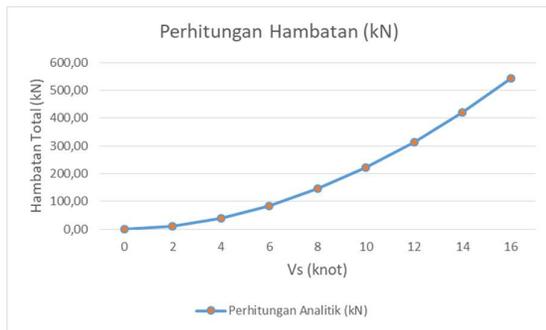
Setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh hasil seperti pada table 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Analitik Hambatan Total.

V (knot)	RT Holtrop (kN)
0	0,00
2	10,63
4	39,27
6	84,50
8	145,69
10	222,39
12	314,31
14	421,22
16	543,15
16,51	575,96

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan hambatan kapal kontainer 25.000 DWT menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance menunjukkan nilai hambatan (*Resistance*) pada berbagai kecepatan kapal (*V*) dalam knot. Pada kecepatan 0 knot hambatan bernilai 0,00 kN. Hambatan pada kecepatan 2 knot adalah 10,63 kN, sedangkan pada kecepatan 4 knot tercatat sebesar 39,27 kN. Pada kecepatan 6 knot, nilai hambatan mencapai 84,50 kN, dan pada kecepatan 8 knot tercatat sebesar 145,69 kN. Pada kecepatan 10 knot hambatan adalah 222,39 kN, kemudian meningkat menjadi 314,31 kN pada 12 knot. Pada 14 knot hambatan yang dihitung sebesar 421,22 kN, sedangkan pada 16 knot mencapai 543,15 kN. Pada kecepatan maksimum 16,51 knot hambatan total kapal tercatat sebesar 575,96 kN. Data ini memberikan gambaran hambatan kapal pada berbagai kecepatan operasional.

Hal ini menunjukkan hasil dari perhitungan analitik hambatan total menggunakan metode Holtrop. Pada kecepatan 0 knot tidak ada gaya hambatan sehingga hambatannya 0. Pada kecepatan **2 knot**, tahanan total hanya **10,63 kN**, namun pada kecepatan **16,51 knot**, nilai ini melonjak hingga **575,96 kN**.



Gambar 3. Grafik Hambatan Perhitungan Analitik Terhadap Kecepatan Kapal.

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kecepatan (*V*) dalam knot dengan nilai hambatan total (RT) menurut metode Holtrop (dalam kN). Pada kecepatan rendah (0–6 knot), peningkatan hambatan relatif kecil, dimulai dari 0 kN hingga 84,50 kN. Namun, saat kecepatan meningkat ke rentang menengah (6–12 knot), kenaikan hambatan menjadi lebih signifikan, dengan nilai RT mencapai 314,31 kN. Pada kecepatan tinggi (12–16,51 knot), hambatan meningkat secara tajam hingga mencapai 575,96 kN pada 16,51 knot.

Pola ini menunjukkan bahwa hambatan total memiliki hubungan eksponensial dengan kecepatan, di mana peningkatan kecepatan menyebabkan kenaikan hambatan yang semakin

besar. Fenomena ini konsisten dengan prinsip hidrodinamika, yang menunjukkan bahwa gaya hambatan terhadap objek bergerak dalam fluida meningkat secara signifikan pada kecepatan tinggi [16]. Grafik ini penting dalam perencanaan dan desain sistem untuk meminimalkan hambatan pada kecepatan tertentu. Hasil perhitungan Hambatan total digunakan sebagai dasar untuk menentukan daya efektif kapal (EHP), yaitu daya minimum yang dibutuhkan oleh mesin untuk mengatasi hambatan tersebut pada kecepatan tertentu. Dengan menggunakan rumus ini, perancang kapal dapat mengevaluasi efisiensi desain kapal, seperti bentuk lambung dan permukaan basah, serta menentukan ukuran dan spesifikasi mesin yang sesuai untuk memastikan performa optimal kapal dalam kondisi operasional yang direncanakan.

3.3. Analisis Perhitungan Maxsurf Hambatan Total Kapal

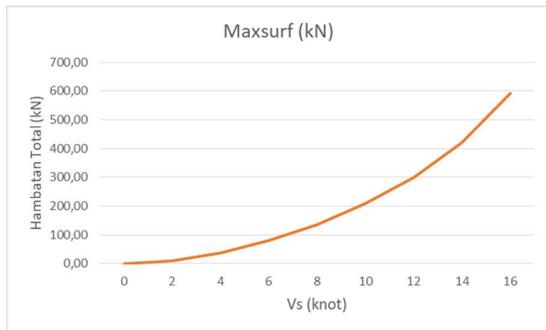
Setelah model 3 dimensi kapal berhasil dibuat berdasarkan data ukuran utama dan body plan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis hambatan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance. Maxsurf resistance menyediakan sarana untuk memprediksi hambatan lambung kapal. Prediksi hambatan menggunakan Maxsurf bisa dibaca dan diukur secara otomatis untuk memperoleh parameter yang diperlukan, atau parameter tersebut dapat dimasukkan secara manual [14].

Tabel 3. Hasil Perhitungan Maxsurf Hambatan Total

V (knot)	Maxsurf (kN)
0	0,00
2	9,90
4	36,60
6	78,80
8	135,80
10	208,00
12	299,00
14	419,90
16	590,90
16,51	645,90

Hasil perhitungan hambatan kapal kontainer 25.000 DWT menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance menunjukkan nilai hambatan (*Resistance*) dalam kilonewton (kN) pada berbagai kecepatan kapal (*V*) dalam knot. Pada kecepatan 0 knot, hambatan bernilai 0,00 kN. Hambatan pada kecepatan 2 knot tercatat sebesar 9,90 kN, sementara pada 4 knot mencapai 36,60

kN. Pada kecepatan 6 knot, nilai hambatan adalah 78,80 kN, dan pada 8 knot mencapai 135,80 kN. Selanjutnya, hambatan yang dihitung pada kecepatan 10 knot adalah 208,00 kN, pada 12 knot sebesar 299,00 kN, dan pada 14 knot tercatat 419,90 kN. Pada kecepatan 16 knot, hambatan mencapai 590,90 kN, dan pada kecepatan maksimum 16,51 knot, hambatan kapal tercatat sebesar 645,90 kN. Data ini memberikan informasi kuantitatif tentang hambatan total kapal pada berbagai kecepatan.



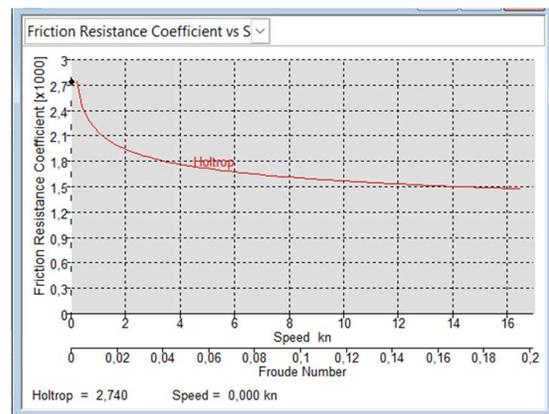
Gambar 4. Grafik Hambatan Perhitungan Maxsurf Terhadap Kecepatan Kapal.

Grafik pada Gambar 6 menggambarkan hubungan antara kecepatan (V) dalam knot dengan nilai hambatan total (RT) yang dihitung menggunakan perangkat lunak Maxsurf (dalam kN). Pada kecepatan rendah (0–6 knot), hambatan meningkat secara bertahap, dari 0 kN hingga 78,80 kN. Pada rentang kecepatan menengah (6–12 knot), kenaikan hambatan menjadi lebih signifikan, mencapai 299,00 kN pada 12 knot. Di kecepatan tinggi (12–16,51 knot), hambatan menunjukkan kenaikan yang tajam, hingga 645,90 kN pada kecepatan 16,51 knot. Pola ini mencerminkan hubungan eksponensial antara kecepatan dan hambatan, di mana peningkatan kecepatan menyebabkan hambatan bertambah dengan laju yang semakin besar. Hal ini sejalan dengan prinsip hidrodinamika.

Prinsip hidrodinamika menunjukkan bahwa gaya hambatan meningkat secara non-linear pada kecepatan tinggi. Analisis ini relevan untuk memahami performa kapal atau sistem hidrodinamika lainnya dalam meminimalkan hambatan pada berbagai kecepatan [16]. Prinsip ini juga penting untuk mengevaluasi efisiensi konsumsi bahan bakar, karena gaya hambatan yang lebih besar pada kecepatan tinggi secara langsung mempengaruhi daya mesin yang dibutuhkan hal itu akan menambah penggunaan bahan bakar secara signifikan, sehingga berdampak pada biaya operasional dan emisi karbon.

3.4. Koefisien Hambatan Gesek

Hambatan total yang dialami oleh kapal terdiri dari beberapa komponen utama, salah satunya adalah hambatan gesek (friction resistance). Hambatan gesek (Frictional resistance) R_f adalah salah satu komponen hambatan yang muncul akibat energi yang hilang karena efek viskositas fluida. Hambatan ini terjadi akibat gesekan antara air dan permukaan lambung kapal, di mana viskositas fluida menjadi faktor utama yang memengaruhi besarnya hambatan [17]. Hambatan gesek menjadi salah satu aspek penting dalam analisis performa kapal karena berkontribusi secara signifikan terhadap kebutuhan daya dorong, terutama pada kecepatan rendah hingga menengah. Metode perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi hambatan gesek adalah metode Holtrop. Metode ini dirancang untuk memberikan estimasi yang akurat berdasarkan parameter geometri kapal, seperti panjang, lebar, dan kekasaran lambung, serta kecepatan operasi. Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara koefisien hambatan gesek (C_f) dengan bilangan Froude (Fr) dan kecepatan kapal (S).



Gambar 5. Grafik Koefisien Hambatan Gesek

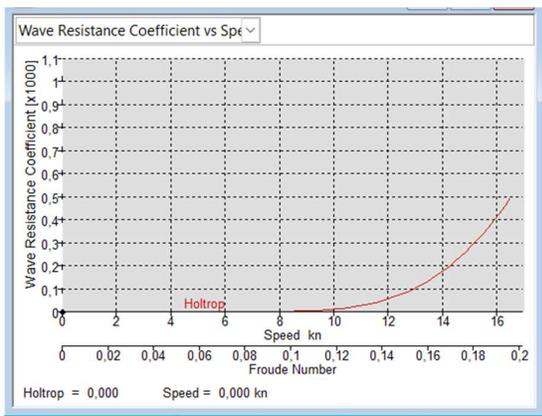
Grafik koefisien hambatan friksi menunjukkan tren menurun seiring bertambahnya Froude Number (Fr) atau kecepatan kapal. Penurunan ini menunjukkan bahwa hambatan friksi sangat signifikan pada kecepatan rendah, namun kontribusinya semakin berkurang pada kecepatan tinggi. Hambatan friksi ini disebabkan oleh gaya gesekan antara permukaan lambung

kapal dengan air. Faktor utama yang memengaruhi hambatan friksi adalah kekasaran permukaan lambung dan luas area basah (wetted surface area). Desain lambung yang halus dan perawatan lambung yang baik dapat membantu mengurangi hambatan ini.

3.5. Koefisien Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang merupakan salah satu komponen hambatan yang berkaitan dengan energi yang digunakan untuk menghasilkan gelombang gravitasi atau akibat adanya gaya normal fluida yang bekerja pada seluruh permukaan badan kapal[18]. Koefisien hambatan gelombang merupakan parameter penting dalam analisis hambatan gelombang. Nilai koefisien ini sangat dipengaruhi oleh kecepatan kapal, bentuk lambung, serta kondisi hidrodinamik lainnya, seperti panjang gelombang dan bilangan Froude.

Pada kecepatan rendah, koefisien hambatan gelombang umumnya kecil, karena energi yang dibutuhkan untuk menciptakan gelombang masih relatif rendah. Namun, ketika kecepatan kapal meningkat, koefisien ini akan bertambah secara signifikan, terutama setelah melewati bilangan Froude kritis, di mana energi yang dibutuhkan untuk melawan hambatan gelombang meningkat tajam. Gambar 6. menunjukkan bagaimana koefisien hambatan gelombang bervariasi terhadap kecepatan kapal dan bilangan Froude.



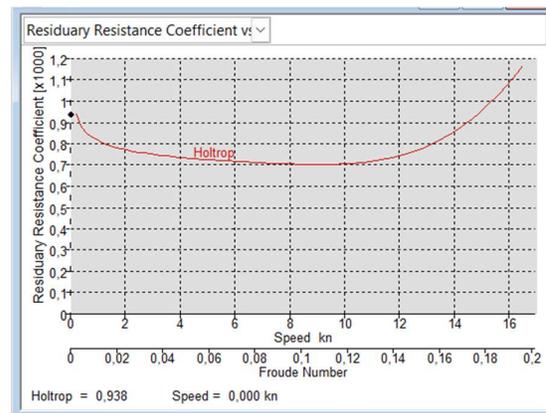
Gambar 6. Koefisien Hambatan Gelombang

Koefisien hambatan gelombang menunjukkan fluktuasi dengan tren meningkat

seiring dengan bertambahnya F_n . Hambatan gelombang berkaitan dengan energi yang hilang karena kapal menciptakan gelombang saat bergerak di permukaan air. Fluktuasi ini menunjukkan adanya resonansi gelombang yang bergantung pada kecepatan kapal dan panjang gelombang yang dihasilkan. Pada F_n rendah, kontribusi hambatan gelombang relatif kecil, tetapi meningkat signifikan pada F_n tinggi.

3.6. Koefisien Hambatan Residu

Hambatan residu merupakan salah satu komponen penting dalam hambatan total kapal yang mempengaruhi efisiensi energi dan performa kapal saat beroperasi. Hambatan residu merupakan besaran yang diperoleh dari selisih antara hambatan total dengan hambatan gesek, yang dihitung menggunakan formula tertentu[19]. Berbeda dengan hambatan gesek, hambatan residu lebih dipengaruhi oleh bentuk lambung kapal dan perilaku fluida pada berbagai kecepatan operasi. Hambatan ini menjadi signifikan terutama pada kecepatan sedang hingga tinggi, di mana interaksi dengan gelombang permukaan dan aliran belakang kapal mulai memberikan kontribusi besar terhadap resistensi total kapal.



Gambar 7. Koefisien Hambatan Residu

Pada Gambar 7. terlihat bahwa nilai koefisien hambatan residu menunjukkan pola kurva yang kompleks. Pada bilangan Froude kecil (kecepatan rendah), nilai koefisien residu cenderung tinggi. Hal ini disebabkan oleh dominasi efek hambatan gelombang dan aliran turbulen yang terjadi pada permukaan lambung kapal. Gelombang yang terbentuk pada kecepatan

rendah umumnya bersifat panjang dan memerlukan energi signifikan untuk mempertahankan pergerakan kapal. Seiring bertambahnya kecepatan (bilangan Froude meningkat), nilai koefisien hambatan residu mulai menurun secara perlahan hingga mencapai titik minimum. Penurunan ini mencerminkan bahwa pada kecepatan tertentu, bentuk lambung kapal mampu mengurangi efek hambatan residu, menunjukkan efisiensi optimal dari desain lambung kapal pada kondisi tersebut. Namun, setelah mencapai titik minimum, nilai koefisien hambatan residu kembali meningkat secara bertahap. Peningkatan ini disebabkan oleh pembentukan gelombang yang lebih besar dan lebih intens pada kecepatan tinggi. Gelombang-gelombang ini, yang dihasilkan oleh interaksi antara kapal dan air, menciptakan resistensi tambahan yang memerlukan energi lebih besar untuk mempertahankan kecepatan kapal.

3.7. Perhitungan Daya Mesin Induk Kapal

Daya motor penggerak kapal terdiri dari beberapa komponen utama yang saling berhubungan untuk memastikan kapal dapat beroperasi secara efisien. Daya Efektif (EHP) adalah daya yang diperlukan untuk mengatasi hambatan total kapal agar dapat bergerak dengan kecepatan tertentu [20]. Daya Dorong (PT) dihasilkan oleh propeller untuk mendorong kapal maju, sedangkan Daya Disalurkan (PD) adalah daya yang diteruskan dari mesin utama ke propeller. Selain itu, Daya Poros (PS) merupakan daya yang diukur pada poros utama sebelum mencapai propeller. Istilah Daya Rem (Brake Power, PB) digunakan untuk menggambarkan daya yang dihasilkan oleh mesin utama sebelum mengalami kehilangan daya akibat gesekan atau faktor lainnya. Komponen-komponen daya ini memberikan gambaran penting tentang kinerja sistem propulsi kapal. Perhitungan Daya Efektif (EHP) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= R_t \times V_t & (6) \\ \text{EHP} &= 645,9 \times 9,0023 \\ \text{EHP} &= 5814,59 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= 5814,5900 / 735,499 & (7) \\ \text{EHP} &= 7905,63 \text{ hp} \end{aligned}$$

Perhitungan SHP (Shaft Horse Power) dan DHP (Delivery Horse Power) Untuk SHP dengan

metode Holtrop harus ditentukan efisiensi propulsinya.

$$\text{SHP} = \text{EHP} / P_c \quad (8)$$

$$P_c = \text{Propulsive coefficient}$$

$$P_c = \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \quad (9)$$

$$\eta_H = \text{Hull efficiency}$$

$$\eta_H = 1,1820$$

$$\eta_O = \text{efisiensi Propeller}$$

$$\eta_O = 0,6612$$

Setelah masing – masing efisiensi propulsi diketahui maka quasi-propulsive coefficient (η_D) dapat diketahui.

$$P_c = \eta_H \times \eta_O \times \eta_R \quad (10)$$

$$= 1,1820 \times 0,6612 \times 1,0124$$

$$P_c = 0,7912$$

Setelah η_D diketahui maka SHP dapat dihitung dengan cara :

$$\text{SHP} = \text{EHP} / P_c \quad (11)$$

$$= 7905,63 / 0,7880$$

$$= 10032,53 \text{ hp}$$

$$\text{DHP} = \text{SHP} \times 0,98 \quad (12)$$

$$= 10032,53 \times 0,98$$

$$= 9831,87 \text{ hp}$$

Perhitungan BHP menggunakan dua koreksi yaitu :

1. Koreksi sebesar 3 % SHP untuk letak kamar mesin di belakang (ITTC 1957)

$$\text{BHP} = \text{SHP} + 3 \% \text{ SHP} \quad (13)$$

$$= 10032,53 + 3 \% \times 10032,53$$

$$= 10126,83 \text{ hp} \approx 10200 \text{ hp}$$

2. Koreksi untuk jalur pelayaran luar negeri sebesar 15 – 25 % SHP(ITTC 1957)

$$\text{BHP} = \text{SHP} + x \% .\text{SHP}$$

$$\text{BHP} = \text{SHP} + 25 \% \text{ SHP} \quad (14)$$

$$= 10032,53 + 25 \% \times 10032,53$$

$$\text{BHP} = 12489,49 \text{ hp} \approx 12500 \text{ hp}$$

Berdasarkan perhitungan daya motor penggerak, Daya Efektif (EHP) kapal kontainer sebesar 25.000 DWT pada kecepatan servis mencapai 5.814,59 kW atau setara dengan 7.905,63 hp. Daya Poros (SHP) dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi propulsi (propulsive coefficient, P_c) yang mencakup efisiensi hull (η_H), efisiensi propeller terbuka (η_O), dan efisiensi rotasi relatif (η_R), menghasilkan nilai P_c sebesar 0,7912. Dengan demikian, SHP kapal mencapai 10.032,53 hp, sementara Daya Disalurkan (DHP) yang diperoleh setelah memperhitungkan faktor efisiensi tambahan adalah 9.831,87 hp. Untuk Daya Rem (BHP), koreksi tambahan diterapkan berdasarkan rekomendasi ITTC 1957, yaitu koreksi 3% untuk letak kamar mesin di belakang, menghasilkan BHP sebesar 10.126,83 hp, dan koreksi tambahan 25% untuk jalur pelayaran luar negeri, sehingga BHP total mencapai 12.489,49 hp atau dibulatkan menjadi 12.500 hp.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis menggunakan metode Holtrop, hambatan kapal 25.000 DWT meningkat seiring bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan servis 16,51 knot, nilai hambatan total maksimum yang diperoleh melalui simulasi Maxsurf Resistance mencapai 645,90 kN. Daya mesin induk dihitung berdasarkan hambatan total tersebut, dengan daya efektif kapal (EHP) tercatat sebesar 5.814,59 kW atau 7.905,63 hp, daya poros (SHP) mencapai 10.032,53 hp, dan daya rem (BHP) yang dibutuhkan setelah koreksi pelayaran adalah 12.500 hp. Nilai ini mencerminkan daya yang diperlukan mesin induk untuk mengatasi hambatan total kapal dan memastikan performa optimal pada rute Surabaya-Kobe. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi metode perhitungan hambatan lain atau menggunakan perangkat lunak tambahan sebagai pembanding, sehingga hasil analisis hambatan kapal dapat menjadi lebih komprehensif dan akurat. Selain itu, penting untuk melakukan uji coba langsung atau eksperimen di kolam uji (towing tank) untuk memvalidasi hasil simulasi perhitungan hambatan. Hal ini bertujuan agar data yang diperoleh lebih mendekati kondisi nyata di lapangan, sehingga memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Maretreliono, I. P. Mulyatno, dan U. Budiarto, "Perancangan Kapal Tanker 30000 DWT Untuk Rute Pelayaran Surabaya-Singapura," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [2] J. Sitepu, "Dampak Penerapan Indonesia-Japan Economic Partnership Agreement (IJ-EPA) Terhadap Nilai Ekspor Impor Indonesia," *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, vol. 2, no. 3, pp. 19-30, 2019.
- [3] B. Ali, N. Firdaus, dan N. Nurhadi, "Analisa Hidrodinamika Kapal Container Sarat Rendah," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 14, no. 3, pp. 65-70, 2017.
- [4] M. F. Muvariz *et al.*, "Studi Perhitungan Tahanan Kapal Kontainer 8500 DWT," *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, vol. 1, no. 1, pp. 14-19, 2019.
- [5] D. Chrismianto, A. Trimulyono, dan M. N. Hidayat, "Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Kapal Terhadap Hambatan Total Dengan Menggunakan CFD," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 11, no. 1, pp. 40-48, 2014.
- [6] G. M. Ahadyanti, *Modifikasi Bentuk Lambung Pada Shallow Draft Bulk Carrier Untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [7] M. Chaal, *Ship Operational Performance Modelling for Voyage Optimization Through Fuel Consumption Minimization*. 2018.
- [8] B. Reynaldo, B. A. Adietya, dan M. Iqbal, "Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Lambung Waterline Parabolization Terhadap Hambatan, Arah, dan Kecepatan Aliran (Wake), Serta Olah Gerak Kapal Pada Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [9] M. Alfaruqi, A. Trimulyono, dan A. F. Zakki, "Analisa Kapal Container 21300 DWT Untuk Rute Pelayaran Jakarta-Makassar," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [10] S. R. Nainggolan, B. A. Adietya, and U. Budiarto, "Perancangan kapal kontainer 120 TEU rute pelayaran Tanjung Mas-Tanjung Pinang," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [11] S. Suardi, R. J. Ikhwan, dan H. D. Salma, "Desain Kapal Penangkap Ikan Multipurpose 70 GT," *Inovtek Polbeng*, vol. 8, no. 2, pp. 175, 2018.

- [12] A. P. Sidabalok, D. Chrismianto, M. Iqbal, dan L. Belakang, "Analisa Perbandingan Ulstein X-Bow Dengan Bulbous Bow Konvensional Terhadap Nilai Hambatan Total Dan Konsumsi Energi," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 141-151, 2016.
- [13] A. F. Molland, S. R. Turnock, dan D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion*. 2nd ed. 2017.
- [14] E. V. Lewis, Ed., *Principles of Naval Architecture Vol. II: Resistance, Propulsion, and Vibration*. 2nd rev. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [15] R. Rachman dan E. Pranatal, "Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf Dengan Metode Matematis Untuk Perhitungan Hambatan dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 DWT," dalam *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, vol. 2, no. 1, 2020.
- [16] W. Djafar, *Pengantar Kapal Nonkonvensional*, ISBN: 978-623-89432-6-5. Book-Professorline, 2024.
- [17] F. F. Yuliansyah, D. Chrismianto, dan A. W. B. Santosa, "Analisa hambatan total dan lift force pada kapal crew boat," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 2, no. 4, pp. 49–57, Okt. 2014.
- [18] G. A. Baskoro, B. A. Adietya, and E. S. Hadi, "Analisa Pengaruh Pemasangan Bilge Keel dengan Variasi Kecepatan Terhadap Hambatan Gelombang, Viskos dan Gesek serta Olah Gerak dan Stabilitas pada Kapal Ikan Tradisional 70 GT," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [19] A. Gibson dan I. K. A. P. Utama, "Analisis CFD Hambatan Lambung Kapal Trimaran Asimetris Flat Side Inside dengan Variasi Jarak Antar Lambung Secara Membujur," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 1, pp. G31–G36, 2016.
- [20] S. P. Sitorus, U. Budiarto, dan Kiryanto, "Perancangan Propeller dan Engine Propeller Matching pada Kapal Self Propelled Oil Barge (SPOB) 5000 DWT," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 563–578, Oktober 2020.