



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Seakeeping Kapal Kontainer 7300 DWT dengan Rute Pelayaran Semarang-Banjarmasin

Riqza Dini¹⁾, Muhammad Iqbal²⁾, Ahmad Fauzan Zakki³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : riqzadini@students.undip.ac.id

Abstrak

Indonesia sebagai negara maritim memiliki ketergantungan tinggi terhadap transportasi laut dalam mendistribusikan logistik antar pulau. Kapal kontainer memegang peranan penting dalam sistem logistik nasional, sehingga kemampuan olah gerak (seakeeping) yang baik menjadi aspek kritis dalam keselamatan pelayaran. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa seakeeping kapal kontainer KM Jayasakti 7.300 DWT pada rute pelayaran Semarang-Banjarmasin. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Motions dengan metode strip theory pada 27 variasi kondisi gelombang Laut Jawa, mencakup kombinasi tinggi gelombang signifikan (H_s), periode gelombang (T_p), dan arah datang gelombang (sea heading), serta dua kondisi muatan kapal yaitu muatan kosong dan muatan penuh. Hasil analisis dievaluasi menggunakan Nordforsk Criteria 1987 terhadap enam parameter, meliputi roll motion, probability slamming, deck wetness, vertical acceleration di FP, vertical acceleration di bridge, dan lateral acceleration di bridge. Hasil menunjukkan sebagian besar parameter memenuhi standar kriteria, kecuali pada roll motion kondisi muatan kosong dengan nilai maksimum $9,79^\circ$ dan lateral acceleration at bridge yang melampaui batas $0,12 g$ pada tujuh variasi kondisi muatan kosong. Secara keseluruhan, kapal kontainer KM Jayasakti 7.300 DWT memiliki karakteristik seakeeping yang baik untuk beroperasi di perairan Laut Jawa.

Kata Kunci : Seakeeping, Kapal Kontainer, Maxsurf Motions, Nordforsk Criteria 1987, Laut Jawa

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim terbesar dunia dengan luas perairannya melebihi 60% dari total luas teritorial negara memiliki peranan penting dalam mobilitas, perekonomian, dan distribusi logistik serta manusia ke seluruh penjuru negeri. Indonesia mendapatkan nilai strategis dengan negara maritime sebagai atribut nasional, terutama dalam sisi perekonomian dan perdagangan[1]. Banyaknya jumlah penduduk dengan persebarannya di pulau yang sulit dijangkau menjadikan kapal pilihan utama alat transportasi dan distribusi sebagai alat pemenuhan kebutuhan sebagai alat pengangkut logistik. Dalam Pasal 1 UU no. 17 tahun 2008 tentang Pelayaran, menyebutkan angkutan laut termasuk jenis angkutan perairan yang kemudian didefinisikan

sebagai kegiatan mengangkut dan/atau memindahkan penumpang dan/atau barang dengan menggunakan kapal[2]. Salah satu jenis kapal yang memiliki peran penting dalam sistem logistik nasional adalah kapal kontainer. Menurut Badan Pusat Statistik, dalam periode 2020–2022 volume muat barang di pelayaran baik dalam maupun luar negeri selalu mengalami peningkatan. Pada tahun 2022 aktivitas bongkar muat pelayaran dalam negeri mencapai 392,93 juta ton dan 398,57 juta ton, sedangkan aktivitas bongkar muat pelayaran luar negeri mencapai 115,77 juta ton dan 391,07 juta ton[3]. Peningkatan aktivitas tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap armada kapal kontainer yang aman dan mampu beroperasi secara optimal semakin meningkat.

Kapal disebut mampu melakukan tugasnya di perairan dengan baik ketika kapal mampu melakukan manuvernya dengan baik. Hal ini juga bisa disebut sebagai kemampuan olah gerak kapal atau *seakeeping*[4]. Setiap gerakan kapal dipengaruhi oleh kapal dan gelombang di perairan itu sendiri. Dari kedua hal tersebut, berbagai fenomena atau gerakan yang kapal alami di laut dapat diprediksi[5]. Dalam proses analisis olah gerak sebuah kapal, terdapat beberapa jenis gerakan yang perlu diperhitungkan terkait keamanan dan keselamatan dari muatan, kru serta kapal itu sendiri. Ada beberapa parameter olah gerak yang dijadikan alat ukur kelayakan sebuah kapal dapat beroperasi.

Dalam dunia *seakeeping* sendiri, terdapat beberapa kriteria yang sudah ada yang dapat digunakan sesuai jenis kapal dan tujuan evaluasi dari olah gerak kapalnya. Sejalan dengan itu, proses perancangan sebuah kapal memperhatikan kondisi geometrik, massa, dan distribusi berat menyangkut analisis performa stabilitas, manuver, maupun olah gerak. Pusat gravitasi (*center of gravity*) dan massa menjadi 2 elemen fisik yang berperan pada proses perancangan dan analisis dinamika kapal terutama dalam penggunaan perangkat lunak teknik laut seperti Maxsurf dan program sejenis[6].

Kondisi perairan yang diteliti juga turut menentukan hasil dari evaluasi olah gerak sebuah kapal. Proses analisis menggunakan *software* Maxsurf umum dilakukan karena membutuhkan data sederhana namun hasil analisisnya mendekati kenyataan karena penggunaan data perancangan sebuah kapal dan data gelombang sesuai dengan perairan yang diteliti. Pada penggunaan Maxsurf, tinggi gelombang signifikan (H_s) merujuk pada amplitudo dari sebuah gelombang atau interval antara puncak gelombang (*crest*) dengan dasar lembah gelombang (*troughs*)[7]. Waktu yang diperlukan sebuah gelombang untuk melewati sebuah titik pengamatan di antara dua titik puncak berturut-turut atau periode puncak gelombang (T_p) diperlukan dalam analisis sebagai letak dimana spektrum energi gelombangnya berada pada titik maksimum[8].

Lebih lanjut hasil yang diteliti memerlukan proses validasi dengan standar tertentu yang ada. Secara internasional, belum ada regulasi khusus yang mengatur standarisasi olah gerak sebuah kapal. Namun, ada beberapa set kriteria berkedudukan kuat untuk membantu penilaian *seakeeping* sebuah kapal yang akan diteliti seperti NATO STANAG 4154, NORDFORSK 1987 criteria, IMO SGISC 2017, dan yang lainnya[9]. Nordforsk 1987 criteria sendiri tersusun sebagai

tolok ukur untuk negara-negara *Nordic* untuk mengevaluasi dan komparasi desain kapal yang berbeda untuk memperbaiki sistem pengoperasian sebuah kapal. Selain kapal dagang, Nordforsk juga mencakup kriteria untuk kapal laut, kapal cepat kecil, kapal ikan, dan bangunan *off-shore*[10].

Oleh sebab itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menevaluasi hasil olah gerak kapal sebagai pertimbangan batas operasional kapal, meningkatkan aspek keselamatan pelayaran, serta menjadi pertimbangan dalam evaluasi dan pengembangan desain kapal kontainer.

2. OBJEK PENELITIAN

2.1 Objek penelitian

Dalam proses pengerjaan analisa olah gerak kapal ini, penulis membutuhkan berbagai macam data dan beberapa saran untuk dianalisis lebih lanjut. Dalam penelitian ini terdapat 2 jenis data yang dikumpulkan data yaitu data utama kapal dan data gelombang.

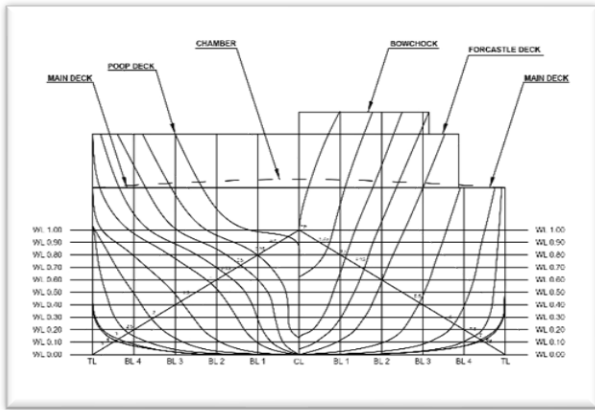
2.1.1 Data Utama Kapal

Penelitian ini menggunakan kapal container 7.300 DWT sebagai objek penelitian dengan rute pelayaran Semarang-Banjarmasin. Data yang diperlukan dalam analisis berupa dimensi utama, *lines plan*, dan Rencana umum sebuah kapal. Tabel 1 menunjukkan ukuran utama kapal.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

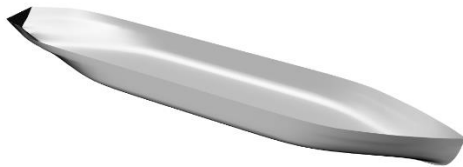
Dimensi Kapal	Unit
<i>Length Overall</i> (LOA)	112,78 m
<i>Length Waterline</i> (LWL)	106,8 m
<i>Length Between Perpendicular</i> (LPP)	106,6 m
<i>Breadth</i> (B)	18,5 m
<i>Height</i> (H)	7,5 m
<i>Darft</i> (T)	5,6 m
<i>Service Speed</i> (Vs)	13,422 kn

Model dibuat dengan ukuran asli kapal, untuk pembuatan model dilakukan pada *software Auto Cad* lalu dipindahkan ke *Maxsurf Modeler*. *Linesplan* kapal dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Body Plan Kapal KM Jayasakti

Dari data dan *linesplan* diatas di lakukan pemodelan 3D pada *software Maxsurf Modeler* dan hasil model 3D kapal KM Jayasakti.



Gambar 2. Model 3D Kapal KM Jayasakti

Model 1 pada kapal KM Jayasakti merupakan model dengan sarat pada kondisi muatan kapal kosong dengan asumsi tanki-tanki akomodasi kapal tetap penuh. Dengan kondisi muatan kosong, sarat kapal menjadi 3,13 m.

Model 2 pada kapal KM Jayasakti merupakan model 3D kondisi muatan penuh dengan asumsi tanki-tanki akomodasi penuh. Dengan kondisi muatan penuh, tidak ada perubahan nilai dari sarat kapal.

2.2. Karakteristik Gelombang

Kondisi gelombang saat kapal berlayar menjadi faktor eksternal yang mempengaruhi olah gerak sebuah kapal. Dalam proses perancangan kapal, kriteria *seakeeping* dapat disimulasikan dengan memasukkan data tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang (T_p) yang diambil dari *Copernicus Marine Data Store*[11].

Tabel 2. Kondisi Gelombang

Tanggal	H_s	T_p
7 Januari 2026	0,86 m	4,53 m
9 Januari 2026	1,57 m	6,18
12 Januari 2026	1,77 m	6,54

2.3. Teknik Pengolahan Data

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

Pertama, pembuatan ulang kapal dari *lines plan* menjadi model tiga dimensi.

Kedua, melakukan koreksi pada sarat kapal dengan menambahkan letak tanki-tanki sesuai posisi kapal untuk menentukan sarat kapal saat muatan kosong.

Ketiga, menganalisis parameter olah gerak kapal atau *seakeeping* kedua model tersebut dengan data gelombang perairan yang dilalui dan membandingkan hasil dari kedua model tersebut menggunakan NORDFORSK CRITERIA 1987.

Keempat, membuat kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh dari hasil analisa nilai *seakeeping* untuk setiap kriteria.

2.4 NORDFORSK CRITERIA 1987

Nordforsk Criteria 1987 menunjukkan terdapat 6 parameter sebagai standar dari olah gerak kapal. Detail deskripsi setiap parameternya terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Nordforsk 1987

Kriteria	Kapal Dagang
<i>Roll</i>	6 degree
<i>Probability Slamming</i>	3%
<i>Deck Wetness</i>	1%
<i>Vertical Acceleration at FP</i>	0,275 g
<i>Vertical Acceleration at Bridge</i>	0,15 g
<i>Lateral Acceleration at Bridge</i>	0,12

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Proses permodelan 3 dimensi model kapal KM Jayasakti dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Modeler*. Dalam proses ini, ukuran utama kapal dan *linesplan* berfungsi sebagai acuan dalam pembuatan model. *Length Water Line* (LWL) merupakan jarak panjang antara garis vertikal yang berpotongan dengan buritan dan haluan pada garis air. Dalam proses *fairing* model kapal, *lines plan*

dibutuhkan agar model yang dihasilkan semakin mirip atau mendekati bentuk aslinya. *Lines plan* digunakan sebagai latar belakang dalam proses permodelan, sehingga memudahkan dalam membuat kesesuaian yang diinginkan.

Setelah model yang dihasilkan dirasa sudah sesuai dengan *linesplan*, langkah selanjutnya adalah mencari sarat kapal dalam keadaan muatan kosong. Langkah ini dilakukan dengan cara memasukkan model 3 dimensi kapal ke dalam *Maxsurf Stability* dilanjutkan dengan menginputkan letak-letak dari semua tanki akomodasi yang ada di kapal. Setelah semua tanki sudah dimasukkan dilanjutkan dengan analisis equilibrium untuk menentukan sarat kapal muatan kosong.

3.2 Center of Gravity

Akibat perubahan distribusi berat, pusat gravitasi (*center of gravity*) kapal memiliki nilai yang berbeda pada kondisi muatan kosong dan penuh. Pada kondisi kosong, titik gravitasi cenderung lebih tinggi karena berkurangnya beban muatan. Sebaliknya, pada kondisi penuh, titik gravitasi bergeser mengikuti distribusi muatan sehingga memengaruhi stabilitas, gerakan kapal, dan karakteristik olah gerak di laut.

Tabel 4. Titik G pada KM Jayasakti

Titik Gravitasi	Muatan Kosong	Muatan Penuh
FG	-7,318 m	5,182 m
KG	4,475 m	4,494 m

3.3 Analisis Seakeeping Kapal

Dalam penelitian ini, Analisis *seakeeping* kapal yang dilakukan dengan 1 metode dengan 2 kali analisis perhitungan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Strip* pada *software Maxsurf Motions*, dilanjutkan dengan mengkomparasi dan mengevaluasi hasil analisis *seakeeping* pada *software Maxsurf Motions* dengan parameter pada Nordforsk Criteria 1987.

3.4 Analisis Seakeeping Kapal pada Maxsurf

Dengan diketahuinya sarat muatan kosong dan sarat muatan penuh, analisis *seakeeping* kapal dilakukan di *Maxsurf Motions* dengan memasukkan model 3 dimensi dari *Maxsurf Modeler* serta data gelombang setiap variasi yang diujikan. Pada setiap kondisi muatannya, dapat dilihat setiap variasi pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5 Variasi Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)
K 1	0,86	4,53	0
K 2			90
K 3			180
K 4	6,18	6,18	0
K 5			90
K 6			180
K 7	6,54	6,54	0
K 8			90
K 9			180
K 10	1,57	4,53	0
K 11			90
K 12			180
K 13	6,18	6,18	0
K 14			90
K 15			180
K 16	6,54	6,54	0
K 17			90
K 18			180
K 19	1,77	4,53	0
K 20			90
K 21			180
K 22	6,18	6,18	0
K 23			90
K 24			180
K 25	6,54	6,54	0
K 26			90
K 27			180

Kemudian untuk variasi kondisi kapal pada saat muatan penuh dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Variasi Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)
P 1	0,86	4,53	0
P 2			90
P 3			180
P 4	6,18	6,18	0
P 5			90
P 6			180
P 7	6,54	6,54	0
P 8			90
P 9			180
P 10	1,57	4,53	0
P 11			90
P 12			180
P 13	6,18	6,18	0
P 14			90
P 15			180

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)
P 16	1,77	6,54	0
P 17			90
P 18			180
P 19		4,53	0
P 20			90
P 21			180
P 22			6,18
P 23		90	
P 24		180	
P 25		6,54	0
P 26	90		
P 27	180		

3.5 Evaluasi Seakeeping Kapal dengan Nordforsk Criteria 1987

Pengevaluasian hasil analisis *seakeeping* kapal dilakukan yang telah dilakukan dengan *Maxsurf Motions* dilanjutkan dengan proses pengevaluasian masing-masing variasi kondisi kapal dengan Nordforsk Criteria 1987.

3.5.1 Roll Motions

Pengevaluasian nilai *roll* pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi nilai *roll* pada setiap variasi dengan standar *roll* kapal pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Roll Motion (°)
K 1	0,86	4,53	0	0
K 2			90	2,09
K 3			180	0
K 4	1,57	6,18	0	0
K 5			90	4,39
K 6		180	0	
K 7		6,54	0	0
K 8	90		4,76	
K 9	180		0	
K 10	1,77	4,53	0	0
K 11			90	3,81
K 12			180	0
K 13	1,77	6,18	0	0
K 14			90	8,01
K 15		180	0	
K 16		6,54	0	0
K 17	90		8,68	
K 18	180		0	
K 19	1,77	4,53	0	0
K 20			90	4,3
K 21			180	0

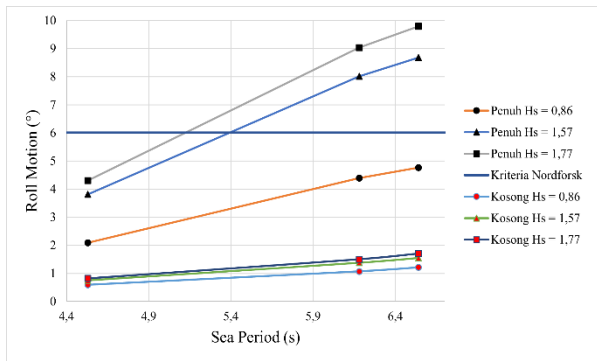
Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Roll Motion (°)
K 22		6,18	0	0
K 23			90	9,03
K 24			180	0
K 25	6,54		0	0
K 26			90	9,79
K 27			180	0

Pada kondisi muatan kosong, *roll motion* terlihat lebih tinggi dengan 4 variasi dinilai tidak memenuhi karena mendapatkan nilai *roll* melebihi limit pada Nordforsk Criteria 1987 yaitu 6°.

Tabel 8. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Roll Motion (°)
P 1	0,86	4,53	0	0
P 2			90	0,59
P 3			180	0
P 4	1,57	6,18	0	0
P 5			90	0,75
P 6		180	0	
P 7		6,54	0	0
P 8	90		0,82	
P 9	180		0	
P 10	1,77	4,53	0	0
P 11			90	1,07
P 12			180	0
P 13	1,77	6,18	0	0
P 14			90	1,38
P 15		180	0	
P 16		6,54	0	0
P 17	90		1,5	
P 18	180		0	
P 19	1,77	4,53	0	0
P 20			90	1,21
P 21			180	0
P 22	1,77	6,18	0	0
P 23			90	1,55
P 24		180	0	
P 25		6,54	0	0
P 26	90		1,7	
P 27	180		0	

Dari data Tabel 7 dan 8 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3 untuk melihat perbandingan semua kondisi terhadap kriteria Nordforsk 1987.



Gambar 3. Diagram batang pada semua variasi pengujian nilai *roll motion*

Dari grafik dapat diketahui perbandingan dari hasil *roll motion*, nilai *roll* tertinggi tercatat pada variasi K26 sebesar $9,79^\circ$, diikuti K23 sebesar $9,03^\circ$, K17 sebesar $8,68^\circ$, dan K14 sebesar $8,01^\circ$. Keempat kondisi tersebut dinyatakan melebihi batas aman operabilitas dari Nordforsk Criteria 1987. Selanjutnya hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *roll* pada kondisi *head sea* (0°) dan *following sea* (180°) nilainya mendekati nol karena arah datang gelombang sejajar dengan sumbu memanjang kapal.

3.5.2 Probability Slamming

Pengevaluasian nilai *probability slamming* pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi pada setiap variasi dengan standar *probability* kapal pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Probability Slamming
K 1	0,86	4,53	0	0,00%
K 2			90	0,00%
K 3			180	0,00%
K 4		6,18	0	0,00%
K 5			90	0,00%
K 6			180	0,00%
K 7		6,54	0	0,00%
K 8			90	0,00%
K 9			180	0,00%
K 10	1,57	4,53	0	0,00%
K 11			90	0,00%
K 12			180	0,00%
K 13		6,18	0	0,00%
K 14			90	0,00%
K 15			180	0,00%
K 16		6,54	0	0,00%
K 17			90	0,00%
K 18			180	0,00%
K 19	1,77	4,53	0	0,00%
K 20			90	0,00%

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Probability Slamming
K 21			180	0,00%
K 22		6,18	0	0,00%
K 23			90	0,00%
K 24			180	0,00%
K 25		6,54	0	0,00%
K 26			90	0,00%
K 27			180	0,00%

Tabel 10. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Probability Slamming
P 1	0,86	4,53	0	0,00%
P 2			90	0,00%
P 3			180	0,00%
P 4		6,18	0	0,00%
P 5			90	0,00%
P 6			180	0,00%
P 7		6,54	0	0,00%
P 8			90	0,00%
P 9			180	0,00%
P 10	1,57	4,53	0	0,00%
P 11			90	0,00%
P 12			180	0,00%
P 13		6,18	0	0,00%
P 14			90	0,00%
P 15			180	0,00%
P 16		6,54	0	0,00%
P 17			90	0,00%
P 18			180	0,00%
P 19	1,77	4,53	0	0,00%
P 20			90	0,00%
P 21			180	0,00%
P 22		6,18	0	0,00%
P 23			90	0,00%
P 24			180	0,00%
P 25		6,54	0	0,00%
P 26			90	0,00%
P 27			180	0,00%

Tabel 9 dan 10 menunjukkan bahwa untuk semua kondisi, nilai *probability slamming* yang didapatkan sangat kecil cenderung mendekati 0%. Rendahnya nilai tersebut menunjukkan bahwa pada seluruh variasi gelombang dan arah datang gelombang yang diuji, kapal kontainer tersebut mampu menjaga kontak haluan dengan air secara stabil.

3.5.3 Deck Wetness

Pengevaluasian nilai *deck wetness* pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi nilai pada setiap variasi dengan standar *deck wetness* kapal pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada Tabel 11 dan 12.

Tabel 11. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Deck Wetness
K 1	0,86	4,53	0	0,00%
K 2			90	0,00%
K 3			180	0,00%
K 4		6,18	0	0,00%
K 5			90	0,00%
K 6			180	0,00%
K 7		6,54	0	0,00%
K 8			90	0,00%
K 9			180	0,00%
K 10	1,57	4,53	0	0,00%
K 11			90	0,00%
K 12			180	0,00%
K 13		6,18	0	0,00%
K 14			90	0,00%
K 15			180	0,00%
K 16		6,54	0	0,00%
K 17			90	0,00%
K 18			180	0,00%
K 19	1,77	4,53	0	0,00%
K 20			90	0,00%
K 21			180	0,00%
K 22		6,18	0	0,00%
K 23			90	0,00%
K 24			180	0,00%
K 25		6,54	0	0,00%
K 26			90	0,00%
K 27			180	0,00%

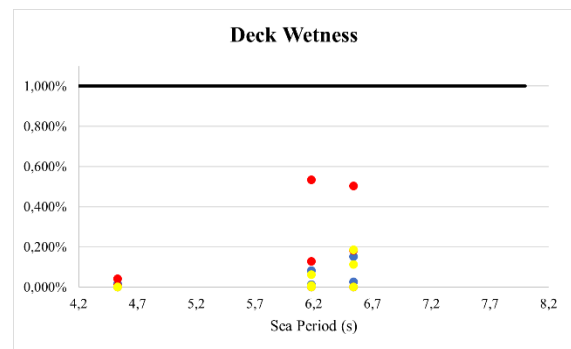
Pada tabel yang disajikan dapat diketahui bahwa nilai probabilitas yang dihasilkan sangat kecil cenderung mendekati 0% di bawah dari standar Nordforsk Criteria 1987.

Tabel 11. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Deck Wetness
P 1	0,86	4,53	0	0,00%
P 2			90	0,00%
P 3			180	0,00%
P 4		6,18	0	0,00%
P 5			90	0,00%
P 6			180	0,00%
P 7		6,54	0	0,00%
P 8			90	0,00%
P 9			180	0,00%
P 10	1,57	4,53	0	0,00%
P 11			90	0,00%
P 12			180	0,00%
P 13		6,18	0	0,01%
P 14			90	0,13%
P 15			180	0,01%
P 16		6,54	0	0,03%
P 17			90	0,18%
P 18			180	0,11%
P 19	1,77	4,53	0	0,02%

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Deck Wetness
P 20			90	0,04%
P 21			180	0,00%
P 22		6,18	0	0,08%
P 23			90	0,53%
P 24			180	0,06%
P 25		6,54	0	0,15%
P 26			90	0,50%
P 27			180	0,19%

Dari Tabel 11 disajikan grafik pada Gambar 7 untuk melihat perbandingan semua kondisi dengan Nordforsk Criteria 1987.



Gambar 4. Grafik pengujian nilai *deck wetness* pada variasi kapal bermuatan penuh

Grafik yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan pada kapal dengan muatan penuh, nilai probabilitas *deck wetness* mulai muncul namun masih di bawah dari batas nilai dari Nordforsk Criteria 1987 yaitu 1%. Sedangkan untuk kapal kontainer tanpa muatan, menunjukkan nilai probabilitas *deck wetness* untuk kapal kontainer tanpa muatan bernilai 0% secara keseluruhan.

3.5.4 Vertical Acceleration at FP

Pengevaluasian nilai *vertical acceleration* di posisi FP pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi nilai pada setiap variasi dengan standar kapal *vertical acceleration* pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 12. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at FP (g)
K 1	0,86	4,53	0	0,000815494
K 2			90	0,018654434
K 3			180	0,006727829
K 4		6,18	0	0,001630989
K 5			90	0,016004077

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at FP (g)
K 6			180	0,019266055
K 7		6,54	0	0,002038736
K 8			90	0,014678899
K 9			180	0,023037717
K 10	1,57	4,53	0	0,001427115
K 11			90	0,034046891
K 12			180	0,012130479
K 13		6,18	0	0,002956167
K 14			90	0,029153925
K 15			180	0,035270133
K 16		6,54	0	0,003771662
K 17			90	0,026809378
K 18			180	0,041997961
K 19	1,77	4,53	0	0,006218145
K 20			90	0,038430173
K 21			180	0,013761468
K 22		6,18	0	0,003261978
K 23			90	0,032823649
K 24			180	0,039755352
K 25		6,54	0	0,004281346
K 26			90	0,030173293
K 27			180	0,047298675

Pada Tabel 11 yang disajikan dapat diketahui bahwa nilai *vertical acceleration* pada FP yang dihasilkan masih di bawah nilai batas dari standar Nordforsk Criteria 1987 yaitu 0,05 g.

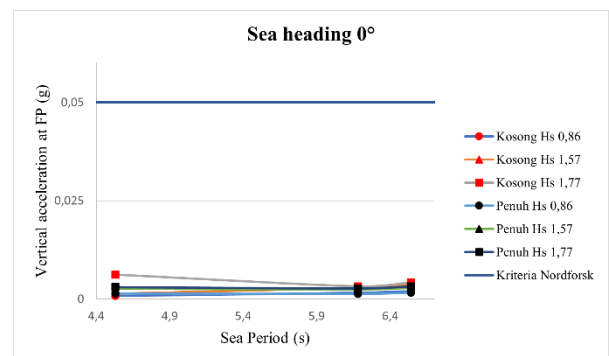
Tabel 12. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at FP (g)
P 1	0,86	4,53	0	0,001427115
P 2			90	0,011722732
P 3			180	0,003261978
P 4		6,18	0	0,001325178
P 5			90	0,020591233
P 6			180	0,011926606
P 7		6,54	0	0,001630989
P 8			90	0,017635066
P 9			180	0,014780836
P 10	1,57	4,53	0	0,002650357
P 11			90	0,021406728
P 12			180	0,005912334
P 13		6,18	0	0,002446483
P 14			90	0,037614679
P 15			180	0,021712538

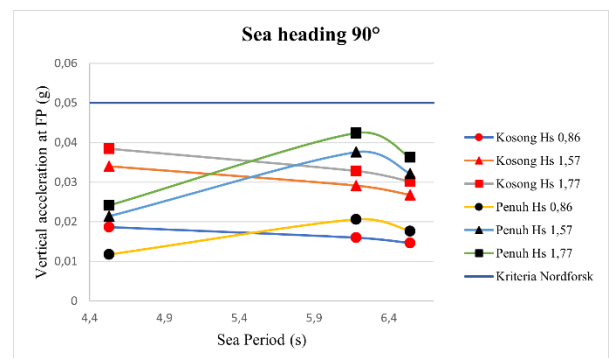
Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at FP (g)
P 16		6,54	0	0,00285423
P 17			90	0,032212029
P 18			180	0,027115189
P 19	1,77	4,53	0	0,003058104
P 20			90	0,024159021
P 21			180	0,006625892
P 22		6,18	0	0,002752294
P 23			90	0,042405708
P 24			180	0,024464832
P 25		6,54	0	0,003261978
P 26			90	0,036289501
P 27			180	0,030479103

Pada Tabel 12 dapat diketahui bahwa nilai *vertical acceleration* pada FP pada kapal kontainer bermuatan penuh yang dihasilkan masih di bawah nilai batas dari standar Nordforsk Criteria 1987 yaitu 0,05 g.

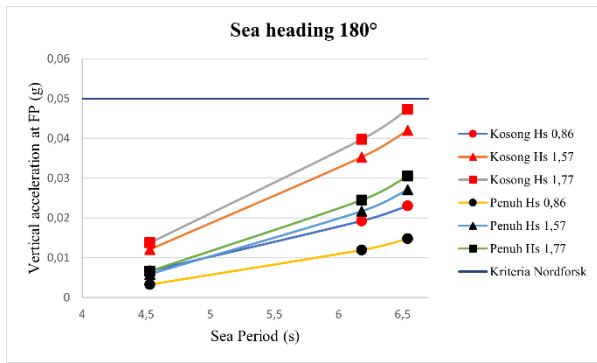
Dari kedua tabel disajikan grafik pada Gambar 5, 6, dan 7 untuk melihat perbandingan semua kondisi dengan Nordforsk Criteria 1987.



Gambar 5. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada FP dengan arah gelombang 0°



Gambar 6. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada FP dengan arah gelombang 90°



Gambar 7. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada FP dengan arah gelombang 180°

Gambar 5, 6, dan 7 menunjukkan bahwa *vertical acceleration* pada FP di semua variasi kondisi masih jauh di bawah nilai batas operasional menurut Nordforsk Criteria 1987. Dapat disimpulkan bahwa dengan hasil tersebut tidak terdapat kondisi yang melampaui batas kriteria sehingga kapal kontainer dapat beroperasi dengan baik.

3.5.5 Vertical Acceleration at Bridge

Pengevaluasian nilai *vertical acceleration* di posisi *Bridge* pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi nilai pada setiap variasi dengan standar kapal *vertical acceleration* pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 14. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at Bridge (g)
K 1	0,86	4,53	0	0,000611621
K 2			90	0,026605505
K 3			180	0,003771662
K 4		6,18	0	0,000917431
K 5			90	0,036799185
K 6			180	0,009174312
K 7		6,54	0	0,001223242
K 8			90	0,035779817
K 9			180	0,010601427
K 10	1,57	4,53	0	0,001121305
K 11			90	0,048521916
K 12			180	0,006931702
K 13		6,18	0	0,001732926
K 14			90	0,067176351
K 15			180	0,016819572
K 16		6,54	0	0,00224261
K 17			90	0,065341488

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at Bridge (g)
K 18			180	0,019266055
K 19	1,77	4,53	0	0,001223242
K 20			90	0,054740061
K 21			180	0,007849134
K 22		6,18	0	0,001936799
K 23			90	0,075739042
K 24			180	0,018960245
K 25		6,54	0	0,00254842
K 26			90	0,073700306
K 27			180	0,021814475

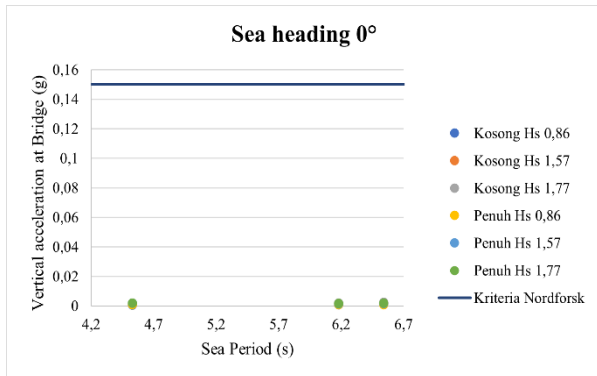
Nilai batas pada parameter *vertical acceleration* pada *bridge* menurut Nordforsk Criteria 1987 adalah 0,15 g. Data tersaji pada Tabel 14 terlihat bahwa untuk semua variasi kondisi saat kapal kontainer tanpa muatan, nilai yang muncul masih di bawah nilai batas operasional dari Nordforsk Criteria 1987.

Tabel 15. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

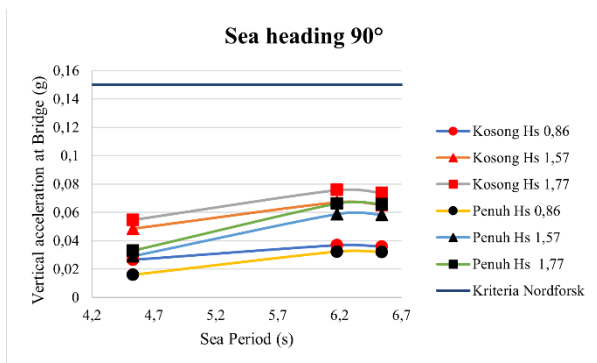
Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at Bridge (g)
P 1	0,86	4,53	0	0,001019368
P 2			90	0,016004077
P 3			180	0,002038736
P 4		6,18	0	0,000815494
P 5			90	0,032212029
P 6			180	0,007441386
P 7		6,54	0	0,000917431
P 8			90	0,031906218
P 9			180	0,008970438
P 10	1,57	4,53	0	0,001834862
P 11			90	0,029153925
P 12			180	0,003669725
P 13		6,18	0	0,001529052
P 14			90	0,058715596
P 15			180	0,013557594
P 16		6,54	0	0,001630989
P 17			90	0,058307849
P 18			180	0,016411825
P 19	1,77	4,53	0	0,002038736
P 20			90	0,032925586
P 21			180	0,004077472
P 22		6,18	0	0,001732926
P 23			90	0,066258919
P 24			180	0,01529052
P 25		6,54	0	0,001936799

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Vertical Acceleration at Bridge (g)
P 26			90	0,065749235
P 27			180	0,018450561

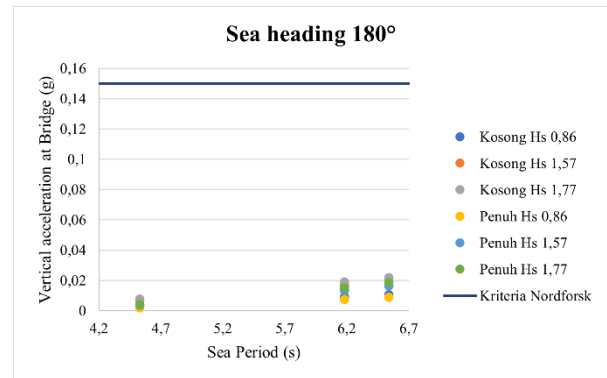
Nilai batas pada parameter *vertical acceleration* pada *bridge* menurut Nordforsk Criteria 1987 adalah 0,15 g. Data tersaji pada Tabel 15 terlihat bahwa untuk semua variasi kondisi saat kapal kontainer membawa muatan, nilai yang muncul masih di bawah nilai batas operasional dari Nordforsk Criteria 1987.



Gambar 8. Grafik pada variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada *Bridge* dengan arah gelombang 0°



Gambar 9. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada *Bridge* dengan arah gelombang 90°



Gambar 10. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *vertical acceleration* pada *Bridge* dengan arah gelombang 180°

Grafik pada gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan nilai percepatan *vertical* yang terjadi pada lokasi anjungan (*bridge*) akibat dari gerakan *heave* dan *pitch* yang terjadi saat kapal beroperasi. Menurut Nordforsk Criteria 1987, batas nilai *vertical acceleration* pada *bridge* agar tidak mengganggu aktivitas awak kapal dan operasional kapal adalah 0,15 g. Grafik menunjukkan bahwa semua variasi kondisi kapal bermuatan dan tanpa muatan secara keseluruhan memiliki nilai *vertical acceleration* pada *bridge* tidak ada yang melampaui batas kriteria.

3.5.6 Lateral Acceleration at Bridge

Pengevaluasian nilai *lateral acceleration* di posisi *Bridge* pada setiap variasi dilakukan dengan proses komparasi nilai pada setiap variasi dengan standar kapal *lateral acceleration* pada Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis dari *Maxsurf Motions* dapat dilihat pada Tabel 16 dan 17.

Tabel 16. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Kosong

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Lateral Acceleration at Bridge (g)
K 1	0,86	4,53	0	0
K 2			90	0,130784913
K 3			180	0
K 4		6,18	0	0
K 5			90	0,119979613
K 6			180	0
K 7		6,54	0	0
K 8			90	0,118654434
K 9			180	0
K 10	1,57	4,53	0	0
K 11			90	0,238735984
K 12			180	0
K 13		6,18	0	0
K 14			90	0,219062181
K 15			180	0
K 16		6,54	0	0

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Lateral Acceleration at Bridge (g)
K 17			90	0,216717635
K 18			180	0
K 19	1,77	4,53	0	0
K 20			90	0,26911315
K 21			180	0
K 22		6,18	0	0
K 23			90	0,246992864
K 24			180	0
K 25		6,54	0	0
K 26			90	0,244342508
K 27			180	0

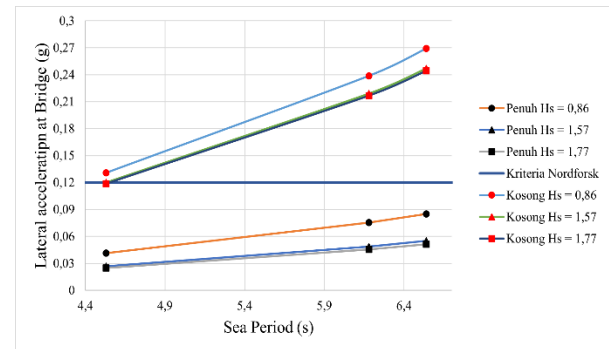
Dari tabel di atas, variasi kondisi yang memiliki nilai besar adalah kondisi dimana arah datang gelombang adalah *beam sea* atau 90°. Menurut Nordforsk Criteria 1987, nilai batas *lateral acceleration* pada posisi *bridge* adalah 0,12 g.

Tabel 17. Hasil Analisis pada *Maxsurf* Kondisi Kapal Muatan Penuh

Variasi	Hs (m)	Tp (s)	Seaheading (°)	Lateral Acceleration at Bridge (g)
P 1	0,86	4,53	0	0
P 2			90	0,041284404
P 3			180	0
P 4		6,18	0	0
P 5			90	0,026809378
P 6			180	0
P 7		6,54	0	0
P 8			90	0,024974516
P 9			180	0
P 10	1,57	4,53	0	0
P 11			90	0,075331295
P 12			180	0
P 13		6,18	0	0
P 14			90	0,048827727
P 15			180	0
P 16		6,54	0	0
P 17			90	0,045565749
P 18			180	0
P 19	1,77	4,53	0	0
P 20			90	0,084913354
P 21			180	0
P 22		6,18	0	0
P 23			90	0,055045872
P 24			180	0
P 25		6,54	0	0
P 26			90	0,051376147
P 27			180	0

Pada kapal kontainer bermuatan penuh, seluruh variasi kondisi menghasilkan nilai di bawah nilai batas operasional pada parameter *lateral acceleration* pada *bridge*. Dapat dilihat

angka tertingginya terdapat pada kondisi P-20 namun nilainya masih di bawah nilai batas menurut Nordforsk Criteria 1987.



Gambar 11. Grafik pada semua variasi pengujian nilai *lateral acceleration* pada *Bridge*

Grafik pada gambar 11 menunjukkan nilai percepatan melintang pada lokasi anjungan kapal (*bridge*) akibat gerakan *roll* kapal. Berdasarkan Nordforsk Criteria 1987, nilai batas *lateral acceleration at bridge* adalah 0,12 g. Hasil analisis *Maxsurf Motion* menunjukkan bahwa pada kondisi kapal kontainer tanpa muatan, nilai percepatan melintangnya lebih besar dan terdapat 7 variasi kondisi melebihi nilai ambang dari Nordforsk Criteria 1987. Hal ini dapat diproyeksikan sebagai kondisi dimana awak kapal mengalami gangguan kenyamanan akibat gerakan menyamping berlebihan. Pada kondisi kapal kontainer membawa muatan, seluruh hasil dari analisis tidak ada yang melewati nilai batas operasional dari Nordforsk Criteria 1987.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *seakeeping* kapal kontainer KM Jayasakti 7.300 DWT menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Motion* pada 27 variasi kondisi gelombang Laut Jawa dapat disimpulkan bahwa secara umum kapal memiliki performa olah gerak yang baik dan memenuhi sebagian besar kriteria operasional berdasarkan Nordforsk Criteria 1987. Hasil analisis setiap parameternya dapat disimpulkan sebagai:

1. Respons *roll* terbesar terjadi pada kondisi gelombang *beam sea* (90°), sedangkan pada kondisi *following sea* (0°) dan *head sea* (180°) nilai *roll* relatif kecil hingga mendekati nol. Nilai *roll* maksimum yang diperoleh pada kondisi muatan kosong sebesar 9,79° dan pada kondisi muatan penuh sebesar 7,63°, sehingga ditemukan beberapa kondisi dimana nilai *roll* melebihi nilai batas dari Nordforsk Criteria 1987.

2. Pada parameter *probability slamming*, seluruh variasi kondisi baik pada muatan kosong maupun muatan penuh menghasilkan nilai di bawah batas operasional Nordforsk Criteria 1987 sebesar 3%.
 3. Hasil evaluasi *deck wetness* menunjukkan bahwa seluruh variasi kondisi menghasilkan probabilitas terjadinya limpasan air ke geladak yang jauh di bawah batas Nordforsk Criteria 1987 sebesar 5%.
 4. Analisis *Vertical Acceleration at FP* menunjukkan bahwa seluruh variasi kondisi menghasilkan nilai percepatan vertikal di haluan di bawah batas Nordforsk Criteria 1987 sebesar 0,275 g.
 5. Pada parameter *Vertical Acceleration at Bridge*, seluruh variasi kondisi juga memenuhi batas operasional Nordforsk Criteria 1987 sebesar 0,15 g.
 6. Hasil evaluasi *Lateral Acceleration at Bridge* menunjukkan adanya beberapa kondisi yang tidak memenuhi kriteria Nordforsk Criteria 1987. Pada kondisi muatan kosong terdapat tujuh variasi pengujian yang menghasilkan nilai melebihi batas 0,12 g.
- Secara keseluruhan, KM Jayasakti 7.300 DWT memiliki karakteristik seakeeping yang baik pada kondisi operasional di Laut Jawa. Sebagian besar parameter yang dievaluasi memenuhi standar Nordforsk Criteria 1987, baik pada kondisi muatan kosong maupun muatan penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boy Anugerah, "Pemberdayaan Angkatan Laut Nasional Indonesia Dalam Rangka Memperkuat Pertahanan Nasional," *J. Kebijak. Pembang.*, vol. 17, no. 1, pp. 151–166, 2022, doi: 10.47441/jkp.v17i1.237.
- [2] Republik Indonesia, "Undang-Undang no. 17 tahun 2008 tentang Pelayaran," Jakarta, Indonesia, 2008.
- [3] R. Sucipto, Samuel, and R. Good, "Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 10000 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya - Donsak Rohmat Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 10000 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya - Donsak," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, p. 2, 2017.
- [4] M. Zu, K. Garne, and A. Rosén, "Seakeeping criteria revisited," *Ocean Eng.*, vol. 297, no. January, 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.116785.
- [5] N. J. G. Rojaz, "Design criteria for seakeeping and stability of fishing vessels in regular waves," *Chalmers Univ. Technol.*, 2021.
- [6] K. J. Rawson and E. C. Tupper, *Basic Ship Theory*, 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [7] W. L. Dhanistha, Suntoyo, D. M. Rosyid, and R. Akbar, "Design of wave spectrum in the Java Sea," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1298, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1298/1/012028.
- [8] N. Purwono, "Analisa Kejadian Gelombang Dengan Metode Empirik Dan Model Matematik Di Kawasan Perairan Pelabuhan Tanjung Laut," *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.32662/gojise.v3i1.862.
- [9] 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.
- [10] V. T. Doan, H. Tran, and T. G. Tran, "New approaches to assess the seakeeping performance of high-speed passenger vessels," *Ocean Eng.*, vol. 339, no. P2, p. 122032, 2025, doi: 10.1016/j.oceaneng.2025.122032.
- [11] Copernicus, "Global Ocean Physics Analysis and Forecast," Copernicus Marine Data Store. Accessed: May 05, 2026. [Online]. Available: <https://data.marine.copernicus.eu/-/2apzaijioe>