



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Stabilitas Kapal Kontainer 19430 DWT Rute Pelayaran Makassar – Jakarta

Merlinda Ayu Febrian¹⁾, Samuel¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

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

^{*)}e-mail :merlindayufee@gmail.com

Abstrak

Kapal kontainer memiliki peranan penting dalam distribusi logistik antar pulau di Indonesia sehingga aspek keselamatan pelayaran, khususnya stabilitas kapal, harus diperhatikan dalam proses perancangannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas kapal kontainer 19430 DWT pada rute pelayaran Makassar – Jakarta berdasarkan standar IMO MSC.267 (85). Metode penelitian dilakukan dengan membuat model kapal tiga dimensi menggunakan software Maxsurf Modeler dan dilanjutkan dengan analisis stabilitas menggunakan Maxsurf Stability. Analisis dilakukan pada 15 kondisi pembebanan yang mencakup variasi muatan kontainer, kapasitas tanki, dan ballast water tank. Parameter stabilitas yang dianalisis meliputi area 0–30°, area 0–40°, area 30–40°, nilai maksimum GZ, sudut maksimum GZ, dan Initial GMt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kondisi pembebanan memenuhi kriteria stabilitas IMO. Nilai maksimum GZ yang diperoleh berkisar antara 2,144 m hingga 4,69 m, sedangkan nilai Initial GMt berkisar antara 3,748 m hingga 11,658 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan stabilitas yang baik dan aman untuk dioperasikan pada berbagai kondisi pembebanan.

Kata Kunci : Kapal Kontainer, Stabilitas Kapal, Maxsurf

1. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai lebih dari 17.000 pulau dan bisa disebut sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, sehingga transportasi laut mempunyai peranan yang sangat penting dalam mendukung konektivitas, perekonomian, serta distribusi barang dan penumpang antardaerah. Dengan banyak pulau yang dimiliki Indonesia, sehingga transportasi laut menjadi jalur utama penghubung antarwilayah. Banyaknya daerah yang sulit dijangkau oleh transportasi darat dan udara, sehingga penggunaan transportasi kapal menjadi solusi utama.

Keberadaan kapal ini sangat penting untuk memenuhi kebutuhan transportasi barang dan logistik. Sistem distribusi logistik antar pulau bergantung pada kapal untuk mengangkut bahan pokok, bahan baku dan hasil industri. Kebutuhan ini dipenuhi dengan beragam jenis kapal yang berfokus pada pengiriman bahan-bahan kebutuhan

tersebut, salah satunya menjadi fungsi dari kontainer.

Kapal jenis kontainer merupakan kapal yang dirancang untuk mengangkut peti kemas melalui suatu jalur pelayaran. Muatan peti kemas tidak hanya ditempatkan di dalam palka, tetapi juga disusun di atas geladak (deck) dengan sistem pengikatan yang kuat agar tidak mengalami pergeseran dari posisi semula selama kapal berlayar.[1] Keberadaan kapal ini sangat penting untuk memenuhi kebutuhan ekonomi dan logistik. Untuk mengangkut barang kapal kontainer dirancang menyesuaikan aspek dan peraturan yang berlaku. Kapal yang dirancang dengan tepat dan sesuai dengan aspek dan peraturan yang ada akan dapat memenuhi tujuan kapal tersebut dibangun dan memastikan keamanan kapal ketika beroperasi di lautan lepas sesuai dengan jalur pelayarannya. Selain itu kapal kontainer juga digunakan sebagai alat untuk membawa barang, maka dari itu desain

dan konstruksi kapal kontainer dibuat sedemikian rupa agar barang-barang yang ada di dalam palka terjamin keamanannya.[1]

Dalam perancangan kapal, aspek keselamatan merupakan faktor utama yang tidak dapat diabaikan sejak tahap awal proses desain.[2] Kapal kontainer pun tidak luput dari kemungkinan bahaya yang mungkin terjadi saat proses pelayaran bila tidak dibangun berdasarkan perhitungan rancang yang tepat. Dalam proses perancangan kapal, salah satu aspek penting adalah memperhitungkan juga stabilitas kapal, yang mana hal ini berhubungan erat dengan keselamatan pelayaran.[3]

Seperti yang sudah disebutkan diatas bahwa perhitungan stabilitas kapal akan mempengaruhi implikasi desain dan operasi kapal pada saat pelayaran, terutama terhadap keselamatan kapal dan juga efisiensi pergerakannya.[4] Dalam proses perancangan kapal yang baik, bila ingin menciptakan kapal jenis kontainer yang memiliki stabilitas yang baik maka kita perlu mengacu pada peraturan serta acuan yang ada. Perancangan kapal di Indonesia mengacu pada IMO, yang menyangkut secara rinci mengenai perhitungan stabilitas serta olah gerak kapal yang baik untuk berbagai jenis kapal termasuk kapal kontainer.

Main dimension kapal harus mengikuti prinsip dalam perancangan, salah satu yang perlu diperhatikan adalah stabilitas kapal dengan memperhatikan ukuran yang ideal *cargo capacity* dan total deck yang cukup. Perancangan yang benar akan increase stabilitas kapal yang ideal.[5]

Dalam penelitian yang berjudul "Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 11280 DWT dengan Rute Pelayaran Surabaya–Makassar", ditemukan bahwa hasil analisis stabilitas telah memenuhi semua kriteria. Bahwa secara rata-rata perhitungan analitik(manual) mempunyai nilai GZ maximum lebih rendah dibanding dengan numerik(*software*).[5]

Pada penelitian lain yang berjudul "Analisis Stabilitas Kapal Oil Tanker 10850 DWT Perairan Bintan – Lhokseumawe" diperoleh bahwa kurva GZ stabilitas kapal MT Arcturus menunjukkan nilai positif hingga kemiringan 70° untuk keempat kondisi yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan kemampuan stabilitas kapal yang baik.[6]

Berdasarkan teori stabilitas pada kapal terdapat beberapa titik utama yang digunakan dalam analisis, yaitu gravity, buoyancy, dan metacentre. Titik berat kapal (center of gravity/G) adalah titik tempat resultan seluruh gaya berat kapal yang mengarah ke bawah, dipengaruhi oleh lokasi muatan dan struktur kapal. Titik apung (Centre of Buoyancy/B) merupakan titik kerja gaya apung yang arahnya vertikal ke atas pada bagian badan kapal yang terendam air. Adapun titik

metacentre merupakan titik potong pada garis vertikal dari center of buoyancy ketika kapal *heeling* dan garis tegak pada normal condition.[7]

Letak titik berat kapal (center of gravity/G) ditentukan oleh distribusi muatan serta penempatan komponen-komponen kapal lainnya. Keadaan tersebut berpengaruh terhadap stabilitas statis karena berkaitan langsung dengan besarnya nilai lengan penegak (righting arm/GZ). Ketika kapal mengalami kemiringan (heeling) dan tidak mampu kembali ke posisi tegak awal, melainkan terus bertambah miring hingga nilai GZ bernilai negatif, maka kondisi tersebut menandakan bahwa kapal berada dalam keadaan keseimbangan labil (unstable equilibrium).[8]

Melihat pentingnya nilai stabilitas kapal pada saat perancangan, maka penelitian ini ada untuk melihat lebih dalam mengenai stabilitas kapal oil tanker MV Cetak Media dengan ukuran 19430 DWT. Dengan menganalisis lebih dalam keadaan kapal kapal ini diharapkan mengetahui dengan pasti nilai stabilitas tersebut serta mengetahui tingkat disesuaikan juga dengan karakteristik dari gelombang pada jalur perairan kapal tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu melihat lebih dalam mengenai keadaan kapal kontainer mengenai responnya terhadap pengaruh dari luar, nilai stabilitas yang diteliti menggambarkan juga keamanan kapal saat pelayaran. Diharapkan penelitian dapat menjadi acuan untuk proses perancangan kedepannya, sehingga kemampuan stabilitas kapal akan menjadi acuan penting dalam prosesnya. Penelitian ini diharap dapat memberi saran ataupun rekomendasi yang dapat digunakan terhadap perancangan kapal.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal kontainer 19430 DWT dengan rute pelayaran Makassar - Jakarta adalah objek yang digunakan dalam penelitian ini. Sebelum melanjutkan analisis, data yang diperlukan untuk rancangan kapal termasuk dimensi, garis, dan *general arrangement* kapal. Setelah mendapatkan data ini, selanjutnya dibuat model kapal dalam bentuk 3D yang kemudian digunakan untuk analisis menggunakan perangkat lunak yang diperlukan dalam hal ini *Maxsurf Stability*. Tabel 1 menunjukkan data dari *Main Dimension* kapal yang akan digunakan sebagai objek penelitian.

No	Dimensi Kapal	Unit
1	<i>Length overall</i> (LOA)	180.67 m
2	<i>Length waterline</i> (LWL)	177.23 m
3	<i>Length between perpendicular</i> (LPP)	172.07 m
4	<i>Breadth</i> (B)	29.22 m
5	<i>Height</i> (H)	13.57 m

6	Draft (T)	8.58
	Dead weight	19430 ton
8	Service speed (Vs)	13.63 knots

2.2. Parameter Penelitian

Analisis pada stabilitas kapal dilakukan dengan parameter tetap, yaitu desain hull kapal dengan *main dimension* kapal yang meliputi Length Overall (LOA), Length Between Perpendiculars (LPP), lebar kapal (B), draft (T), tinggi kapal (H), serta kecepatan kapal (Vs). Sementara itu, parameter yang berubah dalam analisis meliputi kondisi muatan kapal.

Kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah kapal kontainer berkapasitas 19430 DWT menggunakan bantuan perangkat lunak *Maxsurf*. Penelitian ini menggunakan dua jenis variabel, yaitu :

- a. Kecepatan kapal
- b. Arah gelombang

Gaya hidrodinamis dan reaksi kapal terhadap gangguan luar memengaruhi stabilitas kapal. Gaya hidrodinamis, periode oleng, hambatan gelombang, dan respon terhadap gangguan adalah beberapa efeknya. Namun, pengaruh arah gelombang menentukan jenis dan tingkat gangguan yang memengaruhi stabilitas kapal secara longitudinal dan lateral. Gelombang melintang, melintang, miring, frekuensi, dan resonansi adalah efek utamanya.

2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini memiliki tahapan sebagai berikut:

1. *Software Maxsurf Modeller* akan digunakan untuk membuat model 3D dengan linesplan sebagai acuannya.
2. 3D model kapal yang telah dibuat di *software Maxsurf Modeller* kemudian akan dilakukan Analisis stabilitas kapal menggunakan *software Maxsurf Stability*.

2.4. Stabilitas Kapal

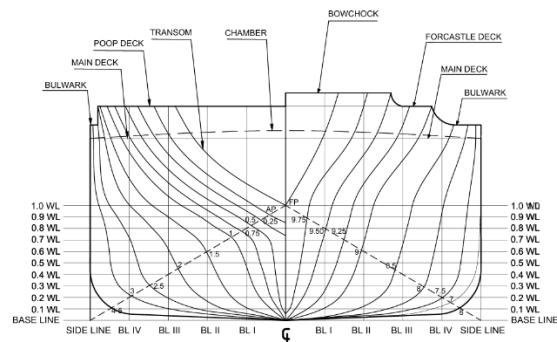
Stabilitas kapal merupakan kemampuan pada kapal untuk kembali ke posisi keseimbangan awal (normal) setelah terjadi kemiringan (heeling) akibat pengaruh gaya eksternal. Gaya-gaya tersebut dapat timbul karena adanya perubahan posisi muatan pada kapal maupun kondisi lingkungan eksternal, meliputi angin, arus, gelombang dan faktor lainnya[8]. Ketika bergerak, kapal tetap bisa kembali ke posisi tegak walaupun dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti gelombang laut dan kecepatan yang dihasilkan oleh angin [9].

Dari sifat keseimbangan, stabilitas sendiri dibagi menjadi 2 yaitu stabilitas dinamis dan

stabilitas statis. Stabilitas statis adalah kondisi stabilitas yang dialami kapal pada saat berada dalam keadaan diam, yang meliputi stabilitas melintang dan stabilitas membujur. Sementara itu, stabilitas dinamis merupakan kondisi stabilitas kapal ketika mengalami gerakan seperti oleng, mengguncak, maupun kemiringan yang besar. [9]

2.5. Linesplan

BODY PLAN



Gambar 2. Linesplan

Linesplan merupakan salah satu elemen utama yang berfungsi sebagai pedoman dalam proses pembangunan kapal, khususnya yang berkaitan dengan bentuk badan kapal, seperti garis lurus, lengkungan, serta tinggi badan kapal. Rencana garis (linesplan) tersebut terbagi menjadi tiga bagian, meliputi gambar kapal tampak atas (half breadth plan), gambar kapal tampak samping (sheer plan) dan gambar badan kapal tampak depan (body plan).[10] Linesplan atau rencana garis dibuat dengan tujuan untuk mengetahui bentuk badan kapal, khususnya pada bagian yang berada atau tercelup di bawah waterline.[11]

2.6. Standar Kriteria

IMO mempunyai kriteria stabilitas kapal sebagai acuan standar internasional sebagai berikut.

Tabel 2 Kriteria Stabilitas Kapal pada IMO

Kriteria	Limit	Unit
Area 0 to 30	0,055	m.rad
Area 0 to 40	0,090	m.rad
Area 30 to 40	0,321	m.rad
Max GZ at 30 or greater	0,200	M
Angle of max GZ	25	Deg
Initial GMt	0,150	m

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Pemodelan 3D Software Maxsurf



Gambar 1. Menunjukkan model kapal 3D

pada software Maxsurf Modeler. Model tersebut akan digunakan untuk analisis stabilitas kapal pada software Maxsurf Stability.

2) Muatan Kapal

Muatan kapal yang digunakan untuk perhitungan stabilitas kapal kontainer pada penelitian ini, meliputi beberapa variasi dari muatan kosong hingga penuh.

3) Pembuatan Room Definition

Ruang-ruang pada kapal dibagi dengan melakukan setup pada room definition sesuai dengan kondisi kapal sebenarnya. Ruang tersebut meliputi tangki dan kompartemen. Proses pembuatannya dilakukan berdasarkan gambar rencana umum (*general arrangement*) kapal kontainer.

4) Pembuatan Loadcase

Penelitian ini loadcase dibedakan menjadi 15 yaitu

Loadcase No.	Container (TEU)	Fuel Oil (%)	WBT (%)
1	684 (100%)	100	0
2	684 (100%)	50	0
3	684 (100%)	10	0
4	621 (T82-H)	100	0
5	621 (T82-H)	50	0
6	621 (T82-H)	10	0
7	621 (T82-V)	100	0
8	621 (T82-V)	50	0
9	621 (T82-V)	10	0
10	468 (Hatch Only)	100	0
11	468 (Hatch Only)	50	0
12	468 (Hatch Only)	10	0
13	0	100	100
14	0	50	100
15	0	10	100

Tabel menunjukkan 15 variasi kondisi pembebanan (*loadcase*) yang digunakan untuk analisis stabilitas kapal. Variasi dilakukan berdasarkan jumlah muatan kontainer, kapasitas *fuel oil*, dan *Water Ballast Tank* (WBT). Loadcase 1–3 merepresentasikan kondisi muatan kontainer penuh sebesar 684 TEU (100%) dengan variasi *fuel oil* 100%, 50%, dan 10% serta WBT 0%. Loadcase 4–6 menggunakan muatan 621 TEU dengan konfigurasi T82-H, sedangkan Loadcase 7–9 menggunakan muatan 621 TEU dengan konfigurasi T82-V, masing-masing pada variasi

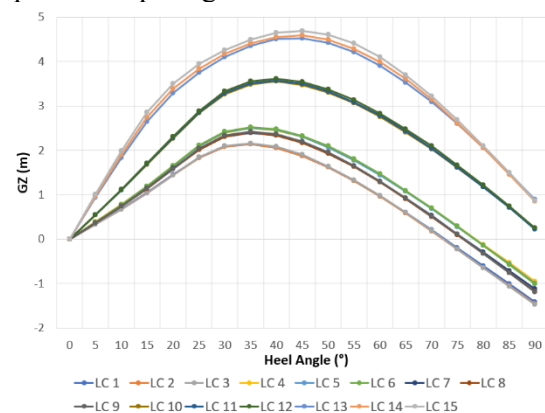
fuel oil yang sama dan WBT 0%. Loadcase 10–12 menggambarkan kondisi Hatch Only dengan muatan 468 TEU dan variasi *fuel oil* 100%, 50%, dan 10%. Sementara itu, Loadcase 13–15 menunjukkan kondisi kapal tanpa muatan kontainer (0 TEU) dengan WBT penuh (100%) dan variasi *fuel oil* sebesar 100%, 50%, dan 10%. Kelima belas loadcase tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan muatan, bahan bakar, dan ballast terhadap karakteristik stabilitas kapal pada berbagai kondisi operasional.

5) Hasil Analisis Intact Stability

Maxsurf stability digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis stabilitas kapal berdasarkan pada lima belas kondisi berdasarkan loadcase yang telah ditentukan. Hasil penelitian berupa grafik nilai GZ dari kondisi tersebut.

Kurva stabilitas statis (*curves of static stability*) adalah grafik yang menunjukkan perubahan nilai lengan penegak (GZ) pada berbagai sudut oleng kapal, dimulai dari kondisi ketika nilai GZ sama dengan nol hingga kembali mencapai nol, pada displacement tertentu di perairan tenang atau saat kapal berada di pelabuhan.[10]

Grafik nilai GZ pada Loadcase 1 hingga 15 dapat dilihat pada gambar 3.



Analisis Intact Stability dilakukan berdasarkan kriteria dari International Maritime Organization atau IMO MSC.267 (85) memanfaatkan *software Maxsurf Stability*. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil bahwa seluruh loadcase yang ditentukan berhasil memenuhi semua kriteria stabilitas.

Tabel 3 Hasil Analisis Intact Stability Loadcase 1, 2 dan 3

Kriteria	Limit	LC 1	LC 2	LC 3	Unit	Status
Area 0 to 30	0,055	0,559	0,555	0,556	m,rad	Pass
Area 0 to 40	0,09	0,929	0,925	0,929	m,rad	Pass
Area 30 to 40	0,03	0,370	0,370	0,373	m,rad	Pass

Max GZ at 30 or greater	0,2	2,144	2,147	2,162	m	Pass
Angle of max GZ	25	34,50	34,50	34,50	rad	Pass
Initial GMt	0,15	3,804	3,804	3,748	m	Pass

Tabel 1 adalah rekapitulasi nilai stabilitas kondisi pembebanan 1, 2 dan 3. Pada sudut 0-30° kondisi 1 sebesar 0,559 m.rad, kondisi 2 sebesar 0,555 m.rad, kondisi 3 sebesar 0,556. Dimana nilai ini sudah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 0,055 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 0-40° kondisi 1 sebesar 0,929 m.rad, kondisi 2 sebesar 0,925 m.rad, kondisi 3 sebesar 0,373 m.rad. Dimana nilai ini sudah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,09 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 30-40° kondisi 1 sebesar 0,370 m.rad, kondisi 2 sebesar 0,370 m.rad, kondisi 3 sebesar 0,373 m.rad. Dimana nilai ini telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,03 m.rad.

Selanjutnya kriteria nilai GZ area 30 atau lebih pada kondisi 1 sebesar 2,144 m, kondisi 2 sebesar 2,147 m, kondisi 3 sebesar 2,162 m. Dimana nilai ini telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,2 m.

Selanjutnya untuk sudut GZ maksimum pada kondisi 1 sebesar 34,50 rad, kondisi 2 sebesar 34,50 rad, kondisi 3 sebesar 34,50 rad. Dimana nilai ini telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 25 rad.

Selanjutnya pada Initial GMt kondisi 1 sebesar 3,804 m, kondisi 2 sebesar 3,804 m, kondisi 3 sebesar 3,748 m. Dimana nilai ini telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,15 m.

Tabel 4 Hasil Analisis Intact Stability Loadcase 4, 5 dan 6

Kriteria	Limit	LC			Unit	Status
		4	5	6		
Area 0 to 30	0,055	0,638	0,636	0,369	m,rad	Pass
Area 0 to 40	0,09	1,070	1,069	1,076	m,rad	Pass
Area 30 to 40	0,03	0,432	0,433	0,437	m,rad	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	2,501	2,507	2,527	m	Pass
Angle of max GZ	25	35,90	35,90	35,90	rad	Pass
Initial GMt	0,15	4,389	4,341	4,284	m	Pass

Tabel 2 adalah rekapitulasi nilai stabilitas kondisi pembebanan 4, 5 dan 6. Pada sudut 0-30° kondisi 4 sebesar 0,638 m.rad, kondisi 5 sebesar 0,636 m.rad, dan kondisi 6 sebesar 0,369 m.rad. Nilai ini telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu sebesar 0,055 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 0-40° kondisi 4 sebesar 1,070 m.rad, kondisi 5 sebesar 1,069 m.rad, dan kondisi 6 sebesar 1,076 m.rad, dimana seluruh nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,09 m.rad.

Pada sudut 30-40° kondisi 4 sebesar 0,432 m.rad, kondisi 5 sebesar 0,433 m.rad, dan kondisi 6 sebesar 0,437 m.rad, yang juga telah memenuhi kriteria sebesar 0,03 m.rad. Untuk kriteria nilai GZ maksimum pada sudut 30° atau lebih, kondisi 4 sebesar 2,501 m, kondisi 5 sebesar 2,507 m, dan kondisi 6 sebesar 2,527 m, dimana nilai ini telah melampaui batas minimum yang disyaratkan yaitu 0,2 m.

Selanjutnya untuk sudut GZ maksimum, pada ketiga kondisi diperoleh nilai yang sama yaitu 35,90°, yang telah memenuhi kriteria minimum sebesar 25°.

Terakhir, pada Initial GMt, kondisi 4 sebesar 4,389 m, kondisi 5 sebesar 4,341 m, dan kondisi 6 sebesar 4,284 m, dimana seluruhnya telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu 0,15 m.

Tabel 5 Hasil Analisis Intact Stability Loadcase 7, 8 dan 9

Kriteria	Limit	LC			Unit	Status
		7	8	9		
Area 0 to 30	0,055	0,614	0,611	0,6141	m,rad	Pass
Area 0 to 40	0,09	1,028	1,026	1,0319	m,rad	Pass
Area 30 to 40	0,03	0,414	0,415	0,4178	m,rad	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	2,398	2,401	2,418	m	Pass
Angle of max GZ	25	35,50	35,500	35,5	rad	Pass
Initial GMt	0,15	4,221	4,160	4,098	m	Pass

Tabel 3 merupakan rekapitulasi nilai stabilitas untuk kondisi pembebanan 7, 8, dan 9. Pada sudut 0-30°, diperoleh nilai untuk kondisi 7 sebesar 0,614 m.rad, kondisi 8 sebesar 0,611 m.rad, dan kondisi 9 sebesar 0,6141 m.rad. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu minimal 0,055 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 0-40°, nilai yang diperoleh adalah 1,028 m.rad untuk kondisi 7, 1,026 m.rad untuk kondisi 8, dan 1,0319 m.rad untuk kondisi 9, dimana seluruhnya telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,09 m.rad.

Pada sudut 30-40°, nilai stabilitas untuk kondisi 7 adalah 0,414 m.rad, kondisi 8 sebesar 0,415 m.rad, dan kondisi 9 sebesar 0,4178 m.rad, yang juga telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,03 m.rad.

Untuk kriteria nilai GZ maksimum pada sudut 30° atau lebih, diperoleh nilai sebesar 2,398 m pada kondisi 7, 2,401 m pada kondisi 8, dan 2,418 m pada kondisi 9, yang semuanya telah melampaui batas minimum sebesar 0,2 m.

Selanjutnya, sudut maksimum GZ untuk ketiga kondisi masing-masing adalah 35,50°, 35,500°, dan 35,5°, yang telah memenuhi kriteria minimum sebesar 25°.

Terakhir, nilai Initial GMt pada kondisi 7 adalah 4,221 m, kondisi 8 sebesar 4,160 m, dan kondisi 9 sebesar 4,098 m, dimana seluruh nilai tersebut telah memenuhi kriteria minimum yang disyaratkan yaitu sebesar 0,15 m.

Tabel 6 Hasil Analisis Intact Stability Loadcase 10, 11 dan 12

Kriteria	Limit	LC			Unit	Status	
		10	11	12			
Area to 30	0	0,055	0,8803	0,8844	0,8944	m,rad	Pass
Area to 40	0	0,09	1,4845	1,4928	1,5099	m,rad	Pass
Area to 40	30	0,03	0,6042	0,6084	0,6156	m,rad	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	3,549	3,574	3,616		m	Pass
Angle of max GZ	25	39,5	39,5	39,5		rad	Pass
Initial GMt	0,15	6,27	6,21	6,243		m	Pass

Tabel 4 merupakan rekapitulasi nilai stabilitas untuk kondisi pembebanan 10, 11, dan 12. Pada sudut 0–30°, diperoleh nilai untuk kondisi 10 sebesar 0,8803 m.rad, kondisi 11 sebesar 0,8844 m.rad, dan kondisi 12 sebesar 0,8944 m.rad. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu minimal 0,055 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 0–40°, nilai yang diperoleh adalah 1,4845 m.rad untuk kondisi 10, 1,4928 m.rad untuk kondisi 11, dan 1,5099 m.rad untuk kondisi 12, dimana seluruhnya telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,09 m.rad.

Pada sudut 30–40°, nilai stabilitas untuk kondisi 10 adalah 0,6042 m.rad, kondisi 11 sebesar 0,6084 m.rad, dan kondisi 12 sebesar 0,6156 m.rad, yang juga telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,03 m.rad.

Untuk kriteria nilai GZ maksimum pada sudut 30° atau lebih, diperoleh nilai sebesar 3,549 m pada kondisi 10, 3,574 m pada kondisi 11, dan 3,616 m pada kondisi 12, yang semuanya telah melampaui batas minimum sebesar 0,2 m.

Selanjutnya, sudut maksimum GZ untuk ketiga kondisi masing-masing adalah 39,5°, 39,5°, dan 39,5°, yang telah memenuhi kriteria minimum sebesar 25°.

Terakhir, nilai Initial GMt pada kondisi 10 adalah 6,27 m, kondisi 11 sebesar 6,21 m, dan kondisi 12 sebesar 6,243 m, dimana seluruh nilai tersebut telah memenuhi kriteria minimum yang disyaratkan yaitu sebesar 0,15 m.

Tabel 7 Hasil Analisis Intact Stability Loadcase 13, 14 dan 15

Kriteria	Limit	LC			Unit	Status	
		13	14	15			
Area to 30	0	0,055	1,2703	1,3073	0,3508	m,rad	Pass
Area to 40	0	0,09	2,0278	2,074	2,1326	m,rad	Pass
Area to 40	30	0,03	0,7574	0,7668	0,7819	m,rad	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	4,533	4,594	4,69		m	Pass
Angle of max GZ	25	43,2	44,1	44,1		rad	Pass
Initial GMt	0,15	10,73	11,134	11,658		m	Pass

Tabel 5 merupakan rekapitulasi nilai stabilitas untuk kondisi pembebanan 13, 14, dan 15. Pada sudut 0–30°, diperoleh nilai untuk kondisi 13 sebesar 1,2703 m.rad, kondisi 14 sebesar 1,3073 m.rad, dan kondisi 15 sebesar 0,3508 m.rad. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang disyaratkan yaitu minimal 0,055 m.rad.

Selanjutnya pada sudut 0–40°, nilai yang diperoleh adalah 2,0278 m.rad untuk kondisi 13, 2,074 m.rad untuk kondisi 14, dan 2,1326 m.rad untuk kondisi 15, dimana seluruhnya telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,09 m.rad.

Pada sudut 30–40°, nilai stabilitas untuk kondisi 13 adalah 0,7574 m.rad, kondisi 14 sebesar 0,7668 m.rad, dan kondisi 15 sebesar 0,7819 m.rad, yang juga telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,03 m.rad.

Untuk kriteria nilai GZ maksimum pada sudut 30° atau lebih, diperoleh nilai sebesar 4,533 m pada kondisi 13, 4,594 m pada kondisi 14, dan 4,69 m pada kondisi 15, yang semuanya telah melampaui batas minimum sebesar 0,2 m.

Selanjutnya, sudut maksimum GZ untuk ketiga kondisi masing-masing adalah 43,2°, 44,1°, dan 44,1°, yang telah memenuhi kriteria minimum sebesar 25°.

Terakhir, nilai Initial GMt pada kondisi 13 adalah 10,73 m, kondisi 14 sebesar 11,134 m, dan kondisi 15 sebesar 11,658 m, dimana seluruh nilai tersebut telah memenuhi kriteria minimum yang disyaratkan yaitu sebesar 0,15 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai “Analisis Stabilitas pada Kapal Kontainer 19430 DWT Rute Pelayaran Makassar – Jakarta”, dapat disimpulkan bahwa hasil analisis stabilitas pada seluruh kondisi yang telah ditetapkan memenuhi kriteria stabilitas yang dipersyaratkan oleh International Maritime Organization. Berdasarkan hasil perhitungan pada kondisi 1 sampai kondisi 15, seluruh parameter stabilitas seperti area 0–30°, area 0–40°, area 30–40°, nilai maksimum GZ pada

sudut 30° atau lebih, sudut maksimum GZ, serta nilai Initial GMt telah berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai GZ maksimum mengalami peningkatan pada setiap variasi kondisi pembebanan. Pada kondisi awal, nilai maksimum GZ berada pada kisaran 2,144 m hingga 2,162 m, sedangkan pada kondisi pembebanan terbesar nilai GZ maksimum mencapai 4,69 m. Hal ini menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan lengan penegak (righting arm) yang baik dalam mengembalikan posisi kapal ke keadaan seimbang saat mengalami kemiringan. Selain itu, nilai sudut maksimum GZ pada seluruh kondisi berada di atas 25° , yaitu berkisar antara $34,5^\circ$ hingga $44,1^\circ$, sehingga memenuhi standar stabilitas yang telah ditetapkan.

Nilai Initial GMt yang diperoleh pada seluruh kondisi juga menunjukkan hasil yang baik, yaitu berkisar antara 3,748 m hingga 11,658 m. Besarnya nilai GMt menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan stabilitas awal yang baik, sehingga kapal mampu mempertahankan keseimbangan dengan aman selama beroperasi. Semakin besar nilai GMt dan GZ yang diperoleh, maka tingkat keamanan dan kemampuan kapal dalam melawan gaya oling menjadi semakin baik.

Berdasarkan analisis stabilitas kapal sesuai dengan ketentuan IMO MSC.267 (85), dapat dilihat bahwa seluruh kondisi pembebanan dari kondisi 1 sampai kondisi 15 telah memenuhi kriteria stabilitas yang dipersyaratkan. Dengan demikian, kapal dinyatakan memiliki stabilitas yang baik dan aman untuk dioperasikan pada berbagai kondisi pembebanan yang telah dianalisis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. Sofi'i, M., & Djaja, *Teknik Konstruksi Kapal Baja Jilid 1*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [2] C. B. Barrass and D. R. Derrett, *Ship Stability For Masters And Mates, Seventh Edition*, 7th ed. Sh. Stab. Masters Mates, 2010.
- [3] E. Eliopoulou, A. Alissafaki, and A. Papanikolaou, "Statistical Analysis of Accidents and Review of Safety Level of Passenger Ships," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/jmse11020410.
- [4] R. Al Usman, "Optimalisasi Penggunaan Sistem Ballast Untuk Stabilitas Kapal Setelah Bongkar Muat Di MV. Meratus Medan 1," Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, 2021.
- [5] H. P. Mukti, D. Chrismianto, and P. Manik,

"Analisa Stabilitas Kapal General Cargo 11280 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya-Makassar," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 4, 2024.

- [6] R. J. Kusuma, B. Arswendo, and D. Chrismianto, "Analisis Stabilitas Kapal Oil Tanker 10850 DWT Perairan Bintan-Lhokseumawe," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 4, Feb. 2025.
- [7] M. V. O. Joulanda, "Experimental Study On The Evaluation Of Working A Ro-Scull For The Indonesian Outrigger Canoe," doctoral Thesis, Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University, Nagasaki, Japan, 2015.
- [8] M. Alfaruqi, A. Trimulyono, and A. F. Zakki, "Perancangan Kapal Container 21300 DWT Untuk Rute Pelayaran Jakarta-Makassar," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [9] A. F. Molland, "The Maritime Engineering Reference Book," 2008.
- [10] K. J. Rawson and E. C. Tupper, *Basic Ship Theory*, Fifth Edit. Elsevier, 2001.
- [11] K. Anam, S. Hadi, and P. Manik, "Pembuatan Aplikasi Perancang Lines Plan Dengan Metode Diagram NSP (Nederlandsch Scheepbouwkundig Proefstation) Berbasis Macro VBA Ms. Office Excel Dan Pendekatan B-Spline Untuk Mempermudah Proses Perancangan Kapal," 2016.