



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 11280 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya - Makassar

Harjito Prayitno Mukti¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Desain dan Digitalisasi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
^{*)}e-mail :harjitopravitno98@gmail.com

Abstrak

Kapal general cargo adalah kapal yang mengangkut bermacam-macam muatan berupa barang. Barang yang diangkut biasanya merupakan barang yang sudah dikemas. Kapal general cargo dilengkapi dengan crane pengangkut barang untuk memudahkan bongkar-muat muatan. Pada penelitian ini direncanakan desain lambung kapal. Ukuran utama kapal didapatkan dengan menggunakan metode regresi yang didasarkan pada data 10 kapal pemanding. Penelitian ini juga dilakukan dengan berbagai kondisi muatan. Tujuannya adalah untuk mendapat nilai GZ dan periode oleng yang sesuai dengan standar kriteria umum. Metode yang digunakan adalah dengan membuat model 3D dari ukuran utama kapal yang sudah didapatkan, nantinya akan digunakan untuk menganalisa stabilitas. Hasil alternatif ukuran utama kapal didapatkan panjang kapal keseluruhan (Loa) = 139,1 m, panjang kapal (Lpp) = 132,48 m, lebar kapal (B) = 19,48 m, tinggi kapal (H) = 11,68 m, sarat kapal (T) = 8,18 m, dan kecepatan dinas (Vs) = 13,57 knot, Cb = 0,76, Cm = 0,99, Cp = 0,77, Cw = 0,85, displacement = 11280 ton. Hasil dari analisa kemudian disesuaikan dengan kriteria IMO A.749 (18) untuk stabilitas. Dari analisa stabilitas didapatkan nilai GZ maksimum kapal = 49,1 m pada 90 deg dengan nilai GM = 5,325 m. Hasil dari penelitian menyimpulkan bahwa kapal ini layak secara stabilitas sehingga aman untuk digunakan mengangkut barang muatan.

Kata Kunci : Kapal General Cargo, Ukuran Utama Kapal, Stabilitas, Maxsurf

1. PENDAHULUAN

Luasnya wilayah perairan Indonesia menjadikan transportasi laut sebagai kebutuhan utama untuk menghubungkan pulau-pulau dan melintasi antar wilayah. Kapal berperan tidak hanya sebagai sarana transportasi, tetapi juga sebagai pelindung di kawasan perairan nasional. Dukungan pemerintah dalam memprioritaskan pembangunan sektor maritim sangat penting agar Indonesia dapat bersaing dengan negara lain, baik di bidang pertahanan maupun perdagangan. Selain itu, Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah seperti timah, tembaga, dan nikel, yang memerlukan dukungan transportasi laut yang memadai[1].

Kapal general cargo atau kapal barang adalah kapal yang mengangkut bermacam-macam muatan barang. Barang yang diangkut biasanya merupakan barang yang sudah dikemas seperti beras, terigu,

biji-bijian, batu bara, dan semen yang juga merupakan kebutuhan essensial baik untuk industry maupun rumah tangga yang pendistribusiannya sangat besar terhadap pendapatan Negara Indonesia. Kapal general cargo pada umumnya didesain khusus untuk tugasnya, dilengkapi dengan crane dan mekanisme lainnya untuk pengangkut barang agar memudahkan bongkar-muat muatan[2].

Karena muatan yang diangkut kapal memiliki tingkat risiko yang cukup tinggi, maka perancangan struktur kapal harus mempertimbangkan aspek ekonomi, keselamatan, dan dampak terhadap lingkungan sekitarnya.

Ditengah pencapaian produksi dan ekspor di sektor kelautan yang baik, Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dalam kegiatan Media Rilis Akhir Tahun Capaian Kinerja KNKT 2021 menjelaskan bahwa pada tahun 2021 tercatat bahwa moda pelayaran menyumbang angka

terbesar dalam kecelakaan transportasi yang di investigasi oleh KNKT.

Untuk mendukung kelancaran dalam proses pengangkutan barang berjalan lancar, stabilitas kapal perlu diperhatikan dengan memastikan ukuran yang memadai, jumlah deck yang cukup, serta kapasitas muatan yang besar, sesuai prinsip-prinsip perancangan yang meliputi dimensi utama kapal. Desain dan konstruksi kapal yang tepat akan meningkatkan stabilitas dan produktivitas kapal[3].

Kajian stabilitas sangat diperlukan dalam kapal General Cargo dalam proses bongkar atau muat barang. Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula 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[4]. Tata letak geladak secara langsung memengaruhi stabilitas dan manuver kapal, karena perubahan titik berat yang disebabkan oleh variasi peralatan tangkap[5].

Variabel stabilitas kapal meliputi GZ, KG, dan GM. Dalam analisis stabilitas, sangat penting untuk menentukan nilai lengan dinamis (GZ) sesuai dengan kode stabilitas utuh IMO. Banyak penelitian tentang keseimbangan kapal telah dilakukan, termasuk pengaruh nilai KG (jarak titik berat terhadap dasar kapal secara vertikal) terhadap kapasitas muatan kapal, di mana dimensi KG memiliki dampak signifikan pada kestabilan kapal[6].

Menurut teori, titik-titik utama dalam analisis stabilitas kapal meliputi titik berat (G), titik apung (B), dan metacentra (M). Titik berat kapal (G) adalah titik tempat resultan seluruh gaya berat kapal yang mengarah ke bawah, dipengaruhi oleh lokasi muatan dan struktur kapal. Titik apung (B) atau "*Centre of Buoyancy*" adalah titik tempat gaya apung, yang mengarah ke atas, bekerja pada bagian kapal yang tercelup air. Sementara itu, metacentra (M) adalah titik di mana garis sumbu dan arah gaya apung berpotongan saat kapal miring (*heeling*), membentuk lintasan titik tekan kapal[7].

Posisi titik berat (G) dipengaruhi oleh lokasi muatan dan komponen lain di kapal. Faktor-faktor ini memengaruhi nilai stabilitas statis, karena menjadi penentu utama dari nilai lengan penegak GZ. Jika kapal dalam kondisi miring (*heeling*) dan tidak dapat kembali ke posisi semula, melainkan terus miring (GZ negatif), maka kapal berada dalam kondisi keseimbangan tidak stabil (*unstable equilibrium*)[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 memiliki dampak besar terhadap perubahan nilai KG, begitu juga sebaliknya. Hubungan antara draft, ton displacement, KG, GM, dan periode oleng menunjukkan bahwa ton displacement berbanding 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]. Berdasarkan penelitian tentang kecelakaan kapal saat berlayar, sebagian besar kecelakaan disebabkan oleh terbaliknya kapal. Hal ini terjadi akibat kapal mengalami kelebihan muatan (*overload*) serta penempatan barang yang terlalu banyak di atas geladak utama kapal[11].

Penelitian ini dilakukan karena pada kapal tipe general cargo dirancang untuk mengangkut muatan dengan tingkat resiko yang tinggi dan berperan penting dalam menghubungkan berbagai wilayah di Indonesia. Perlu dilakukan analisa stabilitas guna meningkatkan efisiensi dan keamanan kapal saat dioperasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa performa kapal dari segi stabilitas kapal dari kapal tipe general cargo dengan kapasitas muatan 11280 DWT rute pelayaran Surabaya – Makassar. Hasil analisis tersebut akan menghasilkan kurva lengan stabilitas yang akan dicocokkan dengan standar IMO.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

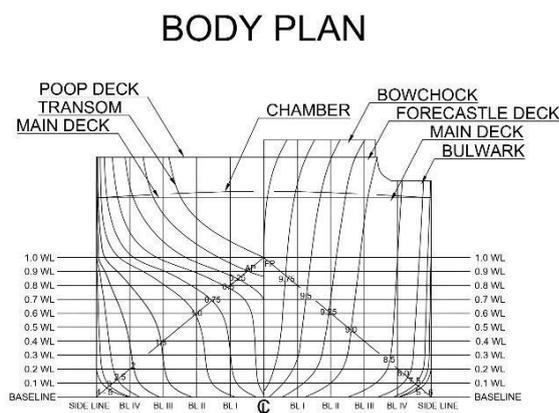
Objek penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kapal niaga dengan tipe General Cargo 11280 DWT dengan rute pelayaran Surabaya – Makassar. Sebelum melakukan analisa lebih lanjut, maka diperlukan data rancangan kapal

berupa dimensi kapal, rencana garis kapal, dan rencana umum kapal. Selanjutnya setelah data didapatkan dapat dilakukan pembuatan model kapal secara 3 dimensi yang selanjutnya akan dijadikan sebagai analisa lebih lanjut menggunakan *software* yang dibutuhkan. Data ukuran utama kapal dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar 1 menunjukkan bentuk linesplan yang akan digunakan sebagai objek penelitian.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

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

Table 1 menunjukkan data ukuran utama kapal yang meliputi panjang keseluruhan kapal (LOA) sebesar 139,1 meter. LPP atau panjang kapal antara garis tegak haluan dengan garis tegak buritan adalah 132,48 meter. Lebar kapal (B) adalah 19,48 meter. Ketinggian kapal dari *baseline* (H) adalah 11,68 meter. Sarat kapal (T) diukur dari *baseline* kapal setinggi 8,18 meter. Kecepatan dinas kapal (Vs) sebesar 13,57 knot. Berdasarkan data diatas dapat dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan dan validasi model 3D kapal.



Gambar 1. Lines Plan Kapal

Pada gambar 1 merupakan *linesplan* kapal. Dari *linesplan* ini dapat dijadikan panduan dan juga patokan dalam mendesain model 3 dimensi yang akan digunakan dalam proses penelitian.

2.2. Parameter Penelitian

Analisis stabilitas menggunakan parameter tetap, seperti desain lambung kapal dan dimensi

utama kapal, yaitu LOA, LPP, B, T, H, dan Vs. Sedangkan parameter yang dapat berubah meliputi muatan kapal.

2.2.1. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan kapal *general cargo* 11280 DWT dengan bantuan *software Maxsurf*. Variabel yang digunakan ada 2 jenis, yaitu:

- Kecepatan kapal
- Arah gelombang

Pada kecepatan kapal memengaruhi stabilitas melalui gaya hidrodinamis dan pengaruh terhadap respon kapal terhadap gangguan eksternal. Adapun dampaknya antara lain yaitu gaya hidrodinamis, periode oleng, hambatan gelombang, dan respon terhadap gangguan. Sedangkan pengaruh arah gelombang menentukan jenis dan tingkat gangguan yang memengaruhi stabilitas kapal, baik secara lateral maupun longitudinal. Pengaruh utamanya yaitu gelombang melintang, gelombang dari depan atau belakang, gelombang miring, frekuensi gelombang dan resonansi.[12].

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Desain dan Digitalisasi Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

2.4. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pembuatan model 3D menggunakan *software Maxsurf Modeller* dengan menggunakan *lines plan* sebagai acuannya.
- Model 3D yang sudah dibuat kemudian akan dilakukan analisa hambatan total kapal menggunakan *software Maxsurf Stability*.

2.5. Keadaan Laut

Keadaan laut (*Sea State*) menurut WMO Manual Code No. 306, bagian A, adalah pengaruh yang ditimbulkan oleh angin lokal terhadap kondisi laut di suatu area tertentu, di mana kondisi swell (ombak besar) dari area sekitarnya tidak diperhitungkan.

Keadaan laut mengacu pada keseluruhan kondisi permukaan laut terbuka terhadap

gelombang angin yang tumbuh secara aktif didorong oleh angin lokal dan membengkak pada lokasi dan momen tertentu. Keadaan laut digambarkan oleh kekasaran permukaan air. Keadaan laut dianggap sebagai medan stokastik dan dicirikan oleh spectrum gelombang dimana frekuensi gelombang adalah sudut arah gelombang[13].

Penilaian keadaan laut dapat dilakukan oleh pengamat yang berpengalaman di laut seperti pelaut atau melalui perangkat seperti pelampung, radar gelombang atau satelit penginderaan jauh. WMO (*World Meteorological Organization*) menerangkan bahwa keadaan laut mencakup ketinggian gelombang dan karakteristik deskriptif. Gelombang yang lebih tinggi memberikan keadaan laut yang lebih kasar. Selain itu angin juga merupakan faktor utama yang mempengaruhi keadaan laut dan dengan demikian kondisi laut yang kasar diperkirakan terjadi ketika angin lebih kuat.

2.6. Hidrostatik karakteristik

Kurva hidrostatik adalah kurva yang menggambarkan karakteristik badan kapal yang terendam di dalam air, atau dengan kata lain, untuk mengetahui sifat-sifat kapal yang tercelup. Kurva ini digambar hingga kapal mencapai sarat penuh dan tidak berlaku untuk kondisi kapal yang mengalami trim. Beberapa komponen yang terdapat dalam kurva hidrostatik antara lain:[14]

1. Lengkung luas garis air (A_w)
2. Lengkung luas permukaan basah (WSA)
3. Lengkung luas bagian midship (MSA)
4. Lengkung letak titik berat garis air terhadap penampang tengah kapal.
5. Lengkung letak titik tekan garis air terhadap penampang tengah kapal.
6. Lengkung letak titik tekan garis air terhadap keel (KB)
7. Lengkung momen inersia melintang garis air (I)
8. Lengkung momen inersia memanjang garis air (IL)
9. Lengkung letak metasentra melintang (KM)
10. Lengkung letak metasentra memanjang (KM_L)
11. Lengkung koefisien blok (C_b)
12. Lengkung koefisien garis air (C_w)
13. Lengkung koefisien gading besar (C_m)
14. Lengkung koefisien prisma mendatar (C_p)
15. Lengkung top per 1 centimeter (TPC)
16. Lengkung perubahan displasemen karena kapal mengalami trim buritan sebesar 1 centimeter (DDT)

17. Lengkung momen untuk mengubah trim 1 centimeter (MTC)

Untuk melakukan analisis stabilitas, hidrostatik menyediakan parameter kunci yang digunakan dalam analisis stabilitas kapal, baik untuk kondisi awal maupun kondisi dinamis. Dengan memahami kondisi hidrostatik kapal berguna untuk mengevaluasi, merancang, dan mengoptimalkan stabilitas kapal untuk memastikan keselamatan dan performa yang optimal di berbagai kondisi kapal.

2.7. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah keseimbangan kapal, yaitu sifat atau kecenderungan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami kemiringan (heeling) akibat pengaruh gaya eksternal. Kapal dengan stabilitas yang baik akan tetap tegak saat mengapung, tidak miring ke kiri atau ke kanan. Saat berlayar, kapal juga dapat kembali tegak meskipun terpengaruh oleh faktor eksternal seperti kecepatan angin dan gelombang laut[15]. Menurut Taylor (1977) stabilitas dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: 1) Keseimbangan stabil (*Stable equilibrium*), 2) Keseimbangan netral (*Neutral equilibrium*) dan 3) Keseimbangan tidak stabil (*Unstable equilibrium*)[16].

Stabilitas sangat erat kaitannya dengan bentuk kapal, muatan, *draft* (sarat), dan ukuran nilai GM. Stabilitas kapal dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Stabilitas Statis
Stabilitas statis adalah stabilitas saat kapal dalam keadaan diam atau berlayar dilaut tenang
2. Stabilitas Dinamis
Stabilitas dinamis adalah stabilitas saat kapal dalam keadaan oleng atau mengganggu.

2.8. Standar Kriteria

Kapal ini dirancang sebagai kapal tipe general cargo dengan kapasitas 11.280 DWT untuk rute pelayaran Surabaya - Makassar, yang memerlukan analisis stabilitas untuk memastikan keamanan dan keselamatan kapal. Oleh karena itu, ditetapkan standar kriteria dalam analisis stabilitas kapal untuk mencapai tingkat keamanan yang sesuai.

Untuk standar kriteria stabilitas yang digunakan ada dalam IMO (*International Maritime Organization*) Code A.749 (18) Ch3- *design criteria applicable to all ships* yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Dari sudut 0° - 30° ,

- luasan di bawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus memenuhi standar minimum, yaitu tidak boleh kurang dari 3,15 m.radian
2. Dari sudut 0° - 40° , luasan di bawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus memenuhi standar minimum, yaitu tidak boleh kurang dari 5,16 m.radian.
 3. Dari sudut 30° - 40° , luasan di bawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus memenuhi standar minimum, yaitu tidak boleh kurang dari 1,719 m.radian.
 4. Kurva GZ harus sedikitnya 0,20 m pada sudut $\geq 30^{\circ}$
 5. Nilai maksimum kurva GZ tidak boleh kurang dari 25°
 6. Tinggi metasentra GM awal harus tidak boleh kurang dari 0,15 m

Batasan kecepatan yang dianalisis adalah kecepatan maksimal kapal, yaitu 13,57 knots. Sementara itu, tinggi gelombang yang digunakan dalam analisis adalah 1 meter dengan periode gelombang maksimal 2 detik.

2.9. Penentuan Loading Condition Kapal

Dalam menganalisis stabilitas kapal, perlu dibuat variasi muatan pada beberapa kondisi muatan (loading condition) untuk mengetahui stabilitas kapal pada setiap kondisi tersebut[17].

Pada penelitian ini penulis meninjau lima kondisi muatan yang mempresentasikan saat kapal beroperasi di perairan sebagai berikut :

Tabel 2. Muatan Tiap Kondisi

Kondisi	Displacement	LCG	VCG
1	20448,83 ton	70,56 m	6,24 m
2	20181,49 ton	70,86 m	6,31 m
3	7119,51 ton	65,69 m	5,68 m
4	7036,67 ton	66,21 m	5,90 m
5	4649,25 ton	60,11 m	7,68 m

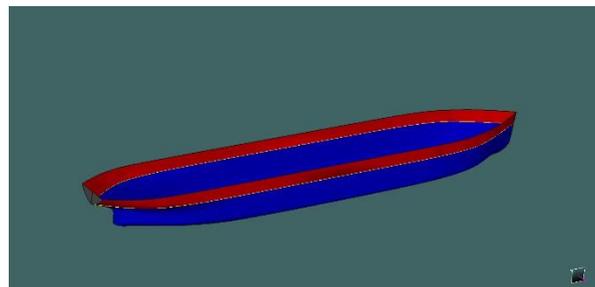
1. Kondisi 1 : dimana kapal sebelum berangkat dari pelabuhan dengan kargo muatan penuh dan consumeable 100%.
2. Kondisi 2 : dimana kapal tiba di pelabuhan dengan kargo muatan penuh dan consumeable 10%.
3. Kondisi 3 : dimana kapal sebelum berangkat dari pelabuhan dengan kargo kosong (tanpa muatan) tetapi consumeable 100%.
4. Kondisi 4 : dimana kapal tiba dipelabuhan dengan kargo kosong (tanpa muatan) dan consumeable tersisa 10%.

5. Kondisi 5 : dimana kapal dengan kargo kosong (tanpa muatan) dan consumeable 0%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

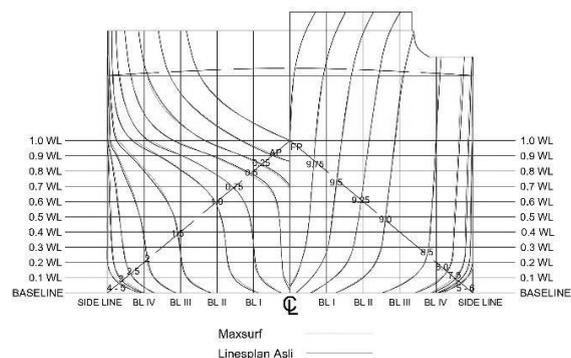
3.1. Permodelan 3D Kapal

Model 3D kapal dibuat menggunakan software *Maxsurf Modeller* dengan mengacu pada lines plan sebagai panduan. Proses pembuatan dilakukan dengan menambahkan fit point secara manual, kemudian dilakukan fairing untuk memastikan model 3D tersebut seakurat mungkin dengan lines plan asli.



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.



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

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

Tabel 4. Perbandingan Data Hidrostatik

Hidrostatik	Kapal	Model 3D	Koreksi
WSA	3893,21 m ²	4030,55 m ²	+3,53%

Cb	0,76	0,76	-0,41%
Cp	0,77	0,77	-0,16%
Cm	0,99	0,99	-0,17%
Cw	0,85	0,85	+0,44%
LCB dari AP	67,26 m	67,06 m	-0,30%

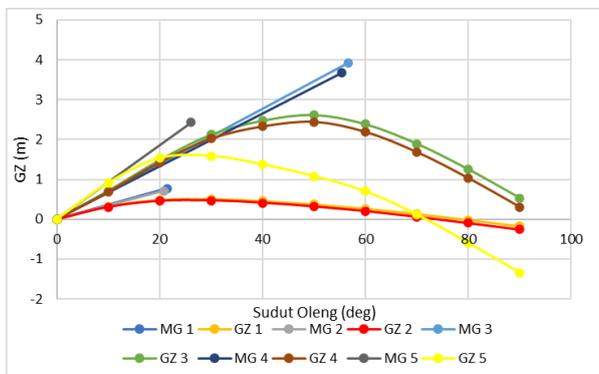
Dari tabel 4, dapat dilihat bahwa koreksi selisih antara model 3D dengan kapal masih memenuhi nilai kurang dari $\pm 5\%$. Sehingga dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa model telah memenuhi syarat untuk bisa digunakan analisa lebih lanjut.

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, terdapat gambar nilai GZ dari 5 (lima) kondisi yang telah ditentukan.

Lengkung stabilitas statis (*curves of static stability*) adalah kurva yang menggambarkan kondisi kapal mulai dari saat kapal memiliki lengan penegak (GZ) nol hingga kembali memiliki GZ nol, pada berbagai sudut kemiringan kapal, dengan displacement tertentu di perairan tenang atau pelabuhan[18].

Berikut adalah grafik nilai GZ pada kondisi 1 sampai 5 dimana bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Nilai GZ pada Kondisi 1 sampai 5

Analisis kriteria pada kondisi 1 dimana cargo muatan penuh dan *consumeable 100%*, yang dapat dilihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa hasil perhitungan stabilitas kapal memenuhi kriteria (*pass*). Nilai maksimum GZ tercatat pada model kapal General Cargo dengan kemiringan (*heel*) 27,3 derajat, yang menghasilkan nilai GZ sebesar 0,508 m.

Selanjutnya adalah analisis stabilitas kapal pada kondisi 2, dimana kargo muatan penuh dan *consumeable 10%*. Analisis kriteria pada kondisi 2, yang dapat dilihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa hasil perhitungan stabilitas kapal memenuhi

kriteria (*pass*). Nilai maksimum GZ tercatat pada model kapal General Cargo dengan kemiringan (*heel*) 26,4 derajat, yang menghasilkan nilai GZ sebesar 0,467 m.

Selanjutnya adalah analisis stabilitas kapal pada kondisi 3, dimana kargo muatan kosong (tanpa muatan) dan *consumeable 100%*. Analisis kriteria pada kondisi 3, yang dapat dilihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa hasil perhitungan stabilitas kapal memenuhi kriteria (*pass*). Nilai maksimum GZ tercatat pada model kapal General Cargo dengan kemiringan (*heel*) 49,1 derajat, yang menghasilkan nilai GZ sebesar 2,615 m.

Selanjutnya adalah grafik nilai GZ dari kondisi 4, Dimana muatan kargo kosong (tanpa muatan) dan *consumeable 10%*. Dari grafik pada gambar 4 analisa kriteria pada kondisi 4 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *General Cargo Ship* pada *heel 49,1 degree* senilai 2,443 m.

Yang terakhir adalah analisis stabilitas kapal pada kondisi 5, dimana kargo muatan kosong (tanpa muatan) dan *consumeable 0%*. Analisis kriteria pada kondisi 5, yang dapat dilihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa hasil perhitungan stabilitas kapal memenuhi kriteria (*pass*). Nilai maksimum GZ tercatat pada model kapal General Cargo dengan kemiringan (*heel*) 25,5 derajat, yang menghasilkan nilai GZ sebesar 1,585 m.

3.3. Analisa Kriteria IMO

Hasil analisis stabilitas kapal berdasarkan kriteria IMO A.749 (18) Ch3 dapat dilihat pada Tabel 4 hingga 9. Dari hasil simulasi stabilitas kapal yang dilakukan menggunakan *software Maxsurf Stability* pada setiap kondisi, menunjukkan bahwa analisis stabilitas kapal general cargo 11.280 DWT di semua kondisi telah memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Tabel 4. Hasil Analisis Stabilitas General Cargo 11280 DWT Menurut Standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Oling $0^\circ - 30^\circ$

Kondisi	Req.	Area 0 to 30	
		Maxsurf	Status
1	3,1513	10,9778	PASS
2	3,1513	10,2578	PASS
3	3,1513	32,6875	PASS
4	3,1513	31,3034	PASS
5	3,1513	33,2471	PASS

Tabel 4 adalah rekapitulasi nilai stabilitas kondisi pembebanan I, II, III, IV, dan V. Pada sudut oelngan $0^\circ - 30^\circ$ kondisi I sebesar 10,9778 m.deg,

kondisi II sebesar 10,2578 m.deg, kondisi III sebesar 32,6875 m.deg, kondisi IV sebesar 31,3034 m.deg, kondisi V sebesar 33,2471 m.deg. Dimana nilai ini sudah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 3,151 m.deg.

Tabel 5. Hasil Analisis Stabilitas General Cargo 11280 DWT Menurut Standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Olang 0° - 40°

Kondisi	Req.	Area 0 to 40	
		Maxsurf	Status
1	5,1566	15,8467	PASS
2	5,1566	14,6766	PASS
3	5,1566	55,8487	PASS
4	5,1566	53,2127	PASS
5	5,1566	48,1446	PASS

Tabel 5 adalah rekapitulasi nilai stabilitas kondisi pembebanan I, II, III, IV, dan V. Pada sudut 0°-40° kondisi I sebesar 15,8467 m.deg, kondisi II sebesar 14,6766 m.deg, kondisi III sebesar 55,8487 m.deg, kondisi IV sebesar 53,2127 m.deg, kondisi V sebesar 48,1446 m.deg. Dimana nilai ini sudah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 5,157 m.deg.

Tabel 6. Hasil Analisis Stabilitas General Cargo 11280 DWT Menurut Standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Daerah Bawah GZ Dengan Sudut Olang 30° - 40°

Kondisi	Req.	Area 30 to 40	
		Maxsurf	Status
1	1,1789	4,8689	PASS
2	1,1789	4,4188	PASS
3	1,1789	23,1612	PASS
4	1,1789	21,9093	PASS
5	1,1789	14,8975	PASS

Tabel 6 adalah rekapitulasi nilai stabilitas kondisi pembebanan I, II, III, IV, dan V. Pada sudut 30°-40° kondisi I sebesar 4,8689 m.deg, kondisi II sebesar 4,4188 m.deg, kondisi III sebesar 23,1612 m.deg, kondisi IV sebesar 21,9093 m.deg, kondisi V sebesar 14,8975 m.deg. Dimana nilai ini sudah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 1,719 m.deg.

Tabel 7. Hasil Analisis Stabilitas General Cargo 11280 DWT Menurut Standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Nilai GZ

Kondisi	Req.	GZ at 30 or greater	
		Maxsurf	Status
1	0,200	0,508	PASS
2	0,200	0,467	PASS
3	0,200	2,615	PASS

4	0,200	2,443	PASS
5	0,200	1,585	PASS

Tabel 7 menjelaskan bahwa panjang lengan GZ area 30 atau lebih pada kondisi I sebesar 0,508 m, kondisi II sebesar 0,467 m, kondisi III sebesar 2,615, kondisi IV sebesar 2,443 m, dan kondisi V sebesar 1,585 m. Dimana nilai pada semua kondisi memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 0,2.

Tabel 8. Hasil Analisis Stabilitas General Cargo 11280 DWT Menurut Standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Sudut Pada Nilai GZ Maksimum

Kondisi	Req.	Angle of GZ Max	
		Maxsurf	Status
1	25	27,3	PASS
2	25	26,4	PASS
3	25	49,1	PASS
4	25	49,1	PASS
5	25	25,5	PASS

Tabel 8 menjelaskan bahwa untuk sudut GZ maksimum pada kondisi I sebesar 27,3°, kondisi II sebesar 26,4°, kondisi III sebesar 49,1°, kondisi IV sebesar 49,1°, dan kondisi V sebesar 25,5°. Nilai sudut GZ pada semua kondisi sudah memenuhi kriteria yang ditetapkan yaitu sebesar 25°.

Tabel 9. Hasil *Running* Analisa Stabilitas Menurut standar *IMO Code A.749(18) Ch 3* Kriteria Nilai MG

Kondisi	Req.	MG	
		Maxsurf	Status
1	0,150	2,058	PASS
2	0,150	1,959	PASS
3	0,150	3,961	PASS
4	0,150	3,795	PASS
5	0,150	5,325	PASS

Pada tabel 9 menjelaskan bahwa nilai awal GMT pada kondisi I sebesar 2,058 m, kondisi II sebesar 1,959 m, kondisi III sebesar 3,961 m, kondisi IV sebesar 3,795 m, dan kondisi V sebesar 5,325 m. Dimana nilai pada setiap kondisi sudah memenuhi kriteria yaitu sebesar 0,15 m.

Hasil analisis stabilitas kapal berdasarkan kriteria IMO A.749 (18) menunjukkan bahwa analisis stabilitas kapal general cargo 11.280 DWT, yang tercantum dalam Tabel 4 hingga 9, menunjukkan bahwa setiap kondisi pada sudut 0° – 30°, 0° – 40°, dan 30° – 40° memiliki nilai GZ di atas standar yang ditetapkan oleh IMO. Hal ini menunjukkan bahwa kapal memiliki momen

pembalik (*righting moment*) yang besar dan cukup stabil saat mengalami kemiringan (*heeling*).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang “Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 11280 DWT dengan Rute Pelayaran Surabaya – Makassar” maka didapatkan kesimpulan yaitu hasil analisa stabilitas pada semua kondisi yang ditetapkan sudah memenuhi kriteria (*pass*). Dari hasil analisis, nilai GZ maksimum yang dihitung secara manual memiliki rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan perhitungan menggunakan software. Rata-rata nilai GZ pada perhitungan manual adalah 11,88 meter, sedangkan perhitungan menggunakan software menghasilkan rata-rata nilai GZ sebesar 19,25 meter. Perbedaan antara kedua perhitungan tersebut adalah 0,62%. Besarnya nilai GZ (lengan penegak) sangat memengaruhi keamanan kapal. Nilai GZ yang lebih rendah pada perhitungan manual disebabkan oleh penempatan muatan yang terkonsentrasi di bagian atas kapal (muatan berat di deck). Dalam penelitian ini, nilai GZ yang diperoleh memenuhi standar kriteria, sehingga kondisi kapal dinyatakan aman untuk digunakan atau beroperasi.

Berdasarkan analisis kondisi kapal sesuai dengan peraturan IMO Code A.749 (18) Ch3. Dapat dilihat pada table 4 sampai 9 bahwa pada kondisi I, II, III, IV, dan V sudah memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Kesimpulan yang dapat diambil penulis dari hasil analisis stabilitas dan evaluasi kriteria IMO yang dilakukan pada kapal general cargo 11280 DWT rute pelayaran Surabaya - Makassar bahwa kapal ini memiliki stabilitas kapal yang baik dan aman untuk beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ivandri, I. P. Mulyatno, and Kiryanto, “Jurnal Teknik Perkapalan,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, p. 785, 2022.
- [2] S. Ali and R. Japri, “Perancangan Bangunan Kapal General Cargo 17000 Dwt Untuk Rute Pelayaran Jakarta - Semarang,” *Zo. Laut J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, vol. 2, no. 1, pp. 20–24, 2021, doi: 10.62012/zl.v2i1.13481.
- [3] A. Adrian, B. Arswendo, and A. B. S. Wibawa, “Perancangan Kapal General Cargo 7000 Dwt Sebagai Sarana Tol Laut Untuk Wilayah Indonesia Bagian Barat,” *Dep. Nav. Archit.*, vol. 4, no. 3, pp. 586–595, 2016.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] V. O. J. Asiva Noor Rachmayani, Modaso, “Experimental Study On The Evaluation Of Working A Ro-Scull For The Indonesian Outrigger Canoe,” p. 6, 2015.
- [8] C. B. Barrass and D. R. Derrett, “Ship Stability for Masters and Mates, Seventh Edition,” *Sh. Stab. Masters Mates, Seventh Ed.*, pp. 1–567, 2012, doi: 10.1016/C2010-0-68323-4.
- [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] D. Jin, H. L. Kite-Powell, E. Thunberg, A. R. Solow, and W. K. Talley, “A model of fishing vessel accident probability,” *J. Safety Res.*, vol. 33, no. 4, pp. 497–510, 2002, doi: 10.1016/S0022-4375(02)00050-6.
- [12] R. H. Ardiansyah, Samuel, and I. P. Mulyatno, “Analisa Stabilitas Kapal Roro Passenger 5000GT Merak-Bakauheni Dengan Variasi Lebar Dan Panjang Bilge Keel,” *Tek. Perkapalan*, vol. 2, no. 3, pp.

345–351, 2014.

- [13] J. V. Taboada and H. G. Lemu, “Analysis of wave energy sources in the north atlantic waters in view of design challenges,” *Proc. Int. Conf. Offshore Mech. Arct. Eng. - OMAE*, vol. 6, no. October, 2016, doi: 10.1115/OMAE2016-54042.
- [14] K. Kiryanto and S. Samuel, “Analisa Hidrostatik Dan Stabilitas Pada Kapal Motor Cakalang Dengan Modifikasi Penambahan Kapal Pancing,” *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 11, no. 2, pp. 62–68, 2014.
- [15] K. Pengangkut and I. Hidup, *Stabilitas*.
- [16] R. Al Usman, *Sistem Ballast*. 2021.
- [17] C. A. Adhitama, E. S. Hadi, and S. Jokosisworo, “Analisa Stabilitas Dan Olah Gerak (Seakeeping) Kapal Pada MV. Pan Marine Setelah Dikonversi Dari Kapal Kru Menjadi Kapal Wisata,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 07, no. 1, pp. 37–48, 2019.
- [18] I. A. Bintoro, B. H. Iskandar, Y. Novita, and M. Imron, “Vol . 8 No . 1 April 2013 Potensi Cng (Compressed Natural Gas) Sebagai Alternatif Bahan Bakar Kapal Penangkap Ikan Berukuran Panjang 11 M Cng (Compressed Natural Gas) Potention As An Fuel Alternative For 11 M Long Fishing Ship,” vol. 8, no. 1, pp. 9–16, 2013.