



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa *2nd Generation Intact Stability Criteria* fenomena *Parametric Rolling* pada Kapal Tanker di Wilayah Perairan Indonesia

Aldino Ihsan^{1*)}, Deddy Chrismianto¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Perancangan Kapal dibantu Komputer

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

^{*)}e-mail :aldinoihsan@outlook.com

Abstrak

IS-Code 2008 dirancang dengan data penelitian yang berumur sudah lebih dari 50 tahun. Data kecelakaan terbaru menunjukkan banyaknya kelemahan rules tersebut, diantaranya tidak dapat mendeteksi fenomena kegagalan seperti parametric rolling. *2nd Generation Intact Stability criteria* (SGISc) adalah rules baru yang tengah dikembangkan oleh IMO untuk menggantikan IS-Code 2008. Pada saat penulisan, SGISc bersifat disarankan untuk digunakan, untuk memperoleh data pendukung selama proses finalisasi oleh IMO. Data penelitian yang mengaplikasikan rules ini di perairan Indonesia masih sangat minim, sedangkan untuk penelitian diluar Indonesia sudah banyak. Sehingga pada tugas akhir ini penulis bertujuan untuk menerapkan aturan baru tersebut pada kapal yang berada di perairan Indonesia, lebih tepatnya pada kapal tanker 6500 LTDW dan 17500 LTDW. Berdasarkan penelitian, kedua kapal lolos untuk level 1 dengan nilai $\Delta GM/GM < 0,17$ untuk kedua kapal. Pada level 2, kedua kapal memenuhi kriteria dimana nilai 1st check C1 dan second check C2 $< 0,06$, ini terjadi pada semua kondisi permuatan. Level 2 merupakan penentu akhir dari SGISc fenomena parametric rolling. Apabila kapal memenuhi kriteria level 2 ini, maka kapal dianggap tidak rentan terhadap fenomena kegagalan parametric rolling.

Kata Kunci: Analisa Stabilitas, Parametric Rolling, *2nd Generation Intact Stability Criteria*

1. PENDAHULUAN

Kapal adalah bangunan terapung yang berada diatas laut. Agar kapal dapat dinilai layak laut, kapal harus memiliki stabilitas yang baik. Baik atau tidaknya stabilitas sebuah kapal adalah sebuah standar yang diatur oleh *International Maritime Organization* (IMO).

Aturan IMO yang mengatur tentang stabilitas kapal, tertuang pada IS-CODE 2008. Aturan ini mulai dirancang dari tahun 1968, dan banyak mengacu pada penelitian Rahola yang melakukan analisis statistik pada kapal dalam jumlah besar yang telah diketahui sebagai aman dan tidak aman pada keadaan *intact stability* [1].

Karena *rules* ini berpatokan pada penelitian pada kapal yang dirancang, dan dioperasikan lebih dari 50 tahun yang lalu, ilmu hidrodinamika tidak terlalu digunakan karena alasan ini. Kriteria yang berlaku juga tidak mempertimbangkan fenomena seperti kecepatan kapal, *roll damping*, massa

momen inersia, statistik gelombang, faktor manusia, dan lainnya. Perkembangan teknologi serta teori kapal telah memungkinkan untuk mempertimbangkan hal-hal tersebut [2].

Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, *second generation intact stability criteria* atau SGISc dikembangkan oleh IMO untuk menggantikan *first generation intact stability criteria* atau IS-CODE 2008. Kerangka dari rules ini sudah tertuang pada perancangan *Part C* dari IS-Code 2008 yang kemudian di cabut dan diganti menjadi dokumen internal MSC.1/Circ.1281. SGISc mulai dikerjakan dari tahun 2007 oleh Working Group on Intact Stability (WGIS) pada sesi sub komite SDC atau Ship Design and Construction [3].

Karena SGISc ini nantinya akan memperhatikan penyebab terjadinya suatu fenomena stabilitas dari sudut pandang hidrodinamika, yang berarti tidak terlalu berpatokan pada data statistik kecelakaan kapal,

bisa menjadi jaminan bahwa kriteria ini secara teori dapat diaplikasikan kepada seluruh jenis kapal, termasuk kapal yang akan dibuat di masa depan. Dan yang terpenting, kriteria ini akan memperhitungkan sifat dinamis kapal ketika dihadapkan dengan ombak [4].

Kriteria yang baru ini distrukturkan atas tiga tingkatan. Tingkatan pertama bertujuan untuk menilai apakah ada kemungkinan kapal rentan terhadap suatu fenomena kegagalan. Tingkatan pertama ini terdiri dari formula yang simpel dan mudah untuk diaplikasikan. Apabila kapal ditemukan rentan pada tingkatan pertama ini, maka tingkatan kedua perlu diaplikasikan. Tingkatan kedua terdiri dari formula yang lebih kompleks dan memiliki hasil yang lebih variatif dibanding tingkatan pertama. Perhitungan yang lebih detail disini akan membuktikan apakah kekhawatiran pada tingkat pertama itu benar atau salah. Apabila salah, maka kapal dianggap tidak rentan terhadap fenomena kegagalan. Jika sebaliknya, diperlukan tingkatan ketiga yaitu perhitungan secara langsung atau *direct assessment* dengan metode yang disarankan [5].

Cakupan dari SGISc adalah menyediakan metode agar dapat menilai apakah suatu kapal rentan terhadap sebuah fenomena kegagalan yang tidak dicakup oleh *rules* sebelumnya. Salah satunya adalah fenomena *Parametric Rolling*, dimana ketika kapal berada di tengah lembah gelombang ombak, kapal mengalami peningkatan stabilitas sehingga menghasilkan *restoring forces* yang kuat. Ketika kapal sedang kembali pada kedudukan awalnya, *rolling*-nya menjadi semakin besar akibat kenaikan stabilitas kapal. Jika pada saat itu kapal sedang berada pada puncak gelombang, stabilitasnya menjadi berkurang dan *rolling* kapal akan semakin parah akibat penambahan kecepatan *rolling* sebelumnya. Kejadian ini terjadi secara berulang-ulang sehingga *rolling* kapal menjadi tidak terkendali [6].

Pada saat penulisan, SGISc bersifat sebagai *Interim Guidelines* atau panduan sementara, dan negara-negara anggota dari IMO diundang untuk menggunakan *rules* ini dengan *Part A IS-Code 2008* yang bersifat wajib digunakan. Ini bertujuan untuk memberikan pengalaman penggunaan SGISc pada pihak-pihak yang terkait di industri perkapalan dan juga sebagai referensi bagi IMO [7].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penerapan SGISc fenomena *Parametric Rolling*, terhadap kapal yang berlayar di perairan Indonesia, lebih tepatnya pada kapal *Crude Oil Tanker 6500 LTDW* dan *17500 LTDW* guna mengetahui apakah kapal tersebut memenuhi standar SGISc atau tidak.

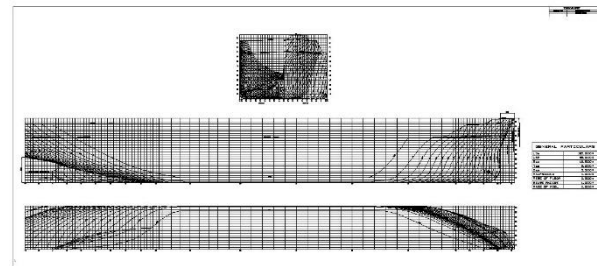
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

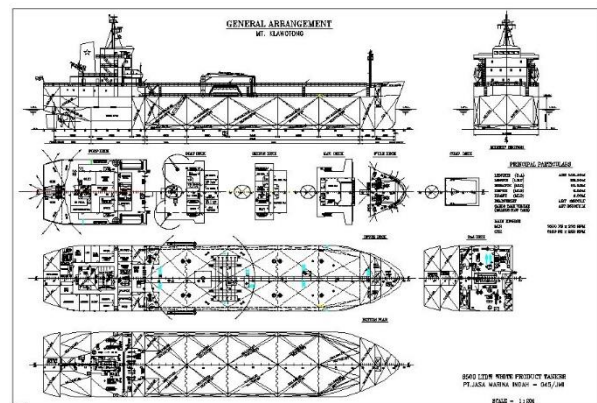
Tabel 1. Ukuran Utama dan Rencana Umum

Ship Dimensions	COT 6500 LTDW	COT 17500 LTDW
Length Overall	105 m	157.5 m
Breadth	18.8 m	27.7 m
Height	9.5 m	12 m
Draft	6 m	7 m
Dead Weight	6500 LT	17500 LT
Speed	12 knot	13 knot
Cb	0.77	0.82
LCG	48.74 m	73.98 m
VCG	6.28 m	8.32 m

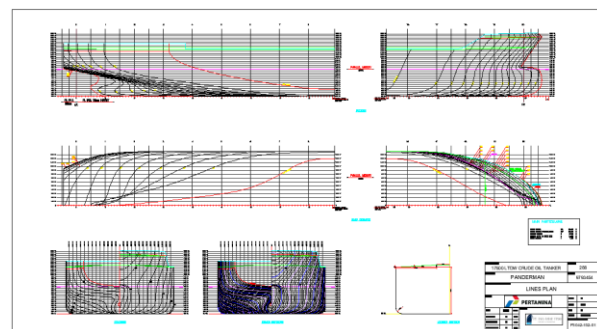
Tabel 1 merupakan *principal dimension* dari kapal tanker 6500 dan 17500 LTDW. Gambar 1-4 adalah rencana garis dan rancangan umum dari kapal yang diteliti untuk digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model 3D kapal.



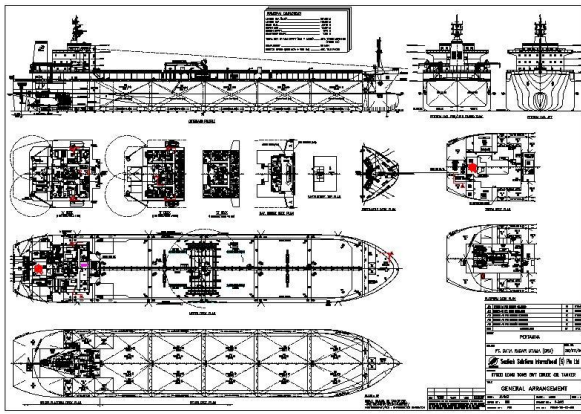
Gambar 1. Linesplan Tanker 6500 LTDW



Gambar 2. General Arrangement Tanker 6500 LTDW



Gambar 3. Linesplan Tanker 17500 LTDW



Gambar 4. General Arrangement Tanker 17500 LTDW

2.2. Perlakuan pada Objek

Model kapal akan dianalisa stabilitasnya dengan menggunakan 5 kondisi muatan, kondisi I *Lightship*, kondisi II *Full Ballast Departure*, kondisi III *Full Ballast Arrival*, kondisi IV *Full Load Departure*, dan kondisi V *Full Load Arrival*. Lebih jelasnya terdapat pada tabel 2. Pada masing-masing kondisi muatan, model kapal akan diterapkan 7 macam ketinggian gelombang pada kapal saat kondisi statis dan 3 macam saat kondisi dinamis. Kondisi ketinggian ini diambil berdasarkan ketinggian gelombang di perairan Indonesia.

Tabel 2. Persentase muatan pada masing-masing kondisi muatan.

Jenis Tanki	Persentase muatan				
	Kondisi I	Kondisi II	Kondisi III	Kondisi IV	Kondisi V
Balas	25 %	100 %	100 %	0 %	0 %
Bahan Bakar	0 %	100 %	10 %	100 %	10 %
Bilga	0 %	90 %	0 %	90 %	0 %
Air Tawar	0 %	100 %	10 %	100 %	10 %
Pelumas	0 %	98 %	10 %	98 %	10 %

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Perancangan Kapal dibantu Komputer pada Gedung Kuliah Bersama Departemen S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

2.4. Langkah Penelitian

2.4.1. Pembuatan Model Kapal

Model dibuat dengan menggunakan *software* permodelan dari data *linesplan* yang berformat CAD. Nantinya hasil permodelan akan diekspor dalam format IGES.

2.4.2. Analisa Stabilitas

Kriteria stabilitas yang digunakan adalah IS-CODE 2008 pada MSC.267(85) [8] dengan kriteria pada tabel 3.

Tabel 3. MSC.267(85) *Code on Intact Stability*

Parameter	Criteria	Unit
Max Area of GZ 0 to 30	$\geq 3,151$	m.deg
Max Area of GZ 0 to 40	$\geq 5,156$	m.deg
Max Area of GZ 30 to 40	$\geq 1,718$	m.deg
Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,2$	m
Angle of max. GZ	≥ 25	deg
Initial Metacentric Height	$\geq 0,15$	m

2.4.3. Analisa Olah Gerak

Ketinggian gelombang yang digunakan untuk analisa olah gerak adalah 1,5 dan 2,5 m sesuai dengan data yang diambil dari BMKG. *Zero crossing periode*-nya terdapat pada tabel 4. Sudut gelombang yang digunakan adalah *stern quartering sea* (45°) dan *bow quartering sea* (135°) [9]. Setelah dianalisa olah geraknya dengan data tersebut, diambil nilai *significant roll amplitude* dari tiap-tiap ketinggian dan sudut gelombangnya.

2.4.4. Analisa SGISc Parametric Rolling Level 1

Parametric Rolling level 1 memiliki syarat dimana nilai $\Delta GM/GM$ harus kecil dari R_{PR} . Nilai R_{PR} untuk kapal tanpa *bilge keel* 0,17 dan 1,87 untuk kapal dengan *bilge keel*. ΔGM didapatkan dengan menghitung ketinggian 20 metasentra kapal, lalu dicari selisih antara metasentra tertinggi dan terendahnya [10].

2.4.5. Analisa SGISc Parametric Rolling Level 2

Nilai dari kriteria level 2 dihitung dengan menggunakan *weighting factor* pada tabel 4 dikalikan dengan rata-rata variasi GM saat dihadapkan dengan sekelompok gelombang yang telah ditentukan. *Weighting factor*-nya didapatkan berdasarkan data yang terdapat pada tabel persebaran. Kapal dianggap rentan apabila nilai kriteria lebih besar dari standar yang ditentukan [11]. *Parametric Rolling level 2* memiliki 2 kriteria yang harus dipenuhi, yaitu *first check* C1 dan *second check* C2. C1 dan C2 harus lebih kecil dari $R_{pr0} = 0,06$.

Tabel 4. Kriteria gelombang untuk Level 2 C1

Weighting Factor	Length (m)	Height (m)
0.000013	22.574	0.350
0.001654	37.316	0.495

0.020912	55.743	0.857
0.092799	77.857	1.295
0.199218	103.655	1.732
0.248788	133.139	2.205
0.208699	166.309	2.697

Tabel 5. Kriteria gelombang untuk Level 2 C2

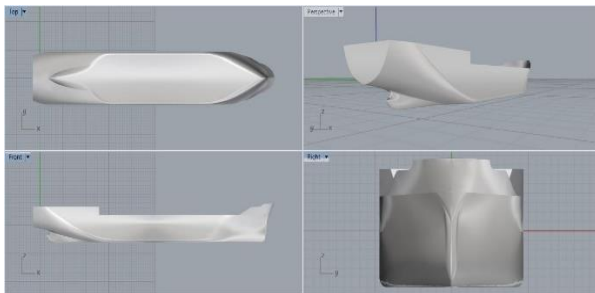
Zero Crossing Periode (s)	Wave Height		
	0.5 (m)	1.5 (m)	2.5 (m)
3.5	1.3	0	0
4.5	133.7	29.3	2.2
5.5	865.6	986	197.5
6.5	1186	4976	2158.8
7.5	634.2	7738	6230
8.5	186.3	5569.7	7449.5
9.5	36.9	2375.7	4860.4
10.5	5.6	703.5	2066
11.5	0.7	160.7	644.5
12.5	0.1	30.5	160.2
13.5	0	5.1	33.7
14.5	0	0.8	6.3
15.5	0	0.1	1.1
16.5	0	0	0.2

2.5. Alat yang Digunakan dalam Penelitian

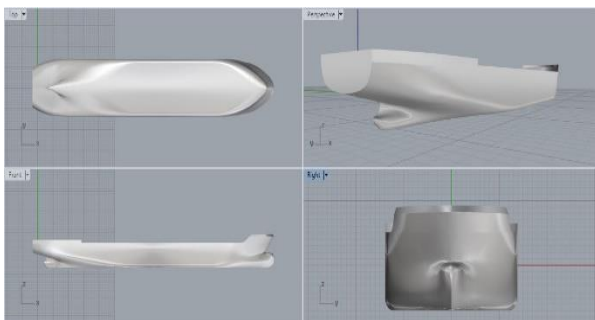
Permodelan kapal, analisa stabilitas, analisa olah gerak kapal, serta perhitungan lainnya pada penelitian ini menggunakan komputer dengan spesifikasi *Processor Intel Core i7 8th Gen* dengan *Ram 8 gb*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. 3D Model Kapal



Gambar 5. Model Kapal Tanker 6500 LTDW



Gambar 6. Model Kapal Tanker 17500 LTDW

Gambar 5 dan gambar 6 adalah hasil permodelan 3D kapal menggunakan program

permodelan. Selanjutnya model dianalisa nilai stabilitas dan olah geraknya dengan menggunakan program perkapalan.

3.2. Analisa Stabilitas

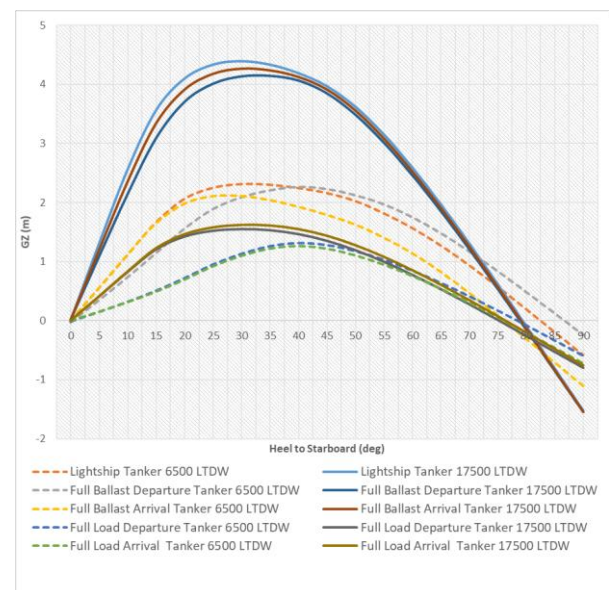
Tabel 6 dan 7 merupakan hasil analisa stabilitas dalam 5 kondisi permuatan berdasarkan MSC.267(85) dengan 6 kriterianya:

Tabel 6. Tabel Stabilitas Tanker 6500 LTDW

Parameter	Loading Condition					Status
	I	II	III	IV	V	
Max Area of GZ 0 to 30	44.18	33.55	42.48	15.95	15.59	PASS
Max Area of GZ 0 to 40	67.09	55.51	62.76	28.42	27.66	PASS
Max Area of GZ 30 to 40	22.91	21.96	20.29	12.47	12.07	PASS
Max GZ at 30 or greater	2.31	2.26	2.11	1.31	1.26	PASS
Angle of max. GZ	31.4	40.5	27.7	40.5	40.0	PASS
Initial Metacentric Height	6.31	4.32	6.38	1.85	1.74	PASS

Tabel 7. Tabel Stabilitas Tanker 17500 LTDW

Parameter	Loading Condition					Status
	I	II	III	IV	V	
Max Area of GZ 0 to 30	90.81	80.93	86.04	31.01	31.84	PASS
Max Area of GZ 0 to 40	134.02	122.22	128.28	46.26	47.87	PASS
Max Area of GZ 30 to 40	43.21	41.29	42.24	15.25	16.03	PASS
Max GZ at 30 or greater	4.39	4.15	4.27	1.55	1.62	PASS
Angle of max. GZ	29.50	32.70	30.90	30.50	31.40	PASS
Initial Metacentric Height	14.97	12.30	13.62	4.62	4.69	PASS



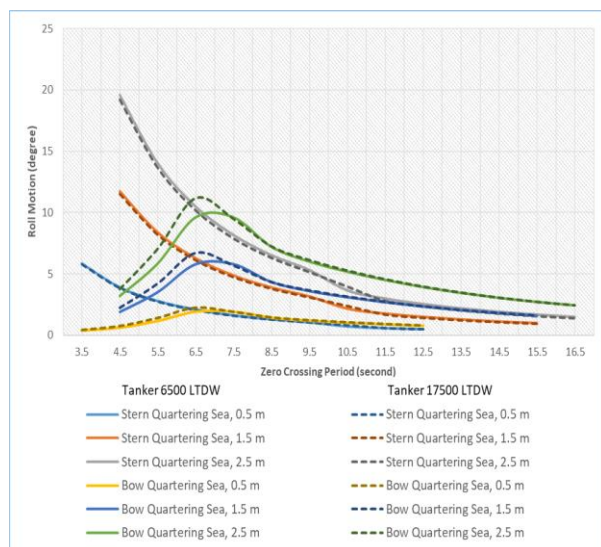
Gambar 7. Grafik Nilai GZ Tanker 6500 dan 17500 LTDW

Gambar 7 menggambarkan nilai GZ sesuai kondisi permuatan I, II, III, IV, dan V atau

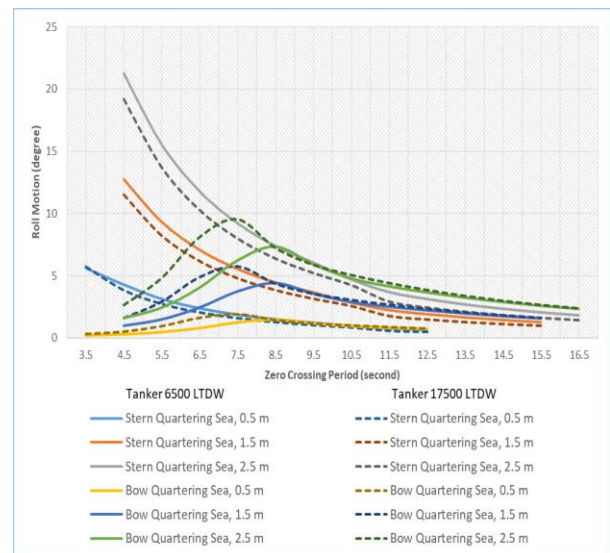
Lightship Condition, Full Ballast Departure, Full Ballast Arrival, Full Load Departure, dan Full Load Arrival. Dari Tabel 7 dan 8, disimpulkan bahwa Kapal Tanker 6500 dan 17500 LTDW telah memenuhi aturan IMO MSC 267(85) dilihat dari setiap parameter batasan yang telah terlampaui pada tabel 6 dan 7.

GZ atau *righting level* dan GM atau *metacentric height* merupakan komponen penting dalam menganalisa stabilitas kapal. Dari grafik bisa dilihat nilai GZ terbesar pada kedua kapal adalah pada kondisi permuatan *lightship*. Nilai GZ kedua terbesar terdapat pada *Full Ballast Departure* dan mengalami penurunan saat *Full Ballast Arrival*. Pada kondisi permuatan *Full Load Departure* dan *Full Load Arrival*, grafiknya cenderung sama. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan muatan pada kapal mempengaruhi nilai GZ. Untuk nilai GM, kapal tanker 17500 LTDW memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tanker 6500 LTDW. Besarnya GM suatu kapal berbanding terbalik dengan periode oleng suatu kapal. Karena GM kapal tanker 17500 LTDW lebih besar dibanding kapal tanker 6500 LTDW, maka periode oleng nya adalah yang paling kecil. Periode oleng kapal yang kecil maksudnya, waktu yang dibutuhkan kapal untuk kembali ke kedudukan awalnya setelah dikenakan gaya dari luar adalah singkat. Hal ini menyebabkan kapal disebut berkarakteristik “kaku”. Sedangkan tanker 6500 LTDW yang memiliki nilai GM lebih kecil sehingga periode olengnya lebih lama, disebut memiliki karakteristik “gemulai”.

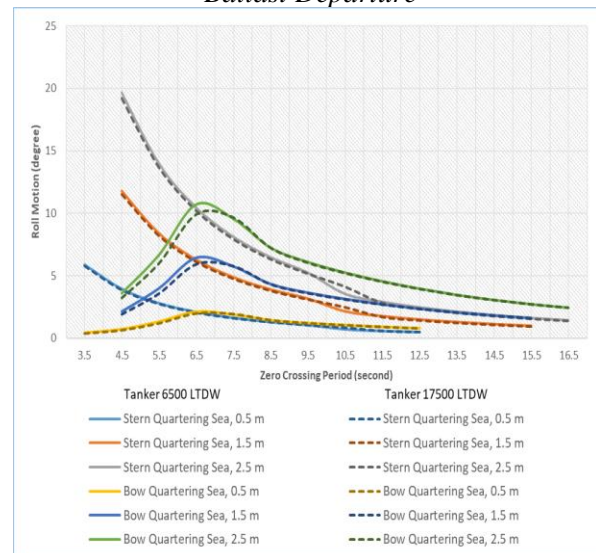
3.3. Analisa Olah Gerak



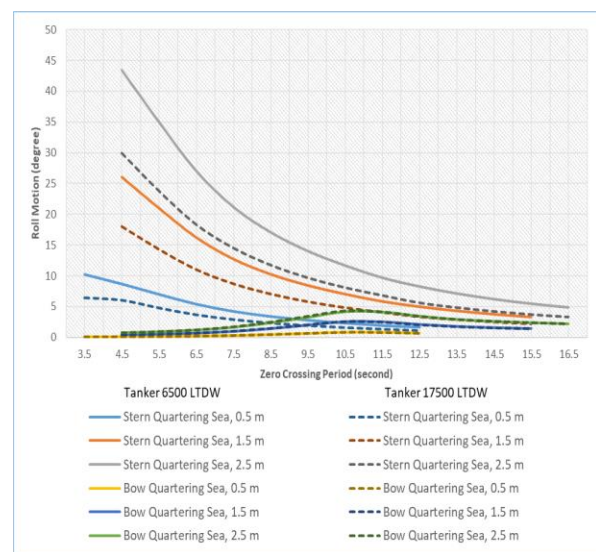
Gambar 8. Grafik Roll Motion kondisi *Lightship*



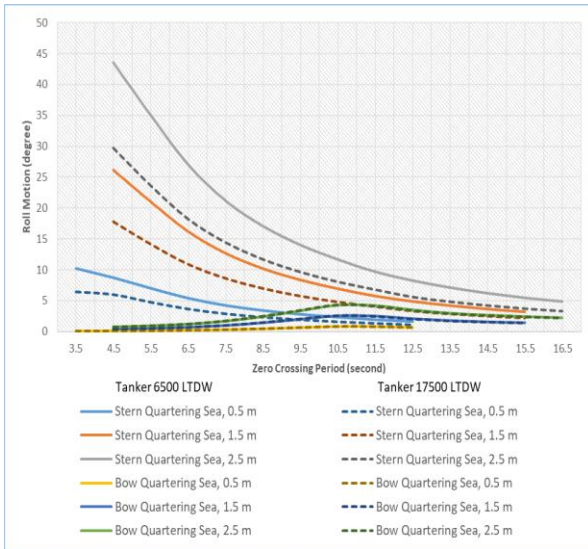
Gambar 9. Grafik Roll Motion kondisi *Full Ballast Departure*



Gambar 10. Grafik Roll Motion kondisi *Full Ballast Arrival*



Gambar 11. Grafik Roll Motion kondisi *Full Load Departure*



Gambar 12. Grafik *Roll Motion* kondisi *Full Load Arrival*

Olah gerak kapal dianalisa dengan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) pada 5 macam kondisi muatan, 2 macam sudut kedatangan gelombang yaitu *stern quartering sea* (45°) dan *bow quartering sea* (135°), dan 3 macam ketinggian gelombang, yaitu 0.5 m, 1.5 m, dan 2.5 m.

Pola *roll motion* kedua kapal cenderung sama, yaitu mengalami penurunan sejalan dengan *zero crossing period*-nya. Untuk nilai *roll motion* terbesar terletak di awal pengamatan, yaitu pada *zero crossing period* 4.5 s untuk ketinggian gelombang 1.5 m dan 2.5 m, dan 3.5 s untuk gelombang 0.5 m, nilai *roll motion* terus mengalami penurunan setelahnya, hal ini berlaku pada sudut kedatangan gelombang 45° atau *stern quartering sea* untuk kedua kapal. Sedangkan untuk sudut kedatangan 135° atau *bow quartering sea*, *roll motion* terbesar berada di tengah pengamatan, rata-rata pada *zero crossing period* 6.5 s pada kondisi *lightship* dan *full ballast arrival*, 7.5 s pada *full ballast departure*, dan 10.5 s pada *full load departure* dan *full load arrival*.

Dari gambar 8-12 dapat disimpulkan bahwa nilai *roll motion* dari tanker 6500 LTDW dan 17500 LTDW, pada beberapa kondisi muatan ada yang melebihi *roll motion* 25° . Ini terjadi pada *stern quartering sea* (45°) kondisi muatan *full load departure* dan *full load arrival*. Batasan ini diambil karena apabila nilai *roll motion* dibawah 25° atau melebihi, maka akan mempengaruhi nilai C_i pada perhitungan SGISc *parametric rolling level 2*. $C_i = 1$ apabila melebihi 25° dan 0 apabila sebaliknya.

3.4. Analisa *Parametric Rolling Level 1*

Tabel 8 adalah hasil analisa SGISc fenomena *Parametric Rolling* terhadap kapal tanker 6500 LTDW dan 17500 LTDW.

Tabel 8. Hasil analisa SGISc *Parametric Rolling Level 1* Tanker 6500 LTDW & 17500 LTDW

<i>Condition</i>	6500 LTDW		17500 LTDW	
	$\Delta GM/GM$	Status	$\Delta GM/GM$	Status
<i>Lightship</i>	-0.01	PASS	-0.01	PASS
<i>Full Ballast Departure</i>	-0.01	PASS	-0.01	PASS
<i>Full Ballast Arrival</i>	-0.01	PASS	-0.01	PASS
<i>Full Load Departure</i>	-0.01	PASS	0.00	PASS
<i>Full Load Arrival</i>	-0.01	PASS	0.00	PASS

Level 1 memiliki syarat dimana $\Delta GM/GM$ harus lebih kecil dari R_{pr} , yang bernilai 0.17 untuk kapal tanpa *bilge keel* dan 1.87 untuk sebaliknya. ΔGM didapatkan dengan persamaan (1):

$$\Delta GM = \frac{GM_{max} - GM_{min}}{2} \quad (1)$$

Tinggi metasentra maksimal (GM_{max}) dan minimal (GM_{min}) didapatkan dari data equilibrium kapal pada kondisi *sinusoidal wave*, dengan panjang gelombang menggunakan panjang kapal, dan tinggi gelombang merupakan panjang kapal dikalikan *wave steepness*.

Dari tabel 8, dapat disimpulkan bahwa kedua kapal memenuhi standar SGISc *Parametric Rolling level 1*.

3.5. Analisa *Parametric Rolling Level 2*

Tabel 9 dan 10 merupakan hasil analisa kapal tanker 6500 dan 17500 LTDW.

Tabel 9. Hasil analisa SGISc *Parametric Rolling Level 2* Tanker 6500 LTDW

<i>Condition</i>	1st Check C1		2nd Check C2	
	$\sum W_i C_i$	Status	$\sum W_i C_{2,i}$	Status
<i>Lightship</i>	0	PASS	0	PASS
<i>Full Ballast Departure</i>	0	PASS	0	PASS
<i>Full Ballast Arrival</i>	0	PASS	0	PASS
<i>Full Load Departure</i>	0	PASS	0.024	PASS
<i>Full Load Arrival</i>	0	PASS	0.024	PASS

Tabel 10. Hasil analisa SGISc *Parametric Rolling Level 2 Tanker 17500 LTDW*

Condition	1st Check C1		2nd Check C2	
	$\sum W_i C_i$	Status	$\sum W_i C_{2i}$	Status
Lightship	0	PASS	0	PASS
Full Ballast Departure	0	PASS	0	PASS
Full Ballast Arrival	0	PASS	0	PASS
Full Load Departure	0	PASS	0	PASS
Full Load Arrival	0	PASS	0	PASS

Pada level 2 ini, terdapat syarat bahwa *first check C1* dan *second check C2*, harus memiliki nilai dibawah R_{pr0} , yaitu 0.06.

$$C1 = \sum_{i=1}^{16} W_i \cdot C_i \quad (2)$$

C1 adalah total nilai dari $W_i C_i$. W_i adalah *weighting factor* yang di dapat dari tabel 4. C_i didapatkan dari persamaan (3) dan (4). Apabila salah satu dari persamaan tersebut terpenuhi, maka C_i bernilai 0, apabila tidak maka nilainya 1.

$$GM_i > 0 \quad \text{dan} \quad \Delta GM / GM_i < P_{PR} \quad (3)$$

ΔGM_i adalah selisih antara metasentra pada *phase offset* tertinggi dan terendah yang didapatkan dari data equilibrium kapal pada *sinusoidal wave* dengan menggunakan data pada tabel 4, GM_i adalah rata-rata dari tiap perhitungan kriteria gelombang, dan $P_{pr} = 0.17$ untuk kapal tanpa *bilge keel*).

$$V_{PRi} > V_s \quad (4)$$

V_s merupakan kecepatan dinas kapal. V_{pri} didapatkan dengan persamaan (5) berikut:

$$V_{PRi} = \left| \frac{2\lambda_i}{T_0} \sqrt{\frac{GM_i}{GM_0}} - \sqrt{\frac{g\lambda_i}{2\pi}} \right| \quad (5)$$

λ_i , T_0 , GM_i , GM_0 , dan G secara berurutan adalah panjang gelombang, periode oleng natural saat air tenang, rata-rata tinggi metasentra *sinusoidal wave*, tinggi metasentra saat air tenang, dan percepatan gravitasi.

$$C2 = \sum_{i=1}^{16} W_i \cdot C_{ij} \quad (6)$$

W_i adalah faktor berat gelombang dari tabel 5, C_{2i} bernilai 0 apabila roll motion dari tiap-tiap faktor berat gelombang berada dibawah 25° , bernilai 1 apabila lebih. Nilai $\sum W_i C_i$ dari tabel 9 dan 10 untuk *1st check C1* dan *2nd check C2*, hampir semuanya memiliki nilai 0, kecuali pada *2nd check*

kondisi permuatan *full load departure* dan *full load arrival* untuk kedua kapal. Ini terjadi karena saat dianalisa olah geraknya, terdapat *roll motion* yang melebihi 25° , sehingga menyebabkan salah satu nilai C_{2i} dari perhitungan $\sum W_i C_i$ menjadi 1. Tetapi ini tidak masalah selama nilai total dari $\sum W_i C_i$ tidak melebihi R_{pr0} yaitu 0.06.

Dari tabel 9 dan 10, kedua kapal tidak ada yang memiliki nilai $W_i C_{2i}$ lebih dari 0.06, pada *1st check C1* dan *2nd check C2*-nya disemua kondisi permuatan. Sehingga disimpulkan bahwa kedua kapal lolos SGISc *parametric rolling level 2*, dan tidak rentan terhadap fenomena kegagalan *parametric rolling*.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian terhadap kapal tanker 6500 dan 17500 LTDW penulis menyimpulkan analisa stabilitas kapal tanker 6500 dan 17500 LTDW memenuhi kriteria sesuai MSC.267(85). Dari analisa olah gerak, ada beberapa *zero crossing periode* yang nilai *roll motion*-nya melebihi 25° yang merupakan syarat untuk perhitungan SGISc.

Analisa menunjukkan nilai $\Delta GM/GM$ kedua kapal memenuhi standar SGISc fenomena *parametric rolling* pada tingkatan pertama, karena nilainya kurang dari R_{pr} yaitu 0.17. Nilai dari $\sum W_i C_{2i}$ pada *1st check C1* dan *2nd check C2* kedua kapal, tidak ada yang melebihi R_{pr0} , yaitu 0.06. Sehingga kapal disimpulkan lolos standar SGISc *parametric rolling level 2*.

Kapal dianggap berkemungkinan rentan terhadap fenomena kegagalan apabila pada *level 1* ada yang tidak memenuhi, tetapi jika pada *level 2*-nya memenuhi semua kriteria, maka kapal dianggap tidak rentan terhadap fenomena kegagalan *parametric rolling*.

DAFTAR PUSAKA

- [1] F. Grinnaert, "Analysis and implementation of second generation criteria in a stability computer code," Université de Bretagne occidentale, Brest, 2017.
- [2] Z. Szozda, "Examples of weaknesses of the 2nd Generation Intact Stability Criteria," *Scientific Journals*, vol. 40, no. 112, pp. 80-87, 2014.
- [3] A. Francescutto, "Intact stability criteria of ships – Past, present and future,," *Ocean Engineering*, vol. 120, pp. 312-317, 2016.
- [4] N. Petacco and P. Gualeni, "IMO Second Generation Intact Stability Criteria: General

Overview and Focus on Operational Measures," *Journal of Marine Science and Engineering*, pp. 1-20, 2020.

- [5] S. Kruger, H. Hatecke, H. Billerbeck, A. Bruns and F. Kluwe, "Investigation of the 2nd Generation of Intact Stability Criteria for Ships Vulnerable to Parametric Rolling in Following Seas," in *ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Nantes, 2013.
- [6] W. Peters, V. Belenky, C. Bassler, K. Spyrou, N. Umeda, G. Bulian and A. B, "The Second Generation Intact Stability Criteria: An Overview of Development," *Transactions - Society of Naval Architects and Marine Engineers*, pp. 1-29, 2014.
- [7] M. Gu, J. Lu, S. Bu, J. Chu, K. Zeng and T. Wang, "The Second Generation Intact Stability Criteria," *Encyclopedia of Ocean Engineering*, 2021.
- [8] IMO, "RESOLUTION MSC.267(85)," in *IMO*, 2008.
- [9] M. Acanfora and A. Cirillo, "On the intact stability of a ship in head and following sea: an analysis of the dynamic roll angle due to sudden heeling moments," *Journal of Marine Science and Technology*, no. 22, pp. 734-736, 2017.
- [10] N. Umeda, "Current Status of Second Generation Intact Stability Criteria Development and Some Recent Efforts," in *International Ship Stability Workshop 2013*, Brest, 2013.
- [11] C. Wandji and P. Corrigan, "Test Application of Second Generation IMO Intact Stability Criteria on a Large Sample of Ships," in *11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Brest, 2012.