

# ANALISA PERBANDINGAN ULSTEIN X-BOW DENGAN *BULBOUS BOW* KONVENSIONAL TERHADAP NILAI HAMBATAN TOTAL DAN *SEAKEEPING* KAPAL MENGGUNAKAN METODE CFD

Andreas Parulian Sidabalok<sup>1</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1</sup>, Muhammad Iqbal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: [sidabalokandreas@gmail.com](mailto:sidabalokandreas@gmail.com)

## Abstrak

Dalam operasinya di laut, kapal harus memiliki nilai ekonomis dan performa yang baik. Untuk mencapai semua hal tersebut dibutuhkan desain kapal yang memiliki kecepatan optimum tetapi penggunaan daya mesin yang seminimal mungkin sehingga dapat terciptanya peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar. Penggunaan daya mesin sangat berhubungan dengan hambatan yang dialami suatu kapal. Salah satu cara alternatif dalam pengurangan hambatan kapal adalah melakukan pemasangan *bulbous bow* pada haluan kapal. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya nilai hambatan kapal yang terjadi dengan menggunakan program *computational fluid dynamic* (CFD) dan melakukan analisa *seakeeping* dengan menggunakan *software Maxsurf Motions*. Dalam melaksanakan penelitian ini penulis menggunakan bantuan paket program *Computer Aided Design* (CAD), *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Maxsurf*. Dari ketiga variasi model tersebut, nilai hambatan terendah terjadi pada model 3 dengan desain haluan *X-Bow* yaitu koefisien total sebesar 0.006565 dan nilai hambatan total sebesar 242,76 KN. Sedangkan untuk model 1 dan model 2 menghasilkan nilai koefisien total masing-masing 0,007211 dan 0,007368. Dengan nilai hambatan total model 1 sebesar 267,22 KN dan nilai hambatan total model 2 sebesar 273,40 KN. Analisa *seakeeping* kapal menunjukkan respon *heaving* kapal terkecil dialami pada sudut 90° saat tinggi gelombang 3 meter oleh model 3 yaitu sebesar 0,204 meter. Sedangkan untuk model 1 memiliki nilai 0,214 meter dan model 2 memiliki nilai 0,208 meter. Untuk respon *pitching* kapal terkecil juga dialami pada sudut 90° saat tinggi gelombang 3 meter oleh model 3 sebesar 0,065°. Sedangkan untuk model 1 memiliki nilai 0,084° dan model 2 memiliki nilai 0,098°. Untuk *probability slamming* baik model 1, model 2 maupun model 3 tidak memiliki kemungkinan untuk terjadinya *slamming*. Dari hasil analisa baik dari segi hambatan maupun *seakeeping* kapal didapat bahwa model 3 yakni model dengan menggunakan desain haluan *X-Bow* adalah model terbaik yang dapat dijadikan alternatif jika dibandingkan model 1 dan model 2.

**Kata kunci:** hambatan total, *seakeeping*, *bulbous bow*, CFD.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini telah dilakukan berbagai penelitian dalam bidang desain kapal yang bertujuan untuk meningkatkan hasil yang optimum baik dalam hal ekonomis maupun performa. Kapal diharapkan memiliki performa yang baik saat berlayar, sehingga kapal dapat berlayar disaat cuaca buruk ataupun saat kondisi laut yang ekstrim. Selain itu target optimalisasi efisiensi desain adalah mengenai kecepatan kapal, yaitu bagaimana mendapatkan desain kapal yang memiliki kecepatan optimum tetapi penggunaan daya mesin yang seminimal mungkin sehingga dapat terciptanya peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar. Penggunaan daya mesin sangat berhubungan dengan hambatan yang dialami suatu kapal. Salah satu

cara alternatif dalam pengurangan hambatan kapal adalah melakukan pemasangan *bulbous bow* pada haluan kapal. Saat ini konsep dalam dunia desain perkapalan khususnya pada bagian haluan kapal yang dapat mereduksi konsumsi bahan bakar adalah konsep Ulstein X-Bow.

*Bulbous bow* merupakan struktur di haluan kapal yang membulat dan berada di bawah permukaan air yang berfungsi menghasilkan gelombang sebelum kapal mendorong air. Gelombang yang dihasilkan *bulbous bow* berlawanan arah dengan gelombang yang dihasilkan oleh badan kapal, sehingga kedua gelombang tersebut akan saling mengimbangi dan membuat gelombang yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Efek dari pemakaian *bulbous bow* dapat mengurangi tahanan total kapal hingga 30%.

Oleh karena itu, melalui penelitian ini diharapkan mampu menganalisa nilai hambatan total dan *seakeeping* (*heaving* dan *pitching*) yang dialami oleh kapal dengan desain Ulstein X-Bow dan kapal menggunakan desain *bulbous bow* konvensional. Desain *bulbous bow* kapal tersebut akan di analisa dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari penjabaran latar belakang diatas, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisa perbandingan nilai hambatan total kapal antara desain Ulstein X-Bow dengan desain *bulbous bow* konvensional menggunakan metode CFD?
2. Bagaimana hasil analisa perbandingan *seakeeping* kapal antara desain Ulstein X-Bow dengan desain *bulbous bow* konvensional?
3. Manakah desain yang lebih bagus dari segi hambatan dan *seakeeping* antara Ulstein X-Bow dengan *bulbous bow* konvensional?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah di gunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Model kapal menggunakan penelitian yang telah dilakukan oleh Bias Ari Perwira (2013).
2. Jenis *bulbous bow* yang akan dipakai adalah Ulstein X-Bow dan *bulbous bow* konvensional (*tapering bulb* dan *spherical bulb*).
3. Hanya menganalisa hambatan total dan *seakeeping* (*heaving* dan *pitching*) kapal.
4. Tidak dilakukan analisa stabilitas dan analisa biaya.
5. Tidak membahas dan menghitung masalah konstruksi dan kekuatan kapal.
6. Menggunakan metode CFD untuk menganalisa nilai hambatan total kapal.
7. Analisa *seakeeping* kapal menggunakan *software Maxsurf*.
8. Hasil akhir dari penelitian ini adalah nilai hambatan total dan *seakeeping* kapal.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal yang menggunakan Ulstein X-Bow dan yang menggunakan *bulbous bow* konvensional (*tapering bulb* dan *spherical bulb*) dengan perhitungan metode CFD.
2. Untuk mendapatkan hasil analisa *seakeeping* (*heaving* dan *pitching*) kapal antara Ulstein X-Bow dengan *bulbous bow* konvensional (*tapering bulb* dan *spherical bulb*).
3. Untuk mendapatkan desain model haluan kapal yang lebih bagus dari segi nilai hambatan total dan *seakeeping* (*heaving* dan *pitching*) kapal antara Ulstein X-Bow dengan *bulbous bow* konvensional (*tapering bulb* dan *spherical bulb*).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Bulbous Bow*

*Bulbous bow* merupakan bagian kapal yang terletak di bagian haluan. Bagian ini merupakan bagian yang terintegrasi dengan lambung kapal. Fungsi utama dari bagian ini adalah mengurangi hambatan kapal pada saat kapal beroperasi. Sebagian besar hambatan pada kapal diakibatkan oleh adanya bagian kapal yang mengalami kontak langsung dengan fluida. Fluida yang dilalui kapal membentuk pola gelombang akibat dari gerakan badan kapal yang pada akhirnya menimbulkan gesekan dengan lambung kapal, prinsip kerja dari *bulbous bow* adalah dengan membangkitkan gelombang atau menginterferensi gelombang kapal yang datang dari haluan, sehingga gelombang yang datang akan kehilangan tenaga karena interferensi gelombang dari *bulbous bow* dan pada akhirnya energi gelombang di sekitar lambung kapal akan berkurang, dengan demikian hambatan kapal akan dapat diminimalisir.

### 2.2 Ulstein X-Bow

Saat konsep haluan kapal, yang kemudian terkenal dengan "Ulstein X-bow", diluncurkan untuk pertama kalinya di tahun 2005. Rancang bangun baru yang kelihatan aneh karena memiliki bentuk haluan dengan ujung bagian atasnya justru membalik ke arah belakang dan sangat revolusioner ini segera memikat para pemilik kapal yang besar, dan sejak saat itu telah mendemonstrasikan kelebihan-kelebihannya untuk aplikasi-aplikasi dalam kegiatan pengeboran minyak di lepas pantai.

### 2.3 Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal ( $V_s$ ), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*). Kecepatan kapal sangat dipengaruhi oleh system penggerak kapal (*propulsion system*), sedangkan *displacement* dan *hull form* ditentukan oleh ukuran utama kapal (*main dimension*), perbandingan antara ukuran utama (*ratio*), dan koefisien bentuk kapal (*hull form coefficient*).

Hambatan total pada kapal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_T = 0,5 \cdot \rho \cdot C_T \cdot S \cdot V^2$$

$\rho$  adalah massa jenis air laut

$C_T$  adalah koefisien tahanan total kapal

$S$  adalah luas permukaan basah pada *hull* ( $s^2$ )

$V$  adalah kecepatan

### 2.4 Gerakan Heaving

Pada *heaving* gaya kebawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertikal keatas, ketika posisi kapal telah seimbang lantas tidak berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan pada pengaruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. Pada kondisi *heaving* ini kapal hanya bergerak secara vertikal dalam satu arah yaitu translasi saja.

### 2.5 Gerakan Pitching

Berbeda halnya dengan *heaving* yang bergerak secara translasional. Namun kondisi *pitching* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat diterapkan adalah Hukum Euler. Seperti yang dipaparkan sebelumnya konstruksi benda apung bisa mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu *transversal* ( $x$ ) maupun gerakan dalam arah sumbu *longitudinal* ( $y$ ), apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau pada benda apung tersebut dikenakan suatu kecepatan awal sehingga bergerak menjauh dari posisi keseimbangannya.

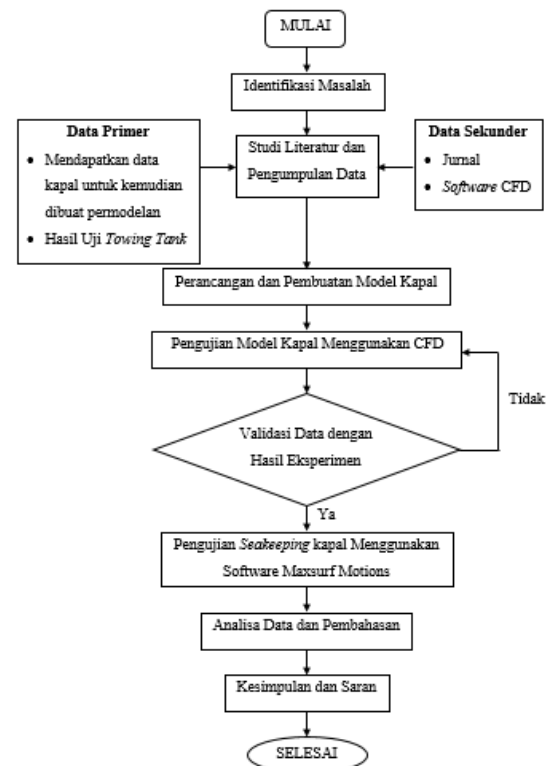
### 2.6 Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait. Seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis computer (*numeric*). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan *non-industri*. *Code* CFD terstruktur atas logaritma *numeric*, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida. *Code Computational Fluid Dynamics* disini terdiri atas tiga elemen utama yakni:

- Pre Processor*.
- Solver Manager*.
- Post Processor (Visualize)*.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

Data ukuran utama kapal:

- *Length* (m) : 99,20
- *Breadth* (m) : 18,94
- *Depth* (m) : 6,00
- *Draft* (m) : 4,00
- *Displacement* (ton) : 4495,00
- *Wetted Surface Area* ( $m^2$ ) : 1900,504

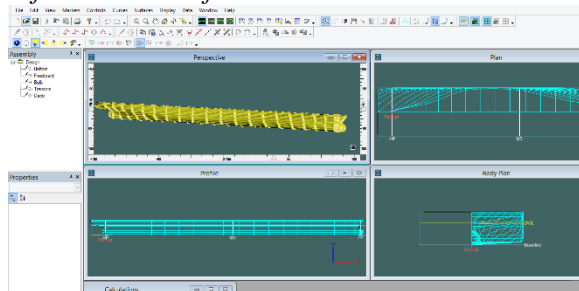
Data ukuran utama kapal model:

- *Length* (m) : 2,02
- *Breadth* (m) : 0,39
- *Depth* (m) : 0,12
- *Draft* (m) : 0,082
- *Displacement* (ton) : 0,0384
- *Wetted Surface Area* (m<sup>2</sup>) : 0,794

#### 4.1 Pengolahan Data

##### 4.1.1 Pemodelan Menggunakan *Maxsurf Modeler*

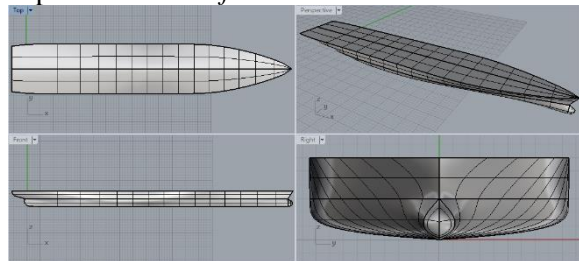
Dari data ukuran utama model kapal, dibuat permodelan badan kapal dengan bantuan *software Maxsurf Modeler 20.0*.



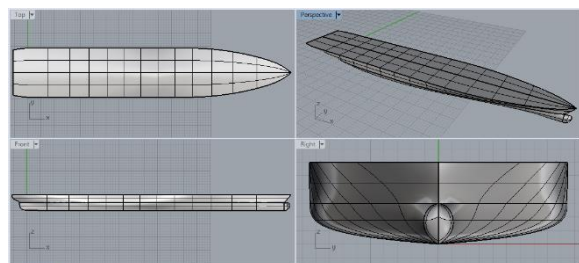
Gambar 2. Pemodelan Menggunakan *Maxsurf Modeler 20.0*

##### 4.1.2 Pemodelan dengan *Rhinoceros*

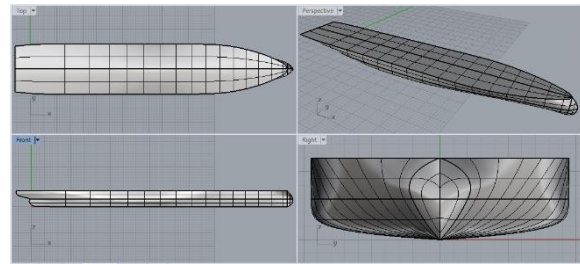
Pembuatan model kapal juga menggunakan *software Rhinoceros 5.0* agar dapat dibuka di *software* CFD.



Gambar 3. Pemodelan 1 Menggunakan *Rhinoceros 5.0*



Gambar 4. Pemodelan 2 Menggunakan *Rhinoceros 5.0*



Gambar 5. Pemodelan 3 Menggunakan *Rhinoceros 5.0*

#### 4.2 Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

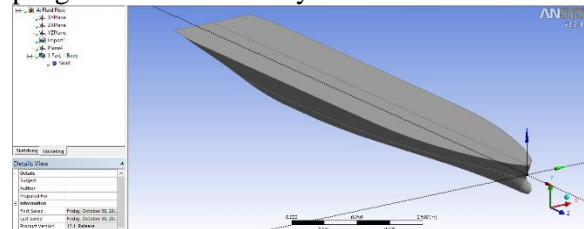
Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model lambung kapal. Pemodelan dengan menggunakan program *Rhinoceros 5.0*, kemudian file tersebut diexport dalam bentuk file .igs. Model yang digunakan haruslah *solid*.

Setelah model selesai dibuat, pengerjaan dilanjutkan menggunakan simulasi numerik. *Software* simulasi numerik yang digunakan adalah *ANSYS 12.1* yang berbasis *Computational Fluid Dynamic*. Pengujian ini menggunakan perhitungan *solver Fluid Flow Analys (CFX)*. Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- a. *Geometry*
- b. *Mesh*
- c. *Setup*
- d. *Solution*
- e. *Result*

##### 4.2.1 Tahap *Geometry*

Tahap *geometry* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Pembuatan model dapat dilakukan langsung di tahap ini, jika model terlalu rumit bisa dibuat di program lain seperti *Rhinoceros* kemudian baru diimport di tahap ini. Tahap *geometry* juga merupakan langkah awal dimana pengecekan *solid* tidaknya model.

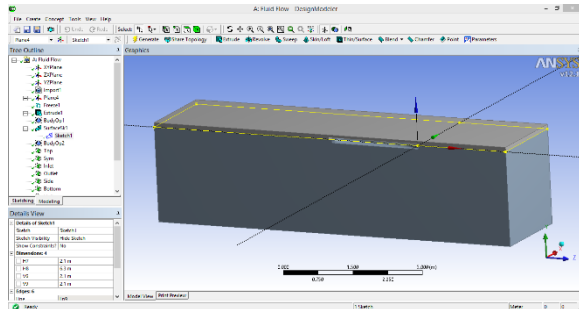


Gambar 6. Model *solid*

Apabila model bisa digunakan maka akan muncul keterangan *ready*. Langkah selanjutnya pembuatan kolam tempat pengujian. Pada tahap ini langkah yang digunakan pertama adalah

pemilihan ZX plan sebagai koordinat. Kemudian *rectangle* dengan ukuran 1 LPP - 2 LPP untuk ukuran panjang kolam. Langkah kedua membekukan kapal pada kolam menggunakan menu *freeze*. Lalu *extrude* digunakan untuk menanamkan kapal, menu ini juga digunakan untuk menentukan tinggi fluida. Dalam hal ini ketinggian air disesuaikan dengan tinggi sarat kapal.

Kemudian pembuatan *free surface*, *free surface* adalah *surface* yang diibaratkan sebagai garis air, yang memisahkan antara hambatan air dan hambatan udara. Untuk membuatnya menggunakan menu *concept > surface from sketch > klik sketch pada ZX plan > base object > generate*. Kemudian akan terbentuk 2 *bodies*, *bodies* tersebut harus dijadikan 1 *part* agar bisa lanjut ke tahap selanjutnya. Untuk catatan pada tahap ini, bahwa selalu klik *generate* ketika kita melakukan sesuatu.



Gambar 7. Free Surface kolam pengujian pada tahap Geometry

#### 4.2.2 Tahap Mesh

Tahap selanjutnya adalah pada mesh. Selanjutnya dalam tahap ini terbagi menjadi beberapa langkah, yaitu :

- a. Virtual Topology
- b. Regions
- c. Mesh

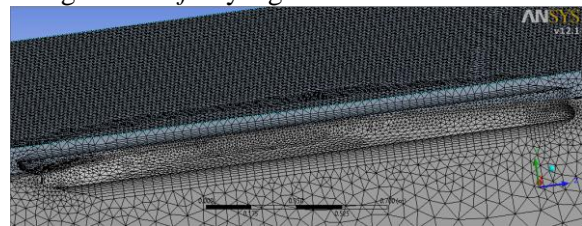
*Virtual Topology* adalah dimana kapal akan terbagi menjadi beberapa bagian, semua bagian tersebut terdiri dari 2 macam yaitu *face* dan *edge*. Langkahnya adalah klik kanan *Virtual Topology > Generate Virtual Topology on entire model*. Kemudian gabung bagian yang sudah terbagi sesuai dengan alur dan letak bagian. Bagian yang bisa digabung ditandai dengan munculnya keterangan *committed*.

Langkah selanjutnya adalah penentuan *Regions*. Disini akan membagi *boundary* antara kapal dan kolam, karena semua bagian akan di *meshing*. Perintah yang dilakukan adalah klik kanan *Regions > insert > composite 2D regions*. Kemudian pilih penempatan *Regions* tersebut, lalu *rename*.

Langkah terakhir pada tahap *mesh* adalah *meshing*. *Meshing* dibagi menjadi beberapa sub, antara lain adalah *spacing*, *controls*, *inflation*, dan lainnya. *Spacing* adalah kita menentukan besar, sudut, radius, *expansion* dan lokasi *meshing*. Bentuk *meshing* yang digunakan antara lain adalah *nodes*, *tetrahedra*, *pyramids* dan *prism*. Pemilihan bentuk *meshing* disesuaikan dengan lokasinya.

*Inflation* ditentukan untuk membedakan *meshing* dibagian *free surface*, bagian diatas garis air, dan bagian dibawah garis air. apabila semua langkah sudah dilakukan maka *meshing* bisa dimulai dengan memilih menu *generate volume mesh*.

Tahap *mesh* adalah tahap yang paling rumit. Apabila terjadi kesalahan sedikit pun, *meshing* akan berhenti dan gagal. Bila hal ini terjadi maka dalam tahap ini harus diulang. Maka disarankan agar teliti dan cermat. Semakin besar jumlah elemen *meshing* maka hasil *meshing* akan semakin halus dan bisa mendapatkan hasil yang lebih akurat. Namun perlu diingat bahwa semain besar elemen yang kita buat, dalam proses simulasi numerik akan semakin berat dan berlangsung lama dan menghasilkan *file* yang semakin besar.



Gambar 8. Hasil mesh model 3

Tabel 1. Statistik mesh model 1

No	Nama	Jumlah
1	Nodes	280141
2	Tetrahedra	512041
3	Pyramids	6378
4	Prims	349095
	Total elemen	867514

Tabel 2. Statistik mesh model 2

No	Nama	Jumlah
1	Nodes	265784
2	Tetrahedra	486364
3	Pyramids	6829
4	Prims	331539
	Total elemen	824732



Tabel 3. Statistik *mesh* model 3

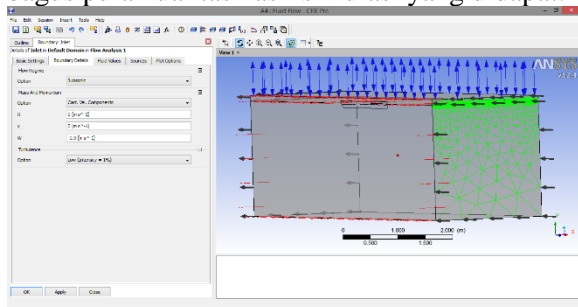
No	Nama	Jumlah
1	Nodes	270901
2	Tetrahedra	496001
3	Pyramids	5953
4	Prims	337965
	Total elemen	839919

### 4.2.3 Tahap Setup

*Setup* adalah tahapan yang dilakukan setelah *mesh* berhasil dilakukan. *Setup* merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain *default domain*, *solver*, pembuatan *expression*, dan lain-lain.

Ditahap ini pembuatan *domain* dilakukan. Dengan penentuan arah aliran fluida pada saat simulasi. *Domain* tersebut dinamakan sesuai dengan tempat dan arahnya, yaitu *top*, *symmetry*, *outlet*, *inlet*, *side*, *bottom* dan *hull*.

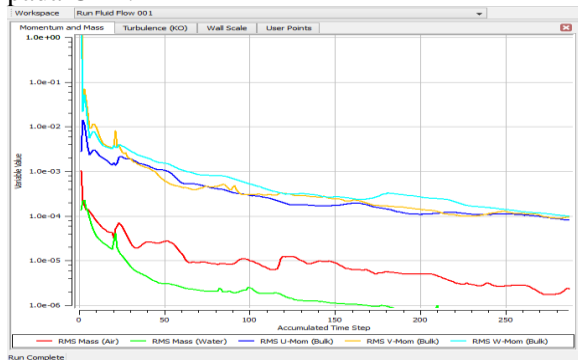
Disini juga ditentukan tingkat *error* simulasi. Tingkat *error* yang dipilih sangat minim, yaitu 0,0001. Angka tersebut dipilih karena semakin kecil tingkat *error*, semakin bagus pula kualitas hasil simulasi yang didapat.



Gambar 9. *Domain inlet* pada *setup*

### 4.2.4 Tahap Solution

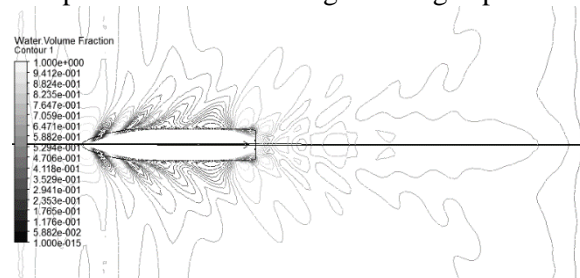
Setelah *setup* selesai di program, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.



Gambar 10. Grafik perhitungan (*running*)

### 4.2.5 Tahap Result

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap *result*. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal (*force*), model dan visualisasi aliran pada *free surface* maupun *station* di belakang lambung kapal.



Gambar 11. Visualisasi aliran fluida

### 4.3 Validasi Hasil Pengujian Model Menggunakan Software

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan hasil uji *towing tank* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk digunakan pada *boundary condition* pada saat menganalisa 3 model kapal menggunakan *software* CFX. Adapun maximal *error* untuk validasi antara CFX dengan hasil uji *towing tank* adalah 10%.

Tabel 4. Data hasil Validasi

Model Kapal	$C_T \times 10^{-3}$ Eksperimen	$C_T \times 10^{-3}$ CFD	Selisih
Model 1	6.362	5.999	0.363 (5.71%)
Model 2	6.658	6.122	0.536 (8.05%)
Model 3	6.214	5.699	0.515 (8.29%)

Hasil  $C_T$  atau koefisien hambatan total yang didapatkan pada CFX untuk model pertama atau model haluan *spherical bulb* adalah 0,005999, hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 10% dari hasil uji *towing tank* yaitu 0,006362, jadi selisihnya 0,000363 atau 5,71 %. Untuk model kedua atau model haluan *tapering bulb* adalah 0,006122, hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 10% dari hasil uji *towing tank* yaitu 0,006658, jadi selisihnya 0,000536 atau 8,05 %. Dan untuk model ketiga atau model haluan *x-bow* adalah 0,005699, hasil tersebut masuk dalam kriteria *error* dibawah 10% dari hasil uji *towing tank*

yaitu 0,006214, jadi selisihnya 0,000515 atau 8,29 %.

#### 4.4 Perhitungan dan Pembahasan Nilai Hambatan Total Kapal

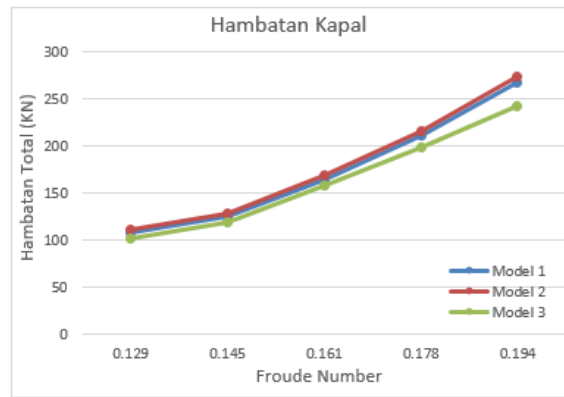
Perhitungan hambatan kapal dengan metode *Computational Fluid Dynamic* pada *post processor* (hasil *running*) diambil dari tahap *results*. Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data matang. Perhitungan nilai hambatan total tiap-tiap model pada variasi kecepatan yang telah ditentukan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Nilai  $C_t$ ,  $C_f$ ,  $C_r$  dari tiap model kapal

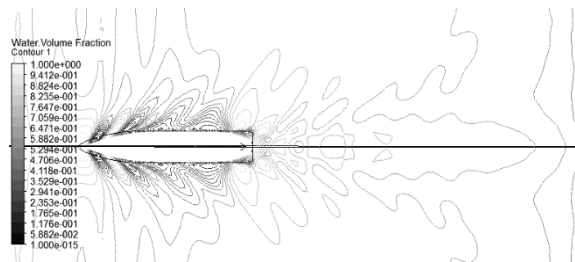
No	Nama Model	Nilai Fn	$C_t$	$C_f$	$C_r$
1	Model 1	0.129	0.00660441	0.00509274	0.00151167
		0.145	0.00599887	0.00496214	0.00103674
		0.161	0.00641325	0.00484813	0.00156512
		0.178	0.00678664	0.00472726	0.00205938
		0.194	0.00721144	0.00463261	0.00257883
2	Model 2	0.129	0.00672852	0.00516196	0.00156656
		0.145	0.00612228	0.00498684	0.00113545
		0.161	0.00653704	0.00488266	0.00165438
		0.178	0.00690574	0.0047585	0.00214724
		0.194	0.00736809	0.00466287	0.00270522
3	Model 3	0.129	0.00619571	0.00505446	0.00114125
		0.145	0.00569928	0.00490059	0.00079869
		0.161	0.00612509	0.00480779	0.00131730
		0.178	0.00638111	0.00471611	0.00166500
		0.194	0.00656539	0.00461348	0.00195190

Tabel 6. Perhitungan nilai  $R_T$  (Hambatan Total) tiap-tiap model skala 1:1

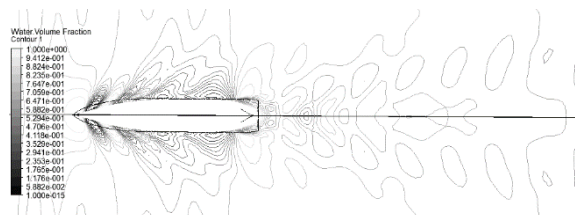
No	Nama Model	Nilai Fn	Kecepatan (m/s)	$C_t$	$R_t$ (KN)
1	Model 1	0.129	4.112	0.00660441	108.77
		0.145	4.626	0.00599887	125.04
		0.161	5.14	0.00641325	165.03
		0.178	5.654	0.00678664	211.31
		0.194	6.168	0.00721144	267.22
2	Model 2	0.129	4.112	0.00672852	110.96
		0.145	4.626	0.00612228	127.79
		0.161	5.14	0.00653704	168.45
		0.178	5.654	0.00690574	215.32
		0.194	6.168	0.00736809	273.40
3	Model 3	0.129	4.112	0.00619571	101.82
		0.145	4.626	0.00569928	118.54
		0.161	5.14	0.00612509	157.28
		0.178	5.654	0.00638111	198.26
		0.194	6.168	0.00656539	242.76



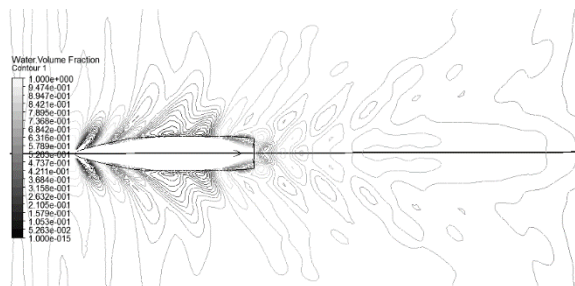
Gambar 12. Grafik hambatan total kapal



Gambar 13. Wake pada free surface model 1 dengan froude number 0,194



Gambar 14. Wake pada free surface model 2 dengan froude number 0,194



Gambar 15. Wake pada free surface model 3 dengan froude number 0,194

Dari penyajian tabel hasil perhitungan dan gambar grafik diatas menunjukkan perbedaan nilai koefisien total dan nilai hambatan total dari tiap model kapal sesuai *Froude number* dan kecepatan masing-masing model kapal.

1. Nilai koefisien total terendah dihasilkan oleh ketiga model saat *Froude number* 0,145 dengan kecepatan kapal 9 knot. Didapatkan nilai  $C_T$  model 1 sebesar 0,005999 dengan

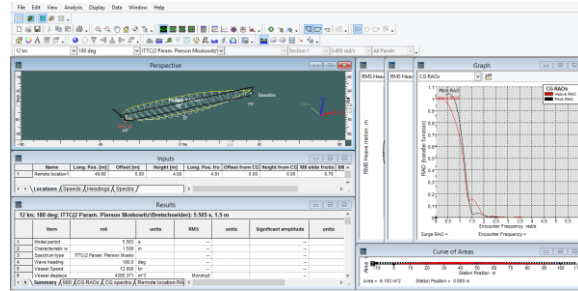
RT sebesar 125,04 KN. Nilai  $C_T$  model 2 sebesar 0,006122 dengan RT sebesar 127,79 KN. Dan model 3 memiliki nilai  $C_T$  sebesar 0,005699 dengan nilai RT sebesar 118,54 KN.

2. Nilai koefisien total tertinggi dihasilkan oleh ketiga model saat *Froude number* 0,194 dengan kecepatan kapal 12 knot. Didapatkan nilai  $C_T$  model 1 sebesar 0,007211 dengan RT sebesar 267,22 KN. Nilai  $C_T$  model 2 sebesar 0,007368 dengan RT sebesar 273,40 KN. Dan model 3 memiliki nilai  $C_T$  sebesar 0,006565 dengan nilai RT sebesar 242,76 KN.

#### 4.5 Perhitungan *Seakeeping* Kapal Pada *Maxsurf*

Pengujian *seakeeping* dimulai dengan pembuatan model kapal di *Maxsurf Modeler 20.0*. Setelah itu model kapal dianalisa menggunakan *Maxsurf Motions 20.0*. *Maxsurf Motions* adalah program yang digunakan untuk menghitung besarnya *seakeeping* model kapal serta menganalisa bentuk gelombang yang terjadi. Hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk angka dan grafik. Berikut adalah langkah-langkah dalam simulasi perhitungan *seakeeping*:

- Buka program *Maxsurf Motions 20.0*.
- Buka *File, Open Design*.
- Pada *window Inputs* masukan ukuran kapal, kecepatan kapal, sudut hadap yang akan dianalisa, tipe analisa yang akan digunakan, tinggi gelombang dan periode gelombang.
- Pada menu *Analysis* pilih *Analysis Type > Strip Theory*.
- Pilih *Measure Hull*. Masukan nilai pada kolom *number of mapped sections*. Kemudian masukan nilai pada kolom *maximum number of mapping*. Centang semua *select surface* kemudian OK.
- Tentukan *Vessel Type*, pilih *Monohull* kemudian OK.
- Pilih *Mass Distribution*, isi *roll gyradius*, *pitch gyradius*, *yaw gyradius*, dan *VCG* kemudian OK.
- Tentukan jenis *wave force* pada menu *Analysis > Strip Theory Method*.
- Untuk memulai *running* analisa *seakeeping* pilih menu *Analysis > Solve Seakeeping Analysis*.



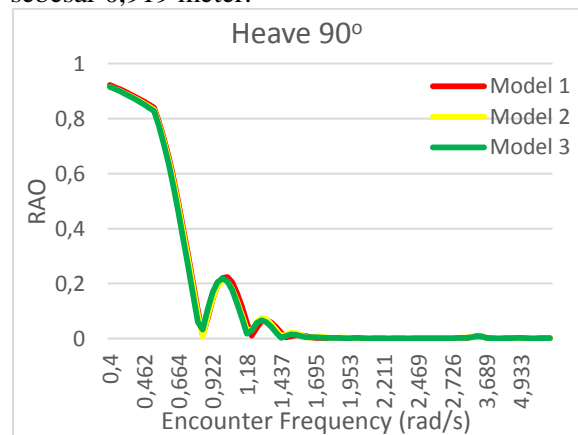
Gambar 16. Perhitungan *Seakeeping* Menggunakan *Maxsurf Motions*

Setiap model kapal dianalisa dengan kecepatan kapal 12 Knot. Sudut datang terhadap kapal yang dianalisa adalah  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$ . Tinggi gelombang yang digunakan adalah 3 meter, 3,5 meter dan 4 meter dengan periode gelombang sebesar 6,4 detik, 7 detik dan 7,5 detik. Tipe analisa yang digunakan adalah *ITTC (2 Param. Pierson Moskowitz/Bretschneider)*.

#### 4.6 Analisa *Seakeeping* Kapal

Perhitungan *seakeeping* kapal pada *Maxsurf Motions* akan didapatkan hasil berupa grafik *RAO (Response Amplitude Operator)* dan nilai *RMS (Root Mean Square)* untuk gerakan *heave* dan gerakan *pitch* kapal. *RAO* adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu. Berikut adalah grafik dari masing-masing gerakan.

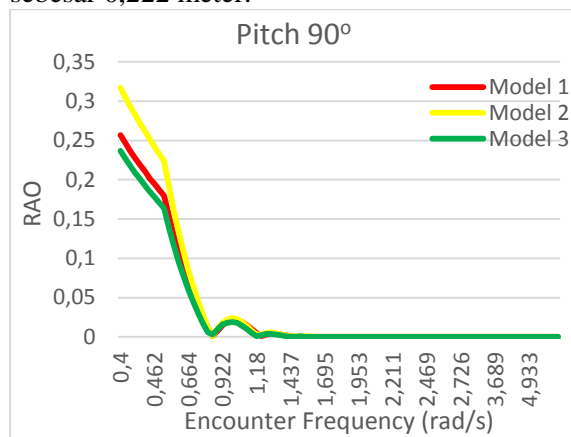
Gambar 17 merupakan grafik kapal gerakan *heave* pada sudut  $90^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi dari setiap model pada frekuensi 0,4 rad/s. Nilai *RAO* model 1 sebesar 0,922 meter, model 2 sebesar 0,916 meter dan model 3 sebesar 0,919 meter.



Gambar 17. Grafik *RAO Heave*  $90^\circ$

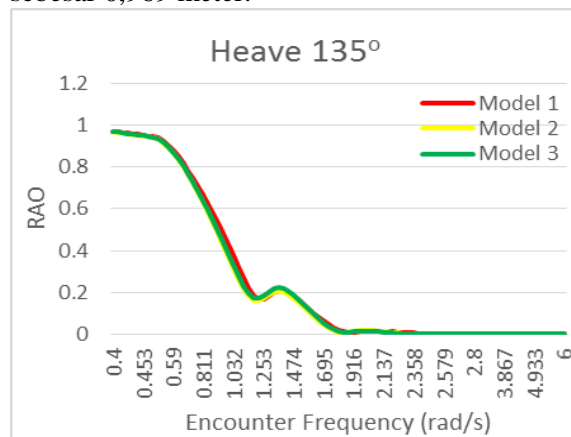


Gambar 18 merupakan grafik kapal gerakan *pitch* pada sudut  $90^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi dari setiap model pada frekuensi 0,4 rad/s. Nilai RAO model 1 sebesar 0,257 meter, model 2 sebesar 0,317 meter dan model 3 sebesar 0,222 meter.



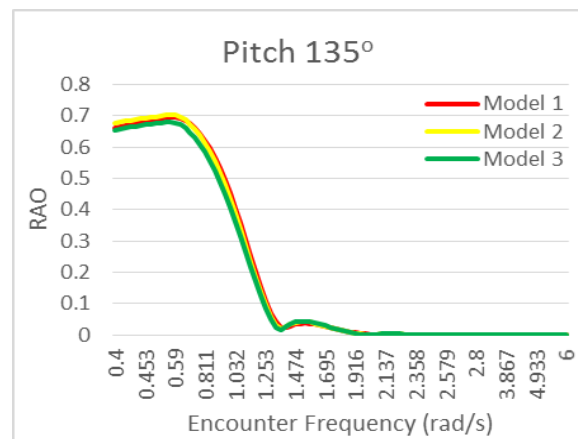
Gambar 18. Grafik RAO Pitch  $90^\circ$

Gambar 19 merupakan grafik kapal gerakan *heave* pada sudut  $135^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi dari setiap model pada frekuensi 0,4 rad/s. Nilai RAO model 1 sebesar 0,971 meter, model 2 sebesar 0,967 meter dan model 3 sebesar 0,969 meter.



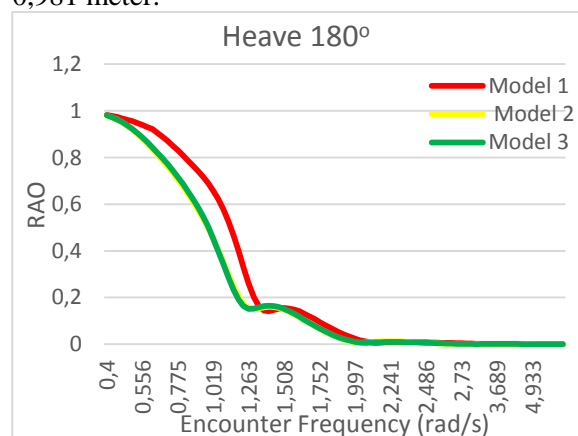
Gambar 19. Grafik RAO Heave  $135^\circ$

Gambar 20 merupakan grafik kapal gerakan *pitch* pada sudut  $135^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi dari setiap model pada frekuensi 0,554 rad/s. Nilai RAO model 1 sebesar 0,697 meter, model 2 sebesar 0,704 meter dan model 3 sebesar 0,681 meter.



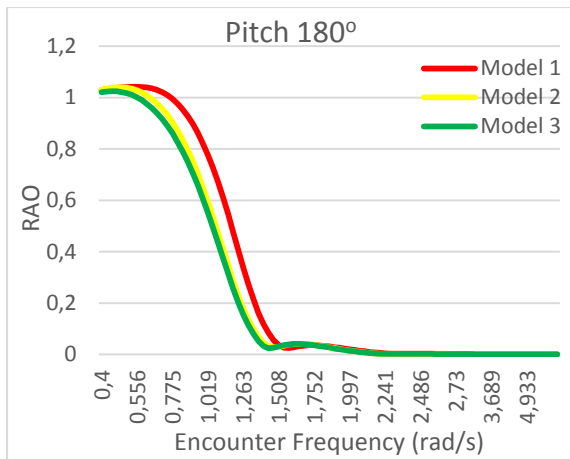
Gambar 20. Grafik RAO Pitch  $135^\circ$

Gambar 21 merupakan grafik kapal gerakan *heave* pada sudut  $180^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi dari setiap model pada frekuensi 0,4 rad/s. Nilai RAO model 1 sebesar 0,983 meter, model 2 sebesar 0,98 meter dan model 3 sebesar 0,981 meter.



Gambar 21. Grafik RAO Heave  $180^\circ$

Gambar 22 diatas merupakan grafik kapal gerakan *pitch* pada sudut  $180^\circ$  terhadap gelombang reguler dengan amplitudo gerakan tertinggi. Nilai RAO tertinggi model 1 sebesar 1,042 meter pada frekuensi 0,533 rad/s, model 2 sebesar 1,04 meter pada frekuensi 0,467 rad/s dan model 3 sebesar 1,026 meter pada frekuensi 0,444 rad/s.



Gambar 22. Grafik RAO Pitch 180°

Tabel 7. Nilai RMS *heave motion*

Model	RMS Heave Motion (meter)								
	Tinggi Gelombang 3 meter			Tinggi Gelombang 3,5 meter			Tinggi Gelombang 4 meter		
	90°	135°	180°	90°	135°	180°	90°	135°	180°
Model 1	0.214	0.267	0.311	0.319	0.384	0.440	0.429	0.502	0.567
Model 2	0.208	0.247	0.281	0.312	0.361	0.403	0.421	0.476	0.525
Model 3	0.204	0.253	0.293	0.307	0.367	0.418	0.415	0.483	0.542

Tabel 8. Nilai RMS *pitch motion*

Model	RMS Pitch Motion (degree)								
	Tinggi Gelombang 3 meter			Tinggi Gelombang 3,5 meter			Tinggi Gelombang 4 meter		
	90°	135°	180°	90°	135°	180°	90°	135°	180°
Model 1	0.084	0.72	1.02	0.12	0.93	1.34	0.15	1.11	1.62
Model 2	0.098	0.69	0.99	0.14	0.90	1.30	0.18	1.09	1.57
Model 3	0.065	0.65	0.94	0.092	0.85	1.24	0.12	1.03	1.50

Dari penyajian gambar grafik RAO dan tabel nilai RMS diatas yang meliputi *heaving* dan *pitching* di 3 *head wave* yang berbeda, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. *Heave motion* terbesar model 1 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 0,567 meter dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,214 meter. *Heave motion* terbesar model 2 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 0,525 meter dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,208 meter. *Heave motion* terbesar model 3 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 0,542 meter dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,204 meter.

2. *Pitch motion* terbesar model 1 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 1,62° dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,084°. *Pitch motion* terbesar model 2 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 1,57° dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,098°. *Pitch motion* terbesar model 3 terjadi pada *head wave* dari arah *head* ( $\mu = 180^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 4 meter yaitu sebesar 1,50° dan nilai terendah ada pada *head wave* dari arah *beam* ( $\mu = 90^\circ$ ) dengan tinggi gelombang 3 meter yaitu sebesar 0,065°.

#### 4.7 Analisa Probability of Slamming

Nilai *probability of slamming* didapatkan dengan mencari nilai relatif *vertical motion* ( $M_0$ ) dan nilai relatif *vertical velocity* ( $M_2$ ). Dari *running* model kapal menggunakan *software Maxsurf Motions 20.0*, didapat nilai  $M_0$  dan  $M_2$  dari setiap model kapal sesuai dengan tinggi gelombang yang dianalisa.

Tabel 9. Nilai relatif *vertical motion* ( $M_0$ )

Model	Relatif Vertical Motion ( $M_0$ ) (meter)								
	Tinggi Gelombang 3 meter			Tinggi Gelombang 3,5 meter			Tinggi Gelombang 4 meter		
	90°	135°	180°	90°	135°	180°	90°	135°	180°
Model 1	0,696	0,563	0,542	0,752	0,596	0,566	0,800	0,625	0,587
Model 2	0,698	0,579	0,543	0,755	0,615	0,568	0,804	0,647	0,590
Model 3	0,701	0,594	0,559	0,758	0,634	0,589	0,808	0,669	0,615

Tabel 10. Nilai relatif *vertical velocity* ( $M_2$ )

Model	Relatif Vertical Velocity ( $M_2$ ) (m/s)								
	Tinggi Gelombang 3 meter			Tinggi Gelombang 3,5 meter			Tinggi Gelombang 4 meter		
	90°	135°	180°	90°	135°	180°	90°	135°	180°
Model 1	0,787	1,075	1,188	0,814	1,089	1,200	0,842	1,110	1,217
Model 2	0,786	1,087	1,188	0,813	1,103	1,201	0,842	1,126	1,218
Model 3	0,788	1,097	1,201	0,816	1,116	1,216	0,845	1,141	1,236

Dari data nilai  $M_0$  dan  $M_2$ , maka didapat nilai *probability slamming* tiap model kapal sesuai dengan tinggi gelombang yang diuji.

Tabel 11. Nilai *probability of slamming* model 1

Tinggi Gelombang	Probability of Slamming		
	90°	135°	180°
3 meter	4.85029E-08	1.34488E-08	1.12537E-08
3,5 meter	1.36312E-07	3.10621E-08	2.18018E-08
4 meter	3.06486E-07	6.22973E-08	3.7964E-08

Tabel 12. Nilai *probability of slamming* model 2

Tinggi Gelombang	Probability of Slamming		
	90°	135°	180°
3 meter	4.9787E-08	2.07962E-08	1.15638E-08
3,5 meter	1.41297E-07	4.9389E-08	2.29813E-08
4 meter	3.22119E-07	1.01599E-07	4.08038E-08

Tabel 13. Nilai *probability of slamming* model 1

Tinggi Gelombang	Probability of Slamming		
	90°	135°	180°
3 meter	5.30054E-08	3.05381E-08	1.83186E-08
3,5 meter	1.50179E-07	7.62491E-08	3.96492E-08
4 meter	3.44442E-07	1.60257E-07	7.44617E-08

Pada kriteria NORDFORKS 1987 nilai *probability slamming* yang diijinkan adalah 0,03. Untuk model 1, model 2 dan model 3 memiliki nilai *probability slamming* dibawah 0,03 sehingga pada model 1, model 2 dan model 3 tidak memiliki kemungkinan untuk terjadinya *slamming*.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari ketiga variasi model tersebut, nilai hambatan terendah terjadi pada model 3 dengan desain haluan X-Bow yaitu koefisien total sebesar 0.006565 dan nilai hambatan total sebesar 242,76 KN. Sedangkan untuk model 1 dan model 2 menghasilkan nilai koefisien total masing-masing 0,007211 dan 0,007368. Dengan nilai hambatan total model 1 sebesar 267,22 KN dan nilai hambatan total model 2 sebesar 273,40 KN.
2. Analisa *seakeeping* kapal menunjukkan respon *heaving* kapal terkecil dialami pada sudut 90° saat tinggi gelombang 3 meter oleh model 3 yaitu sebesar 0,204 meter. Sedangkan untuk model 1 memiliki nilai 0,214 meter dan model 2 memiliki nilai 0,208 meter. Untuk respon *pitching* kapal terkecil juga dialami pada sudut 90° saat tinggi gelombang 3 meter oleh model 3 yaitu sebesar 0,065°. Sedangkan untuk model 1 memiliki nilai 0,084° dan model 2 memiliki nilai 0,098°. Untuk *probability slamming* baik model 1, model 2 maupun model 3 tidak memiliki kemungkinan untuk terjadinya *slamming*.
3. Dari hasil analisa baik dari segi hambatan maupun *seakeeping* kapal didapat bahwa model 3 yakni model dengan menggunakan

desain haluan X-Bow adalah model terbaik yang dapat dijadikan alternatif jika dibandingkan model 1 dan model 2.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Watson, D. G. M. 1998. *Practical Ship Design*. Oxford: Elsevier.
- [2] Harvald, S. A. 1983. *Resistance and Propulsion of Ship*. Toronto, Canada: John Wiley and Sons.
- [3] Lewis, Edward V. 1998. *Principles of Naval Architecture, Vol.II Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City: The Society of Naval Architectuts and Marine Engineers.
- [4] Rawson, K. J. and Tupper, E. C. 2001. *Basic Ship Teory, Volume II*. Oxford: Butterworth-Heinemann, Inc.
- [5] Bhattacharrya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley and Sons.
- [6] Perwira, Bias Ari. 2013. Tugas Akhir. *Analisa Perbandingan Hambatan Kapal antara Ulstein X-Bow dan Bulb Konvensional dengan Studi Eksperimen*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Suteja, Cornelius Tony. 2014. Tugas Akhir. *Analisa Hambatan Kapal dengan Bulbous Bow dan Tanpa Bulbous Bow di Perairan Dangkal*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Ferdianto, Rian. 2012. Tugas Akhir. *Analisa Gerakan Ponton akibat Gelombang Reguler dan Irreguler dengan Pendekatan CFD*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9] Napitupulu, Roynando. 2011. Tugas Akhir. *Analisa Hambatan dan Seakeeping Pada Fast Rescue Boat*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.