



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Pengaruh Penambahan Bilge Keel Pada Kapal Ikan KM HMJ 4 Terhadap Stabilitas Dan Gerakan Rolling

Andika Oksal Nur Susanto<sup>1)</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>2)</sup>, Ahmad Firdhaus<sup>3)</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 :andikaoksal@students.undip.ac.id

### Abstrak

Kapal Ikan merupakan kapal yang digunakan sebagai sarana transportasi dan menangkap ikan di laut sehingga perlu direncanakan dengan aman, nyaman, dan efisien. Untuk mendapatkan kenyamanan dan keamanan pada kapal diperlukan olah gerak kapal yang baik. Olah gerak kapal yang baik dapat didapatkan dengan adanya penambahan bilge keel pada kapal. Pada penelitian ini penulis akan menganalisa pengaruh bilge keel dengan bentuk segitiga dengan sudut pemasangan  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  terhadap stabilitas dan gerak rolling agar performa kapal menjadi lebih optimal. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan software rhinoceros untuk membuat model kapal. Analisis stabilitas menggunakan standart kriteria IMO. Untuk analisis gerak rolling menggunakan software ansys aqwa dan maxsurf motion. Hasil dari analisis stabilitas dari dua variasi muatan baik kapal tanpa bilge keel maupun dengan bilge keel telah memenuhi kriteria olah gerak kapal. Kemudian untuk analisis gerak rolling pada kapal yang menggunakan penambahan bilge keel dapat menurunkan nilai RMS rolling kapal. Didapat kesimpulan pada muatan kosong kapal dengan model bilge keel panjang 8.316 m dan sudut pemasangan  $0^\circ$  lebih optimal dengan adanya penurunan nilai RMS rolling sebesar 1-5% dibandingkan dengan model kapal tanpa menggunakan bilge keel. Sedangkan pada saat muatan penuh, kapal dengan model bilge keel panjang 8.316 m dan sudut pemasangan  $0^\circ$  lebih optimal dengan adanya penurunan nilai RMS rolling sebesar 1-35% dibandingkan dengan model kapal tanpa menggunakan bilge keel.

Kata Kunci : Kapal Ikan, Bilge Keel, Stabilitas, Rolling, CFD

### 1. PENDAHULUAN

Kapal Ikan digunakan sebagai alat transportasi untuk menangkap ikan, dan kapal ikan merupakan salah satu penunjang untuk perekonomian di Indonesia. Semakin berkembangnya jaman banyak kapal ikan yang di buat oleh nelayan sehingga dalam pembuatan kapal ikan dibutuhkan aspek keselamatan untuk nelayan dengan cara meningkatkan stabilitas dan olah gerak pada kapal ikan tersebut. Stabilitas pada kapal menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan pada kapal [1], selain itu gerakan *rolling* juga berpengaruh signifikan untuk keselamatan pada kapal di perairan [2]. Maka dari itu untuk meningkatkan stabilitas di antaranya dengan menambahkan *Bilge Keel* pada lambung kapal, selain itu *Bilge Keel* juga dapat mengurangi gerakan rolling pada kapal [3]

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Agus Saputra yakni pengaruh penambahan *bilge keel* tipe bulb pada lambung V dan U pada lambung kapal. Pada penelitian ini dapat diketahui penambahan *bilge keel* dapat mengurangi gerakan *rolling* secara efektif terdapat pada model lambung V [4]. Ganang Adi Baskoro et al menjelaskan bahwa penambahan *bilge keel* pada kapal dengan variasi kecepatan 5 knot mendapatkan hasil penurunan nilai *rolling* 3% untuk kapal yang menggunakan *Bilge Keel* dan untuk nilai stabilitas kapal yang menggunakan *Bilge Keel* lebih tinggi dari kapal yang tidak menggunakan *Bilge Keel* yaitu dengan selisih 4% [5]. Penelitian mengenai variasi desain geometri *bilge keel* yang dilakukan oleh Muhammad Imam Malik et al dengan menggunakan 5 model yang berbeda. Model berbentuk segitiga mempunyai hasil nilai GZ maksimum terbesar dari pada model lainnya, dan

nilai gerakan *rolling* mengalami selisih penurunan 1,7 – 4,4 % dari kapal yang tidak menggunakan *bilge keel* [6].

Tujuan dari penelitian ini yakni untuk mengetahui nilai stabilitas dan nilai *rolling* dengan adanya variasi bentuk, panjang, dan sudut pemasangan *bilge keel*.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang hidrodinamika kapal terhadap dunia pendidikan, memberikan tambahan pengetahuan sebagai bahan pertimbangan yang efektif untuk diterapkan pada analisa performa kapal yang nantinya digunakan untuk evaluasi serta masukan selanjutnya.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Kapal Ikan merupakan kapal yang dapat digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian/eksplorasi perikanan [7].

*Bilge Keel* merupakan alat untuk menahan gerak oleng kapal dimana fungsinya sebagai alat penambah stabilitas kapal dan mengurangi gerakan *rolling*. *bilge keel* ini biasanya dipasang hanya pada 1/2 L, 1/3 L, atau 1/4 L bagian tengah kapal dan ditempatkan pada bagian *bilge keel* sejauh paralel midel body [3].

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Data Ukuran Utama Kapal	
LOA ( <i>Length Over All</i> )	24.95 m
LWL ( <i>Loaded Waterline Length</i> )	23.25 m
B ( <i>Breadth</i> )	7.79 m
H ( <i>Height</i> )	4.26 m
T ( <i>Draft</i> )	3.60 m
Vs ( <i>Service Speed</i> )	10 knots

### 2.2. Paramater Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi bentuk dan sudut *Bilge Keel* dalam 2 kondisi muatan pada kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan bentuk dan sudut berpengaruh terhadap nilai stabilitas dan gerakan *rolling*.

- a. Parameter Tetap
  - Ukuran utama kapal ikan
  - Sudut gelombang 90°
  - *Bilge Keel* berbentuk segitiga
  - *Sea state* (2,3, dan 4)
  - Periode gelombang (6.5, 7.5, 8.8) (s)
  - Tinggi gelombang (0.3, 0.875, 1.875) (m)
- b. Parameter tidak tetap
  - Kapal dengan muatan kosong
  - Kapal dengan muatan penuh 100%

- Panjang *bilge keel* 8.316 m dan 6.237 m [3]
- Lebar *bilge keel* 38.95 m [8]
- Tebal *bilge keel* 3 mm [9]

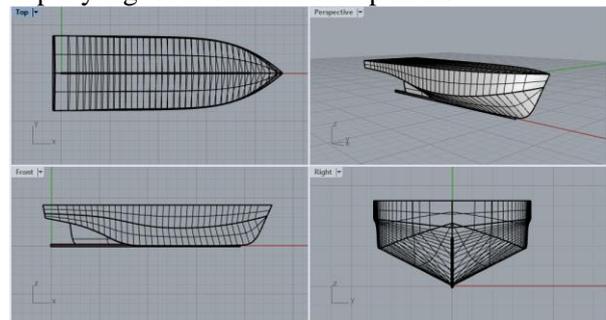
### 2.3. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Pembuatan Model Kapal 3D menggunakan *Rhiniceros Software* sesuai dengan ukuran utama kapal dan menggunakan *linesplan* sebagai acuan pembuatan
2. Pembuatan model dengan variasi bentuk segitiga dan variasi sudut menggunakan *Rhiniceros Software*
3. Analisis *stabilitas* menggunakan *Maxsurf Stability Software* dan analisis olah gerak *rolling* menggunakan CFD *Ansys Aqwa Software*

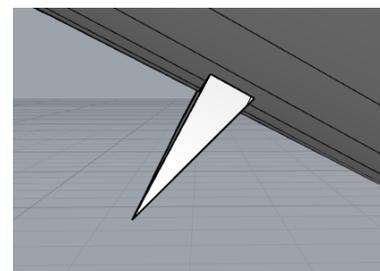
### 2.4. Pembuatan Model

Model kapal ikan didesain menggunakan *Rhiniceros Software* sesuai dengan ukuran utama kapal yang telah dimiliki oleh penulis.



Gambar 1. Model Kapal

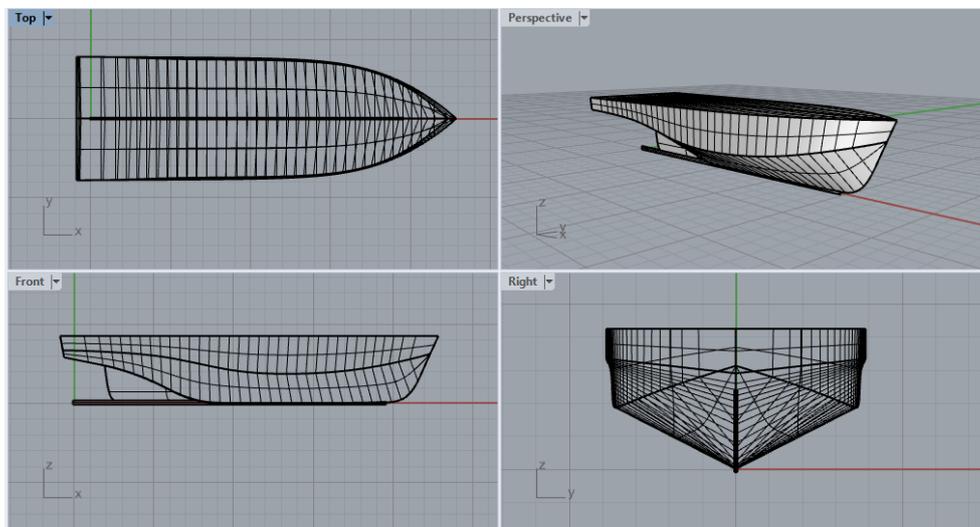
Pembuatan model *Bilge Keel* dengan bentuk segitiga menggunakan *Rhiniceros Software* berdasarkan ukuran yang telah ditetapkan oleh penulis yaitu dengan panjang 1/3 dan 1/4 dari LOA kapal [3], lebar 5% dari lebar kapal [8], dan tebal 3 mm [9].



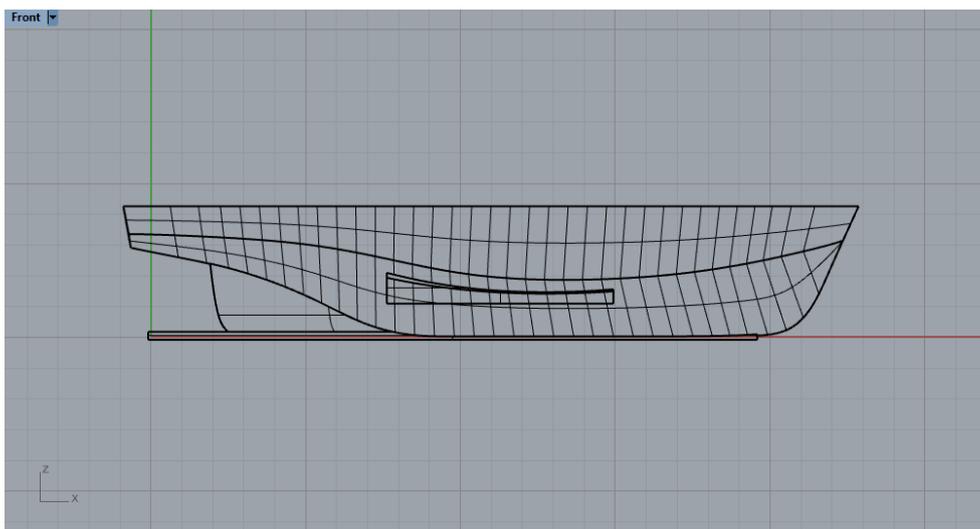
Gambar 2. *Bilge Keel*

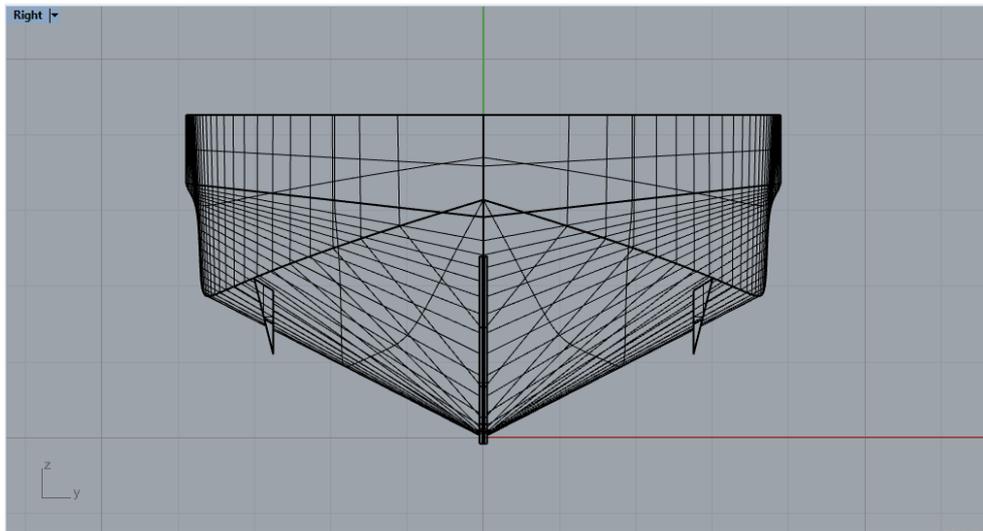
Panjang	Model	Sudut
Tanpa <i>Bilge Keel</i>	Model 1	Tanpa <i>Bilge Keel</i>
8.316 m	Model 2	0°
8.316 m	Model 3	45°
8.316 m	Model 4	90°
6.237 m	Model 5	0°
6.237 m	Model 6	45°
6.237 m	Model 7	90°

Berikut adalah beberapa gambar model variasi *bilge keel* setelah didesain dan dipasang pada model kapal ikan menggunakan *Rhinceros software*.

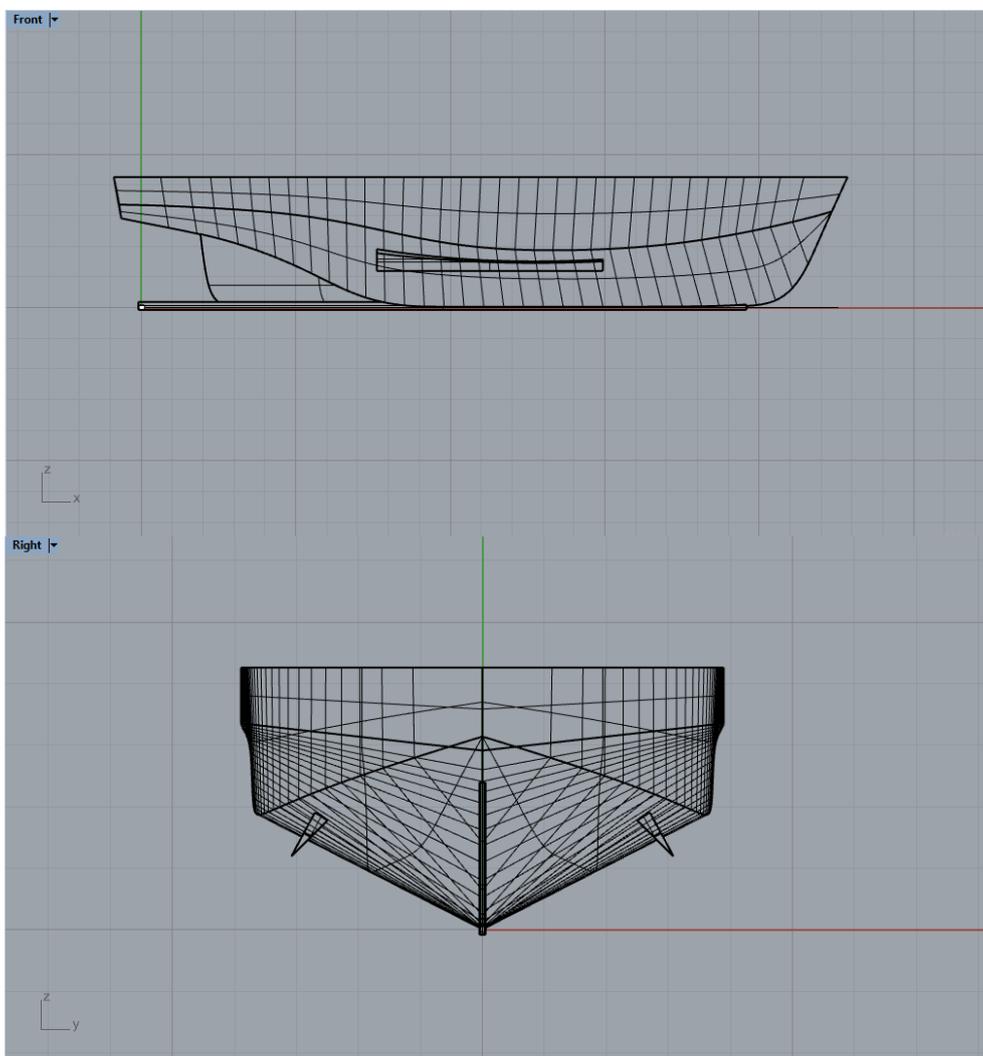


Gambar 3. Sebelum Modifikasi *Bilge Keel*

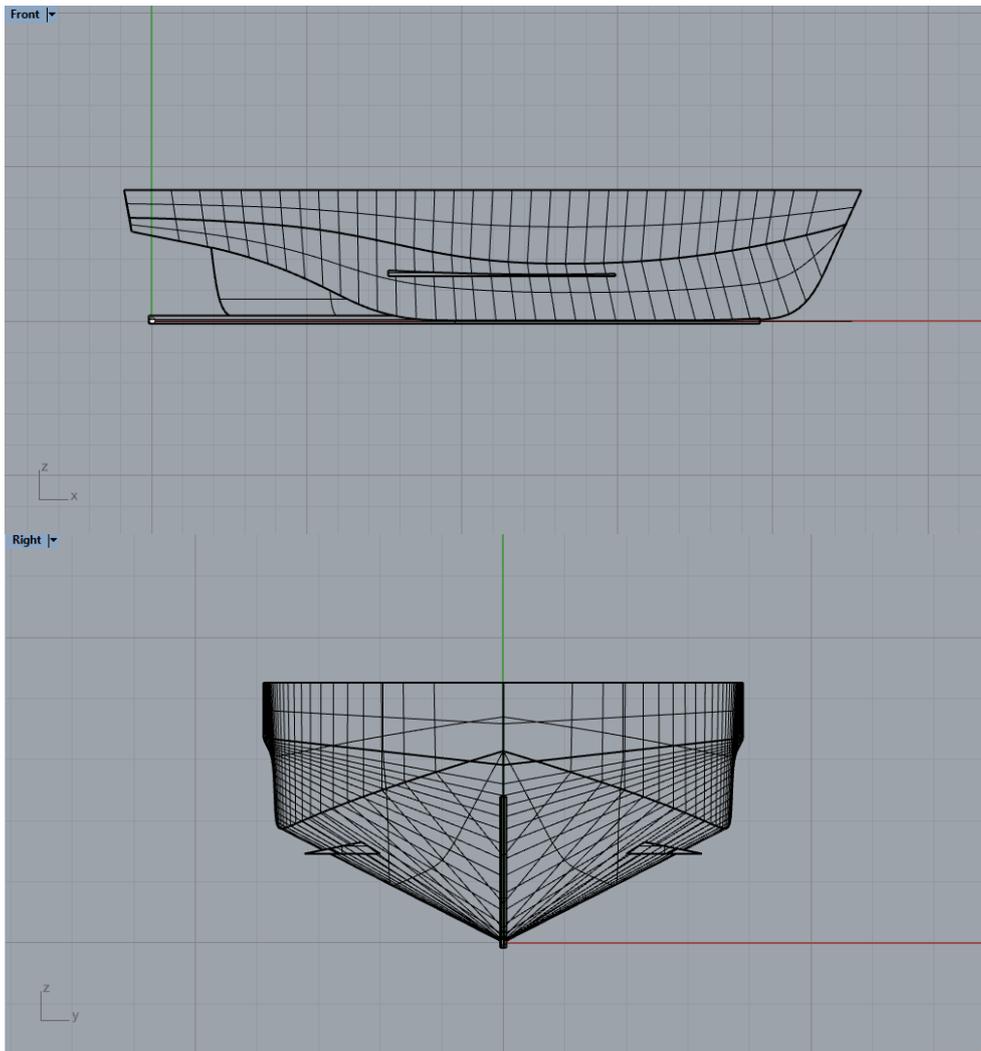




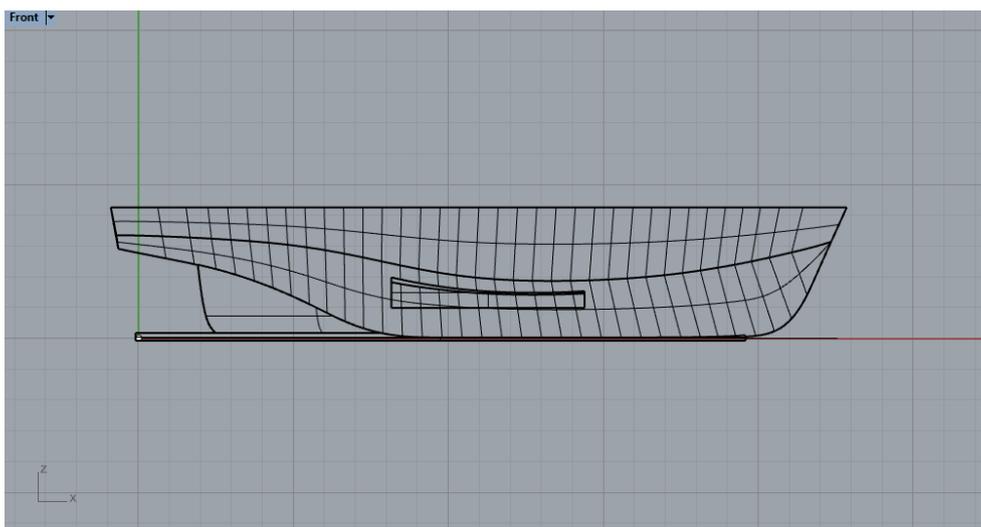
Gambar 4. *Bilge Keel* 8.316 m sudut 0°

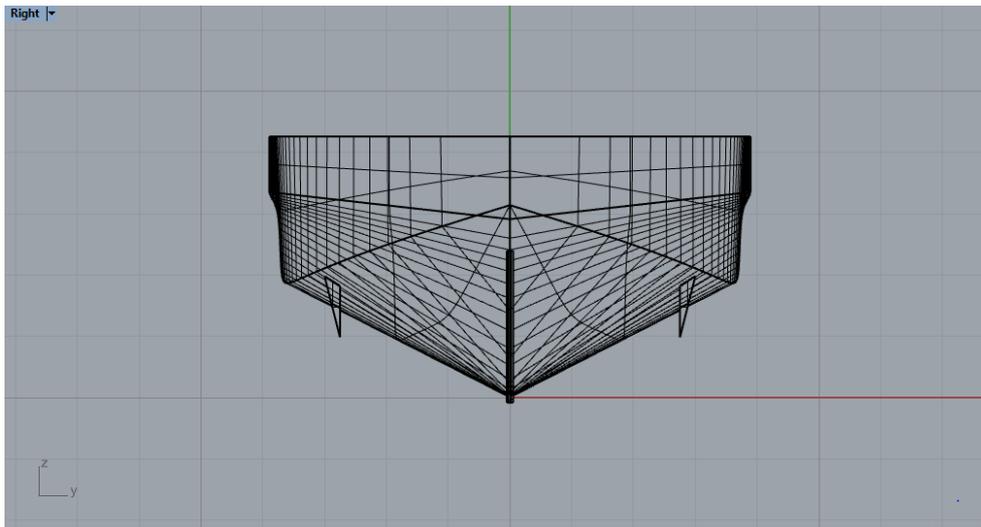


Gambar 5. *Bilge Keel* 8.316 m sudut 45°

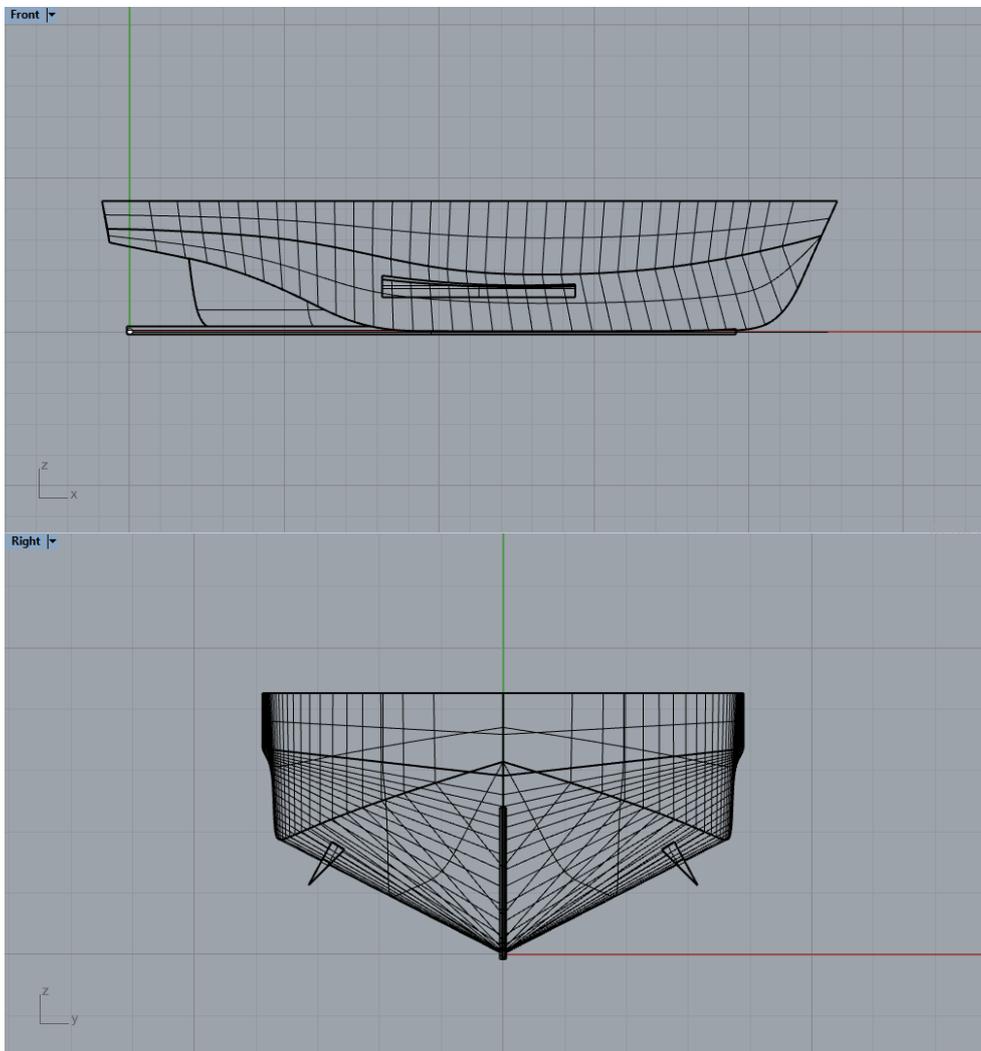


Gambar 6. *Bilge Keel* 8.316 m sudut 90°

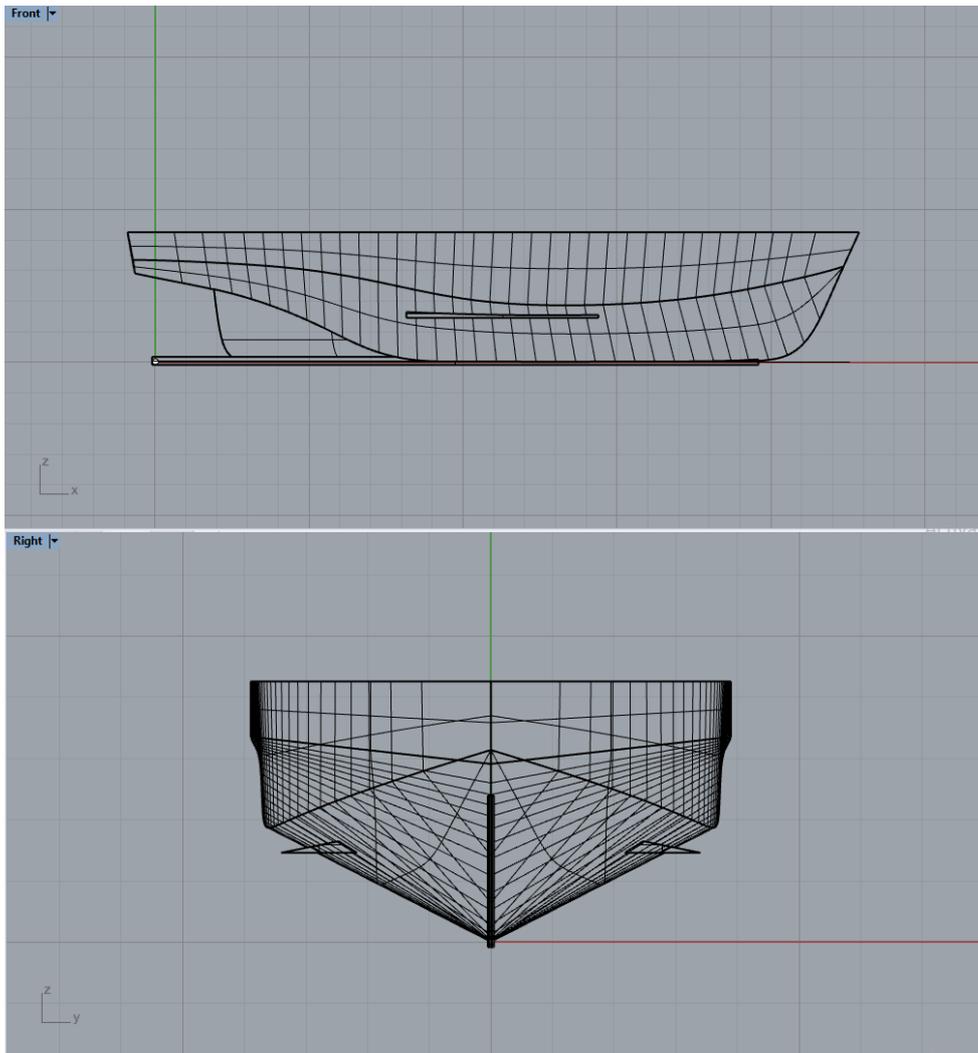




Gambar 7. *Bilge Keel* 6.237 m sudut 0°



Gambar 8. *Bilge Keel* 6.237 m sudut 45°



Gambar 9. Bilge Keel 6.237 m sudut 90°

## 2.5. RAO (*Response Amplitudo Operator*)

RAO (*Response Amplitudo Operator*) adalah Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler. RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekwensi tertentu. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode menghitung dengan menggunakan bantuan *Ansys Aqwa Software* [10].

Dalam kenyataan, gelombang yang ada di laut merupakan gelombang yang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya. Sehingga untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengkalikan spektrum gelombang.

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \quad (1)$$

## 2.6. Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang digunakan oleh penulis pada penelitian ini adalah Bredschneider dan

ITTC dengan 2 parameter yaitu tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode rata-rata ( $T_{av}$ ) [10].

$$S_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (2)$$

Dimana :

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

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

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

Tabel 3. *ITTC WMO Sea State Code* [11]

Jenis Perairan	Tinggi Gelombang	Periode Rata-Rata	Karakteristik
<i>Sea State 2</i>	0.3 m	6.5 s	Smooth
<i>Sea State 3</i>	0.875 m	7.5 s	Slight
<i>Sea State 4</i>	1.875 m	8.8 s	Moderate

Spektrum gelombang yang didapatkan dari persamaan 4 sangat bergantung pada frekuensi gelombang. Karena pengaruh kecepatan kapal dan sudut gelombang, maka frekuensi gelombang insiden ( $\omega_w$ ) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau yang disebut dengan *encountering wave frequency* ( $\omega_e$ ). Frekuensi gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan ( $S_e$ ). Frekuensi gelombang papasan dapat dihitung menggunakan persamaan 3

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega v}{g} \cos \mu\right) \quad (3)$$

Dimana :

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

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

V = Kecepatan kapal (m/s)

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

$\mu$  = Sudut datang gelombang (°)

### 2.7. RMS (Root Mean Square)

RMS adalah luasan dibawah kurva spektrum respon. Berikut persamaan dari nilai RMS

$$m_0 = \int_0^\infty S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (4)$$

Jika nilai RMS dari tiap amplitudo gerakan ( $\zeta$ ) dinyatakan dalam  $\sqrt{m_0}$ , maka dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$(\zeta)_{av} = 1,253 \sqrt{m_0} \quad (5)$$

Agar mendapatkan amplitudo signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitudo tertinggi, maka dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (6)$$

Lalu untuk luasan spektrum respon kecepatan dan percepatan yang dinyatakan dalam  $m_2$  dan  $m_4$  dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (7)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (8)$$

### 2.8. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk dapat kembali ke posisi semula (tegak) setelah menjadi oleng akibat gaya dari luar maupun gaya dari dalam kapal atau setelah mengalami momen temporal [12].

Analisa stabilitas dalam penelitian ini yang dilakukan oleh penulis berdasarkan standar IMO (*International Maritime Organization*) *Code A749(18) Ch3- design criteria applicable to all ships* yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

Tabel 4. Kriteria Stabilitas *IMO Code A.749(18) Ch3*

Kode	Kriteria	Limit	Unit
A. 749(18) Ch3	Area 0 to 30	31.513	m.deg
A. 749(18) Ch3	Area 0 to 40	51.566	m.deg
A. 749(18) Ch3	Area 30 to 40	17.189	m.deg
A. 749(18) Ch3	Max GZ at 30 or greater	0.200	m
A. 749(18) Ch3	Angle of maximum GZ	35.0	deg
A. 749(18) Ch3	Initial GM	0.150	m

### 2.9. Gerak Rolling Kapal

*Rolling* kapal merupakan bagian dari olah gerak kapal atau yang disebut *seakeeping*. *Seakeeping* adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya dari luar yang disebabkan oleh kondisi air laut [13].

Untuk analisis *rolling* menggunakan satu *wave heading* yang mempresentasikan arah gelombang ketika mengenai kapal saat beroperasi di laut yakni 90° *Beam Seas*. Batasan kecepatan kapal yang akan dianalisis pada kecepatan 10 knots.

Hasil dari analisis olah gerak *rolling* perlu di evaluasi menggunakan standar kriteria *seakeeping*. Dalam penelitian ini menggunakan standar kriteria menurut M. Tello et al [14].

Tabel 5. Kriteria *Seakeeping* oleh M. Tello et al[14]

No	Kriteria	Nilai Maksimum
1	<i>Rolling</i>	6°

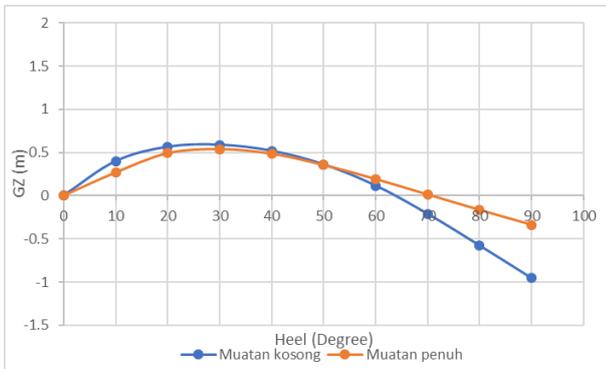
## 2.10. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan metode algoritma untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan fluida. Dalam penelitian ini menggunakan *Ansys Aqwa software* untuk menganalisa olah gerak *rolling*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas menggunakan software *maxsurf stability*. Hasil dari analisis kapal tanpa bilge keel dan menggunakan bilge keel dengan 2 kondisi muatan memenuhi IMO (*International Maritime Organization*) Code A749(18) Ch3-*design criteria applicable to all ships* sebagai berikut :



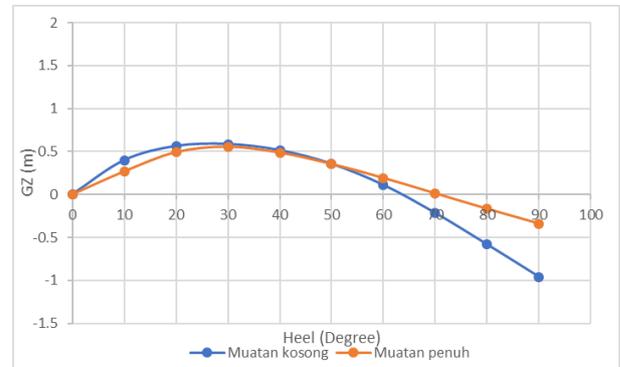
Gambar 10. Grafik GZ Kapal Ikan Sebelum Modifikasi *Bilge Keel*

Tabel 6. Hasil Analisis Stabilitas Kapal Tanpa Menggunakan *Bilge Keel*

Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	12.921	10.588	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.519	15.873	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.598	5.269	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.587	0.54	m
Angle of max GZ	25	27.3	28.5	deg
Initial GM	0.15	2.660	1.641	m

Gambar 10 dan tabel 6. menunjukkan hasil analisis sesuai dengan kriteria IMO A.749 Ch.3 yaitu area dibawah *righting lever curve* (kurva GZ) tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg hingga 30°

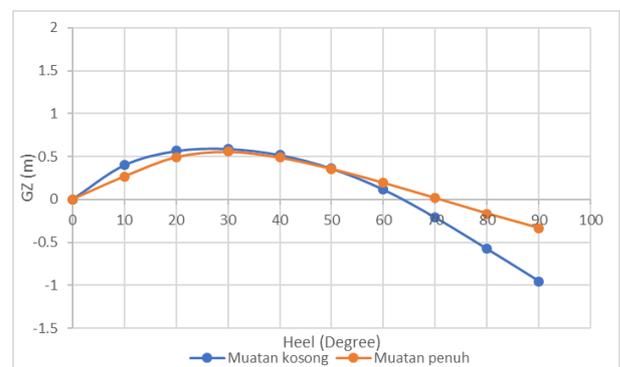
dan tidak boleh kurang 5,157 m.deg hingga 40° serta area dibawah *righting lever curve* antara 30° dan 40° tidak boleh kurang dari 1,718 m.deg. *Righting lever GZ* minimal harus 0,2 m. *Righting lever* maksimal harus terjadi pada *angle of heel* tidak kurang dari 25°. Ketinggian metrasentrik tidak boleh kurang dari 0,150 m.



Gambar 11. Grafik GZ Kapal Model 2

Tabel 8. Hasil Analisis Stabilitas Model 2

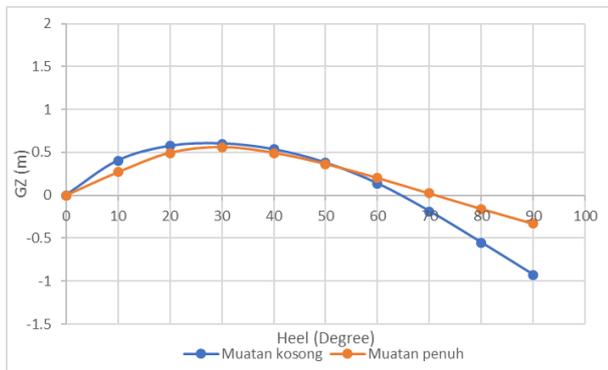
Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	12.907	10.609	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.472	15.891	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.565	5.282	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.585	0.555	m
Angle of max GZ	25	27.3	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.657	1.641	m



Gambar 12. Grafik GZ Kapal Model 3

Tabel 9. Hasil Analisis Stabilitas Model 3

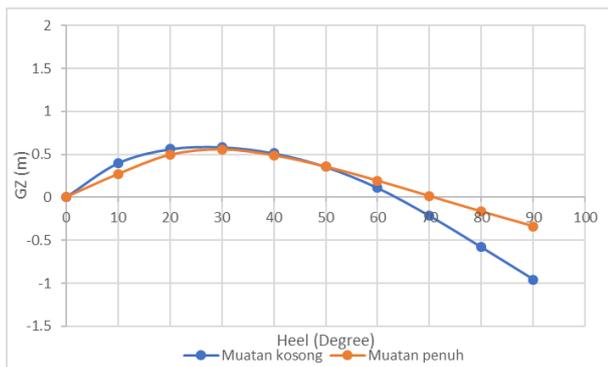
Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	12.970	10.625	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.579	15.921	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.609	5.296	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.589	0.556	m
Angle of max GZ	25	27.3	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.665	1.642	m



Gambar 13. Grafik GZ Kapal Model 4

Tabel 10. Hasil Analisis Stabilitas Model 4

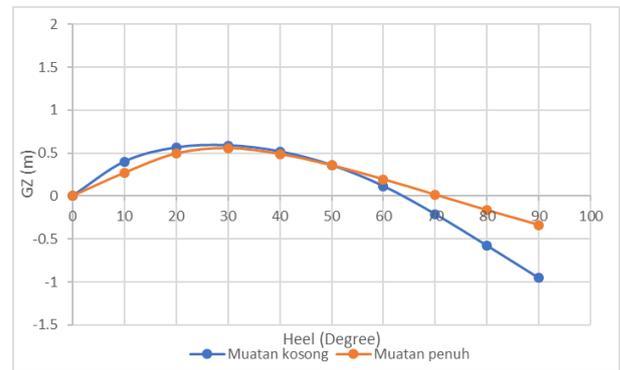
Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	13.181	10.642	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.937	15.984	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.757	5.342	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.602	0.56	m
Angle of max GZ	25	28.2	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.701	1.627	m



Gambar 14. Grafik GZ Kapal Model 5

Tabel 11. Hasil Analisis Stabilitas Model 5

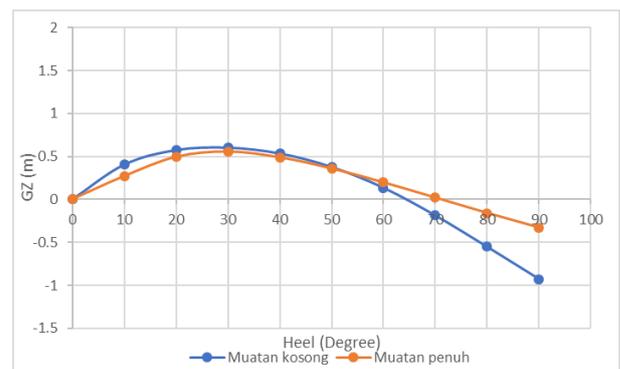
Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	12.912	10.612	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.482	15.896	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.570	5.283	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.585	0.555	m
Angle of max GZ	25	27.3	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.66	1.641	m



Gambar 15. Grafik GZ Kapal Model 6

Tabel 12. Hasil Analisis Stabilitas Model 6

Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	12.968	10.627	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.576	15.922	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.608	5.295	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.589	0.556	m
Angle of max GZ	25	27.3	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.668	1.643	m



Gambar 16. Grafik GZ Kapal Model 7

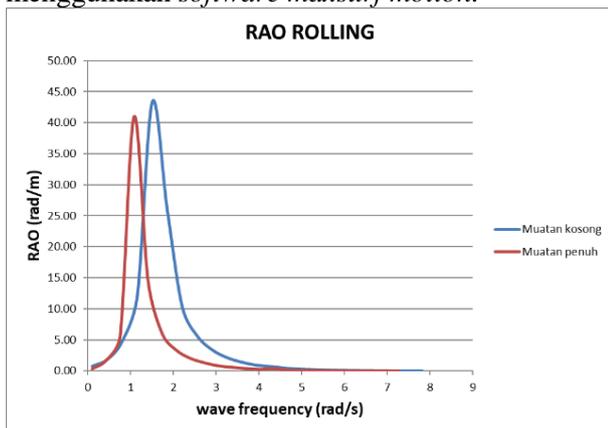
Tabel 13. Hasil Analisis Stabilitas Model 7

Criteria	Required	Load Case		Unit
		1	2	
Area 0° to 30°	3.1513	13.204	10.675	m.deg
Area 0° to 40°	5.1566	18.967	15.981	m.deg
Area 30° to 40°	1.7189	5.763	5.306	m.deg
Max GZ at 30° or greater	0.2	0.603	0.557	m
Angle of max GZ	25	28.2	29.1	deg
Initial GM	0.15	2.734	1.659	m

Gambar 10-16 dan tabel 7-13 menunjukkan hasil analisis sesuai dengan kriteria IMO A.749 Ch.3 yaitu area dibawah righting lever curve (kurva GZ) tidak boleh kurang dari 3,151 m.deg hingga 30° dan tidak boleh kurang 5,157 m.deg hingga 40° serta area dibawah righting lever curve antara 30° dan 40° tidak boleh kurang dari 1,718 m.deg. Righting lever GZ minimal harus 0,2 m. Righting lever maksimal harus terjadi pada angle of heel tidak kurang dari 25°. Ketinggian metrasentrik tidak boleh kurang dari 0,150 m.

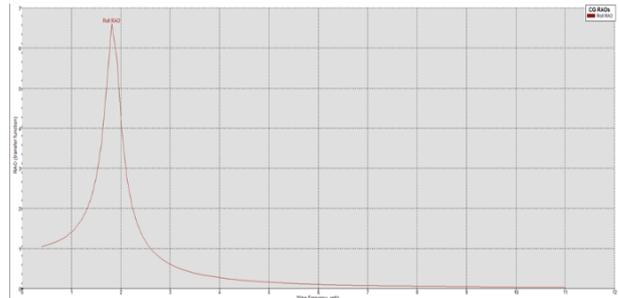
### 3.2. Hasil Analisis RAO Rolling

Analisis *rolling* kapal tanpa *bilge keel* dan menggunakan *bilge keel* yaitu dengan menggunakan *software Ansys Aqwa* dan validasi menggunakan *software maxsurf motion*.



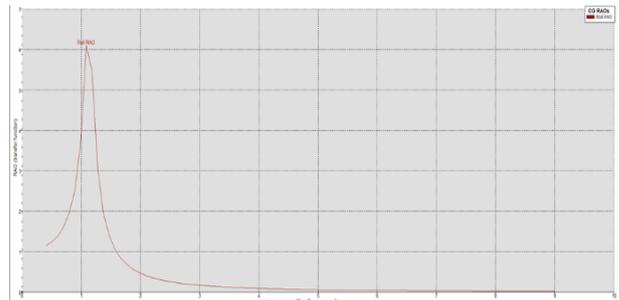
Gambar 17. Grafik RAO Kapal Ikan Sebelum Modifikasi *Bilge Keel*

Gambar 17 menunjukkan grafik puncak RAO paling tinggi terdapat pada muatan kosong. Sedangkan untuk muatan penuh grafik RAO lebih rendah.



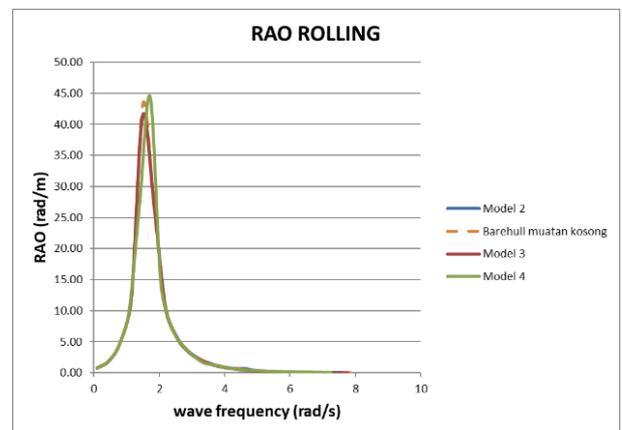
Gambar 18. Validasi RAO Kapal Ikan Sebelum Modifikasi *Bilge Keel* Muatan Kosong

Gambar 18 menunjukkan karakteristik grafik yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 pada muatan kosong.



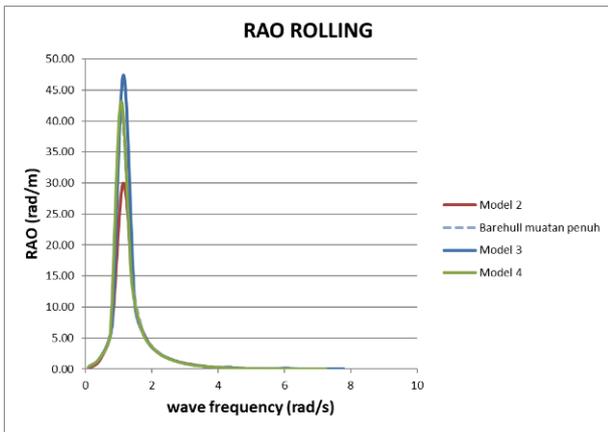
Gambar 19. Validasi RAO Kapal Ikan Sebelum Modifikasi *Bilge Keel* Muatan Penuh

Gambar 19 menunjukkan karakteristik grafik yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 pada muatan penuh.



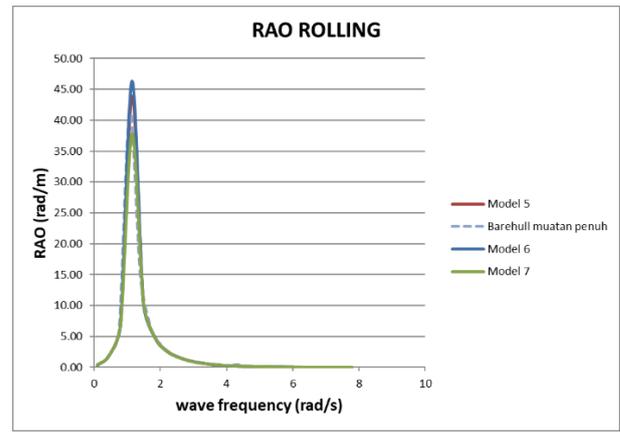
Gambar 20. Perbandingan Grafik RAO Kapal Ikan Pada Muatan Kosong

Gambar 20 menunjukkan perbandingan kurva nilai RAO gerakan *rolling* kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 8.316 m pada muatan kosong. Puncak kurva nilai RAO berada pada model kapal 4 pada muatan kosong dengan sudut gelombang 90°



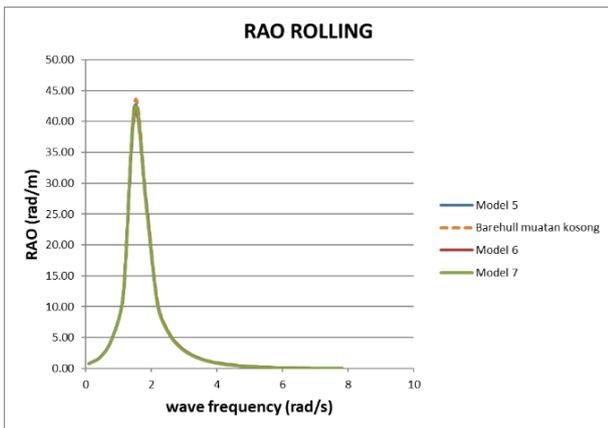
Gambar 21. Perbandingan Grafik RAO Kapal Ikan Pada Muatan Penuh

Gambar 21. menunjukkan perbandingan kurva nilai RAO gerakan *rolling* kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 8.316 m pada muatan penuh. Puncak kurva nilai RAO berada pada model kapal 3 pada muatan penuh dengan sudut gelombang 90°.



Gambar 23. Perbandingan Grafik RAO Kapal Ikan Pada Muatan Penuh

Gambar 23 menunjukkan perbandingan kurva nilai RAO gerakan *rolling* kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 6.237 m pada kondisi 2. Puncak kurva nilai RAO berada pada model kapal 6 pada muatan penuh dengan sudut gelombang 90°.

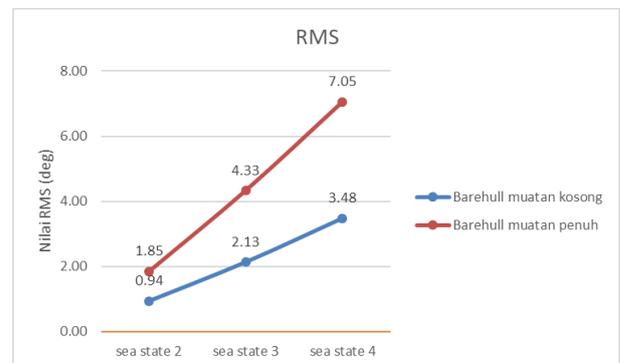


Gambar 22. Perbandingan Grafik RAO Kapal Ikan Pada Muatan Kosong

Gambar 22 menunjukkan perbandingan kurva nilai RAO gerakan *rolling* kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 6.237 m pada muatan kosong. Puncak nilai RAO hampir sama pada setiap model kapal.

### 3.3. Hasil Analisis RMS *Rolling*

Analisis RMS pada sudut gelombang 90° dengan kecepatan kapal 10 knots dalam 2 kondisi muatan. Serta dengan 3 kondisi perairan yaitu *sea state 2*, *sea state 3*, *sea state 4*.



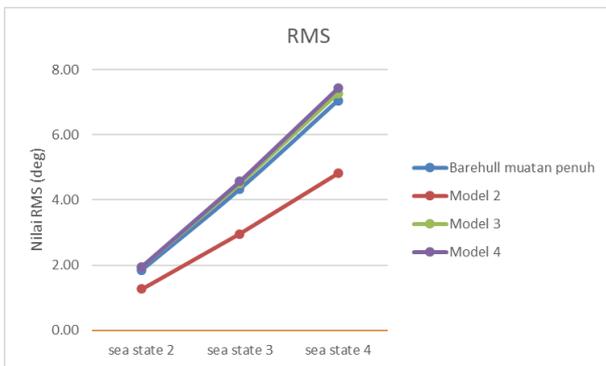
Gambar 24. Grafik RMS Kapal Ikan Sebelum Modifikasi *Bilge Keel*

Gambar 24 menunjukkan nilai RMS kapal ikan pada *sea state 2*, *sea state 3*, dan *sea state 4* dengan standart kriteria menurut M. Tello et al [14].



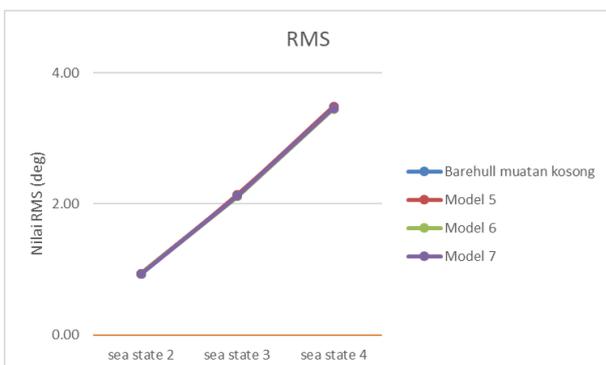
Gambar 25. Perbandingan Grafik RMS Kapal Ikan Pada Muatan Kosong

Gambar 25 menunjukkan nilai RMS kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 8.316 m pada kondisi 1. Pada *sea state 2*, *sea state 3*, dan *sea state 4* memenuhi standart kriteria dari M. Tello et al [14].



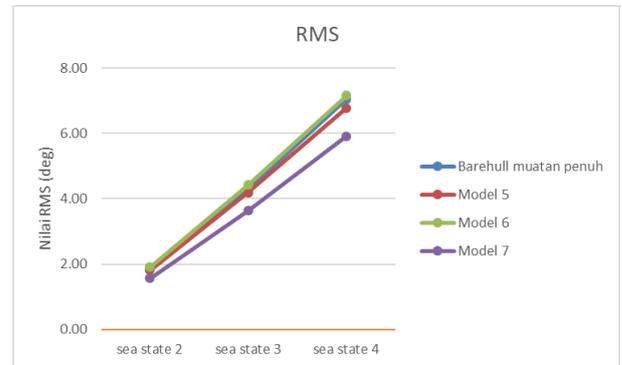
Gambar 26. Perbandingan Grafik RMS Kapal Ikan Pada Muatan Penuh

Gambar 26 menunjukkan nilai RMS kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 8.316 m pada muatan penuh. Pada *sea state 2*, *sea state 3*, dan *sea state 4* terdapat model kapal yang tidak memenuhi standart kriteria dari M. Tello et al [14] yaitu model kapal 1, model kapal 3, model kapal 4 pada *sea state 4*.



Gambar 27. Perbandingan Grafik RMS Kapal Ikan Pada Muatan Kosong

Gambar 27 menunjukkan nilai RMS kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 6.237 m pada muatan kosong. Pada *sea state 2*, *sea state 3*, dan *sea state 4* memenuhi standart kriteria dari M. Tello et al [14].



Gambar 28. Perbandingan Grafik RMS Kapal Ikan Pada Muatan Penuh

Gambar 28 menunjukkan nilai RMS kapal ikan sebelum modifikasi *bilge keel* dan sesudah modifikasi *bilge keel* 6.237 m pada muatan penuh. Pada *sea state 2*, *sea state 3*, dan *sea state 4* terdapat model kapal yang tidak memenuhi standart kriteria dari M. Tello et al [14] yaitu model kapal 1, model kapal 5, model kapal 6 pada *sea state 4*.

Tabel 14. Hasil RMS *Rolling*

ukuran bilge keel	kondisi kapal	sea state 2	sea state 3	sea state 4
		RMS	RMS	RMS
bare hull	kondisi muatan kosong	0.936	2.133	3.480
model 2		0.926	2.114	3.449
model 3		0.927	2.115	3.449
model 4		0.971	2.211	3.574
model 5		0.936	2.139	3.487
model 6		0.938	2.116	3.451
model 7		0.928	2.124	3.463
bare hull		kondisi muatan penuh	1.850	4.332
model 2	1.269		2.958	4.823
model 3	1.945		4.496	7.271
model 4	1.949		4.568	7.435
model 5	1.808		4.185	6.777
model 6	1.912		4.423	7.157
model 7	1.570		3.640	5.914

Tabel 14 menunjukkan semua model kapal yang dianalisa pada *sea state 2* memenuhi kriteria dari M. Tello et al [14]. Untuk semua model kapal pada *sea state 3* juga memenuhi kriteria. Sedangkan untuk model kapal pada *sea state 4* yang tidak memenuhi kriteria adalah model kapal 1, model kapal 3, model kapal 4, model kapal 5,

model kapal 6 pada kondisi muatan penuh. Dan untuk nilai RMS terendah terdapat pada model kapal 2.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dijelaskan diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Hasil analisis stabilitas kapal ikan sebelum dan sesudah modifikasi *bilge keel* memenuhi standar kriteria IMO A.749 Ch.3.

Hasil analisis RMS gerak *rolling* yang paling efektif untuk mengurangi nilai RMS *rolling* pada kondisi 1 kapal terdapat pada model 8,316 m sudut 0°. Pada *sea state* 2 mampu mengurangi nilai RMS *rolling* kapal sebesar 1-3% . Untuk *sea state* 3 mengalami pengurangan sebesar 1-3%. Sedangkan pada *sea state* 4 terjadi pengurangan sebesar 1-5%.

Hasil analisis RMS gerak *rolling* yang paling efektif untuk mengurangi nilai RMS *rolling* pada kondisi 2 kapal terdapat pada model 8,316 m sudut 0°. Pada *sea state* 2 mampu mengurangi nilai RMS *rolling* kapal sebesar 6-7% . Untuk *sea state* 3 mengalami pengurangan sebesar 10-20%. Sedangkan pada *sea state* 4 terjadi pengurangan sebesar 30-35%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap pihak yang terlibat dalam penelitian ini serta semua civitas Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro atas dukungan dan semangat dalam melakukan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Paroka, M. A. Azis, A. H. Muhammad, and S. Rahman, "Alternative Method for Stability Assessment of Indonesian Traditional Wooden Boats," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 972, no. 1, 2022.
- [2] M. A. Asis, D. Paroka, S. Asri, and M. A. Syam, "Effect of Bilge Keels Position On Roll Motion Performance Of Traditional Wooden Boat," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 0–7, 2020.
- [3] Z. Ramadhan, "Analisa Stabilitas Terhadap Pengaruh Sudut , Lebar Dan Panjang Bilge Keel. (Study Kasus Pada Kapal Induk Perambuan X)," no. 1580, pp. 5–17, 2018.
- [4] A. Saputra, U. Budiarto, and G. Rindo, "Analisa Pengaruh Bilge Keel Tipe Bulb Terhadap V Dan U Pada Kapal Patroli Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2019.
- [5] G. A. Baskoro, B. A. Adiyeta, and E. S. Hadi, "Analisa Pengaruh Pemasangan Bilge Keel Dengan Variasi Kecepatan Terhadap Hambatan Gelombang, Viskos Dan Gesek Serta Olah Gerak Dan Stabilitas Pada Kapal Ikan Tradisional 70 Gt," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 223–231, 2018.
- [6] M. I. Malik, P. Manik, and M. Iqbal, "Pengembangan Desain Geometri Lunas Bilga Untuk Meningkatkan Performa Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 748–757, 2017.
- [7] R. INDONESIA, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2004 Tentang Perikanan*. 2004.
- [8] W. Liu *et al.*, "Bilge keel design for the traditional fishing boats of Indonesia 's East Java," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 380–395, 2019.
- [9] Y. Jiang, Y. Ding, Y. Sun, Y. Shao, and L. Sun, "Influence of bilge-keel configuration on ship roll damping and roll response in waves," *Ocean Eng.*, vol. 216, no. 2, p. 107539, 2020.  
10.1016/j.oceaneng.2020.107539.
- [10] M. Iqbal, G. Rindo, J. T. Perkapalan, F. Teknik, and U. Diponegoro, "Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 1, pp. 19–24, 2015.
- [11] M. S. Ummah, "WMO Sea State," *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [12] M. Enrico, D. Chrismianto, and A. W. B. Santosa, "Analisa Stabilitas dan Olah Gerak Kapal Ikan Tradisional Terhadap Penggantian Alat Tangkap Cantrang Menjadi Bottom Longline Untuk Daerah Batang," *J. Tek. Perkapalan Undip*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2017.
- [13] A. T. R. Purnama, D. Chrismianto, "Analisa Olah Gerak Kapal Akibat Aktivitas Penangkapan pada Kapal Purse Sein 30 GT," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 3, pp. 11–20, 2022.
- [14] M. Tello, S. Ribeiro E Silva, and C. Guedes Soares, "Seakeeping performance of fishing vessels in irregular waves," *Ocean Eng.*, vol. 38, no. 5–6, pp. 763–773, 2011.