



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Stabilitas Dan Olah Gerak (*Seakeeping*) Kapal Pada MV. Pan Marine Setelah Dikonversi Dari Kapal Kru Menjadi Kapal Wisata

Andhyka Cakrabuana Adhitama<sup>1)</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1)</sup>, Sarjito Jokosisworo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
e-mail : dhykacakra@gmail.com

### Abstrak

MV. Pan Marine merupakan salah satu kapal offshore yang sudah lama lay up disebabkan industri minyak dan gas yang sedang menurun. Oleh sebab itu, PT. Pan Marine melakukan konversi kapal tersebut dari kapal kru (offshore supply vessel) menjadi kapal wisata (passenger ship) agar tetap bisa operasi dan menghasilkan pemasukan. Kapal tersebut mengalami penambahan bangunan atas sehingga kapasitas muatan akan semakin banyak. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai macam kondisi muatan serta menggunakan 5 variasi sudut yang berbeda. Tujuannya adalah mendapat nilai GZ, periode oleng, serta roll motion yang sesuai dengan standar kriteria umum. Metode yang digunakan adalah dengan membuat model 3D dari kapal sebelum dan setelah konversi yang nantinya akan digunakan untuk menganalisa stabilitas serta olah gerak menggunakan software CFD. Hasil dari analisa tersebut kemudian disesuaikan dengan kriteria IMO A.749(18) untuk stabilitas dan NORDFORSK untuk olah gerak. Dari analisa stabilitas didapatkan perbedaan rata-rata GZ kedua model kapal adalah 2,78% dan perbedaan rata-rata periode oleng dari kedua model kapal adalah 0,99%. Untuk analisa olah gerak, perbedaan nilai RMS gerakan roll pada kedua model kapal adalah 30%. Hasil dari penelitian menyimpulkan bahwa kapal konversi ini layak secara stabilitas dan olah geraknya, sehingga aman untuk digunakan mengangkut penumpang.

Kata Kunci : Kapal Offshore, Kapal Wisata, Kapal Konversi, Analisa Stabilitas, Analisa Olah Gerak, IMO, NORDFORSK.

## 1. PENDAHULUAN

*Offshore Supply Vessel* (OSV) digunakan dalam industri minyak dan gas untuk menampung hasil pengeboran dan mengangkut para pekerja bangunan lepas pantai di tengah laut. Dengan adanya penurunan industri minyak dan gas, menyebabkan banyak *offshore supply vessel* tidak beroperasi. Oleh sebab itu OSV perlu dialih fungsikan supaya kapal tetap bisa aktif digunakan. Saat ini industri pariwisata meningkat pesat, distribusi barang dan personal menggunakan sarana angkutan laut menjadi hal yang penting. Kapal penumpang menjadi salah satu jenis angkutan laut yang dapat menghubungkan satu pulau dengan pulau lainnya.

Penelitian kapal konversi sudah pernah dilakukan sebelumnya. Salah satunya adalah pada kapal MF. Horizon Star [1] dengan variasi pada penambahan panjang, jenis kapal, dan kecepatan kapal. Selain itu penelitian lain menggunakan kapasitas muatan [2] dan penggerak [3] yang berbeda. Sedangkan pada penelitian ini, variabel yang berubah terletak pada penambahan bangunan atas yang digunakan untuk menambah kapasitas penumpang dan fasilitas, serta perubahan jenis dari kapal itu sendiri. Oleh sebab itu, fungsi serta tinggi sarat dari kapal ikut berubah dikarenakan konversi tersebut.

MV. Pan Marine adalah kapal yang dikonversi dari *offshore supply vessel* menjadi *passenger ship*. Kapal ini akan dialihkan fungsinya dari kapal kru menjadi kapal wisata yang akan melakukan perjalanan dari Jakarta ke Raja Ampat dengan jarak sejauh 2.725 km. Hasil konversi *offshore supply vessel* menjadi *passenger ship* mengalami penambahan bangunan atas dan kapasitas muatan kapal. Akibat dari konversi tersebut kapal mengalami perubahan karakteristik baik dari segi stabilitas dan olah gerak (*seakeeping*). Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis stabilitas dan olah gerak kapal sebelum dan sesudah dikonversi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan tersebut terhadap keamanan dan keselamatan kapal. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai GZ (lengan penegak) yang menentukan keamanan stabilitas kapal. Kedua, mencari periode oleng kapal yang berguna untuk menunjukkan tingkat kenyamanan penumpang kapal. Terakhir adalah mencari *roll motion* untuk keamanan olah gerak dari kapal sebelum dan sesudah konversi.

Ketentuan yang harus dipenuhi adalah keamanan dan keselamatan penumpang yang

harus memenuhi persyaratan stabilitas dan olah gerak pada kapal berdasarkan standar keselamatan yang berlaku. Standar kriteria untuk analisis stabilitas berdasarkan aturan yang berlaku yaitu standar keselamatan *International Maritime Organization* (IMO) [4]. Sedangkan Standar kriteria untuk analisis olah gerak kapal berdasarkan standar *General operability limiting criteria for ships (NORDFORSK) and fishing vessels* [5].

## 2. METODE

### 2.1. Data ukuran utama kapal

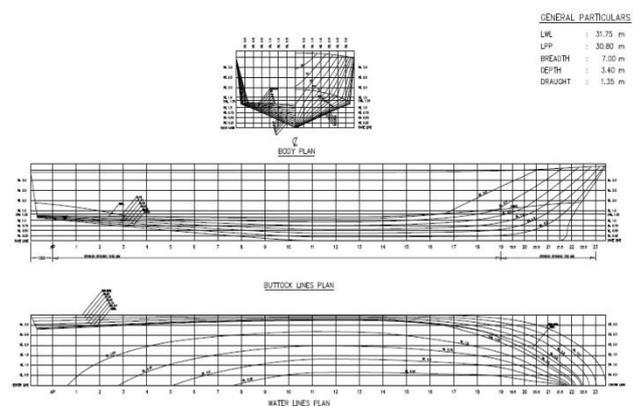
Tabel 1. Data Ukuran Utama Kapal sebelum dan sesudah konversi

	<i>Offshore Supply Vessel</i>	<i>Passenger Ship</i>
<i>Length of All (LOA)</i>	35.1 m	35.1 m
<i>Breadth (B)</i>	7 m	7 m
<i>Draft (T)</i>	1.35 m	1.63 m
<i>Max. Capacity</i>	73 + 8 pax	20 + 8 pax
<i>Speed (Maximum)</i>	25 Knot	25 Knot

Data pada tabel 1 akan diolah menggunakan *software* untuk dianalisis stabilitas dan olah geraknya. Terjadi perubahan pada kapasitas penumpang serta sarat dari kapal tersebut. Hal ini terjadi karena perubahan fungsi dari kapal *offshore* menjadi kapal wisata dimana alih fungsi tersebut menyebabkan perubahan jumlah penumpang. Kemudian, sarat yang berubah diakibatkan oleh penambahan bangunan atas kapal tersebut sehingga menyebabkan berat kapal yang bertambah.

### 2.2. Data Lines Plan Kapal

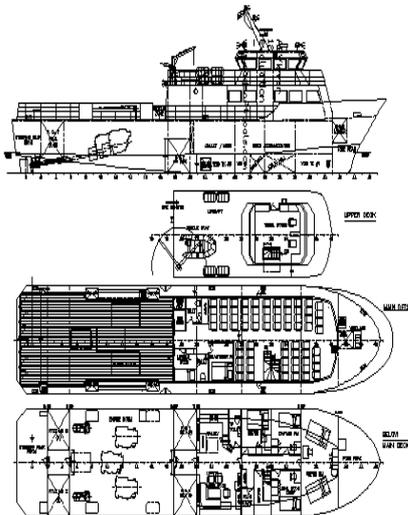
*Lines Plan* pada gambar 1 digunakan untuk menentukan serta membuat bentuk dari *hull* kapal. *Lines Plan* yang digunakan tidak berubah karena *hull* dari kapal yang dianalisa sama. Yang berubah setelah konversi adalah bangunan atas dari kapal.



Gambar 1. *Lines Plan* Kapal sebelum dan sesudah konversi

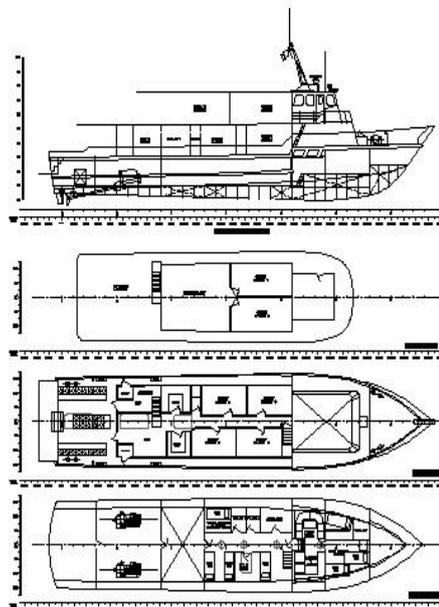
### 2.3. Data General Arrangement Kapal

*General Arrangement* kapal sebelum konversi berguna untuk mengetahui tata letak dari bangunan atas kapal. Dari *General Arrangement* kapal sebelum konversi terdapat bagian kosong yang ada di bagian atas dari kapal *offshore*.



Gambar 2. *General Arrangement Offshore Supply Vessel* (kapal sebelum konversi)

*General Arrangement* pada gambar 2 adalah kapal sebelum di konversi yang nanti akan kita bandingkan dengan gambar 3 dimana kapal telah konversi. Terdapat penambahan bangunan atas yang menyebabkan penambahan beban pada bagian atas kapal. Kapal Wisata nantinya akan dilengkapi penambahan kamar penumpang, *dive guide*, kamar kru, *jacuzzi*, serta ruang makan.



Gambar 3. *General Arrangement Passenger Ship* (kapal setelah konversi)

### 2.4. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada efek yang ditimbulkan oleh perubahan panjang kapal dan perubahan muatan. Penelitian ini disimulasikan untuk membandingkan stabilitas dan olah gerak kapal sebelum dan sesudah konversi. Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut:

Parameter yang tetap:

1. Ukuran Utama Kapal

Parameter yang berubah:

1. Sarat Kapal
2. Muatan Kapal
3. Desain Lambung *Motor Vehicle Pan Marine*

### 2.5. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### 2.6. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah seperangkat komputer yang sudah memiliki *software Rhinoceros* dan CFD. Bahan yang digunakan adalah data-data kapal sebelum dan setelah dikonversi.

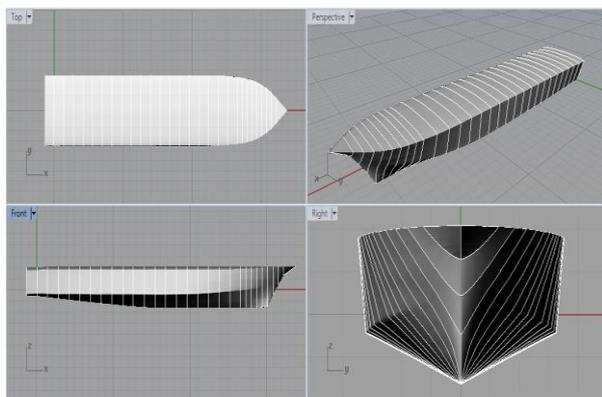
### 2.7. Pengolahan Data

Data yang didapat dari hasil studi lapangan kemudian diolah. Tahapan pengolahan data meliputi:

1. Pembuatan model 3D menggunakan *software Rhinoceros* dengan memakai *lines plan* sebagai acuan.
2. Model lambung kapal sebelum dan sesudah dikonversi sama, karena tidak ada perubahan bentuk lambung.
3. Model 3D *Rhinoceros* diexport menjadi bentuk *.msd* sehingga dapat digunakan untuk analisis stabilitas.
4. Model 3D *Rhinoceros* diexport menjadi bentuk *.stp* digunakan untuk analisis pada *software CFD*.

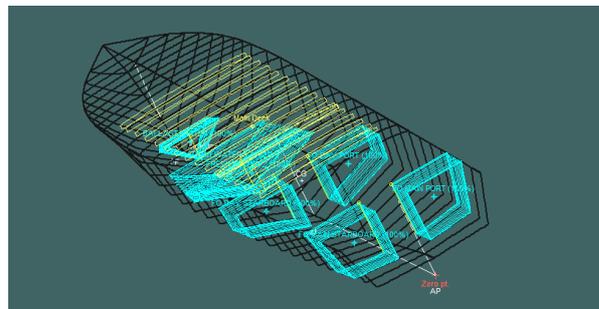
## 2.8. Pembuatan Model 3D Kapal

MV. Pan Marine dikonversi dari *offshore supply vessel* menjadi *passenger ship* yang digunakan untuk rute wisata Jakarta menuju Kepulauan Seribu untuk wisata terdekat dan Raja Ampat untuk wisata terjauh. Data penelitian diperoleh dari PT. Pan Marine. Sebelum menganalisis, dilakukan pembuatan model 3D kapal menggunakan data *lines plan*. Setelah mendapatkan *lines plan*, selanjutnya dilakukan pembuatan model 3D kapal dengan menggunakan *software Rhinoceros*.



Gambar 4. Model 3D *Rhinoceros*

Pada gambar 4 dan 5 model tersebut digunakan untuk analisis stabilitas dan olah gerak kapal. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan *software*, untuk itu model 3D kapal dari *software Rhinoceros* akan diubah menjadi file *.msd*. Hasil modelnya pada gambar 6 dan 7. Setelah itu dapat dianalisis menggunakan *software* analisa stabilitas. Analisa olah gerak kapal menggunakan *software CFD*, model 3D kapal dari *software Rhinoceros* harus diubah menjadi file *.iges* atau *.stp* sehingga dapat dianalisis.



Gambar 5. Model Akhir *Maxsurf Stability*

Gambar 5 adalah distribusi beban *Offshore Supply Vessel* yang akan digunakan untuk analisa stabilitas dan olah gerak dengan sarat kapal 1,35 m dan *displacement* sebesar 107 ton. Sedangkan untuk model kapal *Passenger Ship* yang akan digunakan untuk analisa stabilitas dan olah gerak mempunyai sarat kapal 1,63 m dan *displacement* sebesar 160 ton.

## 2.9. Standar Kriteria

Pada kapal konversi ini di desain sebagai kapal penyeberangan pada Singapura yang harus dianalisis stabilitas dan olah gerak untuk keamanan dan keselamatan penumpang. Maka ditetapkan standar kriteria dari analisis stabilitas dan olah gerak kapal sehingga dapat diperoleh standar kenyamanan dan keamanan bagi penumpang.

Untuk standar kriteria stabilitas yang digunakan ada dalam IMO A.749 (18).

Pada penelitian ini, analisis olah gerak kapal akan dilakukan dengan *software CFD*. Peneliti mengambil beberapa variasi *wave heading* yaitu  $0^{\circ}$  (*Following Seas*),  $45^{\circ}$  (*Stern Quartering Seas*),  $90^{\circ}$  (*Beam Seas*),  $135^{\circ}$  (*Bow Quartering Seas*),  $180^{\circ}$  (*Head Seas*). Proses analisis yang dilakukan adalah berdasarkan standar kriteria *General operability limiting criteria for ships (NORDFORSK) and fishing vessels*.

Batasan kecepatan yang akan dianalisis yaitu pada saat kecepatan maksimal kapal, maka kecepatan kapal untuk kapal sebelum konversi dan setelah konversi adalah 25 knots. Sedangkan tinggi gelombang setinggi 1 m dengan periode gelombang maksimal 2 detik.

## 2.10. Penentuan Loading Condition kapal sebelum dan sesudah konversi

Dalam menganalisis stabilitas suatu kapal harus membuat variasi muatan (penumpang dan

barang) pada beberapa kondisi muatan (*loading condition*) sehingga dapat diketahui stabilitas untuk tiap kondisinya.

Pada penelitian ini penulis meninjau tujuh kondisi muatan yang mempresentasikan saat kapal beroperasi di perairan, ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. *Deadweight* pada *Offshore Supply Vessel* dan *Passenger Ship*

Loading Condition	Passanger, Crew and Luggage Offshore Supply Vessel	Passanger, Crew and Luggage Passenger Ship	Diesel Oil	Operating Fluid
Scantling Departure	Passengers: 73 Crew: 8	Passengers: 20 Crew: 8	Daily Tanks: 98% Double Bottom Tanks: 71%	FW: 50% BW/GW: 10%
Scantling Arrival	Passengers: 73 Crew: 8	Passengers: 20 Crew: 8	Daily Tanks: 10% Double Bottom Tanks: 10%	FW: 10% BW/GW: 98%
Departure Max Cargo	Passengers: 73 Crew: 8	Passengers: 20 Crew: 8	Daily Tanks: 98% Double Bottom Tanks: 0%	FW: 98% BW/GW: 10%
Arrival Max Cargo	Passengers: 73 Crew: 8	Passengers: 20 Crew: 8	Daily Tanks: 10% Double Bottom Tanks: 0%	FW: 10% BW/GW: 98%
Half Load Departure	Passengers: 37 Crew: 8	Passengers: 10 Crew: 8	Daily Tanks: 98% Double Bottom Tanks: 0%	FW: 50% BW/GW: 10%
Half Load Arrival	Passengers: 37 Crew: 8	Passengers: 10 Crew: 8	Daily Tanks: 10% Double Bottom Tanks: 0%	FW: 10% BW/GW: 98%
Lightship 10%	Passengers: 0 Crew: 8	Passengers: 0 Crew: 8	Daily Tanks: 10% Double Bottom Tanks: 0%	FW: 10% BW/GW: 10%

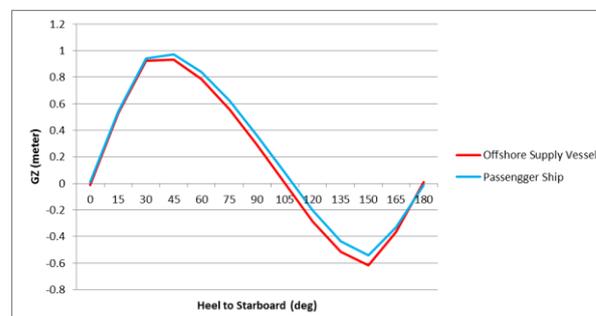
Pada tabel 2, terjadi perubahan dari segi penumpang. Penumpang pada kapal *Offshore Supply Vessel* lebih banyak dibandingkan penumpang *Passenger Ship* sehingga menyebabkan adanya perbedaan muatan. Kondisi tiap *loadcase* dibedakan menjadi 7 kondisi yang berbeda menyesuaikan dengan kapasitas dari tangki yang ada pada saat berlayar.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Analisis Stabilitas

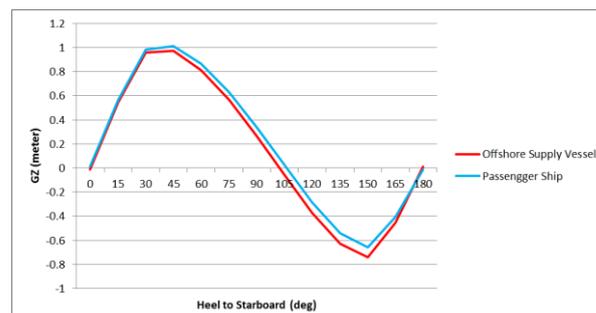
Berikut merupakan hasil analisis stabilitas dengan Gambar nilai GZ dari 7 (tujuh) kondisi yang telah ditentukan.

Lengkung stabilitas statis (*curves of static stability*) adalah suatu lengkungan yang menggambarkan kondisi kapal sejak memiliki lengan penegak (GZ) nol sampai dengan memiliki GZ nol kembali dari berbagai sudut kemiringan kapal, pada displacement tertentu di perairan tenang atau di pelabuhan [6].



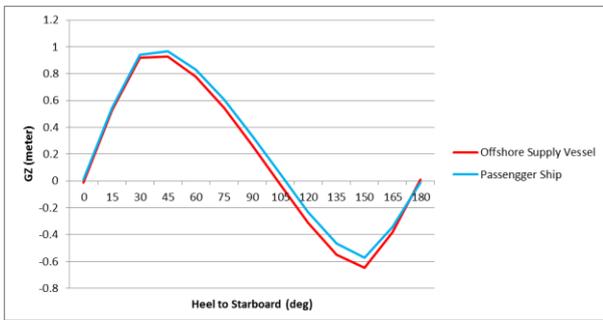
Gambar 6. Nilai GZ pada Kondisi 1 (*Scantling Departure*) kapal sebelum dan sesudah konversi

Analisis kriteria pada *Scantling Departure condition* dapat dilihat Gambar 6 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 0,969 m.



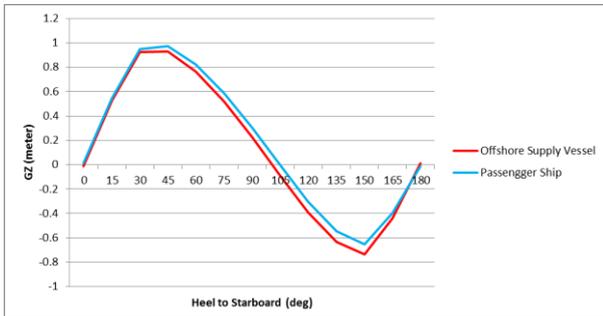
Gambar 7. Nilai GZ pada Kondisi 2 (*Scantling Arrival*) kapal sebelum dan sesudah konversi

Analisis kriteria pada *Scantling Arrival condition* dapat dilihat Gambar 7 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 1,010 m.



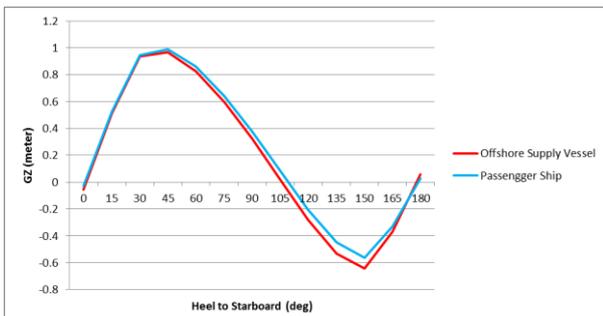
Gambar 8. Nilai GZ pada Kondisi 3 (*Departure Max Cargo*) kapal sebelum dan sesudah konversi

Analisis kriteria pada *Departure Max Cargo condition* dapat dilihat Gambar 8 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 0,965 m.



Gambar 9. Nilai GZ pada Kondisi 4 (*Arrival Max Cargo*) kapal sebelum dan sesudah konversi

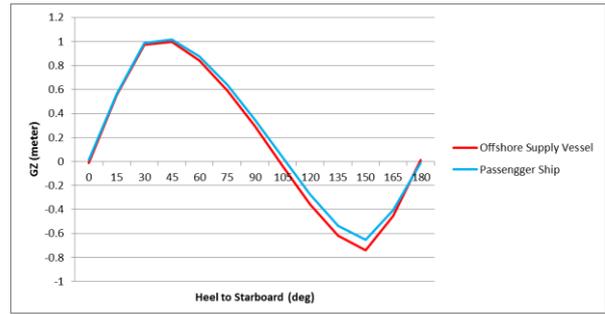
Analisis kriteria pada *Arrival Max Cargo condition* dapat dilihat Gambar 9 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 0,9704 m.



Gambar 10. Nilai GZ pada Kondisi 5 (*Half Load Departure*) kapal sebelum dan sesudah konversi

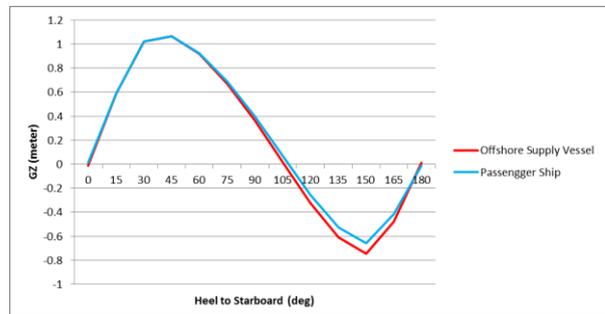
Analisis kriteria pada *Half Load Departure condition* dapat dilihat Gambar 10 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi

kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 0,988 m.



Gambar 11. Nilai GZ pada Kondisi 6 (*Half Load Arrival*) kapal sebelum dan sesudah konversi

Analisis kriteria pada *Half Load Arrival condition* dapat dilihat Gambar 11 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 1,018 m.



Gambar 12. Nilai GZ pada Kondisi 7 (*Lightship 10%*) kapal sebelum dan sesudah konversi

Analisis kriteria pada *Lightship 10% condition* dapat dilihat Gambar 12 bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk kapal sebelum dan sesudah konversi semua dinyatakan memenuhi kriteria (*pass*). Maksimum nilai GZ terdapat pada model *Passenger Ship* pada *heel 45 degree* senilai 1,064 m.

Pada tabel 3 merupakan nilai GZ maksimum model kapal sebelum dan sesudah konversi pada tiap kondisi. Semua GZ maksimum terjadi pada derajat 45.

Tabel 3. Nilai GZ Maksimum pada Semua Kondisi Kapal Sebelum dan Sesudah Konversi

Loadcase	Nilai GZ Maksimum (meter)	
	Offshore Supply Vessel (kapal)	Passanger Ship (kapal setelah)

	sebelum konversi)	konversi)
Scantling Departure	0.932	0.969
Scantling Arrival	0.973	1.010
Departure Max Cargo	0.928	0.966
Arrival Max Cargo	0.929	0.970
Half Load Departure	0.967	0.988
Half Load Arrival	0.977	1.018
Lightship 10%	1.063	1.064

Hasil analisis stabilitas kapal sebelum dikonversi berdasarkan kriteria IMO A.749 (18) dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 menunjukkan bahwa semua hasil analisa stabilitas MV. Pan Marine di setiap kondisi memenuhi standar kriteria yang ditetapkan.

Tabel 4. Hasil Analisis Stabilitas Kondisi I Sampai Kondisi IV

Criteria	Actual				Units
	I	II	III	IV	
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 30	14.7484	15.3007	14.7067	14.7525	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 40	23,9952	24.9248	23.9360	24.0162	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 30 to 40	9.2468	9.6242	9.2293	9.2637	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.2 : Max GZ at 30 or greater	0.932	0.973	0.928	0.929	m
IMO – A.749(18) – 3.1.2.3 : Angle of maximum GZ	45	45	45	45	deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.4 : Initial GMt	1.989	2.065	1.983	1.988	m
Status	Pass	Pass	Pass	Pass	

Tabel 5. Hasil Analisis Stabilitas Kondisi V Sampai Kondisi VII

Criteria	Actual			Units
	V	VI	VII	
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 30	14.2708	15.5651	16.3724	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 40	23.7321	25.3856	26.7251	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 30 to 40	9.4613	9.8205	10.3527	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.2 : Max GZ at 30 or greater	0.967	0.997	1.063	m
IMO – A.749(18) – 3.1.2.3 : Angle of maximum GZ	45	45	45	deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.4 : Initial GMt	2.092	2.099	2.221	m
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

Model *Passanger ship* (kapal setelah dikonversi) juga dianalisis dengan tujuh kondisi yang sudah ditentukan. Hasil analisis menurut tujuh kondisinya disajikan dalam tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Hasil Analisis Stabilitas Kondisi I Sampai Kondisi IV

Criteria	Actual				Units
	I	II	III	IV	
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 30	15.3041	15.8965	15.3027	15.4008	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 40	24.8001	25.7979	24.7916	24.9699	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 30 to 40	9.4960	9.9014	9.4889	9.5691	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.2 : Max GZ at 30 or greater	0.969	1.010	0.966	0.970	m
IMO – A.749(18) – 3.1.2.3 : Angle of maximum GZ	45.0	45.0	45.0	45.0	deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.4 : Initial GMt	1.978	2.037	1.971	1.968	m
Status	Pass	Pass	Pass	Pass	

Tabel 7. Hasil Analisis Stabilitas Kondisi V Sampai Kondisi VII

Criteria	Actual			Units
	V	VI	VII	
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 30	14.7518	15.9830	16.5575	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 0 to 40	24.3534	25.9529	26.8966	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.1 : Area 30 to 40	9.6016	9.9699	10.3391	m.deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.2 : Max GZ at 30 or greater	0.988	1.018	1.064	m
IMO – A.749(18) – 3.1.2.3 : Angle of maximum GZ	45.0	45.0	45.0	deg
IMO – A.749(18) – 3.1.2.4 : Initial GMt	2.047	2.047	2.130	m
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

Hasil analisis stabilitas berdasarkan kriteria IMO A.749 (18) menunjukkan bahwa semua hasil analisa stabilitas MV. Pan Marine di setiap kondisi memenuhi kriteria.

### 3.2. Perhitungan Periode Oleng

Menurut rumus periode oleng [7] yaitu:

$$T = \frac{2 \times \pi \times C \times B}{\sqrt{g \times GM}} \text{ (s)} \quad (1)$$

Dimana :

T = Periode oleng (detik)

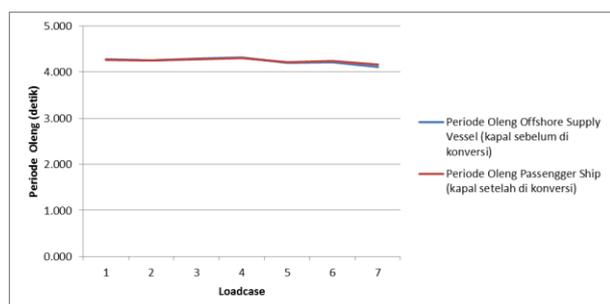
C = 0,373 + 0,023 (B/D) – 0,043 (LPP/100)

B = Lebar kapal (meter)

GM = Jarak antara titik G dengan titik M (meter)

Tabel 8. Hasil Perhitungan Periode Oleng *Offshore Supply Vessel* dan *Passenger Ship* (kapal sebelum dan setelah konversi)

Loadcase	B (m)	C	d (m)		GM (m)		T (s)	
			OSV	PS	OSV	PS	OSV	PS
LC 1 Scantling Departure	7	0.44	2.296	2.387	1.989	1.978	4.280	4.265
LC 2 Scantling Arrival	7	0.44	2.159	2.25	2.065	2.037	4.244	4.244
LC 3 Departure Max Cargo	7	0.44	2.274	2.365	1.983	1.971	4.294	4.279
LC 4 Arrival Max Cargo	7	0.44	2.19	2.282	1.988	1.969	4.315	4.306
LC 5 Half Load Departure	7	0.44	2.198	2.302	2.096	2.048	4.200	4.216
LC 6 Half Load Arrival	7	0.44	2.142	2.247	2.099	2.047	4.215	4.234
LC 7 10% Lightship	7	0.44	2.088	2.207	2.222	2.13	4.115	4.163



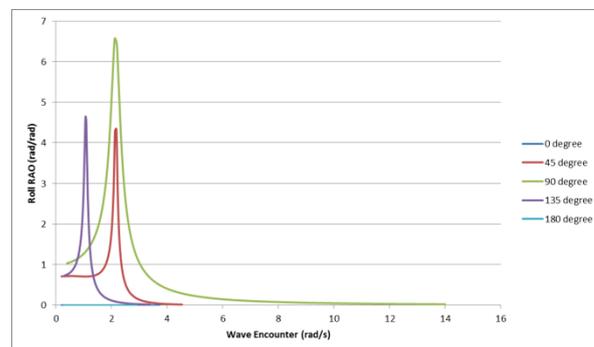
Gambar 13. Gambar Hasil Perhitungan Periode Oleng Kapal Sebelum dan Sesudah Konversi

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa periode oleng kapal setelah dikonversi lebih besar dibandingkan dengan periode oleng kapal sebelum dikonversi. Karena ada penambahan muatan kapal, maka bertambah lama juga periode oleng kapal. Nilai rata-rata periode oleng kapal sebelum di konversi adalah 4.237 detik, sedangkan setelah dikonversi adalah 4,244 detik. Perbedaan periode oleng pada tiap *loadcase* dapat dilihat pada tabel 8.

### 3.3. Hasil Perhitungan RAO

Analisis olah gerak MV. Pan Marine menggunakan *software CFD*. Analisis ini akan

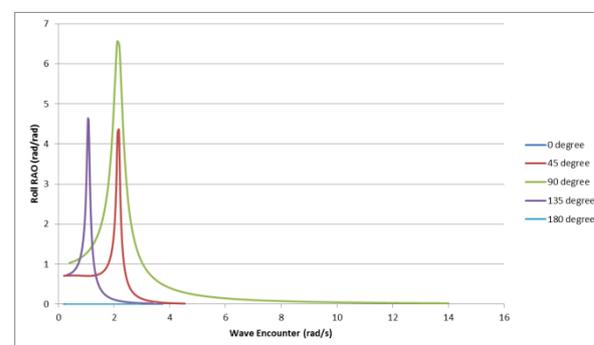
diberi 5 (lima) variasi sudut masuk gelombang. Sudut masuk gelombang yaitu arah datang gelombang yang diukur dari bagian-bagian kapal. Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler digambarkan dalam Gambar RAO. Dalam kasus olah gerak kapal (*seakeeping*), respon gerakan kapal akibat gelombang sebisa mungkin diperkecil.



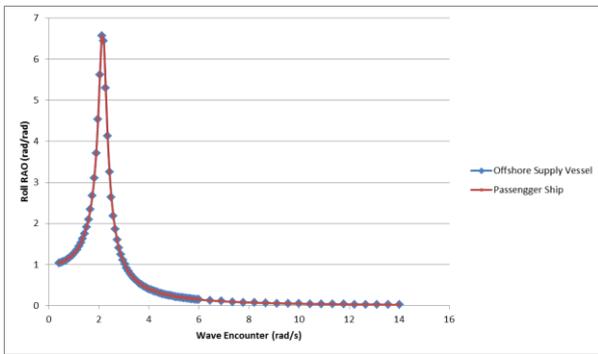
Gambar 14. Gambar RAO *Rolling Offshore Supply Vessel* (Kapal Sebelum Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*

Berdasarkan Gambar 14 menunjukkan kurva RAO *rolling Offshore Supply Vessel* pada lima sudut *heading* yaitu 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, 135 derajat, dan 180 derajat. Dapat dilihat pada kurva nilai RAO gerakan *roll* terbesar pada sudut 90 derajat sebesar 6,568 rad/rad dengan *encounter frequency* sebesar 2,114 rad/s.

Sedangkan nilai RAO gerakan *roll* terbesar pada kurva RAO *rolling Passenger Ship* dari lima sudut *heading* yaitu pada sudut 90 derajat sebesar 6,559 rad/rad dengan *encounter frequency* sebesar 2,114 rad/s dapat dilihat pada Gambar 15.

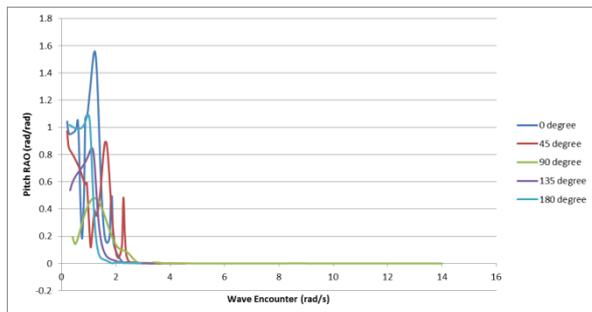


Gambar 15. Gambar RAO *Rolling Passenger Ship* (Kapal Setelah Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*



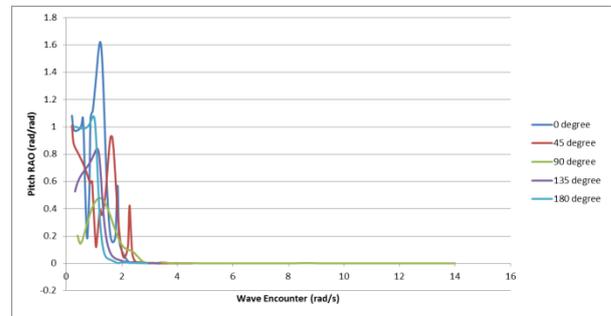
Gambar 16. Gambar RAO *Rolling* Kapal Sebelum dan Sesudah Konversi pada Sudut *Heading* 90 derajat

Pada Gambar 16 menunjukkan RAO gerakan *roll* di gelombang reguler pada sudut *heading* 90 derajat. Puncak maksimum RAO dari masing-masing model kapal pada *encounter frequency* 2,114 rad/s. Dapat dilihat bahwa dengan frekuensi tersebut, model kapal sebelum konversi (*Offshore Supply Vessel*) memberikan respon gerakan *roll* yang lebih besar pada frekuensi dimana puncak kurva model kapal *Passenger Ship* terlewati. Dapat dilihat pada Gambar 11 nilai puncak RAO *rolling* pada sudut *heading* 90 derajat yaitu 6,568 rad/rad.



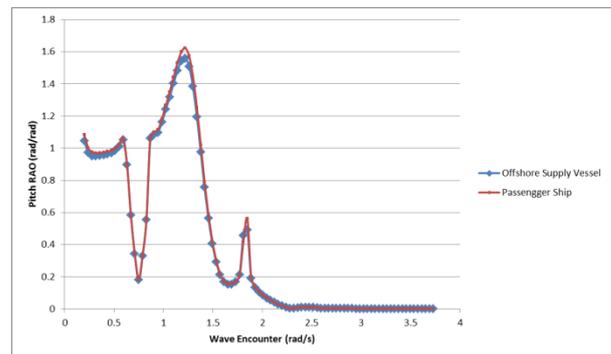
Gambar 17. Gambar RAO *Pitching* *Offshore Supply Vessel* (Kapal Seblum Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*

Pada Gambar 17 terlihat kurva yang menunjukkan nilai RAO *pitching* *Offshore Supply Vessel* pada lima sudut *heading*. Nilai RAO gerakan *pitch* terbesar pada kurva sudut *heading* 0 derajat. Puncak kurva pada *encounter frequency* 1,221 rad/s dengan nilai RAO *pitching* sebesar 1,559 rad/rad.



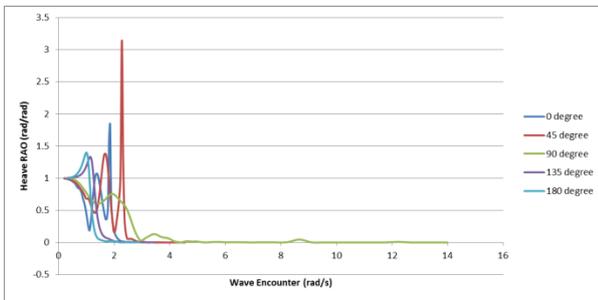
Gambar 18. Gambar RAO *Pitching* *Passenger Ship* (Kapal Setelah Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*

Nilai RAO gerakan *pitch* terbesar pada kurva RAO *pitching* *Passenger Ship* dari lima sudut *heading* yaitu pada sudut 0 derajat sebesar 1,622 rad/rad dengan *encounter frequency* sebesar 1,221 rad/s dapat dilihat pada Gambar 18.



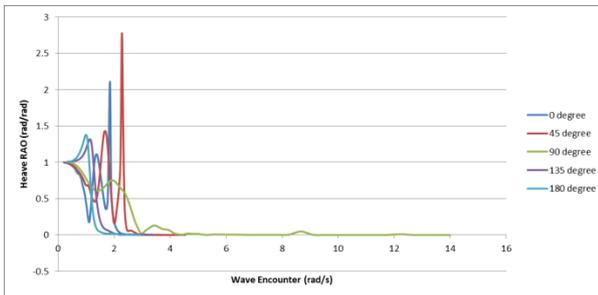
Gambar 19. Gambar RAO *Pitching* Kapal Sebelum dan Sesudah Konversi pada Sudut *Heading* 180 derajat

Pada Gambar 19 menunjukkan RAO gerakan *pitch* pada sudut *heading* 0 derajat. Puncak maksimum RAO dari masing-masing model kapal pada *encounter frequency* 1,221 rad/s. Dapat dilihat bahwa dengan frekuensi tersebut, model kapal setelah konversi (*Passenger Ship*) memberikan respon gerakan *pitch* yang lebih besar pada frekuensi dimana puncak kurva model kapal *Offshore Supply Vessel* terlewati. Dapat dilihat pada Gambar 14 nilai puncak RAO *pitching* pada sudut *heading* 0 derajat yaitu 1,622 rad/rad.



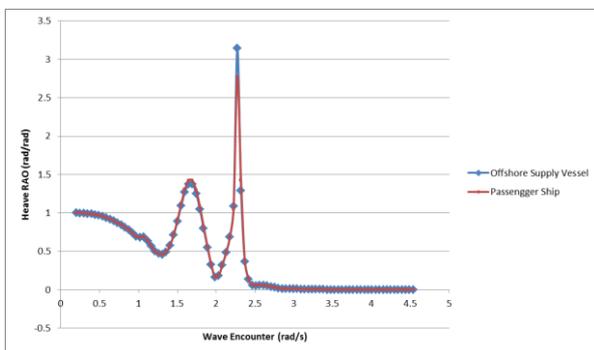
Gambar 20. Gambar RAO *Heaving Offshore Supply Vessel* (Kapal Sebelum Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*

Berdasarkan Gambar 20 menunjukkan kurva RAO *heaving Offshore Supply Vessel* pada lima sudut *heading* yaitu 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, 135 derajat, dan 45 derajat. Dapat dilihat pada kurva nilai RAO gerakan *heave* terbesar pada sudut 45 derajat sebesar 3,144 rad/rad dengan *encounter frequency* sebesar 2,272 rad/s.



Gambar 21. Gambar RAO *Heaving Passenger Ship* (Kapal Setelah Konversi) dengan Kecepatan 25 Knots pada Lima Sudut *Heading*

Berdasarkan Gambar 21, nilai RAO gerakan *heave* terbesar pada kurva RAO *heaving Passenger Ship* dari lima sudut *heading* yaitu pada sudut 45 derajat sebesar 2,773 rad/rad dengan *encounter frequency* sebesar 2,272 rad/s.



Gambar 22. Gambar RAO *Heaving* Kapal Sebelum dan Sesudah Konversi pada Sudut *Heading* 180 derajat

Pada Gambar 22 menunjukkan RAO gerakan *heave* pada sudut *heading* 180 derajat dimana kedua model kapal mencapai puncak maksimum RAO. Puncak maksimum RAO dari masing-masing model kapal pada *encounter frequency*

2,272 rad/s. Dapat dilihat bahwa dengan frekuensi tersebut, model kapal sebelum konversi (*Offshore Supply Vessel*) memberikan respon gerakan *heave* yang lebih besar pada frekuensi dimana puncak kurva model kapal *Passenger Ship* terlewati. Dapat dilihat pada Gambar 17 nilai puncak RAO *heaving* pada sudut *heading* 45 derajat yaitu 3,144 rad/rad.

### 3.4. Evaluasi Kriteria *Seakeeping*

Pada tabel 9, dapat diketahui hasil RMS *rolling* pada lima sudut *heading* yaitu 0 *degree*, 45 *degree*, 90 *degree*, 135 *degree*, dan 180 *degree*. Nilai RMS pada OSV lebih besar dibandingkan nilai RMS *passenger ship*.

Tabel 9. Nilai RMS *Rolling* dari tiap variasi sudut *heading*

Wave Heading (deg)	RMS, $\sqrt{m_o}$	
	Offshore Supply Vessel	Passenger Ship
0	0,056	0,001
45	0,356	0,169
90	1,837	1,295
135	0,515	0,359
180	0,006	0,006

Tabel 10. RMS maksimal gerakan *Roll* pada sudut *heading* 90° dan Standar Kriteria *Rolling*

Roll, $\theta$	Offshore Supply Vessel	Passenger Ship
Standar	4°	4°
RMS, $\sqrt{m_o}$	1,837 deg	1,295 deg

RMS maksimal gerakan *roll* pada sudut *heading* 90° dan standar kriteria *rolling* disajikan dalam tabel 10. Berdasarkan tabel 10, respon gerakan *roll* pada tinggi gelombang 1 meter bertambah seiring dengan adanya penambahan muatan kapal. Semua respon gerakan *roll* dari masing-masing model memenuhi kriteria olah gerak (*seakeeping*).

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang “Analisa Stabilitas Dan Olah Gerak (*Seakeeping*) Kapal MV. Pan Marine Setelah Dikonversi Dari Kapal Kru Menjadi Kapal Wisata” maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu: 1) Didapatkan hasil perbandingan analisa stabilitas kapal sebelum dan sesudah konversi memenuhi semua kriteria (*pass*) dengan semua kondisi pemuatan. Dari hasil analisis nilai GZ maksimum dari *Passanger Ship*

(model setelah konversi) memiliki rata-rata lebih besar daripada nilai GZ maksimum *Offshore Supply Vessel* (model sebelum konversi). Rata-rata nilai GZ model sebelum konversi yaitu 6,791 meter sedangkan rata-rata nilai GZ model setelah konversi yaitu 6,985 meter. Perbedaan nilai GZ pada kedua model yaitu 2,78%. Besar kecilnya nilai GZ (lengan penegak) menentukan keamanan kapal. Nilai GZ *Offshore Supply Vessel* relatif lebih kecil disebabkan penempatan muatan terkonsentrasi di bagian atas kapal (muatan berat di *deck*). Pada penelitian ini, nilai GZ tidak melebihi standar kriteria maka kondisi kapal masih aman untuk penumpang. 2) Dari hasil perhitungan periode oleng kapal didapatkan hasil rata-rata periode oleng *Passanger Ship* (model setelah konversi) yaitu 4,244 detik sedangkan rata-rata periode oleng *Offshore Supply Vessel* (model sebelum konversi) yaitu 4,237 detik. Perbedaan hasil periode oleng kedua model yaitu 0,99%. Nilai rata-rata periode oleng *Passanger Ship* lebih besar dibandingkan dengan rata-rata periode oleng *Offshore Supply Vessel* (model sebelum konversi). Perbedaan ini disebabkan nilai GM *Passanger Ship* yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan *Offshore Supply Vessel*. 3) Hasil Analisa *Seakeeping* berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh *NORDFORSK* untuk standar laut normal perairan laut memenuhi kriteria olah gerak. Rolling Motion terbesar untuk kapal sebelum dan sesudah konversi terjadi pada kondisi *wave heading* 90°. RMS gerak *roll OSV* yaitu 1,837 *degree* dan RMS gerak *roll Passenger Ship* yaitu 1,295 *degree*. Perbedaan nilai RMS kedua model sebesar 30%. Nilai RMS pada perhitungan sesuai dengan kriteria. Nilai RMS gerak *roll OSV* adalah 46% dari standar kriteria maksimal, sedangkan nilai RMS gerak *roll Passenger Ship* adalah 33% dari standar kriteria maksimal. Kedua model masih memenuhi kriteria gerak *rolling* yaitu maksimum 4 *degree*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing, Christabel Giovanny, "Analisa Stabilitas Dan Olah Gerak (*Seakeeping*) Kapal Pada Motor Ferry Horizon Star Setelah Dikonversi Dari 26 Meter Catamaran *Offshore Supply Vessel* Menjadi *Passenger Ship*," Laporan Tugas Akhir S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- [2] R. B. Prakosho, "ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI MEMANJANG, STABILITAS DAN OLAH GERAK KAPAL KMP. LEMA Ro-Ro 750 GT UNTUK PELAYARAN SORONG - WAIGEO," *Dep. S1 Tek. Perkapalan, Fak. Tek. Univ. Diponegoro, Indones.*, 2015.
- [3] I. A. Prabowo, "PERANCANGAN KAPAL UNTUK MENUNJANG PARIWISATA DI MENJANGAN BESAR," *Dep. S1 Tek. Perkapalan, Fak. Tek. Univ. Diponegoro, Indonesia*.
- [4] IMO, *CODE ON. INTACT STABILITY. FOR ALL TYPES OF SHIPS. COVERED BY IMO INSTRUMENTS.*, 2002nd ed. London: International Maritime Organization, 2002.
- [5] *NORDFORSK'87*, "The Nordic Cooperative Project, *Seakeeping Performance in a Seaway, Trondheim, Norway : MARINTEK*".
- [6] Hardjanto, Capt. Albertus, "Pengaruh Kelebihan Dan Pergeseran Muatan Di Atas Kapal Terhadap Stabilitas Kapal". *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhan*, Vol 1, No 1, pp. 1–17 (2010).
- [7] B. B. a. D. Derrett, *Ship Stability For Mates and Masters*, 1964.
- [8] IMO, *CODE ON. INTACT STABILITY. FOR ALL TYPES OF SHIPS. COVERED BY IMO INSTRUMENTS. Page 269*, 2002nd ed. London: International Maritime Organization, 2002.
- [9] Romadhoni, "Analisa Olah Gerak Kapal Di Gelombang Reguler Pada Kapal Tipe *Axe Bow*," *Jur. Tek. Perkapalan Politek. Negeri Bengkalis*, vol. 13, no. 2, 2016.
- [10] R. F.B., *Motion In Waves and Controllability, Principles of Naval Architecture Vol.III*. USA: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [11] P. C. D. S. Bastos and M. C. T. Reyes, "Stability of Ships with a Single Stranding Point," vol. 7, no. January 2014, pp. 15–26.
- [12] Supriyanto, "ANALISA TEKNIS STABILITAS DAN KEKUATAN MEMANJANG KAPAL KM.ADHIGUNA RAYAMARGA SETELAH DIMODIFIKASI DARI KAPAL CONTAINER 3700 DWT MENJADI GENERAL CARGO," *Dep. S1 Tek. Perkapalan, Fak. Tek. Univ. Diponegoro, Indones.*, 2009.
- [13] A. Francescutto, G. Bulian, M. U. Larios, and M. A. Ulloa, "Stability and dynamical effects of water on deck on the survivability of small fishing vessels," *Sh. Sci. Technol.*, vol. 1, no. July 2009, pp. 73–82, 2009.
- [14] P. A. Auliani, "Panjang Garis Pantai

Indonesia Capai 99.000 Kilometer,”  
*National Geographic Indonesia Website*,  
2013. [Online]. Available:  
<http://nationalgeographic.grid.id/read/13285616/terbaru-panjang-garis-pantai-indonesia-capai-99000-kilometer?page=all>. [Accessed: 30-Mar-2018].