



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## ANALISA PENERAPAN *MODIFIED BOW TIPE AXE* DAN *MODIFIED BOW TIPE AX* TERHADAP HAMBATAN DAN *SEAKEEPING* PADA KAPAL TANKER 112 METER

Endah Dyah Aprianti<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>, Muhammad Iqbal<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*)</sup> e-mail : endahdyahaprianti8@gmail.com, parlin1974@yahoo.com, m\_iqbal@live.undip.ac.id

### Abstrak

*Axe Bow* merupakan pengembangan dari Inovasi *Enlarged Ship Concept (ESC)* yang didesain pada tahun 1995 oleh *Delf University* dan dikembangkan oleh *Damen Shipyards*. Sementara itu, *NKK Corp* telah mengembangkan busur berbentuk kapak yang disebut konsep *Ax Bow*. Kedua jenis *Bow* tajam tersebut telah terbukti memberikan dampak berkurangnya Hambatan dan perubahan nilai *Seakeeping* akibat karakteristik bentuk haluan kapal yang runcing dan sempit, haluan tersebut dapat membelah dan menerjang gelombang dengan mudah sehingga mampu mengurangi *Pitching* pada Kapal berkecepatan relatif tinggi untuk jenis *Axe Bow*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa Hambatan dan *Seakeeping* terhadap perubahan bentuk *Bow* dari *Bulbous Bow* menjadi *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow* apabila diterapkan kepada Kapal Tanker berkecepatan rendah. Penelitian ini menggunakan software pemodelan 3D dan software CFD untuk Analisa Hambatan dan *Seakeeping*. Hasil dari perubahan bentuk *Bow* Kapal mengakibatkan perubahan nilai Hambatan dan *Seakeeping* yang terjadi pada Kapal. Hasil Analisa Hambatan didapatkan bahwa penggunaan *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow* mampu mengurangi Hambatan yang lebih disebabkan berkurangnya dari Hambatan Gelombang. Sedangkan Hasil dari Analisa *Seakeeping* terjadi perubahan nilai dengan adanya penerapan *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow* dan menunjukkan dari ketiga jenis *Bow* telah memenuhi Kriteria standar *NORDFORSK 1987*.

Kata Kunci : *Modified Axe Bow*, *Modified Ax Bow*, *Bulbous Bow*, Hambatan, *Seakeeping*

### 1. PENDAHULUAN

*Axe Bow* merupakan pengembangan dari Inovasi *Enlarged Ship Concept (ESC)* yang didesain pada tahun 1995 oleh *Delf University* dan dikembangkan oleh *Damen Shipyards*. Sementara itu, *NKK Corp* telah mengembangkan busur berbentuk kapak yang memungkinkan pengurangan margin laut dibandingkan dengan busur konvensional yang disebut konsep *Ax Bow*. *NKK* memutuskan untuk fokus pada cara mengurangi hambatan kapal pada haluan di atas permukaan air yang tenang. Pada tahun 1996, bekerja sama dengan peneliti teknik kelautan Universitas Osaka, perusahaan mengembangkan busur tajam, yang terbukti efektif memotong gelombang[1].

*Seakeeping* juga merupakan salah satu performa penting kapal oleh karena itu, konsep kapal *Axe Bow* dan *Ax Bow* yang berupa tipe haluan kapal dengan karakteristik bentuk haluan kapal yang runcing dan sempit dengan arah vertikal dengan ujung bawah haluan yang semakin dalam pada jenis *Axe Bow*. Haluan tersebut dapat membelah dan menerjang gelombang dengan mudah sehingga mampu mengurangi *Pitching*.

Sebelumnya telah dilakukan pengujian dengan model kapal *Enlarged Ship Concept (ESC)*, *Wave Piercer Concept (WPC)*, dan *Axe Bow Concept (ABC)* dan menunjukkan bahwa resistensi dari *Axe Bow* lebih rendah[2].

Terdapat juga penelitian yang menghasilkan data bahwa kecepatan sevice bentuk lambung

model *Axe Bow* memiliki nilai hambatan yang lebih kecil dibandingkan model kapal *Planing Hull Chine* (HPC) dan *Rounded Hull* (RH) pada penerapan kapal *High Speed Craft* (HPC)[3].

Telah dilakukan juga pengujian *Towing Tank* model *Axe Bow* dan model jenis *Bow* konvensional disajikan dan dibandingkan. Tes model ini telah dilakukan di *Delft Shiphydrodynamics Laboratory* dan menunjukkan bahwa *Axe Bow* dapat mengoptimalkan perilaku *seakeeping* dan pengoperasian kapal cepat patroli[4].

Pengujian juga telah dilakukan dengan membandingkan antara *Ax-Bow* dengan *Bulbous Bow* dan menghasilkan bahwa *Ax-Bow* dapat mengurangi peningkatan resistensi dalam gelombang. Hal ini memungkinkan pengurangan 4 hingga 6% *horsepower*[5].

Pengujian Untuk kapal besar dan lambat pernah dilakukan juga, dan menyatakan waktu pemapasan dengan gelombang yang relatif pendek lebih besar dan karenanya refleksi gelombang lebih penting. Manfaat dari *Ax-bow* dapat meningkat dengan ketinggian gelombang bila dibandingkan dengan *Ordinary Bow*[6].

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan diterapkan penerapan *Modified Bow Tipe Axe* dan *Modified Bow Tipe Ax* pada Kapal Tanker 112 Meter, Arah gelombang yang ditinjau yaitu gelombang sudut 180<sup>0</sup> serta Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) yang digunakan yaitu 1 m dengan periode rata-rata (Tav) yaitu 7,5 detik. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa Hambatan dan *Seakeeping* yang terjadi pada kapal tanker.

## 2. METODE

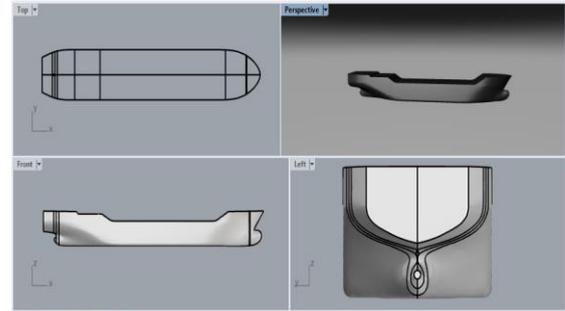
### 2.1. Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil survei lapangan penelitian sebelumnya[7], pada salah satu kapal *Tanker* yang telah dianalisa Hambatannya menggunakan *Towing Tank*.

Tabel 1. Ukuran utama Desain Utama

No.	Dimensi	Skala Penuh	Model Kapal
1.	<i>Length Over All</i>	112 m	2,595 m
2.	<i>Length of Water Line</i>	103,5 m	2,235 m
3.	<i>Breadth</i>	19,2 m	0,3 m
4.	<i>Depth</i>	9,5 m	0,35 m
5.	<i>Draft</i>	6 m	0,1 m
6.	<i>WSA</i>	2753 m <sup>2</sup>	1,3837m <sup>2</sup>

## 2.2. Desain Utama



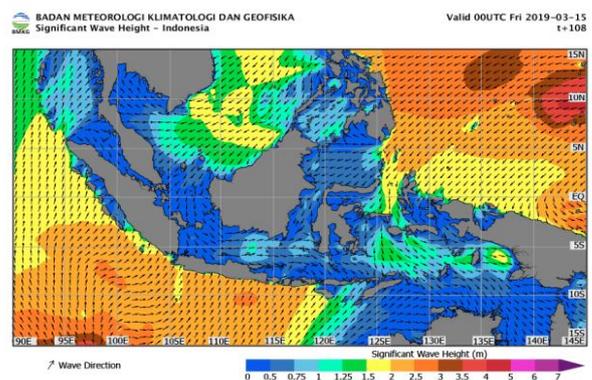
Gambar 1. Desain *Bulbous Bow*

Gambar 1. menunjukkan model kapal *Bulbous* data asli yang selanjutnya akan diubah menjadi bentuk *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow* dengan cara merubah bentuk haluannya.

## 2.3. Parameter Penelitian

Parameter yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Penentuan Arah dan Sudut Gelombang  
Arah gelombang yang ditinjau adalah gelombang sudut 180<sup>0</sup>.
2. Tinggi gelombang  
Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) yang digunakan yaitu 1 m dengan periode rata-rata (Tav) yaitu 7,5 detik.
3. Variabel Terikat : LOA, T, B, H  
Variabel Bebas : LPP, LWL, Cb, Displacement, Fr



Gambar 2. Perkiraan sebaran gelombang di Perairan Indonesia

Pada Gambar 2. terlihat perkiraan sebaran Gelombang yang dijelaskan berdasarkan kategori warna yaitu ; biru tua, hijau laut, hijau pekat, kuning, oranye, oranye tua, merah marun, merah muda, merah, ungu muda, ungu, dan ungu tua. Namun untuk perairan yang terlihat pada Gambar 2 hanya hingga

kategori perairan merah muda dengan *Significant Wave Height* 3,5-4 meter.

Dijelaskan bahwa perairan dengan warna dominan biru tua menandakan *Significant Wave Height* yang terjadi kisaran 0-0,75 meter. Untuk area perairan berwarna biru muda *Significant Wave Height* yang terjadi kisaran 0,75- 1 meter. Sedangkan area perairan yang masuk kedalam kategori hijau laut memiliki *Significant Wave Height* kisaran 1-1,25 meter. Area perairan yang masuk kedalam kategori hijau pekat memiliki *Significant Wave Height* kisaran 1,25-1,5 meter. area perairan yang masuk kedalam kategori kuning memiliki *Significant Wave Height* kisaran 1,5-2 meter. Pada area perairan yang masuk kedalam kategori oranye memiliki *Significant Wave Height* kisaran 2-2,5 meter. Area perairan yang masuk kedalam kategori oranye tua memiliki *Significant Wave Height* kisaran 2,5-3 meter. Area perairan yang masuk kedalam kategori merah marun memiliki *Significant Wave Height* kisaran 3-3,5 meter. Dan area perairan yang masuk kedalam kategori merah muda memiliki *Significant Wave Height* kisaran 3,5-4 meter.

Pada penelitian ini, daerah pelayaran kapal berada di kategori Biru muda dengan *Significant Wave Height* kisaran 0,75-1 meter.

Tabel 2. WMO Sea State Code

Sea State Code	Sustained Wave Height (m)	Sustained Wave Height (m)	Wave Period (s)	Description
	Range	Mean		
3	0,5 – 1,25	0,55	7,5	Slight
4	1,25 – 2,5	1,875	8,8	Moderate
5	2,5 – 4,0	3,25	9,7	Rough

Tabel 2 menjelaskan dengan kondisi *Significant Wave Height* kisaran 0,75-1 meter dalam WMO Sea State Code termasuk kategori *Slight* dengan *Wave Periode* 7,5s.

## 2.4. Pengolahan Data

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

1. Pembuatan model 3D menggunakan *Software Rhinoceros* dengan

menggunakan *lines plan* sebagai acuan.

2. Variasi Model Haluan Kapal
3. Model 3D Rhinoceros diexport menjadi bentuk .stp dan Acis digunakan untuk analisa pada software CFD.

## 2.5. Hambatan Kapal

Hambatan yang terjadi pada kapal yang sedang bergerak didalam air terbagi menjadi dua komponen utama yaitu *frictional resistance* (hambatan gesek) dan *residual resistance* (hambatan sisa). Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan antara aliran air di sepanjang permukaan lambung, sedangkan tahanan sisa disebabkan oleh gaya yang menahan lambung kapal yang dihasilkan oleh air [8].

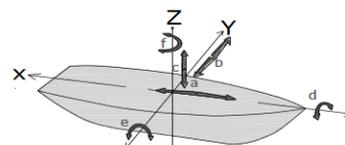
William Froude pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu hambatan sisa (*residual*) dan hambatan gesek (*friction*). Hambatan sisa dalam hal ini meliputi komponen *hambatan wave-making system energies*, *eddy* dan *viscous energy losses* akibat bentuk lambung kapal. Dimana hambatan total merupakan penjumlahan hambatan gesek ( $R_F$ ) dengan hambatan sisa ( $R_R$ ) sehingga didapat persamaan :

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (1)$$

Dimana  $R_{TM}$  adalah Hambatan total model dari percobaan (N), sedangkan  $R_{FM}$  adalah Hambatan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model (N) dan  $R_{RM}$  adalah Hambatan sisa yang disebabkan oleh gaya yang menahan lambung kapal yang dihasilkan oleh air (N).

## 2.6. Seakeeping

*Seakeeping* adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya dari luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Ada enam macam gerakan kapal di laut yaitu tiga gerakan translasi (*surgings*, *swaying*, *heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling*, *pitching*, *yawing*). Akan tetapi, gerakan yang mampu direspon oleh kapal hanya tiga gerakan, yaitu *heaving*, *pitching*, dan *rolling* [9].



Gambar 3. macam gerak beserta sumbuinya

X = axis adalah sumbu memanjang  
 Y = axis adalah sumbu melintang  
 Z = axis adalah sumbu vertikal

Keterangan :

- Rolling* ( d ) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu X berupa olengan ke arah *starboard portside*
- Pitching* ( e ) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Y berupa anggukan *by the bow –by the stern*
- Yawing* ( f ) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Z berupa putaran
- Surging* ( a ) yaitu gerakan linear terhadap sumbu X
- Swaying* ( b ) yaitu gerakan linear terhadap sumbu Y
- Heaving* ( c ) yaitu gerakan linear terhadap sumbu Z

Respon dari gerakan kapal ini meliputi :

- Added mass inertial force* adalah penambahan massa pada kapal untuk kembali pada posisi semula
- Damping force* adalah gaya peredam yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal yang menghasilkan pengurangan amplitude gerakan kapal secara berangsur - angsur
- Restoring force* adalah gaya untuk mengembalikan kapal ke posisi semula (*equilibrium position*). Gaya ini merupakan gaya *buoyancy* tambahan
- Exciting force* adalah gaya eksternal yang bekerja pada kapal. *Exciting force* berasal dari hasil integrasi gaya apung tambahan dan gelombang sepanjang kapal.

## 2.7. RMS (Root Mean Square)

Pada kenyatannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya dilaut. Untuk mendapatkan respon kapal keadaan sesungguhnya di laut diperlukan respon Kapal terhadap Gelombang Acak. Untuk mendapatkan respon Gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan sprektum respon. Sprektum respon didapatkan dengan mengalikan Sprektum Gelombang.

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

$$m_0 = \int_0^{\infty} S \zeta_r(\omega) d\omega \quad (2)$$

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

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (3)$$

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

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (4)$$

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

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S \zeta_r(\omega) d\omega \quad (5)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S \zeta_r(\omega) d\omega \quad (6)$$

## 2.8. Standar Kriteria Seakeeping

Kriteria *seakeeping* digunakan untuk menyesuaikan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan standar kriteria yang ada. Pada penelitian ini, standar seakeeping yang digunakan adalah standar kriteria *Seakeeping* menurut NORDFORSK 1987 [10].

Tabel 3. Standar Kriteria

Description	Merchant Ships	Navy Vessels	Fast Small Craft
<i>RMS of vertical acceleration at FP</i>	0,275 g (≤100m) 0,059 g (≥330m)	0,275 g	0,65 g
<i>RMS of vertical acceleration at Bridge</i>	0,15 g	0,20 g	0,275 g
<i>RMS of lateral acceleration at Bridge</i>	0,12 g	0,10 g	0,10 g
<i>RMS of Roll Probability of Slamming</i>	6 deg 0,03 g (≤100m) 0,01 g (≥330m)	4 deg 0,03 g	4 deg 0,03
<i>Probability of Deck Wetness</i>	0,05	0,05	0,05

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Validasi

Hal yang pertama dilakukan adalah memvalidasi data kapal. Dengan melakukan perbandingan nilai Hambatan model kapal perhitungan numerik sesuai nilai Hambatan Pengujian *Towing Tank*.

Dalam pembuatan model kapal asli (*bare hull*), beberapa hal yang perlu dilakukan adalah :

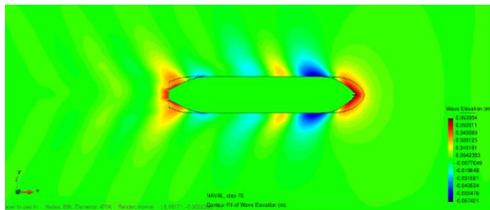
- a. Permodelan menggunakan *software AutoCAD*
- b. Permodelan menggunakan *software Rhinoceros*

Dari hasil *running* pada *software CFD* menghasilkan gaya dalam bentuk *pressure force* dan *viscosity force*. Nilai hambatan dilihat setelah *running* selesai dan dapat dilihat pada menu *force on boundaries*. Hasil simulasi untuk *froude number* 0,226 dibandingkan antara hasil data pengujian hambatan pada *towing tank* untuk mencari nilai validasi. Berikut perbandingan antara hasil simulasi pada *software CFD* dengan data pengujian pada *towing tank* :

Tabel 4. Validasi Hambatan Total Kapal

Fr	V (m/s)	RT EFD (N)	RT Simulasi CFD (N)	Error (%)
0,226	1,44	29,07	28,473	2,054%

Dari Tabel 4. dapat dilihat bahwa perbandingan hasil pengujian pada *towing tank* dengan hasil simulasi *software CFD* memiliki nilai *error* 2,054%. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa settingan model yang digunakan untuk simulasi pada *software CFD* valid, dan analisa dapat dilanjutkan.



Gambar 4. *Contour Fill Of Wave Elevation*

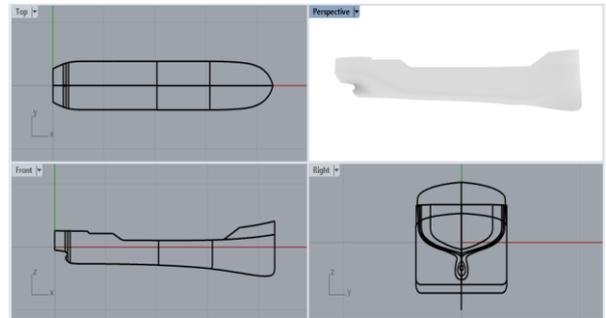
Gambar 4. menggambarkan *Contour Fill Of Wave Elevation* yang terlihat dari hasil Analisa *Running CFD*.

#### 3.2. Pembuatan Model Variasi

Pembuatan *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax- Bow* agar didapatkan hasil hambatan yang minimum dan keefektifan yang maksimum serta Analisa *Seakeeping*.

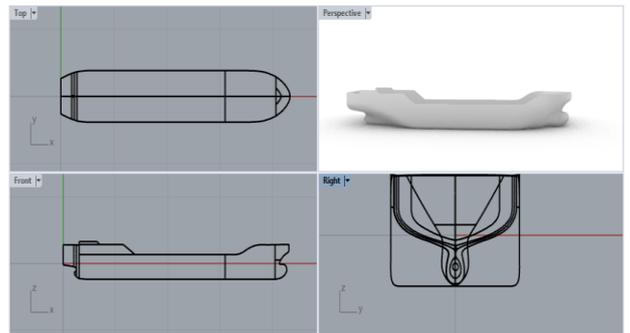
Dalam pembuatan model *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow*, beberapa hal yang dilakukan adalah :

- a. Permodelan menggunakan *software AutoCAD*
- b. Permodelan menggunakan *software Rhinoceros*



Gambar 5. Desain *Modified Axe Bow*

Desain *Modified Axe Bow* memiliki ciri bentuk yang runcing, ramping dan mendalam pada bagian Haluan.



Gambar 6. Desain *Modified Ax- Bow*

Desain *Modified Ax- Bow* memiliki Bentuk *Bullbous* dan desainnya yang ramping sehingga terjadi penyempitan pada bagian Haluan.

Tabel 5. Perubahan Item Ukuran Model Kapal

No.	Dimensi	Modified Ax	Modified Axe
1.	<i>Length over all</i>	2,595 m	2,595 m
2.	<i>Length of Water Line</i>	2,235 m	2,595 m
3.	<i>Breadth</i>	0,3 m	0,3 m
4.	<i>Depth</i>	0,35 m	0,35 m
5.	<i>Draft</i>	0,1 m	0,1 m
6.	<i>WSA</i>	1,317 m <sup>2</sup>	1,45 m <sup>2</sup>

### 3.3 Variasi Kecepatan

Tabel 6. Variasi Kecepatan

Fr	V Kapal (Knot)	V Model (m/s)
0,178	11	1,132
0,194	12	1,235
0,21	13	1,338
0,226	14	1,44

Variasi kecepatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 11, 12, 13, dan 14 knot. Model yang digunakan pada simulasi CFD menggunakan skala 1 : 25, sehingga perlu ditentukan kecepatan dari model kapal yang akan digunakan simulasi CFD.

### 3.3. Analisa Hambatan

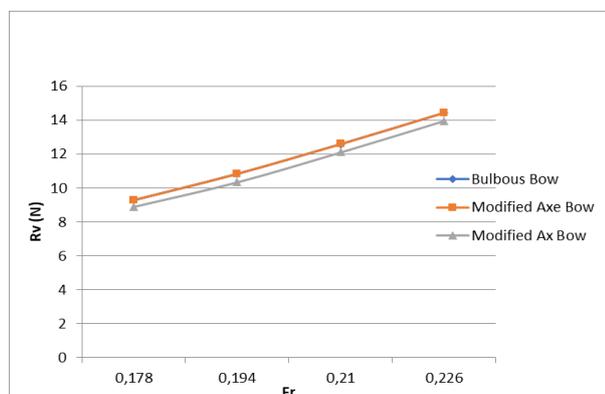
Analisis Hambatan menggunakan *Software CFD* dengan membandingkan hasil *running* 3 model berbeda dengan kecepatan berbeda.

#### 3.3.1 Hambatan Viskositas

Tabel 7. Hambatan Viskositas Model Skala

Fr	Bullbous Bow (N)	Modified Axe Bow (N)	Modified Ax Bow (N)
0,178	9,288	9,302	8,897
0,194	10,833	10,850	10,345
0,21	12,577	12,597	12,107
0,226	14,412	14,439	13,960

Tabel 7 menyajikan Perubahan Hambatan Viskositas yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi kenaikan nilai Hambatan Viskositas pada *Modified Axe Bow* sedangkan pada *Modified Ax Bow* terjadi penurunan nilai Hambatan.



Gambar 7. Grafik Hambatan Viskositas Model Skala

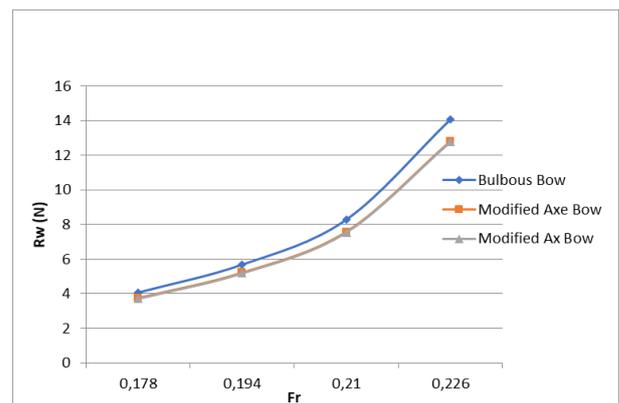
Gambar 7 menunjukkan Grafik Hambatan Viskositas Model Skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Modified Axe Bow* dan yang terendah adalah *Modified Ax Bow*.

#### 3.3.2 Hambatan Gelombang

Tabel 8. Hambatan Gelombang Model Skala

Fr	Bullbous Bow (N)	Modified Axe Bow (N)	Modified Ax Bow (N)
0,178	4,076	3,731	3,710
0,194	5,689	5,209	5,18
0,21	8,286	7,581	7,54
0,226	14,061	12,831	12,76

Tabel 8. menyajikan Perubahan Hambatan Gelombang yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi penurunan nilai Hambatan Gelombang pada *Modified Axe Bow* sedangkan pada *Modified Ax Bow* terjadi penurunan nilai Hambatan.



Gambar 8. Grafik Hambatan Gelombang Model Skala

Gambar 8. menunjukkan Grafik Hambatan Gelombang Model Skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Bullbous Bow* dan yang terendah adalah *Modified Ax Bow*.

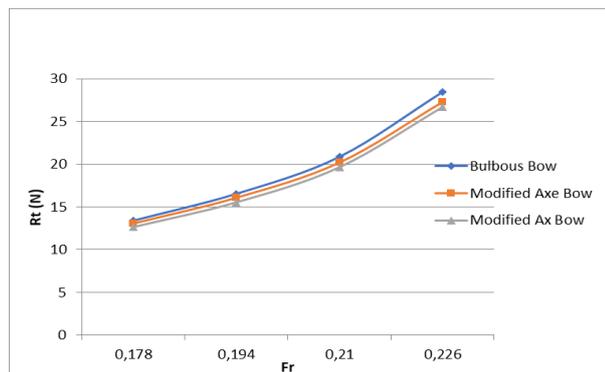
#### 3.3.3 Hambatan Total

Tabel 9. Hambatan Total Model Skala

Fr	Bullbous Bow (N)	Modified Axe Bow (N)	Modified Ax Bow (N)
0,178	13,364	13,033	12,606
0,194	16,521	16,059	15,525
0,21	20,863	20,178	19,647
0,226	28,473	27,270	26,720

Tabel 9. menyajikan Perubahan Hambatan Total yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi penurunan nilai Hambatan

Gelombang pada *Modified Axe Bow* begitu juga pada *Modified Ax Bow* yang terjadi penurunan nilai Hambatan.



Gambar 9. Grafik Hambatan Total Model Skala

Gambar 9 menunjukkan Grafik Hambatan Total Model Skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Bulbous Bow* dan yang terendah adalah *Modified Ax Bow*.

### 3.3.4 Evaluasi Hambatan

Nilai hambatan viskositas pada kapal dengan variasi *Modified Axe- Bow* dan *Modified Ax Bow* semakin besar seiring bertambahnya kecepatan kapal. Dilihat dari tabel Hambatan Viskositas kapal yang terjadi pada *Modified Ax- Bow* lebih kecil dibandingkan dengan yang terjadi pada *Bulbous Bow* dan *Modified Axe- Bow* dikarenakan adanya pengaruh pengaruh luasan badan kapal yang tercelup pada setiap masing- masing bentuk model kapal meskipun tidak signifikan.

Berdasarkan gambar *Wave Resistance* nilai dari hambatan gelombang *Modified Ax Bow* dan *Modified Axe Bow* lebih kecil dibandingkan jenis *Bulbous Bow* karena bentuk model *Modified Ax Bow* dan *Modified Axe Bow* yang berupa jenis *Bow* ramping sehingga mampu mengurangi tahanan akibat gelombang, *Modified Ax Bow* bila dibandingkan dengan *Modified Axe Bow*, memiliki tahanan yang lebih kecil, karena pada *Modified Ax Bow* terdapat bentuk *Bullbous* yang dapat mengurangi tahanan pada kapal sekaligus sebagai pemecah ombak.

Sehingga hambatan total mengalami penurunan pada model kapal *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow*. Nilai penurunan hambatan signifikan terjadi karena penurunan nilai Hambatan Gelombang yang berpengaruh dari perubahan Bentuk Haluan kapal.

### 3.4. Analisa Seakeeping

Analisa olah gerak berdasarkan 4 variasi kecepatan yaitu pada Froude number 0,178 ; 0,194 ; 0,21 dan 0,226 pada sudut Heading 180°.

Pada kenyatannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya dilaut. Untuk mendapatkan respon kapal keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon Gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan Spektrum Gelombang. Untuk perairan laut jawa, data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 1 m, dengan periode rata- rata ( $T_{av}$ ) yaitu 7,5s.

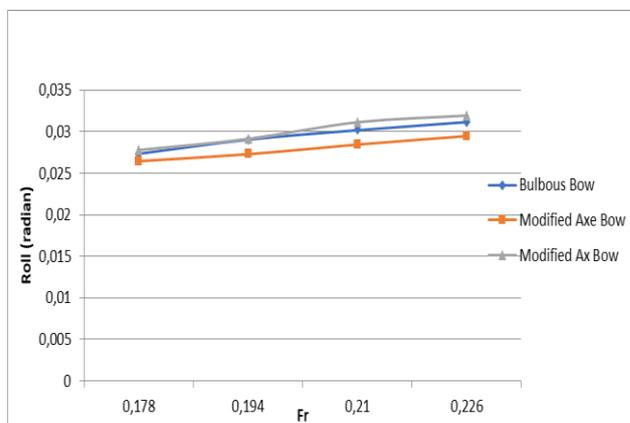
#### 3.5.1 Rolling

*Rolling* adalah yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu X berupa olengan ke arah *starboard portside*.

Tabel 10. RMS *Rolling* Model Skala

Fr	Bulbous Bow (rad)	Modified Axe Bow (rad)	Modified Ax Bow (rad)
0,178	0,02736	0,02648	0,02779
0,194	0,02908	0,0273132	0,02913
0,21	0,03022	0,0284614	0,03113
0,226	0,0312	0,0294663	0,03193

Tabel 10. menyajikan Nilai RMS *Rolling* yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi penurunan nilai RMS *Rolling* pada *Modified Axe Bow* sedangkan pada *Modified Ax Bow* terjadi kenaikan nilai *Rolling* Model skala.



Gambar 10. Grafik RMS *Rolling* Model Skala

Gambar 10 menunjukkan Grafik *Rolling* ketiga model skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Modified Ax Bow* dan yang terendah adalah *Modified Axe Bow*.

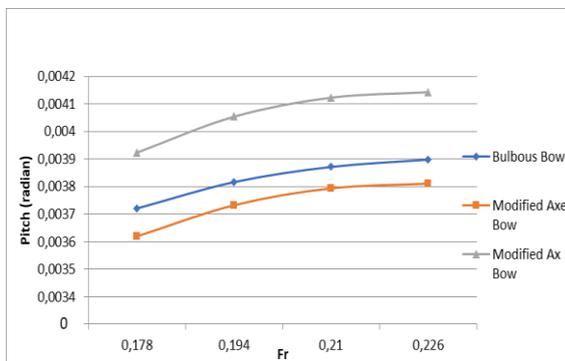
### 3.5.2 Pitching

*Pitching* adalah yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Y berupa anggukan *by the bow –by the stern*

Tabel 11. RMS *Pitching* Model Skala

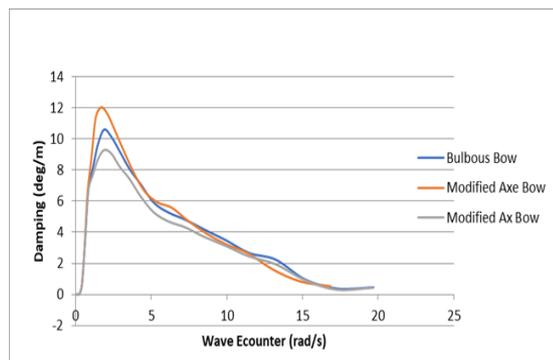
Fr	Bulbous Bow (rad)	Modified Ax Bow (rad)	Modified Axe Bow (rad)
0,178	0,003721	0,00392	0,00362
0,194	0,003817	0,00405	0,00373
0,21	0,003873	0,0041	0,00379
0,226	0,003899	0,00414	0,00381

Tabel 11. menyajikan Nilai RMS *Pitching* yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi penurunan nilai RMS *Pitching* pada *Modified Axe Bow* sedangkan pada *Modified Ax Bow* terjadi kenaikan nilai *Pitching* Pada Model Skala.



Gambar 11. Grafik RMS *Pitching* Model Skala

Gambar 11 menunjukkan Grafik *Pitching* ketiga model skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Modified Ax Bow* dan yang terendah adalah *Modified Axe Bow*.



Gambar 12. Grafik Damping Model Skala

Gambar 11 menunjukkan respon Damping yang terjadi pada ketiga model skala. Respon terbesar Damping terjadi pada *Modified Axe Bow* dan yang terendah adalah *Modified Ax Bow*.

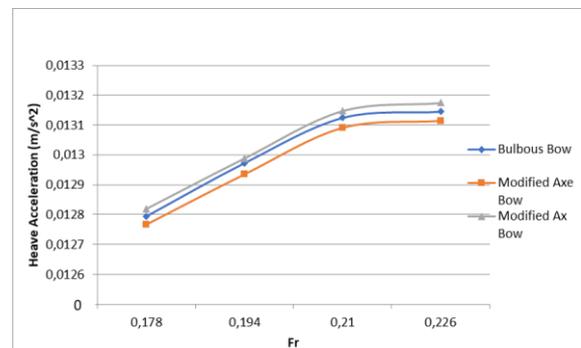
### 3.5.3 Heaving

*Heaving* adalah yaitu gerakan yang terjadi terhadap kapal secara linear terhadap sumbu Z

Tabel 12. RMS *Heaving* Model Skala

Fr	Bulbous Bow (m)	Modified Axe Bow (m)	Modified Ax Bow (m)
0,178	0,01279	0,01276631	0,0128189
0,194	0,01297	0,01293459	0,0129885
0,21	0,01312	0,01309039	0,0131477
0,226	0,01314	0,01311374	0,0131744

Tabel 12. menyajikan Nilai RMS *Heaving* yang terjadi pada ketiga model skala. Dapat dilihat terjadi penurunan nilai RMS *Rolling* pada *Modified Axe Bow* sedangkan pada *Modified Ax Bow* terjadi kenaikan nilai *Heaving* Pada Model Skala.



Gambar 13. Grafik RMS *Heaving* Model Skala

Gambar 13 menunjukkan Grafik *Heaving* ketiga Model Skala dimana Grafik Tertinggi adalah *Modified Ax Bow* dan yang terendah adalah *Modified Axe Bow*.

Tabel 13. RMS of vertical acceleration at Bridge

Item	Wave Heading (deg)	Fr	Acceleration (g)
<i>Bullbous Bow</i>	180	0,178	0,002274532
	180	0,194	0,014714004
	180	0,21	0,032018577
	180	0,226	0,077394072
<i>Modified</i>	180	0,178	0,002794379

<i>Axe Bow</i>	180	0,194	0,015089733
	180	0,21	0,034106285
	180	0,226	0,077544669
<i>Modified</i>	180	0,178	0,003629123
<i>Ax Bow</i>	180	0,194	0,010065275
	180	0,21	0,033897614
	180	0,226	0,074494132

Tabel 13. Menyajikan nilai *RMS of vertical acceleration at Bridge* kepada 3 model dengan *Wave Heading* 180° dan pada Froude number 0,178 ; 0,194 ; 0,21 dan 0,226 didapatkan angka tertinggi adalah 0,077544669g dan dibawah batas kriteria NORDFORSK 1987 yaitu 0,15g.

### 3.5.4 Evaluasi *Seakeeping*

Untuk secara keseluruhan, nilai yang didapat memenuhi Kriteria standar NORDFORSK 1987 karena memiliki nilai dibawah batas maksimum kriteria standar dimana nilai standar *Rolling* adalah 0,10472 radian atau 6° sedangkan besarnya *RMS of Vertical acceleration at Bridge* tidak melebihi batas kriteria yaitu 0,15g.

Berdasarkan Grafik pada *Rolling*, terjadi kenaikan nilai *rolling* pada *Ax* namun terjadi penurunan nilai *Rolling* pada *Axe Bow* yang disebabkan nilai *GM<sub>t</sub> Modified Ax Bow* lebih kecil dibandingkan model lainnya yang menyebabkan nilai *rolling Modified Ax Bow* lebih besar dibandingkan dengan model lainnya.

Terjadi perubahan nilai pada *Pitching* berdasarkan grafik disebabkan karena respon damping *Modified Axe Bow* lebih besar dibandingkan dengan *Bulbous* dan *Modified Ax Bow* sehingga menyebabkan respon *Pitching Modified Axe Bow* lebih kecil.

Pada *Heaving* tidak terlalu terjadi perubahan yang signifikan, perubahan nilai *heaving* dipengaruhi juga karena adanya pengaruh luasan badan kapal yang tercelup air.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang “Analisa Penerapan *Modified Bow Tipe Axe* dan *Modified Bow Tipe Ax* pada Kapal Tanker 112 Meter” maka didapatkan kesimpulan bahwa hasil Analisa Hambatan hambatan total mengalami penurunan pada model kapal *Modified Axe Bow* dan *Modified Ax Bow*. Nilai penurunan hambatan signifikan terjadi karena penurunan nilai Hambatan Gelombang yang berpengaruh dari perubahan Bentuk Haluan kapal. Sedangkan untuk hasil

Analisa *Seakeeping* untuk secara keseluruhan, nilai yang didapat memenuhi Kriteria standar NORDFORSK 1987 karena memiliki nilai dibawah batas maksimum kriteria standar dimana nilai standar *Rolling* adalah 0,10472 radian atau 6° sedangkan besarnya *RMS of Vertical acceleration at Bridge* tidak melebihi batas kriteria yaitu 0,15g. Terjadi perubahan nilai RMS pada *Rolling* disebabkan nilai *GM<sub>t</sub> Modified Ax Bow* lebih kecil dibandingkan model lainnya yang menyebabkan nilai *rolling Modified Ax Bow* lebih besar dibandingkan dengan model lainnya. Sedangkan untuk *Pitching*, respon damping *Modified Axe Bow* lebih besar dibandingkan dengan *Bulbous* dan *Modified Ax Bow* sehingga menyebabkan respon *Pitching Modified Axe Bow* lebih kecil. Pada *Heaving* tidak terlalu terjadi perubahan yang signifikan, perubahan nilai *heaving* dipengaruhi adanya pengaruh luasan badan kapal yang tercelup air.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. News, “New ‘Ax-Bow’ To Increase Ships’ Efficiency,” in *Maritime Reporter & Engineering News*, May., 2001, p. 30.
- [2] J. . Gelling, “The Axe Bow: The Shape of Ships to Come,” in *The 19th International Hiswa Symposium On Yacht Design and Yacht Constructio*, 2006, pp. 1–10.
- [3] Rhomadhoni and I. K. A. . Utama, “Analisa pengaruh bentuk lambung axe bow pada kapal high speed craft terhadap hambatan total,” *KAPAL*, vol. 12, no. 2, pp. 78–87, 2015.
- [4] J. . Keuning, J. Pinker, and F. . Walree, “Further Investigation into the Hydrodynamic Performance of the AXE Bow Concept,” *Semant. Sch.*, vol. 8, 2011.
- [5] K. Matsumoto, “Ax-Bow : A New Energy-saving Bow Shape at Sea,” *Nkk Tech. Rev.*, p. 46, 2002.
- [6] K. Hirota, K. Matsumoto, K. Takagishi, K. Yamasaki, H. Orihara, and Y. H, “Development of Bow Shape to Reduce the Added Resistance due to Waves and Verification on Full Scale Measurement,” in *in the International Conference on Marine Research and Transportation*, 2005.
- [7] M. Ikhsan, P. Manik, and M. Indaryanto, “Analisa Pengaruh Penambahan Hull Fixed Fin dengan Variasi Foil dan Sudut Serang terhadap Gaya Angkat dan Hambatan Kapal,” vol. 8, pp. 151–157, 2020.

- [8] Woods Hole Oceanographic Institution, "Ship Resistance," in *Marine Fouling And Its Prevention*, 1952, pp. 21–34.
- [9] D. Hermanto, Samuel, and M. Iqbal, "Analisa Peningkatan Performa Seakeeping Pada Kapal Katamaran Mv. Laganbar Menggunakan Centerbulb Dan Bulbous Bow," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, pp. 64–71, 2017.
- [10] M. H. Ghaemi and H. Olszewski, "Total Ship Operability – Review , Concept And Criteria," *Polish Marit. Res.*, vol. 24, pp. 74–81, 2017.