

# PERBANDINGAN PERFORMA *HULLFORM* LAMBUNG *MONOHULL* DAN *MONOMARAN* PADA KAPAL *RO-RO* 5000GT

Sahat Parulian Sagala, Ahmad Fauzan Zakki, Samuel  
S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
email: [sahatparuliansagala@gmail.com](mailto:sahatparuliansagala@gmail.com), [ahmadfzakki@gmail.com](mailto:ahmadfzakki@gmail.com), [samuelundip@gmail.com](mailto:samuelundip@gmail.com)

## Abstrak

Konsep desain *monomaran* disebut *The Dutch ballast-free Monomaran concept* yang merupakan tindak lanjut dari kontes desain yang didukung oleh *Dutch Maritime Network*. Konsep desain *monomaran* menawarkan beberapa keuntungan bagi kapal *ro-ro*, terutama fitur *unsinkability* untuk meningkatkan keselamatan *ro-ro*. Konsep *monomaran* menghasilkan sarat yang relatif besar pada *displacement* kapal kosong daripada kapal *monohull* konvensional sehingga kapal memiliki stabilitas yang baik dalam kondisi muatan kosong tanpa harus mengisi atau memberi *ballast* pada kapal. Namun, konsep *monomaran* memiliki luas permukaan basah (*wetted surface area*) yang lebih besar yang menyebabkan hambatan gesek lebih besar. Analisa performa *hullform monomaran* dilakukan pada kapal *ro-ro* 5000GT milik ASDP dengan empat variasi model. Permodelan *hullform monomaran* dilakukan dengan *re-design* terhadap kapal *ro-ro monohull* yang telah ada yang terdiri atas 2 model lambung *round bottom* dan 2 model lambung *chine bottom* dimana masing - masing model lambung didesain dengan kenaikan 25% dan 37,5% terhadap sarat penuh (T) kapal *monohull* pembanding. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa hambatan *ro-ro monomaran 25%T chine bottom* memiliki hambatan 315,01 kN dengan kenaikan 5,85% lebih besar dari *monohull*; *monomaran 37,5%T chine bottom* memiliki hambatan sebesar 331,41 kN dengan kenaikan 11,37% lebih besar dari *ro-ro monohull*. Pada perhitungan *intact* stabilitas, *hullform ro-ro monomaran* memiliki area kurva stabilitas yang lebih besar daripada *ro-ro monohull* dan mengindikasikan bahwa *hullform monomaran* memiliki *intact* stabilitas yang lebih baik daripada *hullform monohull* dengan kondisi *ro-ro monomaran* tanpa *ballast*. Performa olah gerak (*seakeeping*) *ro-ro monohull* dan *monomaran* memiliki respon yang cenderung sama pada sudut datang gelombang *Head Sea* maupun *Beam Sea*.

Kata kunci : *monomaran, monohull, ro-ro, displacement, stabilitas, seakeeping*

## Abstract

The design concept of *monomaran* is called *The Dutch ballast-free Monomaran concept* which is a follow-up of a design contest supported by the *Dutch Maritime Network*. *Monomaran* design concept offers several advantages for *ro-ro* ships, especially *unsinkability* features to improve the safety of *ro-ro*. The *monomaran* concept produces relatively large draught on empty vessel displacement than conventional *monohull* vessel so that the vessel has good stability in empty load conditions without providing *ballast* in ships. However, the *monomaran* concept has a greater *wetted surface area* which causes greater frictional resistance. *Monomaran hullform* performance analysis carried out on *ro-ro* ships 5000GT belonging to ASDP with four variations of the model. *Monomaran hullform* modeling is carried out by re-designing the existing *monohull ro-ro* ship consisted of two rounded hull bottom models and 2 *chine hull bottom* models where each model of the hull is designed with a rise of 25% and 37.5% of the existing *monohull draught* (T). This study indicated that the resistance of 25% T *chine bottom monomaran ro-ro* is about 315.01 kN, with a rise up to 5.85% greater than *monohull*; the resistance of 37.5% T *chine bottom monomaran ro-ro* is about 331.41 kN, with a rise up to 11.37% greater than *monohull ro-ro*. In the calculation of *intact* stability, *monomaran ro-ro hullform* has a greater curve area of stability than *monohull ro-ro* and indicates that *monomaran hullform* has *intact* stability better than *monohull hullform* with no *ballast monomaran ro-ro* condition. Motion performance (*seakeeping*) of *monohull* and *monomaran ro-ro* have a likely similar response on *Beam Sea* and *Head Sea* wave encounter.

Keywords: *monomaran, monohull, ro-ro, displacement, stability, seakeeping*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baru - baru ini Holland Delft University of Technology telah mengembangkan sebuah inovasi desain *monomaran hull*. Konsep desain ini disebut *The Dutch ballast-free Monomaran concept* yang merupakan tindak lanjut dari kontes desain yang didukung oleh *Dutch Maritime Network*. *Monomaran* adalah desain lambung gabungan antara *monohull* dan *catamaran*. Inovasi desain lambung tipe *monomaran* ini menjadi sebuah inovasi yang menarik dan berbeda sehingga perlu dilakukan berbagai penelitian dan pengujian yang berkelanjutan untuk mendukung dan menjadikan inovasi desain *monomaran* menjadi alternatif desain lambung kapal yang populer selain tipe *monohull* dan *catamaran*.

Desain *monomaran* merupakan desain lambung yang baru sehingga perlu dilakukan beberapa analisis dan pengujian seperti lazimnya kapal desain *monohull* maupun lambung kembar pada umumnya. Hal ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi dan karakteristik tentang kapal tipe *monomaran*. Selain itu, penelitian lebih lanjut juga sangat penting karena nantinya bisa memberikan rekomendasi apakah kapal dengan tipe lambung *monomaran* layak atau tidak diaplikasikan pada kapal *ro-ro*.

Studi analisis ini dilakukan pada kapal penyebrangan atau kapal *ro-ro* (*Roll-On Roll-Off*) Kapal Penyebrangan 5000 GT milik ASDP. Alasan pemilihan kapal jenis *ro-ro* ini adalah karena kapal *ro-ro* sangat berperan besar dan secara umum bersentuhan langsung dengan masyarakat Indonesia yang notabene adalah masyarakat negara kepulauan yang menggunakan *ro-ro* sebagai kapal dengan ruang muatan *roro* atau ruang muatan khusus untuk mengangkut muatan berupa kendaraan seperti truk, mobil dan sepeda motor serta penumpang. [1]

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan perbandingan performa *hullform* terhadap lambung *monohull* kapal original dengan kapal modifikasi lambung *monomaran*. Pada tahap awal penulis melakukan *re-design* lambung dengan menggunakan *Maxsurf Modeler* kemudian melakukan perbandingan performa *hullform* masing- masing lambung. Performa *hullform* yang menjadi objek studi perbandingan ini berupa karakteristik kapal saat di laut seperti olah gerak (*seakeeping*), hambatan (*resistance*) dan stabilitas (*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. Bagaimana desain *hullform* sebuah kapal tipe *ro-ro monomaran*?
2. Bagaimana karakteristik performa *hullform* lambung *ro-ro monomaran*?

### 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 5000 GT milik ASDP.
2. Variasi model *ro-ro monomaran* yang akan dianalisis terdiri atas 2 model lambung *round bottom* dan 2 model lambung *chine bottom* dimana masing - masing model lambung didesain dengan kenaikan 25% dan 37,5% sarat penuh (T) kapal perbandingan.
3. Performa *hullform* model yang akan dianalisis berupa hambatan, stabilitas dan olah gerak (*seakeeping*) kapal.
4. Tidak menghitung konstruksi profil, layout kamar mesin dan perlengkapan yang dibawa.
5. Tidak melakukan analisis ekonomis dan biaya pembangunan kapal serta tidak membuat rute *project* kapal tersebut.

### 1.4 Tujuan Masalah

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

1. Melakukan *re-design* bentuk lambung *monohull* menjadi bentuk lambung *monomaran* sehingga didapatkan desain model *hullform ro-ro monomaran*.
2. Melakukan analisis perbedaan performa *hullform* meliputi hambatan, stabilitas dan olah gerak masing - masing model lambung dan membandingkannya.

## 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 mengembangkan desain *hullform* kapal yang memiliki tingkat keselamatan lebih baik dengan mengaplikasikan *advanced hullform* yaitu *monomaran*.

## 2.2 Monomaran

Konsep desain *monomaran* disebut *The Dutch ballast-free Monomaran concept* yang merupakan tindak lanjut dari kontes desain yang didukung oleh *Dutch Maritime Network*. Keunggulan dari konsep *Dutch monomaran* adalah menghasilkan sarat yang relatif besar pada muatan ringan atau kosong akibat bagian bawah kapal atau *bottom* yang ditekuk ke atas. Desain lambung *monomaran* mampu memberikan sarat yang lebih dalam untuk *deadweight* yang sama, sehingga kapal memiliki stabilitas yang baik dalam kondisi muatan kosong tanpa harus mengisi atau memberi *ballast* pada kapal. Bentuk lambung *monomaran* ini memiliki keuntungan lain yaitu bahwa *cargo hold* yang berbentuk kotak persegi panjang bisa tetap dipertahankan, yang memungkinkan konsep ini dapat digunakan untuk kapal serbaguna seperti *ro-ro* dan kapal kontainer.



Gambar 1 Desain Konsep *Monomaran*

Salah satu tantangan dari konsep original *monomaran* ini adalah luas permukaan basah (*Wetted Surface Area*) yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tipe lambung konvensional dengan bobot mati yang sama, sehingga menyebabkan hambatan gesek bertambah besar. Hambatan gesek yang besar yang ditimbulkan oleh luas permukaan basah

(*WSA*) kapal monomaran dapat diatasi dengan penerapan sistem pelumasan atau pelumasan udara pada dua lambung yang paling dasar sehingga diharapkan bisa mengurangi dampak ini. [3]

## 2.3 Hambatan Kapal

Hambatan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. [4]

Hambatan total kapal yang melaju pada permukaan air tenang memiliki beberapa komponen hambatan, yang meliputi hambatan gesek, hambatan viskositas, hambatan gelombang, hambatan udara, dan hambatan karena bentuk badan kapal. [5]

Salah satu metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan total kapal adalah *Holtrop & Mennen Method*, dengan rumus hambatan total kapal: [6]

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot (C_f(1+k) + C_A) + \frac{R_w}{W} W \quad (1)$$

dimana :

$R_T$	= Hambatan total kapal (N)
$\rho$	= Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
$V$	= Kecepatan kapal (m/s)
$S_{tot}$	= Luas permukaan basah kapal ( $\text{m}^2$ )
$C_f$	= Koefisien tahanan gesek
$(1+k)$	= Koefisien faktor bentuk
$C_A$	= Koefisien tahanan udara
$R_w/W$	= Koefisien tahanan gelombang
$W$	= Gaya keatas atau <i>bouyancy</i> (N)

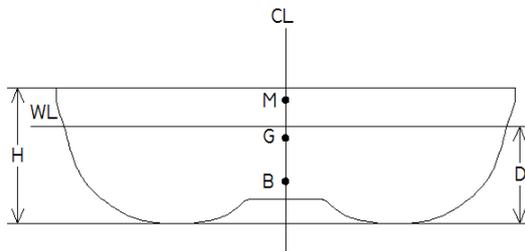
## 2.4 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan sebuah benda apung, baik yang tercelup seluruhnya maupun sebagian untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami olengan yang disebabkan oleh gaya - gaya dari luar yang mempengaruhinya. [7]

Stabilitas kapal dibedakan atas :

1. Stabilitas awal (*Initial Stability*) yakni stabilitas kapal pada kondisi statis (diam / kapal tidak bergerak).
2. Stabilitas Dinamis (*Dynamic Stability*) yakni stabilitas kapal pada kondisi operasional atau bergerak (dinamis).

Stabilitas kapal ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (*center of gravity*), titik apung (*center of bouyancy*), dan titik metasentra.

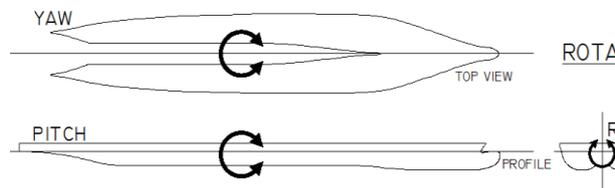


Gambar 2. Titik-titik penting dalam stabilitas

## 2.5 Olah Gerak Kapal (*Seakeeping*)

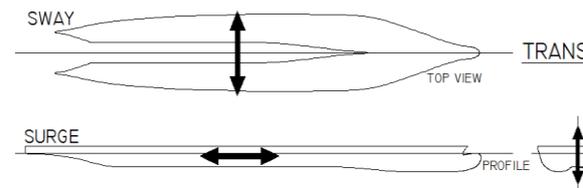
Pada dasarnya kapal yang berada diatas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya external yang menyebabkan kapal bergerak (*ship moving*). Gerakan kapal ini disebabkan adanya faktor dari luar terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu:

- a. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi:
  - a) *rolling*
  - b) *pitching*
  - c) *yawing*



Gambar 3 Macam Gerak Rotasi Kapal sesuai sumbunya

- b. Gerakan translasi, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi:
  - a) *surgin*
  - b) *swaying*
  - c) *heaving*



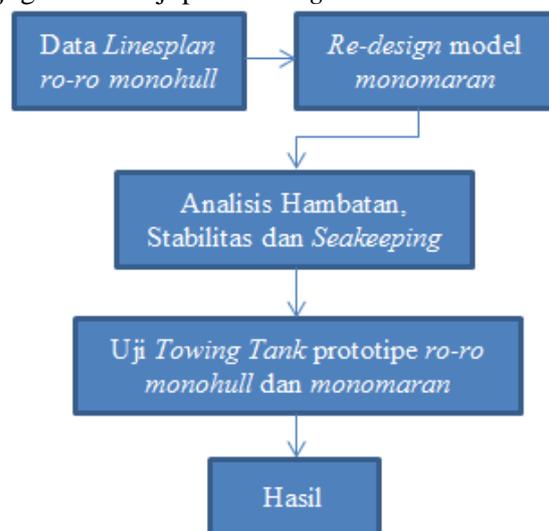
Gambar 4 Macam Gerak Translasi Kapal sesuai sumbunya

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hullform *monomaran* untuk jenis kapal *ro-ro*.

Tahapan pertama akan menghasilkan model bentuk *hullform ro-ro monomaran*, dimensi dan ukuran utama. Model yang didesain terdiri atas empat model dengan parameter variasinya yaitu persentasi kenaikan tekukan *bottom* terhadap sarat penuh kapal dan bentuk *bottom*-nya. Semua variasi model *ro-ro monomaran* ini dilengkapi dengan analisis hambatan, stabilitas dan gerakan kapal diatas air. Proses analisis dilakukan dengan menggunakan *Maxsurf Stability*, *Maxsurf Resistance*, *Tdyn* dan *Ansys-Aqwa*. Selanjutnya model yang terbaik akan dipilih dan akan dilakukan pengujian *towing tank* dimana hasil pengujian akan dibandingkan dengan kapal *ro-ro monohull* pembanding yang juga telah diuji pada *towing tank*.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Materi Penelitian

#### a. Data Primer

1. Data ukuran utama kapal Kapal Penyebrangan 5000 GT, yaitu:
 

LOA	: 109,40 m
LPP	: 99,20 m
B <sub>deck</sub>	: 19,60 m
B <sub>wl</sub>	: 18,94 m
H	: 5,60 m
T	: 4,00 m
V <sub>s</sub>	: 16,00 Knot

#### 2. Lines Plan kapal pembanding.

#### b. Data Sekunder

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

### 3.3 Response Amplitude Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam *RAO* (*Response Amplitude Operator*), dimana *RAO* adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal baik translasi maupun rotasi terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

*RAO* untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang yang keduanya dalam satuan panjang. Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) terhadap kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang,  $k_w = \omega^2/g$  dengan amplitudo gelombang. [9]

$$RAO = \frac{z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad (2)$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\frac{\omega^2}{g}) \zeta_0} \quad (\text{rad/rad})$$

(3)

Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Persamaan spektrum respon adalah:

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega)$$

(4)

### 3.4 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bretschneider* atau *ITTC* dengan dua parameter yaitu tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode rata-rata ( $T_{av}$ ), dengan persamaan :

$$S_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (5)$$

dimana :

$\omega$  = Frekuensi gelombang (rad/s)

$$A = 172.75 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{ave}^4}$$

Spektrum gelombang yang dihasilkan sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat adanya pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden ( $\omega_w$ ) akan berubah

menjadi frekuensi gelombang papasan ( $\omega_e$ ), gelombang tersebut yang digunakan untuk menghitung gelombang papasan ( $S_e$ ). Dengan persamaan :

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad (6)$$

dimana :

$\omega_e$  = Frekuensi gelombang papasan (rad/s)

$\omega_w$  = Frekuensi gelombang (rad/s)

$V$  = Kecepatan kapal (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

### 3.5 Root Mean Square (RMS)

RMS merupakan luasan kurva di bawah kurva spectrum respon yang dinyatakan dalam  $m_0$ , dengan persamaan :

$$m_0 = \int_0^\infty S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (7)$$

jika nilai RMS dari masing-masing amplitude gerakan ( $\zeta$ ) dinyatakan dalam  $\sqrt{m_0}$  maka dinyatakan dalam persamaan :

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (8)$$

Kemudian untuk mendapatkan amplitude signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitude tertinggi dinyatakan dengan persamaan :

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (9)$$

Sedangkan luasan spektrum respon untuk kecepatan dan percepatan yang dinyatakan dalam  $m_2$  dan  $m_4$  dengan persamaan :

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (10)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (11)$$

### 3.6 Blockage Corrections

Dimensi *towing tank* harus dilaporkan bersamaan dengan hasil dokumentasi pengujian. Dimensi *towing tank* harus cukup besar untuk menghindari efek dinding dan efek *blockage*. Berikut merupakan rumus yang direkomendasikan untuk menghitung *blockage correction* jika dinilai perlu. [8]

Tamura;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0,67.m. \left[\frac{L}{B}\right]^{3/4} \cdot 1/(1-Fr_h^2) \quad (12)$$

dimana,

$$m = \frac{Ax}{A}$$

$A_x$  = sectional area maksimum model ( $m^2$ )

$A$  = sectional area maksimum towing tank ( $m^2$ )

$L$  = panjang kapal (m)

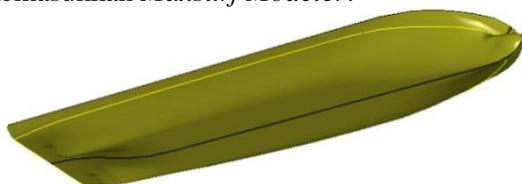
$B$  = lebar kapal (m)

$$Fr_h = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

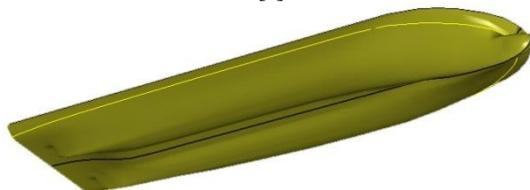
#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Permodelan

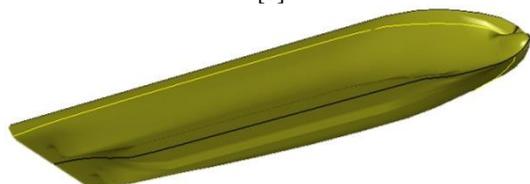
Model *ro-ro monomaran* yang didesain terdiri atas 2 model lambung *round bottom* dan 2 model lambung *chine bottom* dimana masing - masing model lambung didesain dengan kenaikan 25% dan 37,5% terhadap sarat penuh (T) kapal monohull pembanding. Permodelan *hullform monomaran* dilakukan dengan *re-design* terhadap kapal *ro-ro monohull* yang telah ada. Sehingga dalam penelitian ini diperoleh sebuah desain kapal *ro-ro monohull* pembanding dan empat buah model *ro-ro monomaran* dengan variasi kenaikan *bottom* masing-masing. Permodelan dilakukan dengan memasukkan *Maxsurf Modeler*.



[a]



[b]



[c]



[d]



[e]

Gambar 6 [a] monohull [b] monomaran 25%T round [c] monomaran 25%T chine [d] monomaran 37,5%T round [e] monomaran 37,5%T chine

Berdasarkan hasil desain *hullform ro-ro monomaran*, maka diperoleh dimensi model sebagai berikut:

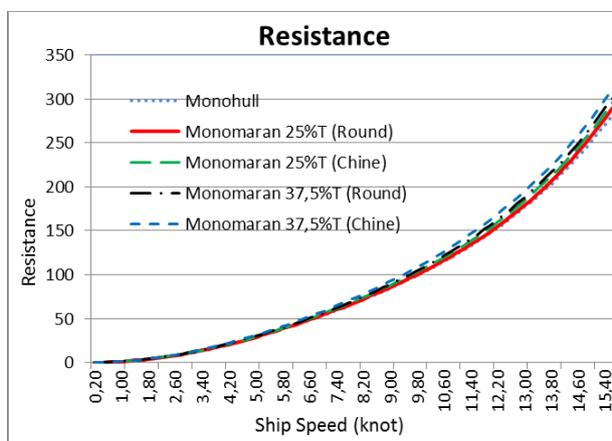
- Model *monohull* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2160,89  $m^2$ ; sarat = 4 m; *Cb* = 0,66
- Model *monomaran 25%T round bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2237,53  $m^2$ ; sarat = 4,149 m; *Cb* = 0,632
- Model *monomaran 25%T chine bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2298,217  $m^2$ ; sarat = 4,227 m; *Cb* = 0,619
- Model *monomaran 37,5%T rounded bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2307,738  $m^2$ ; sarat = 4,291 m; *Cb* = 0,608
- Model *monomaran 37,5%T chine bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2389,271  $m^2$ ; sarat = 4,348 m; *Cb* = 0,599

##### 4.2 Analisis Hambatan dengan Metode Holtrop

Hambatan kapal didefinisikan sebagai gaya yang menahan laju kapal pada air tenang dengan kecepatan konstan. Perhitungan hambatan *ro-ro monomaran* dilakukan dengan menggunakan metode *Holtrop* pada kecepatan 16 knot, yang merupakan kecepatan maksimum kapal *ro-ro* pembanding.

Hasil analisis menggunakan *Maxsurf Resistance* menunjukkan bahwa semua model *hullform monomaran* memiliki hambatan yang lebih besar daripada *ro-ro monohull*. Hal ini disebabkan karena *hullform monomaran* memiliki *wetted surface area (WSA)* yang lebih besar. Kenaikan *WSA* menyebabkan hambatan gesek yang lebih besar.

Berdasarkan hasil analisis, pada kecepatan 16 knot, *ro-ro monohull* memiliki hambatan 297,59 kN; *monomaran 25%T round bottom* memiliki hambatan 307,80 kN dengan kenaikan 3,43% lebih besar dari *monohull*; *monomaran 25%T chine bottom* memiliki hambatan 315,01 kN dengan kenaikan 5,85% lebih besar dari *monohull*; *monomaran 37,5%T round bottom* memiliki hambatan 320,85 kN dengan kenaikan 7,82%; *monomaran 37,5%T chine bottom* memiliki hambatan sebesar 331,41 kN dengan kenaikan 11,37% lebih besar dari *ro-ro monohull*. Meskipun memiliki hambatan yang lebih besar, *monomaran* masih dapat diterima sebagai *hullform* alternatif untuk kapal *ro-ro*.



Gambar 7 Grafik hambatan *ro-ro monohull* dan *monomaran*

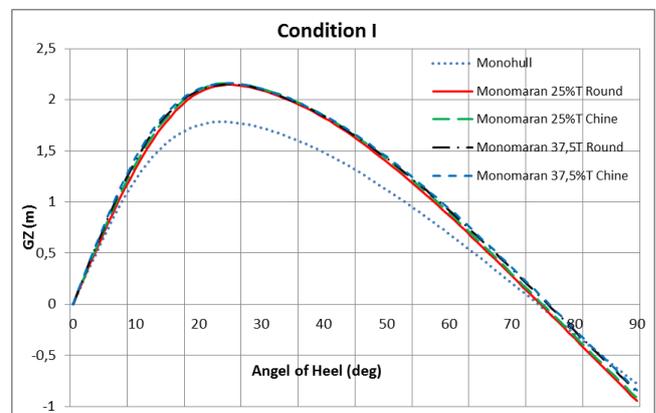
### 4.3 Analisis Performa *Intact* Stabilitas

Karakteristik stabilitas *hullform monomaran* yang diuji disesuaikan dengan kondisi muatan (*load*) dan *consumable*-nya saat kapal berlayar. Kondisi muatan yang diterapkan untuk pengujian *intact* stabilitas adalah sebagai berikut:

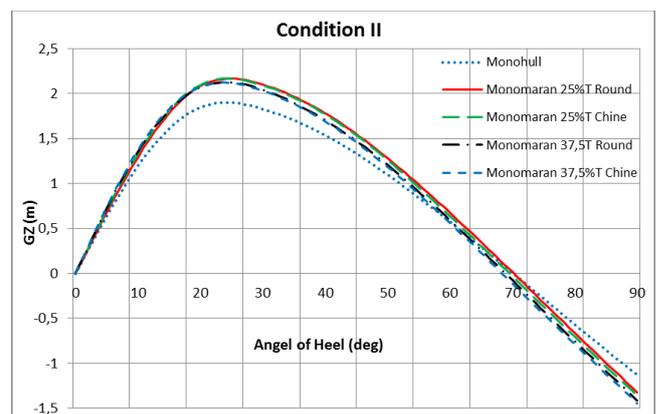
- Kondisi I: *Full load* dengan 100% *consumables*
- Kondisi II: *Full load* dengan 75% *consumables*
- Kondisi III: *Full load* dengan 50% *consumables*
- Kondisi IV: *Full load* dengan 25% *consumables*

Kurva stabilitas *ro-ro monomaran* dapat dilihat pada gambar 8, dimana perbandingan perbandingan kurva stabilitas *ro-ro monohull* dan *ro-ro monomaran* diplot dalam satu grafik untuk masing masing kondisi muatan. Sesuai

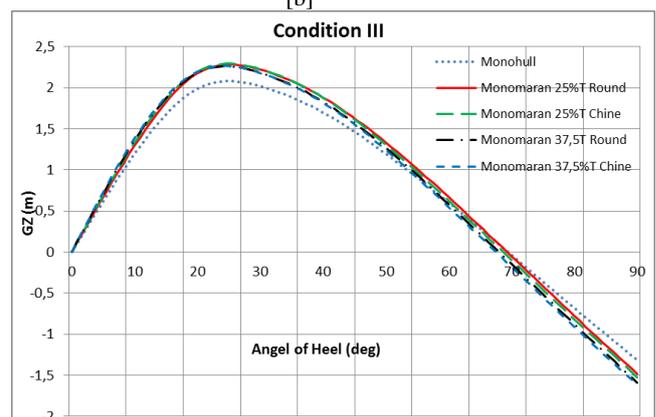
dengan hasil analisis dan data kurva stabilitas untuk masing masing kondisi muatan, maka semua *ro-ro monomaran* memiliki nilai *GZ* positif. Hal ini menunjukkan bahwa *hullform ro-ro monomaran* memiliki *intact* stabilitas yang positif.



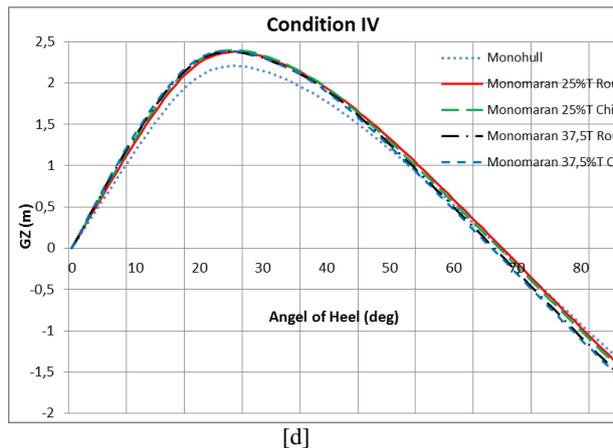
[a]



[b]



[c]



Gambar 8 Kurva stabilitas *ro-ro monohull* dan *monomaran* [a] kondisi I; [b] kondisi II; [c] kondisi III; [d] kondisi IV

Perhitungan *intact* stabilitas *ro-ro monomaran* dilakukan sesuai dengan kriteria *IMO* untuk stabilitas kapal; lihat Tabel 1-5. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa *hullform ro-ro monomaran* memiliki area kurva stabilitas yang lebih besar daripada *ro-ro monohull* dan mengindikasikan bahwa *hullform monomaran* memiliki *intact* stabilitas yang lebih baik daripada *hullform monohull*.

Tabel 1. *Intact* stabilitas *monohull* dan kriteria *IMO*

Criteria	Required	Monohull			
		Load Condition			
		I	II	III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	39,7	40,8	43,1	44,5
Area 0° to 40°. or Downflooding point	5,16 m.deg	55,8	57,8	61,9	64,4
Area 30° to 40°. or Downflooding point	1,719 m.deg	16,2	16,9	18,7	19,9
GZ at 30°. or greater	0,2 m	1,7	1,8	2,0	2,2
Angle of GZ max	25 deg	23,6	23,6	24,5	25,5
GM	0,15 m	7,3	7,1	7,1	6,8

Tabel 2. *Intact* stabilitas *monomaran 25%T round bottom* dan kriteria *IMO*

Criteria	Required	Monomaran 25%T (Round Bottom)			
		Load Condition			
		I	II	III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	45,8	45,6	47,1	48,2
Area 0° to 40°. or Downflooding point	5,16 m.deg	65,6	65,2	67,8	69,8
Area 30° to 40°. or Downflooding point	1,719 m.deg	19,8	19,6	20,7	21,6
GZ at 30°. or greater	0,2 m	2,1	2,1	2,2	2,3

Angle of GZ max	25 deg	24,5	24,5	25,5	25,5
GM	0,15 m	7,9	7,7	7,7	7,7

Tabel 3. *Intact* stabilitas *monomaran 25%T chine bottom* dan kriteria *IMO*

Criteria	Required	Monomaran 25%T (Chine Bottom)			
		Load Condition			
		I	II	III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	46,6	46,1	47,8	49,1
Area 0° to 40°. or Downflooding point	5,16 m.deg	66,5	65,5	68,5	70,8
Area 30° to 40°. or Downflooding point	1,719 m.deg	19,9	19,5	20,7	21,7
GZ at 30°. or greater	0,2 m	2,1	2,1	2,2	2,3
Angle of GZ max	25 deg	24,5	24,5	24,5	25,5
GM	0,15 m	8,1	7,9	8,0	8,0

Tabel 4. *Intact* stabilitas *monomaran 37,5%T round bottom* dan kriteria *IMO*

Criteria	Required	Monomaran 37,5%T (Round Bottom)			
		Load Condition			
		I	II	III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	46,9	45,9	47,8	49,3
Area 0° to 40°. or Downflooding point	5,16 m.deg	66,8	64,8	68,0	70,7
Area 30° to 40°. or Downflooding point	1,719 m.deg	19,8	18,9	20,2	21,4
GZ at 30°. or greater	0,2 m	2,1	2,0	2,2	2,3
Angle of GZ max	25 deg	24,5	23,6	24,5	24,5
GM	0,15 m	8,4	8,0	8,1	8,2

Tabel 5. *Intact* stabilitas *monomaran 37,5%T chine bottom* dan kriteria *IMO*

Criteria	Required	Monomaran 37,5%T (Chine Bottom)			
		Load Condition			
		I	II	III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	47,4	46,1	48,1	49,8
Area 0° to 40°. or Downflooding point	5,16 m.deg	67,4	64,9	68,3	71,1
Area 30° to 40°. or Downflooding point	1,719 m.deg	19,9	18,8	20,2	21,3
GZ at 30°. or greater	0,2 m	2,1	2,0	2,2	2,3
Angle of GZ max	25 deg	24,5	23,6	24,5	24,5
GM	0,15 m	8,5	8,2	8,3	8,3

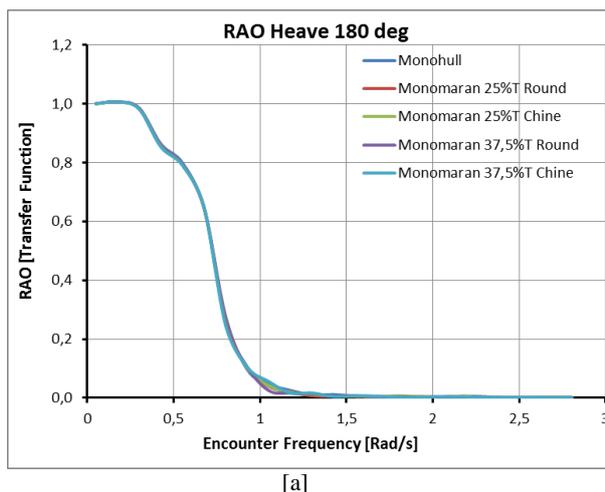
#### 4.4 Analisis Performa *Seakeeping*

Dalam merancang sebuah kapal, sangat penting untuk menganalisis perilaku kapal ataupun objek terapung lainnya ketika objek tersebut terkena gelombang. Mode analisis yang

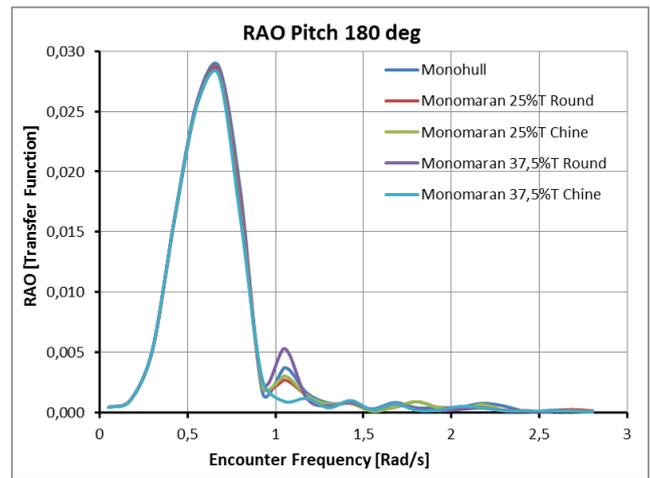
dapat dilakukan bisa berupa analisis secara analitik untuk desain yang sederhana seperti tongkang kotak, namun untuk kapal yang memiliki bentuk yang berlekuk - lekuk perlu perhitungan secara komputasi. Hasil dari perhitungan ini berupa *transfer functions* atau disebut juga *Response Amplitude Operators (RAO)*.

Analisis *seakeeping* dilakukan menggunakan karakteristik gelombang dan angin Laut Jawa. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Laut Jawa memiliki ketinggian gelombang rata-rata 0,75-1,25 meter dengan ketinggian rata-rata maksimum 1-2 meter. Kecepatan rata-rata angin di Laut Jawa berkisar antara 5-15 knot. Dengan mempertimbangkan karakteristik Laut Jawa, maka untuk analisis *seakeeping* dilakukan sesuai dengan spektrum *ITTC* pada kecepatan kapal 16 knot untuk sudut datang gelombang  $180^0$  (*Head Sea*) dan  $90^0$  (*Beam Sea*).

Analisis *seakeeping* dilakukan dengan menggunakan *software* komersial *Ansys-Aqwa*. Hasil dari analisis berupa *Response Amplitude Operator (RAO)*. *RAO* merupakan *transfer function* yang menunjukkan hubungan antara spektrum respon gelombang dengan gerakan kapal (spektrum respon kapal). Karakteristik respon (*RAO*) gerakan *hullform ro-ro monohull* dan *monomaran* pada sudut gelombang *Head Sea* and *Beam Sea* bisa dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.

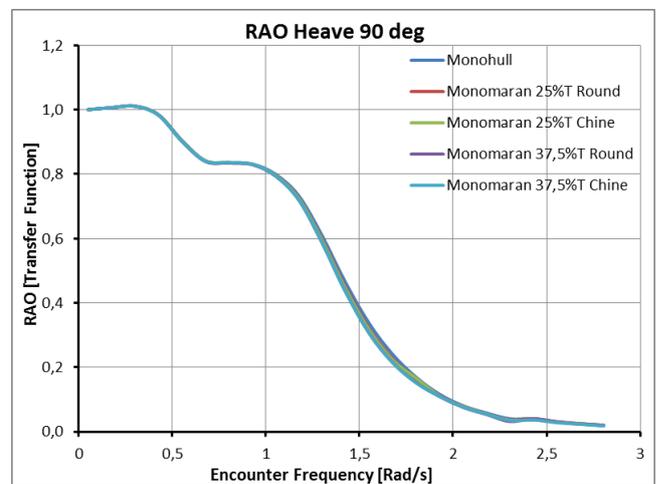


[a]

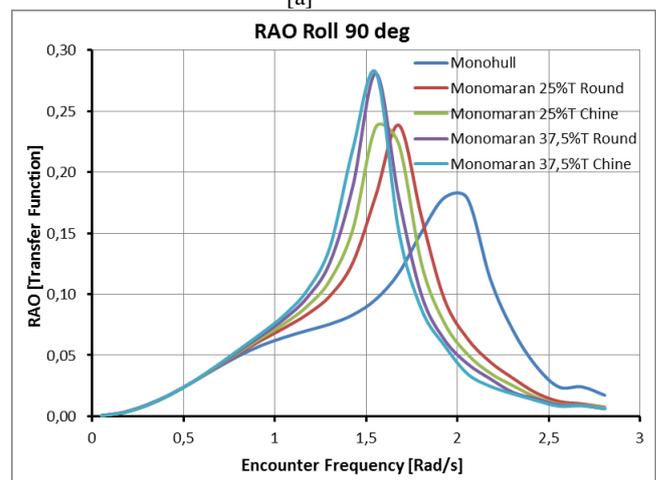


[b]

Gambar 9 RAO ro-ro monohull dan monomaran [a] heave [b] pitch pada gelombang Head Sea



[a]



[b]

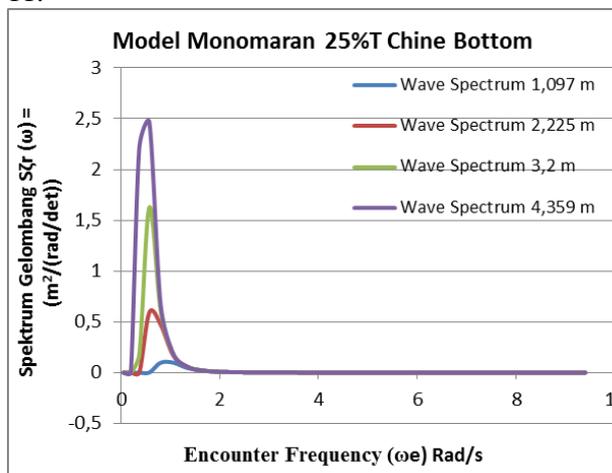
Gambar 10 RAO ro-ro monohull dan monomaran [a] heave [b] roll pada gelombang Beam Sea

Berdasarkan hasil perhitungan (Gambar 9-10) diperoleh bahwa respon gerakan *ro-ro monohull* dan *ro-ro monomaran* cenderung mirip kecuali untuk gerakan *roll*. Pada sudut

datang gelombang  $180^0$  (*Head Sea*), nilai gerakan *heave* terbesar terjadi pada model *ro-ro monohull* dengan *RAO* 1,0065488 m/m pada frekuensi 0,175 rad/s dan nilai gerakan *pitch* terbesar terjadi pada model *ro-ro monohull* juga dengan *RAO* 0,02877 m/m pada frekuensi 0,676 rad/s. Pada sudut datang gelombang  $90^0$  (*Beam Sea*), nilai gerakan *heave* terbesar terjadi pada model *ro-ro monohull* dengan *RAO* 1,0115411 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s dan nilai *roll* terbesar terjadi pada model *ro-ro monomaran* 37,5%T *chine bottom* dengan *RAO* 0,2813818 m/m pada frekuensi 1,553 rad/s.

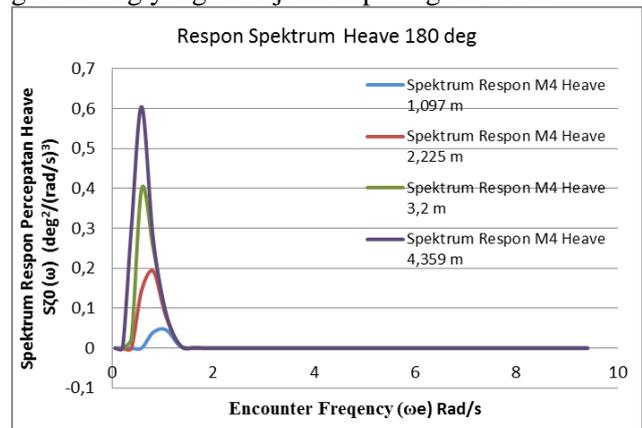
Pada sudut datang gelombang  $180^0$  (*Head Sea*), gaya yang ditimbulkan tidak mempengaruhi gerak *roll* kapal. Hal ini disebabkan karena posisi kapal secara simetris segaris dengan sumbu-x yang menyebabkan kapal tidak mengalami efek gerakan rotasi terhadap sumbu-x (gerak *roll*) secara langsung melainkan mengalami gerak *heave* dan *pitch*. Pada sudut datang gelombang  $90^0$  (*Beam Sea*), *RAO* menunjukkan respon yang besar terhadap gerak *roll* dan *heave*, namun tidak menimbulkan respon yang signifikan terhadap gerak *pitch*. Hal ini disebabkan bahwa gelombang yang datang dari sisi kapal (sumbu-y) tidak terlalu berpengaruh terhadap gerak rotasi terhadap sumbu-y (gerak *pitch*).

Analisa spektrum gelombang pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan spektrum gelombang *Bretschneider* atau *ITTC*. Variasi ketinggian gelombang dan periode gelombang disesuaikan dengan perairan Laut Jawa yang diperoleh dari tabel *sea state*. Spektrum gelombang model *ro-ro monomaran* 25%T *chine bottom* ditunjukkan pada gambar 11.



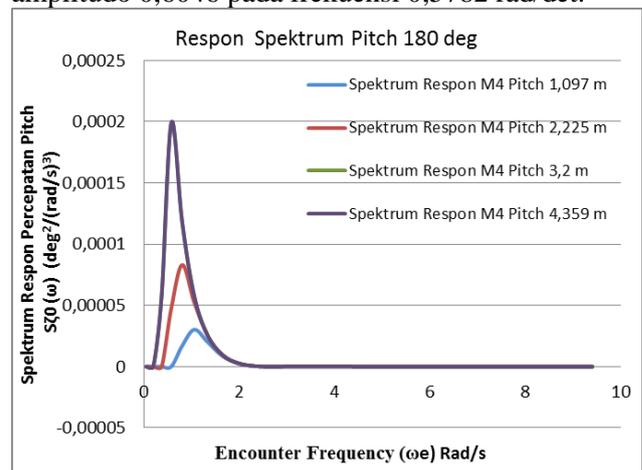
Gambar 11 Grafik Spektrum Gelombang *ITTC*

Spektrum gelombang yang diterima oleh kapal menimbulkan spektrum respon kapal terhadap gelombang yang ditunjukkan pada gambar 12.



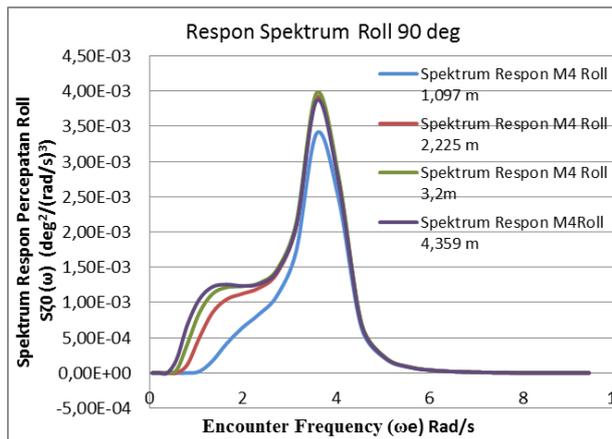
[a]

Nilai spektrum respon dari gerakan percepatan *heave* (gambar 12a) yang terbesar adalah pada amplitudo 0,6046 pada frekuensi 0,5782 rad/det.



[b]

Nilai spektrum respon dari gerakan percepatan *pitch* (gambar 12b) yang terbesar adalah pada amplitudo 0,0002 pada frekuensi 0,5782 rad/det. Nilai spektrum respon dari gerakan percepatan *roll* (gambar 12c) yang terbesar adalah pada amplitudo  $3,98E-03$  pada frekuensi 3,5765 rad/det.



[c]

Gambar 12 Grafik Spektrum Respon Percepatan [a] *heave* 180° [b] *pitch* 180° [c] *roll* 90°

#### 4.5 Evaluasi Kriteria *Seakeeping*

Dari hasil analisa diatas maka dapat dibuat tabel sebagai berikut :

Tabel 6 RMS dan Nilai Percepatan *Heave* pada sudut heading 180°

Model	Percepatan <i>Heave</i> , (g)	Hs	Hs	Hs	Hs
		1,097 m	2,225 m	3,20 m	4,359 m
	Standar	0,12	0,12	0,12	0,12
Mono hull	RMS√m <sub>0</sub> /g	0,016	0,033	0,044	0,054
Monomaran	RMS√m <sub>0</sub> /g	0,016	0,033	0,044	0,054

Berdasarkan tabel 6, respon gerakan percepatan *heave* terbesar terjadi pada model monohull pada gelombang 4,359 m yaitu senilai 0,0545 dan terendah pada model monomaran pada gelombang 1,097 m senilai 0,01585.

Tabel 7 RMS dan Nilai Percepatan *Pitch* pada sudut heading 180°

Model	Percepatan <i>Pitch</i> , (g)	Hs	Hs	Hs	Hs
		1,097 m	2,225 m	3,2 m	4,359 m
	Standar	0,15	0,15	0,15	0,15
Monohull	RMS√m <sub>0</sub> /g	0,000	0,000	0,001	0,001
Monomaran	RMS√m <sub>0</sub> /g	0,000	0,000	0,001	0,001

Berdasarkan tabel 7, respon gerakan percepatan *pitch* terbesar terjadi pada model monohull pada gelombang 4,359 m yaitu senilai 0,00114 dan terendah pada model monohull pada gelombang 1,097 m senilai 0,00049.

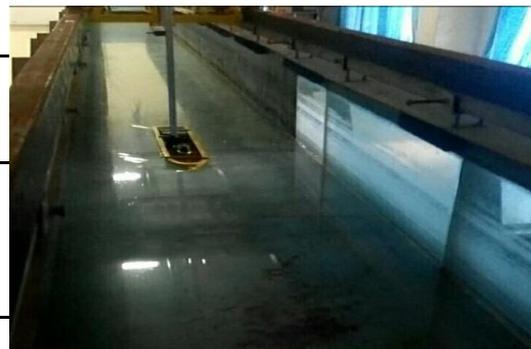
Tabel 8 RMS dan Nilai Rata-Rata Gerakan *Roll* pada sudut heading 90°

Model	Roll, θ	Hs	Hs	Hs	Hs
		1,097 m	2,225 m	3,2 m	4,359 m
	Standar θ	6	6	6	6
Monohull	RMS, √M0	0,04	0,05	0,05	0,06
Monomaran	RMS, √M0	0,05	0,06	0,07	0,07

Berdasarkan tabel 8, respon gerakan *roll* terbesar terjadi pada model monomaran pada gelombang 4,359 m yaitu senilai 0,07 dan terendah pada model monohull pada gelombang 1,097 m senilai 0,04.

#### 4.6 Analisa Hambatan dengan Uji Towing Tank

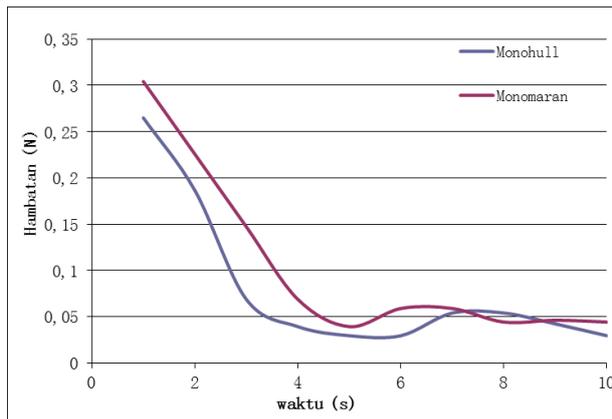
Pada pengujian *towing tank*, model yang dipakai merupakan model *ro-ro monomaran* 25%T *chine bottom* dan model *ro-ro monohull* dengan masing masing skala 1:150.



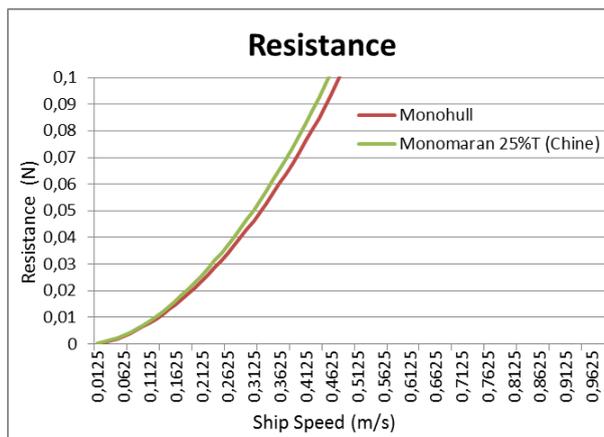
Gambar 13 Gambar Proses Pengujian *Towing Tank* dan Pengambilan Data

Berdasarkan pengujian hambatan pada *towing tank* dengan kecepatan 0,29 m/s, maka diperoleh nilai hambatan model *ro-ro monohull* 0,042183 N dan model *ro-ro monomaran* 0,046107 N. Perhitungan *blockage correction* diperoleh untuk *ro-ro monohull* 0,051694 dan *ro-ro monomaran* sebesar 0,0495263.

Berdasarkan pengujian hambatan menggunakan Tdyn dengan kecepatan 0,29 m/s, maka diperoleh model *ro-ro monohull* 0,040204 N dan model *ro-ro monomaran* 0,044045 N.



Gambar 14 Grafik tahanan kapal berdasarkan waktu



Gambar 15 Grafik tahanan kapal berdasarkan kecepatan

## 5. KESIMPULAN

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

1. Hasil re-desain *ro-ro monomaran* diperoleh dimensi model sebagai berikut:
  - a. Model *monomaran 25%T round bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2237,53 m<sup>2</sup>; *sarat* = 4,149 m; *Cb* = 0,632
  - b. Model *monomaran 25%T chine bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2298,217 m<sup>2</sup>; *sarat* = 4,227 m; *Cb* = 0,619
  - c. Model *monomaran 37,5%T chine bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2307,738 m<sup>2</sup>; *sarat* = 4,291 m; *Cb* = 0,608
  - d. Model *monomaran 37,5%T chine bottom* memiliki *displacement* = 5110 ton; *WSA* = 2389,271 m<sup>2</sup>; *sarat* = 4,348 m; *Cb* = 0,599
2. Model *ro-ro monomaran* memiliki hambatan yang lebih besar daripada *ro-ro monohull* disebabkan karena kenaikan *WSA*. Stabilitas model *ro-ro monomaran* lebih baik daripada

*ro-ro monohull* dengan kondisi *ro-ro monomaran* tanpa ballast. Performa olah gerak (*seakeeping*) *ro-ro monohull* dan *monomaran* memiliki respon yang cenderung sama pada sudut datang gelombang *Head Sea* maupun *Beam Sea*. Meskipun hambatan *ro-ro monomaran* lebih besar daripada *monohull*, desain *hullform monomaran* masih sangat bisa diterima sebagai desain alternatif untuk kapal *ro-ro*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Embankment, "Focus on IMO," no. October 2001. International Maritime Organization, London, pp. 1–31, 1997.
- [2] ICSOT, "Hosted by : Supported by :," in *International Conference of Ship and Offshore Technology Development in Ship Design and Construction*, 2015, p. 96.
- [3] N. Wijnolst and T. Wergeland, *Shipping Innovation*, First. Amsterdam: IOS Press BV under the imprint Delft University Press, 2009.
- [4] P. Manik and E. S. Hadi, "Studi Hull Form Kapal Barang-Penumpang Tradisional Di Danau Toba Sumatera Utara," *Kapal*, vol. 5, no. 3, 2008.
- [5] E. C. T. K.J. Rawson, *Basic Ship Theory- Volume 1*, Fifth., vol. 1, no. 4. Oxford: Longman Group Limited, 2001.
- [6] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture, second revision*, vol. II. 1988.
- [7] Klaas van Dokkum, *Ship Knowledge a Modern Encyclopedia.pdf*. Netherlands: DOKMAR, 2003.
- [8] ITTC, "ITTC – Recommended Procedures Testing and Extrapolation Methods Resistance Test," *International Towing Tank Conference*. p. 11, 2002.
- [9] Muhammad Iqbal dan Good Rindo, "OPTIMASI BENTUK DEMIHULL KAPAL," vol. 12, no. February, pp. 20–21, 2015.

