



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Pengaruh Modifikasi Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) Menjadi Kapal Ferry Terhadap Performa Kapal

Muhammad Rahmat Darmawan<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>, Berlian Arswendo A.<sup>1)\*</sup>

Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*email : erdemuhammad@gmail.com, parlin1974@yahoo.com, berlian@undip.ac.id

### Abstrak

Upaya untuk mencukupi ketersediaan armada angkutan penyebrangan selain memproduksi kapal baru adalah melakukan modifikasi terhadap kapal LCT menjadi jenis kapal ferry. Faktor yang perlu diperhatikan dalam perencanaan serta pelaksanaannya yaitu bagaimana pengaruh modifikasi tersebut terhadap performa kapal yang dinilai berdasarkan aspek stabilitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *intact stability* dan *damage stability* pada kondisi kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi. Hasil analisis *intact stability* kapal sebelum dan setelah modifikasi telah memenuhi kriteria pada beberapa kondisi *load case* dengan nilai sudut maksimal GZ tidak kurang dari atau sama dengan  $25^{\circ}$ . Hasil perhitungan analisis *damage stability* kapal sebelum modifikasi diperoleh nilai *Index A* sebesar 0.872006 dan nilai *Index R* sebesar 0.490257. Sedangkan untuk kapal setelah modifikasi diperoleh 0.992875 untuk nilai *Index A* dan 0.692279 untuk nilai *Index R*. Hasil tersebut telah memenuhi standar kriteria yang disyaratkan yaitu *Index A* lebih besar dari *Index R* ( $A > R$ ) dengan menggunakan metode pendekatan probabilistik. Hasil penelitian ini, baik *intact stability* maupun *damage stability* telah memenuhi ketentuan serta kriteria yang berlaku menurut IMO MSC. 267 (85) dan SOLAS.

Kata Kunci : modifikasi, *intact stability*, *damage stability*, performa kapal

### 1. PENDAHULUAN

Upaya untuk mencukupi ketersediaan armada angkutan penyebrangan laut, maka diperlukan adanya peningkatan jumlah armada yang siap beroperasi. Untuk menghadirkan sebuah kapal baru, tentunya dibutuhkan waktu yang tidak singkat dan biaya yang cukup besar terkait proses produksi, perijinan, dan persiapan lainnya yang diperlukan agar sesuai dengan standar yang berlaku. Hal tersebut rupanya menjadi salah satu faktor pihak penyedia jasa angkutan laut untuk melakukan modifikasi terhadap kapal yang telah ada sebelumnya.

Modifikasi yang paling memungkinkan yaitu merubah jenis kapal LCT menjadi jenis kapal ferry dan tentunya dalam perencanaan modifikasi tersebut tetap harus mematuhi ketentuan serta peraturan yang berlaku saat ini. Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) merupakan salah satu jenis

kapal yang berfungsi sebagai angkutan di laut dan perairan yang dangkal dan biasanya digunakan untuk pengiriman dengan jenis muatan kargo. Namun saat ini, kapal LCT dilarang beroperasi sebagai angkutan penyebrangan oleh Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dengan berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor SK.885/AP.005/DRJD/2015.

Penelitian terdahulu menyatakan bahwa salah satu hal yang menjadi perhatian dalam melakukan perencanaan modifikasi kapal LCT menjadi kapal ferry adalah stabilitas kapal yang dipengaruhi oleh perubahan *displacement* kapal dengan nilai koreksi perbandingan *displacement* yang diperoleh sebesar 0.35% dan kurang dari 0.5% sebagai batas nilai yang diperbolehkan ketika akan dilakukan modifikasi [1]. Modifikasi dapat dilaksanakan dengan tetap memperhatikan bagaimana nilai stabilitas kapal tetap sesuai dengan standar dan

ketetapan yang berlaku, seperti jika terjadi perubahan sarat, pergeseran sebaran muatan, dan penambahan ruang akomodasi pada bangunan atas kapal dengan nilai sudut untuk lengan stabilitas maksimum tidak kurang dari  $25^{\circ}$  serta nilai *index A* harus lebih besar dari *index R* ( $A > R$ ) jika terjadi kebocoran pada kompartemen kapal [2]. Selain nilai stabilitas kapal, hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah bagaimana ketersediaan perangkat keselamatan didalam kapal, seperti pada penelitian lain yang memperhitungkan jumlah penambahan perangkat keselamatan hingga 120 *lifejacket* dan 2 *lifeboats* [3]. Hal ini untuk menjamin keselamatan, keamanan, dan kenyamanan yang dihadirkan oleh kapal terhadap penumpang didalamnya seperti tertuang dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 39 Tahun 2017 dan No. 80 Tahun 2018 tentang standar minimum angkutan penyeberangan, pemenuhan kriteria kekuatan konstruksi kapal, *freeboard*, *tonnage*, dan stabilitas kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pengaruh modifikasi kapal terhadap *intact stability* dan *damage stability* pada kapal sebelum dan sesudah dimodifikasi berdasarkan regulasi dan kriteria stabilitas dari IMO (*International Maritime Organization*) dan standar keselamatan yang ditetapkan oleh SOLAS (*Safety of Life At Sea*) serta menentukan jumlah penumpang dan kendaraan yang dapat diangkut pada sarat maksimum.

## 2. METODE

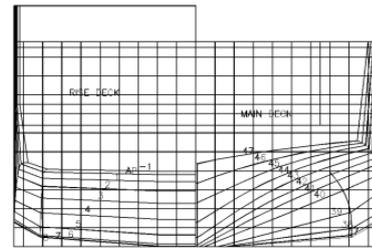
### 2.1. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah modifikasi dari Kapal LCT. Sarana V menjadi kapal ferry. Satu hal yang menjadi perhatian utama sebelum melakukan modifikasi dan analisis lebih lanjut, maka diperlukan adanya rancangan desain awal kapal berupa *principal dimension*, *lines plan*, *general arrangement*, dan *construction profile*. Tahapan selanjutnya setelah data tersebut didapatkan yaitu pembuatan model lambung kapal.

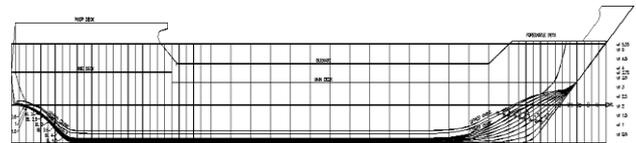
Tabel 1. Data Kapal

No	Dimensi	Keterangan
1	<i>Length Over All</i> (LOA)	47,00 m
2	<i>Length of Perpendicular</i> (LPP)	41,20 m
3	<i>Breadth</i> (B)	9,50 m
4	<i>Depth</i> (H)	3,20 m
5	<i>Draft</i> (T)	2,00 m
6	<i>Displacement</i>	638,1 ton
7	<i>Service Speed</i> (Vs)	6,03 knot

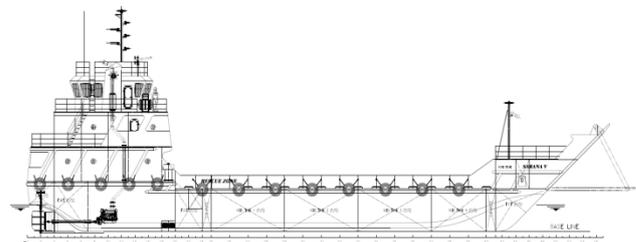
Tabel 1 memberikan informasi seputar data kapal yang digunakan dalam penelitian ini.



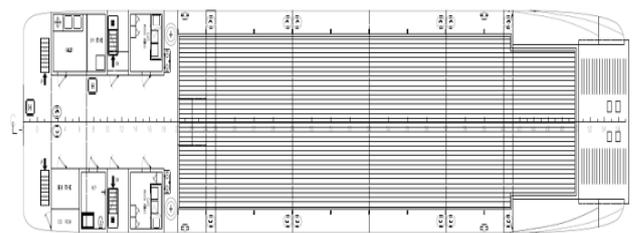
Gambar 1. Body Plan Kapal



Gambar 2. Sheer Plan Kapal



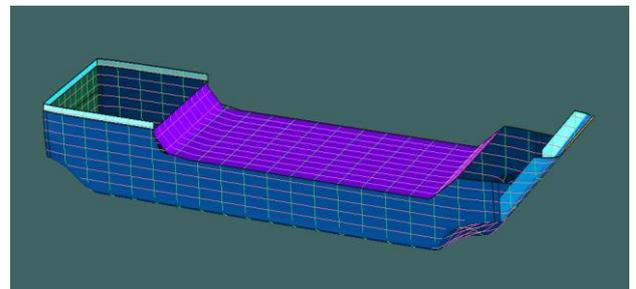
Gambar 3. Side Profile Kapal Sebelum Modifikasi



Gambar 4. Main Deck Kapal Sebelum Modifikasi

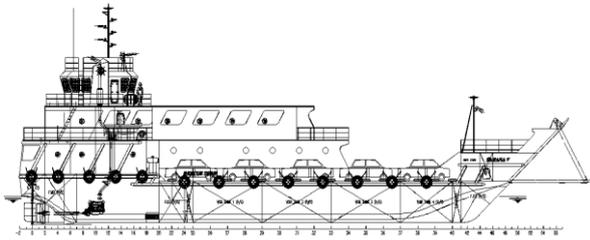
### 2.2. Perlakuan Objek Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pembuatan model tiga dimensi kapal menggunakan beberapa *software*, seperti *Rhinoceros* dan *Maxsurf Modeler*, sedangkan perhitungan analisis *intact stability* dan *damage stability* menggunakan *Software Maxsurf Stability Enterprise*.

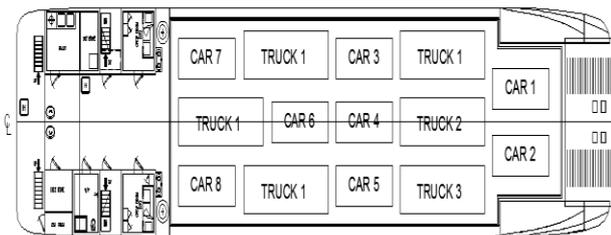


Gambar 5. Pemodelan Lambung Kapal

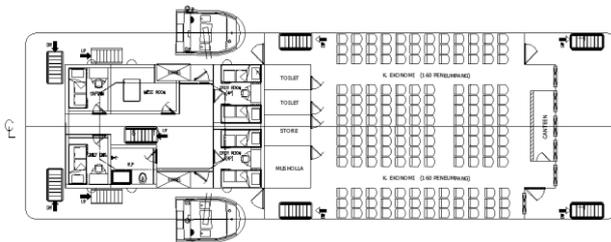
Modifikasi yang dilakukan adalah dengan memberikan panjang serta luas tambahan pada bangunan atas kapal yang dimaksudkan sebagai ruang akomodasi penumpang tanpa melakukan perubahan pada desain utama lambung kapal.



Gambar 6. Side Profile Kapal Setelah Modifikasi



Gambar 7. Car Deck Kapal



Gambar 8. Passenger Deck Kapal

Analisis stabilitas baik *intact* ataupun *damage* menggunakan parameter tetap yaitu desain utama lambung kapal LCT dan dimensi utama ukuran lambung kapal seperti LOA, LPP, B, T, H, dan Vs. Sedangkan untuk parameter peubah diantaranya yaitu kondisi pembebanan jumlah muatan kapal (penumpang dan kendaraan), akibat penambahan panjang dan luasan bangunan atas kapal sebagai ruang akomodasi penumpang. Kemudian selanjutnya dapat dilihat bagaimana dampaknya pada perubahan stabilitas kapal.

### 2.3. Modifikasi Kapal

Kapal sebelum modifikasi memiliki sarat maksimum 2 m, berat LWT 391.98 ton, dan *displacement* 638.1 ton dengan kapasitas maksimal total muatan sebanyak 60 ton yang dioperasikan oleh delapan orang kru kapal. Bangunan diatas geladak utama kapal terdiri dari *crew deck*, *navigation deck*, dan *top deck*.

Tabel 2. Perubahan Kondisi Kapal Sebelum dan Setelah Modifikasi

Dimensi	Sebelum Modifikasi	Setelah Modifikasi
Sarat Maksimum	2 m	2 m
Berat LWT	391.98 ton	492.81 ton
<i>Displacement</i>	638.1 ton	638.1 ton
<i>Crew Deck</i>		
Panjang	11.50 m	28.28 m
Lebar	9 m	9 m
<i>Navigation Deck</i>		
Panjang	9.27 m	9.27 m
Lebar	9 m	9 m
<i>Top Deck</i>		
Panjang	5.97 m	5.97 m
Lebar	4.2 m	4.2 m

Tabel 2 menerangkan bahwa setelah kapal dimodifikasi, terjadi penambahan panjang 16.78 m menjadi 28.28 m pada *crew deck* namun tidak ada perubahan pada lebarnya. Penambahan panjang tersebut hanya dilakukan pada *crew deck* dengan tujuan memperluas area yang akan difungsikan sebagai ruang akomodasi penumpang. Selain penambahan panjang, terdapat penambahan berat kapal kosong sebesar 100.83 ton menjadi 492.81 ton.

Kapal setelah modifikasi mampu mengangkut 160 penumpang beserta barang bawaannya dengan asumsi berat tiap penumpang adalah 75 kg dan berat tiap barang bawaan maksimal 50 kg sesuai ketentuan umum yang berlaku pada pelayaran nasional di Indonesia. Selain itu, kapal juga mampu memuat empat belas kendaraan yang terdiri dari enam jenis kendaraan truk dan delapan jenis kendaraan sedan, asumsi berat masing-masing kendaraan adalah 7 ton dan 1.1 ton yang telah disesuaikan dengan kondisi dari *general arrangement* kapal itu sendiri. Total *displacement* kapal tidak melebihi nilai *displacement* saat kondisi sebelum modifikasi.

### 2.4. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula dari posisi miring (*heeling*) setelah mendapat gaya-gaya sebagai akibat dari faktor eksternal yaitu angin dan gelombang serta faktor internal yaitu perubahan distribusi muatan dalam kapal.

Stabilitas kapal terbagi dalam stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas pada kapal tidak hanya dapat dihitung saat kapal dalam kondisi utuh saja (*intact stability*) namun dapat pula diperkirakan nilainya saat kapal tersebut mengalami kebocoran pada bagian-bagian kompartemennya (*damage stability*).

## 2.5. Intact Stability

Kriteria stabilitas yang tercantum pada *IMO MSC.267(85) Adoption of The International Code on Intact Stability 2008*, mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut [4].

Tabel 3. Kriteria *Intact Stability* Kapal LCT

Code	Criteria	Limit	Unit
267 (85) CH2	Area 0 to 30	> 3.151	m.deg
267 (85) CH2	Area 0 to 40	> 5.156	m.deg
267 (85) CH2	Area 30 to 40	> 1.718	m.deg
267 (85) CH2	Max GZ at 30 or greater	≥ 0.20	m
267 (85) CH2	Angle of maximum GZ	≥ 25.00	deg
267 (85) CH2	Initial GMt	≥ 0.15	m

Tabel 4. Kriteria *Intact Stability* Kapal Ferry

Code	Criteria	Limit	Unit
267 (85) CH2	Area 0 to 30	> 3.151	m.deg
267 (85) CH2	Area 0 to 40	> 5.156	m.deg
267 (85) CH2	Area 30 to 40	> 1.718	m.deg
267 (85) CH2	Max GZ at 30 or greater	≥ 0.20	m
267 (85) CH2	Angle of maximum GZ	≥ 25.00	deg
267 (85) CH2	Initial GMt	≥ 0.15	m
267 (85) CH3 3.1 Passenger Ship	Passenger crowding : angle of equilibrium	≤ 10.00	deg
267 (85) CH3 3.1 Passenger Ship	Turning : angle of equilibrium	≤ 10.00	deg

## 2.6. Damage Stability

Kebocoran pada kapal merupakan masuknya air kedalam suatu ruangan atau kompartemen kapal yang akan berdampak pada kondisi kapal serta berpengaruh terhadap perubahan sarat, trim, dan stabilitas kapal hingga pada kondisi yang buruk dapat menyebabkan kapal tenggelam.

### 2.6.1. Pendekatan Probabilistik

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 [5].

## 2.6.2. Persyaratan SOLAS Consolidated Edition 2009

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 yang dirumuskan dengan persamaan untuk kapal kargo adalah sebagai berikut.

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \frac{L_s}{100} + \frac{R_o}{1 - R_o}} \quad (1)$$

$$R_o = 1 - \frac{128}{L_s + 152} \quad (2)$$

Sedangkan persamaan nilai indeks tingkat subdivisi R untuk kapal penumpang adalah sebagai berikut.

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5 N + 15225} \quad (3)$$

$$N = N_1 + N_2 \quad (4)$$

dengan R adalah *required subdivision index*,  $L_s$  adalah panjang subdivisi kapal (m),  $N_1$  adalah jumlah orang dalam setiap sekoci,  $N_2$  adalah jumlah orang (termasuk perwira dan awak kapal). Nilai *index* yang dicapai (*Attained Subdivision Index, A*) sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai *Index R*,  $A > R$  [6]. Sedangkan nilai *Index A* dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l \quad (5)$$

dengan  $A_s$  adalah untuk kondisi *full load*,  $A_p$  adalah untuk kondisi *partial*, dan  $A_l$  adalah untuk kondisi *lightship*.

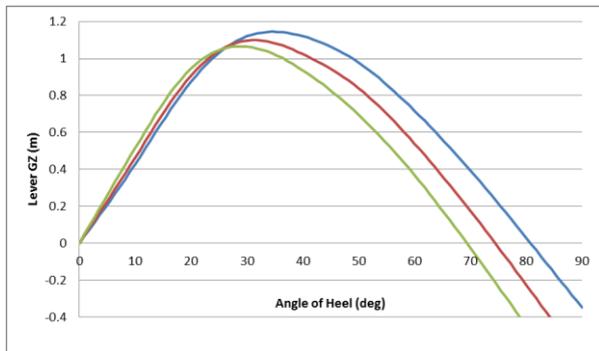
Tabel 5. Permeabilitas Untuk Tiap Kompartemen

No.	Kompartemen	Permeabilitas
1	Gudang	0.60
2	Ruang Akomodasi	0.95
3	Ruang Mesin	0.85
4	Muatan Kering	0.70
5	Void	0.95
6	Ruangan Zat Cair	0 atau 0.95

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis *Intact Stability* Pada Kapal Sebelum Modifikasi

Hasil analisis stabilitas pada kapal sebelum modifikasi dimaksudkan sebagai acuan dasar nilai stabilitas kapal terkait kondisi semula kapal sebagai kapal *Landing Craft Tank* (LCT) sebelum dilakukan perubahan menjadi kapal ferry.



Gambar 9. Kurva Lengan GZ Hasil Analisis Kapal Sebelum Modifikasi

Tabel 6. Hasil Analisis *Intact Stability Full Load Condition* Kapal Sebelum Modifikasi

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.deg	18.88	Pass
Area 0 to 40 (>)	5.156	m.deg	30.25	Pass
Area 30 to 40 (>)	1.718	m.deg	11.37	Pass
Max GZ at 30 or greater ( $\geq$ )	0.20	m	1.15	Pass
Angle of maximum GZ ( $\geq$ )	25.00	deg	34.50	Pass
Initial GMt ( $\geq$ )	0.15	m	2.42	Pass

Tabel 7. Hasil Analisis *Intact Stability Partial Condition* Kapal Sebelum Modifikasi

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.deg	19.52	Pass
Area 0 to 40 (>)	5.156	m.deg	30.11	Pass
Area 30 to 40 (>)	1.718	m.deg	10.58	Pass
Max GZ at 30 or greater ( $\geq$ )	0.20	m	1.09	Pass
Angle of maximum GZ ( $\geq$ )	25.00	deg	30.90	Pass
Initial GMt ( $\geq$ )	0.15	m	2.54	Pass

Tabel 8. Hasil Analisis *Intact Stability Lightship Condition* Kapal Sebelum Modifikasi

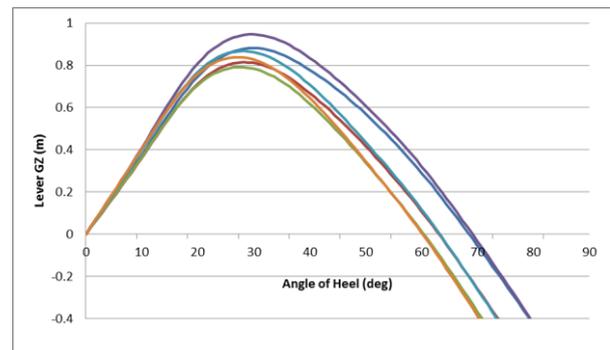
Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.deg	20.39	Pass
Area 0 to 40 (>)	5.156	m.deg	30.54	Pass
Area 30 to 40 (>)	1.718	m.deg	10.15	Pass
Max GZ at 30 or greater ( $\geq$ )	0.20	m	1.06	Pass
Angle of maximum GZ ( $\geq$ )	25.00	deg	29.10	Pass
Initial GMt ( $\geq$ )	0.15	m	2.88	Pass

Tabel 6, 7, dan 8 menunjukkan hasil analisis *intact stability* kapal sebelum modifikasi yang telah sesuai dengan kriteria analisis yang digunakan yaitu *IMO MSC. 267 (85)*. Kriteria tersebut menetapkan bahwa area dibawah kurva *GZ (righting lever curve)* tidak kurang dari 3.151 m.deg hingga 30<sup>0</sup>, tidak kurang dari 5.156 m.deg hingga 40<sup>0</sup>, dan tidak kurang dari 1.718 m.deg pada kondisi 30<sup>0</sup> hingga 40<sup>0</sup>.

Selain itu, nilai kurva lengan *GZ* tidak kurang dari 0.2 m pada kondisi sudut kemiringan lebih dari atau sama dengan 30<sup>0</sup>, sudut maksimal kurva lengan *GZ* tidak kurang dari 25<sup>0</sup>, serta ketinggian metasentris tidak kurang dari 0.150 m.

#### 3.2. Analisis *Intact Stability* Pada Kapal Setelah Modifikasi

Hasil analisis stabilitas kapal sebelum modifikasi yang diperoleh kemudian dilanjutkan dengan menganalisis bagaimana kondisi stabilitas kapal setelah modifikasi. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai stabilitas yang terjadi dan apakah kondisi kapal setelah modifikasi tetap layak serta memenuhi standar stabilitas yang berlaku atau tidak.



Gambar 10. Kurva Lengan GZ Hasil Analisis Kapal Setelah Modifikasi

Tabel 9. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Pertama (*Load Case 1*) Kapal Setelah Modifikasi

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.deg	18.97	Pass
Area 0 to 40 (>)	5.156	m.deg	28.14	Pass
Area 30 to 40 (>)	1.718	m.deg	9.17	Pass
Max GZ at 30 or greater ( $\geq$ )	0.20	m	0.98	Pass
Angle of maximum GZ ( $\geq$ )	25.00	deg	28.20	Pass
Initial GMt ( $\geq$ )	0.15	m	2.71	Pass

Tabel 9 menunjukkan hasil analisis stabilitas dilakukan dengan hanya mengakumulasikan kondisi pembebanan berupa berat kapal kosong tanpa muatan penumpang, kendaraan, dan tangki.

Tabel 10. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Kedua (*Load Case 2*) Kapal Setelah Modifikasi

<i>Criteria</i>	<i>Limit</i>	<i>Unit</i>	<i>Actual</i>	<i>Status</i>
<i>Area 0 to 30 (&gt;)</i>	3.151	m.deg	15.94	<i>Pass</i>
<i>Area 0 to 40 (&gt;)</i>	5.156	m.deg	24.38	<i>Pass</i>
<i>Area 30 to 40 (&gt;)</i>	1.718	m.deg	8.44	<i>Pass</i>
	0.20	m		
<i>Max GZ at 30 or greater (≥)</i>	25.00	deg	0.88	<i>Pass</i>
<i>Angle of maximum GZ (≥)</i>	0.15	m	30.00	<i>Pass</i>
<i>Initial GMt (≥)</i>	10.00	deg	2.13	<i>Pass</i>
<i>Passenger crowding: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	2.50	<i>Pass</i>
<i>Turning: angle of equilibrium (≤)</i>	3.151	m.deg	0.30	<i>Pass</i>

Tabel 10 menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi keberangkatan dengan jumlah penumpang berserta barang bawaannya dan kendaraan dalam keadaan penuh, serta bahan bakar dan perbekalan 100%.

Tabel 11. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Ketiga (*Load Case 3*) Kapal Setelah Modifikasi

<i>Criteria</i>	<i>Limit</i>	<i>Unit</i>	<i>Actual</i>	<i>Status</i>
<i>Area 0 to 30 (&gt;)</i>	3.151	m.deg	15.14	<i>Pass</i>
<i>Area 0 to 40 (&gt;)</i>	5.156	m.deg	22.68	<i>Pass</i>
<i>Area 30 to 40 (&gt;)</i>	1.718	m.deg	7.55	<i>Pass</i>
<i>Max GZ at 30 or greater (≥)</i>	0.20	m	0.81	<i>Pass</i>
<i>Angle of maximum GZ (≥)</i>	25.00	deg	28.20	<i>Pass</i>
<i>Initial GMt (≥)</i>	0.15	m	2.03	<i>Pass</i>
<i>Passenger crowding: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	2.70	<i>Pass</i>
<i>Turning: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	0.40	<i>Pass</i>

Tabel 12. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Keempat (*Load Case 4*) Kapal Setelah Modifikasi

<i>Criteria</i>	<i>Limit</i>	<i>Unit</i>	<i>Actual</i>	<i>Status</i>
<i>Area 0 to 30 (&gt;)</i>	3.151	m.deg	15.00	<i>Pass</i>
<i>Area 0 to 40 (&gt;)</i>	5.156	m.deg	22.16	<i>Pass</i>
<i>Area 30 to 40 (&gt;)</i>	1.718	m.deg	7.16	<i>Pass</i>
<i>Max GZ at 30 or greater (≥)</i>	0.20	m	0.78	<i>Pass</i>
<i>Angle of maximum GZ (≥)</i>	25.00	deg	27.30	<i>Pass</i>
<i>Initial GMt (≥)</i>	0.15	m	2.04	<i>Pass</i>
<i>Passenger crowding: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	2.80	<i>Pass</i>
<i>Turning: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	0.40	<i>Pass</i>

Tabel 11 menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi perjalanan dengan jumlah penumpang berserta barang bawaannya dan kendaraan dalam keadaan penuh, namun bahan bakar dan perbekalan tersisa 50%, sedangkan Tabel 12 dengan menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi kedatangan dengan jumlah penumpang berserta barang bawaannya dan kendaraan dalam keadaan penuh, namun bahan bakar dan perbekalan tersisa 10%.

Tabel 13. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Kelima (*Load Case 5*) Kapal Setelah Modifikasi

<i>Criteria</i>	<i>Limit</i>	<i>Unit</i>	<i>Actual</i>	<i>Status</i>
<i>Area 0 to 30 (&gt;)</i>	3.151	m.deg	17.27	<i>Pass</i>
<i>Area 0 to 40 (&gt;)</i>	5.156	m.deg	26.33	<i>Pass</i>
<i>Area 30 to 40 (&gt;)</i>	1.718	m.deg	9.06	<i>Pass</i>
<i>Max GZ at 30 or greater (≥)</i>	0.20	m	0.95	<i>Pass</i>
<i>Angle of maximum GZ (≥)</i>	25.00	deg	30.00	<i>Pass</i>
<i>Initial GMt (≥)</i>	0.15	m	2.29	<i>Pass</i>
<i>Passenger crowding: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	2.50	<i>Pass</i>
<i>Turning: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	0.30	<i>Pass</i>

Tabel 13 menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi jumlah penumpang penuh berserta barang bawaannya, tanpa muatan kendaraan, serta bahan bakar dan perbekalan 100%.

Tabel 14. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Keenam (*Load Case 6*) Kapal Setelah Modifikasi

<i>Criteria</i>	<i>Limit</i>	<i>Unit</i>	<i>Actual</i>	<i>Status</i>
<i>Area 0 to 30 (&gt;)</i>	3.151	m.deg	16.37	<i>Pass</i>
<i>Area 0 to 40 (&gt;)</i>	5.156	m.deg	24.37	<i>Pass</i>
<i>Area 30 to 40 (&gt;)</i>	1.718	m.deg	8.01	<i>Pass</i>
<i>Max GZ at 30 or greater (≥)</i>	0.20	m	0.86	<i>Pass</i>
<i>Angle of maximum GZ (≥)</i>	25.00	deg	28.20	<i>Pass</i>
<i>Initial GMt (≥)</i>	0.15	m	2.22	<i>Pass</i>
<i>Passenger crowding: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	2.70	<i>Pass</i>
<i>Turning: angle of equilibrium (≤)</i>	10.00	deg	0.30	<i>Pass</i>

Tabel 14 menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi jumlah penumpang penuh berserta barang bawaannya, tanpa muatan kendaraan, serta bahan bakar dan perbekalan 50%.

Tabel 15. Hasil Analisis *Intact Stability* Kondisi Ketujuh (*Load Case 7*) Kapal Setelah Modifikasi

Criteria	Limit	Unit	Actual	Status
Area 0 to 30 (>)	3.151	m.deg	16.19	Pass
Area 0 to 40 (>)	5.156	m.deg	23.71	Pass
Area 30 to 40 (>)	1.718	m.deg	7.51	Pass
Max GZ at 30 or greater ( $\geq$ )	0.20	m	0.83	Pass
Angle of maximum GZ ( $\geq$ )	25.00	deg	27.30	Pass
Initial GMt ( $\geq$ )	0.15	m	2.26	Pass
Passenger crowding: angle of equilibrium ( $\leq$ )	10.00	deg	2.80	Pass
Turning: angle of equilibrium ( $\leq$ )	10.00	deg	0.40	Pass

Tabel 15 menunjukkan hasil analisis stabilitas kapal pada kondisi jumlah penumpang penuh beserta barang bawaannya, tanpa muatan kendaraan, serta bahan bakar dan perbekalan 10%.

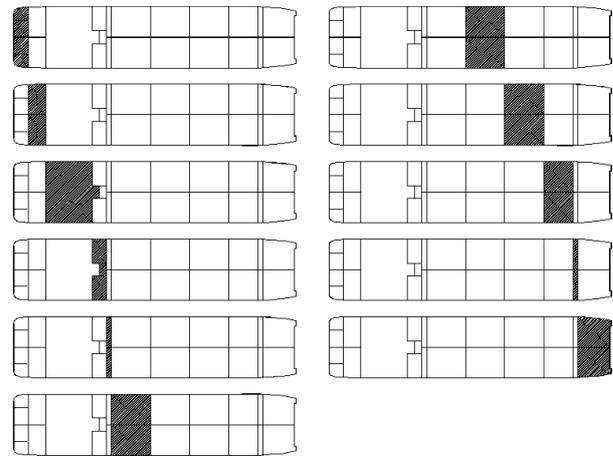
Gambar 9 menunjukkan bahwa terjadinya penurunan pada nilai lengan penegak GZ dan tinggi titik metasentris GMt kapal dikarenakan besarnya persentase penambahan muatan baik itu penumpang atau kendaraan. Hal tersebut juga mempengaruhi jarak antara titik berat (G) dan titik metasentra (M) mengecil. Nilai GM berbanding lurus dengan nilai GZ dan momen penegak kapal. Faktor yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal salah satunya adalah nilai GM yang kecil dan kemudian menyebabkan kapal memiliki momen penegak yang kecil [7].

Keseluruhan hasil analisis *intact stability* kapal setelah modifikasi telah sesuai dengan kriteria analisis yang digunakan yaitu IMO MSC. 267 (85) sama seperti kondisi kapal sebelum modifikasi. Hasil dari beberapa penelitian lain yang menganalisis *intact stability* pada modifikasi kapal *Landing Craft Tank* (LCT) menjadi kapal penumpang, juga menunjukkan bahwa nilai *angle max of GZ* lebih dari  $25^{\circ}$  telah memenuhi standar kriteria berdasarkan IMO MSC. 267 (85) [8].

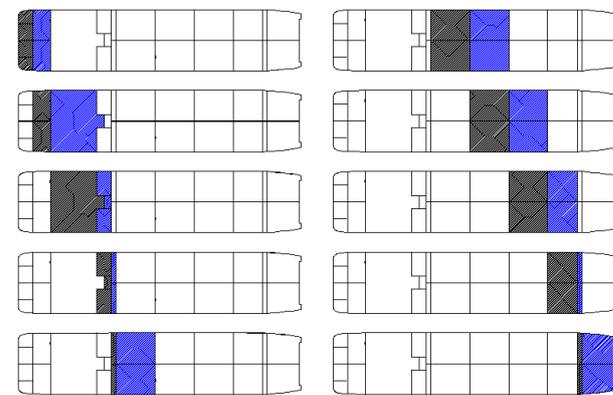
### 3.3. Perencanaan Zona Kebocoran Pada Kapal

Perhitungan kebocoran kapal melalui metode pendekatan probalitik dengan mengasumsikan bahwa setiap satu kompartemen yang bocor maka akan terisi oleh air laut. Penelitian lain menyebutkan bahwa langkah untuk membuat skenario kebocoran pada dua atau lebih kompartemen yang mengalami kerusakan dilakukan dengan cara menggabungkan kebocoran pada kompartemen yang saling berdekatan satu dengan lainnya [9]. Rencana tersebut dibuat berdasarkan *transverse bulkhead* pada *general*

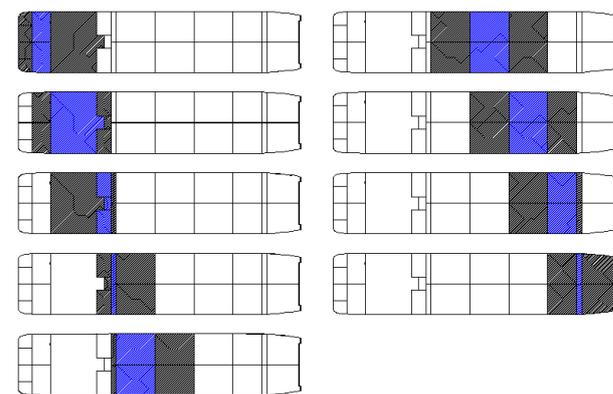
*arrangement* kapal agar lebih mudah dimengerti. Berikut visualisasi kerusakan pada satu zona hingga tiga grup zona yang mengalami kebocoran seperti pada Gambar 12, 13, 14, dan 15.



Gambar 11. Perencanaan Kebocoran Satu Zona



Gambar 12. Perencanaan Kebocoran Dua Zona



Gambar 13. Perencanaan Kebocoran Tiga Zona

Pembagian zona dan macam-macam kompartemen yang tergabung dalam setiap zona kebocoran ditunjukkan seperti pada Tabel 16.

Tabel 16. Pembagian Zona Kebocoran

Zone	Aft (m)	Fwd (m)	L (m)	Centre (m)
Zone 1	-21.639	-19.442	2.197	-20.540
Zone 2	-19.442	-16.690	2.752	-18.066
Zone 3	-16.690	-9.540	7.150	-13.115
Zone 4	-9.540	-7.339	2.201	-8.439
Zone 5	-7.339	-6.589	0.749	-6.964
Zone 6	-6.589	-0.591	5.999	-3.590
Zone 7	-0.591	5.408	5.999	2.409
Zone 8	5.408	11.411	6.003	8.410
Zone 9	11.411	15.911	4.500	13.661
Zone 10	15.911	16.660	0.749	16.286
Zone 11	16.660	21.829	5.169	19.245

Tabel 17. Kompartemen Kebocoran Satu Zona

1 ZONES	
a.	Storage, SW (P), SW (S)
b.	FW (P), FW (S)
c.	Engine room
d.	DO, FO (P), FO (S)
e.	Coff. aft (P), Coff. aft (S)
f.	Void 1 (P), Void 1 (S)
g.	Void 2 (P), Void 2 (S)
h.	Void 3 (P), Void 3 (S)
i.	Void 4 (P), Void 4 (S)
j.	Coff. fwd (P), Coff. fwd (S)
k.	FP (P), FP (S)

Tabel 17 menerangkan susunan rencana kebocoran satu zona secara melintang pada kapal. Terdapat sebelas zona melintang yang merupakan pembagian berdasarkan konstruksi sekat kedap air melintang (*transversal bulkhead*) kapal. Setiap zona terdiri dari beberapa kompartemen dalam lokasi zona yang sama dan zona pertama dimulai pada bagian buritan kapal.

Tabel 18. Kompartemen Kebocoran Dua Zona

2 ZONES	
a.	Storage, SW (P), SW (S), FW (P), FW (S)
b.	FW (P), FW (S), Engine room
c.	Engine room, DO, FO (P), FO (S)
d.	DO, FO (P), FO (S), Coff. aft (P), Coff. aft (S)
e.	Coff. aft (P), Coff. aft (S), Void 1 (P), Void 1 (S)
f.	Void 1 (P), Void 1 (S), Void 2 (P), Void 2 (S)
g.	Void 2 (P), Void 2 (S), Void 3 (P), Void 3 (S)
h.	Void 3 (P), Void 3 (S), Void 4 (P), Void 4 (S)
i.	Void 4 (P), Void 4 (S), Coff. fwd (P), Coff. fwd (S)
j.	Coff. fwd (P), Coff. fwd (S), FP (P), FP (S)

Tabel 18 menunjukkan skenario kebocoran dua zona yang merupakan gabungan antara dua area kompartemen yang saling berdekatan.

Tabel 19. Kompartemen Kebocoran Tiga Zona

3 ZONES	
a.	Storage, SW (P), SW (S), FW (P), FW (S), Engine room
b.	FW (P), FW (S), Engine room, DO, FO (P), FO (S)
c.	Engine room, DO, FO (P), FO (S), Coff. aft (P), Coff. aft (S)
d.	DO, FO (P), FO (S), Coff. aft (P), Coff. aft (S), Void 1 (P), Void 1 (S)
e.	Coff. aft (P), Coff. aft (S), Void 1 (P), Void 1 (S), Void 2 (P), Void 2 (S)
f.	Void 1 (P), Void 1 (S), Void 2 (P), Void 2 (S), Void 3 (P), Void 3 (S)
g.	Void 2 (P), Void 2 (S), Void 3 (P), Void 3 (S), Void 4 (P), Void 4 (S)
h.	Void 3 (P), Void 3 (S), Void 4 (P), Void 4 (S), Coff. fwd (P), Coff. fwd (S)
i.	Void 4 (P), Void 4 (S), Coff. fwd (P), Coff. fwd (S), FP (P), FP (S)

Tabel 19 menunjukkan skenario kebocoran tiga zona yang merupakan gabungan antara tiga area kompartemen yang saling berdekatan.

### 3.4. Analisis Damage Stability Pada Kapal Sebelum Modifikasi

Analisis *damage stability* pada kapal sebelum modifikasi diawali dengan menghitung kebocoran satu zona pada setiap zona yang dimiliki kapal, yaitu sebanyak sebelas zona. Kemudian dilanjutkan dengan menggabungkan dua atau lebih zona yang bocor hingga didapatkan bahwa jumlah maksimal kombinasi zona tersebut adalah sebanyak tiga zona yang mampu terhitung dengan baik oleh sistem pengolahan data.

Hal ini dikarenakan dalam proses pengolahan data tersebut terdapat nilai yang dikenal sebagai faktor p (*p factor*) yang memiliki nilai standar minimum dan menunjukkan probabilitas secara *longitudinal* bahwa kompartemen yang dipilih dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi oleh jumlah dan jarak sekat melintang.

Tabel 20. Hasil Analisis Damage Stability Kapal Sebelum Modifikasi

Total of Damage Zones	Index A	Index R	Status
1 Zone	0.570564	0.490257	Pass
2 Zones	0.845593	0.490257	Pass
3 Zones	0.872006	0.490257	Pass

Adapun hasil yang tercantum pada Tabel 20 memberikan informasi bahwa nilai terbesar *Index A*, yaitu 0.872006 lebih besar dari nilai *Index R* yaitu 0.490257 ( $A > R$ ) yang didapatkan berdasarkan formula pada Persamaan (1) dan telah memenuhi kriteria menurut SOLAS [10].

### 3.5. Analisis *Damage Stability* Pada Kapal Setelah Modifikasi

Metode dan proses pengolahan data untuk kondisi kapal setelah modifikasi sama seperti pada kondisi kapal sebelum modifikasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan untuk nilai *Index A* dan *Index R* seperti kondisi sebelum modifikasi. Hal tersebut disebabkan oleh parameter yang dijadikan acuan tidak lagi sama karena kapal dalam kondisi ini sudah dikategorikan menjadi kapal penumpang, maka formula perhitungannya seperti pada Persamaan (2) sehingga diperoleh nilai *Index R* sebesar 0.692279.

Tabel 21. Hasil Analisis *Damage Stability* Kapal Setelah Modifikasi

Total of Damage Zones	Index A	Index R	Status
1 Zone	0.606239	0.692279	Fail
2 Zones	0.947474	0.692279	Pass
3 Zones	0.992875	0.692279	Pass

Hasil pada Tabel 21 menunjukkan bahwa nilai *Index A* untuk satu zona kebocoran sebesar 0.606239 lebih kecil dari nilai *Index R* ( $A < R$ ) dengan status “Fail”, menerangkan bahwa sistem pengolahan data secara khusus hanya dibuat untuk simulasi lebih dari satu zona kebocoran. Sehingga nilai yang menjadi perhatian sebagai hasil akhir adalah nilai *Index A* untuk dua atau lebih zona kebocoran. Sedangkan nilai terbesar *Index A*, yaitu 0.992875 tetap lebih besar dari nilai *Index R*, yaitu 0.692279 ( $A > R$ ) dan telah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan menurut SOLAS.

Hasil penelitian sebelumnya yang menganalisis *damage stability* memiliki nilai *Index A* dan *R* masing-masing 0.853 dan 0.693 [11], serta 0.911 untuk *Index A* dan 0.325 untuk *Index R* [12]. Penelitian lain yang juga menganalisis *damage stability* dan berkaitan dengan modifikasi kapal memiliki nilai *Index A* sebesar 0.852 dan nilai *Index R* sebesar 0.684 [8]. Keseluruhan hasil analisis dinyatakan telah memenuhi syarat dari kriteria yang ditetapkan yaitu  $A > R$ .

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan serta analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

Hasil perhitungan analisis *intact stability* kapal sebelum dan setelah modifikasi telah memenuhi kriteria yang disyaratkan dalam semua kondisi *load case* dengan nilai sudut maksimal GZ tidak kurang dari atau sama dengan  $25^{\circ}$ .

Hasil perhitungan analisis *damage stability* kapal sebelum modifikasi diperoleh nilai *Index A* sebesar 0.998341 dan nilai *Index R* sebesar 0.490257, sedangkan kapal setelah modifikasi diperoleh nilai 0.998341 untuk *Index A* dan 0.691519 untuk *Index R*. Hasil tersebut telah memenuhi standar kriteria yang disyaratkan yaitu *Index A* lebih besar dari *Index R*, seperti pada penelitian lain yang menjadi referensi dalam penelitian ini. Hasil penelitian ini, baik *intact stability* maupun *damage stability* telah memenuhi ketentuan serta kriteria yang berlaku.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Setyawan, M. Basuki, and Soejitno, “Study Perencanaan Modifikasi Kapal LCT ‘KM. Trisna Dwitya’ Menjadi Kapal Ferry di PT. Dok Perkapalan Surabaya (Persero) Ditinjau Dari Segi Teknis,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VI 2018*, pp. 109–114, 2018.
- [2] P. Miratno and M. Bakri, “Analisis Stabilitas Kapal Penumpang Pax-500 Apabila Kompartemennya Mengalami Kebocoran,” Institut Teknologi Sepuluh November, 2000.
- [3] F. Rohmadhana and H. A. Kurniawati, “Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyeberangan (KMP) Tipe Ro-ro untuk Rute Ketapang (Kabupaten Banyuwangi) – Gilimanuk (Kabupaten Jembrana),” *J. Tek. ITS*, 2016.
- [4] International Maritime Organization (IMO), “Resolution MSC.267(85), Adoption of The International Code on Intact Stability,” International Maritime Organization, 2008.
- [5] L. Muzdalifah, D. Chrismianto, and E. S. Hadi, “Analisa Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability Probabilistik,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 2, pp. 409–417, 2016.
- [6] A. Papanikolaou and E. Eliopoulou, “On The Development of The New Harmonised Damage Stability Regulations for Dry Cargo and Passenger ships,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 93, no. 9, pp. 1305–1316, 2008.
- [7] C. B. Barrass and D. R. Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*. 2012.
- [8] O. Anwar, D. Chrismianto, and H. Yudo, “Analisa Stabilitas (Intact, Damage Stability) dan Olah Gerak Landing Craft Tank (LCT) di Konversi Menjadi Tipe Ro-Ro,” 2018.

- [9] 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.
- [10] International Maritime Organization (IMO), *IMO SOLAS Chapter II-1 Resolution MSC. 281 (85), "Subdivision and Damage Stability Regulation", Edition 2009*. 2009.
- [11] A. R. B. Approach, "Application of Probabilistic Damage Stability for Risk Reduction Related to Cruise Ship Operation in Arctic Ragnhild Farstad Høvik," 2015.
- [12] N. A. Cakasana and D. Manfaat, "Analisis Damage Stability Pada Desain Damage Stability Analisis for Pre- Design Concept Fso on Kakap Oil Field," 2017.