

Analisis Stabilitas Kapal Ferry Penumpang Kepri Coral Jaya Berdasarkan Hasil *Inclining Test* Terhadap Kriteria Keselamatan IMO

Ricky Ahmad Nur Sulhan^{*1}, Nidia Yuniarsih,^{*} dan Andrew W. P. Mantik^{*}

^{*}Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: aricky800@gmail.com

Abstrak

Keselamatan pelayaran di Indonesia sangat bergantung pada stabilitas kapal, khususnya kapal penumpang jenis *fast passenger vessel* yang beroperasi di perairan kepulauan. Ketidakakuratan data karakteristik kapal dalam kondisi *lightship* dapat menyebabkan estimasi stabilitas yang tidak tepat sehingga berisiko membahayakan keselamatan penumpang. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi karakteristik kapal MV Kepri Coral Jaya berdasarkan data uji kemiringan (*inclining test*), menganalisis profil stabilitas kapal dalam berbagai kondisi pembebanan penumpang, dan mengevaluasi kelayakan stabilitas operasional kapal terhadap kriteria standar *IMO High-Speed Craft Code 2000 (HSC Code 2000)* serta persyaratan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah uji kemiringan (*inclining test*) untuk menganalisis stabilitas kapal. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan data primer yang diperoleh langsung dari pelaksanaan *inclining test* pada tanggal 12 Maret 2026 di galangan PT Palindo Marine Shipyard, Batam. Kapal memiliki spesifikasi utama LOA 33,90 m, lebar 5,15 m, dan tinggi 2,25 m. Pemodelan dan simulasi stabilitas dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf untuk memperoleh nilai *displacement*, *keel of gravity* (KG), tinggi metasenter (GM), dan kurva lengan stabilitas (GZ). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil validasi karakteristik kapal melalui sebuah data uji kemiringan (*inclining test*) yang dapat menjadi referensi teknis dalam proses sertifikasi dan pengoperasian kapal penumpang di perairan Indonesia.

Kata kunci: Stabilitas kapal, *inclining test*, IMO HSC Code 2000, Maxsurf

Abstract

Maritime safety in Indonesia is highly dependent on ship stability, particularly that of fast passenger vessels operating in archipelagic waters. Inaccuracies in ship characteristic data under lightship conditions can lead to incorrect stability estimates, thereby posing a risk to passenger safety. This study aims to validate the characteristics of the MV Kepri Coral Jaya based on inclining test data, analyze the ship's stability profile under various passenger loading conditions, and evaluate the ship's operational stability compliance against the criteria of the IMO High-Speed Craft Code 2000 (HSC Code 2000) and the requirements of the Indonesian Classification Bureau (BKI). This study is a descriptive quantitative study using primary data obtained directly from the inclining test conducted on March 12, 2026, at the PT Palindo Marine Shipyard in Batam. The vessel has the following primary specifications: LOA 33.90 m, beam 5.15 m, and draft 2.25 m. Stability modeling and simulation were performed using Maxsurf software to obtain values for displacement, keel of gravity (KG), metacentric height (GM), and the stability curve (GZ). This study is expected to serve as a technical reference in the certification and operation of passenger vessels in Indonesian waters.

Keywords : Ship stability, *inclining test*, IMO HSC Code 2000, Maxsurf

1 Pendahuluan

Transportasi laut memainkan peran penting dalam sistem konektivitas Indonesia, terutama melalui penggunaan kapal ferry penumpang dan *roll-on/roll-off* (Ro-Ro). Jenis kapal ini dinilai sangat efektif karena kemampuannya mengangkut penumpang, kendaraan, dan muatan barang secara bersamaan [1]. Mengingat besarnya kapasitas angkut dan tingginya tingkat operasional, keselamatan jiwa menjadi hal yang utama. Data dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi menunjukkan bahwa kecelakaan pada kapal, termasuk yang melibatkan penumpang, masih sering terjadi akibat masalah teknis seperti kehilangan

stabilitas. Selain masalah stabilitas, tabrakan dan kebakaran juga merupakan sumber utama kecelakaan kapal di perairan Indonesia [2]. Oleh sebab itu, pengendalian batas maksimum beban muatan sangat penting untuk mencegah kapal dari situasi berbahaya.

Aspek teknis yang paling mendasar untuk memastikan keselamatan pelayaran adalah stabilitas kapal. Menurut Rawson dan Tupper, stabilitas adalah kemampuan dasar kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan yang disebabkan oleh gaya luar (seperti angin dan gelombang) atau perubahan beban di dalam kapal [3]. Sebuah studi kasus pada kapal tradisional *Kharisma Jaya* menunjukkan bahwa kelebihan penumpang dapat mengurangi stabilitas hingga melampaui batas aman [4]. Kapal yang tidak stabil berisiko mengalami kemiringan ekstrem atau bahkan terbalik (*capsizing*), terutama dalam kondisi cuaca buruk. Situasi ini semakin berbahaya bagi kapal yang memiliki profil tinggi di atas permukaan air, seperti kapal Ro-Ro dan *car carrier* [5]. Penelitian lain pada kapal *crew boat* 40 m juga menegaskan pentingnya verifikasi stabilitas menggunakan perangkat lunak seperti Maxsurf untuk menjamin keselamatan operasional [6].

Untuk memastikan setiap kapal beroperasi dengan stabilitas yang baik, *International Maritime Organization* (IMO) telah mengembangkan standar keselamatan yang lengkap. Mengingat MV Kepri Coral Jaya beroperasi sebagai kapal penumpang berkecepatan tinggi, Standar utama yang digunakannya adalah *International Code of Safety for High-Speed Craft, 2000* (2000 HSC Code) yang disahkan melalui resolusi MSC.97(73). Kode ini secara spesifik mengatur kriteria stabilitas utuh (*intact stability*) untuk kapal tipe monohull pada annex 8, yang mencakup standar luas area dibawah kurva GZ, nilai GZ maksimum, dan tinggi metasenter (GM). Lebih jauh regulasi ini juga menetapkan kriteria ketat terkait operasional kapal penumpang (pada chapter 2 part B), seperti toleransi batas kemiringan saat kapal berbelok dalam kecepatan tinggi (*high-speed turning*) [7]. Pemenuhan terhadap kriteria khus ini mutlak diperlukan untuk mencegah insiden terbalik (*capsizing*) dan menjamin keselamatan nyawa.

Kode ini mengharuskan kapal-kapal, khususnya kapal penumpang, untuk memenuhi kriteria minimum stabilitas statis, seperti luas area di bawah kurva GZ, nilai maksimum GZ, dan tinggi metasenter awal (GM). Selain itu, untuk kapal Ro-Ro terdapat kriteria khusus mengenai penumpukan penumpang dan kemiringan saat berbelok (*turning*) yang harus dipatuhi agar kecelakaan besar dapat dihindari [7]. Di tingkat nasional, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) juga menetapkan persyaratan stabilitas yang selaras dengan standar IMO dalam *Rules for Hull* (Vol. II), sehingga kepatuhan terhadap regulasi ini menjadi syarat utama bagi kapal yang beroperasi di perairan Indonesia [8].

Pemenuhan kriteria IMO sangat bergantung pada keakuratan data karakteristik kapal dalam kondisi kosong (*lightship*), terutama posisi titik berat vertikal (KG). Nilai KG tidak dapat hanya mengandalkan rencana gambar desain, tetapi harus divalidasi secara langsung melalui prosedur uji kemiringan (*inclining test*) setelah kapal selesai dibangun [7]. Uji kemiringan adalah prosedur eksperimental untuk menentukan letak titik berat kapal dengan cara menggeser beban uji yang diketahui massanya secara melintang, lalu mengukur sudut kemiringan yang dihasilkan menggunakan pendulum atau alat ukur lainnya. Prosedur ini telah diatur secara rinci oleh BKI dalam "Petunjuk Pengujian Kemiringan dan Periode Oleng Kapal" untuk menjamin konsistensi dan keakuratan hasil pengujian [9]. Proses ini memerlukan analisis keandalan karena ketidakpastian dalam pengukuran dapat mempengaruhi hasilnya [10]. Mengingat pelaksanaan uji kemiringan di lapangan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor ketidakpastian (seperti kondisi perairan, hembusan angin, dan ketepatan pendulum), analisis ketidakpastian (*uncertainty analysis*) menjadi sangat penting. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pengujian *inclining test*, seperti studi oleh Taylan (2020) dan Woodward (2016), lebih berfokus pada pengembangan algoritma matematis untuk keandalan data dan analisis ketidakpastian eksperimental. Penelitian stabilitas lain juga umumnya masih banyak mengandalkan data desain teoretis tanpa validasi lapangan. Yang membedakan penelitian ini dengan studi-studi sebelumnya adalah penggunaan data primer faktual secara langsung dari hasil uji kemiringan kapal jenis *fast passenger vessel* yang baru dibangun di galangan lokal (PT Palindo Marine Shipyard). Data aktual (*as-built*) tersebut kemudian diaplikasikan sebagai *baseline* yang valid untuk menyimulasikan berbagai skenario pembebanan penumpang secara dinamis, sehingga evaluasi kelayakan stabilitas operasional terhadap kriteria IMO menjadi lebih komprehensif dan mencerminkan kondisi riil di lapangan [11].

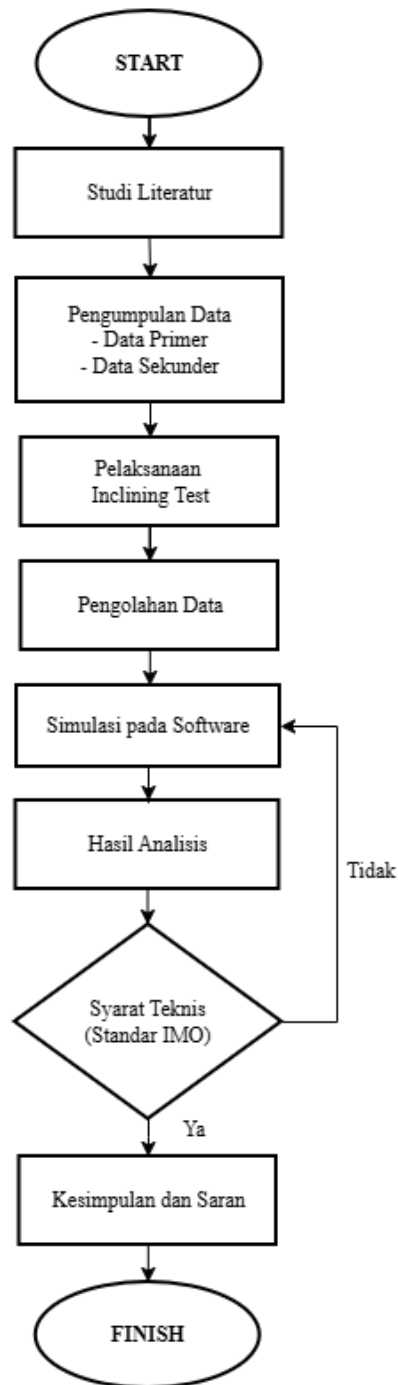
Berdasarkan kebutuhan tersebut, riset ini difokuskan pada kajian analisis validasi stabilitas kapal penumpang Kepri Coral Jaya yang dibuat di galangan PT Palindo Marine Shipyard, Batam. Tersedianya data primer dari hasil pengamatan langsung saat pelaksanaan uji kemiringan dan uji laut kapal tersebut memberikan dasar faktual yang sangat penting. Pendekatan pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak Maxsurf dipilih karena telah terbukti efektif dalam studi serupa, seperti pada evaluasi stabilitas utuh (*intact stability*) kapal penumpang komersial tipe Ro-Ro yang divalidasi terhadap resolusi standar IMO [12]. Tujuan utama dari penelitian ini adalah memvalidasi karakteristik kapal penumpang Kepri Coral Jaya berdasarkan data uji kemiringan, menganalisis profil stabilitas kapal dalam berbagai

kondisi pembebanan penumpang dan mengevaluasi kelayakan stabilitas operasional kapal dengan membandingkan parameter stabilitas aktualnya terhadap kriteria standar IMO serta persyaratan BKI. Penelitian ini hanya terbatas pada analisis stabilitas utuh (*intact stability*) untuk kondisi muatan tertentu dan tidak membahas aspek kekuatan struktur atau tahanan kapal.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Bagan Alir

Secara umum, metodologi penelitian dapat dilihat pada gambar 1 yaitu berupa bagan alir.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

2.2 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah kapal ferry penumpang MV Kepri Coral Jaya yang dibangun oleh PT Palindo Marine Shipyard, Batam. Kapal ini merupakan kapal penumpang jenis *fast passenger vessel*. Inclining test dilaksanakan pada tanggal 12 Maret 2026 di galangan tersebut. Lokasi dipilih karena terlindung dari arus dan angin berlebih serta kedalaman kolam memadai (2,00 m). Kondisi lingkungan saat uji: cuaca cerah, laut tenang, kecepatan angin 13 mph, suhu air 31°C, densitas air laut 1024 kg/m³.

2.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yang berbasis pada perhitungan teknis dan analisis data pengukuran lapangan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena seluruh parameter yang dikaji seperti perpindahan (*displacement*), tinggi titik berat (KG), Tinggi metasenter (GM), dan kurva lengan stabilitas (GZ) merupakan besaran numerik yang dapat dihitung dan dibandingkan secara terukur terhadap standar internasional. Data utama bersumber dari pelaksanaan uji kemiringan (*inclining test*) yang dilakukan secara langsung di lapangan pada kapal MV Kepri Coral Jaya, sehingga hasil penelitian mencerminkan kondisi aktual kapal, bukan hanya estimasi teoritis dari gambar desain.

2.4 Pengumpulan Data

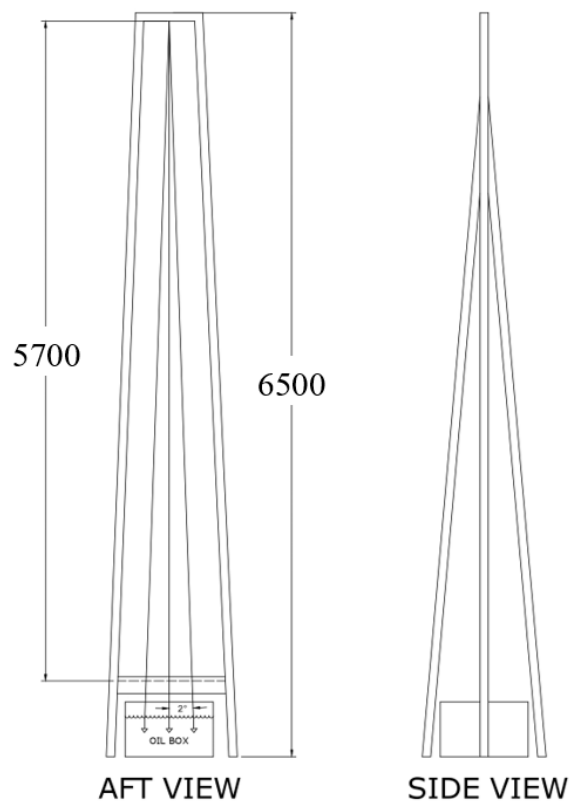
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua sumber, yaitu data primer yang diperoleh langsung dari pelaksanaan *inclining test* di lapangan, dan data sekunder yang bersumber dari dokumen teknis resmi kapal.

2.4.1. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari pengamatan dan pengukuran selama pelaksanaan *inclining test* pada kapal MV Kepri Coral Jaya. Data-data primer yang dikumpulkan meliputi:

Tabel 1. Data Primer Hasil Inclining Test MV Kepri Coral Jaya

No.	Jenis Data	Keterangan / Nilai
1	Beban inclining (W1–W4)	4 beban masing-masing 0,600 ton, jarak pergeseran 2,60 m per langkah
2	Beban tambahan koreksi trim	<i>Additional Load 1</i> = 0,736 ton; <i>Additional Load 2</i> = 0,516 ton di posisi haluan (LCG = 29,60 m dari AP)
3	Pendulum	2 pendulum panjang 5700 mm; pendulum buritan pada jarak 2400 mm dari AP, pendulum haluan pada 18.800 mm dari AP
4	Data sarat kapal	Buritan = 0,90 m; tengah = 0,84 m; haluan = 0,78 m (diukur di port dan starboard)
5	Kondisi tangki	<i>Fuel Oil Tank 1</i> : kosong; <i>Fuel Oil Tank 2</i> : kosong; <i>Fresh Water Tank</i> : kosong
6	Berat personel	9 orang personel, total berat = 0,635 ton, diklasifikasikan sebagai item to be removed
7	Kondisi perairan	Densitas air laut = 1024 kg/m ³ ; suhu = 31°C; kondisi laut tenang; kecepatan angin 13 mph dari arah Utara



Gambar 2. Detail of pendulum

2.4.2. Data Sekunder

Data ini didapatkan dari dokumen teknis kapal seperti General Arrangement, hydrostatic curves, data desain awal yang digunakan sebagai acuan pemodelan dan evaluasi distribusi beban.

Tabel 2. Data Teknis Utama MV Kepri Coral Jaya (Data Sekunder)

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	LOA (Length Overall)	33,90	m
2	LPP (Length Between Perpendiculars)	30,51	m
3	Breadth (Lebar Kapal)	5,15	m
4	Depth (Tinggi Kapal)	2,25	m
5	Draft Desain	1,0	m
6	Lightship Displacement (Desain)	42,10	ton

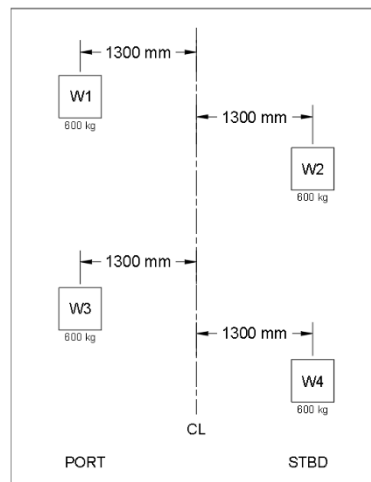
2.5 Pelaksanaan Inclining Test

Inclining test dilaksanakan mengacu pada prosedur standar IMO MSC.267(85) dan regulasi internasional yang berlaku. Secara garis besar, prosedur pelaksanaan *inclining test* pada MV Kepri Coral Jaya terdiri atas empat tahap utama, yaitu: persiapan sebelum pengujian, survei kondisi awal kapal (*lightship survey*), pelaksanaan pengujian kemiringan, serta pengolahan data hasil pengujian.

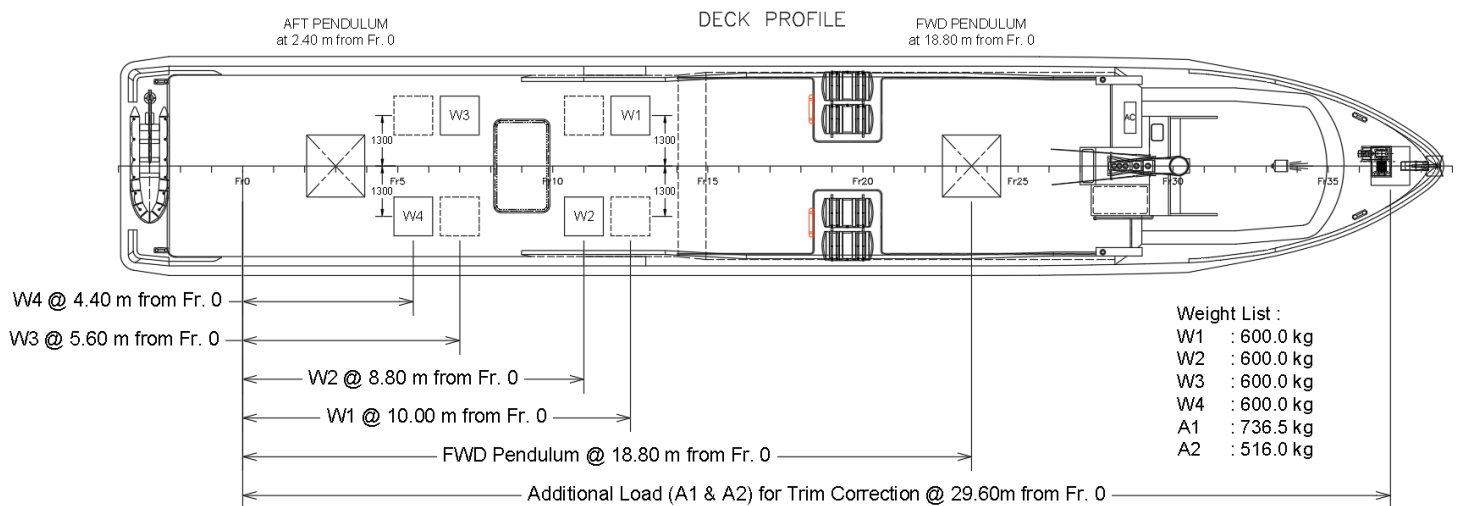
2.5.1. Persiapan Sebelum Pengujian

Sebelum pengujian dilaksanakan, dilakukan serangkaian persiapan sebagai berikut :

1. Memastikan kondisi cuaca favorable (gelombang tenang, angin tidak berlebih) dan kapal ditambat di area yang terlindung dari gaya eksternal.
2. Kapal harus dalam kondisi tegak secara melintang (tidak miring) dengan trim yang tidak melebihi 1% dari panjang antar garis tegak (LPP).
3. Seluruh tangki (*Fuel Oil Tank 1*, *Fuel Oil Tank 2*, dan *Fresh Water Tank*) dalam kondisi kosong dan bersih.
4. Geladak dan bilga dibersihkan dari air yang tergenang.
5. Beban inclining (W1–W4) dan beban tambahan koreksi trim telah ditempatkan sesuai konfigurasi awal pada gambar inclining drawing.
6. Seluruh peralatan uji, personel, dan perlengkapan yang tidak diperlukan dikurangi seminimal mungkin; setiap item yang ada di atas kapal dicatat beratnya dengan timbangan terkalibrasi.



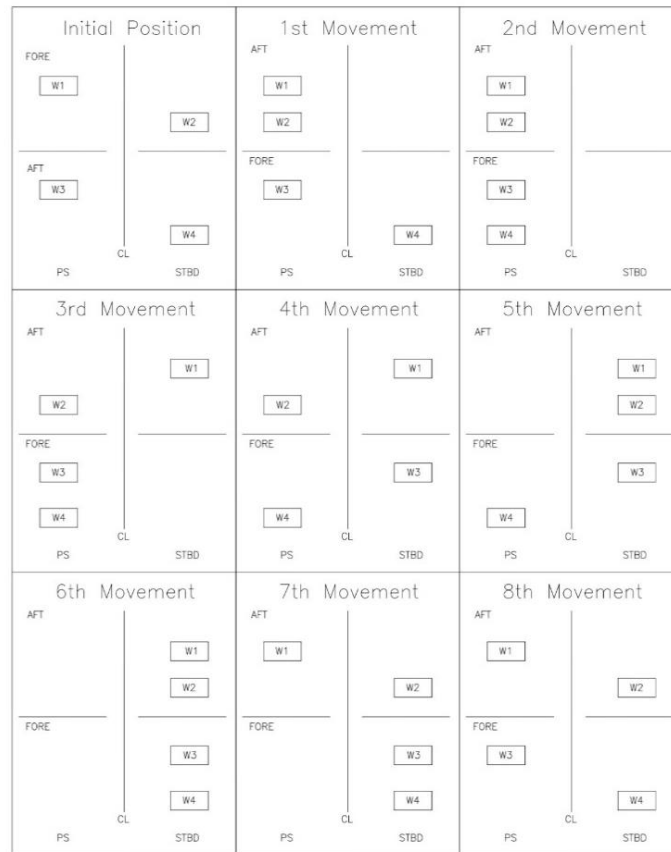
Gambar 3. Konfigurasi posisi beban



Gambar 4. Inclining Weight Initial Position

2.5.2. Inclining Test

Dilakukan delapan langkah pergeseran beban melintang sesuai pola. Pada setiap langkah, defleksi kedua pendulum dicatat. Tidak ada pergerakan personel selama pembacaan. Dari pembacaan tersebut diperoleh nilai $\tan \theta$ yang menunjukkan besar kemiringan kapal pada tiap langkah pengujian.



Gambar 5. Perpindahan beban *inclining*

2.6 Analisa Data

Data hasil pengujian lapangan dianalisis untuk mendapatkan Tinggi Metasenter awal (GM) aktual kapal. Hubungan antara momen kemiringan yang ditimbulkan oleh perpindahan beban dengan sudut kemiringan dievaluasi secara terukur. Momen kemiringan (*heeling moment*) dihitung dengan rumus:

$$HM = w \times d \quad \dots\dots\dots(1)$$

Nilai GM aktual kapal pada saat pengujian kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$GM = \frac{w \times d}{\Delta \times \tan \theta} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

HM : *Heeling Moment*

GM : Tinggi metacenter (m)

w : Berat beban yang digeser (ton)

d : Jarak pergeseran (m)

Δ : *Displacement* (ton)

$\tan \theta$: Sudut kemiringan

Setelah nilai titik berat vertikal aktual diketahui, perangkat lunak Maxsurf digunakan untuk tiga tahap utama : memodelkan bentuk lambung kapal secara 3D berdasarkan gambar *Lines Plan*, menginput data karakteristik *lightship* aktual hasil *inclining test*, dan menyimulasikan profil stabilitas utuh (*intact stability*) dalam berbagai variasi kondisi pembebanan penumpang.

Output dari simulasi perangkat lunak ini berupa parameter teknis stabilitas, yaitu nilai GM awal, luasan area di bawah kurva stabilitas statis (Kurva GZ), nilai lengan penegak (GZ) maksimum, dan sudut kemiringan saat GZ maksimum terjadi. Output ini yang kemudian dibandingkan dan dievaluasi secara langsung terhadap kriteria minimum keselamatan dari IMO HSC Code 2000.

2.7 Pemodelan dan Simulasi Stabilitas Kapal

	Item Name	Quantity	Unit Mass kg/m	Total Mass kg/m	Unit Volume m³/m	Total Volume m³/m	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FEM kg/mm	FEM Type
1	Lightship	1	42,103	42,103			11,068	0,000	1,804	0,000	User Specified
2	FD1 1	0%	4,680	0,000	5,572	0,000	11,444	0,000	0,000	0,000	Maximum
3	FD2 1	0%	5,375	0,000	6,398	0,000	14,508	0,000	0,000	0,000	Maximum
4	FD1 2	0%	2,132	0,000	2,132	0,000	21,618	0,000	0,000	0,000	Maximum
5	Swy Tank	0%	2,408	0,000	4,408	0,000	1,348	0,000	0,988	0,000	Maximum
6	Total Loadcase			42,103	14,509	0,000	11,068	0,000	1,804	0,000	
7	F5 correction								0,000		

Gambar 9. Pembebanan Lightship

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	42.103	42.103			11.068	0.000	1.804	0.000	User Specified
2	FOI 1	10%	4.680	0.468	5.572	0.557	11.518	0.000	0.110	1.460	Maximum
3	FOI 2	10%	5.375	0.537	6.368	0.640	15.773	0.000	0.135	1.960	Maximum
4	FWT	10%	2.132	0.213	2.132	0.213	22.337	0.000	0.276	0.779	Maximum
5	Swag Tank	98%	0.406	0.398	0.406	0.398	1.346	0.000	1.380	0.000	Maximum
6	Passenger A + Baggage	66	0.090	5.940			0.000	0.000	0.000	0.000	User Specified
7	Passenger B + Baggage	104	0.090	9.360			0.000	0.000	0.000	0.000	User Specified
8	Total Loadcase			58.020	14.569	1.808	8.220	0.000	1.299	4.197	
9	FS correction								0.071		
10	VCG fluid								1.370		

Gambar 10. Pembebanan Arrival

2.8 Kriteria IMO HSC Code 2000

Hasil perhitungan stabilitas dievaluasi terhadap persyaratan minimum *High-Speed Craft (HSC) Code 2000* yang diadopsi oleh IMO melalui resolusi MSC.97(73). Mengingat MV Kepri Coral Jaya beroperasi sebagai kapal penumpang cepat, kriteria yang digunakan mencakup stabilitas utuh (*intact stability*) untuk kapak lambung tunggal (*Monohull*) pada Annex 8. Kriteria yang digunakan sebagai acuan evaluasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Stabilitas Minimum IMO HSC Code 2000

No.	Kriteria	Kriteria	Referensi
1	Luas area di bawah kurva GZ pada 0° hingga 30°	$\geq 0,055 \text{ m.rad}$	HSC Code 2000 Annex 8, 1.2
2	Luas area di bawah kurva GZ antara 30° hingga 40°	$\geq 0,030 \text{ m.rad}$	HSC Code 2000 Annex 8, 1.3
3	Nilai GZ maksimum pada sudut $\geq 30^\circ$	$\geq 0,200 \text{ m}$	HSC Code 2000 Annex 8, 1.4
4	Sudut kemiringan saat GZ maksimum	$\geq 15^\circ$	HSC Code 2000 Annex 8, 1.5
5	Tinggi metasenter awal (GM_0)	$\geq 0,150 \text{ m}$	HSC Code 2000 Annex 8, 1.6
6	Sudut kemiringan akibat penumpukan penumpang di satu sisi (<i>passenger crowding</i>)	$\leq 10^\circ$	HSC 2000 Ch 2 Part B, 2.11
7	Sudut kemiringan terluar akibat kapal berbelok (<i>high-speed turning</i>)	$\leq 8^\circ$	HSC 2000 Ch 2 Part B, 2.12.2
8	Gabungan kemiringan akibat penumpukan penumpang dan tekanan angin ($H_{pc} + H_w$)	$\leq 10^\circ$	HSC 2000 Ch 2 Part B, 2.12.2
9	Gabungan kemiringan akibat kapal berbelok dan tekanan angin ($H_t + H_w$)	$\leq 12^\circ$	HSC 2000 Ch 2 Part B, 2.12.2

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Validasi Karakteristik Kapal (Hasil Inclining Test)

Validasi karakteristik kapal MV Kepri Coral Jaya dilakukan dengan mengolah data primer dari hasil pelaksanaan uji kemiringan (*inclining test*). Pengolahan data ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Tinggi Metasenter (GM) aktual dan titik berat kapal (*Center of Gravity* / KG) yang sebenarnya sebagai data *baseline* (dasar) untuk simulasi stabilitas.

Berdasarkan pengujian di lapangan, dilakukan 8 (delapan) langkah pergeseran beban uji secara melintang. Hasil pembacaan defleksi atau simpangan dari kedua pendulum (*After U-Tube* dan *Forward U-Tube*) pada setiap langkah pergeseran beban diakumulasikan ke dalam bentuk momen kemiringan (*heeling moment*)

sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Pergeseran Beban dan Pembacaan Simpangan Pendulum

Shift	Port	Starboard	Weight (ton)	Distance (m)	Moment (ton.m)	Heeling Moment	After U-Tube (mm)	Forward U-Tube (mm)
0	W1W3	W2W4	0,00	0,00	0,00	0,000	0	0
1	W1W2W3	W4	0,60	-2,60	-1,56	-1,560	-116	-108
2	W1W2W3W4	-	0,60	-2,60	-1,56	-3,120	-240	-218
3	W1W3W4	W2	0,60	2,60	1,56	-1,560	-114	-112
4	W1W3	W2W4	0,60	2,60	1,56	0,000	12	11
5	W3	W1W2W4	0,60	2,60	1,56	1,560	124	117
6	-	W1W2W3W4	0,60	2,60	1,56	3,120	262	256
7	W1	W2W3W4	0,60	-2,60	-1,56	1,560	130	122
8	W1W3	W2W4	0,60	-2,60	-1,56	0,000	0	0

Berdasarkan Tabel 4, dapat diamati bahwa pembacaan defleksi maksimum terjadi pada *Shift* 6, di mana pergeseran beban secara akumulatif ke sisi lambung kanan menghasilkan momen guling sebesar 3,120 ton.m. Hal ini menghasilkan simpangan pendulum belakang sebesar 262 mm dan pendulum depan sebesar 256 mm. Dari rentang simpangan inilah nilai rata-rata kemiringan ($\tan \theta$) dihitung secara matematis pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Nilai $\tan \theta$

Shift	Port	Starboard	W (ton)	Distance (m)	Momen (ton.m)	Tan θ Mean
0	W1W3	W2W4	0,00	0,00	0,00	0,000
1	W1W2W3	W4	0,60	-2,60	-1,56	-0,020
2	W1W2W3W4	-	0,60	-2,60	-1,56	-0,040
3	W1W3W4	W2	0,60	2,60	1,56	-0,020
4	W1W3	W2W4	0,60	2,60	1,56	0,002
5	W3	W1W2W4	0,60	2,60	1,56	0,021
6	-	W1W2W3W4	0,60	2,60	1,56	0,045
7	W1	W2W3W4	0,60	-2,60	-1,56	0,022
8	W1W3	W2W4	0,60	-2,60	-1,56	0,000

Rentang nilai momen kemiringan dan tangen sudut ($\tan \theta$) pada Tabel 5 menghasilkan variasi angka positif, nol, dan negatif. Notasi matematis tersebut merupakan konvensi yang merepresentasikan arah pergeseran beban dan respons kemiringan lambung kapal terhadap garis tengah (*centerline*):

- Tanda Negatif (-) Mengindikasikan bahwa susunan beban uji sedang digeser ke sisi lambung kiri (Port Side). Semakin besar nilai negatif yang dihasilkan (misalnya pada Shift 2 sebesar -0,040), maka sarat air (draft) kapal di lambung sebelah kiri akan semakin dalam mendekati air.
- Tanda Positif (+) Mengindikasikan bahwa susunan beban uji digeser ke sisi lambung kanan (Starboard Side).
- Nilai Nol (0,000) Menandakan beban seimbang di posisi awal dan kapal berada dalam kondisi tegak lurus (upright).

Hubungan antara momen kemiringan yang dihasilkan pada setiap langkah (sumbu Y) dengan defleksi pendulum yang terbaca (sumbu X) membentuk sebuah garis regresi linear. Dari gradien atau kemiringan garis regresi ini, dan menggunakan persamaan (2), nilai GM kapal pada saat pengujian (kondisi as inclined) dengan displacement (Δ) sebesar 46,89 ton didapatkan rata-rata GM sebesar 1,569 m. Selanjutnya, berdasarkan perhitungan koreksi titik berat vertikal, diperoleh nilai KG pada kondisi uji sebesar 2,100 m.

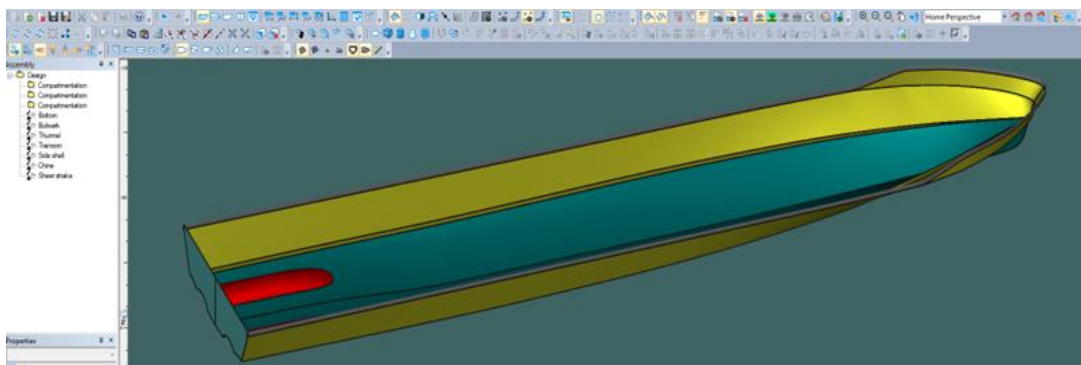
Setelah dilakukan pengurangan bobot terhadap item yang tidak permanen (*item to be removed*) seperti beban uji, personel, dan penyesuaian perhitungan efek permukaan bebas (*free surface effect*), diperoleh karakteristik spesifikasi kondisi kapal kosong (*Lightship*) aktual MV Kepri Coral Jaya sebagai berikut:

- **Lightship Displacement:** 42,10 ton
- **VCG / KG Aktual:** 1,804 m
- **LCG Aktual:** 11,068 m (dari AP)

Nilai *lightship displacement* aktual (42,10 ton) ini menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan estimasi data desain awal kapal, sehingga data ini divalidasi dan layak digunakan sebagai acuan dasar (*baseline*) pemodelan pada perangkat lunak Maxsurf.

3.2 Pemodelan Kapal pada Perangkat Lunak Maxsurf

Model MV Kepri Coral Jaya dibangun menggunakan modul perangkat lunak *Maxsurf Modeler* berdasarkan gambar *Lines Plan* dan *General Arrangement*. Setelah pemodelan selesai, dilakukan verifikasi geometri dengan membandingkan dimensi utama model 3D terhadap data desain kapal untuk memastikan tidak terdapat kesalahan pemodelan sebelum tahapan simulasi stabilitas dilakukan.



Gambar 11 Pemodelan 3D lambung MV Kepri Coral Jaya menggunakan Maxsurf

Validasi paling krusial dalam penelitian ini tidak terletak pada penyesuaian parameter model (*calibration*), melainkan pada penggunaan data aktual hasil *inclining test* (seperti nilai displasemen dan titik berat kapal sesungguhnya) yang dimasukkan ke dalam model geometri yang telah diverifikasi tersebut. Model yang telah diverifikasi ini kemudian diekspor ke dalam modul *Maxsurf Stability* untuk simulasi pembebanan.

3.3 Skenario Kondisi Pembebanan Kapal (Load Cases)

Skenario pembebanan (*load cases*) disusun untuk mensimulasikan kondisi operasional kapal di lapangan. Penentuan berat dari setiap *loadcase* menggunakan *baseline* data *Lightship* aktual dari perhitungan uji kemiringan. Pada penelitian ini, dianalisis 3 (tiga) kondisi skenario pemuatan standar, yaitu:

1. **Kondisi 1 (Departure):** Kapal dalam kondisi muatan penumpang penuh 100% (170 orang), tangki bahan bakar (FO) dan air tawar (FW) terisi penuh 100%. Kondisi ini mensimulasikan saat kapal baru saja berangkat dari pelabuhan asal dengan bobot mati maksimum. *Displacement* tercatat sebesar 69,631 ton.
2. **Kondisi 2 (Arrival):** Kapal dalam kondisi muatan penumpang penuh 100% (170 orang), namun persediaan konsumsi seperti bahan bakar (FO) dan air tawar (FW) tersisa 10%. Tangki *sewage* terisi 98%. Kondisi ini mensimulasikan saat kapal hendak tiba di pelabuhan tujuan, di mana titik berat kapal biasanya naik akibat berkurangnya cairan di tangki bawah lambung. *Displacement* tercatat sebesar 59,020 ton.
3. **Kondisi 3 (Lightship):** Kondisi dasar kapal tanpa adanya muatan penumpang maupun bahan bakar dan persediaan air. Semua tangki cair berada pada kapasitas 0%. *Displacement* tercatat sebesar 42,103 ton.

Berat total (*displacement*) dan nilai KG untuk masing-masing kondisi di atas telah dihitung secara komputasi melalui *software* berdasarkan distribusi beban dari *Lightship* aktual.

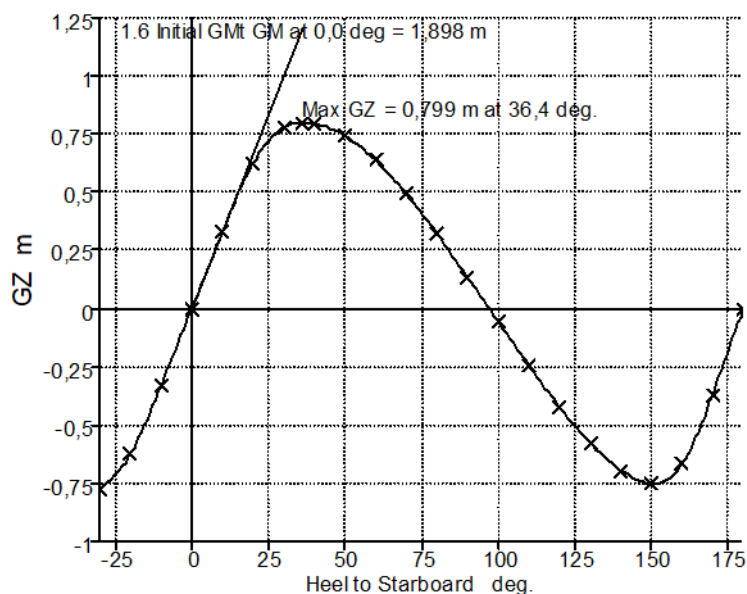
3.4 Hasil Analisis Profil Stabilitas (Kurva GZ)

Berdasarkan *load cases* yang telah ditetapkan, analisis stabilitas statis dilakukan untuk mendapatkan kurva lengan penegak (*Righting Arm / GZ Curve*). Kurva ini merepresentasikan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan akibat gaya luar. Masing-masing kondisi pembebanan menghasilkan karakteristik kurva stabilitas yang berbeda akibat pergeseran letak titik berat vertikal (VCG/KG).

Secara umum, grafik hasil simulasi stabilitas dari perangkat lunak Maxsurf memuat beberapa indikator teknis utama yang merepresentasikan perilaku fisika kapal secara nyata saat mengalami olengan, yaitu:

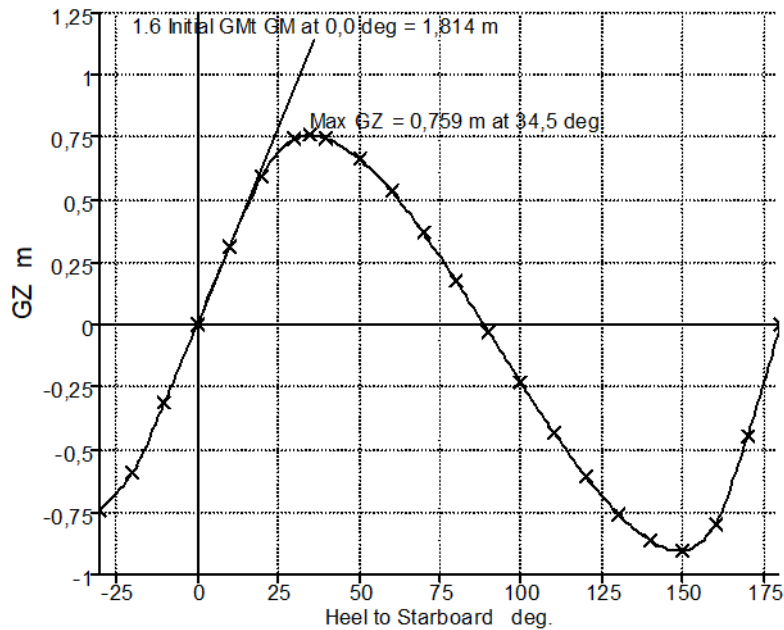
- **Garis Tangen Awal (*Initial GMt*)** : Garis lurus yang bersinggungan dengan kurva pada sudut awal kemiringan (sekitar 0° hingga 10°) menunjukkan nilai tinggi metasenter awal kapal. Garis yang curam mengindikasikan kekakuan kapal (*stiffness*) yang tinggi, yang berarti lambung kapal memiliki daya reaktif yang cepat untuk segera menahan dan menghentak kembali saat terkena olengan-olengan kecil.
- **Fase Kenaikan dan Puncak Kurva (*Max GZ*)** : Lengkungan utama pada grafik merepresentasikan panjang lengan penegak (*Righting Arm / GZ*). Saat kapal mulai miring, letak titik apung (*Center of Buoyancy / B*) akan bergeser mengikuti bentuk lambung yang tercelup air. Pergeseran ini memperpanjang jarak GZ, sehingga momen penegak kapal semakin membesar. Titik puncak kurva (*Max GZ*) adalah batas daya maksimum kapal dalam mengerahkan tenaga untuk menegakkan dirinya sendiri. Secara teknis, titik kritis ini biasanya terjadi tepat pada saat batas sisi geladak kapal mulai tercelup air laut (*deck edge immersion*).
- **Fase Penurunan dan Batas Stabilitas (*Angle of Vanishing Stability*)**: Setelah melewati sudut puncak maksimum, kurva akan berangsur menurun. Hal ini terjadi karena geladak kapal semakin tenggelam sehingga lambung kehilangan daya apung tambahannya. Apabila kurva terus menurun hingga menyentuh dan memotong sumbu nol derajat, titik tersebut dikenal sebagai batas stabilitas positif (*Angle of Vanishing Stability*). Jika kemiringan kapal melampaui sudut ini, lengan penegaknya (*GZ*) habis dan kapal akan terbalik (*capsize*).
- **Lembah Negatif dan Sudut 180°** : Area kurva yang berada di bawah sumbu nol (bernilai negatif) menunjukkan bahwa gaya apung tidak lagi mengembalikan kapal ke posisi tegak, melainkan berbalik fungsi menjadi momen guling (*capsizing lever*). Kurva akan kembali bernilai nol pada sudut 180° , yang menandakan bahwa kapal telah berada dalam posisi terbalik secara sempurna (lunas berada di atas) dan menemukan keseimbangan barunya.

Kondisi 1 (*Departure*): Pada kondisi keberangkatan dengan muatan penuh, terlihat bahwa kapal memiliki lengan stabilitas yang sangat baik dengan nilai *GZ* maksimum mencapai 0,799 meter pada sudut $36,4^\circ$. Tingginya nilai *GZ* pada kondisi ini disebabkan oleh tangki bahan bakar (FO) dan air tawar (FW) di lambung bagian bawah (*double bottom*) yang terisi penuh 100%. Massa cairan di bagian bawah kapal ini berfungsi layaknya balast yang menarik titik berat kapal (KG) turun ke angka 1,187 m, sehingga mampu mengimbangi berat 170 penumpang yang berada di geladak atas.



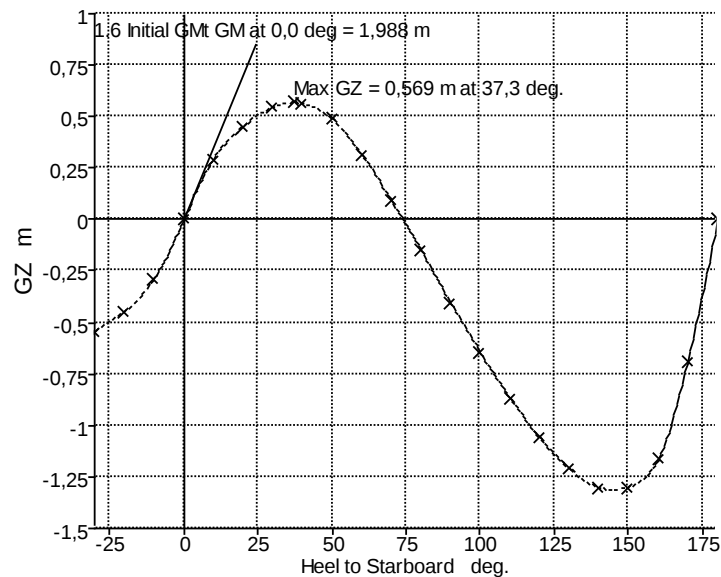
Gambar 12 Kurva Stabilitas GZ - Kondisi 1 (*Departure*)

Kondisi 2 (*Arrival*): Kondisi kedatangan menunjukkan profil kurva GZ yang sedikit menurun dibandingkan kondisi *Departure*. Nilai GZ maksimum tercatat sebesar 0,759 meter pada sudut 34,5°. Penurunan performa stabilitas ini secara teknis disebabkan oleh berkurangnya volume bahan bakar dan air tawar di asumsikan tersisa 10%. Hilangnya beban cairan di dasar lambung menyebabkan hilangnya efek pemberat, sehingga titik berat vertikal kapal (KG) secara komputasi bergeser naik menjadi 1,370 m. Dengan beban penumpang yang tetap penuh di geladak atas, kapal menjadi lebih *top-heavy* (berat di atas), yang secara langsung memendekkan lengan penegak (GZ) dan menurunkan nilai *Initial GM* menjadi 1,814 m. Kondisi ini merupakan skenario pemuatan yang paling kritis dalam pelayaran normal.



Gambar 13 Kurva Stabilitas GZ - Kondisi 2 (*Arrival*)

Kondisi 3 (*Lightship*): Pada kondisi kapal kosong (tanpa muatan, tanpa penumpang, dan tanpa cairan), kurva menunjukkan nilai stabilitas awal (*Initial GM*) yang paling besar, yaitu 1,988 meter, dengan nilai GZ maksimum 0,569 meter pada sudut 37,3°. Besarnya nilai GM pada kondisi ini terjadi karena hilangnya momen guling di atas geladak akibat tidak adanya beban penumpang. Tanpa adanya muatan *top-heavy*, kapal menjadi sangat kaku (*stiff*) dan memiliki daya respons yang sangat cepat terhadap kemiringan awal.



Gambar 14 Kurva Stabilitas GZ - Kondisi 3 (*Lightship*)

3.5 Evaluasi Terhadap Kriteria Keselamatan HSC Code 2000

Tahap akhir dari analisis adalah mengevaluasi nilai output dari kurva GZ dan perhitungan momen kemiringan tambahan terhadap standar keselamatan operasional minimum yang ditetapkan dalam regulasi *High-Speed Craft (HSC) Code 2000*. Kriteria ini lebih ketat dari standar kapal penumpang biasa karena mensyaratkan kapal mampu bertahan dari momen kemiringan akibat penumpukan penumpang di satu sisi kapal serta gaya sentrifugal saat berbelok tajam pada kecepatan tinggi (diasumsikan 26 knot). Evaluasi parameter stabilitas MV Kepri Coral Jaya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Evaluasi Kriteria Stabilitas HSC Code 2000

No	Kriteria	IMO	Units	Kondisi			Status
				Departure	Arrival	Lightship	
Annex 8 – Intact Monohull							
1	Area 0 to 30	≥ 0,055	m.rad	0,2376	0,2265	0.1806	Pass
2	Area 30 to 40	≥ 0,030	m.rad	0,1301	0,1285	0.0981	Pass
3	GZ pada 30 atau lebih	≥ 0,200	m	0.799	0,759	0.569	Pass
4	Sudut GZ Maksimum	≥ 15	deg	36.4	34,5	37.3	Pass
5	Nilai Awal GMt	≥ 0,150	m	1.898	1,814	1.988	Pass
Ch. 2 Part B - Passenger Craft							
1	Sudut heeling akibat Passenger Crowding	≤ 10°	deg	4,1	5,0	0	Pass
2	Sudut heeling saat High-speed turning	≤ 8°	deg	2,3	3,3	4,9	Pass
3	Gabungan heeling Crowding + Wind	≤ 10°	deg	6,2	8,0	4,2	Pass
4	Gabungan heeling Turning + Wind	≤ 12°	deg	4,5	6,3	9,9	Pass

Berdasarkan evaluasi komprehensif pada Tabel 5, seluruh parameter stabilitas statis maupun dinamis MV Kepri Coral Jaya dalam ketiga skenario pembebanan dinyatakan memenuhi (*pass*) standar operasional ketat yang ditetapkan oleh HSC Code 2000. Penggunaan data titik berat (KG) faktual dari hasil *inclining test* memberikan kepastian bahwa kapal ini aman dari risiko terbalik (*capsizing*).

Sebagaimana dibahas pada sub-bab sebelumnya, kondisi 2 (*Arrival*) merupakan skenario pemuatan yang kritis akibat fenomena *top-heavy* saat tangki bahan bakar kosong. Pada kondisi ini, saat disimulasikan kapal mengalami penumpukan penumpang beserta tekanan angin (*Crowding + Wind*), sudut kemiringan gabungannya mencapai $8,0^\circ$. Sedangkan saat bermanuver berbelok beserta tekanan angin (*Turning + Wind*), sudut kemiringannya mencapai $6,3^\circ$. Walaupun simulasi penumpukan penumpang pada kondisi ini menghasilkan sudut kemiringan tertinggi dibandingkan skenario lainnya, seluruh nilai tersebut masih tertahan dengan aman di bawah ambang batas maksimum 10° dan 12° yang diizinkan oleh standar IMO. Hal ini mengonfirmasi kelayakan stabilitas operasional MV Kepri Coral Jaya sebagai kapal penumpang cepat antar pulau.

3.6 Komparasi Data Stabilitas (Desain Teoritis vs. Aktual) dan Analisis Deviasi (Gap)

Tujuan utama dilakukannya *inclining test* bukan sekadar untuk mengetahui berat kosong kapal, melainkan untuk melihat bagaimana pergeseran karakteristik tersebut memengaruhi profil stabilitas kapal secara keseluruhan saat beroperasi. Untuk mengevaluasi hal ini, dilakukan komparasi parameter stabilitas utuh (*intact stability*) antara data desain awal (*Preliminary Intact Stability Booklet*) dengan data aktual hasil simulasi Maxsurf.

Tabel berikut menyajikan perbandingan data stabilitas pada kondisi *departure* (Penumpang 100%, tangki terisi penuh) :

Tabel 7. Komparasi Parameter Stabilitas Kondisi Departure (Teoritis vs Aktual)

Parameter Stabilitas (Kriteria IMO)	Desain Teoritis (Preliminary)	Kondisi Aktual (Inclining Test)	Deviasi (Gap)
Displacement Total	72,199 ton	69,631 ton	- 2,568 ton
Titik Berat Vertikal (VCG / KG)	1,630 m	1,187 m	- 0,443 m
Tinggi Metasenter Awal (Initial GMT)	1,504 m	1,898 m	+ 0,394 m
Lengan Penegak Maksimum (Max GZ)	0,532 m pada 31,8°	0,799 m pada 36,4°	+ 0,267 m
Luas Area Kurva GZ (0° hingga 30°)	0,1747 m.rad	0,2376 m.rad	+ 0,0629 m.rad
Sudut Olang Penumpukan Penumpang	4,8°	4,1°	- 0,7°

Berdasarkan tabel 7, terlihat bahwa performa stabilitas kapal secara keseluruhan mengalami peningkatan yang sangat signifikan dibandingkan dengan kalkulasi desain awalnya. Terdapat *gap* yang besar pada angka tinggi metasenter (GMT) dan lengan penegak (GZ). Secara teknis, pergeseran nilai ini diakibatkan oleh beberapa faktor berikut :

1. Penurunan Displacement Total (- 2,568 ton)

Berat total kapal pada kondisi keberangkatan (aktual) lebih ringan dibandingkan desain teoritisnya, yaitu turun dari 72,199 ton menjadi 69,631 ton. Hal ini berakar dari *Lightship* kapal aktual yang memang lebih ringan 5 ton. Berkurangnya beban mati ini membuat sarat air (*draft*) kapal menjadi lebih rendah, yang secara langsung mengubah geometri lambung yang tercelup air dan menggeser letak titik apung (*Center of Buoyancy* / KB).

2. Pergeseran Titik Berat Vertikal Kondisi Muat (Total VCG Turun)

Ini adalah faktor paling dominan yang menyebabkan *gap* stabilitas. Pada dokumen desain, titik berat vertikal total kapal berada di ketinggian 1,630 m. Namun, pada kondisi aktual setelah pembebanan, titik berat total tertarik jauh ke bawah menjadi 1,187 m. Penurunan ini disebabkan oleh kombinasi bobot lambung kapal yang lebih ringan serta konfigurasi distribusi beban. Semakin rendah titik berat kapal (KG), maka jarak ke titik metasenter (KM) akan semakin jauh, yang menguntungkan stabilitas kapal.

3. Lonjakan Kekakuan Kapal (Initial GMt Naik)

Sebagai akibat matematis dari penurunan nilai KG total di atas, nilai Initial GMt melonjak tajam dari 1,504 m menjadi 1,898 m. Peningkatan kekakuan awal (*stiffness*) ini membuat kapal aktual lebih sulit untuk diolengkan oleh gaya luar. Hal ini terbukti dari sudut oleng saat terjadi penumpukan penumpang (*passenger crowding*), di mana kapal aktual hanya miring sebesar 4,1°, lebih kecil dan lebih aman dibandingkan estimasi desain awal yang mencapai 4,8°.

4. Peningkatan Kemampuan Restorasi (GZ Max dan Area Kurva Naik)

Dengan GMt yang lebih besar dan titik berat yang lebih rendah, lengan penegak kapal (GZ) menjadi jauh lebih panjang saat kapal miring. Nilai Max GZ naik drastis dari 0,532 m menjadi 0,799 m, dan terjadi pada sudut kemiringan yang lebih besar (36,4° vs 31,8°). Kapasitas energi dinamis kapal untuk menahan kemiringan (luas area di bawah kurva GZ) juga meningkat secara eksponensial.

Analisis *gap* ini menunjukkan bahwa MV Kepri Coral Jaya *as-built* memiliki profil stabilitas yang jauh lebih kaku dan reaktif (*stiff*) dibandingkan asumsi *as-designed*. Data ini sangat krusial, karena jika perhitungan operasional tetap menggunakan data *preliminary* (GMt 1,504 m), maka nakhoda akan mengambil keputusan manuver berdasarkan estimasi stabilitas yang tidak akurat, padahal karakter kapal aktualnya (GMt 1,898 m) memiliki respons olengan yang lebih cepat dan sentakan kembali yang lebih keras (periode oleng yang lebih pendek). Hal ini kembali menegaskan bahwa validasi stabilitas melalui *inclining test* adalah mutlak diperlukan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas kapal ferry penumpang MV Kepri Coral Jaya menggunakan data aktual pengujian di PT Palindo Marine Shipyard, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Validasi karakteristik kapal berdasarkan pengolahan data *inclining test* menghasilkan nilai *Lightship Displacement* aktual sebesar 42,10 ton, LCG 11,068 m, dan titik berat vertikal (KG) 1,804 m. Verifikasi geometri pada model 3D menunjukkan kesesuaian dimensi utama dengan data desain aktual, sehingga model dinyatakan valid dan layak digunakan untuk komputasi stabilitas.

Evaluasi kriteria keselamatan menunjukkan bahwa pada seluruh skenario pembebanan operasi (*Departure Full Passenger, Arrival, dan Lightship*), kapal MV Kepri Coral Jaya terbukti 100% memenuhi (*pass*) kriteria minimum yang disyaratkan oleh regulasi internasional IMO High-Speed Craft (HSC) Code 2000.

Kondisi stabilitas paling kritis terjadi pada saat kedatangan (*Arrival*) dengan nilai GM awal terkecil yaitu 1,814 m. Namun, kapal terbukti tetap memiliki stabilitas penegak yang sangat memadai dan aman untuk dioperasikan sebagai transportasi penumpang berkecepatan tinggi di perairan kepulauan Indonesia.

5 Daftar Pustaka

- [1] M. F. Rizaldo, D. Chrismianto, P. Manik, and J. Soedarto, "Analisis Intact Stability dan Damage Stability pada Kapal Ro-Ro Ukuran Besar di Perairan Indonesia Berdasarkan IS CODE 2008," *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 16, no. 1, pp. 31-41, 2019.
- [2] H. Saputra, N. Yuniarsih, and D. Rianto, "Analisa pengaruh Beban Terhadap Stabilitas Statis Kapal Patroli 28 Meter Untuk Pengawasan Perairan di Kepulauan Riau," *J. INTEGRASI*, vol. 9, no. 2, p. 149, Oct. 2017, doi: 10.30871/ji.v9i2.519.
- [3] K. J. Rawson and E. C. Tupper, Eds., *Basic ship theory*, 5th ed. [combined volume]. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [4] A. Andilala and W. Amiruddin, "Analisa Beban Muatan Maksimum Yang Diperbolehkan Untuk Keselamatan Penumpang Pada Kapal Kharisma Jaya," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [5] S. Han and R. Latorre, "Decoding RoPax Ship Capsizes and Development of an ISO Ship Safety Standard," *Engineering*, vol. 16, no. 09, pp. 225–236, 2024, doi: 10.4236/eng.2024.169017.
- [6] Bayu Al Fahmi Liddin and Erifive Pranatal, "Analisis Stability Berdasarkan IMO Pada Kapal Crew Boat 40M," *JURNAL Ris. RUMPUN ILMU Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–51, Aug. 2023, doi: 10.55606/jurritek.v2i2.1696.
- [7] "MSC.97(73). Adoption of the International Code of Safety for High-Speed Craft, 2000."
- [8] Biro Klasifikasi Indonesia, *BKI Rules for Classification and Construction, Vol. II (Rules for Hull)*, Jakarta: BKI, 2022.
- [9] Biro Klasifikasi Indonesia, *Petunjuk Pengujian Kemiringan dan Periode Oleng Kapal*, Vol. C, Jakarta: BKI, 2003
- [10] M. Taylan, "Reliability analysis of GM and KG of ships from the inclining experiment," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 234, no. 4, pp. 803–809, Nov. 2020, doi: 10.1177/1475090220913709.
- [11] M. D. Woodward, M. V. Rijsbergen, K. W. Hutchinson, and A. Scott, "Uncertainty analysis procedure for the ship inclining experiment," *Ocean Eng.*, vol. 114, pp. 79–86, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.01.017.
- [12] M. R. Darmawan and P. Manik, "Pengaruh Modifikasi Kapal LCT (Landing Craft Tank) Menjadi Kapal Ferry Terhadap Performa Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.