



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Hambatan dan Olah Gerak Kapal *General Cargo* 11280 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya - Makassar

Zakaria Ma'arif<sup>1)</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>

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

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*e-mail :zakariazm1872@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hambatan total dan olah gerak kapal *general cargo* berkapasitas 11.280 DWT dengan rute pelayaran Surabaya-Makassar. Analisis hambatan dilakukan menggunakan metode Holtrop, baik melalui perhitungan manual dengan Microsoft Excel maupun software Maxsurf Resistance. Perbandingan hasil menunjukkan perbedaan maksimum sebesar 7,87% pada kecepatan maksimum 13,57 knot, di mana Maxsurf menghasilkan nilai hambatan yang lebih tinggi. Validasi model hidrostatis menunjukkan bahwa perbedaan antara model 3D dan data kapal asli masih dalam batas toleransi  $\pm 5\%$ . Analisis olah gerak dilakukan melalui Maxsurf Motion menggunakan spektrum gelombang ITTC menggunakan metode strip theory dengan variasi sudut masuk gelombang dan ketinggian gelombang. Hasil menunjukkan bahwa nilai heaving tertinggi terjadi pada arah beam seas ( $90^\circ$ ), sementara nilai pitching tertinggi ditemukan pada head seas ( $180^\circ$ ) saat kecepatan maksimum. Evaluasi terhadap kriteria olah gerak NORDFORSK (1987) mengonfirmasi bahwa nilai gerakan kapal masih memenuhi batas yang ditetapkan. Penelitian ini memberikan panduan untuk desain kapal yang efisien, khususnya dalam mengurangi hambatan dan meningkatkan stabilitas selama operasi di laut. Temuan ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional kapal dalam kondisi pelayaran yang beragam.

Kata Kunci : *General cargo*, hambatan, olah gerak.

### 1. PENDAHULUAN

Menurut Badan Pusat Statistik, pada periode 2020-2022 volume muat barang di pelayaran dalam negeri maupun luar negeri selalu mengalami peningkatan. Sementara itu, volume bongkar barang baik di pelayaran dalam negeri maupun luar negeri cenderung mengalami fluktuasi. Pada tahun 2022 bongkar muat barang dalam negeri mencapai 392,93 juta ton dan 398,57 juta ton. Sementara itu bongkar muat barang di pelayaran luar negeri mencapai 115,77 juta ton dan 391,07 juta ton[1].

Kapal barang, atau sering disebut kapal kargo, adalah jenis kapal yang digunakan untuk mengangkut barang dan muatan dari satu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Kargo yang dibawa oleh kapal adalah kargo umum, yang berarti barang yang diangkut bisa bervariasi. Metode pengemasannya juga beragam, tergantung pada jenis barang dan kebijakan pihak terkait;

beberapa barang dikemas dalam peti kargo, sementara yang lainnya tidak. Kapal barang biasanya dilengkapi dengan fasilitas yang mempermudah proses pemindahan barang, seperti crane untuk bongkar muat, dan berbagai peralatan lainnya. Namun, fasilitas ini tidak selalu tersedia pada setiap kapal barang, karena tergantung pada keputusan masing-masing pemilik kapal[2].

Namun ditengah pencapaian produksi dan ekspor di sektor kelautan yang baik, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dalam kegiatan Media Rilis Akhir Tahun Capaian Kinerja KNKT 2021 menjelaskan bahwa pada tahun 2021 tercatat bahwa moda pelayaran menyumbang angka terbesar dalam kecelakaan transportasi yang di investigasi oleh KNKT. Keselamatan kapal menjadi isu penting sepanjang 2021, dimana total meninggal akibat kecelakaan tersebut mencapai 342 jiwa.

Ada 3 faktor yang menyebabkan kecelakaan di laut, yaitu faktor alam, faktor manusia, serta faktor lainnya. Faktor alam adalah faktor yang tidak dapat di hindari, sedangkan faktor manusia dapat di cegah ataupun di minimalisir dengan cara melaksanakan pelatihan terhadap berbagai kemungkinan situasi maupun tata cara pengoprasian kapal yang baik dan benar sesuai dengan prosedur pengoprasian kapal dan sesuai dengan peraturan perusahaan selama pelayaran. Sedangkan faktor lainnya yaitu berkaitan dengan pengoprasian kapal yang sesuai dengan aturan yang berlaku, contohnya ISM Code[3].

Desain lambung kapal mempengaruhi gaya hambatan yang diterima kapal. Semakin besar gaya hambatan, semakin besar pula tenaga mesin yang dibutuhkan. Akibatnya, mesin yang lebih besar diperlukan, yang berimbas pada biaya yang lebih tinggi untuk menyediakan mesin dengan ukuran besar. Kapal dirancang agar dapat menghadapi gaya hambatan yang rendah sekaligus mampu menampung muatan yang besar. Hal ini menjadi tantangan bagi para insinyur kapal untuk menciptakan desain lambung kapal yang efisien.

Sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai hambatan kapal dengan berbagai macam bentuk. Penelitian pada referensi nomor [4] melakukan analisa terhadap hambatan kapal pada tipe lambung kapal konvensional dan menggunakan pelat datar. Dalam penelitian tersebut, ditemukan bahwa kapal dengan desain lambung pelat datar menghasilkan hambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal yang memiliki lambung lengkung atau konvensional.

Penelitian yang tercantum dalam referensi nomor [5] menganalisis perubahan bentuk haluan kapal dengan variasi menggunakan metode CFD. Hasilnya menunjukkan bahwa hambatan total pada modifikasi haluan lebih rendah dibandingkan dengan desain asli. Nilai hambatan total terendah ditemukan pada kondisi kecepatan dengan  $fn$  0,30,  $fn$  0,26, dan  $fn$  0,22.

Penelitian selanjutnya yang tercantum dalam referensi nomor [6] melakukan kajian mengenai desain lambung *axe bow* pada kapal cepat tipe *crew boat* dengan membandingkan hasil hambatan total yang diperoleh dari aplikasi CFD dan Maxsurf. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan antara kedua aplikasi tersebut. Perhitungan hambatan total dilakukan menggunakan metode *Savitsky* dan *Holtrop*. Selain itu, aplikasi CFD juga memberikan nilai perbandingan antara gaya angkat dan tekanan total yang tersebar di permukaan model.

Penelitian yang tercantum dalam referensi nomor [7] mengkaji kinerja kapal ikan yang terbuat dari bahan PVC, yang mencakup analisis hambatan

dan gerakan kapal dengan variasi *draft*. Model kapal dibuat menggunakan *Rhinoceros*, sedangkan analisis hambatan dilakukan melalui aplikasi *Tdyn*, dan analisis olah gerak kapal menggunakan metode *Hydrodynamic Diffraction (ANSYS)*. Hasil penelitian ini memperlihatkan nilai hambatan untuk setiap model, mulai dari model 1 hingga model 5 (7,48 kN; 8,926 kN; 10,502 kN; 12,164 kN; 13,016kN).

*Seakeeping* atau olah gerak kapal adalah gerakan pada kapal yang diakibatkan oleh adanya gelombang air terhadap badan kapal[8]. Analisa olah gerak pada suatu kapal dilakukan untuk memperkirakan respons kapal terhadap berbagai macam gelombang yang dapat terjadi di laut terutama pada wilayah tertentu yang menjadi jalur pelayaran kapal tersebut.

Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menaikkan performa olah gerak kapal. salah satunya seperti penelitian yang dilakukan pada referensi nomor [9]. Penelitian tersebut menemukan bahwa hasil gerak pada modifikasi kapal Trimaran menunjukkan nilai olah gerak kapal yang lebih rendah dibandingkan dengan monohull sebelumnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modifikasi ini menghasilkan performa olah gerak yang lebih baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja kapal dari segi hambatan dan olah gerak kapal pada tipe kapal *general cargo* dengan kapasitas muatan 11280 DWT yang melayani rute pelayaran Surabaya – Makassar. Penelitian ini penting dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasi kapal *general cargo*, mengingat tingginya aktivitas pelayaran domestik dan internasional serta kontribusi moda pelayaran pada kecelakaan transportasi. Analisis hambatan dan olah gerak kapal membantu mengoptimalkan desain lambung kapal agar lebih hemat energi, efisien biaya, dan memenuhi standar internasional seperti NORDFORSK. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengurangi dampak buruk kondisi laut terhadap performa kapal, kenyamanan awak, dan keselamatan muatan, sehingga mendukung operabilitas kapal yang lebih baik di berbagai kondisi perairan.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

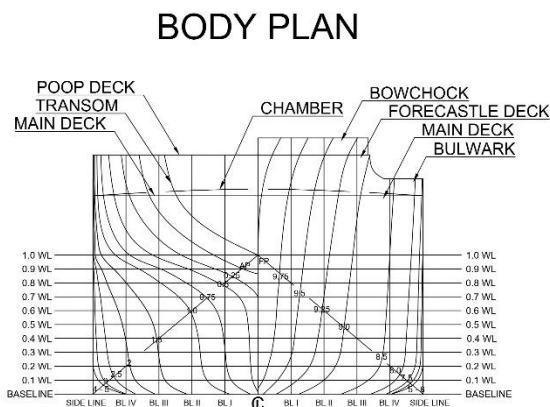
Objek penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kapal *general cargo* 11280 DWT dengan rute pelayaran Surabaya – Makassar. Sebelum dilakukan analisa lanjutan, diperlukan data perancangan tahap awal kapal berupa

*principal dimension, lines plan, dan general arrangement.* Setelah data diperoleh, langkah selanjutnya adalah membuat model kapal dalam bentuk tiga dimensi, yang kemudian akan digunakan untuk analisis lebih lanjut dengan bantuan perangkat lunak yang diperlukan.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Dimensi Kapal	Unit
1	Length overall (LOA)	139,1 m
2	Length waterline (LWL)	136,45 m
3	Length between perpendicular (LPP)	132,48 m
4	Breadth (B)	19,48 m
5	Height (H)	11,68 m
6	Draft (T)	8,18 m
7	Dead weight	11280 ton
8	Service speed (Vs)	13,57 knot

Tabel 1 menunjukkan data ukuran utama kapal yang meliputi LOA atau panjang keseluruhan sebesar 139,1 meter. LPP atau panjang kapal antara garis tegak haluan dengan garis tegak buritan sepanjang 132,48 meter. B atau lebar kapal sebesar 19,48 meter. H atau ketinggian kapal dari *baseline* kapal setinggi 11,68. T atau sarat kapal diukur dari *baseline* kapal setinggi 8,18 meter. Serta Vs atau kecepatan dinas maksimal kapal pada saat perancangan sebesar 13,57 knot. Berdasarkan data diatas dapat dijadikan sebagai acuan dalam proses pembuatan dan validasi model 3D kapal.



Gambar 1. Lines Plan Kapal Objek Penelitian

Pada gambar 1 terlihat *lines plan* bagian *body plan* kapal. Dari *lines plan* ini dapat dijadikan panduan dan juga patokan dalam mendesain model 3 dimensi yang akan digunakan dalam proses penelitian.

## 2.2. Perlakuan Pada Objek Penelitian

Analisis hambatan dan gerak kapal dilakukan dengan mempertimbangkan parameter tetap, seperti desain lambung kapal dan dimensi utama,

termasuk LOA, LPP, B, T, H, dan Vs. Sementara itu, parameter yang dapat diubah antara lain adalah arah datangnya gelombang. Dampak perubahan parameter tersebut terhadap olah gerak kapal akan dianalisis lebih lanjut.

### 2.2.1. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan kapal *general cargo* 11280 DWT dengan bantuan *software Maxsurf*. Variabel yang digunakan ada 2 jenis, yaitu variasi kecepatan dan sudut masuk gelombang. Variasi kecepatan yang digunakan antara lain :

- Pada saat kapal kondisi diam ( $V = 0$  knot)
- Pada saat kapal kondisi berlayar pada kecepatan maksimal ( $V = 13,57$  Knot)

Variasi kecepatan ini dipilih untuk mengetahui perbedaan analisa teknis kapal pada saat kapal dalam keadaan *statis* dan *dinamis*. Setelah dilakukan analisa, kemudian akan ditinjau perbandingannya dalam segi performa hambatan dan olah gerak kapal.

### 2.3. Pengolahan Data

Proses pengolahan data yang akan dilakukan terdiri dari tahapan-tahapan berikut:

- Membuat model 3D dengan bantuan *software Maxsurf Modeller* yang menggunakan *lines plan* sebagai acuannya.
- Model 3D yang sudah dibuat kemudian akan dilakukan analisa hambatan total kapal menggunakan *software Maxsurf Resistance*.
- Model 3D juga digunakan untuk analisa olah gerak menggunakan *software Maxsurf Motions*.

### 2.4. Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bretschneider* atau ITTC, dengan dua parameter utama yaitu tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode rata-rata ( $T_{av}$ )[10].

$$S_{ITTC\xi}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (1)$$

Dimana:

$\omega$  = Frekuensi gelombang (rad/s)

$$A = 172,25 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{ave}^4}$$

Spektrum gelombang ( $S_w$ ) yang diperoleh dari persamaan 1 sangat dipengaruhi oleh frekuensi gelombang, yang dipengaruhi oleh kecepatan kapal serta sudut datang gelombang. Frekuensi gelombang ( $\omega_w$ ) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan ( $\omega_e$ ), yang juga dikenal sebagai *encounter wave frequency*. Frekuensi gelombang papasan ini kemudian akan digunakan untuk menghitung spektrum gelombang papasan ( $S_e$ ). Rumus untuk menghitung frekuensi gelombang papasan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.

$$\omega_e = \omega(1 - \frac{\omega V}{g} \cos\mu) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$\omega_e$  = frekuensi gelombang papasan (rad/s)

$\omega_w$  = frekuensi gelombang (rad/s)

$V$  = kecepatan kapal (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

### 2.5. RMS (Root Mean Square)

*RMS (Root Mean Square)* adalah nilai yang menggambarkan luasan di bawah kurva spektrum respons. Persamaan untuk menghitung nilai *RMS* adalah sebagai berikut:

$$m_0 = \int_0^\infty S\zeta r(\omega)d\omega \dots\dots\dots (3)$$

Apabila hasil *RMS* dari setiap amplitudo gerakan kapal ( $\zeta$ ) dinyatakan dalam  $\sqrt{m_0}$ , maka persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\zeta_{RMS} = \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana  $m_0$  adalah momen orde nol dari spektrum gerakan kapal.

Untuk memperoleh amplitudo signifikan, yang didefinisikan sebagai rata-rata dari 1/3 amplitudo tertinggi, dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\zeta_{signifikan} = \frac{1}{3} \cdot \max(\zeta) \dots\dots\dots (5)$$

Di mana  $\zeta_{signifikan}$  adalah amplitudo signifikan dan  $\max(\zeta)$  adalah amplitudo tertinggi yang tercatat.

Untuk menghitung luasan spektrum respons pada kecepatan dan percepatan, yang dinyatakan dalam satuan  $m^2$  dan  $m^4$ , persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Spektrum respons pada kecepatan ( $m^2$ )  
 $S_v = \int_0^\infty \omega^2 S\zeta r(\omega)d\omega \dots\dots\dots (6)$

Spektrum respons pada percepatan ( $m^4$ )  
 $S_a = \int_0^\infty \omega^4 S\zeta r(\omega)d\omega \dots\dots\dots (7)$

Dimana  $S_v$  dan  $S_a$  adalah spektrum respons untuk kecepatan dan percepatan, dan  $\omega^2$  serta  $\omega^4$  adalah amplitudo spektral untuk kecepatan dan percepatan pada frekuensi  $\omega$ .

### 2.6. Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah kajian mengenai reaksi fluida terhadap pergerakan kapal yang bergerak melalui fluida tersebut. Dalam konteks hidrodinamika, hambatan kapal merujuk pada besar gaya fluida yang bekerja pada kapal, yang pada akhirnya menentang gerakan kapal. Hambatan ini sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan arah gerakan kapal[11]. Hambatan total (*total Resistance*) pada kapal adalah jumlah dari berbagai komponen hambatan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi dengan cara yang kompleks. *William Froude* membagi hambatan total ( $R_T$ ) menjadi dua komponen utama, yaitu hambatan gesek ( $R_F$ ) dan hambatan sisa ( $R_R$ ). Rumus untuk menghitung hambatan total ( $R_T$ ) adalah:

$$R_T = R_F + R_R \dots\dots\dots (8)$$

$$C_T = C_F + C_R \dots\dots\dots (9)$$

$C_T$  adalah koefisien total yang diperoleh dari penjumlahan koefisien gesek ( $C_F$ ) dan koefisien residu ( $C_R$ ).[12]. Nilai dari hambatan total kapal terdiri dari beberapa komponen hambatan lainnya. Dimana, nilai tersebut mempengaruhi performa dari kapal ketika berinteraksi dengan air[13]. Hambatan gesek atau *frictional resistance* terjadi karena kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas, seperti air laut. Fluida yang bersentuhan langsung dengan permukaan badan kapal yang terendam akan menyebabkan gesekan sepanjang permukaan tersebut saat kapal bergerak[14].

### 2.7. Olah Gerak Kapal

*Seakeeping* merujuk pada gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya eksternal akibat kondisi perairan. Terdapat enam jenis gerakan kapal di laut, yang terdiri dari tiga gerakan translasi (*surging, swaying, heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling, pitching, yawing*). Namun, kapal hanya

dapat merespons tiga gerakan, yaitu *heaving*, *pitching*, dan *rolling*[10].

Kemampuan olah gerak kapal ditentukan oleh gerakannya terhadap gelombang. Yang mana dapat menurunkan performa kapal dan keselamatan kru yang ada pada kapal. Besarnya gerakan kapal terhadap gelombang juga berdampak pada permesinan pada kapal, kekuatan lambung kapal, dan akibat lainnya seperti pengoperasian kapal serta interaksi kapal terhadap hal teknis[15].

Pengaruh yang seperti itu sangat tidak diinginkan terhadap sebuah kapal. Untuk itu analisa olah gerak menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan agar memperpanjang usia kapal. Ada banyak sekali kriteria olah gerak yang dapat digunakan perancang untuk mengevaluasi dan mengambil keputusan terhadap rancangannya. Adapun spesifikasi dari kriteria yang berlaku ditentukan berdasarkan tipe dan jenis kapal, kegunaan spesifik kapal, serta batasan tertentu berdasarkan gerakan kapal yang diharapkan, dan tergantung dari perspektif penumpang kapal[16].

Meskipun tersedia berbagai jenis kriteria olah gerak, kriteria yang ada belum terstandarisasi dan tidak mencakup semua jenis kapal[17]. Hal ini menciptakan tantangan terhadap kapal non-konvensional yang mana kriteria yang tersedia mungkin akan menyesatkan dan membuat desainer membuat keputusan yang salah. Meskipun, olah gerak pada baru-baru ini telah menerima banyak perhatian dari berbagai ahli dengan bergesernya standar menjadi lebih aman dan lebih efisien secara desain[18].

Faktor yang mendukung pergeseran ini meliputi kenyamanan penumpang dari kapal penumpang, kekhawatiran masyarakat terhadap keselamatan dan kesehatan lingkungan pekerjaan para kru kapal, kemampuan kontrol yang lebih baik dari waktu kapal transit dan kenaikan jumlah hilangnya peti kemas di laut[19].

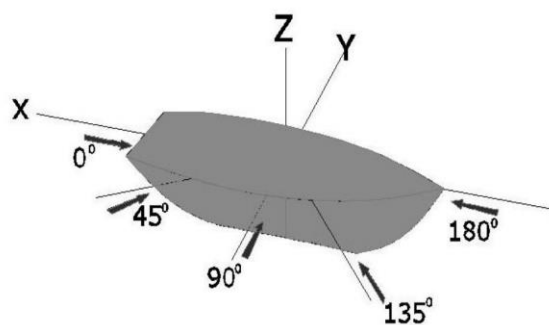
Untuk menangani permasalahan yang muncul ini diperlukan pertimbangan khusus mengenai evaluasi olah gerak kapal. Contohnya seperti analisa detail dari deck kerja, aktifitas, dan operasi yang dibutuhkan oleh pengguna yang mungkin dapat dipengaruhi oleh olah gerak kapal[20].

Kapal yang berlayar akan mengalami gerakan yang dipengaruhi oleh tinggi gelombang di perairan yang dilalui. Penelitian ini menggunakan asumsi ketinggian gelombang berdasarkan data pada tabel 2, yang merujuk pada ketinggian gelombang rata-rata yang tercatat oleh BMKG pada bulan September 2024.

Tabel 2. Data Asumsi Karakteristik Gelombang

Deskripsi Gelombang	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang
<i>Low</i> (Rendah)	0,5 m	13 s
<i>Slight-low</i> (Agak Rendah)	0,7 m	13 s
<i>Medium</i> (Sedang)	0,9 m	13 s
<i>Slight-medium</i> (Agak Sedang)	1,1 m	13 s
<i>High</i> (Tinggi)	1,3 m	13 s

Pengaturan sudut datang gelombang (*Wave Heading*) pada perangkat lunak *Maxsurf Motions* ditunjukkan dalam ilustrasi gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Arah Heading Pada Software

Sudut masuk gelombang yang dimaksud di sini adalah arah datang gelombang yang diukur dari bagian-bagian kapal. Dalam penelitian ini, sudut masuk gelombang dianalisis dari 5 (lima) arah yang secara umum menggambarkan arah gelombang yang mengenai badan kapal saat beroperasi di perairan.

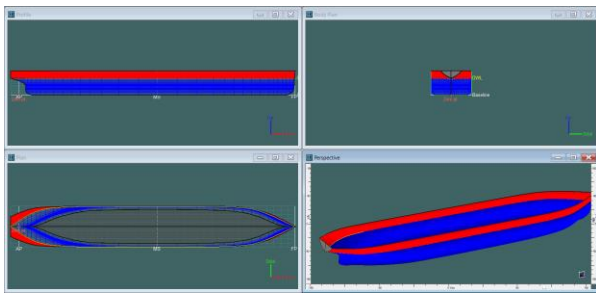
Tabel 3. Asumsi Sudut Masuk Gelombang

No.	Sudut Masuk	Deskripsi
1	0 degree	<i>Following Seas</i>
2	45 degree	<i>Stern Quartering Seas</i>
3	90 degree	<i>Beam Seas</i>
4	135 degree	<i>Bow Quartering Seas</i>
5	180 degree	<i>Head Seas</i>

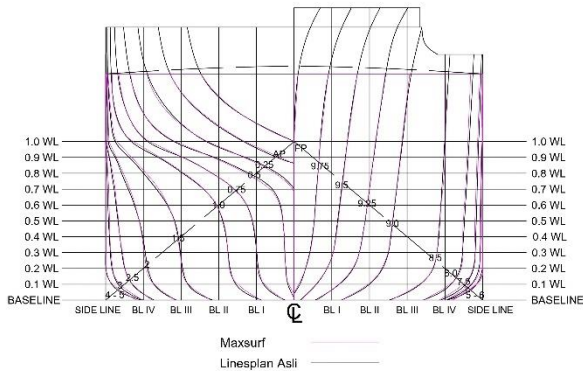
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Permodelan 3D Kapal

Pembuatan model 3D kapal menggunakan software *Maxsurf Modeller* dengan memakai *lines plan* sebagai acuan. Dalam proses pembuatan kapal menggunakan *maxsurf* metode yang digunakan adalah dengan cara menambahkan fit point secara manual. Yang kemudian akan di fairing sampai se mirip mungkin dengan *linesplan* yang ada. Hasil model 3D kapal dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Model *Maxsurf* 3D Kapal



Gambar 4. Perbandingan *Lines Plan* Model 3D dengan *Lines Plan* Asli

Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil *lines plan* model 3D dengan *lines plan* asli. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa model 3D memiliki keakuratan yang tinggi untuk bisa dipakai acuan sebagai analisa menggunakan software. perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.

Sebelum dinyatakan bahwa model valid dan dapat digunakan dalam proses selanjutnya, maka dilakukan perbandingan data hidrostatis antara model 3D dengan data hidrostatis kapal.

Tabel 4. Perbandingan Data Hidrostatis

Item	Kapal	Model 3D	Koreksi
WSA	3893,21 m <sup>2</sup>	4030,55 m <sup>2</sup>	+3,53%
Cb	0,76	0,76	-0,41%
Cp	0,77	0,77	-0,16%
Cm	0,99	0,99	-0,17%
Cw	0,85	0,85	+0,44%
LCB dari AP	67,26 m	67,06 m	-0,30%

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa koreksi selisih antara model 3D dengan kapal masih memenuhi nilai kurang dari  $\pm 5\%$ . Walau nilai selisih tertinggi terletak pada perbedaan WSA kapal dengan model 3D, namun nilainya hanya sebesar +3,53% yang mana masih dibawah toleransi 5%. Sehingga dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa model telah memenuhi syarat untuk bisa digunakan analisa lebih lanjut.

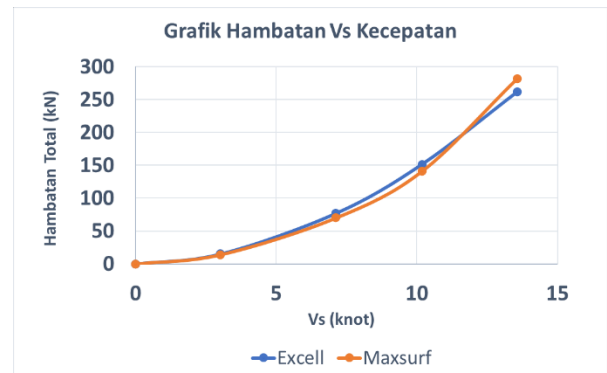
### 3.2. Analisa Hambatan Kapal

Dalam penelitian ini, analisa hambatan menggunakan metode *holtrop* dengan 2 cara perhitungan. Perhitungan pertama adalah perhitungan yang dilakukan secara manual menggunakan bantuan *Microsoft Excell*, perhitungan kedua menggunakan bantuan software *Maxsurf Resistance*. Kedua hasil perhitungan akan dibandingkan untuk mengetahui persentase selisih antara kedua cara perhitungan.

Berikut adalah hasil dari perhitungan hambatan menggunakan software *Maxsurf Resistance* dan menggunakan *Microsoft Excell*:

Tabel 5. Hambatan Total

Kecepatan (Knot)	Holtrop (kN)	Excell (kN)	Koreksi (%)
0	0	0,00	0,00
3,02	14,1	15,19	-7,17
7,12	70,0	76,85	-8,92
10,18	140,9	151,38	-6,93
13,57	282,1	261,52	7,87



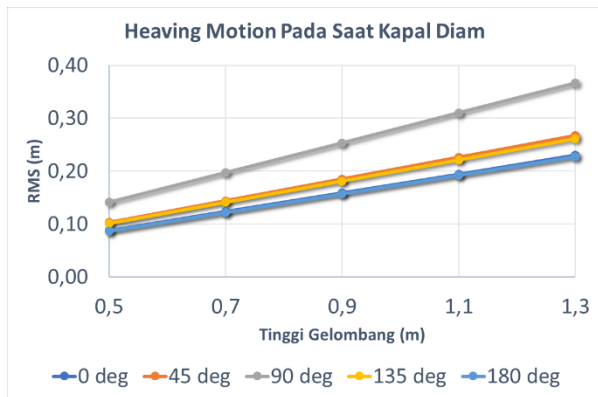
Gambar 5. Grafik Hambatan Total vs Kecepatan

Dari tabel 5 dapat dilihat tahanan total kapal dari 2 jenis perhitungan yang berbeda. Dalam perhitungan manual menggunakan *Excell* memiliki nilai hambatan total sebesar 261,52 kN pada kecepatan maksimum. Sedangkan perhitungan dengan bantuan Software *Maxsurf* memiliki nilai hambatan total sebesar 282,1 kN pada kecepatan maksimum.

Dapat dilihat pada gambar 5 bahwa pada kecepatan 0 knot – 10,18 knot nilai perhitungan hambatan total menggunakan *Excell* memiliki perbedaan paling tinggi sebesar 8,92% dengan perhitungan menggunakan Software *Maxsurf*. Namun, pada kecepatan maksimal 13,57 knot selisih antara *Excell* dan Software *Maxsurf* sebesar 7,87% dengan nilai hambatan total *Maxsurf* lebih tinggi daripada perhitungan *Excell*.

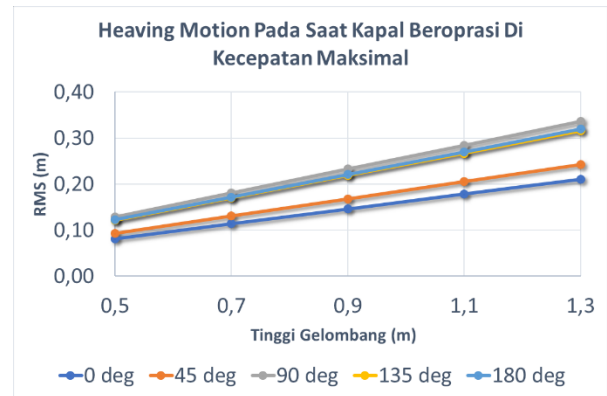
### 3.3. Analisa Olah Gerak Kapal

Analisa kapal dijalankan dengan menggunakan metode *Strip Theory Analysis* pada software *Maxsurf Motion* dengan kriteria spektrum gelombang yang digunakan adalah *ITTC*. Kriteria running menggunakan data pada tabel 2 untuk asumsi ketinggian gelombang, serta menggunakan data pada tabel 3 untuk kriteria sudut masuk gelombang. Hasil dari proses *running Maxsurf Motions* dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.



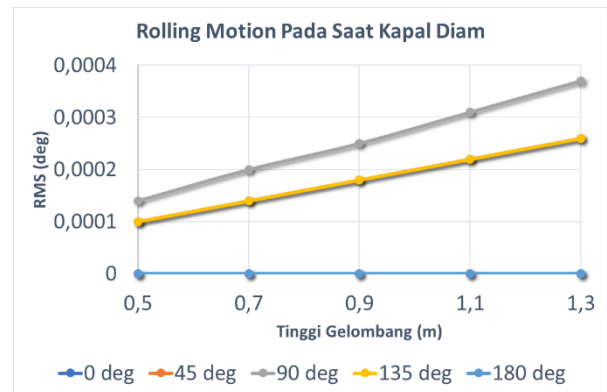
Gambar 6. Grafik *Heaving Motion* Pada Saat Kapal Diam

Dari grafik pada gambar 6 dan tabel 6, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *heaving motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) yaitu sebesar 0,37 meter dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) dan *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ) yaitu keduanya bernilai sama sebesar 0,23 meter.



Gambar 7. Grafik *Heaving Motion* Pada Saat Kapal Beroperasi Di Kecepatan Maksimal

Dari grafik pada gambar 7 dan tabel 7, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *heaving motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) yaitu sebesar 0,34 meter dan nilai terendah pada *head wave* dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) yaitu sebesar 0,21 meter.



Gambar 8. Grafik *Rolling Motion* Pada Saat Kapal Diam

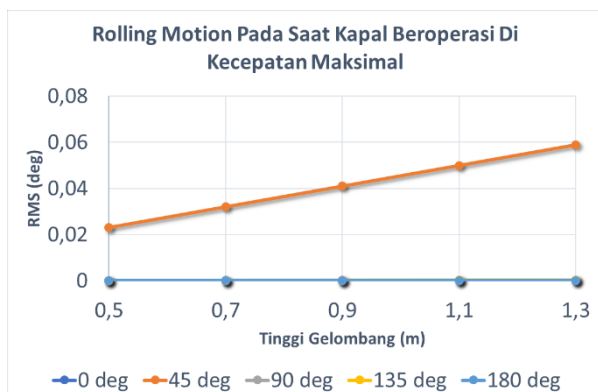
Tabel 6. Data Nilai *RMS Motion* Kapal Pada Saat Kapal Diam

<i>RMS Motion</i>	Sudut Masuk (deg)	Ketinggian Gelombang				
		Rendah (0.5m)	Agak Rendah (0.7m)	Sedang (0.9m)	Agak Sedang (1.1m)	Tinggi (1.3m)
<i>Heaving</i> (m)	0	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23
	45	0,10	0,14	0,19	0,23	0,27
	90	0,14	0,20	0,25	0,31	0,37
	135	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26
	180	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23
<i>Rolling</i> (deg)	0	0	0	0	0	0
	45	0,00010	0,00014	0,00018	0,00022	0,00026
	90	0,00014	0,00020	0,00025	0,00031	0,00037
	135	0,00010	0,00014	0,00018	0,00022	0,00026
	180	0	0	0	0	0
<i>Pitching</i> (deg)	0	0,17	0,24	0,31	0,38	0,45
	45	0,18	0,25	0,32	0,39	0,46
	90	0,07	0,09	0,12	0,15	0,17
	135	0,11	0,16	0,21	0,25	0,30
	180	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33

Tabel 7. Data Nilai *RMS Motion* Kapal Pada Saat Kapal Beroperasi Pada Kecepatan Maksimal

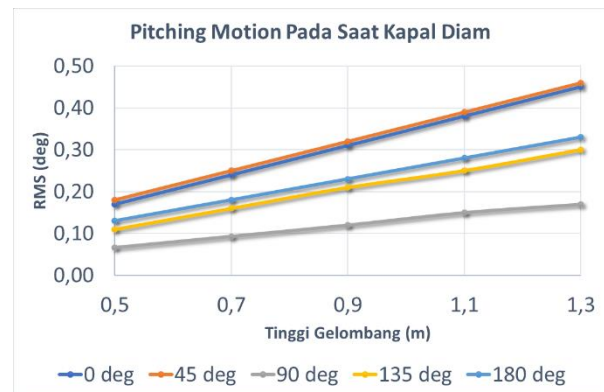
<i>RMS Motion</i>	Sudut Masuk (deg)	Ketinggian Gelombang				
		Rendah (0.5m)	Agak Rendah (0.7m)	Sedang (0.9m)	Agak Sedang (1.1m)	Tinggi (1.3m)
<i>Heaving</i> (m)	0	0,08	0,11	0,15	0,18	0,21
	45	0,09	0,13	0,17	0,21	0,24
	90	0,13	0,18	0,23	0,28	0,34
	135	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32
	180	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32
<i>Rolling</i> (deg)	0	0	0	0	0	0
	45	0,02300	0,03200	0,04100	0,05000	0,05900
	90	0,00014	0,00020	0,00025	0,00031	0,00037
	135	0,00007	0,00009	0,00012	0,00015	0,00017
	180	0	0	0	0	0
<i>Pitching</i> (deg)	0	0,14	0,20	0,25	0,31	0,37
	45	0,14	0,19	0,25	0,30	0,36
	90	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21
	135	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34
	180	0,16	0,23	0,29	0,36	0,42

Dari grafik pada gambar 8 dan tabel 6, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *rolling motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) yaitu sebesar  $0,00037^\circ$  (degree) dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) dan *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ) yaitu keduanya bernilai sama sebesar  $0^\circ$  (degree).



Gambar 9. Grafik *Rolling Motion* Pada Saat Kapal Beroperasi Di Kecepatan Maksimal

Dari grafik pada gambar 9 dan tabel 7, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *rolling motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *stern quartering seas* ( $\mu = 45^\circ$ ) yaitu sebesar  $0,059^\circ$  (degree) dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) dan *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ) yaitu keduanya bernilai sama sebesar  $0^\circ$  (degree).



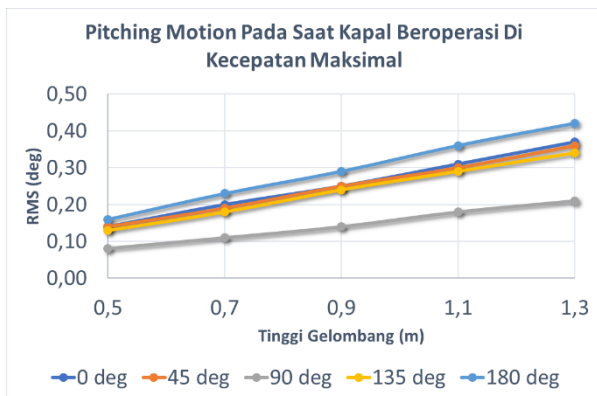
Gambar 10. Grafik *Pitching Motion* Pada Saat Kapal Diam

Dari grafik pada gambar 10 dan tabel 6, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *pitching motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) yaitu sebesar  $0,42^\circ$  (degree) dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ) yaitu sebesar  $0,33^\circ$  (degree).

Dari grafik pada gambar 11 dan tabel 7, dapat disimpulkan bahwa kapal mengalami *pitching motion* tertinggi pada *head wave* dari arah *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ) yaitu sebesar  $0,42^\circ$  (degree) dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) yaitu bernilai sebesar  $0,21^\circ$  (degree).

Hasil perhitungan RMS yang ditampilkan pada tabel 6 dan 7 yang kemudian nilai terbesarnya akan dievaluasi berdasarkan standar kriteria yang sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan.





Gambar 11. Grafik *Pitching Motion* Pada Saat Kapal Beroperasi Di Kecepatan Maksimal

### 3.3.1. Evaluasi Kriteria Olah Gerak

Kapal yang diteliti adalah jenis general cargo. Sehingga standar kriteria yang dapat digunakan sebagai evaluasi adalah standar *NORDFORSK (1987)*. Standar ini dipilih karena pada standar *NORDFORSK (1987)* adalah standar yang dapat diaplikasikan terhadap berbagai jenis kapal [21]. Berikut adalah kriteria *NORDFORSK (1987)* pada kapal niaga yang akan digunakan sesuai tipe kapal pada penelitian ini :

Tabel 8. Standar *NORDFORSK (1987)*

No.	Kriteria	Nilai
1	<i>Vertical Acceleration</i>	0,15 g
2	<i>Lateral Acceleration</i>	0,12 g
3	<i>Roll</i>	6 deg
4	<i>Slamming</i>	0,01 %
5	<i>Deck Wetness</i>	0,05 %

Selanjutnya dilakukan evaluasi kriteria berdasarkan hasil yang ada pada tabel 6 dan tabel 7 menggunakan nilai tertinggi dari setiap gerakan.

Tabel 9. Evaluasi Kriteria *RMS Motion* Pada Saat Kapal Diam

Item	Nilai Tertinggi	Kriteria
<i>Heaving</i>	0,37 m	-
<i>Rolling</i>	0,00037 deg	6 deg
<i>Pitching</i>	0,46 deg	-

Tabel 10. Evaluasi Kriteria *RMS Motion* Pada Saat Kapal Beroperasi Di Kecepatan Maksimal

Item	Nilai Tertinggi	Kriteria
<i>Heaving</i>	0,34 m	-
<i>Rolling</i>	0,059 deg	6 deg
<i>Pitching</i>	0,42 deg	-

Pada tabel 9, nilai heaving tertinggi sebesar 0,37 meter yang terjadi pada sudut masuk 90° dan tinggi gelombang 1,3 meter. Nilai rolling tertinggi sebesar 0,00037 deg yang terjadi pada sudut masuk 90° dan tinggi gelombang 1,3 meter. Nilai pitching tertinggi sebesar 0,46 deg yang terjadi pada sudut masuk 45° dan tinggi gelombang 1,3 meter.

Pada tabel 10, nilai heaving tertinggi sebesar 0,34 meter yang terjadi pada sudut masuk 90° dan tinggi gelombang 1,3 meter. Nilai rolling tertinggi sebesar 0,059 deg yang terjadi pada sudut masuk 45° dan tinggi gelombang 1,3 meter. Nilai pitching tertinggi sebesar 0,42 deg yang terjadi pada sudut masuk 180° dan tinggi gelombang 1,3 meter.

Berdasarkan tabel 9 dan 10, *RMS motion* maksimal kapal memenuhi kriteria dari *NORDFORSK (1987)* yaitu sudut rolling tertinggi nya masih dibawah 6°.

## 4. KESIMPULAN

Analisa hambatan kapal menggunakan metode holtrop yang dilakukan menggunakan 2 cara perhitungan. Dalam perhitungan menggunakan *Excell*, nilai hambatan pada kecepatan maksimal 13,57 knot memiliki nilai sebesar 261,52 kN. Sedangkan dalam perhitungan menggunakan bantuan *software Maxsurf*, nilai hambatan pada kecepatan maksimumnya adalah sebesar 282,1 kN. Kedua hasil perhitungan memiliki selisih sebesar 7,87% pada kecepatan maksimum dengan nilai hambatan *Maxsurf* lebih besar daripada *Excell*.

Dalam analisa olah gerak menerangkan bahwa hasil perhitungan olah gerak kapal pada kondisi *high wave* atau asumsi gelombang tertinggi pada analisa olah gerak menyebutkan *heave motion* tertinggi pada keadaan diam datang dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dan pada kecepatan 13,57 knot datang dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ), besarnya antara 0,34 – 0,37 meter. *Roll motion* tertinggi pada keadaan diam datang dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dan pada kecepatan 13,57 knot datang dari arah *stern quartering seas* ( $\mu = 45^\circ$ ), besarnya antara 0,00034° – 0,059° (degree). *Pitch motion* tertinggi pada keadaan diam datang dari arah *following seas* ( $\mu = 0^\circ$ ) dan pada kecepatan 13,57 knot datang dari arah *head seas* ( $\mu = 180^\circ$ ), besarnya antara 0,42° – 0,45° (degree).

Setelah hasil olah gerak pada tabel 6 dan 7 dievaluasi dengan kriteria yang berlaku. Hasilnya didapati pada tabel 9 dan 10 bahwa nilai maksimum *RMS motion* kapal masih memenuhi standar yang berlaku.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Statistik Transportasi Laut Tahun 2022," Nov. 2023.
- [2] S. Pramudyo Kusumo, B. Arswendo, and A. Wibawa, "Studi Perancangan Kapal Kargo 14.715 Dwt Rute Pelayaran Tanjung Perak-Batu Ampar," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, p. 488, 2017.
- [3] H. Rahman *et al.*, "Determination of the Dominant Factor Cause of Ship Accidents in Tanjung Priok," *Albacore*, vol. I, no. 3, pp. 277–284, 2017.
- [4] F. P. R. Ricinis, T. B. Musriyadi, and A. Baidowi, "Analisa Hambatan dan Efek Diving Pada Kapal Monohull Pelat Datar dan Kapal Konvensional (Streamline)," *J. Tek. ITS*, 2020.
- [5] D. Chrismianto, A. Trimulyono, M. N. Hidayat, J. T. Perkapalan, F. Teknik, and U. Diponegoro, "Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Kapal Terhadap Hambatan Total Dengan Menggunakan Cfd," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 1, pp. 40–48, 2014.
- [6] I. K. A. . U. Romadhoni Oni, "Analisa Pengaruh Bentuk Lambung Axe Bow Pada Kapal High Speed Craft Terhadap Hambatan Total," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, pp. 78–87, 2015.
- [7] H. Baskoro, P. Manik, and M. Iqbal, "Analisa Hambatan Dan Olah Gerak PVC (Polyvinyl Chloride) Fishing Vessel Dengan Metode Pendekatan Computational Fluid Dynamic (CFD)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, p. 57, 2017.
- [8] L. A. Holder and A. R. J. M. Lloyd., *Seakeeping – Ship Behaviour in Rough Weather*, vol. 43, no. 1. Cambridge University Press, 1990.
- [9] G. Audina, Rosalena; Amiruddin, Wilma; Rindo, "Analisa Pengaruh Modifikasi Kapal Monohull Menjadi Kapal Trimaran Terhadap Performa Stabilitas dan Olah Gerak Kapal, Studi Kasus Kapal Dongkrok di Jepara," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [10] M. Iqbal, G. Rindo, J. T. Perkapalan, F. Teknik, and U. Diponegoro, "Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 1, pp. 19–24, 2015.
- [11] G. K. Batchelor, *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press, 2000.
- [12] Ayat Maulana, Talahatu, and Marcus Alberth, "Optimalisasi Hambatan Kapal Skala Penuh Berdasarkan Analisa Uji Tarik Kapal Model," 2011.
- [13] D. A. . Hudson, A. F. . Molland, and S. R. . Turnock, *Ship Resistance and Propulsion : Practical Estimation of Propulsive Power*. Cambridge University Press, 2011.
- [14] I. Nadhif, U. Budiarto, and M. Iqbal, "Optimasi Bentuk Buritan Kapal Perintis 750 DWT Menggunakan Response Surface Methode (RSM) untuk Mengurangi Hambatan," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [15] Y. Ferdinande and R. De Lembre, "Service – Performance and Seakeeping Trials On A Car-ferry," *Int. Shipbuild. Prog.*, vol. 17, no. 196, pp. 361–394, 2018, doi: 10.3233/isp-1970-1719601.
- [16] M. H. Ghaemi and H. Olszewski, "Total Ship Operability-Review, Concept and Criteria," *Polish Marit. Res.*, vol. 24, no. s1, pp. 74–81, 2017, doi: 10.1515/pomr-2017-0024.
- [17] K. Niklas and A. Karczewski, "Determination of Seakeeping Performance for a Case Study Vessel by the Strip Theory Method," *Polish Marit. Res.*, vol. 27, no. 4, pp. 4–16, 2020, doi: 10.2478/pomr-2020-0061.
- [18] N. Petacco and P. Gualeni, "IMO second generation intact stability criteria: General overview and focus on operational measures," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 8, 2020, doi: 10.3390/JMSE8070494.
- [19] M. Kaup, D. Łozowicka, K. Baszak, W. Ślaczka, and A. Kalbarczyk-Jedynak, "Review of the Container Ship Loading Model - Cause Analysis of Cargo Damage and/or Loss," *Polish Marit. Res.*, vol. 29, no. 4, pp. 26–35, 2022, doi: 10.2478/pomr-2022-0041.
- [20] M. Gutsch, S. Steen, and F. Sprenger, "Operability robustness index as seakeeping performance criterion for offshore vessels," *Ocean Eng.*, vol. 217, no. August, p. 107931, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107931.
- [21] M. Zu, K. Garne, and A. Ros, "Seakeeping criteria revisited," vol. 297, no. October 2023, 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.116785.