



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Pengaruh Penambahan *Hull Vane* Tipe NACA 2415 Sudut $5^\circ$ Pada Kapal Perintis 750 DWT, Variasi Jumlah Dan Posisi *Foil Hull Vane* Terhadap Hambatan Dan *Seakeeping* Kapal Dengan Menggunakan Metode CFD

Afdi Supriyonggo Nugroho<sup>1)</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas , Universitas Diponegoro

Email: [ekosasmitohadi@gmail.com](mailto:ekosasmitohadi@gmail.com) , [afdin@gmail.com](mailto:afdin@gmail.com) , [parlin1974@yahoo.com](mailto:parlin1974@yahoo.com)

### Abstrak

Perkembangan teknologi dalam dunia perkapalan terjadi sangat pesat, dan banyaknya inovasi baru di bidang perkapalan yang bertujuan untuk membenahi kekurangan atau masalah yang sering di hadapi oleh kapal yang berlayar di lautan. Hambatan dan seakeeping merupakan masalah yang selalu di hadapi. Salah satu inovasi untuk mengurangi hambatan dan *seakeeping* tersebut adalah dengan penambahan *hull vane*. *Hull vane* adalah adalah *fixed foil* yang terletak di bawah garis air pada bagian buritan kapal. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh hambatan dan *seakeeping* setelah penambahan *hull vane*, letak efektif dari *hullvane*. Dalam melaksanakan penelitian ini penulis menggunakan program komputer berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Analisa hambatan menggunakan aplikasi Tdyn, dan analisa olah gerak menggunakan *Hydrodynamic Diffraction* (ANSYS). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapal dengan penambahan *hull vane* dengan variasi 50%T(Sarat) dengan Fn 0,342 dapat mengurangi hambatan sebesar 20,135% dari hambatan kapal asli. Dari hasil running menunjukkan pengurangan hambatan total dari 28,060 N menjadi 22,410 N, pressure force dari 12,298 N menjadi 7,696 N dan hambatan gesek berkurang dari 15,085 N menjadi 14,714 N. Dan untuk seakeeping *heave acceleration* dan *Pitching* menunjukkan model 3 memiliki respon *heaving* dan *Pitching* terkecil pada Fn 0,342, yaitu *heaving* berkurang 33% dari 0.062 menjadi 0.041, *pitching* berkurang 33% dari 0.2109 menjadi 0.135.

Kata Kunci : *hull vane*, hambatan, *seakeeping*, CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

### 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang, tujuan Pada saat ini, terjadi peningkatan permintaan Pada saat ini moda transportasi merupakan merupakan aspek penting dalam perkembangan suatu daerah atau negara. Tak terkecuali dengan transportasi laut, yang memiliki fungsi penting dalam berbagai bidang, seperti bidang pertahanan, bidang pariwisata dan bidang ekonomi. Untuk memenuhi hal-hal tersebut dibutuhkan kapal dengan kecepatan tinggi untuk memenuhi berbagai bidang tersebut.

Masalah yang selalu di hadapi oleh kapal yang berlayar di laut adalah masalah hambatan dan *seakeeping*. Analisis *seakeeping* /kemampuan olah gerak kapal merupakan aspek penting dalam perancangan kapal. Berdasarkan analisis tersebut, dapat diketahui batas operasional dari sebuah kapal. Karena setiap benda yang mengapung di atas air selalu mengalami gerakan osilasi murni yaitu *heaving*, *pitching* dan *rolling*[1]. Dan gerakan-gerakan tersebut dapat disebabkan karena iklim yang tidak mendukung sehingga terjadi gelombang laut yang tinggi, Karena hal tersebut

dapat membahayakan kapal dan penumpang dari kapal tersebut. Meskipun dalam kondisi gelombang tinggi olah gerak kapal harus tetap dinamis. Salah satu inovasi untuk mengurangi hambatan dan *seakeeping* tersebut adalah dengan penambahan *hull vane*. *Hull vane* adalah adalah *fixed foil* yang terletak di bawah garis air pada bagian buritan kapal. Fungsi dari penambahan *hull vane* ini adalah mengurangi ketinggian gelombang yang dihasilkan dari putaran baling-baling kapal. Serta gaya angkat dari *hull vane* dapat mengurangi terjadinya *running trim*, yaitu trim yang terjadi ketika pada kecepatan tinggi, haluan mengangkat ke atas sementara buritan semakin tenggelam[2].

### 1.1. Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Analisa hambatan dan *seakeeping* kapal setelah penambahan *hull vane*
2. Membandingkan hasil hambatan dan *seakeeping* kapal setelah penambahan *hull vane* dari setiap variasi jumlah dan posisi *foil hull vane*
3. Mencari variasi jumlah dan posisi *foil hull vane* dengan hambatan terkecil dan respon *seakeeping* terbaik.

### 1.2. Pembatasan Masalah

Batasan masalah di gunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan penelitian. Batasan permasalahan yang di bahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kapal yang digunakan adalah Kapal Perintis 750 DWT.
2. *Hull vane* yang dikaji hanya terbatas pada analisa hambatan dan *seakeeping*.
3. Data hambatan kapal asli menggunakan pengujian *towing tank* digunakan untuk referensi awal terhadap modifikasi penambahan *hull vane*.
4. Bahasan konstruksi dan permesinan kapal tidak dibahas mendalam.
5. Analisa dan pengolahan data menggunakan *Software CFD (Computational Fluid Dynamic)*.
6. *Foil* yang digunakan adalah tipe NACA 2415.
7. Sudut *foil* yang digunakan yaitu  $5^\circ$ .
8. Variasi *hull vane* dengan 3 posisi berbeda.
9. Variasi jumlah *foil* yaitu *single* dan *double foil*.
10. Variasi uji kecepatan antara 12, 13, 14, 15, 16 Knot.

11. Panjang *chord hull vane* yang digunakan 1,15 m.
12. *Span foil* yang digunakan 9,76 m.
13. Posisi penempatan *hull vane* yang digunakan dengan titik acuan atau titik 0 berada di sarat kapal pada ujung buritan adalah sebagai berikut:
  - a. Sumbu x = -1,15 m
  - b. Sumbu y = 0,00 m
  - c. Sumbu z = -1,74 m

### 1.3. Tujuan Penelitian

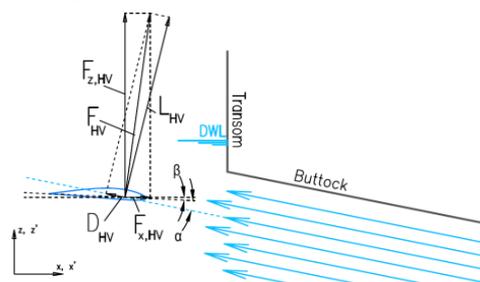
Berdasarkan latar belakang serta permasalahannya maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besar hambatan dan *seakeeping* kapal setelah penambahan *hull vane*.
2. Mengetahui perbandingan hambatan olah gerak kapal setelah penambahan *hull vane* dari setiap variasi jumlah dan posisi *hull vane*.
3. Mengetahui jumlah dan posisi *foil hull vane* yang paling berpengaruh terhadap hambatan *seakeeping* kapal.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sub Bab

*Hull vane* adalah *fixed foil* yang terletak di bawah garis air pada bagian buritan kapal. Aliran gelombang di sekitar *vane* tersebut akan mengakibatkan gaya angkat sehingga dapat menambah gaya dorong kapal[2]. Hal ini menyebabkan hambatan berkurang yang membuat bahan bakar menjadi lebih hemat. Gaya-gaya yang bekerja pada *hull vane* dapat dilihat pada gambar 1. Terdapat empat efek pada kapal yang ditimbulkan oleh adanya penambahan *hull vane* antara lain, gaya dorong kapal, trim kapal yang lebih baik, tinggi gelombang pada buritan kapal menjadi berkurang, dan olah gerak kapal menjadi lebih baik[3].



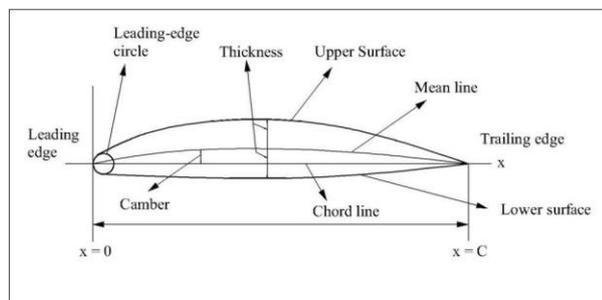
**Gambar 1.** Gaya-gaya yang bekerja pada *hull vane*[3]

*Hull vane* dapat dipasang pada kapal bangunan baru maupun kapal bangunan lama. Untuk kapal bangunan lama, pemasangan *hull vane* tidak jauh berbeda dengan kapal bangunan baru. *Hull vane* dapat dipasang pada kapal ketika

kapal masih di dalam air tanpa harus dipindah ke *drydock*.

## 2.2. Foil Theory

*Foil* adalah bentuk bangun yang dapat menghasilkan gaya angkat besar dengan hambatan sekecil mungkin. Gaya angkat (*lift*) dan *stall* dari sayap tersebut sangat bergantung pada bentuk geometris penampang *foil*-nya. Bentuk geometris penampang *foil* secara umum dapat dilihat pada gambar berikut [4]:



Gambar 2. Notasi pada *foil*

Dan bagian-bagian *foil* adalah sebagai berikut:

- *Leading edge* : sisi depan *foil*
- *Trailing edge* : sisi belakang *foil*
- *Chord* : jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*
- *Chord line* : garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
- *Mean chamber line* : garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan bawah.
- *Maximum chamber* : jarak maksimal antara *chamber line* dan *chord line*.
- *Maximum thickness*: jarak maksimal antara permukaan atas dan bawah.
- *Leading edge radius*: jari-jari kelengkungan permukaan *leading edge*, besarnya radius ini 0 – 2%.

Sudut serang adalah sudut yang dibentuk antara *chord foil* dengan *vector* kecepatan aliran fluida *freestream*. Perubahan Reynolds number dan sudut serang ( $\alpha$ ) mempengaruhi harga gaya angkat (*lift*).

## 2.3. Hambatan Kapal

Hambatan total 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[5]. Sedangkan hambatan gesek kapal diasumsikan sama dengan hambatan gesek suatu pelat datar 2-dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal.

Metode analisa 2-dimensi tersebut diatas tidak cukup merefleksikan kontribusi bentuk/kontur lambung kapal (yang 3- dimensi) terhadap hambatan viskos, kemudian diperkenalkan metode untuk digunakan dalam korelasi model kapal dimana total hambatan adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen[5]:

- 1) *Hambatan gesek (friction)* adalah gaya tangential stress yang timbul antara molekul air dan kulit badan kapal, yang kemudian sebagai hambatan bidang permukaan dengan area dan panjang yang sama dengan model.
- 2) *Hambatan bentuk (form)* adalah komponen hambatan yang dinyatakan dalam bilangan 'k', dimana merupakan hambatan diluar batas item diatas dalam kasus lambung yang tercelup cukup dalam. Hughess mengasumsikan bahwa untuk lambung yang streamline pada aliran turbulent, dapat diekspresikan sebanding dengan hambatan friction.
- 3) *Hambatan free surface* sebagai hambatan gelombang (*CW*) adalah hambatan yang timbul akibat pergerakan kapal relatif terhadap air sehingga timbul perbedaan tekanan pada permukaan (bidang) basah kapal yang selanjutnya menimbulkan *wave pattern*. Hambatan gelombang merupakan pengurangan total hambatan (*CT*) dari penjumlahan hambatan gesek (*CF*) dan hambatan bentuk (*CF0*) dari model.

## 2.4. Seakeeping

*Seakeeping* adalah gerakan yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut[1]. Faktor luar yaitu iklim yang tidak mendukung dan mengakibatkan gelombang besar.

Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami dua jenis gerakan yaitu :

1. Gerakan Rotasi, gerakan ini merupakan gerakan putaran meliputi :
  - Rolling, yaitu gerakan kapal yang mengelilingi sumbu X, ketika terjadi rolling bagian sisi kanan kapal bergerak ke bagian sisi kiri dan terulang secara bergantian.
  - Pitching, yaitu gerakan kapal yang memutar sumbu Y, ketika terjadi pitching kapal mengalami perubahan trim bagian bow dan stern secara bergantian.
  - Yawing, yaitu gerakan kapal yang memutar sumbu Z, ketika terjadi yawing bagian dan buritan kapal mengalami gerakan ke kanan dan ke kiri secara bergantian.
2. Gerakan Translasi (Linier), gerakan ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya, meliputi :

- Surging, yaitu gerakan kapal yang sejajar sumbu X dan saat terjadi surging kapal mengalami maju mundur secara horizontal.
- Swaying, yaitu gerakan kapal yang sejajar sumbu Y dan saat terjadi swaying kapal mengalami gerakan ke kanan dan ke kiri bersamaan.
- Heaving, yaitu gerakan kapal yang sejajar sumbu Z dan saat terjadi heaving kapal mengalami naik turun secara vertical.

Adapun persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan gerakan kapal adalah sebagai berikut :

#### a. Heaving

Gerakan *heaving* dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan oleh Bhattacharyya dengan persamaan :

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_e t \quad (1)$$

Dimana  $a$  adalah massa yang sebenarnya, yaitu massa kapal ditambah dengan massa tambahan (*added mass*),  $\ddot{z}$  adalah  $d^2z/dt^2$  atau percepatan ke arah vertical,  $b$  adalah konstanta peredaman (*damping constant*),  $\dot{z}$  adalah kecepatan atau  $dz/dt$ ,  $c$  adalah konstanta pemulih (*restoring constant*),  $z$  adalah pergeseran titik KG kapal,  $F_0$  adalah amplitudo dari *encountering force*,  $\omega_e$  adalah *encounter frequency* dan  $t$  adalah waktu.

#### b. Pitching

Gerakan *pitching* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$a \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + c\theta = M_0 \cos \omega_e t \quad (2)$$

Di mana,  $a$  adalah massa sebenarnya dari momen inersia,  $\frac{d^2\theta}{dt^2}$  adalah per-cepatan angular *pitching*,  $b$  adalah koefisien momen peredam (*damping moment coefficient*),  $\frac{d\theta}{dt}$  adalah kecepatan angular,  $c$  merupakan koefisien momen pemulih (*restoring moment coefficient*),  $\theta$  adalah pergeseran angular dan  $M_0 \cos \omega_e t$  adalah mo-men luar.

### 2.1.1 Response Amplitudo Operator (RAO)

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

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal ( $Z_0$ ) dengan amplitudo gelombang ( $\zeta_0$ ) (keduanya dalam satuan panjang) :

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \text{ (m/m)} \quad (3)$$

Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang,  $k_w = \omega^2/g$  dengan amplitudo gelombang :

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \quad (4)$$

Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon[6].

Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spectrum gelombang ( $S_\zeta$ ) dengan  $RAO^2$  :

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad (5)$$

### 2.1.2 Spektrum Gelombang

Adapun spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider atau ITTC dengan menggunakan dua parameter, yaitu tingi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode rata-rata ( $T_{av}$ )[6].

$$S_{ITTC \zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (6)$$

dimana :

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

$$A = 172,75 \frac{H_s^2}{T_{av}^4}$$

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

Spektrum gelombang ( $S_w$ ) yang dihasilkan dari persamaan (4) sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden ( $\omega_w$ ) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* ( $\omega_e$ ). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spectrum gelombang papasan ( $S_e$ ). Untuk dapat menghitung frekuensi gelombang papasan dapat menggunakan :

$$\omega_e = \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad (7)$$

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>)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Ukuran Utama Kapal

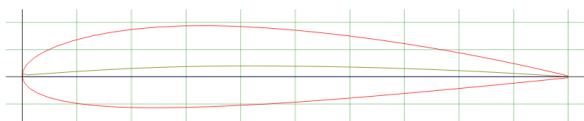
Ukuran utama kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Nama	Ukuran
1	Length Over All	64 m
2	Length of Waterline	58,96 m
3	Length of Perpendicular	57 m
4	Breadth	11,6 m
5	Draft	2,9 m
7	Depth	4,5 m
8	Displacement	1164 Ton

#### 3.2. Ukuran Foil

Seri foil yang digunakan untuk hull vane adalah seri NACA 2415 Spesifikasi *Max Thickness 15% at 29,5% chord* dan *Max Chamber 2% at 39,6% chord*[7].



Gambar 4. Foil NACA 2415[7]

#### 3.3. Variasi Model

Pada analisa ini, hambatan hull vane dianalisa dari kecepatan 12 sampai 16 knot.

Tabel 2. Variasi Kecepatan Kapal

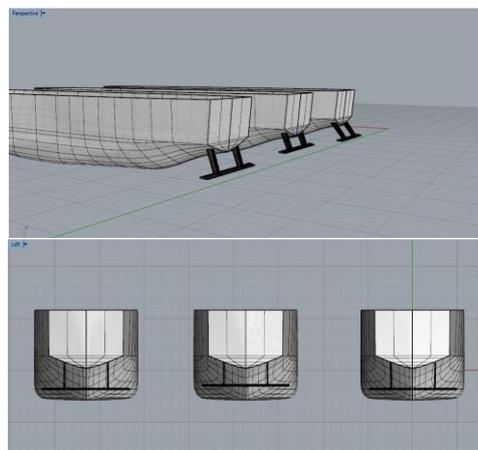
Fr	v	
	m/s	knot
0.2567	1,455	12
0.2781	1,576	13
0.2994	1,698	14
0.3208	1,819	15
0.3422	1,940	16

Selain itu, model ini juga divariasikan posisi dan jumlah foil sebagai berikut :

Tabel 3. Variasi Model

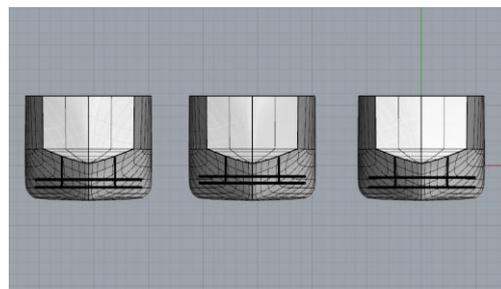
Md	Posisi	Jml Foil
1	Sesuai Perhitungan	1
2	50% Sarat keatas dari model 1	1
3	4% LWI ke belakang dari model 1	1
4	Sesuai model 1	2
5	50% Sarat keatas dari model 1	2
6	4% LWI ke belakang dari model 1	2

Berikut adalah gambaran variasi posisi yang hull vane yang akan dianalisa :



Gambar 5. Variasi posisi model

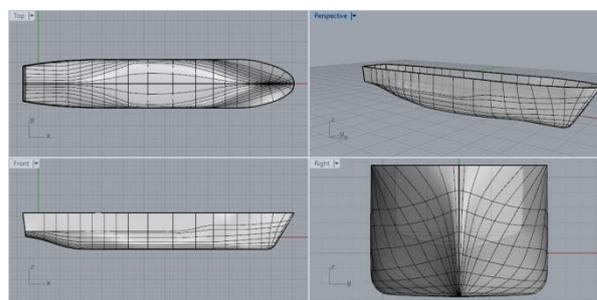
Berikut adalah gambaran variasi double foil pada hull vane yang akan dianalisa :



Gambar 6. Variasi double Foil.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan software *Rhinoceros v 5.0*:



Gambar 7. Obyek penelitian

Hasil pemodelan terlebih dahulu diskala 1 : 100 lalu di *ekspor* kedalam bentuk file *.iges* kemudian dibuka di software CFD *Tdyn 12.2.3*.

#### 1. Variasi Hull Nane

Sesuai dengan metodologi penelitian maka didapatkan korespondensi nilai parameter *hydrofoil* sebagai berikut :

Tabel 4. Variasi *Hull Vane*

Model	Letak foil dari		Ukuran Foil		Jumlah Foil
	LWL (m)		Chord	Span	
	x	z			
Asli	-	-	-	-	-
1	-1,15	-1,74	1,15	9,76	1
2	-1,15	-1,45	1,15	9,76	1
3	-2,36	-1,74	1,15	9,76	1
4	-1,15	-1,74	1,15	9,76	2
5	-1,15	-1,45	1,15	9,76	2
6	-2,36	-1,74	1,15	9,76	2

## 2. Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

*Software* CFD yang digunakan adalah *Tdyn* versi 12.2.3. Proses simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model badan kapal dalam bentuk file *.Iges* yang berasal dari file *export* program *Rhinoceros v 5.0*. Kemudian tahap selanjutnya adalah pembuatan *boundary layer* dengan ukuran pada sumbu x pada bagian belakang kapal berukuran 3xL dan di depan kapal berukuran 2xL. Untuk sumbu y masing-masing berukuran 1xL pada *Starboard* dan *Portside*. Sedang sumbu z berukuran 2xL.

Pada dasarnya sama dengan jenis *software* lain yang berbasis *Computational FluidDynamic*. Tahap analisisnya secara umum dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. *Pre-processor*
- b. *Solver Manager*
- c. *Post-processor*

### 4.3.1. Tahap *Pre-processor*

Tahap Preprocessor pada *software Tdyn 12.2.3*. ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu *Materials and Properties*, *Initial Condition Data*, *Modules data* dan *Meshing data*.

#### 1. *Materials and Properties*

Pada tahap ini kita harus mengisi criteria fluida yang akan dianalisis. Sebelum mengatur criteria fluida, sebelumnya kita harus membuat volume di sekitar *boundarylayer* sebagai fluida. Kemudian atur fluida berdasar batasan masalah yaitu kondisi air tenang, *steady state*, dan dekompresi, maka kita mengisi massa jenis air 1025 kg/m<sup>3</sup> dan kekentalan jenis 0,001025 kg/m.s.

#### 2. *Initial Condition Data*

Pada tahap ini kita harus mengatur domain daerah *boundary layer*. Tahap-tahapnya antara lain :

- ❖ pengaturan *freesurface* diatur berada pada daerah permukaan air. Kemudian atur *time integration* dengan *Adam Basforth 2* dan atur panjang kapal.

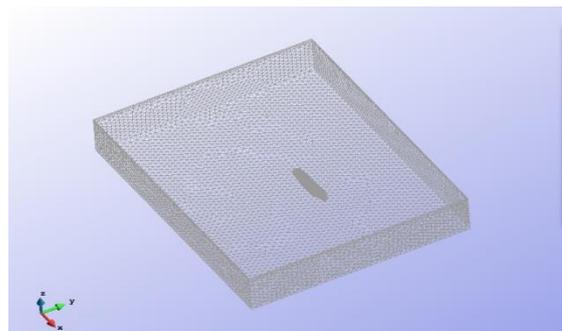
- ❖ pengaturan *wall, inlet* dan *bottom surface* pada menu *fluid flow* dan sub menu *velocity field*.
- ❖ pengaturan outlet pada submenu pada menu *fluid flow* dan sub menu *pressure field*.
- ❖ pengaturan badan kapal pada menu *fluid flow* dan sub menu *wall/bodies*.
- ❖ pengaturan kecepatan kapal pada menu *initial and condition data* dan submenu *initial and field data*. Input besarnya kecepatan pada sumbu x.

#### 3. *Modules Data*

Pada tahap ini kita akan mengatur jenis aliran fluida dengan menngatur pada menu *fluid flow* dan submenu *turbulence*, atur model *turbulence K\_Omega\_SST*.

#### 4. *Meshing Data*

Setelah pengaturan *boundary layer* dan fluida selesai kemudian dilanjutkan dengan *meshing* komponen. Tahapnya yaitu, pilih menu *mesh* pada menu bar, pilih unstructured pilih surface seluruh komponen layer. Kemudian akan muncul ukuran mesh yang ingin kita gunakan. Ukuran yang digunakan yaitu 0,03276 untuk daerah kapal, 0,1638 untuk *freesurface*, 0,3276 untuk seluruh komponen sisa.



Gambar 8. *Meshing Boundary*

### 4.3.2. Tahap *Solver Manager*

Tahap *Solver Manager* ini dapat dilakukan setelah tahap *Pre Processor* selesai dilakukan. Dalam tahap ini proses perhitungan (running) dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD. Setupnya pada menu *Fluids Dynamic Data > analysis* kemudian diisi iterasi sebanyak 650 keatas untuk semua kecepatan, initial stepsnya 50. Kemudian untuk hasilnya *Fluids Dynamic Data > result* atur output step ke 50 dan result file pada *Binary 1*.

### 4.3.3. Tahap *Post Processor*

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di *window traditional post* pada menu *post proses*. Pada

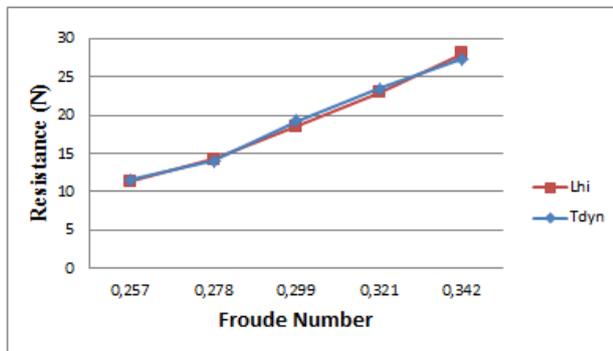
penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal (*force*). Pada window ini juga bisa melihat model dan visualisasi aliran berupa 2 dimensi ataupun 3 dimensi, serta dapat menampilkan data *table* maupun *analysis frame* untuk melihat pergerakan fluida.

### 3. Validasi Hambatan Kapal Original

Analisa perhitungan hambatan menggunakan ukuran kapal sesuai dengan pengujian dari LHI yaitu ukuran 1:18. Dari hasil hambatan LHI akan di bandingkan dengan hasil *running tdyn*. Hasilnya sebagai berikut [8]:

Tabel 6 Validasi dengan LHI pada kapal asli

Fn	RT LHI (N)	RT Tdyn (N)	koreksi (%)
0,257	11,37	11,630	2,236
0,278	14,29	14,012	-1,984
0,299	18,54	19,240	3,638
0,321	22,96	23,455	2,110
0,342	28,06	27,383	-2,472



Gambar 9. Grafik nilai Validasi

Validasi ini digunakan untuk pengaturan konvergensi ukuran *meshing* yang sesuai. Sehingga ukuran 0,03276 untuk daerah kapal bawah air, 0,03276 untuk *freesurface*, 0,3276 untuk seluruh komponen sisa kecuali *hull vane* 0,001638 bisa digunakan.

### 4. Perhitungan Hambatan Kapal

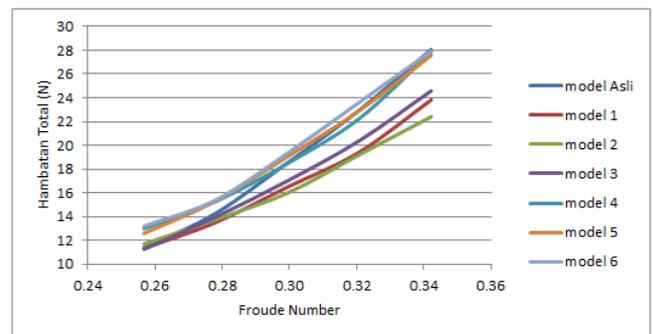
Dalam simulasi numerik pada *Computational Fluid Dynamic Tdyn 12.2.3.0* ini nilai hambatan dapat dilihat setelah melakukan *running data* pada menu "*Force on Boundaries*". Simulasi fluida untuk *Froude Number* (Fn) 0,257, 0,278, 0,299, 0,321 dan 0,342. Berikut hasil simulasi analisa hambatan:

Tabel 7. Hambatan total setiap pada *Froude Number*

Md/Fn	Hambatan Total (N)				
	0.257	0.278	0.299	0.321	0.342
Asli	11.370	14.290	18.540	22.960	28.060
1	11.335	13.520	16.502	19.435	23.817
2	11.712	13.771	15.996	19.215	22.410
3	11.257	13.981	17.017	20.395	24.585
4	12.999	15.287	18.481	22.257	27.836
5	12.593	15.322	19.057	22.921	27.571
6	13.203	15.399	19.347	23.619	27.924

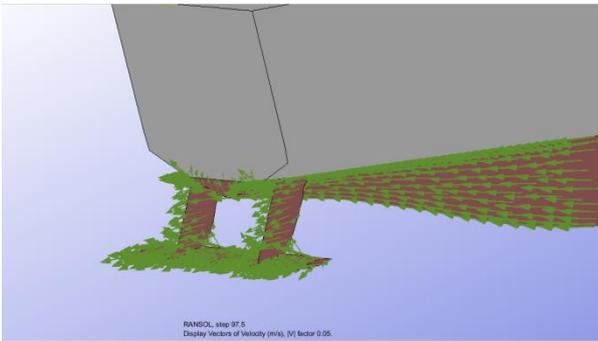
Tabel 8. Hambatan total kapal asli setiap pada *Froude Number*

Md/Fn	Hambatan Total (KN)				
	0.257	0.278	0.299	0.321	0.342
Asli	66,304	48,83	108,05	125,44	163,61
1	66,1	78,96	96,17	106,18	138,87
2	68,29	80,43	93,22	104,98	130,67
3	65,64	81,66	99,49	111,42	143,35
4	75,75	89,28	96,17	106,18	138,87
5	73,43	89,49	111,06	125,23	160,76
6	76,99	89,94	112,75	129,04	162,82



Gambar 10. Hambatan total kapal model pada setiap *Froude Number*

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, nilai hambatan menggunakan CFD variasi posisi 50%T *single foil* memiliki hambatan terjecil. Nilai hambatan total dapat diperkecil hingga 20,135% dari hambatan *Original*, nilai ini terjadi pada *Froude Number* 0,342.



Gambar 11. Vector of Velocity model 2 pada Froude Number 3,42

#### 4.6. Perhitungan Seakeeping Kapal

Olah gerak kapal dianalisa menggunakan *Hydrodynamic Diffraction*, hasil pemodelan dari *Rhinoceros* diekspor dalam bentuk file .iges. Analisa *Hydrodynamic Diffraction* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah olah gerak kapal ikan yang sudah divariasi meliputi *heaving*, *pitching*, dan *rolling*.

##### 4.6.1. Meshing

Perhitungan *Meshing* pada *Hydrodynamic Diffraction* menggunakan *element sizing* 1/40 LOA. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan kerapatan yang lebih bagus pada proses *meshing* dan hasil yang lebih akurat.

Analisis olah gerak dihitung dengan menggunakan metode *Hydrodynamic Diffraction* dengan 5 variasi kecepatan yaitu pada *froude number* 0,257, 0,278, 0,299, 0,321 dan 0,342 pada sudut *heading* 180°. Hasil analisa olah gerak ini berupa *Response Amplitudo Operator* (RAO) untuk *heave* dan *pitch*. Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang reguler yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spektrum gelombang 7. Tinggi gelombang yang digunakan adalah setinggi 4 m, untuk mengetahui respon kapal apabila mengalami gelombang tinggi.

##### 4.6.2. Evaluasi Kriteria Heave dan Pitching

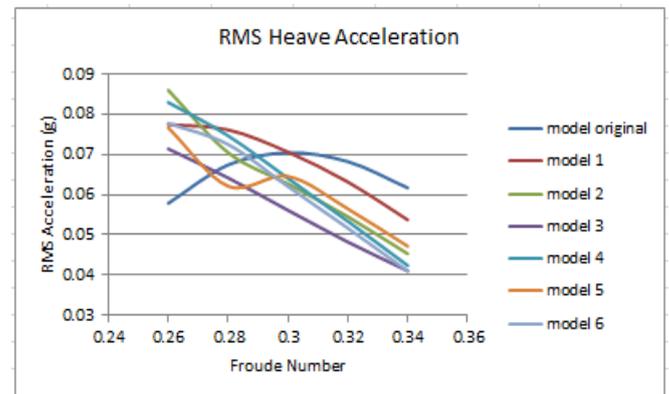
Berdasarkan analisa yang dilakukan menggunakan metode CFD dan dilanjutkan dengan perhitungan secara manual didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 11. RMS Heave setiap pada Froude Number

Fn/md	RMS Heave Acceleration (g)			
	1	2	3	4
0.257	0.078	0.086	0.071	0.083
0.278	0.076	0.070	0.064	0.075
0.299	0.071	0.063	0.056	0.064
0.321	0.063	0.055	0.048	0.053
0.342	0.054	0.045	0.041	0.042

Tabel 12. RMS Heave setiap pada Froude Number

Fn/md	RMS Heave Acceleration (g)			Kriteria standard (g)
	5	6	Model original	
0.257	0.077	0.078	0.058	0.275
0.278	0.062	0.073	0.067	0.275
0.299	0.065	0.062	0.070	0.275
0.321	0.057	0.052	0.068	0.275
0.342	0.047	0.041	0.062	0.275



Gambar 13. RMS Heave setiap pada Froude Number

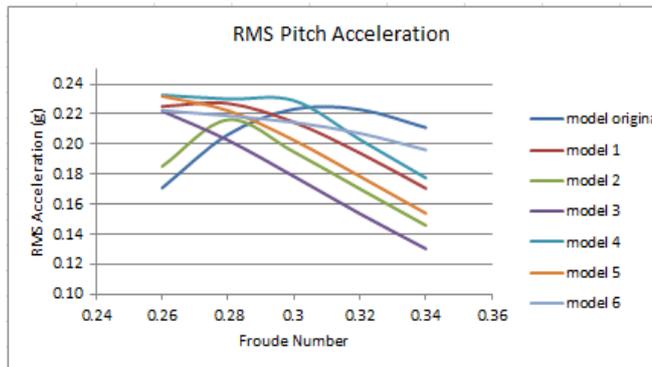
Dari data dan grafik diatas, menunjukkan bahwa semua variasi jenis model kapal pada Fn 0,257, 0,278, 0,299, 0,321 dan 0,342 memenuhi kriteria percepatan *Heave* yang ditentukan berdasarkan kriteria seakeeping untuk kapal niaga.

Tabel 13. RMS Pitching setiap pada Froude Number

Fn/Md	RMS Gerakan Pitching			
	1	2	3	4
0.257	0.225	0.185	0.222	0.233
0.278	0.227	0.216	0.203	0.230
0.299	0.215	0.195	0.178	0.229
0.321	0.194	0.170	0.154	0.203
0.342	0.170	0.146	0.135	0.187

Tabel 14. RMS *Pitching* setiap pada *Froude Number*

Fn/Md	RMS Gerakan <i>Pitching</i>			Kriteria standard (g)
	5	6	Model original	
0.257	0.232	0.222	0.171	0.275
0.278	0.222	0.219	0.206	0.275
0.299	0.203	0.215	0.223	0.275
0.321	0.179	0.207	0.223	0.275
0.342	0.154	0.196	0.211	0.275



Gambar 14. RMS *Pitch* setiap pada *Froude Number*

Dari tabel di atas kita dapat melihat bahwa dalam analisis gerakan *heaving*, model kapal *single foil hull vane* dengan posisi *foil* 4%LWL di belakang kapal dan 60%T adalah model yang mempunyai gerakan yang paling baik karena dapat mengurangi nilai RMS *acceleration* pada hampir ditiap Fn, dengan pengurangan mencapai 33% pada Fn 0,34. Sedangkan hasil analisis gerakan *pitching* menunjukkan bahwa kapal model *single foil* dengan posisi *foil* 4%LWL di belakang kapal dan 60%T memiliki gerakan yang paling baik karena dapat mengurangi nilai RMS *acceleration* pada hampir ditiap Fn, dengan pengurangan mencapai 33% pada Fn 0,34

## 5. Kesimpulan

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

1. Hasil simulasi menggunakan CFD menunjukkan dari keenam variasi model tersebut, memiliki nilai hambatan terkecil terjadi pada variasi model ke 2 (50% sarat) sebesar 20,135 % dari hambatan kapal asli. Dari hasil running menunjukkan pengurangan hambatan total dari 28,060 N menjadi 22,410 N, pressure force dari 12,298 N menjadi 7,696 N dan hambatan gesek berkurang dari 15,085 N menjadi 14,714 N. Dari data-data di atas dengan penambahan

*hull vane* dapat mengurangi hambatan kapal pada model 1, model 2, dan model 3, sedangkan pada model 4, model 5 dan model 6 tidak terjadi penurunan hambatan yang signifikan.

2. Hasil analisa gerakan *heaving acceleration* menunjukkan bahwa kapal memiliki gerakan *Heaving* yang sesuai standard minimal, yang dilakukan pada model kapal saat dilakukan proses simulasi software sesuai kriteria yang berlaku yaitu sebesar 0,275g. Dan mengurangi dari 0,062 menjadi 0,041. Untuk *pitching motion* menunjukkan bahwa kapal memiliki gerakan yang sesuai standard minimal saat proses simulasi sesuai dengan kriteria yang berlaku sebesar 0,275g. Dan mengurangi dari model asli yaitu berkurang dari 0.2109g menjadi 0,135g.
3. Hasil simulasi menggunakan *software* menunjukkan variasi model ke 2 (posisi 50% Sarat) merupakan posisi yang dapat berpengaruh terhadap nilai hambatan paling bagus, dan untuk model ke 3 (4 % LWL) merupakan posisi yang memiliki nilai *heaving* dan *pitching* paling bagus. Hasil hambatan dan *seakeeping* menunjukkan bahwa *single foil* memiliki hasil dan respon *seakeeping* lebih bagus dari pada *double foil*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik, P. (2007). Analisa gerakan *seakeeping* kapal pada gelombang reguler. *Kapal*, 4, 1–10.
- [2] Andrews A., Avala V.K., Sahoo P.K., Ramakrishnan S. 2015. “*Resistance Characteristics For High-Speed Hull Forms with Vanes*”. Florida Institute of Technology : Melbourne, Florida.
- [3] Uithof K., Hagemester N., Bouckaert B., van Oossanen P.G., Moerke N., 2016. “*A Systematic Comparison of the Influence of the Hull Vane®, Interceptors, Trim Wedges, and Ballasting on the Performance of the 50m AMECRC Series #13 Patrol Vessel*”. Bath, UK. Warship 2016 : Advanced Technologies in Naval Design, Construction, & Operation.
- [4] Abbott I.R. and Von Doenhoff A.E. 1959. *Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data*. New York: Dover Publications, Inc.
- [5] Savitsky, D. 1985. “*Planing Craft*”. Naval Engineers Journal, Chapter IV.

- [6] M. Iqbal and G. Rindo. 2015. "*Optimasi Bentuk Semihull Kapal Katamaran untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping,*" Kapal, vol. 12, pp. 19–24.
- [7] NACA 2415.  
*http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=n2415-il*. Diakses tanggal 4 April 2017 pukul 23:25.
- [8] Anonim. *Pengujian Kapal Perintis 750 DWT*. Lembaga Hidrodinamika Indonesia. Surabaya