

ANALISA KESELAMATAN KAPAL FERRY RO-RO DITINJAU DARI DAMAGE STABILITY PROBABILISTIK

Lily Muzdalifah, Deddy Chrismianto, Eko Sasmito Hadi
S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia,
email: Lilymuzzhafidzah@gmail.com

Abstrak

Sebagai salah satu moda transportasi yang paling berhasil di dunia kapal, feri ro-ro menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, karena moda transportasi ini sangatlah efisien dan efektif. Setiap kapal dapat mengalami kerusakan pada lambung yang disebabkan beberapa faktor antara lain tabrakan, kandas atau terjadi ledakan. Demikian pula kapal feri ro-ro yang sangat rentan terhadap terjadinya kebocoran. Kondisi stabilitas kapal saat terjadi kebocoran pada satu atau beberapa kompartemen disebut damage stability. Untuk mengetahui stabilitas bocor dan peluang kapal tenggelam, analisa dilakukan melalui perhitungan damage stability dengan metode pendekatan probabilistik dengan parameter aturan mengenai konsep probabilitas sesuai ketentuan SOLAS (Safety of Life at Sea) 2009 Chapter II-1 tentang perhitungan indeks subdivisi R (*required subdivision index*) dan A (*attained subdivision index*) yang mana nilai indeks A harus lebih besar atau sama dengan nilai indeks R ($A \geq R$). Nilai indeks R dipengaruhi oleh jumlah penumpang kapal, sedangkan nilai indeks A dipengaruhi oleh faktor π dan σ . Aturan ini diaplikasikan untuk kapal feri ro-ro berukuran 500, 600 dan 750 GT yang umum digunakan pada penyebrangan pulau-pulau di Indonesia. Hasil perhitungan pada ketiga kapal yaitu, kapal pertama dengan panjang 40,15 m (500GT) menghasilkan indeks R sebesar 0,693865 dan indeks A sebesar 0,968. Kapal kedua dengan panjang 48,70 m (600GT) menghasilkan indeks R sebesar 0,695886 dan indeks A sebesar 0,960. Kapal ketiga dengan panjang 48,82 m (750GT) menghasilkan indeks R sebesar 0,694448 dan indeks A sebesar 0,816. Maka, dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai *damage stability* masing-masing kapal telah memenuhi aturan SOLAS *Consolidated Edition 2009 Chapter II-1 part B-1 tentang subdivision and damage stability*.

Kata kunci : *damage stability, kapal feri ro-ro, probabilitas, subdivision*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama periode 2003-2011 telah terjadi 27 kecelakaan kapal di perairan Indonesia yang diakibatkan oleh *sinking* 25%, kebakaran 25%, *grounding* 29% dan penyebab lain 21%. Data lain menunjukkan bahwa penyebab kecelakaan kapal di Indonesia selama 2007-2009 yaitu faktor cuaca 34%, faktor manusia 27%, faktor teknis 18% dan faktor lain 21%. Salah satu contoh tragedi tenggelamnya kapal feri ro-ro KM. Levina 1 dan KM. Senopati Nusantara yang merenggut nyawa ratusan penumpang kedua kapal tersebut. Salah satu hasil analisa dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) menyimpulkan penyebab kapal tenggelam adalah masuknya air ke badan kapal sehingga kapal miring dan langsung tenggelam (KNKT, 2007) dan tragedi yang paling aktual yaitu pada November 2015 lalu KM. Wihan Sejahtera yang tenggelam diperaian Surabaya tak lama setelah meninggalkan pelabuhan. Hal ini diakibatkan kapal-kapal tersebut tidak memiliki stabilitas yang baik karena kapal tidak mampu kembali ke posisi semula.

Hal yang paling mungkin dapat dilakukan oleh perancang kapal adalah berusaha semaksimal mungkin agar ketika mengalami kebocoran kapal masih dapat mengapung dan memiliki stabilitas yang baik. IMO (International Maritime Organization) membuat regulasi SOLAS (Safety of Life at Sea) sebagai regulasi keselamatan menjadi petunjuk dan arahan untuk para desainer kapal dalam mendesain kapal yang ideal, salah satu dari sekian banyak parameter keselamatan kapal itu adalah stabilitas (keseimbangan) yang baik. Rekomendasi SOLAS (Safety of Life at Sea) mengenai kriteria stabilitas minimum untuk kapal yang mengalami kebocoran dapat menjadi acuan dalam analisis peluang kapal tenggelam.[1]

Studi analisis ini dilakukan pada kapal penyebrangan atau kapal *ro-ro* (*Roll-On Roll-Off*) dengan ukuran 500, 600 dan 750 GT. Alasan pemilihan kapal jenis *ro-ro* ini adalah karena kapal *ro-ro* merupakan salah satu moda transportasi laut yang cukup banyak digunakan dalam menghubungkan titik-titik kota dan daerah di Indonesia.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan Analisa pada aspek *damage stability* dengan metode probabilistik untuk mengetahui kemampuan bertahan kapal pada saat terjadi kebocoran. Parameter aturan yang digunakan yaitu SOLAS *Consolidated edition 2009 Chapter II-1* part B-1 tentang *subdivision and damage stability*.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka ditentukan beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Apakah perhitungan *damage stability* kapal feri ro-ro ukuran 500, 600 dan 750 GT sudah memenuhi syarat SOLAS *Consolidated edition 2009 Chapter II-1* part B-1 tentang *Subdivision and damage stability*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

1. Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah kapal *ro-ro*, Kapal Penyebrangan berukuran 500, 600 dan 750 GT milik ASDP.
2. Perhitungan kebocoran dianalisa menggunakan software *Maxsurf stability enterprise*.
3. Pada metode *lost buoyancy* ini *displacements* kapal tidak berubah atau tetap, yang berubah hanya bidang bagian yang tercelup.
4. Parameter evaluasi yang digunakan adalah persyaratan SOLAS (Safety of Life at Sea).
5. Pengaruh berat dan kekuatan konstruksi diabaikan.
6. Kondisi laut pada saat kapal berlayar dalam kondisi tenang *calm water*.

1.4 Tujuan Masalah

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mempelajari ketentuan SOLAS *Consolidated edition 2009 Chapter II-1* part B-1 tentang *Subdivision and damage stability*.
2. Melakukan perhitungan *damage stability probabilistik* untuk kapal ro-ro dengan ukuran 500,600 dan 750 sesuai ketentuan SOLAS 2009 atau tidak .

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Ro-Ro

Ro-Ro adalah singkatan *Roll-on Roll-off*. Kapal *ro-ro* adalah kapal yang digunakan untuk membawa muatan kargo yang memiliki roda. Kapal *ro-ro* berbeda dari kapal *lo-lo* (*lift on-lift off*) yang menggunakan *crane* untuk memuat kargo. Kendaraan di kapal dimuat dan dibongkar melalui pintu rampa. Biasanya rampa ini dibuat pada bagian buritan kapal, dan dalam beberapa kapal rampa juga ditemukan pada bagian haluan serta sisi kapal.

Pada studi pengembangan teknologi kapal *ro-ro*, artikel-artikel yang di-*review* mayoritas berhubungan dengan tingkat keselamatan kapal *ro-ro*. Hal ini disebabkan kapal *ro-ro* memiliki delapan alasan yang membuat kapal *ro-ro* lebih bahaya dibandingkan kapal niaga tipe lain, yang meliputi: (a) problem stabilitas, (b) *freeboard* rendah, (c) pintu akses muatan, (d) tidak adanya *bulkhead*, (e) lokasi alat keselamatan tinggi, (f) sensitif terhadap kondisi cuaca, (g) pengikatan muatan truk dan (h) proses *loading* yang mempengaruhi distribusi berat.[2]

Bedasarkan alasan diatas, penelitian ini bermaksud untuk menganalisa *damage stability* kapal ro-ro berukuran 500, 600 dan 750 GT yang umum digunakan dalam peyebangan di Indonesia.

2.2 Dasar Kebocoran

Kebocoran ialah air masuk ke dalam satu ruangan atau kompartemen dari kapal yang disebabkan oleh kebocoran ruangan tersebut atau hal lain yang menyebabkan air dapat masuk ke dalam ruangan kapal. Kebocoran pada kompartemen kapal mengakibatkan perubahan sarat, *trim* dan *heel*.Selanjutnya, hal ini dapat mengakibatkan kapal tenggelam. Untuk itulah dibuat regulasi sehingga ketika kapal mengalami kebocoran maka kapal masih bisa mengapung dan *crew* kapal dapat diselamatkan. Agar kapal masih dapat bertahan pada saat terjadi kebocoran maka badan kapal dibagi menjadi beberapa kompartemen dengan sekat kedap.[1]

2.3 Damage Stability

Sejarah tenggelamnya kapal penumpang Titanic pada 14 April 1912 yang menimbulkan korban jiwa sebanyak 1.514 dan peristiwa tersebut merupakan bencana yang terburuk dan paling dikenal hingga saat ini. Pada tahun 1913 beberapa negara besar mulai membahas tentang ketahanan kapal terhadap kebocoran dan yang menjadi salah satu warisan terpenting dari bencana ini adalah penetapan Konvensi Internasional untuk Keselamatan Penumpang di

Laut (SOLAS (*Safety Of Life At Sea*)), yang masih mengatur keselamatan laut sampai sekarang.

Pada tahun 1936 Maritim Commission mensyaratkan bahwa kapal harus mempunyai kompartemen standar agar kapal masih bisa mengapung jika suatu saat terjadi kebocoran. Tahun 1973 IMCO (sekarang berubah menjadi IMO (*International Maritime Organization*)) menyetujui adanya perubahan pada perhitungan *subdivision* yaitu dengan pendekatan *probabilistic*. Melalui berbagai perkembangan, akhirnya sejak 1 Februari 1992 SOLAS mengharuskan bahwa kapal-kapal barang yang akan dibangun pada atau setelah tanggal tersebut harus dihitung stabilitas bocornya dan hubungannya dengan kompartemen standar menggunakan pendekatan *probabilistic*. [3]

2.4 Pendekatan Probabilistik

(Wendel, 1960) telah memperkenalkan notasi probabilitas kapal bisa bertahan setelah kebocoran dan metodenya dikenal dengan 'a new way'. Pendekatan ini melakukan satu perhitungan yang mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang kapal yang bisa terjadi beserta kemungkinan akibat yang ditimbulkannya. Kemungkinan kasus kebocoran itu bisa satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan.

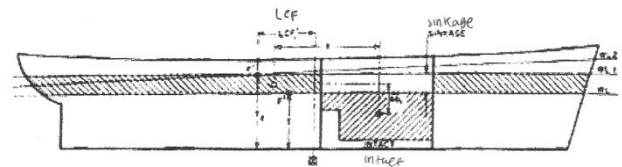
Untuk mengakomodasi pendekatan baru ini dalam perhitungan *damage stability* maka IMO kemudian menuangkannya dalam SOLAS *requirement chapter III part B-1* yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 Februari 1992. Perhitungan SOLAS telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasar pendekatan probabilistik, yaitu:

- 1) Perhitungan yang mengakomodasi probabilistik atau kemungkinan tentang kompartemen atau group kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen seluruh panjang kapal mengalami bocor. yang perlu dicatat bahwa kemungkinan bocor dari grup kompartemen yang terjadi adalah kompartemen yang saling berdekatan.
- 2) Perhitungan yang mengakomodasi probabilistik atau kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau grup kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal. [1]

2.5 Metode Perhitungan *Damage Stability Lost Buoyancy*

Prinsip metode *lost buoyancy* adalah ketika kapal mengalami kebocoran maka besar *buoyancy* kapal akan berkurang. Hal ini terjadi karena ruangan kosong didalam kapal sebagian telah terisi air sehingga dianggap tidak lagi menjadi bagian dari kapal yang memberi kontribusi pada besarnya *buoyancy*, atau dengan kata lain air yang masuk kedalam kompartemen dianggap menjadi bagian air laut. Karena adanya hal ini maka kapal akan mengalami *sinkage* dan sarat kapal akan bertambah.

Pada perhitungan dengan menggunakan metode *lost buoyancy*, displasemen, volume displasemen dan KG kapal tidak berubah. Yang berubah hanya bentuk dan distribusi volume *buoyancy* kapal karena adanya volume *buoyancy* yang hilang (*lost buoyancy*) oleh karena itu *lost buoyancy* dikenal dengan *constant displacement method*.



Gambar 1 Sinkage dan trim dengan metode *lost buoyancy*

Pada perhitungan SOLAS 2009 *Consolidated Edition Chapter II-1* dibutuhkan perhitungan untuk faktor *si*. Perhitungan ini membutuhkan besar sudut kesetimbangan akhir kapal setelah mengalami kebocoran θ_e lengan pengembali GZ_{max} dan selisih antara sudut tenggelam dengan sudut dengan sudut kesetimbangan akhir kapal *range*. Untuk mendapatkan θ_e , GZ_{max} dan *range* harus digunakan metode perhitungan stabilitas yaitu *damage stability*. [1]

2.6 Persyaratan SOLAS *Consolidated Edition 2009*

2.6.1 Indeks Subdivisi R

Peraturan SOLAS tentang *subdivision* bertujuan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal yang masih memenuhi standar keselamatan. Memenuhi atau tidaknya penyekatan suatu kapal ditentukan oleh suatu indeks tingkat subdivisi R, sedangkan indeks subdivisi untuk kapal penumpang dirumuskan:

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

Dimana:

$$N = N_1 + 2N_2$$

N_1 = jumlah orang dalam setiap sekoci

N_2 = jumlah orang (termasuk perwira dan awak kapal)

Nilai indek yang dicapai *Attained Subdiviion Index*, A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai indek R (*Required Subdivision index*, R), $A > R$. [4]

2.6.2 Indek Subdivisi A

Nilai indek total A diperoleh melalui penjumlahan indek parsial A_s , A_p dan A_l dimana nilainya dihitung berdasar sarat d_s , d_p dan d_l , sehingga rumus menjadi:

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l \quad (2)$$



Gambar.2. Sarat rata-rata dan trim

Setiap indek parsial merupakan penjumlahan kontribusi untuk semua kasus kebocoran yang diperhitungkan, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \sum p_i \cdot s_i \quad (3)$$

1. Perhitungan Faktor Pi

Perhitungan P_i dilakukan sebagai berikut: Besarnya faktor P_i untuk *single compartement* adalah sebagai berikut:

1. Untuk kompartemen yang panjangnya adalah L_s , artinya kapal hanya memiliki satu kompartemen, tanpa adanya sekat melintang.

$$P_i = 1 \quad (4)$$

2. Untuk kompartemen di ujung belakang kapal (ujung belakang kompartemen merupakan ujung belakang L_s).

$$P_i = F + 0,5 ap + q \quad (5)$$

3. Untuk kompartemen di ujung depan kapal (ujung depan kompartemen adalah ujung depan L_s).

$$P_i = 1 - F + 0,5 ap \quad (6)$$

4. Kompartemen berada diantara ujung depan dan ujung belakang L_s .

$$P_i = ap \quad (7)$$

besarnya faktor P_i untuk kelompok atau grup kompartemen ditentukan sebagai berikut:

- Untuk grup yang terdiri dari 2 kompartemen :
 $P_i = P_{12} - p_1 - p_2$
 $P_i = P_{23} - p_2 - p_3$, dan seterusnya.
- Untuk grup yang terdiri dari 3 kompartemen :

$$P_i = P_{123} - p_{12} - p_{23} - p_3, \text{ dan seterusnya.}$$

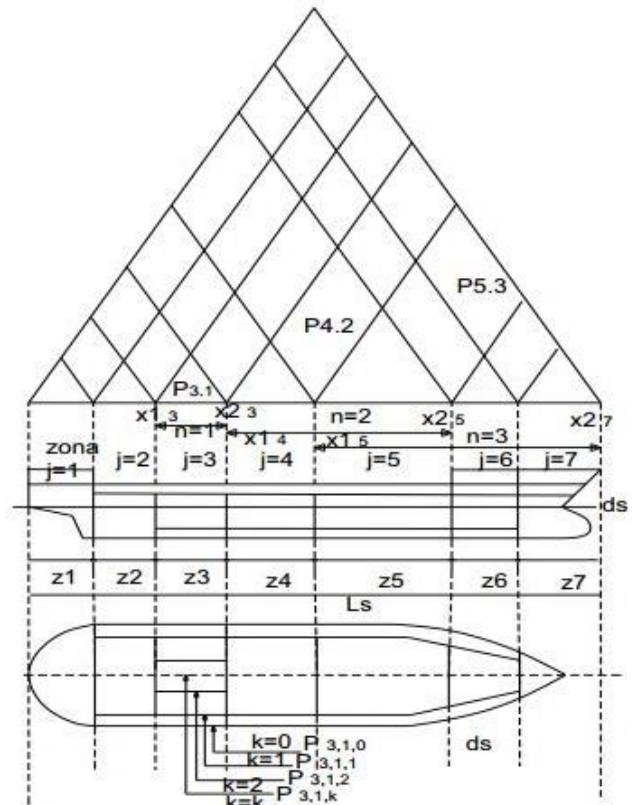
- Untuk grup yang terdiri dari 4 kompartemen :
 $P_i = P_{1234} - p_{123} - p_{234} - p_{34}$
 $P_i = P_{2345} - p_{234} - p_{345} - p_{34}$, dan seterusnya. [3]

Dengan :

P_{12}, P_{23}, P_{34} dan seterusnya.

$P_{123}, P_{234}, P_{345}$ dan seterusnya.

$P_{1234}, P_{2345}, P_{3456}$ dan seterusnya.



Gambar.3. Peluang kebocoran pada satu atau grup kompartemen

2. Perhitungan Faktor Si

Untuk masing-masing kompartemen dan grup kompartemen (i) nilai S_i didapat dari persamaan berikut:

$$S_i = 0.5 S_1 + 0.5 S_p \quad (8)$$

S_1 adalah faktor S_i pada garis terendah

S_p adalah faktor S_i pada *partial line*

Sedangkan nilai S ditentukan sebagai berikut :

$$s = C \sqrt{0,5 \times GZ_{\max} \times \text{rentang}} \quad (9)$$

Dimana

$$C = 1 \quad \text{jika } \phi_e \leq 25^\circ$$

$$C = 0 \quad \text{jika } \phi_e > 30^\circ$$

$$C = \sqrt{\frac{(30 - \phi_e)}{5}} \quad \text{jika } 25^\circ < \phi_e \leq 30^\circ$$

Faktor probabilitas v_i dihitung sebagai berikut :

$$V_i = H - T / H_{\max} - T \quad (10)$$

Bagaimanapun nilai $V_i \leq 1$ [5]

2.7 Permeabilitas

Merupakan rasio perbandingan antara volume air kebocoran yang masuk ke dalam kompartemen ϕ dengan volume *moulded* kompartemen v .

$$\mu = \frac{v_f}{v} \quad (11)$$

Pada perhitungan subdivision dan *damage stability*, permeabilitas untuk tiap kompartemen atau bagian kompartemen sebagai berikut:

Tabel.1. Permeabilitas untuk tiap kompartemen

| Kompartemen | Permeabilitas |
|------------------------|---------------|
| Gudang | 0.60 |
| Ruang akomodasi | 0.95 |
| Ruang mesin | 0.85 |
| Void | 0.95 |
| Ruangan untuk zat cair | 0 or 0.95 |

Tabel.2. Permeabilitas untuk tiap kompartemen sesuai sarat

| Kompartemen | Permeabilitas pada sarat ds | Permeabilitas pada sarat ds | Permeabilitas pada sarat ds |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Muatan kering | 0.70 | 0.80 | 0.95 |
| Muatan kontainer | 0.70 | 0.80 | 0.95 |
| Muatan ro-ro | 0.90 | 0.90 | 0.95 |
| Muatan cair | 0.70 | 0.80 | 0.95 |

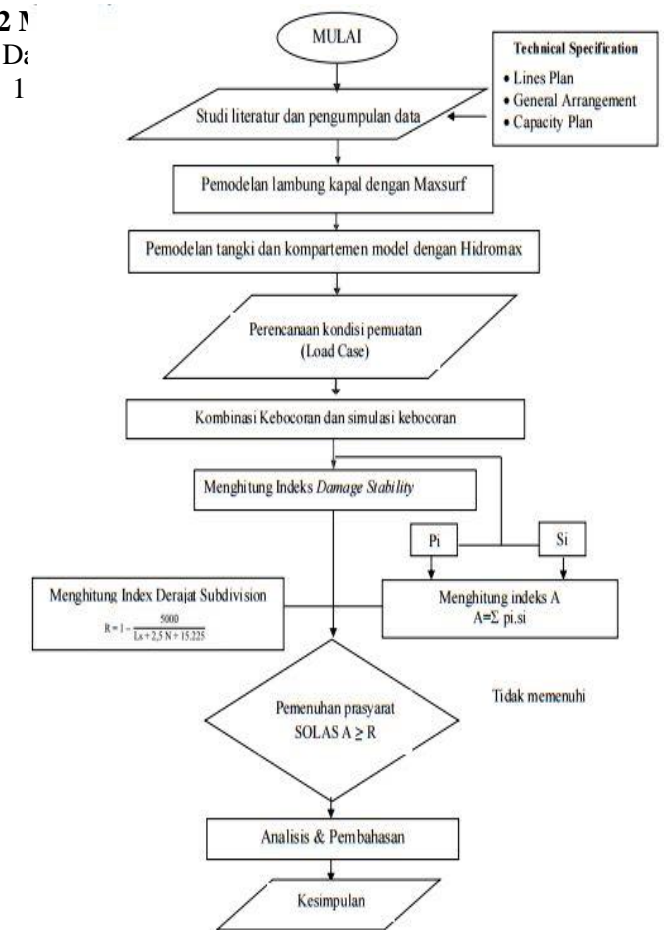
3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penyekatan pada kapal feri ro-ro ukuran 500, 600 dan 750 GT melalui perhitungan *damage stability* sesuai ketentuan SOLAS 2009. Tahapan pertama akan menghasilkan model bentuk *hullform ro-ro* beserta penyekatan tanki-tankinya pada tiap-tiap ukuran kapal yang diperoleh dari data rencana umum. Model yang selesai didesain diatur loadcase sesuai dengan kondisi syarat SOLAS yaitu *lightship*, *partial* dan *deepest*. Kemudian masuk pada tahap kombinasi kebocoran dan simulasi kebocoran yaitu dengan menghitung indeks A dan indeks R tiap-tiap kapal dengan menggunakan software *Maxsurf Stability Enterprise*.

3.2

a. Data



- B : 14,00 m
- H : 3,80 m
- T : 2,70m
- V_s : 11,00 Knot
- Crew : 22 person
- Passanger: 196 person

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literatur (jurnal, paten, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

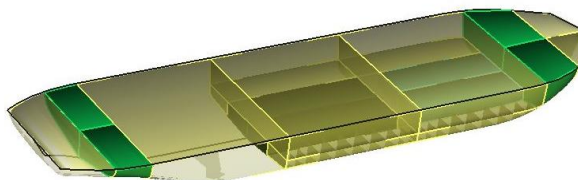
4.1 Permodelan Lambung Kapal dan Tangki dan Kompartemen

Model lambung kapal feri *ro-rod* dibuat dengan menggunakan bantuan software *Maxsurf modeller*. Ketiga model lambung kapal didesain sampai pada ketinggian batas air, hal ini bertujuan agar dapat mengetahui kemampuan lambung kapal sendiri tanpa adanya bangunan atas kapal. Selanjutnya dibuat tangki dengan memasukkan titik koordinat tangki sesuai dengan data *general arrangement* secara 3 dimensi pada tabel. Untuk memudahkan dalam proses analisis selanjutnya, maka perlu dilakukan pemberian nama tangki atau kompartemen. Adapun tipe fluida yang tersimpan dalam tangki juga perlu disesuaikan pada kolom fluid type, diikuti nilai permeability tiap tangki atau kompartemen berdasarkan ketentuan SOLAS (Safety of Life at Sea) dimana nilainya berbeda tergantung dari jenis tangki ataupun kompartemen:

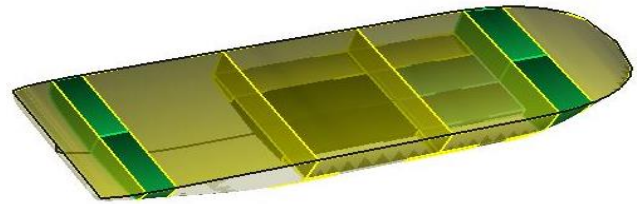
| Name | Type | Intact Perm. % | Damaged Perm. % | Specific gravity | Fluid Type | Boundary Surfaces | Alt. m | Fore m | F.Port m | F.Stbd. m | F.Top m | F.Bot. m | A.Port m | A.Stbd m |
|-----------------|---------|----------------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|--------|--------|----------|-----------|---------|----------|----------|----------|
| 1 Tank B S | Tank | 100 | 100 | 1.025 | Sea Water | none | 2.499 | 5.5 | 0 | 6.989 | 3.712 | 0.261 | DTTO | 0 |
| 2 Tank B P | Tank | 100 | 100 | 1.025 | Sea Water | none | 2.499 | 5.5 | -6.989 | 0 | 3.712 | 0.261 | -6.989 | DT |
| 3 Nil | Compant | 85 | 85 | | | none | 5.5 | 17.504 | -7.001 | 7.001 | 3.712 | 0 | -6.989 | 0 |
| 4 Compant S | Compant | 70 | 70 | | | none | 17.504 | 29.506 | 3.501 | 7.001 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 5 Compant P | Compant | 70 | 70 | | | none | 17.504 | 29.506 | -3.501 | -3.501 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 6 Tank FO S | Tank | 100 | 100 | 0.9443 | Fresh Oil | none | 17.504 | 29.506 | 0 | 3.501 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 7 Tank FO P | Tank | 100 | 100 | 0.9443 | Fresh Oil | none | 17.504 | 29.506 | -3.501 | 0 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 8 Void 1 | Compant | 100 | 100 | | | none | 17.504 | 29.506 | -7.001 | 7.001 | 3.712 | 1.502 | DTTO | DT |
| 9 Coffertam | Compant | 100 | 100 | | | none | 29.506 | 31.507 | -3.501 | 3.501 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 10 Compant 2 S | Compant | 70 | 70 | | | none | 29.506 | 41.508 | 3.501 | 6.88 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 11 Compant 2 P | Compant | 70 | 70 | | | none | 29.506 | 41.508 | -6.88 | -3.501 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 12 Tank FW S | Tank | 100 | 100 | 1 | Fresh Water | none | 31.507 | 41.508 | 0 | 3.501 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 13 Tank FW P | Tank | 100 | 100 | 1 | Fresh Water | none | 31.507 | 41.508 | -3.501 | 0 | 1.502 | 0 | DTTO | DT |
| 14 Void 2 | Compant | 100 | 100 | | | none | 29.506 | 41.508 | -7.001 | 7.001 | 3.712 | 1.502 | DTTO | DT |
| 15 Ballast Fp S | Tank | 100 | 100 | 1.025 | Sea Water | none | 41.508 | 49.355 | 0 | 5.4 | 3.841 | 0 | DTTO | 0 |
| 16 Ballast Fp P | Tank | 100 | 100 | 1.025 | Sea Water | none | 41.508 | 49.355 | -5.4 | 0 | 3.841 | 0 | -4.86 | DT |
| 17 Ceruk Fp S | Compant | 100 | 100 | | | none | 49.355 | 49.355 | 0 | 5.4 | 3.841 | 0 | DTTO | DT |
| 18 Ceruk Fp P | Compant | 100 | 100 | | | none | 49.355 | 49.355 | -5.4 | 0 | 3.841 | 0 | DTTO | DT |
| 19 Steering | Compant | 85 | 85 | | | none | -1.5 | 2.499 | -6.989 | 6.989 | 3.712 | 1.339 | DTTO | DT |

Gambar.4. Input data tangki pada *room definition window*

Setelah memasukkan data-data nama tangki, titik koordinat tangki, tipe fluida yang diangkut tangki, berat jenis muatan fluida dan sebagainya selanjutnya klik *update value in loadcase* untuk memunculkan tangki pada model kapal.

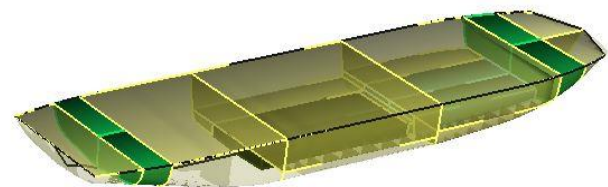


[a]



[b]

| TANKI | | |
|------------------------|---|--|
| 1 Zona | 2 Zona | 3 Zona |
| steering | steering & ballsat ap | steering & ballsat ap & KM |
| ballast ap (P) | ballast ap (P) & KM | ballast ap (P) & KM & void, FO, void 1 |
| KM | KM & void, FO, Void 1 | KM & void, FO, Void 1 & coff, void, FW, void 2 |
| void, FO, Void 1 | void, FO, Void 1 & coff, void, FW, Void 2 | void, FO, Void 1 & coff, void, FW, Void 2 & ballast Fp |
| coff, void, FW, Void 2 | coff, void, FW, Void 2 & ballast Fp | coff, void, FW, Void 2 & ballast Fp & Ceruk haluan |
| ballast fp (P) | ballast fp (P) & Ceruk haluan | |
| ceruk haluan | | |



[c]

Gambar.5. [a] Feri ro-ro 750 GT [b] Feri ro-ro 600 GT [c] Feri ro-ro 500 GT

4.2 Pembagian Sarat Kapal dan Rencana Kondisi Pemuatan

Berdasarkan ketentuan SOLAS (Safety of Life at Sea), untuk menghitung indeks A harus dipertimbangkan 3 kondisi pemuatan. Kondisi sarat kapal tanpa muatan atau *lightweight (dl)*, kondisi sarat kapal muatan 50% atau *partial subdivision (dp)*, dan yang terakhir adalah kondisi sarat kapal muatan penuh atau *deepest subdivision (ds)*.

| Item Name | Quantity | Unit Mass tonnes | Total Mass tonnes | Unit Volume m³ | Total Volume m³ | Long. Arm m | Trans. Arm m | Vert. Arm m | Total FSM tonnes.m | FSM Type |
|------------------|----------|------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 Lighthouse | 1 | 448.000 | 448.000 | | | 24.410 | 0.000 | 1.900 | 0.000 | User Specif |
| 2 Tank B S | 0% | 42.003 | 0.000 | 40.979 | 0.000 | 5.483 | 0.000 | 0.344 | 0.000 | Maximum |
| 3 Tank B P | 0% | 42.003 | 0.000 | 40.979 | 0.000 | 5.483 | 0.000 | 0.344 | 0.000 | Maximum |
| 4 Tank FO S | 0% | 53.488 | 0.000 | 56.643 | 0.000 | 23.585 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 5 Tank FO P | 0% | 53.488 | 0.000 | 56.643 | 0.000 | 23.585 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 6 Tank FW S | 0% | 46.687 | 0.000 | 46.687 | 0.000 | 38.229 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 7 Tank FW P | 0% | 46.687 | 0.000 | 46.687 | 0.000 | 38.229 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 8 Ballast Fp S | 0% | 72.674 | 0.000 | 70.902 | 0.000 | 42.724 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 9 Ballast Fp P | 0% | 72.674 | 0.000 | 70.902 | 0.000 | 42.724 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | Maximum |
| 10 Total Loadca | | | 448.000 | 430.420 | 0.000 | 24.410 | 0.000 | 1.900 | 0.000 | |
| 11 FS correction | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | |
| 12 WDG Rule | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | |

[a]

| Item Name | Quantity | Unit Mass tonne | Total Mass tonne | Unit Volume m ³ | Total Volume m ³ | Long. Arm m | Trans. Arm m | Vert. Arm m | Total FSM tonne.m | FSM 1 |
|------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|---------|
| 1 Lightship | 1 | 448,000 | 448,000 | | | 24,410 | 0,000 | 1,900 | 0,000 | User Sp |
| 2 Tank B S | 50% | 42,003 | 21,001 | 40,979 | 20,489 | 4,210 | -2,350 | 2,020 | 81,948 | Maximum |
| 3 Tank B P | 50% | 42,003 | 21,001 | 40,979 | 20,489 | 4,210 | -2,350 | 2,020 | 81,948 | Maximum |
| 4 Tank FO S | 50% | 53,488 | 26,744 | 56,643 | 28,321 | 23,505 | 1,617 | 0,485 | 40,528 | Maximum |
| 5 Tank FO P | 50% | 53,488 | 26,744 | 56,643 | 28,321 | 23,505 | -1,617 | 0,485 | 40,528 | Maximum |
| 6 Tank FW S | 50% | 46,687 | 23,344 | 46,687 | 23,344 | 36,425 | -1,603 | 0,494 | 35,763 | Maximum |
| 7 Tank FW P | 50% | 46,687 | 23,344 | 46,687 | 23,344 | 36,425 | -1,603 | 0,494 | 35,763 | Maximum |
| 8 Ballast Fp S | 50% | 72,674 | 36,337 | 70,902 | 35,451 | 43,299 | 2,390 | 1,442 | 81,280 | Maximum |
| 9 Ballast Fp P | 50% | 72,674 | 36,337 | 70,902 | 35,451 | 43,299 | -2,390 | 1,442 | 81,280 | Maximum |
| 10 Total Loads | | 682,852 | 341,426 | 682,852 | 341,426 | 25,874 | 0,000 | 1,644 | 479,061 | |
| 11 FS correction | | | | | | | | | 0,723 | |
| 12 VCG fluid | | | | | | | | | 2,367 | |

[b]

| Item Name | Quantity | Unit Mass tonne | Total Mass tonne | Unit Volume m ³ | Total Volume m ³ | Long. Arm m | Trans. Arm m | Vert. Arm m | Total FSM tonne.m | FSM 1 |
|------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|---------|
| 1 Lightship | 1 | 448,000 | 448,000 | | | 24,410 | 0,000 | 1,900 | 0,000 | User Sp |
| 2 Tank B S | 100% | 42,003 | 42,003 | 40,979 | 40,979 | 4,111 | -2,845 | 2,618 | 0,000 | Maximum |
| 3 Tank B P | 100% | 42,003 | 42,003 | 40,979 | 40,979 | 4,111 | -2,845 | 2,618 | 0,000 | Maximum |
| 4 Tank FO S | 100% | 53,488 | 53,488 | 56,643 | 56,643 | 23,505 | 1,604 | 0,825 | 0,000 | Maximum |
| 5 Tank FO P | 100% | 53,488 | 53,488 | 56,643 | 56,643 | 23,505 | -1,604 | 0,825 | 0,000 | Maximum |
| 6 Tank FW S | 100% | 46,687 | 46,687 | 46,687 | 46,687 | 36,466 | 1,677 | 0,831 | 0,000 | Maximum |
| 7 Tank FW P | 100% | 46,687 | 46,687 | 46,687 | 46,687 | 36,466 | -1,677 | 0,831 | 0,000 | Maximum |
| 8 Ballast Fp S | 100% | 72,674 | 72,674 | 70,902 | 70,902 | 43,369 | 2,715 | 2,242 | 0,000 | Maximum |
| 9 Ballast Fp P | 100% | 72,674 | 72,674 | 70,902 | 70,902 | 43,369 | -2,715 | 2,242 | 0,000 | Maximum |
| 10 Total Loads | | 877,704 | 438,852 | 877,704 | 438,852 | 26,779 | 0,000 | 1,781 | 0,000 | |
| 11 FS correction | | | | | | | | | 0,000 | |
| 12 VCG fluid | | | | | | | | | 1,781 | |

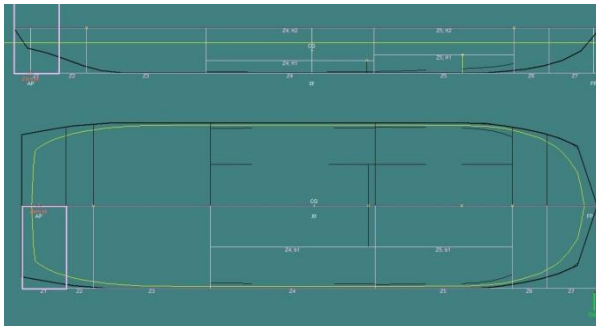
[c]

Gambar.6.Kondisi pemuatan [a] lightship (0%) [b] partial (50%) [c] deepest (100%)

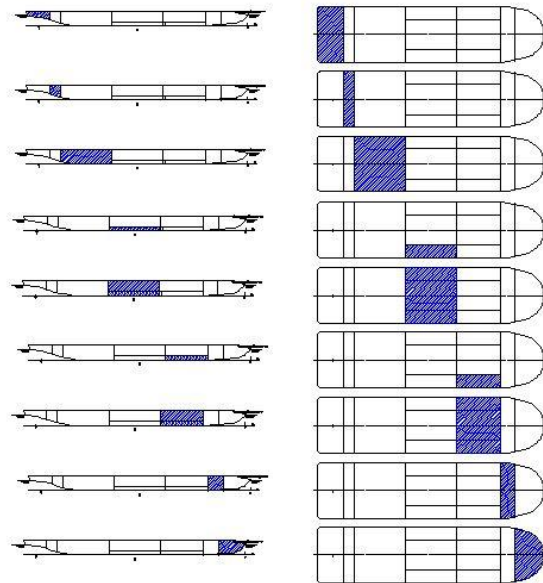
4.3 Perencanaan Kebocoran

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. Skenario kebocoran tersebut disimulasikan pada software *Maxsurf Stability Enterprise*.

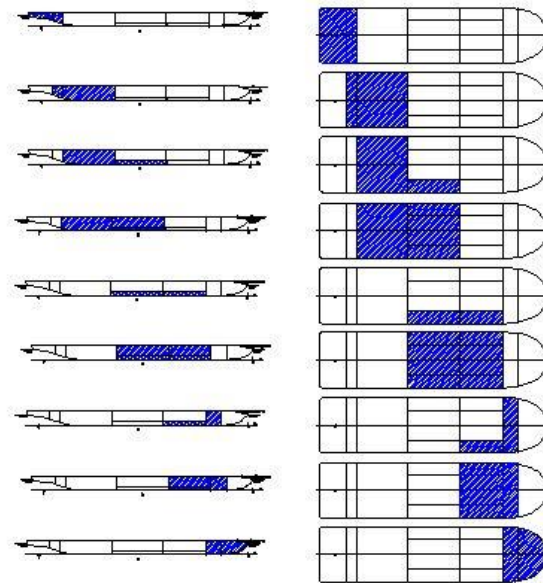
Tabel.3. Skenario kebocoran kapal



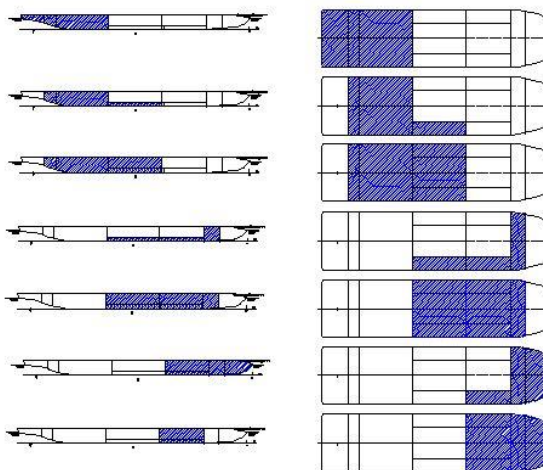
Gambar.7.Visualisasi letak sekat kapal



Gambar.8. Visualisasi kebocoran 1 zona



Gambar.9. Visualisasi kebocoran 2 zona



Gambar.10. Visualisasi kebocoran 3 zona

4.4 Menghitung Nilai Indeks Damage Stability Berdasarkan SOLAS (Safety of Life at Sea)

Dalam Peraturan SOLAS (Safety of Life at Sea) tentang Subdivisi, untuk menghitung indeks damage stability, terdapat dua variable utama yaitu Required Subdivision Index (R) dan Attained Subdivision Index (A). Dimana nilai indeks yang dicapai A (Attained Subdivision Index A) sebuah kapal tidak boleh kurang atau sama dengan nilai Indeks R yang disyaratkan (Required Subdivision Index R), atau $A \geq R$.

1. Tabel hasil tabulasi damage stability kapal feri ro-ro 500 GT

| Ferry ro-ro 500 GT | | | |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| No. of zones damaged | Attained Indeks | Required Indeks | |
| 1 | 0,675 | 0,675 | 0,693865 |
| 2 | 0,252 | 0,927 | 0,693865 |
| 3 | 0,042 | 0,968 | 0,693865 |
| 4 | 0,000 | 0,968 | 0,693865 |
| 5 | 0,000 | 0,968 | 0,693865 |
| 6 | 0,000 | 0,968 | 0,693865 |
| 7 | 0,000 | 0,968 | 0,693865 |

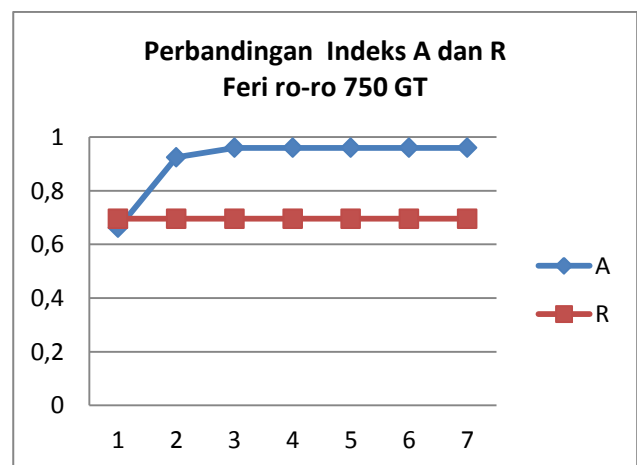
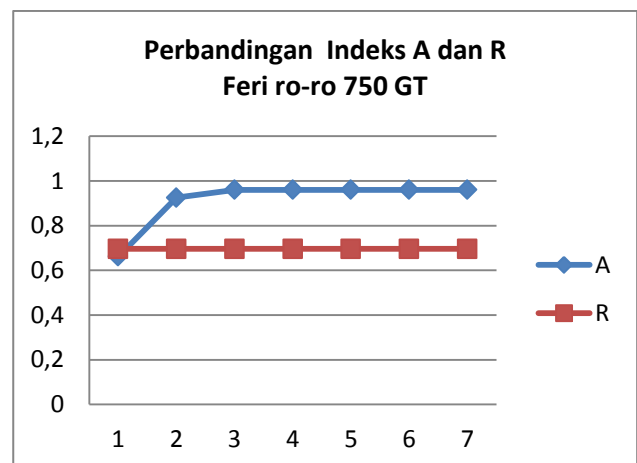
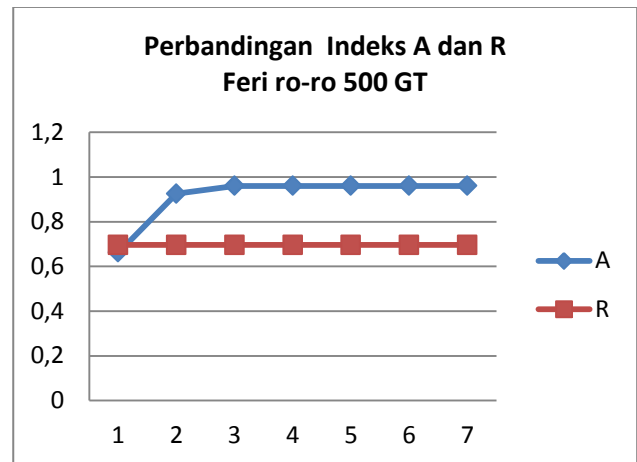
2. Tabel hasil tabulasi damage stability kapal feri ro-ro 600 GT

| Ferry ro-ro 600 GT | | | |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| No. of zones damaged | Attained Indeks | Required Indeks | |
| 1 | 0,662 | 0,662 | 0,695886 |
| 2 | 0,264 | 0,925 | 0,695886 |
| 3 | 0,035 | 0,960 | 0,695886 |
| 4 | 0,000 | 0,960 | 0,695886 |
| 5 | 0,000 | 0,960 | 0,695886 |
| 6 | 0,000 | 0,960 | 0,695886 |
| 7 | 0,000 | 0,960 | 0,695886 |

3. Tabel hasil tabulasi damage stability kapal feri ro-ro 750 GT

| Ferry ro-ro 750 GT | | | |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------|
| No. of zones damaged | Attained Indeks | Required Indeks | |
| 1 | 0,594 | 0,594 | 0,694448 |
| 2 | 0,223 | 0,813 | 0,694448 |
| 3 | 0,003 | 0,816 | 0,694448 |
| 4 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 5 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 6 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 7 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |

| | | | |
|---|-------|-------|----------|
| 1 | 0,594 | 0,594 | 0,694448 |
| 2 | 0,223 | 0,813 | 0,694448 |
| 3 | 0,003 | 0,816 | 0,694448 |
| 4 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 5 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 6 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |
| 7 | 0,000 | 0,816 | 0,694448 |



5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil tabulasi damage stability kapal feri ro-ro sebagai berikut:
 - a. Model kapal feri ro-ro 500 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,9683 dengan nilai indeks R 0,693865.
 - b. Model kapal feri ro-ro 600 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,960 dengan nilai indeks R 0,695886.
 - c. Model kapal feri ro-ro 750 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,816 dengan nilai indeks R 0,694448.

Dari hasil tersebut ketiga tipe kapal ro-ro masing-masing memiliki indeks A yang lebih besar dari indeks R, hal ini berarti menunjukkan bahwa nilai *damage stability* masing-masing kapal telah memenuhi aturan SOLAS *Consolidated edition 2009 Chapter II-1* part B-1 tentang *Subdivision and damage stability*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Zaky, "Analisa Keselamatan Kapal Feri Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability", Tesis, Jurusan Teknik Produksi Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2012.
- [2] Klaas van Dokkum, *Ship Knowledge a Modern Encyclopedia.pdf*. Netherlands: DOKMAR, 2003.
- [3] M. Adha, "Kajian Damage Stability Pada Konversi Kapal Tanker Menjadi FSO Dengan Menggunakan Software Maxsurf: Studi Kasus M . T . Lentera Bangsa", Tesis, Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2011.
- [4] International Maritime Organization, *SOLAS, Consolidated Edition 2009*. 2009.
- [5] H. J. Koelman and J. Pinkster, "Rationalizing the practice of probabilistic damage stability calculations," *Int. Shipbuild. Prog.*, vol.