



Analisis *Intact Stability* dan *Damage Stability* pada Kapal Ro-Ro Ukuran Besar di Perairan Indonesia Berdasarkan IS CODE 2008

M. Fikry Rizaldo^{1)*}, Deddy Chrismianto¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

diajukan pada : 13/05/19

direvisi pada : 07/08/19

diterima pada : 07/08/19

Abstrak

Kapal penumpang feri Ro-Ro merupakan moda transportasi yang cukup efisien dan efektif. Karena bisa mengangkut manusia, kendaraan, dan muatan secara bersamaan. Akan tetapi kapal jenis ini masih banyak memiliki kekurangan berupa kondisi kapal feri Ro-Ro yang saat ini beroperasi di Indonesia, di mana kebanyakan geladak kendaraan tidak kedap air karena banyaknya bukaan yang ada di sekeliling kapal sehingga apabila dihitung stabilitasnya baik *intact* maupun *damage* akan berpengaruh dalam memenuhi kriteria sesuai ketentuan IMO. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah menggunakan software komputasi numerik yaitu *maxsurf*. Kriteria yang digunakan dalam analisa stabilitas *intact* dan *damage* menggunakan IS CODE 2008 MSC.267(85) Code on *intact* stability Part B For Passengers dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (based on the probabilistic concept). Hasil analisa *intact* stability untuk kapal Ro-Ro 1000 GT (61.30 m), dan 5000 GT (109.40 m) telah memenuhi kriteria pada 3 kondisi dengan max GZ melebihi dari 250. Analisa *damage* stability yang menggunakan konsep probabilitas dengan perhitungan indeks subdivisi R (*required subdivision index*), dan A (*attained subdivision index*), di mana nilai indeks A harus lebih besar atau sama dengan nilai indeks R ($A \geq R$). Nilai indeks R dipengaruhi oleh jumlah penumpang kapal dan panjang *ls*, sedangkan nilai indeks A dipengaruhi oleh faktor *pi* dan *si*. Hasil perhitungan pada kedua kapal yaitu, kapal Ro-Ro 1000 GT dengan indeks R = 0,69405 dan indeks A = 0,7207, dan kapal Ro-Ro 5000 GT dengan indeks R = 0,71449 dan indeks A = 0,8679. Hasil Probabilistic *Damage Stability* untuk kedua kapal telah memenuhi kriteria ($A \geq R$).

Copyright © 2019, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : Stabilitas, *Intact stability*, *Damage stability*, Kapal Ro-Ro, IS CODE 2008

1. PENDAHULUAN

Kapal penumpang feri Ro-Ro merupakan moda transportasi yang cukup efisien dan efektif. Ini dibuktikan dari sisi desain kapal feri Ro-Ro telah sukses dengan kemampuannya mengangkut manusia, kendaraan dan muatan secara bersamaan. Akan tetapi kapal jenis ini masih banyak memiliki kekurangan berupa kondisi kapal feri Ro-Ro yang saat ini beroperasi di Indonesia, di mana kebanyakan geladak kendaraan tidak kedap air karena banyaknya bukaan yang ada di sekeliling kapal sehingga apabila dihitung

stabilitasnya baik *intact* maupun *damage* akan berpengaruh dalam memenuhi kriteria sesuai ketentuan IMO[1]. Selain itu, kapal Ro-Ro sangat rentan kehilangan stabilitas pada saat mengalami kerusakan dikarenakan besarnya ruang geladak kendaraan [2].

Ada tiga penyebab utama kecelakaan yang melibatkan kapal, yaitu tabrakan, kandas, dan muatan yang berlebih yang disebabkan oleh gelombang yang dapat mengakibatkan hilangnya kekuatan struktur kapal yang menyebabkan kapal terbalik [3]. Salah satu hasil analisa dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada tenggelamnya KM. Rafelia II menyimpulkan penyebab kapal tenggelam

*) Penulis Korespondensi :

Email : mfikryrizaldo@yahoo.com

karena stabilitas kapal pada saat berangkat sudah tidak memenuhi kriteria stabilitas yang baik, saat kapal melebihi dari sarat maksimum yang diijinkan. Pada kapal KM. Levina 1, dan KM. Senopati Nusantara, (KNKT) menyimpulkan penyebab kapal tenggelam adalah masuknya air ke badan kapal sehingga menyebabkan kapal miring dan langsung tenggelam. Hal ini diakibatkan kapal tidak memiliki stabilitas yang baik dan kapal tidak mampu kembali ke posisi semula [4].

Karena stabilitas merupakan salah satu parameter dari keselamatan dan keamanan kapal [5], maka akan dilakukan penelitian mengenai stabilitas pada kapal Ro-Ro ukuran besar di perairan Indonesia, masing-masing berukuran 1000 GT dan 5000 GT dengan menggunakan kriteria yang terdapat pada IS CODE 2008 Resolution MSC.267(85) dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (*based on the probabilistic concept*) yang merupakan regulasi yang dijadikan sebagai petunjuk dan acuan dalam menetapkan standar stabilitas kapal (*Intact and Damage Stability*) yang ditetapkan oleh IMO (*International Maritime Organization*) di mana sebelumnya kapal Ro-Ro ini menggunakan kriteria IMO yang lama yaitu IMO Resolution A.749 (18) dan SOLAS, II-1/8 (*based on the deterministic concept*).

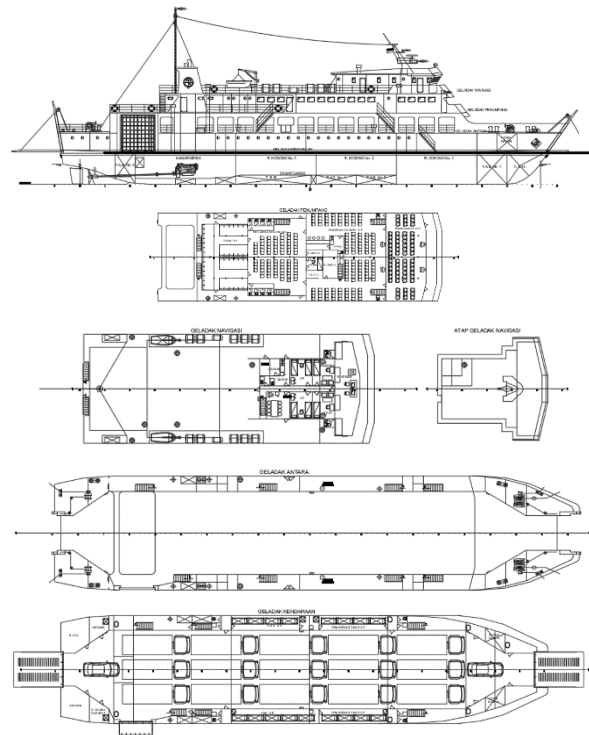
Pada penelitian yang sudah ada, hanya melakukan analisa *damage stability* [6], dan penambahan *side casing* pada kapal Ro-Ro [7]. Maka tujuan dalam penelitian ini yaitu melakukan Analisa *Intact Stability and Damage Stability* pada kapal Ro-Ro 1000 GT, dan 5000 GT yang ada di perairan Indonesia menggunakan IS CODE 2008 Resolution MSC.267(85) dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (*based on the probabilistic concept*). Analisis kriteria khusus untuk kapal penumpang juga akan dilakukan untuk memeriksa apakah *Intact Stability and Damage Stability* untuk masing-masing kapal telah memenuhi kriteria atau tidak. Sehingga kapal kapal ini dapat dinyatakan memiliki stabilitas yang baik dan rancangan kapal ini telah sesuai dengan regulasi terbaru yang ditetapkan oleh IMO yaitu IS CODE 2008 Resolution MSC.267(85) dan SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85).

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

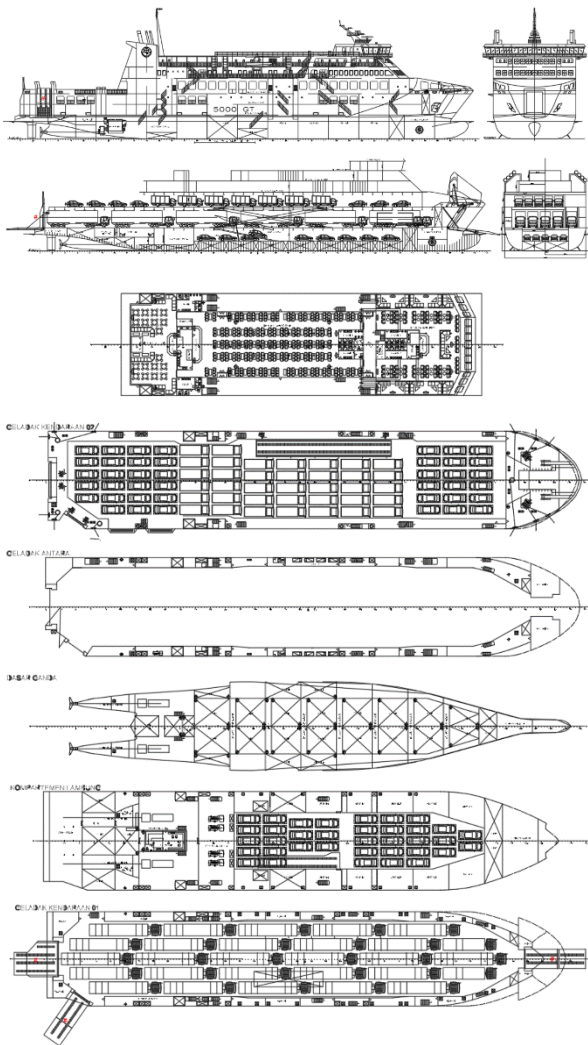
Objek penelitian yang digunakan adalah 2 buah kapal Ro-Ro dengan masing-masing ukuran 1000 GT, dan 5000 GT (Gambar 1 dan Gambar

2). Data yang didapat berupa data rencana garis (*linesplan*), dan rencana umum (*general arrangement*) untuk permodelan 3D dan sebagai acuan pembuatan titik koordinat kompartemen dan tanki. Sebagai data penunjang untuk proses validasi model, digunakan data *hydrostatic*, dan data perhitungan berat kapal kosong.



Gambar 1. Rencana Umum Kapal Ro-Ro 1000 GT

Ukuran Utama ;	
Panjang Seluruhnya	: 61,30 M
Panjang A.G.T	: 55,00 M
Lebar	: 13,20 M
Tinggi	: 3,90 M
Sarat	: 2,50 M
Kecepatan	: 15 Knots
A.B.K	: 24 Orang
Jumlah Penumpang	: 375 Orang
Kendaraan	: 15 Truk
	2 Sedan
Berat Truk	: 18 Ton
Motor Induk	: 2 x 1100 HP
	1850 rpm



Gambar 2. Rencana Umum Kapal Ro-Ro 5000 GT

Ukuran Utama :

Panjang Seluruhnya	: 109,40 M
Panjang A.G.T	: 99,20 M
Lebar	: 19,60 M
Tinggi	: 5,60 M
Sarat	: 4,10 M
Kecepatan	: 16 Knots
A.B.K	: 30 Orang
Jumlah Penumpang	: 812 Orang
Kendaraan	: 26 Trailer
	02 Tronton
	37 Truk
	77 Sedan
Berat Trailer	: 40 Ton
Berat Tronton	: 30 Ton
Berat Truk	: 10 Ton
Berat Sedan/MPV/SUV	: 1,6 Ton
Motor Induk	: 2 x 3500 HP

2.2. Langkah Penelitian

• Pembuatan Model Kapal

Pembuatan model kapal dilakukan dengan bantuan *software Rhinoceros* dan *Maxsurf modeller* sesuai dengan data utama *linesplan* dan *general arrangement* masing-masing kapal. Setelah terbentuk *surface* kapal, lalu *diexport* dalam bentuk *iges*. Hasil permodelan yang telah jadi akan dilakukan pengecekan ukuran-ukuran model yang telah dibuat dengan data kapal yang telah diperoleh. Pengecekan yang dilakukan adalah pengecekan ukuran utama kapal yang meliputi pengecekan *displacement* kapal, pengecekan *coefisien block*, pengecekan panjang, lebar, dan tinggi kapal.

• Pembuatan kompartemen dan tanki-tanki

Setelah model kulit sudah jadi, langkah selanjutnya adalah membuat tanki-tanki dan kompartemen yang ada di dalam kapal. Pembuatan tanki-tanki dalam kapal dilakukan dengan menggunakan *software maxsurf stability*. Letak dan koordinat titik tanki mengacu pada *general arrangement* masing-masing kapal.

• Penentuan Loadcase

Pada tahap ini dilakukan pemuatan tanki-tanki sesuai dengan rencana pemuatan. Besar persentase isi dari tanki-tanki tersebut disesuaikan dengan variasi muatan yang telah ditentukan yaitu, *full load*, *partial*, dan *lightship*. Kemudian dihitung *displacement* kapal pada kondisi tersebut. *Displacement* kapal yang diperoleh kemudian ditambah dengan berat dari *crew*, penumpang dan barang-barang yang ada di kapal.

• Analisa Stabilitas

Analisa stabilitas menggunakan perangkat lunak *maxsurf stability*. Analisa akan dilakukan dengan 3 kondisi yaitu *full load*, *partial*, dan *lightship*. Kriteria stabilitas yang digunakan yaitu standar keselamatan *International Maritime Organization (IMO)* yaitu *IMO MSC.267 (85)* [8] mengatur tentang *code on intact stability* pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria IMO MSC.267 (85)
Code On Intact Stability

No	Parameter	kriteria	Satuan
1	<i>Max Area of GZ 0 to 30</i>	$\geq 0,0500$	m.rad
2	<i>Max Area of GZ 0 to 40</i>	$\geq 0,0900$	m.rad
3	<i>Max Area of GZ 30 to 40</i>	$\geq 0,0300$	m.rad
4	<i>Max GZ at 30 or greater</i>	$\geq 0,20$	m
5	<i>Angle of max. GZ</i>	≥ 25	deg
6	<i>Initial Metacentric Height</i>	$\geq 0,15$	m

Tabel 2. *Special Criteria for Passenger Ships*
IMO MSC.267 (85) *Code On Intact Stability*

No	Parameter	kriteria	Satuan
1	Passenger crowding: angle of equilibrium	≤ 10	deg
2	Turn: angle of equilibrium	≤ 10	deg

Analisa *Damage stability* menggunakan *software Maxsurf Stability Enterprise* dengan menggunakan standar SOLAS 2009 *Chapter II-1 Resolution MSC.281(85)*. Dalam Peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) tentang *Subdivision*, untuk menghitung indeks *damage stability*, terdapat dua variabel utama yaitu *Required Subdivision Index (R)* dan *Attained Subdivision Index (A)*. Di mana nilai indeks A yang dicapai sebuah kapal harus lebih besar atau sama dengan nilai Indeks R yang disyaratkan, atau $A \geq R$.

Pada penelitian ini dilakukan 2 perhitungan, meliputi : Perhitungan R (*Required Subdivision Index*) merupakan perhitungan dengan rumus empiris yang berdasarkan jumlah penumpang dan panjang subdivisi kapal. Dan perhitungan A (*Attained Subdivision Indeks*) merupakan hasil penjumlahan semua kemungkinan terhadap satu atau lebih kombinasi kompartemen yang mengalami kerusakan dan kebocoran terhadap kemampuan kapal untuk dapat selamat dalam kondisi rusak dan bocor tersebut. Analisa kebocoran kapal dilakukan pada seluruh kompartemen kapal yang terdapat di sepanjang badan kapal (L_s), dan secara vertikal sampai bagian geladak kendaraan sebagai *watertight* dan ruangan terbuka. Hal ini dikarenakan analisa *damage stability* dilakukan pada ruangan yang dibatasi oleh sekat kedap air (*watertight*) yang masuk dalam perhitungan nilai indeks A [9].

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l \quad (1)$$

dimana:

A = Attained Subdivision Index

A_s = Kondisi *full load*

A_p = Kondisi *partial*

A_l = Kondisi *lightship*

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5N + 15225} \quad (2)$$

R = *Required Subdivision Index*

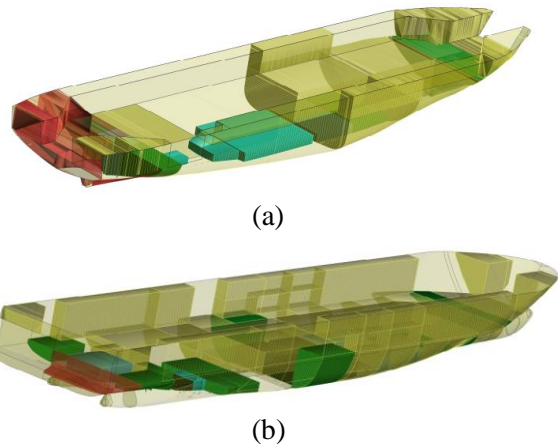
L_s = Panjang subdivisi

N = Jumlah penumpang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Permodelan

Pembuatan model kapal melalui *software Rhinoceros* dan *Maxsurf Modeller* berdasarkan data yang digunakan yaitu dari *linesplan* masing-masing kapal. Untuk dapat membuat analisa stabilitas *intact* dan *damage* dibutuhkan model kulit terluar dari masing-masing desain kapal Ro-Ro.



Gambar 3. Model Kapal (a) Kapal Ro-Ro1000 GT
(b) Kapal Ro-Ro 5000 GT

Kedua desain kapal dilakukan permodelan 3D sampai pada batas ketinggian *watertight deck*, atau geladak kendaraan. Hal ini dikarenakan geladak kendaraan yang bersifat ruangan terbuka, sehingga tidak memiliki daya apung cadangan. Setelah model kulit sudah jadi, model di *export* ke *maxsurf stability* untuk melakukan langkah selanjutnya yaitu membuat kompartemen dan tangki-tangki sesuai dengan masing-masing kapal.

Name	Type	Intact Perm.	Damage	Spe cific	Flui d	Boun dary	Alt m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bot. m
1 Ceruk haluan 1	Com	95	95			none	51,6	57,5	-7	7	3,9	0
2 Ceruk haluan 2 (P)	Com	95	95			none	51,6	57,5	-6,6	-2	6,35	3,9
3 Ceruk Haluan 2 (S)	Com	95	95			none	51,6	57,5	2	6,6	6,35	3,9
4 R. Pompa Darurat	Com	85	85			none	-2,26	1,2	-6,6	-2	6,35	3,9
5 R. CO2	Com	85	85			none	-2,26	1,2	2	6,6	6,35	3,9
6 Gudang (P)	Com	60	60			none	1,2	3,6	-6,6	-2	6,35	3,9
7 Gudang (S)	Com	60	60			none	1,2	3,6	2	6,6	6,35	3,9
8 K. Tidur ABK 8P	Com	95	95			none	18,6	28,2	-6,6	-4,975	6,35	3,9
9 K. Tidur ABK 8JP	Com	95	95			none	18,6	28,2	4,975	6,6	6,35	3,9
10 K. Tidur Sopir 8P	Com	95	95			none	28,2	37,8	-6,6	-4,975	6,35	3,9
11 K. Tidur Sopir 10P	Com	95	95			none	28,2	37,8	4,975	6,6	6,35	3,9
12 Kotak Rantai (P)	Com	85	85			none	48	51,6	-6,6	-2	6,35	3,9
13 Kotak Rantai (S)	Com	85	85			none	48	51,6	2	6,6	6,35	3,9
14 T.A.B (P) No. 1	Tank	95	100	1,0	Wat	none	47,4	51,6	-50	0	3,9	0
15 T.A.B (S) No. 1	Tank	95	100	1,0	Wat	none	47,4	51,6	0	50	3,9	0
16 Void Tank 1 (P)	Com	95	95			none	37,8	47,4	-7	0	3,9	0

Gambar 4. Input Data Tangki dan Kompartemen pada *Room Definition* di *Maxsurf*

Penambahan data tanki-tanki dan kompartemen sesuai dengan *general arrangement*

masing-masing kapal. Untuk setiap posisi tanki dan kompartemen, dimana panjang, lebar, dan tingginya merupakan hasil dari proyeksi *general arrangement*. Dan *permeability* setiap tanki dan kompartemen diisi sesuai dengan nilainya. Untuk tanki dan kompartemen permeabilitnya 0,95 dan untuk *engine room* permeabilitasnya 0,85. Dan untuk *fluid type* sesuai dengan muatan tankinya.

3.2. Pembuatan Loadcase

Untuk pembuatan loadcase pada penelitian digunakan 3 kondisi, yaitu : *Full load* kondisi kapal dengan muatan penuh dan tanki-tanki selain tanki air balas diisi 100 %, *Partial* kondisi kapal dengan muatan tidak penuh dan tanki-tanki 50% dan sarat kapal berada diantara sarat kapal penuh dengan sarat kapal kosong. *Lightship* kondisi kapal dengan muatan kosong dan tanki-tanki 0%. Dibutuhkan data hasil perhitungan LWT dan persebaran beban untuk mengetahui lokasi atau kordinat akumulasi titik berat muatan dan LWT kapal. Sehingga bisa dilakukan perhitungan nilai lengan kopel (GZ) pada setiap kondisi *trim* ataupun *heeling*. Data perhitungan lwt kapal Ro-Ro 1000 GT maupun 5000 GT didapat dari data galangan.

Tabel 3. Data Perhitungan LWT Kapal 1000 GT

No.	Ket.	Berat (ton)	Momen (m)	AP-G (ton.m)	Momen (m)	(ton.m)
1	Konstruksi Lambung	474,76	4,75	2252,92	25,42	12069,92
2	Mesin, Listrik, Perlengkapan, dan Interior	146,15	5,44	794,397	23,25	3398,07

Berat Total = 620,908 ton
 Center of Gravity ke AP (AP-G) = 24,912 m
 Center of Gravity ke keel (KG) = 4,908 m

Data perhitungan lwt kapal dan pembebanan muatan kapal digunakan untuk simulasi beberapa kondisi muatan kapal pada saat beroperasi. Data hasil perhitungan lwt untuk kapal Ro-Ro 1000 GT dan Ro-Ro 5000 GT sebesar 620,908 Ton dan 2450,00 Ton. Titik pusat gravitasi memanjang (*longitudinal center of gravity*) kapal 1000 GT dan 5000 GT masing-masing berada pada 24,91 m dan 46,40 m di ukur dari titik AP ke arah *midship* kapal. Nilai titik pusat gravitasi vertikal (*vertical center of gravity*) untuk kapal 1000 GT sebesar 4,910 m dan kapal 5000 GT sebesar 7,645 m yang diukur dari dasar kapal.

Item Name	Quantiti	Unit Masa	Total Masa	Unit Volume	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total CGM
Sedan 2 Unit	2	2,000	4,000			25,800	0,000	4,800	0,000
T.A.B (P) No. 2	0%	14,745	0,000	14,386	0,000	33,022	-3,200	0,000	0,000
T.A.B (S) No. 2	0%	14,745	0,000	14,386	0,000	33,022	0,000	0,000	0,000
T.A.T (P) No. 1	100%	14,848	14,848	14,848	14,848	30,598	-1,542	0,589	0,000
T.A.T (S) No. 1	100%	14,848	14,848	14,848	14,848	30,598	1,542	0,589	0,000
T.A.B (P) No. 3	0%	22,483	0,000	21,934	0,000	6,586	-5,041	0,654	0,000
T.A.B (S) No. 3	0%	22,483	0,000	21,934	0,000	6,586	1,800	0,654	0,000
T.A.T (C) No. 2	100%	23,938	23,938	23,938	23,938	5,433	0,000	2,251	0,000
T.M.L (P)	100%	3,547	3,547	3,942	3,942	17,519	-0,995	0,476	0,000
T.B.B (P) No. 1	100%	24,178	24,178	27,791	27,791	23,108	-1,539	0,590	0,000
T.B.B (S) No. 1	100%	24,178	24,178	27,791	27,791	23,108	1,539	0,590	0,000
T.B.B (S) No. 2	100%	3,429	3,429	3,942	3,942	17,519	0,995	0,476	0,000
T.M.K (P)	100%	1,237	1,237	1,237	1,237	12,604	-0,393	0,361	0,000
T. Bilga	100%	1,237	1,237	1,237	1,237	12,604	0,393	0,361	0,000
T.H.B (P)	100%	0,893	0,893	1,026	1,026	6,900	-3,150	2,600	0,000
T.H.B (S)	100%	0,893	0,893	1,026	1,026	6,900	3,150	2,600	0,000
T.A.B (S) No. 1	0%	35,675	0,000	34,805	0,000	47,467	0,000	0,000	0,000
T.A.B (P) No. 1	0%	35,675	0,000	34,805	0,000	47,467	-0,336	0,000	0,000
Total Loadcase		1049,651	263,875	121,625	24,622	0,000		4,743	0,000
FS correction								0,000	
VCC fluid								4,743	

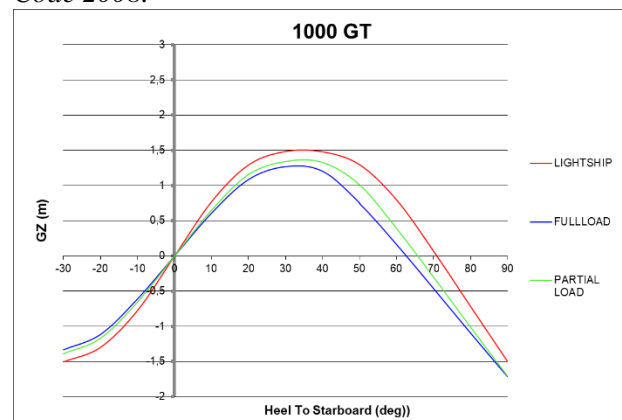
Gambar 5. Input Loadcase

3.3. Hasil Analisis Intact Stability

Analisa stabilitas dilakukan dengan menggunakan kriteria *IMO MSC.267 (85) code on intact stability*. Untuk memilih kriteria tersebut melalui tab *Analysis* kemudian pilih kriteria yang digunakan pada daftar kriteria yang tertera. Pada penelitian ini masing-masing kapal akan dianalisa dengan 3 variasi kondisi yaitu:

1. Kondisi kapal dengan muatan penuh dan tanki-tanki 100 % tanpa air balas.
2. Kondisi kapal dengan muatan penuh dan tanki-tanki 50% tanpa air balas.
3. Kondisi kapal dengan muatan kosong dan tanki-tanki 0% tanpa air balas.

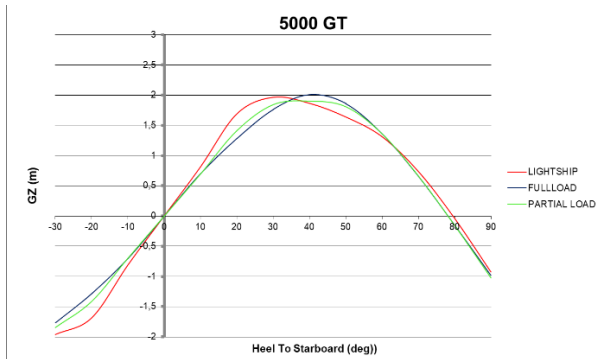
Berikut ini adalah hasil analisa stabilitas berupa perbandingan kurva GZ dari ketiga kondisi masing-masing kapal dan tabel kriteria menurut *IS Code 2008*.



Gambar 6. Perbandingan Kurva GZ Tiap Kondisi pada Kapal Ro-Ro 1000 GT

Tabel 4. Kriteria Stabilitas Kapal Ro-Ro 1000 GT

No	IS Code	Value	Kondisi		
			Full load	Partial	Lightship
1	0° - 30°	≥0,0550 m.rad	0,4155	0,4422	0,5014
2	0° - 40°	≥0,0900 m.rad	0,6367	0,6789	0,7625
3	30° - 40°	≥0,0300 m.rad	0,2212	0,2367	0,2612
4	Max GZ at 30° or greater	≥0,20 m	1,286	1,366	1,503
5	Max. GZ	≥25°	33,6°	34,5°	34,5°
6	Initial GM	≥0,150 m	3,542	3,830	4,664



Gambar 7. Perbandingan Kurva GZ Tiap Kondisi pada Kapal Ro-Ro 5000 GT

Tabel 5. Kriteria Stabilitas Kapal Ro-Ro 5000 GT

No	IS Code	Value	Kondisi		
			Full load	Partial	Lightship
1	0° - 30°	≥0,0550 m.rad	0,5056	0,5311	0,6186
2	0° - 40°	≥0,0900 m.rad	0,8399	0,867	0,9556
3	30° - 40°	≥0,0300 m.rad	0,3343	0,3305	0,3370
4	Max GZ at 30° or greater	≥0,20 m	2,014	1,907	1,964
5	Max. GZ	≥25°	40,9°	37,3°	30,9°
6	Initial GM	≥0,150 m	4,349	3,606	4,579

Hasil analisa stabilitas untuk kapal Ro-Ro 1000 GT terlampir pada gambar 6 dan tabel 4, telah memenuhi kriteria IS CODE 2008 Resolution MSC.267(85) dengan nilai GZ maksimal sebesar 1,503 m pada sudut 34,5°. Untuk hasil analisa stabilitas kapal Ro-Ro 5000 GT pada gambar 7 dan tabel 5, juga telah memenuhi kriteria IS CODE 2008 Resolution MSC.267(85) dengan nilai GZ maksimal sebesar 2,014 m pada sudut 40,9°.

Kapal Ro-Ro 5000 GT memiliki nilai GZ terbesar pada kondisi *full load* dan GZ terkecil pada kondisi *lightship*. Berbeda dengan Kapal Ro-Ro 1000 GT, yang memiliki nilai GZ terbesar pada kondisi *lightship* dan nilai GZ terkecil pada kondisi muatan penuh atau *full load*. Banyak

faktor yang mempengaruhi nilai GZ seperti posisi titik berat muatan, bentuk lambung kapal pada bagian yang tercelup air, ukuran utama kapal, serta *displacement* kapal. Nilai KG, LCG, dan sarat kapal yang berbeda dalam setiap kondisi muatan berpengaruh terhadap kondisi stabilitas.

Sebagai tambahan kriteria untuk kapal penumpang, sudut oleng karena gerakan penumpang penumpang pada satu sisi kapal tidak melebihi 10° dengan berat penumpang diasumsikan sebesar 85 kg. Jumlah penumpang berdasarkan dari kapasitas tempat duduk yang ada pada *general arrangement*. Jumlah penumpang tertera pada tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Penumpang Berdasarkan General Arrangement

No	Kapal	A.B.K	Penumpang
1	Ro-Ro 1000 GT	24 orang	375 orang
2	Ro-Ro 5000 GT	30 orang	812 orang

Dan untuk kriteria sudut oleng yang disebabkan *maneuvering* kapal dihitung menggunakan rumus berikut:

$$M_R = 0.200 * \frac{v_0^2}{Lwl} * \Delta * (KG - \frac{d}{2}) \quad (3)$$

dimana:

M_R = Momen oleng (kNm)

v_0 = Kecepatan dinas (m/s)

Lwl = Panjang garis air kapal (m)

Δ = *Displacement* kapal (t)

d = Sarat kapal (m)

KG = Tinggi pusat gravitasi dari *baseline* (m)

Pada analisa melalui *maxsurf stability*, dalam menu kriteria pilih MSC.267(85). *Special criteria for certain types of ships* kemudian pilih *passanger ships* masukkan nilai kecepatan dinas kapal, jumlah penumpang, massa penumpang dan lebar kapal dari jarak *centerline* kemudian *running* yang terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7 menunjukkan nilai untuk *Passenger crowding: angle of equilibrium* terbesar pada kapal Ro-Ro 1000 GT kondisi *lightship* sebesar 4,2°. Hal tersebut dipengaruhi nilai L/B kapal yang besar, jumlah penumpang, dan titik pembebanan pada kapal. Nilai *Turn: angle of equilibrium* terbesar juga terdapat pada kapal Ro-Ro 1000 GT kondisi *full load* maupun *partial* sebesar 1,2°, dan pada kapal Ro-Ro 5000 GT kondisi *lightship* sebesar 1,2°. Meskipun demikian, dapat disimpulkan bahwa masing-masing kapal telah memenuhi kriteria pada *passenger crowding*:

angle of equilibrium dan Turn: angle of equilibrium.

Tabel 7. *Special Criteria for Passenger Ships*

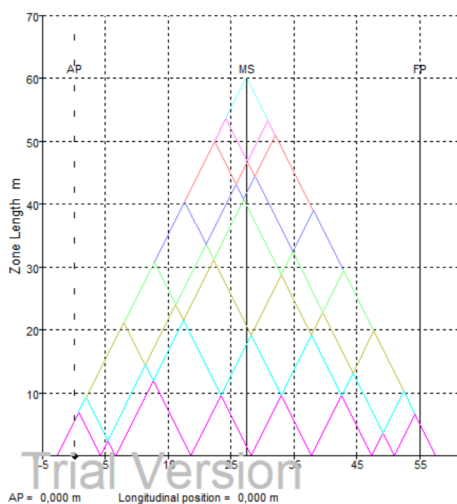
IS Code	Value	Kondisi		
		Full load	Partial	Light ship
Passenger crowding	≤10°	3,2°	3,7°	4,2°
Turn: angle of equilibrium	≤10°	1,2°	1,2°	1,1°
Passenger crowding:	≤10°	1,9°	2,7°	3,6°
Turn: angle of equilibrium	≤10°	0,9°	1,1°	1,2°

3.4. Hasil Analisis Damage Stability

Perencanaan kebocoran dilakukan dengan pendekatan *probabilistik*. Perhitungan satu kompartemen bocor dilakukan dengan simulasi kebocoran pada tiap tangki atau kompartemen. Sedangkan untuk simulasi kebocoran dua kompartemen atau lebih dilakukan dengan mengkombinasi kebocoran pada dua atau lebih kompartemen yang berdekatan dan seterusnya begitu hingga semua zona mengalami kebocoran, [11].

Tabel 8. Perhitungan Pembagian Zona Kapal Ro-Ro 1000 GT

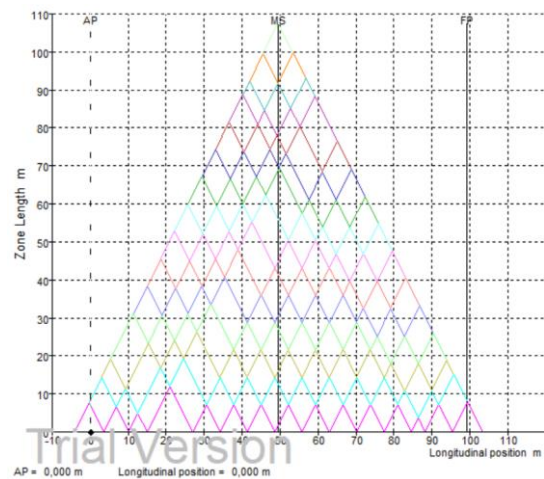
Zona	Aft (m)	Fwd (m)	L (m)	Centre (m)
Zona 1	-2,650	4,200	6,850	0,775
Zona 2	4,200	6,600	2,400	5,400
Zona 3	6,600	18,600	12,000	12,600
Zona 4	18,600	28,200	9,600	23,400
Zona 5	28,200	37,800	9,600	33,000
Zona 6	37,800	47,400	9,600	42,600
Zona 7	47,400	51,000	3,600	49,200
Zona 8	51,000	57,584	6,584	54,292



Gambar 8. Segitiga Kombinasi Kompartemen Kapal Ro-Ro 1000 GT

Tabel 9. Perhitungan Pembagian Zona Kapal Ro-Ro 5000 GT

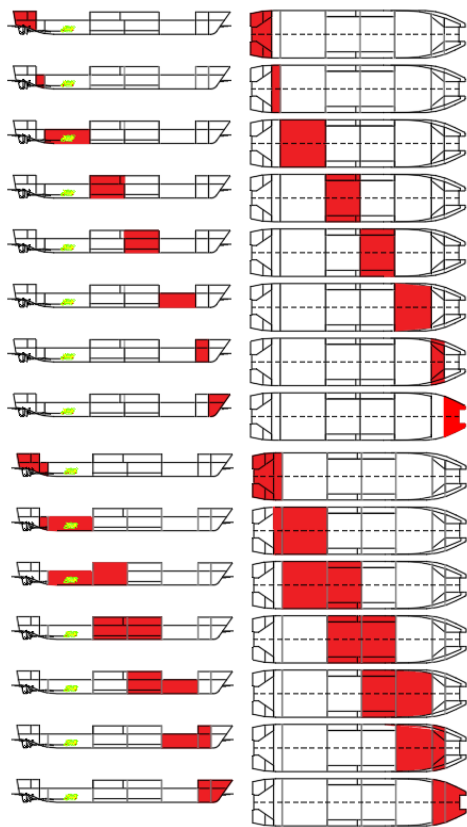
Zona	Aft (m)	Fwd (m)	L (m)	Centre (m)
Zona 1	-4,199	3,600	7,799	-0,299
Zona 2	3,600	10,200	6,600	6,900
Zona 3	10,200	15,000	4,800	12,600
Zona 4	15,000	27,000	12,000	21,000
Zona 5	27,000	34,200	7,200	30,600
Zona 6	34,200	41,400	7,200	37,800
Zona 7	41,400	48,600	7,200	45,000
Zona 8	48,600	55,800	7,200	52,200
Zona 9	55,800	63,000	7,200	59,400
Zona 10	63,000	70,200	7,200	66,600
Zona 11	70,200	77,400	7,200	73,800
Zona 12	77,400	84,600	7,200	81,000
Zona 13	84,600	88,200	3,600	86,400
Zona 14	88,200	95,400	7,200	91,800
Zona 15	95,400	103,386	7,986	99,393



Gambar 9. Segitiga Kombinasi Kompartemen Kapal Ro-Ro 5000 GT

Penentuan zona berdasarkan *transverse bulkhead* yang ada pada *general arrangement* masing-masing kapal. Tabel 8 dan gambar 9 menunjukkan pembagian zona pada kapal ro-ro 1000 GT yang dibagi menjadi 7 zona. Tabel 9 dan gambar 10 menunjukkan pembagian zona pada kapal ro-ro 5000 GT yang dibagi menjadi 15 zona. Skenario kebocoran tersebut disimulasikan pada software *Maxsurf Stability Enterprise*.

Dalam Peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) tentang subdivisi, untuk menghitung indeks *damage stability*, terdapat dua variabel utama yaitu *Required Subdivision Index (R)* dan *Attained Subdivision Index (A)*. Dimana nilai indeks yang dicapai A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai Indeks R yang disyaratkan atau $A \geq R$. Untuk analisa *damage stability* hanya ruangan yang kedap air yang masuk dalam perhitungan nilai indeks A sesuai dengan aturan dari SOLAS 2009.



Gambar 10. Visualisasi dari Skenario Kebocoran (1 Zona Dan 2 Zona) pada Kapal 1000 GT.

SOLAS 2009 Part B-1 memberikan 3 kondisi muatan untuk menghitung *Attained Subdivision Index* (A), meliputi : Kondisi sarat muatan penuh (As), Kondisi sarat muatan setengah (Ap), dan Kondisi sarat muatan kosong (Al). Ketiga kondisi tersebut akan dikalkulasikan untuk mencari nilai A. Sesuai dengan Persamaan 4.

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l \quad (4)$$

dimana:

- A = Attained Subdivision Index
- A_s = Kondisi *full load*
- A_p = Kondisi *partial*
- A_l = Kondisi *lightship*

Tabel 10. Hasil *Damage Stability* Kapal Ro-Ro

Kapal	As	Ap	Al	A	R	Status
1000 GT	0,608	0,778	0,831	0,721	0,694	Pass
5000 GT	0,724	0,957	0,978	0,868	0,715	Pass

Dari Tabel 10 menunjukkan perbandingan nilai A dan R pada kapal Ro-Ro 1000 GT, dimana nilai As < R, (Ap, dan Al) > R. Akan tetapi, akumulasi nilai A secara keseluruhan sesuai persamaan (1) lebih besar dari nilai R (A>R). Hal tersebut menandakan bahwa kapal Ro-Ro 1000

GT memenuhi kriteria SOLAS 2009 tentang *probabilistic damage stability*.

Sedangkan pada kapal Ro-Ro 5000 GT, dimana nilai (As, Ap, Al, dan A) lebih besar dari nilai R yang dibutuhkan. Hal tersebut menandakan bahwa kapal Ro-Ro 5000 GT telah memenuhi kriteria SOLAS 2009 tentang *probabilistic damage stability*. Jadi masing-masing kapal telah memenuhi kriteria yang ada tentang *Damage Stability* untuk kapal penumpang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut. Hasil analisa *intact stability* pada masing-masing kapal Ro-Ro dengan 3 kondisi *Full load*, *Partial*, dan *Lightship* telah memenuhi kriteria IS CODE 2008. Dengan nilai GZ maksimal untuk kapal Ro-Ro 1000 GT sebesar 1,503 m pada sudut 34,5° dikondisi *lightship*, dan nilai GZ terendah sebesar 1,286 m pada sudut 33,6° dikondisi *full load*. Sedangkan pada kapal Ro-Ro 5000 GT, memiliki nilai GZ maksimal sebesar 2,014 m pada sudut 40,9° dikondisi *Full load*, dan nilai GZ terendah sebesar 1,907 m pada sudut 37,3° dikondisi *partial*. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai GZ seperti posisi titik berat muatan, bentuk lambung kapal pada bagian yang tercelup air, ukuran utama kapal, serta *displacement* kapal. Kriteria IS Code 2008 tambahan khusus untuk kapal penumpang hasilnya juga telah memenuhi kriteria untuk masing-masing kapal. Saat kondisi *Full load*, diskenariokan seluruh penumpang berkumpul pada satu sisi kapal, maka terbentuk sudut oleng dengan nilai 3,2° untuk kapal Ro-Ro 1000 GT dan 1,9° untuk kapal Ro-Ro 5000 GT.

Hasil perhitungan *damage stability* pada masing-masing kapal juga telah memenuhi kriteria SOLAS 2009. Dengan indeks A = 0,721, lebih besar daripada R = 0,694 untuk kapal Ro-Ro 1000 GT. Sedangkan pada kapal Ro-Ro 5000 GT, dengan indeks A = 0,868, lebih besar daripada R = 0,715. Hal tersebut menandakan bahwa kapal Ro-Ro 1000 GT dan 5000 GT telah memenuhi kriteria tentang *damage stability* yang terdapat pada SOLAS 2009 *Chapter II-1 Resolution MSC.281(85)* di mana nilai A harus lebih besar daripada R. Hasil analisa menggunakan *maxsurf stability enterprise* pada kapal Ro-Ro ukuran besar yang dibuat dan beroperasi di Indonesia sudah memenuhi kriteria mengenai *damage stability* yang di isyaratkan oleh IMO (*International Maritime Organization*), meskipun di Indonesia belum menerapkan aturan mengenai *damage stability*. Hal ini dipengaruhi oleh adanya konstruksi *side casing* pada kedua kapal. Sehingga menambah

daya apung cadangan, serta memperkecil bukaan yang terdapat pada geladak kendaraan. *Side Casing* merupakan kompartemen tertutup (kedap air) yang terdapat pada sisi samping geladak kendaraan. Pembuatan *side casing* berdasarkan *general arrangement* pada masing-masing kapal.

Jadi dapat disimpulkan bahwa, kedua kapal Ro-Ro ukuran besar di perairan Indonesia telah memenuhi kriteria IS CODE 2008 tentang *intact stability* dan *damage stability*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Zaky, "Analisa Keselamatan Kapal Feri Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability", Jurusan Teknik Produksi Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2012.
- [2] K. Emin, Mehmet Atlar, Atilla Incecik. "An experimental study of motion behaviour with an intact and damaged Ro-Ro ship model". Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, Istanbul, Technical University, Turkey .2003.
- [3] A. Papanikolaou, K. Bitha, E. Eliopoulou, and N. P. Ventikos, "Statistical analysis of ship accidents occurred in the period 1990-2012 and assessment of safety level of ship types," in *Proceedings of the Maritime Technology and Engineering Conference (MARTECH)*, 2014, pp. 227–233..
- [4] KNKT, "Data investigasi kecelakaan pelayaran tahun 2010 – 2016.2016
- [5] Scheltema, RF de Here, "Bouyancy and Stability of Ship", George G. Harrap & Co Ltd, London, 1969 *Machinery Instalation, Vol.III,*" 2016.
- [6] Muzdalifah, Lily. 2016. "Analisa Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability Probabilistik". S1 Teknik Perkapalan UNDIP Semarang.
- [7] Hasanudin, I K.A.P Utama, J.H. Chen 2017. "Application Side Casing on Open Deck RoRo to Improve Ship Stability". Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering, ITS, Surabaya-Indonesia.
- [8] IMO, "Code on intact stability for all type of ships covered by IMO instruments," *Resolution MSC.267(85)*. 2008
- [9] IMO SOLAS Chapter II-1 Resolution MSC.281(85), " *Subdivision and damage stability regulation*", Edition 2009. 2009
- [10] D.G.M. Watson, "Practical Ship Design", Chapter 4. weight base-design, Elsevier, Amsterdam, 1998
- [11] H. J. Koelman and J. Pinkster,

"Rationalizing the practice of probabilistic damage stability calculations," *Int. Shipbuild. Prog.*, vol. 50, no. 3, pp. 239–253, 2003.