



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Stabilitas Kapal *General Cargo* 10000 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya - Donsak

Rohmat Bagus Sucipto¹⁾, Samuel¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾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 :rohmatbagus20@gmail.com

Abstrak

Kapal kargo adalah jenis kapal yang digunakan untuk mengangkut barang. Sebagai bagian dari kategori kapal barang, kapal kargo harus memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kapal laut secara umum. Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami kemiringan akibat pengaruh gaya eksternal, gaya internal, atau momen sementara. Proses analisis stabilitas dalam penelitian ini didasarkan pada standar IMO (International Maritime Organization) Code A.749(18) Bab 3, yang berisi kriteria desain yang berlaku untuk semua jenis kapal. Penelitian ini menganalisis performa stabilitas kapal general cargo 10.000 DWT pada rute pelayaran Surabaya–Donsak menggunakan standar IMO Code A.749(18) Bab 3. Analisis dilakukan pada lima kondisi muatan, melibatkan parameter tetap seperti dimensi utama kapal dan desain lambung, serta parameter variabel berupa variasi muatan dan tangki. Model 3D kapal dibuat menggunakan software Maxsurf Modeller, sedangkan analisis stabilitas menggunakan Maxsurf Stability. Hasil menunjukkan bahwa kapal memiliki stabilitas yang baik dengan nilai kurva GZ positif pada sebagian besar sudut oleng. Evaluasi terhadap kriteria stabilitas IMO menunjukkan bahwa kapal memenuhi semua persyaratan di setiap kondisi. Penelitian ini memberikan wawasan tentang stabilitas kapal general cargo dalam berbagai kondisi muatan, mendukung pengembangan armada laut yang aman dan efisien.

Kata Kunci : Kapal, general cargo, stabilitas, 10000 DWT, Maxsurf

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara maritim, Indonesia memerlukan pengembangan armada laut untuk mendukung eksplorasi kelautan serta meningkatkan aktivitas ekonomi di wilayah perairan. Dukungan pemerintah dalam memprioritaskan pembangunan sektor kelautan sangat penting agar mampu bersaing secara global, baik di bidang pertahanan maupun perdagangan. Berdasarkan proyeksi Asosiasi Perusahaan Pelayaran Indonesia (INSA), Indonesia membutuhkan sekitar 4.000 kapal baru pada periode 2012–2017. Penambahan ini bertujuan untuk menyediakan layanan baru, meningkatkan kapasitas, menggantikan kapal lama, serta memperlancar distribusi barang di dalam maupun luar negeri dengan kapal dan teknologi yang lebih modern.

Berdasarkan asumsi, jumlah kapal pada tahun 2005 mencapai 6.041 unit dan meningkat sebesar 3.904 unit (65,4%) menjadi 9.945 unit pada tahun 2010. Oleh karena itu, dibutuhkan sekitar 780 kapal per tahun atau total 4.000 kapal selama periode 2012–2017, dengan asumsi pertumbuhan ekonomi stabil di angka 6,5% per tahun dan peningkatan volume kargo sebesar 10–15% per tahun[1].

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[2].

Kapal kargo, atau kapal barang, adalah kapal yang digunakan untuk mengangkut barang dan muatan antar pelabuhan. Kargo yang diangkut termasuk kargo umum, yang dapat berupa berbagai jenis barang. Pengemasan barang pun bervariasi, tergantung pada jenis barang yang diangkut serta kebijakan masing-masing pihak, ada yang menggunakan peti kargo dan ada yang tidak. Kapal kargo umumnya dilengkapi dengan fasilitas untuk mempermudah bongkar muat, seperti crane. Namun, fasilitas ini tidak selalu tersedia pada setiap kapal kargo, karena tergantung pada kebijakan pemilik kapal[3].

Di tengah pencapaian positif sektor kelautan dalam produksi dan ekspor, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dalam Media Rilis Akhir Tahun Capaian Kinerja KNKT 2021 mengungkapkan bahwa pada tahun 2021, moda pelayaran menyumbang angka kecelakaan transportasi terbanyak yang diselidiki oleh KNKT. Keselamatan kapal menjadi fokus utama sepanjang tahun tersebut, dengan total korban meninggal akibat kecelakaan yang tercatat 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 dihindari, 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[4].

Parametric rolling adalah salah satu ancaman bagi kapal laut, dipicu oleh perubahan momen pemulihan yang disebabkan oleh gelombang dan dari sudut pandang teori sistem dinamis, sesuai dengan resonansi parametrik. Pada akhir tahun 1990-an, beberapa kecelakaan dilaporkan terjadi pada kapal kontainer karena penggulungan parametrik, dan sejak tahun 2000-an, ada juga laporan tentang kejadian tersebut di PCTC.

Sejumlah penelitian teoritis telah dilakukan untuk memperkirakan kondisi terjadinya parametric rolling di laut regular dan irregular. Beberapa penelitian pada kondisi gelombang acak merupakan perluasan perkiraan dari kondisi terjadinya gelombang regular. Lebih jauh, beberapa penelitian memanfaatkan proses stokastik dalam rekayasa kelautan[5].

Kajian stabilitas sangat diperlukan dalam kapal General Cargo dalam proses bongkar atau muat barang. Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi awal setelah mengalami gangguan atau kemiringan ketika diapungkan, tanpa miring ke kanan atau kiri, termasuk saat berlayar. Pengaruh eksternal, seperti angin, ombak, atau aktivitas bongkar muat, dapat menyebabkan kapal miring, namun kapal yang stabil akan mampu kembali tegak. Beban yang besar dari barang akan stabil apabila penataan General Cargo tersebut seimbang[6]. Tata letak geladak secara langsung memengaruhi stabilitas dan manuver kapal, karena perubahan titik berat yang disebabkan oleh variasi peralatan tangkap[7].

Variabel stabilitas kapal mencakup GZ, KG, dan GM. Penentuan nilai lengan dinamis (GZ) yang sesuai dengan kode stabilitas utuh IMO sangat krusial dalam analisis stabilitas. Banyak penelitian mengenai keseimbangan kapal telah dilakukan, termasuk penelitian tentang pengaruh nilai KG (jarak titik berat terhadap dasar kapal secara vertikal) terhadap kapasitas muatan kapal, di mana dimensi KG berperan penting dalam mempengaruhi kestabilan kapal[8].

GZ adalah lengan pemulih yang memungkinkan kapal kembali ke posisi awal, digambarkan oleh pergeseran titik G ke titik G' saat keseimbangan bergeser akibat kemiringan. Jarak antara G dan G' disebut GZ. Pergeseran ini dalam setiap kondisi beban (loadcase) menghasilkan variasi pada kurva stabilitas. Untuk menentukan stabilitas kapal, dilakukan analisis stabilitas statis dan dinamis. Stabilitas statis diukur dari nilai lengan pemulih GZ, sedangkan stabilitas dinamis diwakili oleh area di bawah kurva stabilitas statis[9].

Penempatan muatan di bagian atas kapal secara vertikal sangat mempengaruhi perubahan nilai KG, dan sebaliknya. Hubungan antara draft, ton displacement, KG, GM, dan periode oleng menunjukkan bahwa ton displacement berhubungan terbalik dengan tinggi metacentra (GM). Semakin besar displacement, semakin rendah tinggi metacentra dan semakin tinggi nilai KG. Hal ini terjadi karena penambahan beban (w dalam ton) meningkatkan draft, yang pada gilirannya menaikkan pusat gravitasi dan menurunkan tinggi metacentra. Perubahan pada GM tidak selalu sebanding dengan perubahan pusat gravitasi. Perubahan nilai metacentra juga memengaruhi periode oleng; periode oleng berbanding terbalik dengan nilai GM awal. Semakin tinggi GM dengan lebar kapal yang sama, maka periode oleng akan semakin kecil,

dan sebaliknya, semakin kecil nilai GM, semakin besar periode oleng [10].

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti performa teknis kapal *general cargo* 10000 DWT dengan rute pelayaran Surabaya – Donsak yang berupa stabilitas kapal pada berbagai kondisi muatan. Penelitian ini mendapat inspirasi dari referensi nomor [11] yang salah satunya melakukan analisa stabilitas kapal dengan rute pelayaran Makassar – Guangzhou. Manfaat dari penelitian ini adalah pembaca dapat memahami stabilitas kapal *general cargo* 10000 DWT dengan rute pelayaran Surabaya – Donsak pada berbagai kondisi muatan.

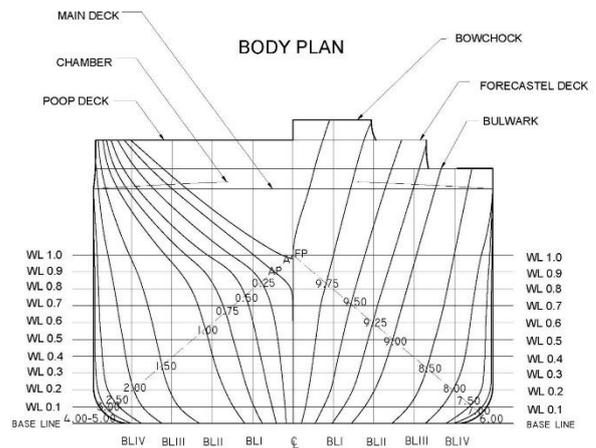
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan kapal *general cargo* 10.000 DWT sebagai objek, dengan rute pelayaran Surabaya–Donsak. Sebelum analisis lebih lanjut dilakukan, diperlukan data desain awal kapal, termasuk dimensi utama dan *lines plan*. Setelah data tersebut tersedia, tahap berikutnya adalah pembuatan model kapal dalam format tiga dimensi, yang kemudian akan digunakan untuk analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak yang relevan. Tabel 1 menunjukkan data ukuran utama kapal dan gambar 1 menunjukkan gambar *line splan* yang akan digunakan sebagai objek penelitian.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Dimensi Kapal	Unit
1	<i>Length overall</i> (LOA)	119,9 m
2	<i>Length waterline</i> (LWL)	117,62 m
3	<i>Length between perpendicular</i> (LPP)	114,19 m
4	<i>Breadth</i> (B)	19,53 m
5	<i>Height</i> (H)	11,59 m
6	<i>Draft</i> (T)	8,31 m
7	<i>Dead weight</i>	10000 ton
8	<i>Service speed</i> (Vs)	13,24 knot



Gambar 1. *Lines Plan* Kapal Yang Diteliti

2.2. Perlakuan Pada Objek Penelitian

Analisis stabilitas kapal dilakukan dengan mempertimbangkan parameter tetap, seperti desain lambung kapal dan dimensi utama, termasuk LOA, LPP, B, T, H, dan Vs. Sedangkan parameter yang dapat berubah mencakup persentase muatan dan kondisi tangki, yang disesuaikan dengan skenario yang dianalisis. Dampak dari perubahan ini kemudian dianalisis untuk memahami pengaruhnya terhadap stabilitas kapal.

2.3. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan kapal *general cargo* 10000 DWT dengan rute pelayaran Surabaya – Donsak. Variabel dalam penelitian ini adalah variasi kondisi persentase muatan dan keadaan tangki pada kapal. Untuk kondisi yang akan di teliti sebagai berikut :

- Kondisi pertama merupakan kondisi dimana muatan kapal, bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, dan persediaan air bersih terisi 100%. Untuk tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan tidak terisi sama sekali.
- Kondisi kedua merupakan kondisi dimana muatan kapal masih dalam keadaan terisi 100%. Bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, dan persediaan air bersih tersisa 10%. Sedangkan tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan tidak terisi sama sekali.
- Kondisi ketiga merupakan kondisi dimana muatan kapal kosong, Sedangkan bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, persediaan air bersih, tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan terisi 100%.

- d. Kondisi keempat merupakan kondisi dimana muatan kapal kosong. Sedangkan bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, dan persediaan air bersih terisi 10%. Sementara tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan terisi 100%.
- e. Kondisi kelima merupakan kondisi dimana muatan kapal dan seluruh tangki yang ada pada kapal dalam keadaan kosong atau 0%.

2.4. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilakukan sebagai berikut :

- a. Pembuatan model 3D menggunakan *software Maxsurf Modeller* dengan menggunakan bantuan *lines plan* sebagai acuan.
- b. Stabilitas kapal dianalisis menggunakan *software Maxsurf Stability* yang disesuaikan dengan kondisi-kondisi yang telah ditentukan dalam variabel penelitian.

2.5. Kapal General Cargo

Kapal barang, atau kapal kargo, adalah jenis kapal yang berfungsi untuk mengangkut barang dan muatan antar pelabuhan. Setiap tahunnya, ribuan kapal kargo berlayar melintasi lautan dan samudra, mengangkut barang-barang untuk perdagangan internasional. Kapal kargo umumnya dirancang khusus untuk memenuhi tugas tersebut, dilengkapi dengan crane dan peralatan lainnya untuk memudahkan proses bongkar muat, serta tersedia dalam berbagai ukuran.

2.6. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merujuk pada kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah miring atau terbalik akibat pengaruh gaya eksternal atau internal, maupun setelah mengalami momen sementara.[12].

Proses analisis stabilitas yang dilakukan oleh penulis mengacu pada standar IMO (International Maritime Organization) Code A.749(18) Bab 3, yang menetapkan kriteria desain yang wajib dipenuhi oleh semua kapal.

Tabel 2. Kriteria Stabilitas *IMO Code A.749(18)*

<i>Ch 3</i>		
Kriteria	Limit	Unit
<i>Area 0 to 30</i>	3,1513	m.deg
<i>Area 0 to 40</i>	5,1566	m.deg
<i>Area 30 to 40</i>	1,7189	m.deg
<i>Max GZ at 30 or greater</i>	0,200	m
<i>Angle of maximum GZ</i>	25,0	deg
<i>Initial GMt</i>	0,15	m

2.7. Kriteria IMO

Meskipun harmonisasi penanganan desain dan operasi dapat sangat efisien untuk menyediakan tingkat keselamatan yang dibutuhkan, operasi biasanya tidak diatur oleh aturan stabilitas utuh dari IMO dan lembaga klasifikasi. Sedangkan aturan desain menyiratkan beberapa tingkat kinerja operasional, yang disebut sebagai kehati-hatian dalam pelayaran, tingkat ini tidak didefinisikan oleh kriteria dan standar yang eksplisit dan dengan demikian tidak dapat secara langsung dikaitkan dengan persyaratan desain (dan sebaliknya)[13].

Second Generation Intact Stability criteria (SGISc) telah dirampungkan selama sesi ke-7 subkomite IMO tentang Desain dan Konstruksi Kapal *Ship Design and Construction* (SDC) pada tahun 2020. Saat ini, kriteria tersebut tidak dimaksudkan untuk menjadi wajib, tetapi telah mendapat dukungan dari IMO untuk diterapkan secara luas dalam komunitas pelayaran. Diperkirakan kriteria tersebut memerlukan penyempurnaan lebih lanjut, tetapi diharapkan SGISc akan memengaruhi proses desain kapal secara positif pada tahun-tahun mendatang. Kinerja stabilitas kapal dalam gelombang telah ditangani oleh SGISc, dengan fokus khusus pada lima fenomena dinamis, yaitu, gulungan parametrik (*parametric roll*), kehilangan stabilitas murni (*pure loss of stability*), kondisi kapal mati (*dead ship condition*), berselancar (*surf-riding*), dan akselerasi berlebihan (*excessive accelerations*)[14].

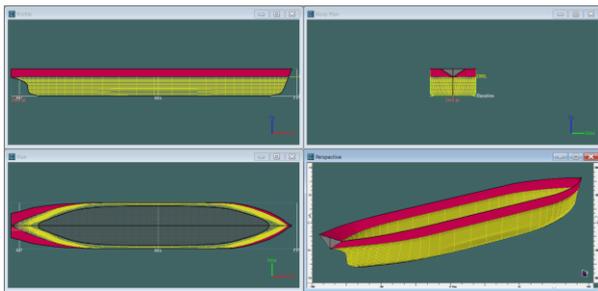
Organisasi Maritim Internasional (IMO) baru-baru ini mengembangkan kriteria kerentanan dua tingkat untuk kegagalan stabilitas kapal mati. Kriteria tersebut terdiri dari kriteria level 1 yang berdasarkan kriteria cuaca semi-empiris dan level 2 yang berdasarkan model roll tak berpasangan yang menggunakan spektrum angin dan gelombang dengan beberapa modifikasi[15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Permodelan Kapal

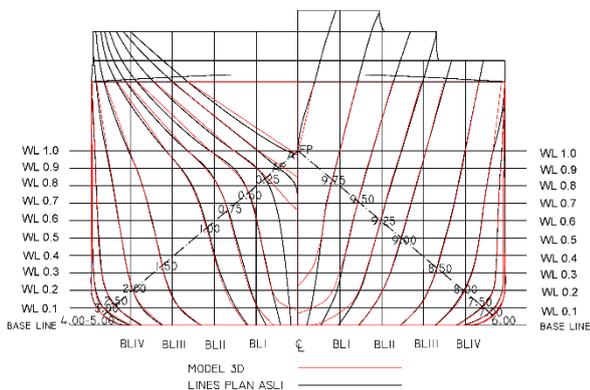
Permodelan kapal menggunakan *software Maxsurf Modeller* dengan bantuan *lines plan* sebagai acuan pembuatan model. Berdasarkan *lines plan* yang ada selanjutnya akan dilakukan proses permodelan dengan bantuan *lines plan* yang digunakan sebagai *background* selama proses pembuatan model. Kemudian dilanjutkan dengan metode penambahan *fitpoint* sesuai dengan kebutuhan agar bisa membentuk model

yang semirip mungkin dengan lines plan yang telah dijadikan *background*.



Gambar 2. Model *Maxsurf* 3D Kapal

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 3. Jika saat dibandingkan, model masih tidak sama dengan *lines plan*. Maka dilakukan proses *fairing fitpoint* agar bentuk *lines plan* yang dimiliki model dapat semirip mungkin dengan *lines plan* kapal asli.



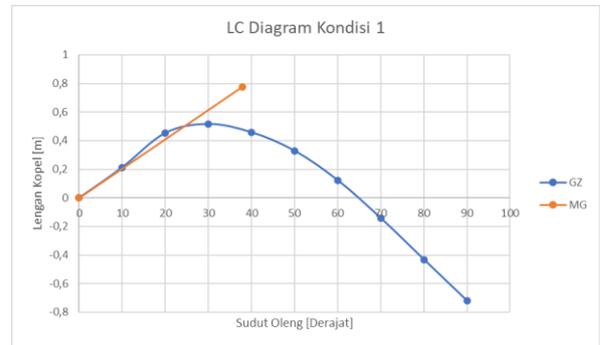
Gambar 3. Perbandingan *Lines Plan* Model 3D Dengan *Lines Plan* Asli

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa antara *lines plan* model 3D dengan *lines plan* asli tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model telah memenuhi syarat untuk bisa digunakan analisa lebih lanjut.

3.2. Analisa Stabilitas Kapal

Analisa stabilitas kapal akan dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Stability*. Analisa dilakukan dengan mengacu pada 5 kondisi yang sudah dijelaskan pada variabel penelitian. Dari hasil running pada *Maxsurf Stability*, didapatkan grafik LC diagram yang akan di paparkan di gambar 4 sampai 8.

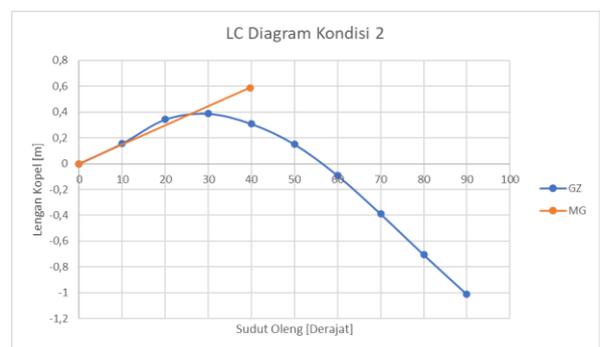
Berikut adalah grafik LC diagram dari kondisi 1 dimana muatan kapal, bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, dan persediaan air bersih terisi 100%. Untuk tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan tidak terisi sama sekali.



Gambar 4. LC Diagram Kondisi 1

Dari grafik LC diagram kondisi 1 yang ada pada gambar 4, dapat dilihat bahwa titik GZ maksimum terletak di sekitar sudut 30°. Pada sudut oling diatas 60° nilai GZ telah menjadi negatif, yang menunjukkan bahwa stabilitas kapal mulai berkurang pada sudut tersebut.

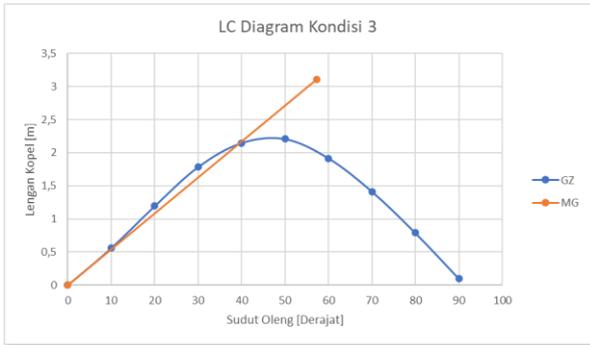
Selanjutnya adalah analisis stabilitas kapal pada kondisi 2, dimana muatan kapal masih dalam keadaan terisi 100%. Bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, dan persediaan air bersih tersisa 10%. Sedangkan tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan tidak terisi sama sekali.



Gambar 5. LC Diagram Kondisi 2

Dalam grafik LC diagram kondisi 2 pada gambar 5, masih terlihat mirip dengan grafik LC diagram kondisi 1. Nilai maksimum kurva GZ tertinggi terletak pada sekitar sudut 30°. Sedangkan pada sudut oling 50° keatas kurva GZ bernilai negatif, yang menunjukkan penurunan stabilitas lebih awal dibandingkan kondisi pertama.

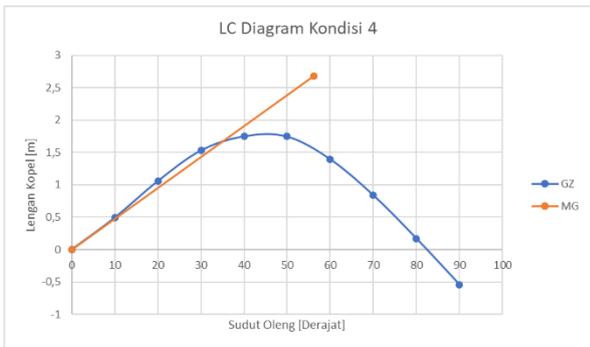
Berikut analisis stabilitas kapal pada kondisi 3, dimana muatan kapal kosong, Sedangkan bahan bakar, pelumas, *diesel oil*, persediaan air bersih, tangki *ballast*, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan terisi 100%.



Gambar 6. LC Diagram Kondisi 3

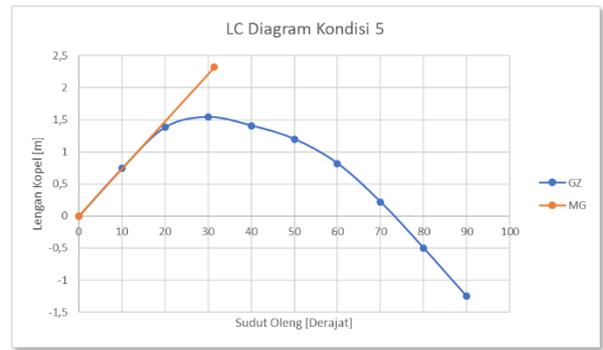
Dalam grafik LC diagram pada kondisi 3 pada gambar 6, menunjukkan peningkatan stabilitas yang signifikan, dengan nilai GZ maksimum berada di antara sudut 40° hingga 50°. Stabilitas tetap positif hingga sudut oleng 90°, menunjukkan bahwa kapal memiliki stabilitas yang sangat baik dalam kondisi ini.

Gambar 7 adalah kurva LC diagram dari kondisi 4, dimana muatan kapal kosong. Sedangkan bahan bakar, pelumas, diesel oil, dan persediaan air bersih terisi 10%. Sementara tangki ballast, tangki ceruk haluan, dan tangki ceruk buritan terisi 100%. Pada kondisi ini Grafik LC mirip dengan kondisi ketiga, dengan nilai GZ maksimum di antara sudut 40° hingga 50°. Namun, kurva mulai bernilai negatif pada sudut oleng 80°, sedikit menurun dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.



Gambar 7. LC Diagram Kondisi 4

Yang terakhir adalah analisa stabilitas kapal pada kondisi 5, dimana muatan kapal dan seluruh tangki yang ada pada kapal dalam keadaan kosong atau 0%.



Gambar 8. LC Diagram Kondisi 5

Dari gambar LC diagram diatas, terlihat bahwa grafik menunjukkan nilai GZ maksimum berada di sekitar sudut 30°, mirip dengan kondisi pertama dan kedua. Kurva mulai negatif pada sudut oleng di atas 70°, menunjukkan stabilitas yang lebih rendah dibandingkan kondisi dengan tangki *ballast* penuh.

Secara keseluruhan, stabilitas kapal berfluktuasi tergantung pada distribusi muatan dan pengisian tangki. Kondisi 3 menunjukkan stabilitas terbaik, sedangkan kondisi 2 dan 5 memiliki stabilitas yang lebih rendah.

3.3. Analisa Kriteria IMO

Dari hasil *running* stabilitas kapal yang dilakukan pada *software Maxsurf Stability* di tiap kondisi, didapati juga analisis kondisi terhadap kriteria *IMO code A.749(18) Ch3*. Dibawah ini adalah hasil analisis yang telah dilakukan yang disajikan dalam bentuk tabel, dari tabel 3 sampai tabel 8 :

Tabel 3. Hasil *Running* Analisa Stabilitas Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Olgeng 0° - 30°

Kondisi	Area 0 to 30		
	Req.	Maxsurf	Status
1	3,1513	9,4299	PASS
2	3,1513	7,0882	PASS
3	3,1513	26,4838	PASS
4	3,1513	23,3302	PASS
5	3,1513	29,6517	PASS

Berdasarkan Tabel 3, semua kondisi stabilitas memenuhi standar IMO untuk area GZ pada sudut 0°-30° dengan nilai yang melebihi persyaratan minimum sebesar 3,1513 m.deg. Kondisi 5 menunjukkan performa terbaik dengan nilai area sebesar 29,6517 m.deg, sedangkan kondisi 2 memiliki nilai terendah (7,0882 m.deg), namun tetap aman dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Tabel 4. Hasil *Running Analisa Stabilitas* Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Oleng 0° - 40°*

Kondisi	Area 0 to 40		
	Req.	Maxsurf	Status
1	5,1566	14,3733	PASS
2	5,1566	10,6471	PASS
3	5,1566	46,3678	PASS
4	5,1566	39,9667	PASS
5	5,1566	44,5327	PASS

Pada Tabel 4, area GZ pada sudut 0°-40° untuk semua kondisi juga memenuhi batas minimum sebesar 5,1566 m.deg. Kondisi 3 memiliki nilai tertinggi (46,3678 m.deg), menunjukkan stabilitas yang optimal, sementara kondisi 2 mencatat nilai terendah sebesar 10,6471 m.deg, tetapi tetap berada dalam batas aman.

Tabel 5. Hasil *Running Analisa Stabilitas* Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Oleng 30° - 40°*

Kondisi	Area 30 to 40		
	Req.	Maxsurf	Status
1	1,1789	4,9433	PASS
2	1,1789	3,5589	PASS
3	1,1789	19,884	PASS
4	1,1789	16,6365	PASS
5	1,1789	14,881	PASS

Tabel 5 menunjukkan area GZ pada sudut 30°-40°, di mana semua kondisi melewati persyaratan minimum sebesar 1,1789 m.deg. Kondisi 3 kembali menjadi yang terbaik dengan nilai sebesar 19,884 m.deg, sedangkan kondisi 2 memiliki nilai terendah sebesar 3,5589 m.deg, namun tetap memenuhi standar yang diperlukan.

Tabel 6. Hasil *Running Analisa Stabilitas* Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 Kriteria Nilai GZ*

Kondisi	GZ at 30 or greater		
	Req.	Maxsurf	Status
1	0,200	0,517	PASS
2	0,200	0,388	PASS
3	0,200	2,226	PASS
4	0,200	1,788	PASS
5	0,200	1,544	PASS

Nilai GZ maksimum pada sudut $\geq 30^\circ$ dalam Tabel 6 juga menunjukkan hasil yang sesuai dengan standar IMO ($\geq 0,200$ m). Kondisi 3 memiliki nilai tertinggi sebesar 2,226 m, menandakan performa stabilitas yang sangat baik. Sementara itu, kondisi 2 mencatat nilai terendah

(0,388 m), namun tetap mematuhi batas yang ditentukan.

Tabel 7. Hasil *Running Analisa Stabilitas* Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 Kriteria Sudut Pada Nilai GZ Maksimum*

Kondisi	Angle of GZ Max		
	Req.	Maxsurf	Status
1	25	29,1	PASS
2	25	27,3	PASS
3	25	47,3	PASS
4	25	45,5	PASS
5	25	28,2	PASS

Berdasarkan Tabel 7, sudut maksimum GZ di semua kondisi memenuhi persyaratan minimal sebesar 25°. Kondisi 3 mencatat sudut tertinggi sebesar 47,3°, menunjukkan stabilitas maksimal, sementara kondisi 2 memiliki sudut terendah sebesar 27,3°, tetapi tetap aman dan sesuai standar.

Tabel 8. Hasil *Running Analisa Stabilitas* Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3 Kriteria Nilai GM*

Kondisi	MG		
	Req.	Maxsurf	Status
1	0,150	1,173	PASS
2	0,150	0,847	PASS
3	0,150	3,108	PASS
4	0,150	2,731	PASS
5	0,150	4,233	PASS

Pada Tabel 8, nilai GM untuk semua kondisi melampaui batas minimum sebesar 0,150 m. Kondisi 5 menunjukkan nilai tertinggi sebesar 4,233 m, menandakan kestabilan yang sangat baik, sedangkan kondisi 2 memiliki nilai terendah sebesar 0,847 m, namun tetap berada dalam batas aman sesuai dengan standar IMO.

Secara keseluruhan, analisis stabilitas ini menunjukkan bahwa kapal general cargo 10.000 DWT dengan rute pelayaran Surabaya–Donsak memiliki performa stabilitas yang baik pada berbagai kondisi muatan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis performa stabilitas kapal general cargo 10.000 DWT pada rute pelayaran Surabaya–Donsak berdasarkan lima kondisi muatan yang berbeda. Proses analisis menggunakan software Maxsurf Stability dengan mengacu pada standar IMO Code A.749(18) Bab 3, yang menetapkan kriteria desain stabilitas kapal. Hasil analisis dalam bentuk grafik LC

diagram untuk setiap kondisi memberikan wawasan rinci tentang perilaku stabilitas kapal.

Lima kondisi muatan yang dianalisis menunjukkan bahwa stabilitas terbaik terjadi pada kondisi ketiga (muatan kosong, tangki penuh), sedangkan kondisi kedua dan kelima menunjukkan stabilitas yang lebih rendah. Meskipun demikian, semua kondisi tetap memenuhi kriteria stabilitas yang ditetapkan oleh standar IMO Code A.749(18) Bab 3, termasuk parameter area GZ, nilai maksimum GZ, dan GM.

Pada evaluasi kriteria IMO Setiap kondisi diuji terhadap kriteria stabilitas IMO semua kondisi memenuhi standar, dengan nilai-nilai signifikan sebagai berikut: Area 0°-30° terbaik di kondisi 5 (29,65 m.deg), terendah di kondisi 2 (7,08 m.deg).

Area 0°-40° terbaik di kondisi 3 (46,36 m.deg), terendah di kondisi 2 (10,65 m.deg). Nilai GZ maksimum tertinggi di kondisi 3 (2,226 m), terendah di kondisi 2 (0,388 m).

Kapal general cargo 10.000 DWT ini memenuhi semua kriteria stabilitas IMO di lima kondisi yang diuji, memastikan keamanan operasionalnya di rute pelayaran Surabaya–Donsak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Fikri, B. A. Arswendo, and D. Chrismianto, “Studi Perancangan Kapal General Cargo 2000 DWT Untuk Rute Pelayaran Jakarta-Makassar,” 2016.
- [2] Badan Pusat Statistik, “Statistik Transportasi Laut Tahun 2022,” Nov. 2023.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] A. Maki, Y. Maruyama, Y. Liu, and L. Dostal, “Comparison of stochastic stability boundaries for parametrically forced systems with application to ship rolling motion,” *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 2, pp. 446–456, 2024, doi: 10.1007/s00773-024-00999-0.
- [6] H. Triyanto, B. A. A., and Samuel, “Perancangan Kapal General Cargo 3292 Dwt Rute Pelayaran ‘Jakarta-Hongkong,’” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 2, pp. 213–221, 2015.
- [7] R. A. Nabawi, S. Syahril, and S. Salmat, “Stability Study of Flat Hull Ship for Fishing Tourism,” *Teknomekanik*, vol. 3, no. 2, pp. 80–85, 2020, doi: 10.24036/teknomekanik.v3i2.9272.
- [8] P. K. D. N. Y. Putra, B. H. Iskandar, and Y. Novita, “Using Length of Bilge Keel to Length of Waterline Ratio to Reduce Ship Rolling Motion,” *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 2731–2734, 2018, doi: 10.48084/etasr.1861.
- [9] G. W. Kayadoe, H. V. Dien, and R. D. C. Pamikiran, “Kajian tentang stabilitas KM. Surya Prima yang dibuat di Desa Borgo, Kec. Tanawangko, Kab. Minahasa,” *J. Ilmu Dan Teknol. Perikan. Tangkap*, vol. 2, no. 1, pp. 19–22, 2015, doi: 10.35800/jitpt.2.1.2015.8330.
- [10] N. S. A. Shahrom *et al.*, “Feasibility study of monsoon effect on wave power for wave energy converter in Sabah, Malaysia,” *Trans. Marit. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 396–403, 2021, doi: 10.7225/toms.v10.n02.w05.
- [11] Y. H. Prayitno, W. Amiruddin, and G. Rindo, “Perancangan Kapal Bulk Carier 21600 DWT Untuk Rute Pelayaran Makassar - Guangzhou,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [12] M. Enrico, D. Chrismianto, and A. W. B. Santosa, “Analisa Stabilitas dan Olah Gerak Kapal Ikan Tradisional Terhadap Penggantian Alat Tangkap Cantrang Menjadi Bottom Longline Untuk Daerah Batang,” *J. Tek. Perkapalan Undip*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2017.
- [13] K. E. Marlantes, S. P. Kim, and L. A. Hurt, “Implementation of the IMO Second Generation Intact Stability Guidelines,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–38, 2022, doi: 10.3390/jmse10010041.
- [14] 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.
- [15] S. Munakata *et al.*, “An investigation into false-negative cases for low-freeboard ships in the vulnerability criteria of dead ship stability,” *Ocean Eng.*, vol. 266, no. P5, p. 113130, 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.113130.