



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Hambatan Kapal *Bulk Carrier* 22500 DWT Pada Perairan Semarang-Singapura

Yohanes Widiyanto<sup>1)</sup>, Berlian Arswendo Adietya<sup>2)</sup>, Samuel<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Desain dan Digitalisasi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*)</sup>e-mail : [yohaneswidiyanto4@gmail.com](mailto:yohaneswidiyanto4@gmail.com), [berlianarswendokapal@gmail.com](mailto:berlianarswendokapal@gmail.com), [samuel@ft.undip.ac.id](mailto:samuel@ft.undip.ac.id)

### Abstrak

Dalam perancangan kapal *Bulk Carrier*, aspek hambatan dan daya mesin menjadi hal krusial yang harus diperhatikan agar kapal dapat beroperasi optimal dan efisien. Hambatan kapal berkaitan langsung dengan performa sistem propulsi, di mana performa propulsi yang cukup akan menjamin kapal mampu mencapai kecepatan yang ditentukan. Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai hambatan total dan menganalisis daya mesin yang dibutuhkan guna mendukung efisiensi pelayaran. Salah satu metode empiris yang banyak digunakan dalam menghitung hambatan total kapal adalah metode Holtrop-Mennen, karena mampu memisahkan antara hambatan gesek dan residu. Dalam penelitian ini, proses analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Maxsurf Modeler dan Maxsurf Resistance. Data primer diperoleh dari ukuran utama kapal: Data primer diperoleh dari ukuran utama kapal, yaitu panjang (LOA): 159,43 m, panjang (LPP): 150,41 m, panjang (LWL): 154,92 m, lebar (B): 26,75 m, draft (T): 10,23 m, Cb: 0,8, DWT: 22500 ton, dan kecepatan (Vs): 10,07 knot. Hasil analisis menunjukkan hambatan total kapal pada kecepatan penuh sebesar 218,10 kN (Maxsurf) dan 216,07 kN (manual), selisih 0,93%. Daya efektif (EHP) yang dibutuhkan mencapai 1515,49 HP (Maxsurf) dan 1613,07 HP (manual), selisih 6,05%. Hasil menunjukkan hambatan berbanding lurus dengan EHP dan membuktikan bahwa Maxsurf dapat mempercepat proses perhitungan dan menghasilkan hasil akurat.

Kata Kunci : *Bulk Carrier*, Hambatan Kapal, Holtrop, Daya Mesin, Maxsurf Resistance

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia berdasarkan jumlah pulau yang ada di Indonesia kurang lebih 17.499 pulau dari Sabang hingga Merauke[1]. Dengan kondisi geografis yang strategis, yaitu di antara benua Asia dan Australia, dan juga Samudera Hindia dan Pasifik menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi yang besar sebagai tujuan perdagangan dan kerja sama lintas negara. Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak dan wilayah terluas di kawasan ASEAN[2]. Keunggulan ini menjadi modal penting bagi Indonesia dalam mendorong pertumbuhan ekonomi melalui aktivitas perdagangan internasional. Negara-negara seperti Singapura, Malaysia, dan Thailand menjadi tiga mitra utama ekspor Indonesia di ASEAN, dengan ketiganya menyerap sekitar 7 hingga 8 dari 10 komoditas unggulan ekspor Indonesia. Indonesia sendiri

memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah di sektor pertambangan, pertanian, dan kelautan. Komoditas utama ekspor Indonesia meliputi CPO, kakao, kopi, batu bara, nikel, serta besi dan baja, yang sebagian besar diekspor dalam bentuk curah[3]. Untuk mengangkut komoditas curah ini, memerlukan kapal yang dirancang khusus untuk efisiensi dan keamanan, dan dalam hal ini jenis kapal niaga yang paling umum digunakan adalah *Bulk Carrier*.

*Bulk Carrier* adalah jenis kapal yang paling besar populasinya. Tercatat 13.182 unit di seluruh dunia[4]. Di Indonesia, armada kapal *Bulk Carrier* yang tercatat oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia mencakup sekitar 1,58% dari total kapal yang beroperasi. Jumlah tersebut terdiri atas 53 unit *Bulk Carrier* yang memiliki izin SIOPSUS dan 294 unit dengan izin SIUPAL, dari keseluruhan 21.845 kapal yang terdaftar[5]. Sesuai dengan fungsi utamanya, kapal jenis *Bulk Carrier* dirancang khusus untuk mengangkut muatan curah

dalam jumlah besar, seperti batu bara, bijih besi, biji-bijian, mineral, dan komoditas sejenis lainnya. Kapal ini memiliki ruang muat besar dan terbuka yang memungkinkan proses bongkar muat dilakukan dengan efisien, baik menggunakan sistem *grab*, *conveyor*, maupun aliran gravitasi. Berbeda dari kapal *General Cargo* yang mampu membawa berbagai jenis muatan dalam satu pelayaran, *Bulk Carrier* umumnya difungsikan untuk mengangkut satu jenis kargo secara homogen dalam satu perjalanan. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi pengangkutan dan meminimalisasi resiko kontaminasi antar jenis barang muatan kargo.

Namun dalam kurun waktu 2014 hingga 2023 banyak sekali kasus kecelakaan yang melibatkan kapal *Bulk Carrier*, dilaporkan sebanyak 21 kapal dengan berat lebih dari 10.000 DWT mengalami insiden[6]. Terutama pada tahun 2019 adanya kapal berbendera Indonesia yang terjadi pada MV. Nur Allya yang mengalami insiden *cargo liquefaction* atau likuefaksi yang memuat nikel ore (bijih nikel)[7]. Namun, jika mencermati dalam 10 tahun terakhir dari 2014-2023 terlihat adanya penurunan kasus dan kerugian yang disebabkan oleh kecelakaan antara tahun 1990 hingga 2023 sehingga menunjukkan adanya peningkatan kinerja keselamatan[6]. Faktor yang menyebabkan kecelakaan antara lain seperti *cargo liquefaction*, *grounding*, cuaca, permesinan, *human error*, dan kesalahan *structural* perancangan.

Dalam perancangan sebuah kapal *Bulk Carrier*, tentu harus memperhatikan aspek hambatan dan daya mesin agar kapal dapat beroperasi dengan baik dan efisien. Seperti yang dijelaskan dalam penelitian, Hambatan total kapal terdiri dari berbagai komponen hambatan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi[8]. Dari hambatan ini yang menjelaskan bahwa performa propulsi yang cukup akan menjamin bahwa suatu kapal dapat memenuhi kecepatan yang diperlukan. Selain itu apabila menggunakan bentuk lambung kapal yang dibuat sedemikian rupa sehingga secara faktor ekonomis memberikan hambatan yang minimum terhadap gerakan serta dapat memberikan daya yang minimum namun efektif dan efisien dalam pemilihan mesin yang ringan tanpa kehilangan kapasitas muatan yang ditentukan.

Salah satu metode yang sering digunakan dalam mencari nilai hambatan total adalah metode Holtrop-Mennen, yang telah diterapkan dalam berbagai penelitian untuk menentukan nilai hambatan total kapal berdasarkan koefisien hambatan gesek dan hambatan residu[9]. Selain itu, terdapat penelitian yang membandingkan performa kapal dengan dan tanpa modifikasi bentuk

lambung, serta pengaruh variasi desain bulbous bow dalam mengurangi hambatan total.

Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai hambatan total pada kapal dan analisa daya mesin yang dibutuhkan kapal untuk efisiensi. Metode pada penelitian ini menggunakan *software* analisa numerik dan *software* untuk membantu perhitungan. *Software* yang digunakan untuk menganalisis data dalam penelitian ini adalah Maxsurf modeler dan Maxsurf Resistance.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjelaskan perbandingan perhitungan nilai hambatan total menggunakan perhitungan manual maupun menggunakan bantuan *software* dengan metode Holtrop serta menentukan daya mesin utama kapal yang cocok dengan kondisi perairan tersebut dimana berfokus pada analisis hambatan kapal *Bulk Carrier* 22500 DWT yang beroperasi pada rute Semarang-Singapura. Dalam hal ini juga adanya perbandingan perhitungan manual dan menggunakan Maxsurf dapat menjadi acuan dalam sistem perhitungan hambatan dalam menghemat waktu proses perhitungan sehingga efektif menjadi acuan untuk proses perancangan kedepannya serta dapat memberi saran atau rekomendasi terhadap keadaan kapal yang telah ada.

Atas dasar inilah yang menjadi latar belakang penulis untuk merancang sebuah kapal niaga jenis *Bulk Carrier* sebagai sarana transportasi laut yang aman, nyaman, cepat, dan efisien, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan karakteristik transportasi Indonesia.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Gambaran Perdagangan Indonesia-Singapura

Perdagangan antara Indonesia dan Singapura merupakan hubungan ekonomi bilateral yang strategis di Asia Tenggara. Neraca perdagangan sempat mencatat surplus pada 2020–2021, namun mengalami defisit ringan pada 2022 hingga 2024 akibat tingginya impor dan dinamika global. Meskipun terjadi fluktuasi, hubungan dagang tetap kuat dan didukung kerja sama di bidang investasi, jasa keuangan, dan pariwisata[10]. Kondisi ini mencerminkan bahwa perdagangan kedua negara bersifat saling menguntungkan dan berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional masing-masing.

### 2.2. Kapal *Bulk Carrier*

Kapal *Bulk Carrier* adalah kapal komersial yang digunakan untuk mengangkut muatan curah kering, seperti gandum, jagung, beras, nikel, batu

bara, dan berbagai jenis biji-bijian lainnya. Istilah *Bulk Carrier* berasal dari bahasa Inggris, di mana "*Bulk*" berarti "besar" atau "kuat," dan "*Carrier*" berarti pembawa. Dengan demikian, kapal *Bulk Carrier* dirancang untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar dan berat, hal ini karena kapal muatan curah kering memiliki kekuatan dan daya angkut yang besar[11]. *Bulk Carrier* biasanya memiliki ukuran yang cukup besar, dengan panjang rata-rata lebih dari 100 meter. Dimana kapal ini termasuk ke dalam kategori kapal niaga khusus selain *oil tanker*, *chemical tanker*, dan *LNG ship*.



**Gambar 1.** Kapal *Bulk Carrier*[12]

Kapal *Bulk Carrier* dapat dikategorikan ke dalam berbagai jenis berdasarkan ukuran dan jenis muatannya, di antaranya adalah[11] :

1. *Mini Bulk Carrier*

Kapal *Bulk Carrier* dengan panjang 100-130 m dan kapasitas muatan kurang dari 10.000 DWT ini digunakan untuk mengangkut muatan curah dalam volume kecil dan cocok untuk perairan yang lebih dangkal.

2. *Handysize Bulk Carrier*

Tipe kapal *Bulk Carrier* dengan panjang 130-150 m berkapasitas muatan antara 10.000 hingga 35.000 DWT ini umumnya digunakan untuk mengangkut muatan seperti bijih besi, batu bara, dan gandum.

3. *Supramax Bulk Carrier*

Kapal *Bulk Carrier* dengan panjang kapal antara 150-200 m kapasitas muatan berkisar antara 35.000 hingga 60.000 DWT ini biasanya digunakan untuk mengangkut muatan curah dalam *volume medium* dan mampu beroperasi di pelabuhan dengan infrastruktur yang terbatas.

4. *Panamax Bulk Carrier*

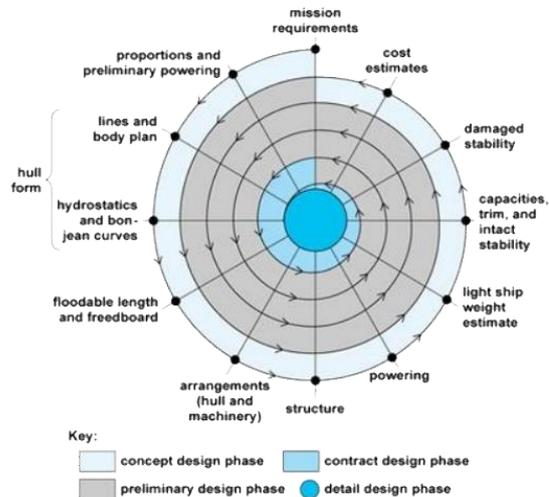
Kapal *Bulk Carrier* dengan panjang antara 200-230 m dan kapasitas muatan antara 60.000 hingga 80.000 DWT yang dirancang pada Terusan Panama, umumnya digunakan untuk mengangkut biji-bijian, batu bara, dan bijih besi.

5. *Capesize Bulk Carrier*

Panjang kapal *Bulk Carrier* berkisar 230-270 m dengan kapasitas muatan 80.000 hingga 199.000 DWT ini umumnya digunakan untuk mengangkut bijih besi, batu bara, dan komoditas lainnya dalam jumlah besar.

### 2.3. Teori Desain

Proses perancangan kapal merupakan proses yang bersifat iteratif, di mana perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil desain yang optimal.



**Gambar 2.** *Ship Design Spiral*

Pendekatan ini dikenal dengan desain spiral (*spiral design*), yang membagi keseluruhan tahapan perancangan menjadi empat fase utama[13]:

- a) *Concept Design*: Tahap awal perancangan menggunakan data empiris, historis, dan kurva desain untuk menentukan dimensi utama, kapasitas muatan, dan kecepatan.
- b) *Preliminary Design*: Pengembangan konsep dengan analisis teknis seperti hambatan, stabilitas, dan daya mesin untuk menilai kelayakan desain.
- c) *Contract Design*: Desain dirinci agar dapat dipahami galangan kapal, mencakup spesifikasi teknis, *general arrangement*, dan estimasi biaya.
- d) *Detail Design*: Tahap akhir yang menghasilkan gambar kerja dan spesifikasi lengkap untuk kebutuhan konstruksi kapal.

### 2.4. Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah ilmu yang mempelajari respon fluida terhadap pergerakan kapal yang melaluinya. Dalam konteks

hidrodinamika kapal, hambatan merujuk pada besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berfungsi untuk menghambat pergerakannya[14]. Hambatan ini setara dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan arah gerak kapal.

Hambatan total atau *Total Resistance* pada kapal adalah kombinasi dari berbagai komponen hambatan yang disebabkan oleh berbagai faktor, yang saling berinteraksi dengan cara yang kompleks. William Froude membagi hambatan total (RT) menjadi dua komponen, yaitu hambatan gesek (RF) dan hambatan sisa (RR), yang dihitung menggunakan rumus[15]:

$$R_T = R_F + R_R \quad (1)$$

$$C_T = C_F + C_R \quad (2)$$

Dimana  $C_T$  adalah koefisiensi total yang diperoleh dari penjumlahan koefisien gesek ( $C_F$ ) dan koefisien residu ( $C_R$ ).

Nilai dari hambatan total kapal terdiri dari beberapa komponen hambatan lainnya. Dimana, nilai tersebut mempengaruhi performa dari kapal ketika berinteraksi dengan air. Berikut merupakan rumus umum dari hambatan kapal yang ditunjukkan pada Persamaan 3 :

$$R_T = 1/2 \rho \cdot C \cdot S \cdot V^2 \quad (3)$$

Dimana  $R_T$  adalah hambatan kapal;  $\rho$  adalah massa jenis air;  $C$  adalah koefisien hambatan;  $S$  adalah luas permukaan basah;  $V$  adalah kecepatan kapal.

Proses analisa hambatan yang dilakukan berdasarkan Buku *Principles of Naval Architecture vol. II* yang menggunakan metode Holtrop-Mennen[16]:

$$R_T = R_v + R_w + R_{CA} \quad (4)$$

$$= 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_f \cdot (1+k) \cdot S_{tot} + \frac{R_w}{W} W + 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot C_A$$

$$= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{TOT} \left[ C_F (1+k) + C_A \right] + \frac{R_w}{W} W$$

Dimana,  $\rho$  merupakan massa jenis air laut,  $V$  adalah kecepatan dinas kapal,  $S_{tot}$  luas permukaan basah total kapal (WSA) dalam satuan  $m^2$ ,  $C_f$  adalah koefisien gesekan kapal, dan  $(1+k)$  koefisien yang menggambarkan pengaruh bentuk kapal.

## 2.5. Metode Holtrop

Metode Holtrop merupakan salah satu metode empiris yang banyak digunakan untuk menghitung hambatan total kapal berdasarkan pendekatan perhitungan matematis yang dikembangkan dari hasil uji model kapal secara eksperimental. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh J. Holtrop dan G.G.J. Mennen pada tahun 1982, dan hingga saat ini menjadi acuan penting dalam perhitungan

hambatan kapal pada tahap awal desain. Dalam penerapannya, metode Holtrop membagi hambatan total kapal ke dalam beberapa komponen utama yang harus dihitung secara terpisah. Proses analisa hambatan yang dilakukan berdasarkan Buku *Principles of Naval Architecture vol. II* yang menggunakan metode Holtrop-Mennen[16].

Komponen – komponen tahanan tersebut antara lain menentukan :

1. Hambatan gesek ( $R_v$ )
2. Hambatan gelombang ( $R_w$ )
3. Perhitungan hubungan model dengan kapal (*model ship allowance*)

## 2.6. Daya Mesin

Dalam buku *Principles of Architecture II: Resistance, Propulsion and Vibration* perhitungan daya mesin dengan metode Holtrop adalah sebagai berikut[17] :

1. Perhitungan EHP (*Effective Horse Power*)  
Daya Efektif atau EHP adalah daya yang dikeluarkan oleh mesin induk guna untuk menggerakkan kapal. Untuk mendapatkan besarnya daya Efektif kapal, digunakan persamaan berikut:

$$EHP = R_T \times V_S$$

Dimana  $R_T$  adalah Gaya Hambatan Total (kN) dan  $V_T$  adalah kecepatan servis (10,07 knot).

2. Perhitungan SHP (*Shaft Horse Power*) dan DHP (*Delivery Horse Power*)  
SHP (*Shaft Horse Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh mesin utama dan diteruskan ke poros baling-baling yang diukur pada poros di *stern tube*. Dimana rumus dalam perhitungan SHP:

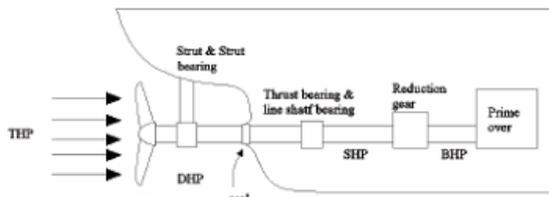
$$SHP = EHP/P_c$$

Dimana  $P_c$  adalah koefisien propulsi (0,78)

DHP (*Delivered Horse Power*) adalah daya yang disalurkan ke *propeller* kapal untuk mencapai kecepatan tertentu.

$$DHP = SHP \times 0,98$$

3. Perhitungan BHP (*Brake Horse Power*)  
BHP (*Brake Horse Power*) adalah daya yang digunakan untuk mengerem atau menghentikan kapal. Adapun persamaan dalam perhitungan BPH :
  - Koreksi sebesar 3% DHP untuk letak kamar mesin di belakang[18]  
 $BHP = SHP + 3\% SHP$
  - Koreksi 25% untuk jalur pelayaran luar negeri[18]  
 $BHP = SHP + 25\% SHP$



Gambar 3. Komponen Daya Kapal [19]

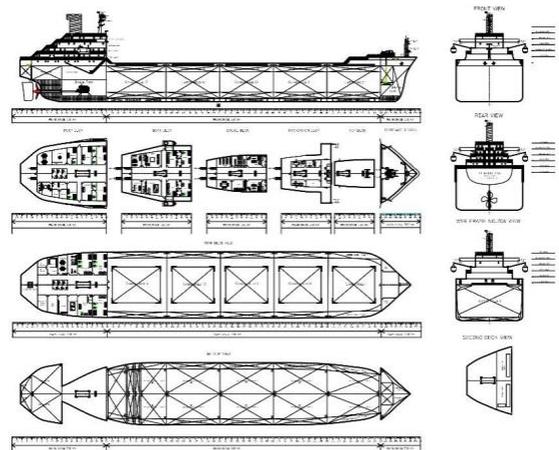
Pada Gambar 3 merupakan beberapa komponen daya kapal yang dikenal sebagai daya, terdiri dari BHP, SHP, DHP, dan EHP.

### 3. METODE

#### 3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil tugas rancang dan rencana garis berupa kapal niaga MV. SAN ANDREAS dengan jenis *Bulk Carrier* tipe ukuran *Handysize* 22500 DWT dengan rute pelayaran Semarang-Singapura sejauh 799 *sea miles*. Sebelum melakukan analisa lebih lanjut, maka diperlukannya data primer berupa ukuran utama, *lines plan*, dan *general arrangement*. Langkah berikutnya setelah memperoleh data adalah membuat model kapal dalam bentuk tiga dimensi.

Penelitian ini menggunakan *lines plan* dari MV. San Andreas berupa *body plan* kapal. Dan didapatkan juga data Rencana Umum atau *General Arrangement* merupakan salah satu faktor dalam pembuatan, umumnya bergantung pada tipe kapal yang akan direncanakan. Pada dasarnya perencanaan *general arrangement* untuk berbagai jenis kapal memiliki persamaan aspek, seperti pembuatan ruangan akomodasi dan daya mesin, meskipun pada kapal yang berbeda dapat menyebabkan variasi dan perbedaan kapasitas muatan.



Gambar 5. *General Arrangement* MV. San Andreas

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Ukuran	Satuan (m)
Panjang Kapal (LOA)	159,43 m
Panjang Kapal (LPP)	150,41 m
Panjang Kapal tercelup (LWL)	154,92 m
Lebar Kapal (B)	26,75 m
Sarat Kapal (T)	10,23 m
Tinggi sampai <i>Upper Deck</i> (H)	14,49 m
Service Speed (Vs)	10,07 knot
Koefisien Blok (Cb)	0,8
DWT	22500 ton

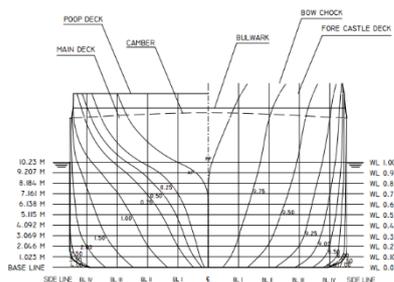
Tabel 1 menunjukkan data ukuran utama kapal dan gambar 4 menunjukkan gambar dari *lines plan* berupa bagian *body plan* yang akan digunakan sebagai objek penelitian.

Dari gambar 5 yang berisi rencana umum maka selanjutnya adalah analisis untuk perhitungan hambatan kapal yang memiliki hubungan dengan jenis mesin yang akan digunakan melalui perhitungan.

#### 3.2. Perlakuan pada Objek Penelitian

Analisis hambatan dan daya mesin dilakukan dengan menggunakan parameter tetap, yaitu desain lambung kapal serta dimensi utama seperti LOA, LPP, LWL, B, T, H, dan Vs, tanpa melibatkan parameter yang berubah, selain ukuran utama kapal disediakan juga *lines plan* dan *general arrangement* sebagai data primer serta Data sekunder meliputi data dari buku, artikel ilmiah, internet, maupun jurnal terdahulu yang berkaitan dengan materi penelitian. Penelitian kuantitatif memperhatikan pengumpulan dan analisis data dalam bentuk numerik. Dalam mengolah data yang telah diperoleh, peneliti memanfaatkan penggunaan *software* analisa numerik untuk membantu perhitungan berupa Microsoft Excel. Selanjutnya, *software* yang digunakan untuk menganalisis data dalam penelitian ini adalah Maxsurf Modeler untuk permodelan kapal dan Maxsurf Resistance untuk analisis hambatan kapal.

#### BODY PLAN



Gambar 4. *Body Plan* Objek Penelitian

### 3.3. Lokasi Penelitian

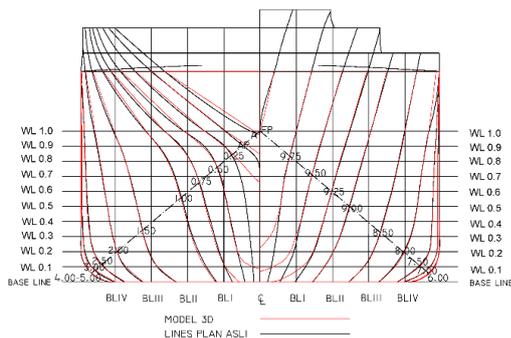
Penelitian dilakukan mulai dari bulan September 2024 sampai dengan Desember 2024 di Laboratorium Desain dan Digitalisasi Kapal Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Permodelan Kapal

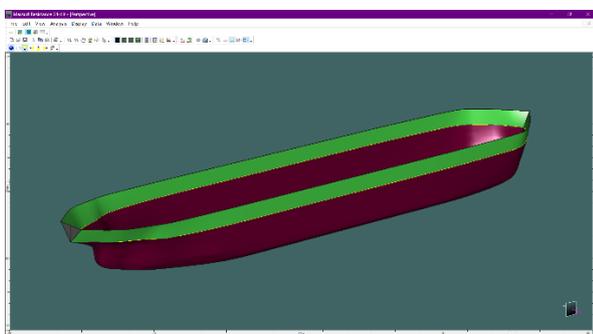
Dari data *lines plan* kapal selanjutnya dilakukan permodelan kapal dalam bentuk 3 dimensi sehingga dapat dilakukan proses analisa lebih lanjut menggunakan bantuan *software* Maxsurf.

Verifikasi kesesuaian antara model dan *lines plan* asli dilakukan dengan membandingkan ukuran utama, koefisien blok, serta *displacement*. Apabila hasil perbandingan menunjukkan kesamaan atau kemiripan yang signifikan, model tersebut dianggap layak untuk digunakan.



**Gambar 6.** Perbandingan *Lines Plan* 3D Model dengan *Lines Plan* Asli

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa antara *lines plan* model 3D dengan *lines plan* asli tidak memiliki perbedaan yang terlalu signifikan.



**Gambar 7.** Model Maxsurf 3 Dimensi Lambung Kapal

Setelah melalui Maxsurf Modeller maka terbentuk model 3 dimensi dari lambung kapal.

Melalui permodelan pada gambar 6, maka selanjutnya dapat diketahui analisa perhitungan hambatan total atau *total resistance* dari kapal MV. San Andreas sesuai dengan ukuran utama yang digunakan.

### 4.2. Analisa Hidrostatik Kapal

Lengkungan Hidrostatik digambarkan sebagai kurva yang menunjukkan sifat-sifat badan kapal yang terendam dalam air, atau juga diartikan sebagai metode untuk menentukan sifat-sifat carene[20]. Pada lengkungan hidrostatik, kurva digambarkan hingga sarat (T) penuh dan dalam kondisi keadaan tenang atau tidak mengalami *trim*. Hasil analisis hidrostatik disajikan dalam bentuk kurva hidrostatik yang dihasilkan menggunakan Maxsurf.

**Tabel 2.** Hasil analisa hidrostatik menggunakan Maxsurf

Draft A midship (m)	10,232
Displacement t	34695
Heel deg	0
Draft at FP m	10,232
Draft at AP m	10,232
Draft at LCF m	10,232
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	154,921
Beam max extents on WL m	26,76
Wetted Area m <sup>2</sup>	6120,5
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	3644,901
Prismatic coeff. (Cp)	0,813
Block coeff. (Cb)	0,797
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,981
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,879
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	77,792
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	75,046
KB m	5,323
KG m	10,23
BMt m	5,792
BML m	173,069
GMt m	0,885
GML m	168,162
KMt m	11,115
KML m	178,392
Immersion (TPc) tonne/cm	37,36
MTc tonne.m	376,607
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	535,743
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Setiap lengkungan hidrostatik yang tergambar, menjelaskan bentuk badan kapal yang tercelup dalam air pada kondisi sarat penuh. Tabel 2 menunjukkan hasil analisis hidrostatik dari model kapal menggunakan *software* Maxsurf.

### 4.3. Analisa Hambatan Kapal

Hambatan atau *Resistance* memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kebutuhan mesin dan jumlah bahan bakar minimum yang diperlukan untuk mendukung operasional

kapal[21]. Kapal dianggap memiliki efisiensi yang baik jika hambatannya relatif rendah. Dengan hambatan yang lebih kecil, jumlah bahan bakar (*fuel consumption*) yang dibutuhkan untuk mengoperasikan kapal juga akan lebih hemat. Hal ini disebabkan bahwa semakin rendah nilai hambatan pada kapal, semakin sedikit bahan bakar yang terbuang akibat dari tahanan pada lambung kapal. Selain itu, hambatan juga berpengaruh terhadap kapasitas dan ukuran mesin utama yang dipakai.

Perhitungan secara manual dibantu dengan Microsoft Excel sehingga didapat nilai Hambatan Total adalah :

$$\begin{aligned}
 R_t &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F(1+k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,025 \times 5,18^2 \times 6153,05 \\
 &\quad [0,00153(1,3916) + 0,00042244] + 0,0027 \\
 &= \mathbf{216,07 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

Sehingga diketahui dari perhitungan manual. Hambatan total pada kecepatan maksimum adalah sebesar 216,07 kN.

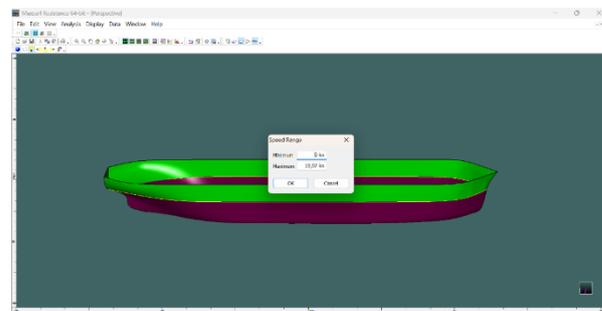
**Tabel 3.** Nilai Hambatan beserta Froude Number

Speed (knot)	Resistance (kN)
0	-
1	2,78
2	10,20
3	21,88
4	37,66
5	57,40
6	81,03
7	108,48
8	139,69
9	174,62
10,07	216,07

Data hubungan antara kecepatan kapal (knot) dan besar hambatan (kN) menunjukkan tren kenaikan seiring bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan rendah, yaitu 1 knot, hambatan hanya sebesar 2,78 kN, namun seiring peningkatan kecepatan, hambatan meningkat secara eksponensial. Misalnya, pada kecepatan 5 knot hambatan mencapai 57,40 kN, dan melonjak menjadi 108,48 kN pada 7 knot. Kenaikan ini terus berlanjut hingga pada kecepatan maksimum yang diuji, yaitu 10,07 knot, dengan hasil hambatan sebesar 216,07 kN. Pola ini mencerminkan karakteristik dasar hambatan fluida pada kapal, di mana semakin tinggi kecepatan, semakin besar gaya hambat yang dihasilkan akibat interaksi antara lambung kapal dan air laut.

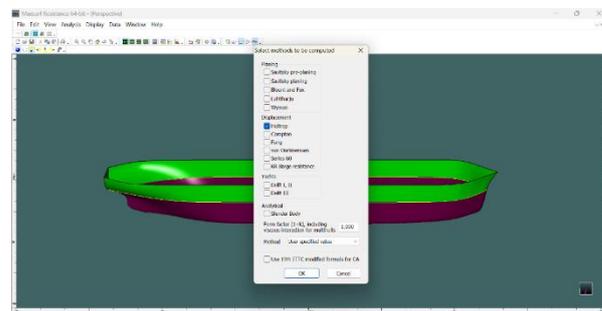
#### 4.4. Analisa Hambatan Kapal Menggunakan Software

Analisis hambatan kapal dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus, Maxsurf Resistance. Besarnya hambatan kapal ditentukan dengan membandingkan hasil hambatan yang diperoleh dalam bentuk grafik terhadap variabel kecepatan kapal.



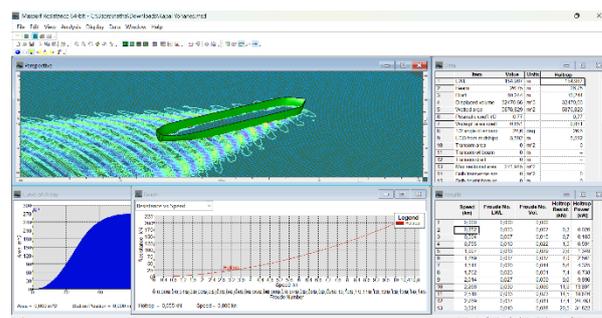
**Gambar 9.** Input Speed Range

Sebelum menganalisa dan proses *running*, selanjutnya adalah memasukkan nilai kecepatan maksimum 10,07 knot pada Maxsurf. Sehingga akan muncul nilai, data-data, dan grafik analisa perhitungan hambatan yang terjadi.



**Gambar 10.** Pemilihan Metode Holtrop

Dalam Maxsurf Resistance terdapat pilihan untuk memilih metode untuk menghitung hambatan. Namun pada penelitian ini berfokus pada Metode Holtrop yang digunakan untuk menganalisis nilai hambatan kapal pada kecepatan maksimum.



**Gambar 10.** Hasil Analisis Dan Kalkulasi Model

Setelah kalkulasi dan analisis selesai, akan terlihat beberapa hasil dalam bentuk tabel, seperti *Wave field*, *Curve Sectional Area*, Grafik Hambatan dan Kecepatan, serta Nilai Hambatan dan Kecepatan data kapal.

**Tabel 4.** Nilai Hambatan beserta Froude Number

Speed (knot)	Froude No. LWL	Froude No. Vol	Resist. (kN)	Power (HP)
0	0	0	-	-
1	0,01	0,03	2,80	1,90
2	0,02	0,05	10,40	14,41
3	0,04	0,08	22,20	46,35
4	0,05	0,11	38,20	106,25
5	0,06	0,14	58,20	202,32
6	0,08	0,17	82,20	342,56
7	0,09	0,20	110,00	534,88
8	0,10	0,23	141,70	787,44
9	0,12	0,26	177,50	1109,82
10,07	0,13	0,29	218,10	1515,48

Didapat data-data dari Maxsurf yakni korelasi antara Kecepatan, *Froude Number*, Hambatan, dan daya. Setelah mengetahui data yang diperlukan dari Tabel 4. Dapat dilihat pada Tabel 5 untuk mengetahui hasil dari penelitian menggunakan Maxsurf Resistance.

**Tabel 5.** Nilai hambatan total dan daya mesin dengan metode Holtrop

Speed (knot)	Resistance (kN)	Power (HP)
0	-	-
1	2,80	1,96
2	10,40	14,41
3	22,20	46,35
4	38,20	106,25
5	58,20	202,32
6	82,20	342,56
7	110,00	534,88
8	141,70	787,44
9	177,50	1109,82
10,07	218,10	1515,48

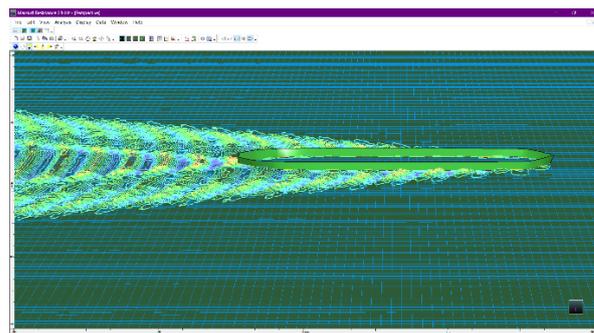
Pada tabel 5 menunjukkan nilai hambatan dan daya utama dari hasil analisa menggunakan *software* Maxsurf Resistance pada tiap-tiap kecepatan yang ditentukan. Dimana kecepatan kapal mempengaruhi hambatan dan kebutuhan daya mesin, semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar nilai hambatan dan daya mesin yang dibutuhkan. Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar hidrodinamika, di mana hambatan total (total resistance) terdiri dari komponen-komponen hambatan gelombang dan viskositas yang sensitif terhadap perubahan kecepatan. Melalui simulasi

ini, dapat diperoleh gambaran performa kapal pada berbagai kecepatan dan digunakan sebagai dasar perencanaan operasional maupun desain sistem propulsi yang lebih efisien.



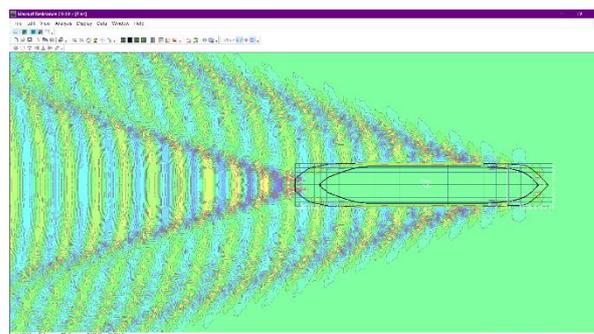
**Gambar 11.** Grafik Nilai Hambatan Kapal Pada Tiap Kecepatan

Dari hasil analisis hambatan menggunakan Maxsurf kapal *Bulk Carrier* dengan  $C_b$  0,8 dapat diketahui bahwa nilai hambatan kapal sebesar 218,10 kN pada kecepatan penuh sebesar 10,07 knot.



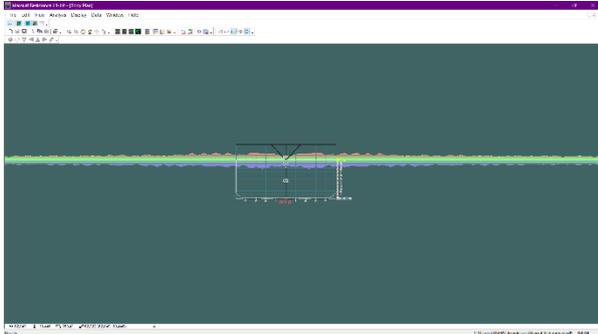
**Gambar 12.** Proses *Running* Analisa Hambatan Menggunakan Maxsurf dilihat dari samping

Analisis hambatan tampilan visual dari proses *running* analisis hambatan kapal yang dilakukan menggunakan Maxsurf, dilihat dari sisi lambung kapal (*side view*). Tampilan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai bentuk longitudinal kapal, yang sangat memengaruhi pola aliran fluida di sepanjang permukaan lambung.



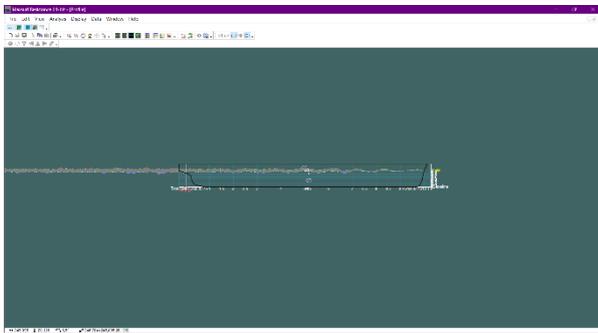
**Gambar 13.** Proses *Running* Analisa Hambatan Menggunakan Maxsurf dilihat dari atas

Gambar 13 memperlihatkan proses analisis hambatan kapal menggunakan Maxsurf Resistance. Tampak dari tampilan atas, gelombang hambatan yang dihasilkan dapat terlihat dengan jelas berupa hambatan air terjadi di sekitar lambung kapal.



**Gambar 14.** Proses *Running* Analisa Hambatan Menggunakan Maxsurf bagian *Body Plan*

Dapat dilihat proses running dari bagian *body plan* dalam menganalisa hambatan kapal pada tiap bagian dengan memberikan representasi visual dari distribusi hambatan sepanjang badan kapal. Simulasi ini mempertimbangkan geometri detail lambung kapal, termasuk bentuk melintang (*cross-section*), kelengkungan garis tengah, dan dimensi vertikal-horizontal lainnya.



**Gambar 15.** Proses *Running* Analisa Hambatan Menggunakan Maxsurf bagian *Profile*

Pada gambar 15 memberikan hasil dari proses running jika dilihat dari penampang *profile* kapal pada Maxsurf Resistance. Pada tampilan ini, distribusi gelombang dan hambatan air dapat diamati sepanjang garis *keel* hingga permukaan air, memperlihatkan bagaimana aliran fluida berinteraksi dengan bentuk badan kapal secara longitudinal.

#### 4.5. Analisa Kebutuhan Daya Mesin

Daya mesin minimum yang diperlukan untuk mengoperasikan kapal ditentukan melalui analisis hambatan kapal. Hambatan ini memiliki hubungan langsung dengan kecepatan kapal. Daya mesin

minimum dihitung dengan mengalikan kecepatan kapal yang direncanakan dengan nilai hambatan yang telah dianalisis.

**Tabel 6.** Perhitungan Manual Daya Utama

<i>Speed</i> (knot)	<i>Resistance</i> (kN)
0	-
1	2,06
2	15,12
3	48,67
4	111,66
5	212,77
6	360,43
7	562,94
8	828,48
9	1165,11
10,07	1613,07

Pada Tabel 6, diketahui Data hubungan antara kecepatan kapal (knot) dan daya yang dibutuhkan kapal (HP) menunjukkan pola kenaikan yang sangat signifikan seiring bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan rendah seperti 1 knot, daya yang diperlukan hanya sebesar 2,06 HP, namun nilai ini meningkat drastis seiring peningkatan kecepatan. Misalnya, pada 5 knot daya yang dibutuhkan adalah 212,77 HP, dan pada 8 knot melonjak menjadi 828,48 HP. Kebutuhan daya maksimalnya pada kecepatan 10,07 knot dengan total sebesar 1613,07 HP.

**Tabel 7.** Perhitungan Manual Daya Utama

Daya Mesin	Nilai <i>Power</i> (HP)
EHP ( <i>Effective</i> )	1613,07
SHP ( <i>Shaft</i> )	2042,73
DHP ( <i>Delivery</i> )	2001,87
BHP ( <i>Brake</i> )	2104,01
BHP (untuk koreksi jalur luar negeri 25%)	2553,41

Berdasarkan perhitungan, daya efektif (EHP) kapal yang dirancang adalah sebesar 16,13,07 HP. Selanjutnya, daya poros (SHP) dihitung dengan membandingkan EHP dengan koefisien propulsi ( $P_c$ ) dengan nilai sebesar 2042,73 HP. Setelah nilai SHP diketahui, maka untuk menentukan nilai DHP dengan SHP dikalikan dengan 0,98 maka hasil nilai DHP sebesar 2001,87 HP. Proses berikutnya adalah menghitung nilai BHP (*Break Horse Power*) dengan koreksi letak kamar mesin di belakang sebesar 3% sebesar 2104,01 HP serta menambahkan 25% dari nilai SHP, karena kapal tersebut akan beroperasi pada jalur pelayaran luar negeri[18]. Dengan demikian, nilai akhir BHP yang diperoleh adalah 2553,41 HP atau dibulatkan menjadi 2600 HP (1938,82 bkW).



**Gambar 16.** Grafik Analisa Daya Mesin Pada Tiap Kecepatan

Dapat dilihat pada Gambar 16 didapatkan grafik daya utama (*main power*) kapal 1515,48 HP. Hasil inilah yang digunakan sebagai nilai dari EHP (*Effective Horse Power*) menggunakan software Maxsurf pada kecepatan maksimum yang ditunjukkan dengan nilai yang naik dari tiap kecepatan hingga kecepatan maksimum 10,07 knot.



**Gambar 17.** Mesin Utama Kapal[22]

Berdasarkan perhitungan daya yang dibutuhkan (BHP) dipilihlah mesin yang sesuai dengan daya tersebut, dengan mempertimbangkan efisiensi dan keekonomisan, yaitu mesin Engine Caterpillar C280-6[22] yang dipakai sebagai mesin utama penggerak kapal *Bulk Carrier* ini.

**Tabel 8.** Spesifikasi Mesin Utama

No	Spesifikasi	Dimensi
1	Daya Mesin	2320-2722 bhp
2	RPM	900-1000 putaran/menit
3	Panjang	4013 mm
4	Lebar	1803 mm
5	Tinggi	2743 mm
7	Berat	15680 kg

Maka didapatkan spesifikasi dari mesin utama yang digunakan seperti pada tabel 8 sesuai dengan perhitungan dan analisa yang ada. Mesin utama ini dipilih untuk memastikan kapal dapat beroperasi dengan efisien dan sesuai dengan kebutuhan daya yang dihitung dalam analisis hambatan dan propulsi kapal.

## 5. KESIMPULAN

Dari analisa hambatan yang telah dilakukan pada kapal *Bulk Carrier 22500 DWT* pada Perairan Semarang-Singapura, maka dapat disimpulkan bahwa:

Dalam analisa hambatan total yang telah dilakukan, diketahui perhitungan manual hambatan total dari kapal yang diuji pada kecepatan penuh ( $V = 10,07$  knot) adalah 216,07 kN. Sedangkan hasil dari perhitungan hambatan total menggunakan Maxsurf Resistance adalah 218,10 kN. Nilai hambatan ini mencerminkan performa hidrodinamika kapal dalam kondisi perairan yang dianalisis.

Penelitian ini juga membandingkan hasil perhitungan hambatan total secara manual dengan hasil simulasi dari software Maxsurf. Perbandingan tersebut menunjukkan prosentase selisih yang relatif kecil, yaitu sekitar 0,93% untuk hambatan total dan selisih 6,05% untuk daya mesin utama yang tergolong kecil hingga sedang karna masih di bawah 10% dan masih dalam batas toleransi yang umum digunakan dalam perancangan. Dalam analisa ini penggunaan metode Holtrop juga dapat menemukan nilai dari daya mesin kapal itu. Dimana hasil yang didapat dengan perhitungan manual EHP adalah 1613,07 HP. Sedangkan dengan perhitungan menggunakan Maxsurf Resistance adalah 1515,49 HP. Dari hasil analisa ini dapat disimpulkan bahwa nilai hambatan kapal memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan *Effective Horse Power* (EHP), di mana peningkatan hambatan secara langsung akan meningkatkan kebutuhan daya mesin untuk menggerakkan kapal pada kecepatan tertentu.

Untuk menentukan mesin yang dipilih, maka digunakanlah hasil dari nilai BHP sebesar 2600 HP. Dari nilai BHP tersebut, maka dipilihlah mesin induk (*main engine*) Caterpillar C280-6 yang dapat menjadikan acuan dalam memilih mesin yang ekonomis dan efisien sesuai jalur pelayaran Semarang-Singapura dengan jarak 799 sea miles.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada orang tua atas dukungan moral dan doanya, teman-teman Teknik Perkapalan angkatan 2018 atas bantuan dan dukungan selama proses penelitian, serta kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya dalam menyelesaikan penelitian. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada kepada Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pembinaan Hukum Nasional, "Indonesia Merupakan Negara Kepulauan Yang Terbesar Di Dunia." [Online]. Available: <https://bphn.go.id/berita-utama/indonesia-merupakan-negara-kepulauan-yang-terbesar-di-dunia-3441>
- [2] B. Septiawan, "Analisis Potensi Ekspor Indonesia Terhadap Negara Asean Dengan Pemanfaatan Perjanjian Masyarakat Ekonomi Asean (Mea)," *AKUNTABILITAS J. Ilm. Ilmu-Ilmu Ekon.*, vol. 15, no. 1, pp. 61–75, 2023, doi: 10.35457/akuntabilitas.v15i1.2944.
- [3] Trading Economics, "Indonesia Exports By Category." [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/indonesia/exports-by-category>
- [4] AtlasMagazine, "The World Merchant Fleet." [Online]. Available: <https://www.atlas-mag.net/en/category/tags/focus/the-world-merchant-fleet>
- [5] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, "Jumlah Armada Niaga Nasional Berbendera Indonesia Tahun 2021."
- [6] Intercargo, "Bulk Carrier Casualty Report 2014-2023," p. 19, 2023, [Online]. Available: <https://www.iims.org.uk/wp-content/uploads/2018/05/INTERCARGO-Bulk-Carrier-Casualty-Report.pdf>
- [7] Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republik Indonesia, "Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran: Tenggelamnya NUR ALLYA di Perairan Halmahera, Maluku Utara, Republik Indonesia, 21 Agustus 2019," p. 1520, 2021, [Online]. Available: <https://knkt.go.id/Repo/Files/Laporan/Pelayaran/2019/KNKT.19.08.20.03> Nur Allya.pdf
- [8] A. Maulana, Talahatu, and M. Alberth, "Optimalisasi hambatan kapal skala penuh berdasarkan analisa uji tarik kapal model," *Skripsi Univ. Indones.*, 2011.
- [9] S. H. Hong, D. M. Kim, and S. J. Kim, "A Back-Forward Approach-Based Efficiency Performance Analysis Model for Hybrid Electric Propulsion Ships Using the Holtrop-Mennen Method," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.3390/jmse12010009.
- [10] Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, "Neraca Perdagangan Dengan Mitra Dagang." [Online]. Available: [https://satudata.kemendag.go.id/data-](https://satudata.kemendag.go.id/data-informasi/perdagangan-luar-negeri/neraca-perdagangan-dengan-mitra-dagang)
- [11] MGMaritim, "Kapal Bulk Carrier: Pilihan Terbaik untuk Pengiriman Muatan Besar." [Online]. Available: <https://mgmaritim.com/kapal-bulk-carrier-pilihan-terbaik-untuk-pengiriman-muatan-besar/>
- [12] The CSL Group, "Geared Bulk Carriers Fleet." [Online]. Available: <https://cslships.com/fleet/geared-bulk-carriers/>
- [13] D. G. . Watson, *Practical Ship Design*, 1st ed., vol. 1, no. C. Oxford, UK: Elsevier Science, 1998. doi: 10.1016/S1571-9952(98)80003-2.
- [14] Z. B. Sijabat, E. S. Hadi, and G. Rindo, "Pengaruh Sudut Masuk Pada Kapal Perintis 750 Dwt Terhadap Resistance Kapal Dengan Penambahan Anti-Slamming Bulbous Bow Tipe Delta ( $\Delta$ -Type)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, p. 28, 2018.
- [15] F. U. Paisal, "Studi Hambatan Total Kapal Model Menggunakan Prinsip Uji Tarik Kapal Model Dengan dan Tanpa Penempelan Kulit Belut 25% dari Haluan dan Variasi Sudut Trim by Stern 1,96'0 DAN 2,84'0," Universitas Indonesia, 2011.
- [16] J. Holtrop and G. G. J. Mennen, "An Approximate Power Prediction Method," 1982.
- [17] E. V. . Lewis, *Principles of Naval Architecture. Vol 2; Resistance, Propulsion and Vibration*, vol. 2. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [18] ITTC, "Recommended Procedures and Guidelines Testing and Data Analysis Resistance Test," Sep. 2008.
- [19] S. Salmat, A. Zulhendrik, M. I. Iski, A. Adli, and A. Z. Nasty, "Design of Hybrid Hull Ship by B-NINE TEAM to The National Unmanned Fast Boat Contest 2019," *Teknomekanik*, vol. 3, no. 1, pp. 17–21, May 2020, doi: 10.24036/tm.v3i1.5772.
- [20] P. B. Pamungkas and I. P. Mulyatno, "Perancangan Kapal Bulk Carrier 6200 DWT untuk Rute Pelayaran Jakarta-Palngkaraya," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 2, no. 2, pp. 1–2, 2014.
- [21] Y. H. Prayitno, W. Amiruddin, and G. Rindo, "Perancangan Kapal Bulk Carrier 21600 DWT Untuk Rute Pelayaran Makassar - Guangzhou," *J. Tek. Perkapalan*, vol. XX, 2024.
- [22] Trakindo CAT, "Specification of C280-6."

[Online]. Available:  
[https://www.cat.com/id\\_ID/products/new/power-systems/marine-power-systems/commercial-propulsion-engines/18390306.html](https://www.cat.com/id_ID/products/new/power-systems/marine-power-systems/commercial-propulsion-engines/18390306.html)