



TUGAS AKHIR - MN 141581

***ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC TERHADAP  
HAMBATAN CREW BOAT DENGAN PENAMBAHAN  
INTEGRATED WEDGES-FLAP***

Muhammad Auliya Alamsyah  
NRP 4110100075

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017





**TUGAS AKHIR - MN 141581**

***ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC TERHADAP  
HAMBATAN CREW BOAT DENGAN PENAMBAHAN  
INTEGRATED WEDGES-FLAP***

**Muhammad Auliya Alamsyah  
NRP 4110100075**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**FINAL PROJECT - MN 141581**

**COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF CREW  
BOAT WITH INTEGRATED WEDGES FLAP RESISTANCE**

**Muhammad Auliya Alamsyah  
NRP 4110100075**

**Supervisor  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC  
TERHADAP HAMBATAN CREW BOAT DENGAN  
PENAMBAHAN INTEGRATED WEDGES-FLAP**

**TUGAS AKHIR**

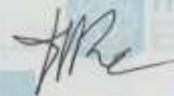
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Reckayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MUHAMMAD AULIYA ALAMSYAH**  
NRP 4110100075

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19670406 199203 1001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 24 JULI 2016

## LEMBAR REVISI

# ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC TERHADAP HAMBATAN CREW BOAT DENGAN PENAMBAHAN INTEGRATED WEDGES-FLAP

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 10 Juli 2017

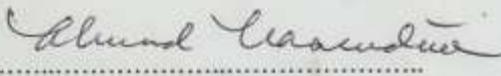
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

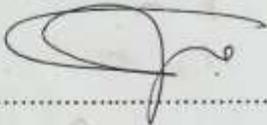
**MUHAMMAD AULIYA ALAMSYAH**  
NRP 4110100075

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

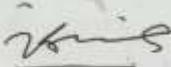
1. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.

  
.....

2. Aries Sulisetyono S.T., MA.Sc., Ph.D.

  
.....

3. Dr. Ir. I Ketut Suastika

  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

  
.....

SURABAYA, 10 JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan.
3. Tim Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Ibu, Ayah, serta seluruh keluarga besar yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.;
5. Teman-teman P-50 (CAPTAIN) yang penuh semangat kebersamaan, saling memotivasi dalam setiap kebaikan.
6. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 10 Juli 2017

Muhammad Auliya Alamsyah

# ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC TERHADAP HAMBATAN CREW BOAT DENGAN PENAMBAHAN INTEGRATED WEDGES-FLAP

Nama Mahasiswa : Muhammad Auliya Alamsyah  
NRP : 4110100075  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.

## ABSTRAK

Peran kapal *crew boat* sangat penting dalam berbagai operasi *offshore*. Untuk itu diperlukan performa hidrodinamis yang handal agar mendukung peran tersebut. Salah satu parameter performa hidrodinamis adalah hambatan kapal. Diperlukan hambatan kapal sekecil mungkin agar pemilik kapal mendapatkan keuntungan berupa pengurangan konsumsi bahan bakar. Untuk mengurangi hambatan dapat dilakukan dengan memasang ESD (*Energy Saving Device*). Banyak sekali jenis ESD yang dapat digunakan. Salah satunya adalah *integrated wedges-flap (IWF)*. IWF merupakan pengembangan lebih lanjut dari *stern wedges*. Perbedaan yang mencolok antara *stern wedges* dan IWF adalah adanya *flap* yang dipasang setelah *wedges*. Dengan memasang IWF diharapkan memberikan keuntungan lebih dari penggunaan *wedges* sendiri dan *flap sendiri*. Cara kerja IWF adalah dengan menimbulkan tekanan ke atas hingga terjadi *lift*. Selain itu IWF juga dapat memperbaiki aliran pada buritan kapal sehingga lebih *uniform*. Pada penelitian ini penulis melakukan percobaan numerik dengan menggunakan bantuan CFD untuk membuktikan hal tersebut. Percobaan dilakukan pada empat model kapal yaitu kapal tanpa IWF, kapal dengan sudut IWF  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $6^\circ$ . Percobaan dilakukan dengan simulasi *free surface* dengan bantuan *software ANSYS CFX*. Lalu kemudian penulis menganalisis hasil dalam beberapa perspektif. Penulis melakukan analisis perbandingan nilai hambatan total pada kapal dengan dan tanpa IWF. Kemudian penulis melakukan analisis pengaruh sudut dari IWF. Selain itu analisis dilakukan pada pola distribusi tekanan dan pola aliran pada kapal yang diuji. Penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi pengurangan hambatan kapal pada kapal dengan IWF saat kecepatan tinggi ( $Fr > 0.4$ ) dan terjadi penambahan hambatan saat kapal dalam kecepatan rendah ( $Fr < 0.4$ ). Pada kecepatan tinggi terjadi pengurangan hambatan antara 3.3% hingga 11.1%. Sedangkan dalam kecepatan rendah terjadi penambahan hambatan antara 14.1% hingga 23.9%.

Kata kunci: *Crew Boat, CFD, Free surface, Integrated Wedges-Flap*

# COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF CREW BOAT WITH INTEGRATED WEDGES FLAP RESISTANCE

Author : Muhammad Auliya Alamsyah  
ID No. : 4110100075  
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology  
Supervisors : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.

## ABSTRACT

The role of crew boat is very important in every offshore operation. Because of that, a durable hydrodynamic performance is needed to meet that role. One of the hydrodynamic performance parameter is ship resistance. An minimum resistance is needed to make ship owner get optimum benefits like fuel reduction during ship operation. To achieve that goal, an energy saving device(ESD) could be installed. There are many type of ESD. One of them is integrated wedges-flap(IWF). IWF is the next stage development of stern wedges. The significant difference between stern wedges and IWF is the flap that attached next to it. By installing IWF, hoping could bring more benefit rather than using wedges or flap alone. IWF works by increase vertical pressure that cause lift. IWF also improve the flow in stern region fo ship so become more uniform. In this research numerical experiment will be conduct by using CFD tool to verify that claim. Experiment is conduct in 4 model i.e. ship without IWF , ship with IWF with  $4^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ , and  $6^{\circ}$  angle. The experiment carry out by free surface simulation by using ANSYS CFX. After that the result will be analized from several perspectives. Analisis will be carry out by comparing total resistance of ship with and without IWF. Next, the effect of IWF angle will be analized. Beside of that the pressure distribution and flow pattern will be analized. The result shows that there is resistance reduction in ship with IWF at high speed( $Fr > 0.4$ ) and increasing in resistance when ship at low speed( $Fr < 0.4$ ). at high speed the result shows resistance reduction between 3.3% and 11.1%. and at low speed conditions shows resistance increasing between 14.1% and 23.9%.

Key words: *Crew Boat, CFD, Free surface, Integrated Wedges-Flap*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
Bab I PENDAHULUAN .....	15
I.1. Latar Belakang Masalah.....	15
I.2. Perumusan Masalah.....	16
I.3. Tujuan.....	16
I.4. Batasan Masalah.....	17
I.5. Manfaat.....	17
I.6. Hipotesis.....	17
Bab II STUDI LITERATUR .....	19
II.1. Hambatan Kapal.....	19
II.2. Kapal Cepat .....	24
II.3. Crew Boat.....	25
II.4. Intregated Wedges Flap.....	28
II.5. Computational Fluid Dynamics (CFD).....	30
II.6. Proses Simulasi CFD.....	36
Bab III METODOLOGI .....	39
III.1. Metode.....	39
III.2. Bahan dan Peralatan .....	39
III.3. Proses Pengerjaan.....	40
III.3.1. Identifikasi Masalah.....	40
III.3.2. Pengumpulan Data .....	40
III.3.3. Studi Literatur .....	41
III.3.4. Penyusunan Proposal Penelitian .....	41
III.3.5. Pembuatan Model MAXSURF .....	41
III.3.6. Pembuatan Model Variasi.....	44
III.3.7. Pembuatan Model Ke ANSYS .....	46
III.3.8. Simulasi Free Surface .....	53
III.3.9. Analisis Hasil .....	58

III.3.10.	Kesimpulan dan Saran.....	58
III.3.11.	Penulisan Laporan .....	58
III.4.	Lokasi Pengerjaan.....	59
III.5.	Bagan Alir.....	60
Bab IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	63
IV.1.	Hasil Grid Independence .....	63
IV.1.1.	Grid Independence Benchmark .....	63
IV.1.2.	Grid Independence IWF 4deg .....	64
IV.1.3.	Grid Independence IWF 5deg .....	65
IV.1.4.	Grid Independence IWF 6deg .....	66
IV.2.	Total Hambatan .....	67
IV.2.1.	Analisis Perbedaan Nilai Hambatan Total .....	68
IV.2.2.	Analisis Pengaruh Sudut IWF .....	70
IV.2.3.	Analisis Distribusi Tekanan .....	71
IV.2.4.	Analisis Pola Aliran.....	73
IV.2.5.	Validasi Hasil .....	78
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	81
V.1.	Kesimpulan.....	81
V.2.	Saran .....	81
DAFTAR	PUSTAKA .....	84
LAMPIRAN A	KONTUR DISTRIBUSI TEKANAN.....	86
LAMPIRAN B	POLA ALIRAN.....	95
LAMPIRAN C	LIFT(FORCE Y) .....	102
LAMPIRAN D	MODEL UJI.....	112
LAMPIRAN E	PERBANDINGAN SIMULASI STATIC PRESSURE DAN NORMAL SPEED PADA OUTLET .....	114
BIODATA	PENULIS .....	116

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 Komponen Hambatan Kapal (Bertram, 2002).....	22
Gambar II-2 Pembagian Komponen Hambatan Kapal (Lewis, 1988) .....	23
Gambar II-3 Crew Boat (icaship.com) .....	26
Gambar II-4 Offshore Supply Vessel (van Dokkum, 2005).....	26
Gambar II-5 Body Plan .....	27
Gambar II-6 General Arrangement (side view).....	28
Gambar II-7 General Arrangement Main Deck.....	28
Gambar II-8 Crew Boat Premier 7 (Oni, 2015).....	28
Gambar II-9 Perbedaan Flap, Wedges, dan IWF (Cumming, 2007).....	29
Gambar II-10 Pemasangan IWF pada Model Uji Tarik(Kwang, 2013).....	29
Gambar II-11 Model Paten IWF.....	30
Gambar II-12 Diagram Kerja CFD (ANSYS, 2007).....	33
Gambar II-13 Desain Kapal Menggunakan CFD (Ahadyanti, 2014).....	34
Gambar II-14 Proses Perhitungan CFD (Gibson, 2016).....	35
Gambar III-1 Model 3D Crew Boat .....	42
Gambar III-2 Half Breadth Plan Crew Boat.....	42
Gambar III-3 Buttock Line Plan Crew Boat.....	43
Gambar III-4 Body Plan Crew Boat .....	43
Gambar III-5 Data Hidrostatik .....	44
Gambar III-6 Desain Integrated Wedges Flap (USA Paten No. US6038995 A, 2000) .....	45
Gambar III-7 Pemodelan IWF .....	45
Gambar III-8 Tampak Samping IWF .....	46
Gambar III-9 Data Export MAXSURF .....	47
Gambar III-10 File IGES yang Diimport .....	48
Gambar III-11 Benda Uji yang Telah Dilengkapi Surface.....	48
Gambar III-12 Bagian TOP Domain .....	49
Gambar III-13 Bagian WALL Domain .....	49
Gambar III-14 Bagian INLET Domain .....	49
Gambar III-15 Bagian OUTLET Domain .....	50

Gambar III-16 Bagian BOTTOM Domain .....	50
Gambar III-17 Posisi Vertikal Kapal .....	51
Gambar III-18 Posisi Horizontal Kapal .....	51
Gambar III-19 Parameter Mesh .....	52
Gambar III-20 Meshing pada Kapal .....	52
Gambar III-21 Meshing pada Domain .....	52
Gambar III-22 Setting Boundary Condition .....	55
Gambar III-23 Tampilan Sebelum Running .....	56
Gambar III-24 Proses Running .....	56
Gambar III-25 Function Calculator.....	57
Gambar III-26 Kontur yang Menunjukkan Tekanan pada Kapal .....	57
Gambar III-27 Fitur Streamline untuk Menunjukkan Pola Aliran.....	58
Gambar III-28 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	61
Gambar IV-1 Grafik Grid Independence Benchmark.....	64
Gambar IV-2 Grafik Grid Independence IWF 4deg .....	65
Gambar IV-3 Grafik Grid Independence IWF 5deg .....	66
Gambar IV-4 Grafik Grid Independence IWF 6deg .....	67
Gambar IV-5 Grafik Hambatan Total.....	68
Gambar IV-6 Hambatan terhadap Froude Number.....	70
Gambar IV-7 Tekanan pada Kapal Tanpa IWF .....	71
Gambar IV-8 Distribusi Tekanan pada IWF 6deg .....	72
Gambar IV-9 Kondisi Transom Benchmark pada Kecepatan 5 Knot .....	74
Gambar IV-10 Kondisi Transom IWF pada Kecepatan 5 Knot.....	74
Gambar IV-11 Kondisi Aliran Di Buritan Benchmark pada Kecepatan 5 Knot .....	74
Gambar IV-12 Kondisi Aliran Di Buritan pada Kecepatan 5 Knot Model IWF .....	75
Gambar IV-13 Aliran pada Buritan Model Benchmark Kecepatan 24 Knot.....	75
Gambar IV-14 Aliran pada Transom IWF .....	76
Gambar IV-15 Pola Aliran pada Benchmark .....	76
Gambar IV-16 Aliran Buritan IWF Kecepatan 24 Knot.....	77
Gambar IV-17 Aliran Fluida pada Kapal dengan IWF.....	77
Gambar IV-18 Aliran Fluida pada Kapal Tanpa IWF .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Ukuran Utama Kapal .....	27
Tabel II-2 Perbandingan Percobaan dan CFD (Ari Perwira, 2013) .....	32
Tabel III-1 Spesifikasi Komputer .....	39
Tabel III-2 Software Pendukung Penelitian .....	40
Tabel III-3 Data Ukuran Utama Kapal .....	41
Tabel III-4 konfigurasi IWF pada Model .....	45
Tabel III-5 Ukuran Domain .....	50
Tabel III-6 Variasi Kecepatan .....	53
Tabel III-7 Tabel Ekspresi CEL .....	53
Tabel IV-1 Hasil Grid Independence Benchmark .....	63
Tabel IV-2 Hasil Grid Independence IWF 4deg .....	64
Tabel IV-3 Hasil Grid Independence IWF 5deg .....	65
Tabel IV-4 Hasil Grid Independence IWF 6deg .....	66
Tabel IV-5 Hambatan Total.....	67
Tabel IV-6 Konversi Kecepatan ke Froude Number.....	68
Tabel IV-7 Validasi Hasil.....	78



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Semakin maraknya kegiatan eksplorasi lepas pantai membuat pertumbuhan jumlah bangunan lepas pantai semakin meningkat. Dengan semakin banyaknya jumlah bangunan lepas pantai dan fasilitas *offshore* lainnya membuat kebutuhan kapal yang berfungsi sebagai pendukung operasi lepas pantai semakin banyak. Salah satu kapal yang berfungsi untuk mendukung operasi lepas pantai adalah *crew boat*. Peran *crew boat* sebagai salah satu kapal pendukung kegiatan eksplorasi lepas pantai menjadi suatu peran yang vital.

Untuk memenuhi tuntutan tugas *crew boat* ada beberapa tindakan yang dapat dilakukan. Antara lain dengan mendesain bentuk lambung kapal tersebut. Desain yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan operasi *crew boat*. Desain bentuk lambung merupakan faktor dominan yang mempengaruhi karakteristik hidrodinamika kapal. Salah satu bagian lambung kapal yang berpengaruh pada karakteristik hidrodinamika adalah bentuk buritan kapal. Bentuk buritan kapal mempengaruhi aliran air yang melewatinya. Bentuk aliran tersebut akan berpengaruh pada *besar hambatan*. Oleh karena itu sangat penting untuk mendesain bentuk buritan yang sesuai dengan kebutuhan dari *crew boat* tersebut. Dalam melakukan desain kapal terdapat banyak sekali variasi bentuk buritan yang dapat digunakan. Bentuk buritan transom merupakan bentuk buritan yang paling umum digunakan. Selain bentuk tersebut dapat ditambahkan pengendali *trim* kapal untuk mendapatkan efisiensi system propulsi yang lebih baik (Esteban, 2005).

Salah satu bagian lambung kapal yang dapat direkayasa untuk mendapatkan hambatan yang minimum adalah bentuk buritan kapal. Dengan melakukan rekayasa pada bentuk buritan akan mempengaruhi bentuk dari aliran yang akan berimbas pada besarnya hambatan kapal. Dengan desain bentuk buritan yang baik maka akan didapat nilai hambatan yang minimum.

Pada *crew boat* diperlukan desain lambung yang baik untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis akan melakukan rekayasa

bentuk buritan pada *crew boat* untuk mendapatkan nilai hambatan yang minimum. Bentuk buritan yang dianalisis oleh penulis adalah bentuk buritan dengan penambahan *integrated wedges-flap*. *Integrated Wedges-Flap* merupakan pengembangan dari *stern wedges*. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan menambah *stern wedges* dengan *flap* sehingga membuat *cord length* menjadi bertambah. Diyakini efek yang diberikan akan lebih baik daripada hanya menggunakan *wedges* maupun *flap* saja. Penambahan *appendages* tersebut diyakini memberikan karakteristik hidrodinamis yang lebih baik dibandingkan dengan bentuk buritan awal kapal. Untuk itu penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut mengenai hal tersebut.

Proses analisis dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang memanfaatkan perkembangan teknologi berkecepatan tinggi. Teknik CFD memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian yang sangat tinggi tetapi dengan konsekuensi memerlukan kapasitas memori computer yang tinggi (Utama, 2009).

Selanjutnya, dalam Tugas Akhir ini dibahas persoalan tahanan kapal dengan menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Metode ini merupakan perhitungan hambatan yang berdasarkan aliran fluida. Dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dapat diketahui fenomena – fenomena yang ada pada kapal dengan masing-masing bentuk/jenis buritan yang terkait dengan tahanan kapal yang terjadi.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan *integrated wedges-flap* pada *crew boat*?
2. Berapakah besar nilai hambatan kapal yang menggunakan buritan dengan *integrated wedges-flap*?

## **I.3. Tujuan**

Maksud dan tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Meningkatkan performa *crew boat* dengan mengurangi hambatan melalui pemasangan *integrated wedges-flap*.
2. Menganalisis besarnya nilai hambatan yang terjadi terhadap model kapal dengan menggunakan *integrated wedges-flap*.

3. Menganalisis pengaruh penggunaan *integrated wedges-flap* pada *crew boat*.

#### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Analisis dilakukan pada model komputer dari kapal yang sebenarnya
2. Data kapal yang digunakan sudah ditentukan sebelumnya.
3. Lingkup analisis hanya pada analisis hambatan total.
4. Analisis dilakukan dengan simulasi *free surface* untuk mendapatkan nilai hambatan total.

#### **I.5. Manfaat**

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengkajian penggunaan *integrated wedges-flap* sebagai sarana pengurangan energi.
2. Sebagai pengembangan desain untuk mendapatkan desain *crew boat* yang lebih optimal.
3. Sebagai langkah analitis lebih jauh terhadap penggunaan *integrated wedges-flap crew boat*.

#### **I.6. Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan penggunaan *integrated wedges-flap* pada *crew boat* diduga akan terjadi penurunan nilai hambatan pada *crew boat* saat kecepatan tinggi dibandingkan dengan *crew boat* tanpa *integrated wedges-flap*. Pada kecepatan rendah penggunaan *integrated wedges-flap* akan menambah hambatan total pada kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. 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 sistem 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*).

Pada umumnya, ukuran utama kapal dan perbandingan antara ukuran tersebut, terdiri dari  $L_{oa}$  (*length overall*),  $L_{pp}$  (*length between perpendiculars*),  $L_{wl}$  (*length of waterline*),  $B$  (*beam or breadth molded of ship*),  $B_{wl}$  (*breadth of waterline*),  $T$  (*draught moulded*),  $D$  (*depth moulded of ship hull*), (*displacement volume*),  $L/B$  (*length-breadth ratio*),  $B/T$  (*breadth-draught ratio*), dan  $B/D$  (*breadth-depth ratio*). Sedangkan koefisien bentuk badan kapal, antara lain  $C_b$  (*block coefficient*),  $C_m$  (*midship area coefficient*),  $C_w$  (*water plan area coefficient*), dan  $C_p$  (*prismatic coefficient*). (Fyson, 1985).

Tahanan dalam kapal dipengaruhi oleh berbagai komponen yang saling berkaitan dan sulit untuk memprediksi masing-masing komponen hambatan tersebut. Oleh karena itu Larsson dan Baba (1996) membagi komponen hambatan yang dijelaskan pada gambar untuk memudahkan desainer merekayasa hambatan. Gambar tersebut membantu desainer untuk menentukan komponen hambatan apa saja yang berpengaruh dalam proses desain. Larsson dan Baba membagi hambatan kapal menjadi dua komponen yaitu hambatan gesek (*Frictional resistance*) dan hambatan sisa (*residual resistance*).

Formulasi hambatan total dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$C_T = C_v + C_w$$

Dimana:

$C_T$  = Koefisien hambatan total

$C_V$  = Koefisien hambatan *viscous*

CW = Koefisien hambatan gelombang

Nilai dari CV dan CW akan dibahas selanjutnya.

a. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)

Hambatan gesek (*Frictional resistance*) merupakan hambatan yang timbul akibat kapal bergerak melewati fluida. Setiap fluida memiliki viskositas yang akan berinteraksi dengan benda yang melwatinya. Interaksi dari benda atau kapal dalam kasus ini dengan fluida seperti air laut menimbulkan gesekan. Hambatan gesek sangat dipengaruhi oleh viskositas dan bentuk geometri benda yang melewatinya.

Viskositas merupakan parameter hambatan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Hambatan viskos merupakan komponen hambatan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskositas fluida (akibat gesekan air terhadap badan kapal). Hambatan ini direpresentasikan dengan koefisien CV. CV memiliki dua komponen utama yaitu hambatan gesek (*friction resistance*) dan hambatan tekanan (*pressure resistance*).

Formula untuk mencari besarnya koefisien CV adalah sebagai berikut

$$R_F = C_F \left( \frac{\rho V^2}{2} \right) S$$

Dimana :

$R_F$  = Hambatan Gesek

$C_F$  = Koefisien hambatan gesek .

$\rho$  = Massa jenis fluida

V = Kecepatan

S = Luas permukaan basah

Koefisien gesek  $C_f$  dapat dihitung dengan:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

Dimana :

$R_n$  = *Reynold number*, yang dapat dihitung dengan:

$$R_n = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana :

$R_n$  = *Reynold number*

V = Kecepatan kapal

$\nu$  = Viskositas kinematik

b. Hambatan Sisa(*Residual Resistance*)

Hambatan sisa merupakan nilai pengurangan dari hambatan total kapal dengan hambatan gesek. Hambatan sisa terdiri dari beberapa komponen berikut yaitu :

1. Hambatan Gelombang(*Wave Resistance*)

Hambatan gelombang(*Wave Resistance*) merupakan hambatan yang diakibatkan oleh gelombang yang muncul akibat gerakan kapal. Gelombang tersebut dapat muncul karena adanya energi akibat gerakan kapal pada air. Gelombang ini merupakan bentuk interaksi antara badan kapal dengan air yang memindahkan air seiring dengan gerakan kapal.

2. Hambatan Udara(*Air Resistance*)

Hambatan udara merupakan hambatan yang diakibatkan oleh interaksi badan kapal dengan udara. Hambatan ini terjadi pada bagian badan kapal yang tidak tercelup air. Bagian kapal seperti bangunan atas dan rumah geladak merupakan bagian kapal yang tidak tercelup air yang terkena langsung aliran udara saat kapal bergerak. Tentu hal ini akan mengakibatkan gaya hambat terhadap gerakan kapal. Hambatan udara sangat dipengaruhi oleh kecepatan, arah, dan pola aliran angin. Dan juga luasan badan kapal yang tidak tercelup air.

3. Hambatan Bentuk(*Form Resistance*)

Hambatan bentuk merupakan hambatan yang diakibatkan oleh bentuk badan kapal. Bagian badan kapal yang tercelup air merupakan faktor penting yang sangat berpengaruh terhadap besaran hambatan kapal. Untuk itu diperlukan bentuk badan kapal yang dapat meminimalisir hambatan ini.

c. Hambatan Tambahan(*Added Resistance*)

Selain dari komponen yang telah dijelaskan sebelumnya ada beberapa komponen yang berkontribusi terhadap besarnya nilai hambatan kapal. Faktor seperti kekasaran permukaan badan kapal yang tercelup air serta beberapa bagian tambahan pada badan kapal seperti kemudi(rudder) serta bagian pendukungnya seperti poros yang keluar badan kapal serta penyangga(Bracket). Dan tambahan lain seperti *fin*(sirip) dan lunas bilga memberikan pengaruh terhadap nilai hambatan kapal.

Hambatan tambahan dapat dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

1. Hambatan anggota badan (*Appendages Resistance*)

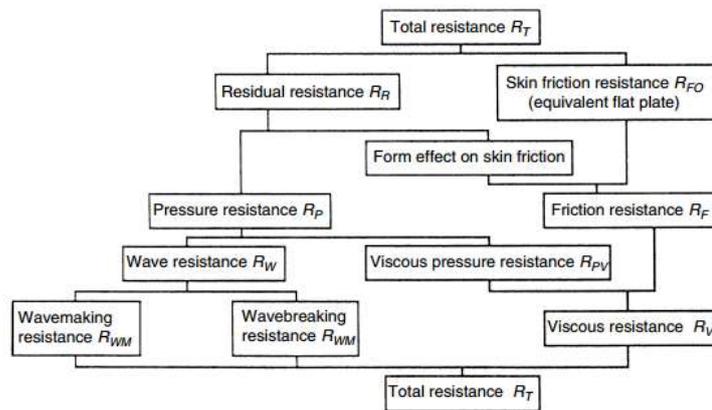
Hambatan anggota badan (*appendages resistance*) merupakan hambatan yang berasal dari bos poros, penyangga poros (*bracket*), lunas bilga (*bilge keel*), serta daun kemudi (*rudder*). Selain itu anggota badan yang lain juga dapat dimasukkan dalam kategori hambatan ini.

2. Hambatan kekasaran

Hambatan kekasaran berasal dari kekasaran badan kapal yang diakibatkan oleh korosi serta menempelnya biota-biota laut pada badan kapal.

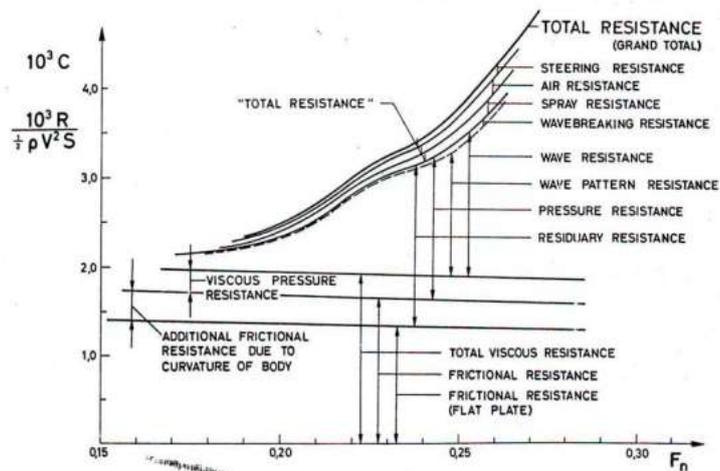
3. Hambatan kemudi (*Steering resistance*)

Hambatan kemudi merupakan hambatan yang diakibatkan oleh pemakaian kemudi untuk mengubah arah kapal.



**Gambar II-1 Komponen Hambatan Kapal (Bertram, 2002)**

Diagram berikut akan menjelaskan hubungan matematis antara koefisien-koefisien hambatan.



Gambar II-2 Pembagian Komponen Hambatan Kapal (Lewis, 1988)

Dalam mendesain kapal, faktor umum yang memegang peranan penting adalah hambatan yang akan dialami oleh kapal pada waktu bergerak. Suatu bentuk kapal dengan hambatan kecil atau sekecil mungkin adalah menjadi tujuan desain kapal, sebab akanberarti pemakaian tenaga kuda akan menjadi hemat dengan begitu akan menghemat penggunaan bahan bakar, berarti mesinpenggerak lebih ringan sehingga menambah daya muat kapal tersebut.

Tahanan kapal dapat diprediksikan besarnya dengan beberapa cara, yaitu melalui perhitungan secara analitik (teoritis), pengujian model fisik di tangki percobaan (eksperimen), atau dengan pensimulasian model kapal dikomputer (numeric). Perhitungan secara analitis memberikan bentuk persamaan eksak (matematis), tetapi tidak semua fenomena dapat diformulasikan secara matematis. Eksperimendapat memberikan hasil yang praktis dan berakurasi tinggi, tetapi memerlukan biaya pembangunan fasilitas eksperimen yang mahal.Sedangkan pensimulasian model kapal dikomputer dapat memberikan hasil yang mendekati keadaan sebenarnya dengan waktu dan biaya yang jauh lebih kecil dibandingkan eksperimen, tetapi sulit dalam melakukan validasi (Utama, 2008).Sejalan dengan pengembangan teknologi, metode-metode yang digunakan untuk memprediksi hambatan kapal telah berkembang pesat dari waktu ke waktu. Salah satu cara yang biasa digunakan untuk memprediksi hambatan kapal adalah dengan menggunakan analisa dimensionaldari data empiris. Pendekatan ini merupakan metode utama yang digunakan oleh semua aplikasi penghasil kecepatan/tenaga pada kapal kecil.

Pengujian tahanan kapal yang digunakan dalam percobaan model didasarkan pada tiga kesamaan antara model dan kapal yaitu kesamaan geometris, dinamis dan kinematis. Kesamaan geometris yaitu kesamaan dalam ukuran meliputi panjang, luas, dan volume. Kesamaan dinamis menunjukkan kesamaan dalam sistem berupa massa dan gaya yang bekerja. Kesamaan kinematis berupa kesamaan kecepatan yang searah dan seajar satu sama lain antara model dan kapal.

## II.2. Kapal Cepat

Kapal cepat pada saat beroperasi, mulai dari kecepatan  $v = 0$  knot sampai dengan kecepatan tinggi dapat dilihat akan melampaui tiga tahapan (fase) kecepatan (Harvard, 1983). Ketiga fase tersebut adalah sebagai berikut:

- Mode Displacement ( $0,0 < F_n < 0,6$ )

Kapal komersial besar hampir selalu berlayar pada mode ini, dimana berat kapal seluruhnya disangga oleh gaya angkat (*bouyancy*). Kapal yang berlayar dengan kecepatan cukup rendah ( $F_n < 0,3$ ) tidak akan mengalami perubahan trim ataupun penurunan titik berat (VCG) yang berarti. Dengan naiknya kecepatan ( $F_n$ ) perubahan tersebut mulai timbul. Perubahan ini terjadi akibat naiknya aliran karena bertambah terbenamnya kapal, yang selanjutnya sesuai hukum Bernoulli, akan berakibat pada penurunan tekanan di bawah kapal bagian buritan dan kenaikan tekanan di bawah haluan kapal. Dalam kondisi ini akan menarik juga jika diamati sistem gelombang yang terbentuk oleh gerakan kapal. Pada  $F_n < 0,4$  atau  $V/v_5 < 1,25$  akan terjadi lebih dari satu gelombang melewati sepanjang badan kapal. Pada kecepatan karakteristik kapal  $F_n = 0,43 - 0,5$  atau  $V/v_5 = 1,4 - 1,56$  tahanan gelombang relatif akan mencapai maksimum. Diagram tahanan pada  $F_n$  ini akan terbentuk kurva melengkung ke atas, atau disebut hump. Sehingga kecepatan kapal disebut juga kecepatan hump. Pada kecepatan yang lebih tinggi ( $F_n > 0,5$ ), puncak gelombang kedua akan berada jauh di belakang buritan dan tahanan sedikit menurun.

- Mode Semi Planing ( $0,6 < F_n > 1,2$ )

Pada fase semiplaning berat kapal akan disangga lebih banyak oleh gaya angkat hidrodinamik dari pada hidrostatis (yang bersamaan dengan ini akan menurun secara teratur). Gaya angkat hidrodinamik ini timbul karena adanya deviasi aliran di sekitar dasar kapal bagian buritan, sehingga mengakibatkan kapal trim. Dari berbagai pengukuran tes model didapat bahwa pada fase ini titik berat kapal akan naik. Pada

sekitar  $F_n = 0,6$ , VCG mencapai ketinggian yang sama dengan pada saat  $V = 0$  knot dan selanjutnya VCG terus naik sampai kecepatan karakteristik  $F_n = 1,2$  dicapai. Dari kecepatan  $v = 0$  knot sampai dengan  $F_n=0,9$  haluan kapal akan terus naik ke arah permukaan, sedangkan buritannya akan berangsur-angsur terbenam. Pada sekitar  $0,9 < F_n < 1,2$  buritan kapal akan mulai naik lagi, tetapi tidak begitu besar sampai dengan munculnya haluan. Dengan demikian trim akan tetap naik sampai dengan  $F_n = 1,2$  dicapai. Pada mode semiplaning gelombang haluan mengecil dan bergeser ke belakang serta dilengkapi oleh spray. Dibelakang transom (buritan rata) terjadi lembah gelombang, yang bentuk dan ukurannya sangat bergantung pada bentuk buritan kapal, trim dan terutama juga pada gaya angkat hidrodinamis.

- Mode Planing Penuh ( $F_n > 1,2$ )

Mode planing murni dapat ditandai dengan kondisi dimana hampir seluruh berat kapal disangga oleh gaya angkat hidrodinamik, dan hanya sebagian kecil berat kapal yang bertumpu pada gaya hidrostatis (yang juga kecil). Meskipun kapal hampir seluruhnya meluncur di permukaan air, dan permukaan basah menjadi sangat kecil demikian juga trim kapal mulai menurun dibandingkan dengan pada fase semiplaning, tetapi tekanan hidrodinamik menjadi sangat besar sebagai akibat kecepatan tinggi yang diperoleh dari gaya dorong propeller. Pada fase planing murni, bagian kapal yang terbenam sangat kecil, sehingga gelombang yang terbentuk hampir hilang sama sekali.

*Speed/length* ratio atau dikenal dengan *Froude number* adalah salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam memilih tipe hull yang sesuai untuk kebutuhan:

- Displacement hull, nilai *speed/length* ratio ( $\text{kn}/\text{ft}^{1/2}$ ) tidak lebih dari 1.4
  - Semi-planing hull, nilai *speed/length* ratio antara 1.5 hingga 2.0
  - Planing hull, nilai *speed/length* ratio diatas 2.0
- Length adalah panjang garis air kapal (LWL)

### II.3. Crew Boat

*Crew boat* adalah salah satu dari kapal pendukung kegiatan operasi lepas pantai. kapal tersebut didesain sebagai sarana transportasi untuk para pekerja di bangunan lepas pantai maupun struktur terapung lainnya. Fungsi utama dari *crew boat* adalah untuk mengangkut pekerja lepas pantai (Dokkum, 2003). Meskipun demikian *crew boat*

modern dapat dikembangkan selain untuk mengangkut para pekerja lepas pantai juga dapat mengangkut kebutuhan logistic bangunan lepas pantai.

Perbedaan yang mendasar dari *crew boat* dengan *supply vessel* adalah terletak pada fungsi utamanya. Pada *crew boat* fungsi utamanya adalah sebagai pengangkut penumpang yang dalam hal ini adalah para pekerja di fasilitas lepas pantai. Sedangkan *supply vessel* adalah kapal yang berfungsi untuk mengangkut barang-barang kebutuhan fasilitas lepas pantai. *Crew boat* sering disebut sebagai *fast supply vessel*. Hal tersebut dikarenakan *crew boat* didesain agar dapat melaju dengan kecepatan yang tinggi. Rata-rata *crew boat* dapat melaju dengan kecepatan 20-30 knot. Sedangkan *supply vessel* mempunyai kecepatan yang lebih rendah yaitu dikisaran 12-15 knot. *Supply vessel* mempunyai geladak terbuka yang cukup luas dengan *forecastle* tinggi yang berada di haluan kapal (Taggart, 1980). Pada *crew boat* tidak didesain geladak terbuka yang luas.



**Gambar II-3 Crew Boat (icaship.com)**

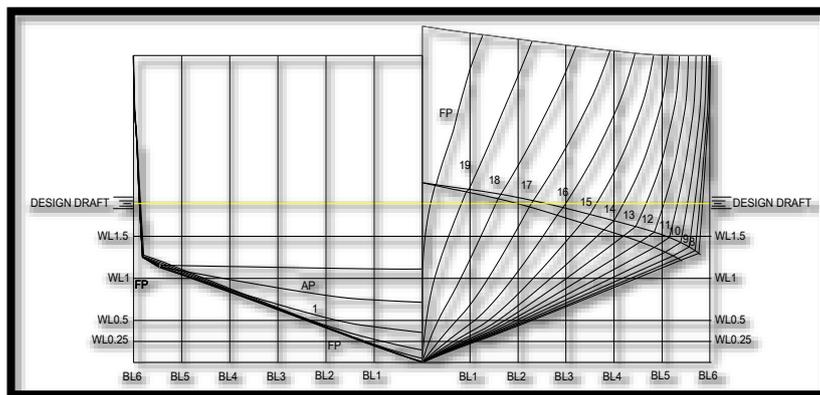


**Gambar II-4 Offshore Supply Vessel (van Dokkum, 2005)**

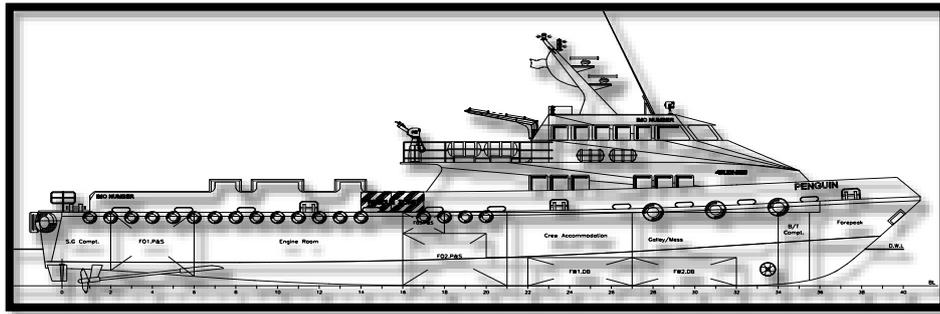
Pada percobaan ini akan digunakan kapal *crew boat* dengan data utama sebagai berikut:

**Tabel II-1 Ukuran Utama Kapal**

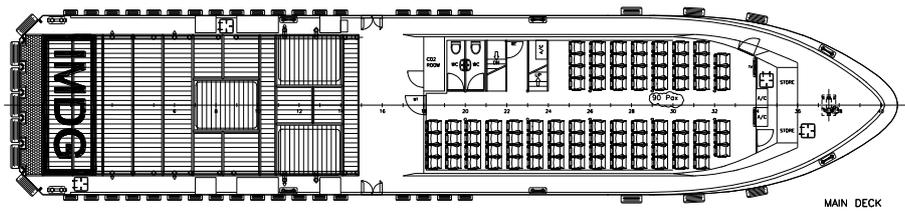
Ship Parameter	Symbol	Satuan	Value
Length of overall	LOA	m	38
Length Between Perpendicular	LBP	m	34.71
Length of Water line	LWL	m	35.5
Breadth Moulded	Bmld	m	7.6
Height Moulded	Hmld	m	3.65
Draft/Drougt	T	m	1.89
Coeffesient Block	Cb		0.46
Coeffesient Prismatic	Cp		0.795
Coeffesient Midship	Cm		0.624
Service Speed	VS	Knot	24
Wetted Surface Area	S	M <sup>2</sup>	284.055
Displasement	$\Delta$	ton	240.5



**Gambar II-5 Body Plan**



Gambar II-6 General Arrangement (side view)



Gambar II-7 General Arrangement Main Deck

c)

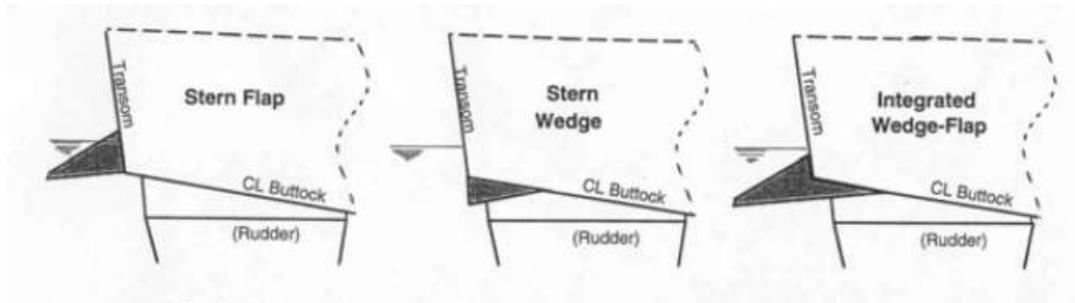


d)

Gambar II-8 Crew Boat Premier 7 (Oni, 2015)

#### II.4. Integrated Wedges Flap

*Integrated wedges-flap* merupakan salah satu *appendages* yang dapat digunakan untuk mengurangi hambatan kapal. Penelitian pengembangan IWF dilakukan untuk mengetahui kelebihan IWF dalam hal peningkatan *powering* dibanding dengan kapal yang hanya *stern wedges* maupun *stern flap*. Awal mula dari pengembangan IWF adalah hasil yang memuaskan dari pengujian pemakaian *stern wedges* dan *stern flap*.



**Gambar II-9 Perbedaan Flap, Wedges, dan IWF (Cumming, 2007)**

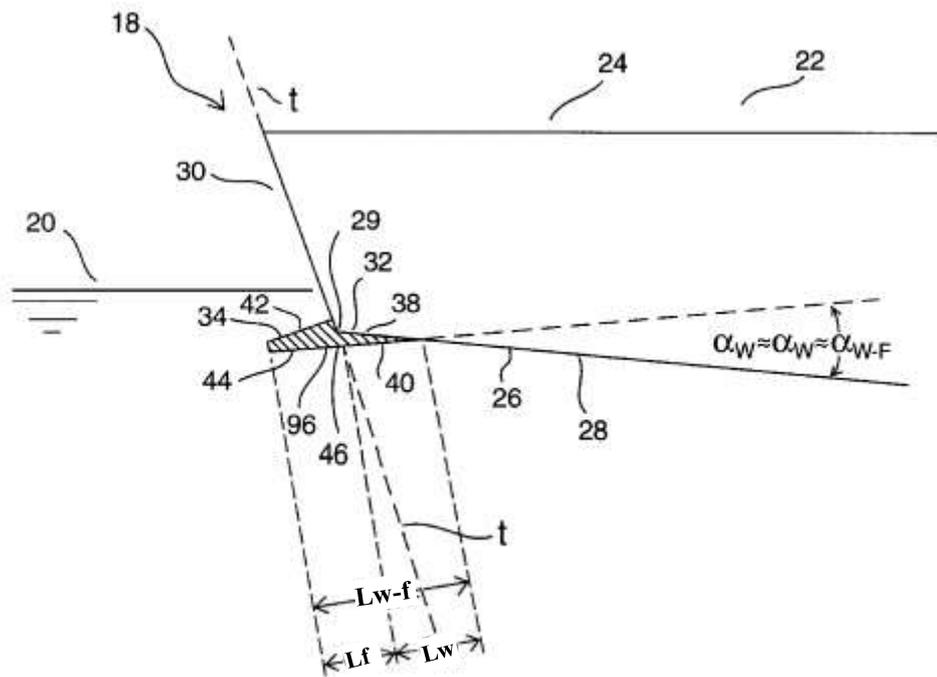
*Integrated wedges-flap* merupakan penggabungan antara *stern wedges* dan *stern flap*. *Stern wedges* yang dipasang di buritan kapal diperpanjang dengan menambahkan *flap*. Sudut *flap* hampir sama dengan sudut *wedges* terhadap *buttock line* yang mengharuskan pemasangan yang kontinu.



**Gambar II-10 Pemasangan IWF pada Model Uji Tarik(Kwang, 2013)**

Prinsip kerja dari IWF adalah dengan mengurangi kecepatan aliran dan meningkatkan tekanan dinamis pada bagian *bottom*. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya gaya angkat yang lebih besar. Gaya angkat tersebut nantinya akan memberikan dampak berupa pengurangan hambatan pada saat kapal bergerak.

*Integrated wedges-flap* merupakan suatu penemuan yang telah dipatenkan. Untuk itu jenis IWF yang akan digunakan pada penelitian ini adalah hasil penelitian dari Gabor karafiath yang telah dipatenkan dengan nomer US Patent 6,038,995.



Gambar II-11 Model Paten IWF

## II.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia *engineering* (Versteeg H.K., 1995). Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kuantitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode:

- a. Model matematik (PDE)
- b. Metode numeric (diskritisasi dan teknik solusi)
- c. Perangkat lunak

CFD digunakan oleh para ilmuwan dan *engineer* untuk melakukan sebuah „eksperiment numerik“ dalam sebuah „virtual laboratorium“. Dalam karakteristik aliran, CFD dapat memperlihatkan pola-pola aliran yang lebih detail dan akurat yang akan sulit dan mahal, bahkan tidak mungkin dilakukan dengan menggunakan teknik eksperiment. Salah satu contoh aplikasi yang telah dilakukan adalah dalam analisa mendapatkan gaya-gaya dan efek dari sebuah riset yang memiliki sangat panjang dan berada didalam laut dalam.

Schowalter et al menyatakan bahwa toleransi kesalahan dalam pen-skala-an dapat dikurangi dengan adanya CFD. Dalam area penelitian yang berbeda, penerapan CFD dilakukan sebagai pembandingan dengan eksperimen apabila memungkinkan dilakukan eksperimen dan menjadi superior dalam hal eksperimen sangat sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan.

Dalam hal prediksi sebuah fenomena aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dan waktu. Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi-kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual.

Meskipun demikian error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut :

- a.** Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
- b.** Kesalahan dalam diskritisasi
- c.** Kesalahan dalam melakukan iterasi
- d.** Kesalahan dalam implementasi

Dalam hal kemampuan mendiskripsikan secara kuantitatif sebuah fenomena, maka metode pengukuran/eksperimen hanya mendapatkan satu kuantitas dalam satu waktu dan terbatas dalam jumlah titik pengukuran dan waktunya. Selain itu skala yang digunakan terbatas pada skala laboratorium dan meliputi area permasalahan dan kondisi operasi yang terbatas. Dengan demikian error/kesalahan yang mungkin terjadi adalah :

- a.** Adanya kesalahan dalam melakukan pengukuran.
- b.** Adanya gangguan pada probe yang digunakan.

Sebagai sebuah algoritma, CFD tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengukuran secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dilakukan dapat berkurang sangat signifikan. Dalam hal ini perbandingan antar CFD dan eksperimen adalah sebagai berikut :

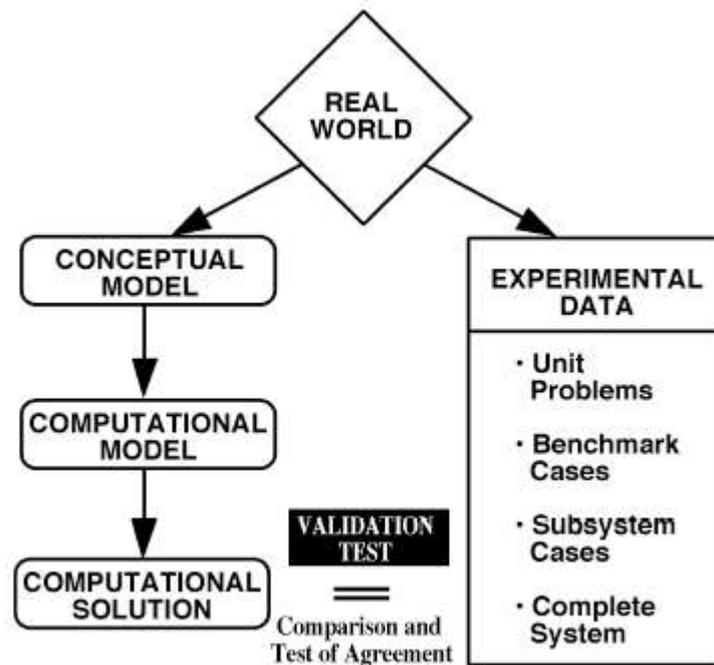
**Tabel II-2 Perbandingan Percobaan dan CFD (Ari Perwira, 2013)**

Percobaan	Simulasi CFD
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mendeskripsikan secara kuantitatif suatu fenomena aliran menggunakan pengukuran</li> <li>• Hanya untuk satu kuantitas pada satu waktu</li> <li>• Pada titik-titik yang terbatas</li> <li>• Hanya untuk model skala laboratorium</li> <li>• Pada permasalahan yang terbatas dan kondisi operasi yang terbatas</li> <li>• Sumber kesalahan: kesalahan pengukuran, aliran terganggu oleh probe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memprediksi secara kuantitatif suatu fenomena aliran menggunakan software CFD</li> <li>• Untuk semua kuantitas yang dikehendaki</li> <li>• Tidak terbatas pada titik dan waktu tertentu</li> <li>• Untuk aliran actual pada domain tertentu</li> <li>• Untuk seluruh permasalahan secara virtual dan kondisi operasi yang real</li> <li>• Sumber kesalahan: pemodelan, diskritisasi, <i>iteration</i>, implementasi</li> </ul>

Namun demikian reliabilitas hasil dari simulasi CFD tidak pernah dapat mencapai 100% dikarenakan data input yang digunakan memiliki potensi perkiraan atau kurang presisi. Selain itu terdapat kemungkinan model matematik yang mungkin tidak sesuai serta akurasi yang terbatas tergantung kemampuan kecepatan komputer yang digunakan. Untuk beberapa kasus telah terbukti bahwa simulasi CFD memiliki reliabilitas yang tinggi, yaitu pada :

- a. Aliran laminar dengan kecepatan yang rendah
- b. Aliran-aliran single-phase

Dengan berkembangnya penelitian yang menggunakan simulasi CFD sebagai metode untuk lebih memperpendek *distance to reality* (DTR) pada banyak kasus dalam multi-disiplin keilmuan kemudian muncul kaidah-kaidah yang banyak dilakukan oleh para peneliti dalam memposisikan CFD dan eksperimen. Salah satu kaidah yang banyak dipakai adalah menggunakan CFD sebagai metode prediksi dan eksperimen sebagai metode untuk melakukan validasi, seperti terlihat pada gambar di bawah ini.

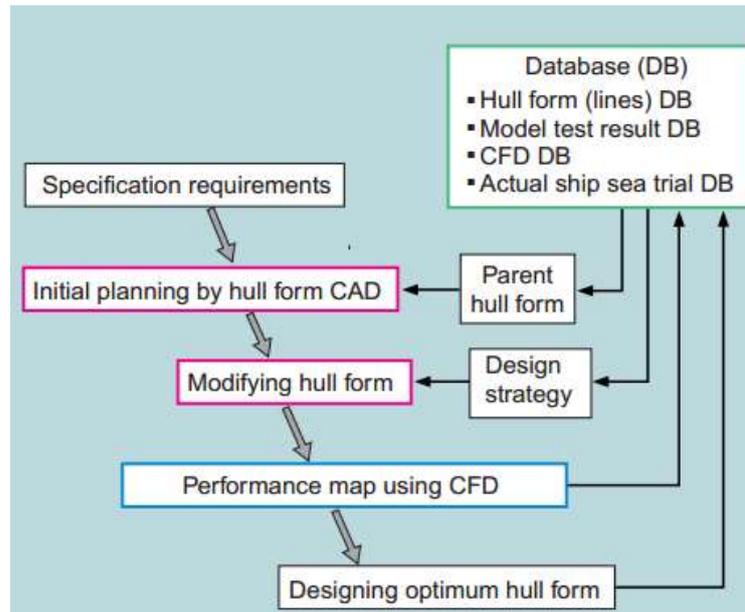


Gambar II-12 Diagram Kerja CFD (ANSYS, 2007)

Dengan review diatas maka metode CFD dan eksperimen akan tetap diperlukan dalam penelitian-penelitian pada banyak disiplin *science* dan *engineering*. Memang terdapat area dalam eksperimen yang bisa dilakukan dengan lebih cepat dan murah, tetapi tidak dapat menggantikan sepenuhnya metode eksperimen. Hal ini karena semua hasil penelitian pada akhirnya adalah fenomena dan aplikasi dalam dunia nyata.

Berkembangnya CFD sebenarnya juga memacu berkembangnya metode-metode eksperimen dengan laju yang tidak sama, sehingga yang terjadi sampai dengan saat ini adalah pemetaan penggunaan kedua metode tersebut dalam penelitian. Perbedaan yang jelas adalah kelebihan dan kekurangan yang dimiliki dan hal inipun tetap bersifat unik untuk disiplin ilmu yang berbeda-beda.

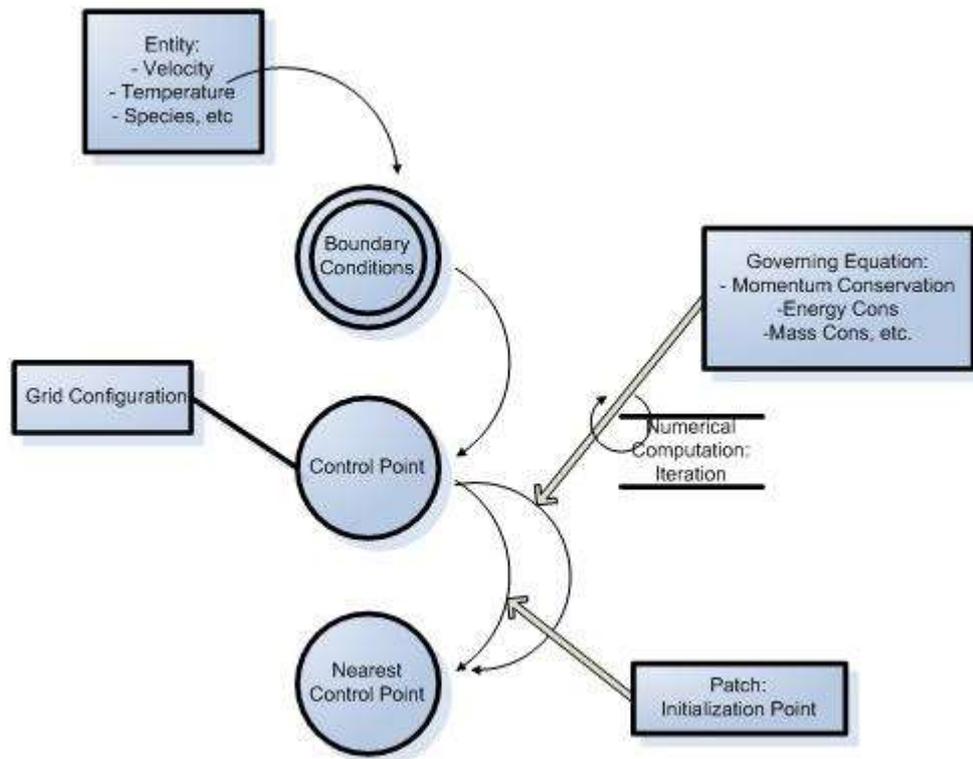
Dalam proses desain kapal telah lazim digunakan CFD dalam membuat atau mengevaluasi suatu desain kapal. Dalam proses desain kapal pendekatan CFD dapat memberikan keuntungan seperti yang telah dijelaskan tabel II-2. Hal tersebut sangat membantu desainer dalam melakukan tugasnya agar semakin produktif. Desainer dapat membangun sebuah *database* yang berisi hasil investigasi CFD pada desain sebelumnya. Sehingga hal ini akan memperkaya input bank data desain kapal sehingga dapat memberikan banyak pilihan *input* desain bagi proses selanjutnya.



Gambar II-13 Desain Kapal Menggunakan CFD (Ahadyanti, 2014)

CFD merupakan alat untuk melakukan perhitungan dalam percobaan aliran fluida dengan pendekatan numerik yang dibantu oleh komputer. Dalam perhitungan CFD akan dilakukan dengan membagi objek perhitungan menjadi elemen-elemen. Suatu ruang yang berisi fluida akan dibagi menjadi beberapa bagian kecil yang kemudian akan dilakukan perhitungan. Bagian kecil tersebut disebut sel dan proses pembagiannya disebut *meshing*. Bagian-bagian ini akan menjadi kontrol perhitungan yang selanjutnya akan dilakukan oleh bantuan program komputer.

Dalam proses perhitungan CFD terdapat kontrol-kontrol perhitungan yang disebut *mesh*. *Mesh* tersebut nantinya akan dilakukan perhitungan dengan kondisi batas yang ditentukan. Kondisi batas merupakan definisi dari kontrol perhitungan yang dapat berupa asumsi-asumsi awal pada proses perhitungan.



Gambar II-14 Proses Perhitungan CFD (Gibson, 2016)

Persamaan umum yang digunakan dalam perhitungan CFD adalah persamaan *navier-stokes* yang digunakan untuk menjelaskan perpindahan suatu fluida. Dalam persamaan ini fluida dianggap tidak dapat termampatkan (*tidak termampatkan*). Persamaan ini selanjutnya akan mengarah ke persamaan lain seperti persamaan kekekalan massa, kekekalan volume, dan lain-lain.

Bentuk umum persamaan *navier-stokes* adalah sebagai berikut:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan aliran

$\nabla$  = Perpindahan

$\rho$  = massa jenis fluida

$\mu$  = *frictional resistance* yang mempresentasikan viskositas

$f$  = gaya dari luar

$t$  = waktu

## II.6. Proses Simulasi CFD

Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika simulasi CFD yaitu *preprocessing*, *solving*, dan *postprocessing*.

### a) Preprocessing

Preprocessing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (Computer Aided Design), membuat mesh yang cocok/sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.

Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan pada software, meliputi:

- i. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi.
- ii. Membentuk Grid Generation atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (subdomain)
- iii. Penentuan fenomena fisika dan kimia dari model.
- iv. Penentuan sifat-sifat fluida, seperti pendefinisian harga densitas, viskositas, temperatur fluida dan lain-lain.
- v. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah disekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
- vi. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran grid (*mesh*).

Analisa masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap cell. Jumlah cell dalam grid (mesh) menentukan akurasi penyelesaian CFD. Pada umumnya semakin banyak cell semakin akurat penyelesaiannya. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses meshing dilakukan dengan sangat halus, sedang untuk daerah yang lain dilakukan agak kasar.

### b) Solving

Solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan dalam proses preprocessing.

Secara umum metode numerik solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- i. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
  - ii. Diskretisasi dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan- persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematik.
  - iii. Penyelesaian dari persamaan aljabar
- c) Postprocessing

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi. Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, data sifat fluida yang dapat di ambil adalah sebagai berikut:

- i. *Density*
- ii. *Density Viscosity*
- iii. *Eddy Viscosity*
- iv. *Heat Transfer Coefficient*
- v. *Mach Number*
- vi. *Pressure*
- vii. *Pressure Gradient*
- viii. *Shear Strain Rate*
- ix. *Specific Capacity Heat Transfer Rate*
- x. *Force*
- xi. *Temperature*
- xii. *Thermal Conductivity*
- xiii. *Total Temperatur*
- xiv. *Total Pressure*
- xv. *Turbulence Kinetic Energy*
- xvi. *Velocity*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III METODOLOGI**

### **III.1. Metode**

Metode yang digunakan dalam untuk menyelesaikan penelitian adalah dengan menggunakan simulasi CFD *free surface*. Simulasi *free surface* merupakan simulasi aliran fluida dalam satu *domain*. Dalam *domain* tersebut terdapat dua fluida yang mengalir. Hal ini dilakukan untuk mencapai kondisi operasi kapal yang sebenarnya. Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan hambatan total kapal yang nantinya akan dianalisis hasilnya. Dalam simulasi ini kapal diasumsikan diam dan fluida yang bergerak. Dalam simulasi *free surface* terdapat permukaan bebas yang merupakan batas antara dua fluida yaitu air laut dan udara. Dalam simulasi ini juga akan divisualisasikan distribusi tekanan dan pola aliran yang terjadi pada badan kapal.

### **III.2. Bahan dan Peralatan**

Proses pengerjaan penelitian menggunakan seperangkat komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel III-1 Spesifikasi Komputer**

<b>Item</b>	<b>Keterangan</b>
<b>Type Komputer</b>	ASUS X550D
<b>CPU</b>	AMD A10 Quad-core up to 3.2 GHz
<b>RAM</b>	12 GB
<b>Graphic card</b>	RADEON Graphic HD 8670M 2 GB
<b>Kapasitas Harddisk</b>	1 TB

Penggunaan Software yang mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

**Tabel III-2 Software Pendukung Penelitian**

Nama Software	Fungsi
<b>AutoCAD 2013</b>	Modeller
<b>MAXSURF Advance Modeller</b>	Modeller
<b>ANSYS ICEM</b>	Modeller dan Grid Generator
<b>ANSYS CFX</b>	CFD Solver
<b>Ms. Office</b>	Penulisan laporan dan presentasi

### **III.3. Proses Pengerjaan**

Penyelesaian penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahap pengerjaan. Proses pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **III.3.1. Identifikasi Masalah**

Langkah awal yang dilakukan adalah dengan mendiskripsikan permasalahan. Pada proses ini penulis akan memahami permasalahan yang kemudian diterjemahkan untuk memudahkan proses penyelesaian. Dalam tahap ini dihasilkan ide dasar dari penelitian ini. Dari ide dasar tersebut dikembangkan menjadi hipotesis yang menjadi kerangka dasar dalam melakukan penelitian ini. Pengumpulan ide dilakukan dengan melihat penelitian sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk memeriksa apakah penelitian sudah dilakukan sebelumnya atau tidak. Selain itu juga dilakukan asistensi dengan calon dosen pembimbing untuk membuat kerangka penelitian.

#### **III.3.2. Pengumpulan Data**

Proses pengumpulan data penelitian dilakukan dengan mencari data kapal yang digunakan untuk penelitian. Data kapal didapat dari penelitian Romadhoni(2014). Data kapal yang didapatkan berupa ukuran utama dan gambar *lines plan* dan *general arrangement* yang telah disebutkan di Bab II.

### III.3.3. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendalami materi penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari hasil penelitian, jurnal, dan tugas akhir yang terkait. Selain itu juga dilakukan peninjauan referensi penelitian berupa buku dan *website*. Dalam studi literatur ini penulis melakukan pencarian tentang informasi yang berkaitan dengan *integrated wedges flap* serta bahasan yang berkaitan tentang percobaan *free surface*. Beberapa paten desain dan prosedur percobaan juga diulas untuk mendukung pengerjaan penelitian.

### III.3.4. Penyusunan Proposal Penelitian

Setelah menemukan ide awal kemudian disusun proposal penelitian. Dalam proposal penelitian dijelaskan dengan lebih terperinci pengembangan dari ide awal penelitian. Proposal penelitian kemudian dipaparkan dalam seminar pengarahan tugas akhir yang kemudian disetujui untuk dilanjutkan ke tahap penelitian selanjutnya,

### III.3.5. Pembuatan Model MAXSURF

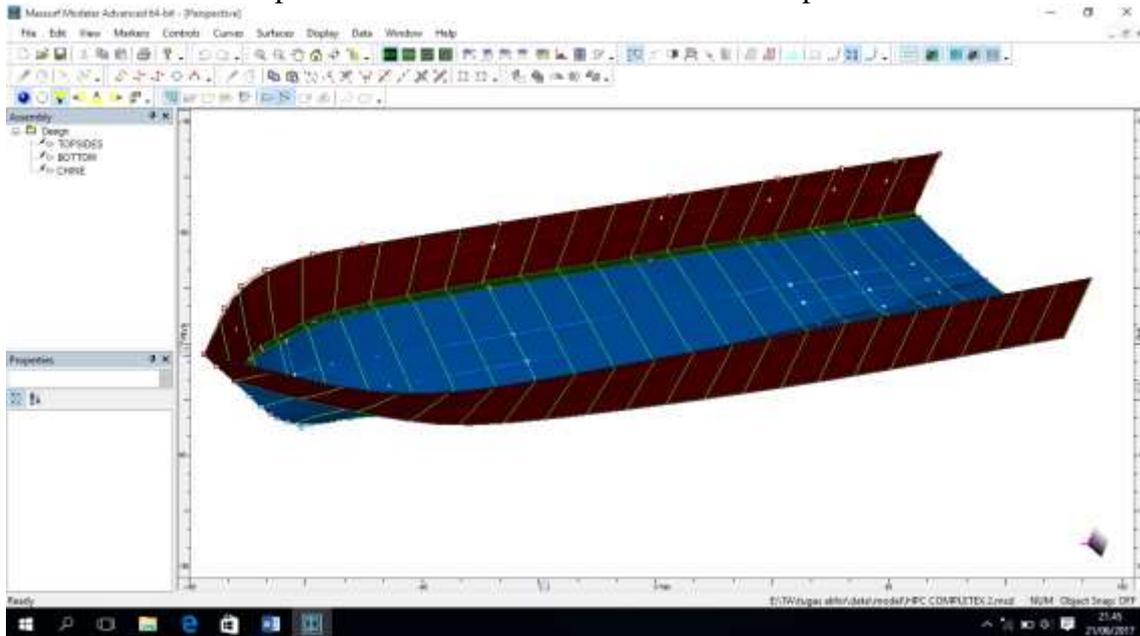
Pembuatan model untuk penelitian ini menggunakan MAXSURF sebagai *software* pembuat model awal. Pembuatan model ini dilakukan berdasarkan data kapal yang telah didapat sebelumnya. Berikut data kapal yang digunakan:

Tabel III-3 Data Ukuran Utama Kapal

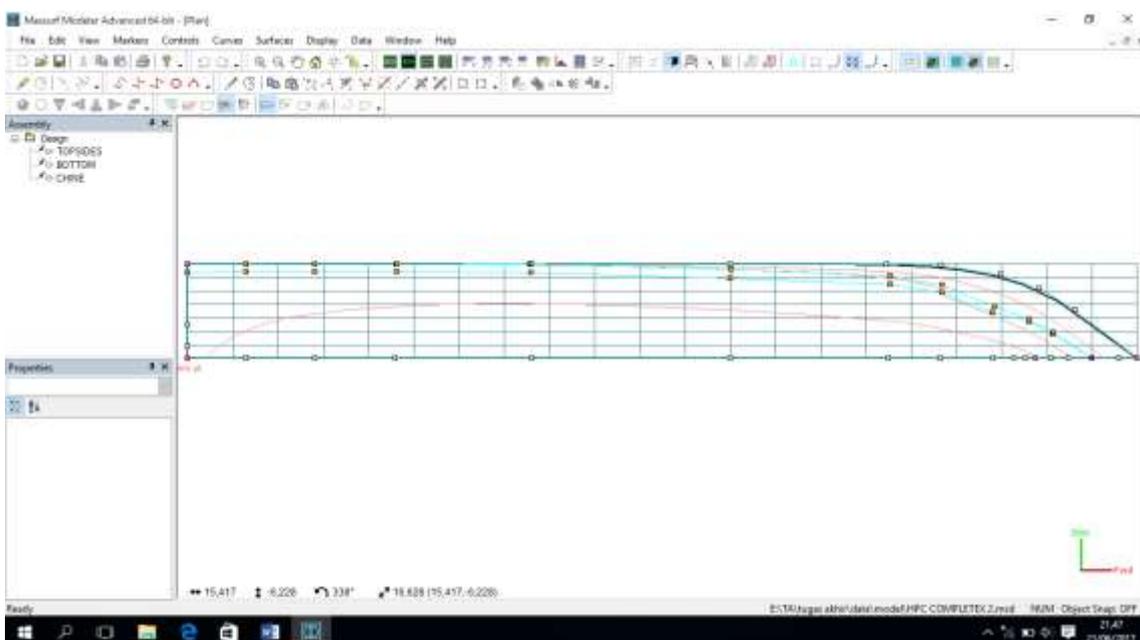
Ship Parameter	Symbol	Satuan	Value
Length of overall	LOA	m	38
Length Between Perpendicular	LBP	m	34.71
Length of Water line	LWL	m	35.5
Breadth Moulded	Bmld	m	7.6
Height Moulded	Hmld	m	3.65
Draft/Drougt	T	m	1.89
Coeffesient Block	Cb		0.46
Coeffesient Prismatic	Cp		0.795

<b>Coeffesient Midship</b>	Cm		0.624
<b>Service Speed</b>	VS	Knot	24
<b>Wetted Surface Area</b>	S	M <sup>2</sup>	284.055
<b>Displasement</b>	$\Delta$	ton	240.5

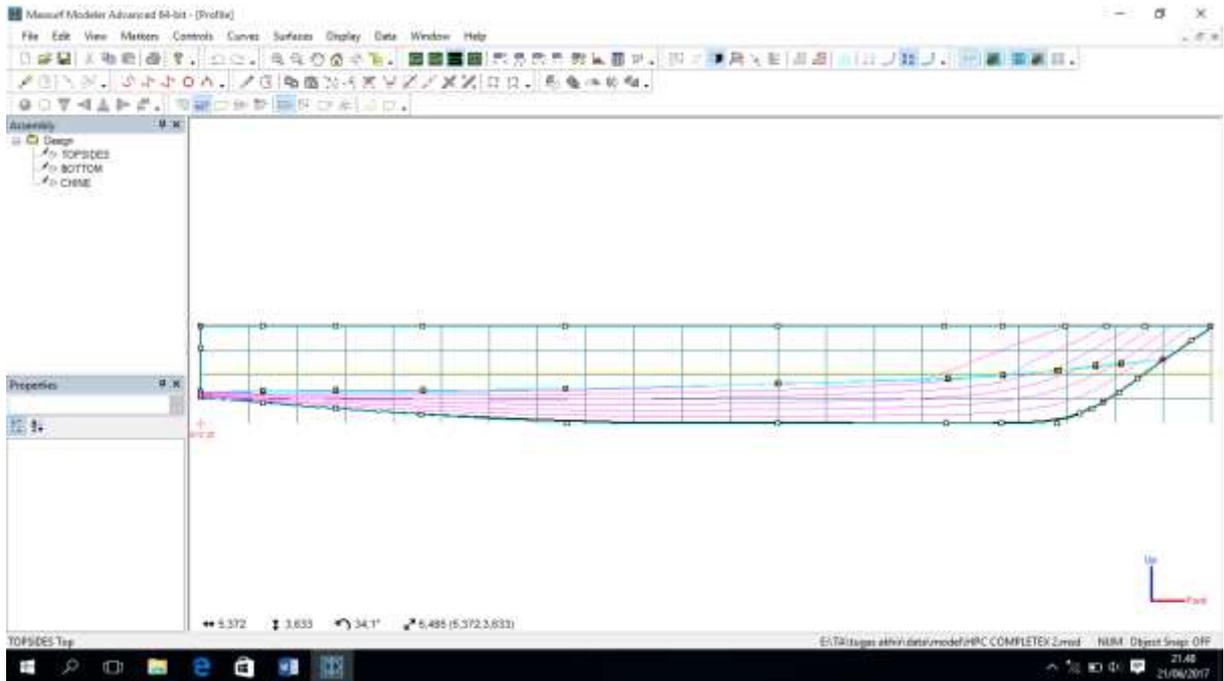
Berikut hasil pemodelan berdasarkan ukuran utama kapal:



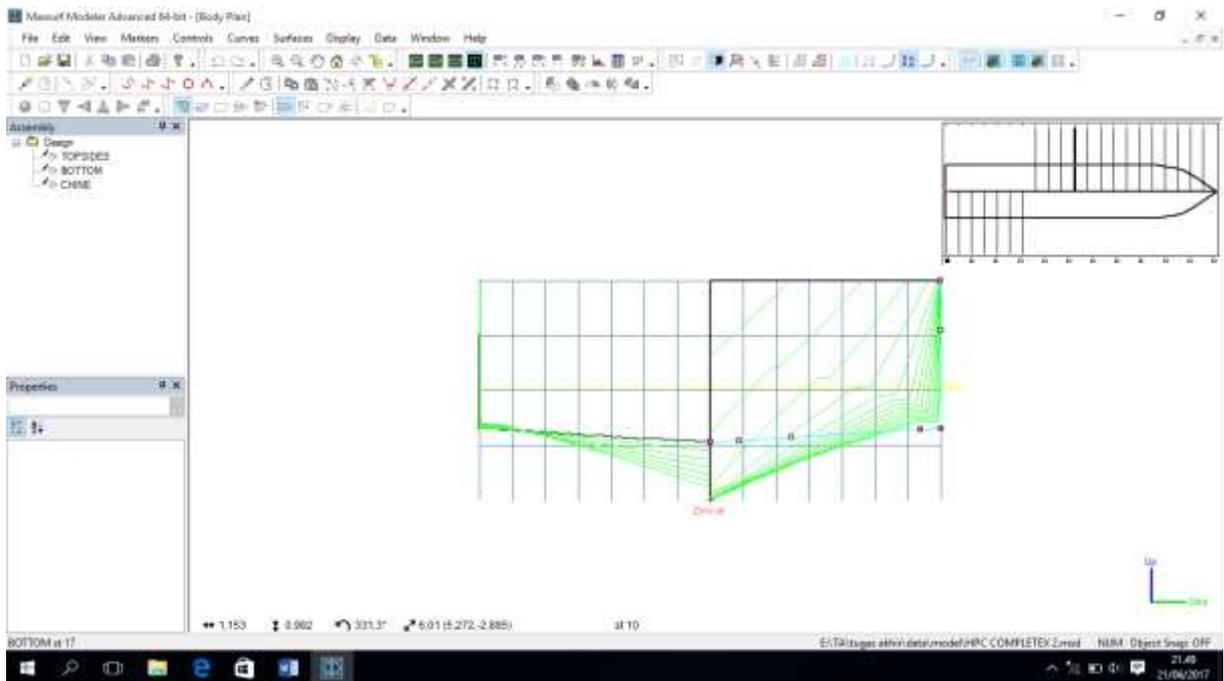
**Gambar III-1 Model 3D Crew Boat**



**Gambar III-2 Half Breadth Plan Crew Boat**



**Gambar III-3 Buttock Line Plan Crew Boat**



**Gambar III-4 Body Plan Crew Boat**

Setelah dilakukan pemodelan maka selanjutnya adalah memvalidasi model dengan data hidrostatis yang telah didapat. Hal ini dilakukan agar model yang dibuat sama dengan data yang didapat.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	240,3	t
2	Volume (displaced)	234,462	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	1,890	m
4	Immersed depth	1,890	m
5	Immersed depth of stat	1,791	m
6	Immersed depth amids	1,862	m
7	WL Length	35,513	m
8	Beam max extents on	7,599	m
9	Beam max on WL	7,599	m
10	Beam extents on WL o	7,508	m
11	Beam extents on WL a	7,384	m
12	Beam on WL amidship	7,384	m
13	Wetted Area	284,055	m <sup>2</sup>
14	Max sect. area	8,313	m <sup>2</sup>
15	Sect. area amidships	8,098	m <sup>2</sup>
16	Waterpl. Area	235,377	m <sup>2</sup>
17	Prismatic coeff. (Cp)	0,794	
18	Block coeff. (Cb)	0,460	
19	Max Sect. area coeff. (	0,618	
20	Waterpl. area coeff. (C	0,872	
21	LCB length	15,673	from zero pt. (+ve f
22	LCF length	15,810	from zero pt. (+ve f
23	LCB %	44,133	from zero pt. (+ve f
24	LCF %	44,500	from zero pt. (+ve f

Density (water)

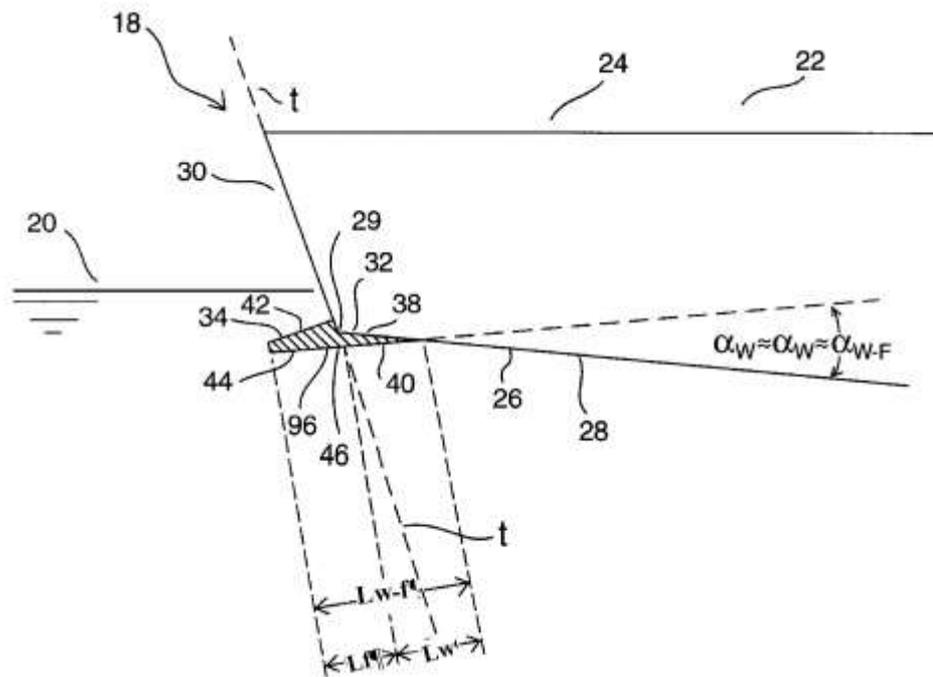
Std. densities

VCG

Gambar III-5 Data Hidrostatik

### III.3.6. Pembuatan Model Variasi

Pembuatan model variasi pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* MAXSURF dan dengan bantuan AutoCAD. Terdapat tiga variasi model yang akan dianalisis. Variasi model yang dibuat adalah variasi sudut dari *integrated wedges flap*. Ketiga model menggunakan konfigurasi panjang *flap* dan *wedges* yang sama yaitu masing –masing 2 % LPP dari kapal. Berikut konfigurasi IWF ketiga model.

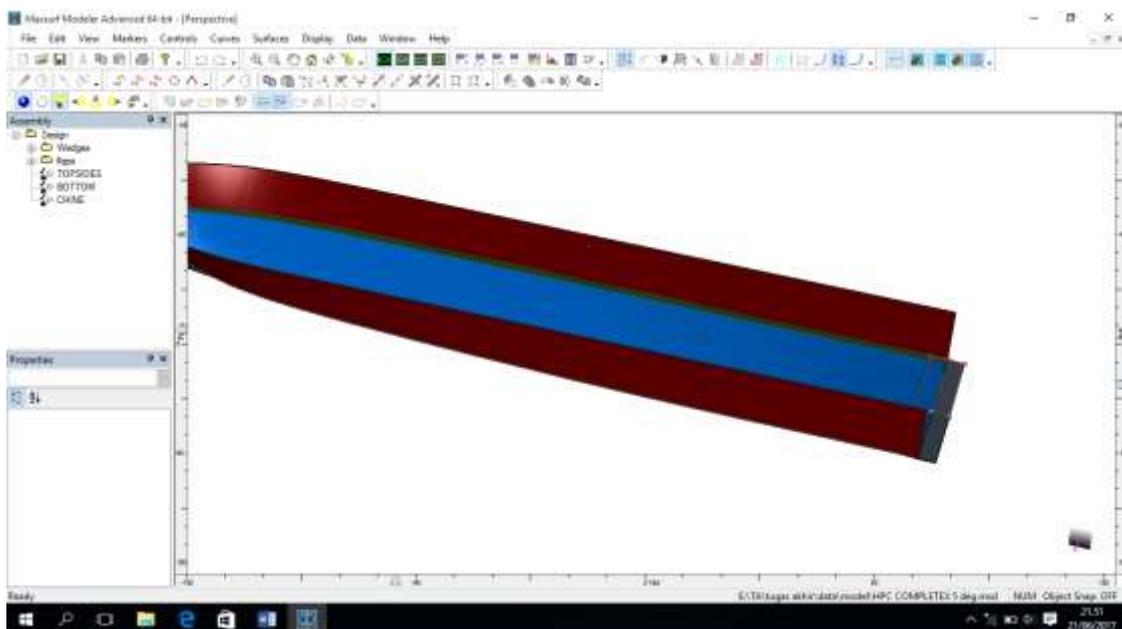


Gambar III-6 Desain Integrated Wedges Flap (USA Paten No. US6038995 A, 2000)

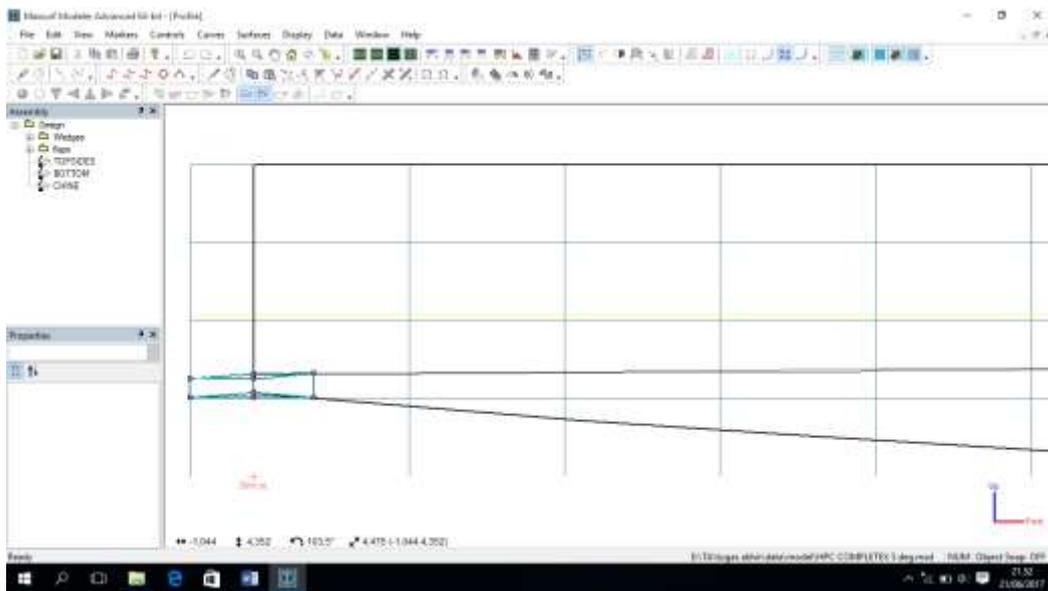
Tabel III-4 konfigurasi IWF pada Model

	IWF 4 deg	IWF 5 deg	IWF 6 deg
<b>Lf (m)</b>	0.7	0.7	0.7
<b>Lw (m)</b>	0.7	0.7	0.7
<b><math>\alpha_{W-F}</math> (°)</b>	4	5	6

Setelah menentukan konfigurasi IWF untuk tiap model selanjutnya adalah dilakukan pemodelan dengan menggunakan MAXSURF.



Gambar III-7 Pemodelan IWF

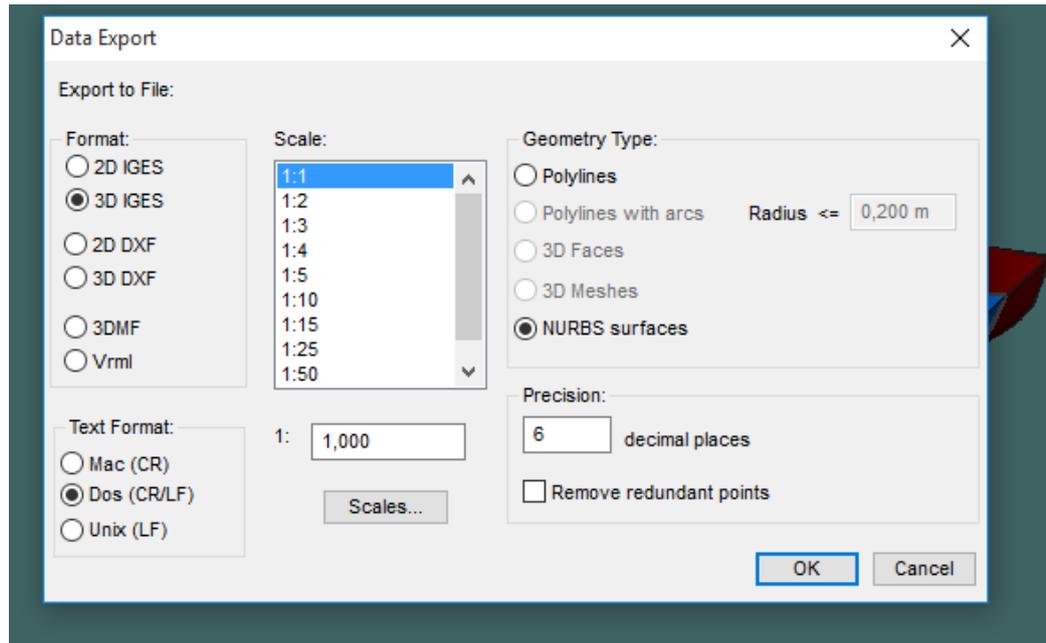


Gambar III-8 Tampilan Samping IWF

### III.3.7. Pembuatan Model Ke ANSYS

Setelah dilakukan pembuatan model dengan menggunakan MAXSURF hal selanjutnya yang dilakukan adalah membawa model tersebut ke ANSYS. Dikarenakan ANSYS ICEM sebagai *software modeller* ANSYS hanya dapat membaca file berformat STEP/IGES sedangkan format MAXSURF merupakan .msd maka diperlukan *export model* dari MAXSURF ke ICEM. Untuk melakukan *export model* pada MAXSURF maka dilakukan langkah-langkah berikut :

- Klik File > Export
- Pilih tipe file DXF and IGES....
- Kemudian pilih atur data export seperti berikut:

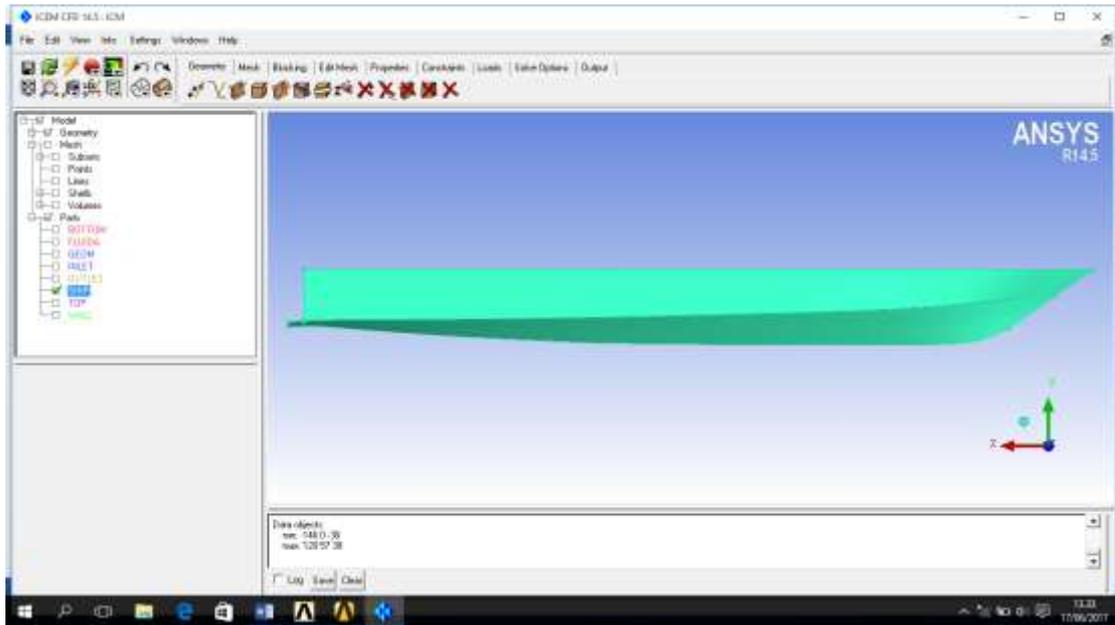


**Gambar III-9 Data Export MAXSURF**

- Format yang dipilih adalah 3D IGES dengan skala 1:1 hal ini dilakukan agar mendapat tipikal model tiga dimensi dengan ukuran skala penuh.
- Tipe geometri yang dipilih adalah NURBS surface. Hal ini dilakukan NURBS(*Non-Uniform, Rational B-spline Surface*) merupakan format universal yang dapat dibaca ICEM dengan baik. Sehingga tidak terjadi perubahan geometri.

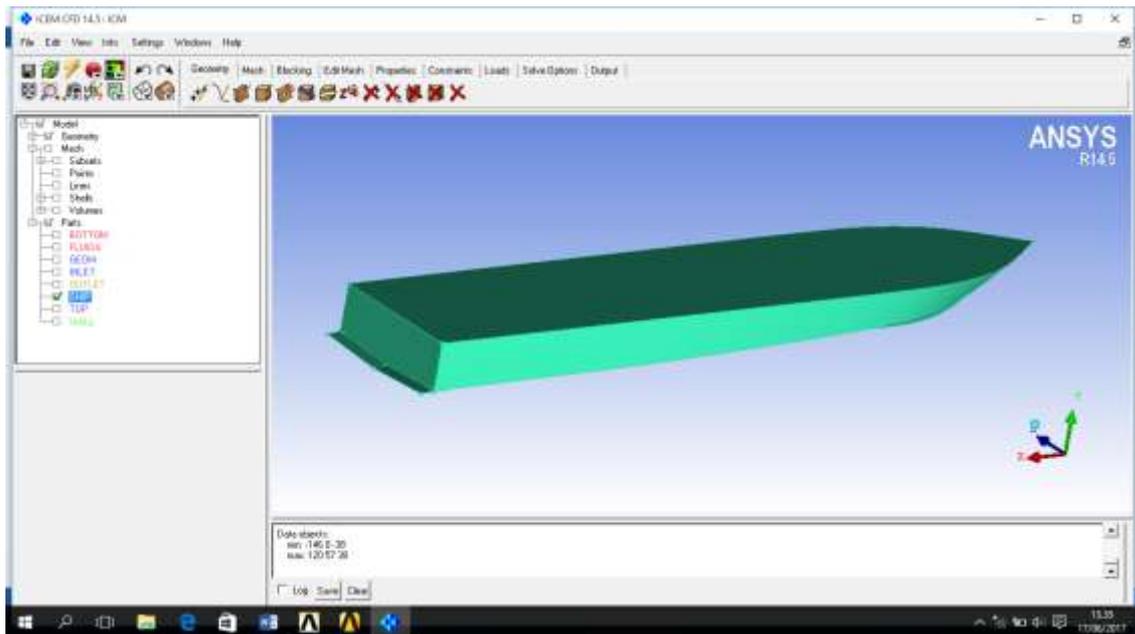
Setelah model MAXSURF sudah diexport kemudian dengan menggunakan ANSYS ICEM model diimport dengan cara sebagai berikut:

- Klik File>pilih Import Geometry
- Pilih tipe file STEP/IGES
- Pilih file .igs pada direktori file export MAXSURF disimpan
- Pilih Open



**Gambar III-10 File IGES yang Diimport**

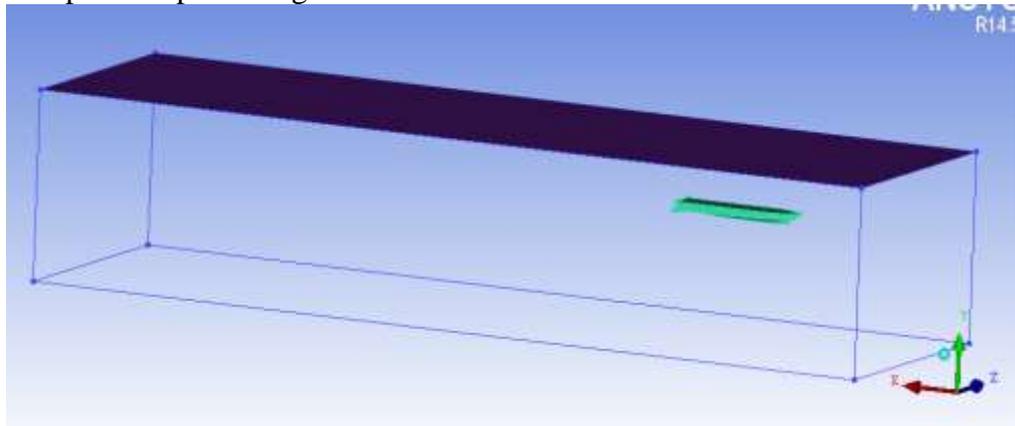
Setelah file berhasil diexport kemudian dipastikan bahwa semua bagian model telah dilengkapi *surface*. Hal ini bertujuan agar fluida tidak mengalir ke dalam benda uji.



**Gambar III-11 Benda Uji yang Telah Dilengkapi Surface**

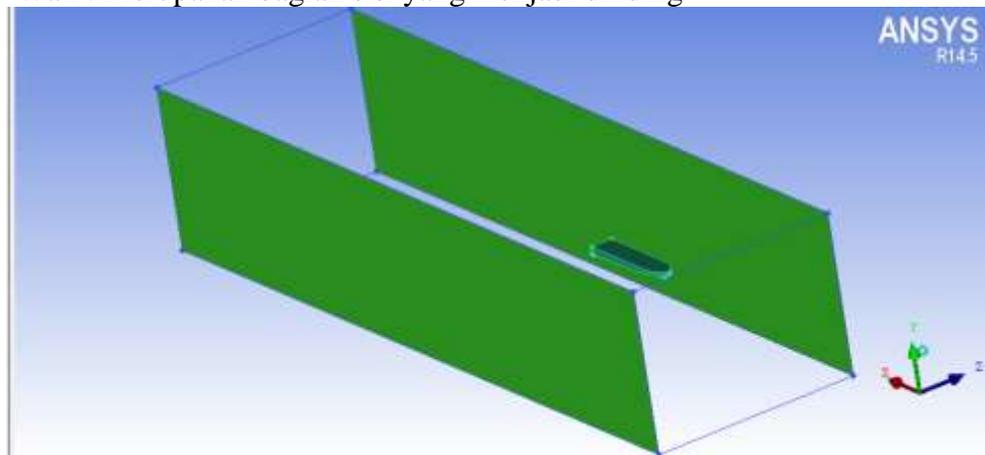
Setelah seluruh benda uji memiliki *surface* maka selanjutnya adalah membuat domain percobaan. Domain merupakan dinding uji yang dalam hal ini berbentuk balok. Domain terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

- Top : Merupakan bagian atas dari domain



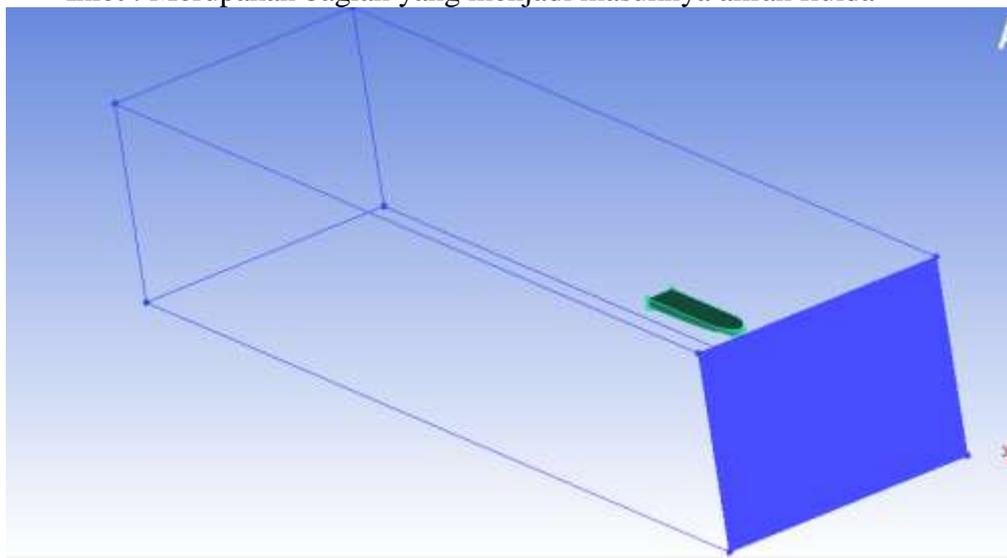
**Gambar III-12 Bagian TOP Domain**

- Wall : Merupakan bagian sisi yang menjadi dinding



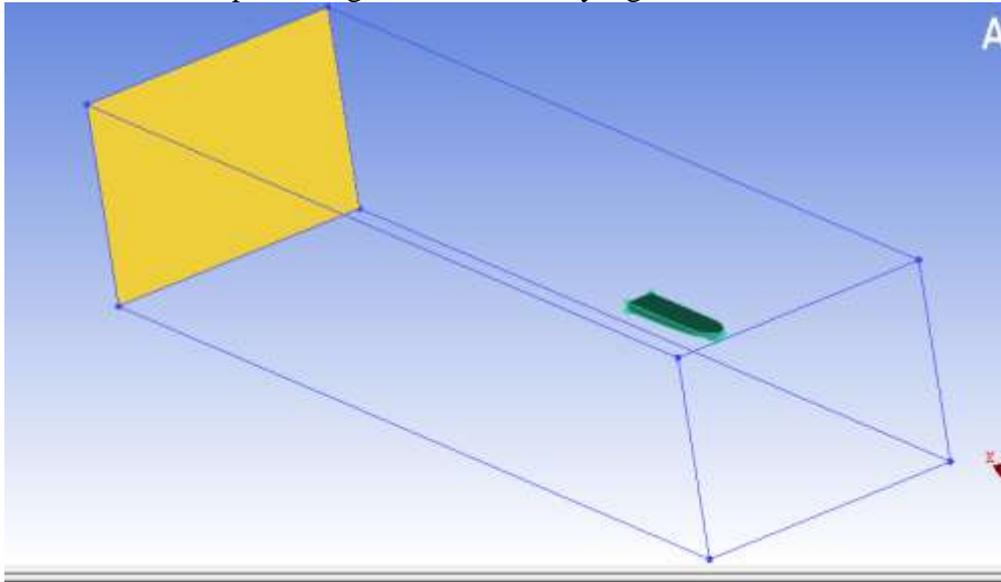
**Gambar III-13 Bagian WALL Domain**

- Inlet : Merupakan bagian yang menjadi masuknya aliran fluida



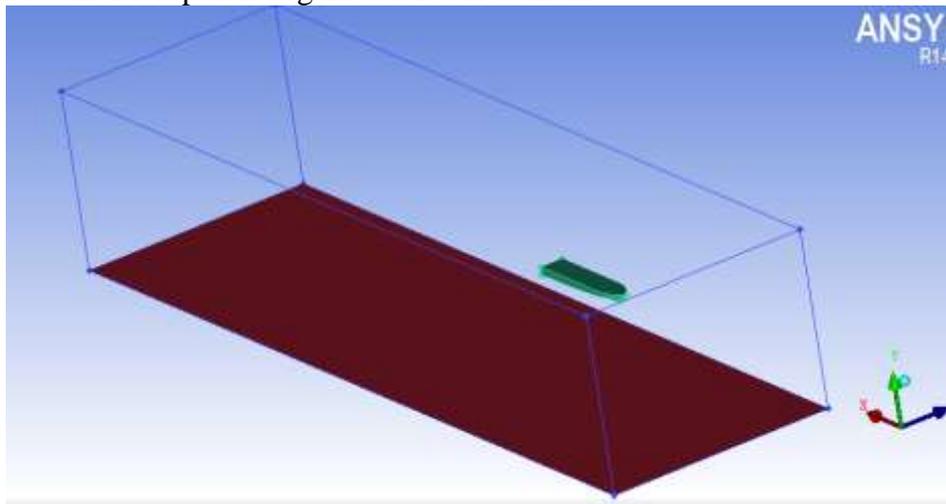
**Gambar III-14 Bagian INLET Domain**

- Outlet: Merupakan bagian keluar aliran yang masuk



**Gambar III-15 Bagian OUTLET Domain**

- Bottom: Merupakan bagian dasar dari domain



**Gambar III-16 Bagian BOTTOM Domain**

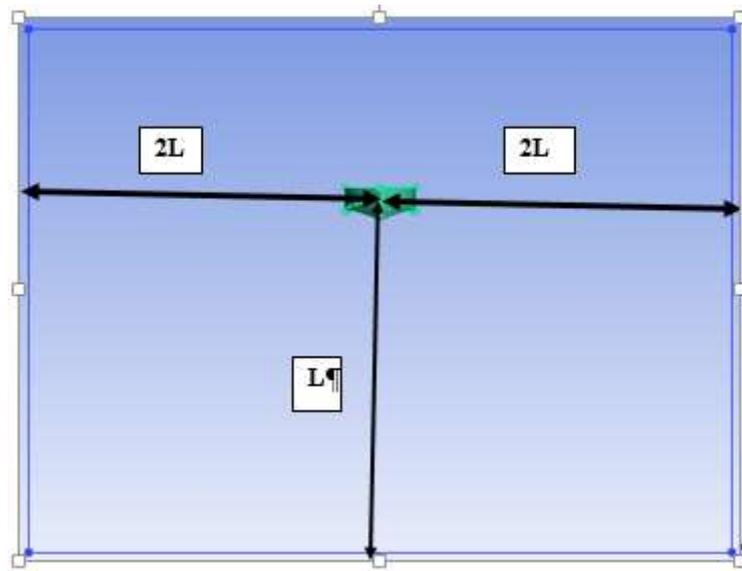
Ukuran dari domain yang dipilih berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Kwang, 2012 adalah sebagai berikut:

**Tabel III-5 Ukuran Domain**

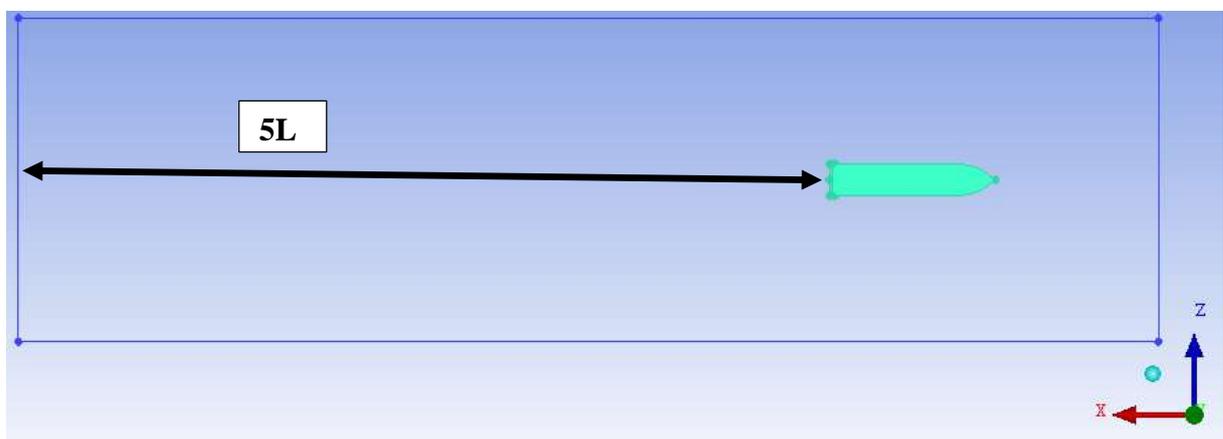
Ukuran	Parameter	Nilai (m)
Panjang	7L	266
Lebar	2 L	76
Tinggi	1.5 L	57

Dasar dari pemilihan ukuran tersebut adalah pertimbangan kecepatan kapal dan juga kemampuan dari komputer. Dengan kecepatan 30 kn maka diperlukan ukuran panjang domain yang cukup agar aliran fluida dapat mengalir dengan baik. Hal ini akan mempengaruhi hasil perhitungan.

Posisi kapal dalam domain diatur sebagai berikut:

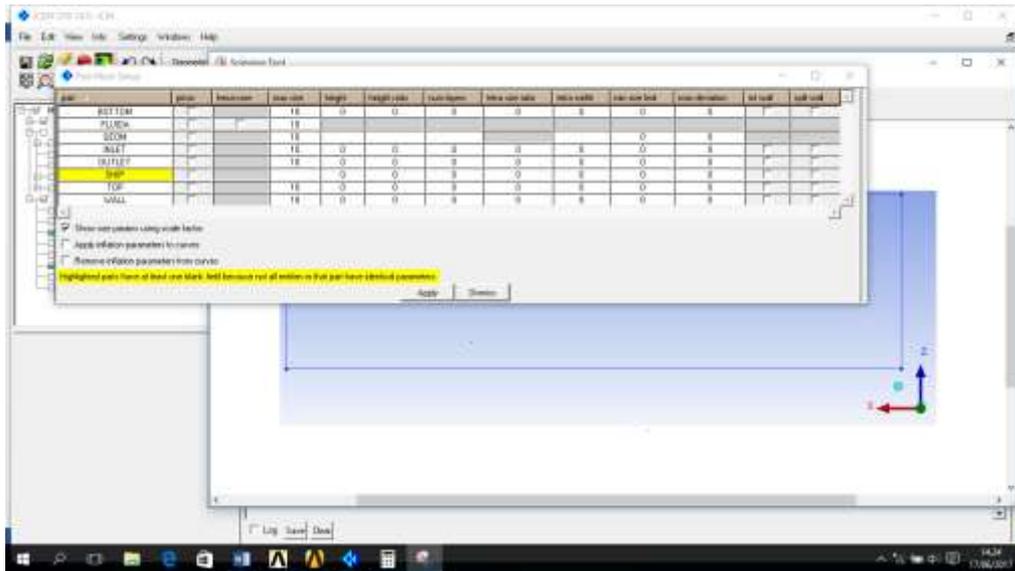


Gambar III-17 Posisi Vertikal Kapal



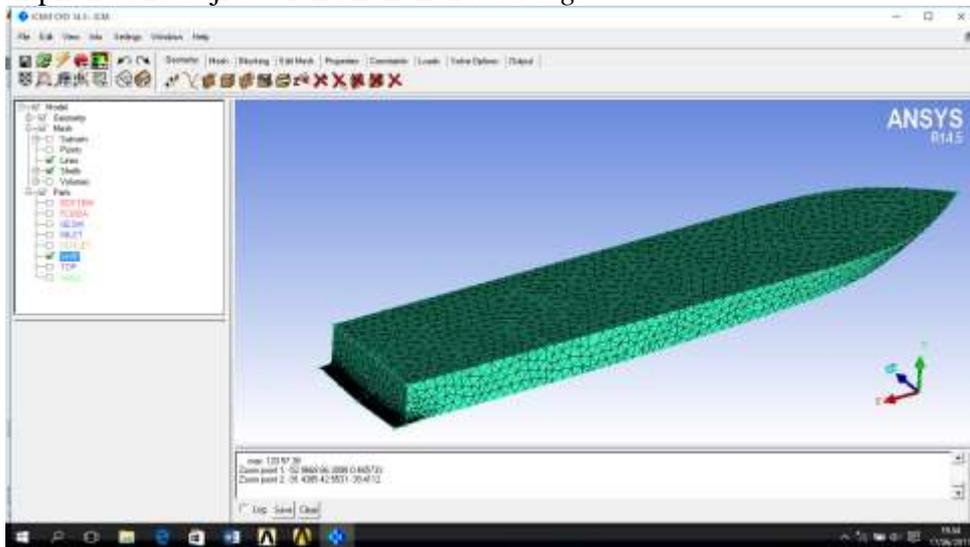
Gambar III-18 Posisi Horizontal Kapal

Setelah domain dibuat maka langkah selanjutnya adalah melakukan *meshing* pada kapal dan domain. Geometri atau benda uji dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang disebut *cell*. Pembuatan *meshing* dapat dilakukan dengan terlebih dahulu membuat parameter *meshing* seperti gambar berikut:

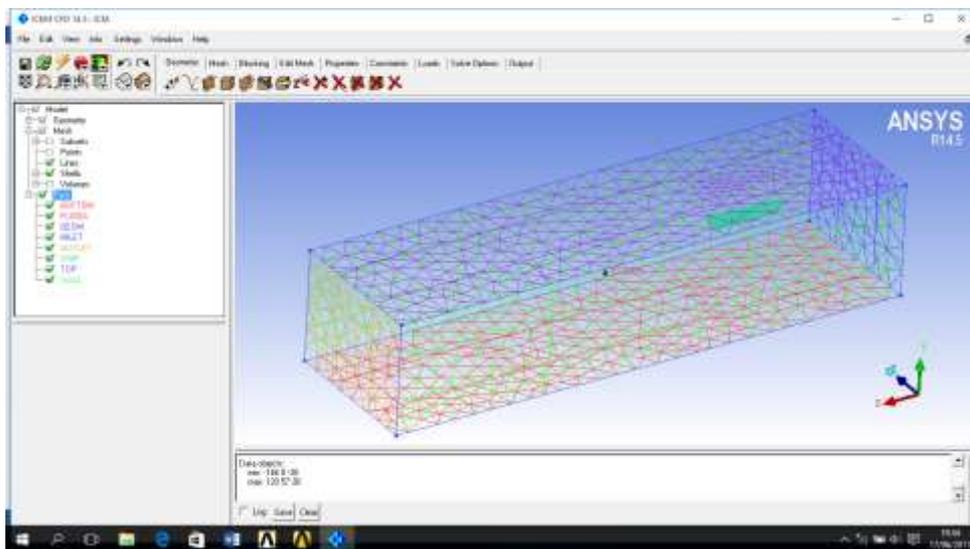


Gambar III-19 Parameter Mesh

Berikut tampilan benda uji setelah dilakukan *meshing*:



Gambar III-20 Meshing pada Kapal



Gambar III-21 Meshing pada Domain

### III.3.8. Simulasi Free Surface

Setelah model ANSYS siap dan juga dilengkapi dengan *meshing* maka dilakukan simulasi *free surface*. Pada tahap ini simulasi akan dilakukan pada lima kecepatan yang berbeda. Kecepatan itu adalah sebagai berikut:

**Tabel III-6 Variasi Kecepatan**

Variasi Kecepatan (Knot)				
5	10	17	24	30

Untuk melakukan simulasi *free surface* dilakukan penentuan *boundary condition* dan *initial condition*. Untuk itu dalam simulasi ini dilakukan pengaturan pada CEL (*CFX Expression Language*).

Berikut adalah kondisi yang harus diatur dan memerlukan penulisan ekspresi:

- Batas INLET nilai fraksi volume di atas permukaan bebas adalah 1 untuk udara dan 0 untuk air, dan di bawah permukaan bebas adalah 0 untuk udara dan 1 untuk air.
- Batas OUTLET diatur dengan tekanan di atas permukaan bebas adalah konstan dan tekanan dibawah permukaan bebas adalah distribusi hidrostatis.

Ekspresi untuk *boundary condition* dan *initial conditions* dapat didefinisikan pada CEL dalam tabel berikut:

**Tabel III-7 Tabel Ekspresi CEL**

	Ekspresi	Definisi
<b>Tinggi hulu aliran</b>	UpH	38 [m]
<b>Tinggi hilir aliran</b>	DownH	38 [m]
<b>Densitas air</b>	DenWater	1025 [kgm <sup>-3</sup> ]
<b>Densitas udara</b>	DenRef	1.185[kgm <sup>-3</sup> ]
<b>Densitas air-densitas udara</b>	DenH	(DenWater-DenRef)
<b>Fraksi volume udara(hulu)</b>	UpVFAir	Step((y-UpH)/l[m])
<b>Fraksi volume air(hulu)</b>	UpVFWater	1-UpVFAir

<b>Distribusi tekanan hulu</b>	UpPres	$DenH * g * UpVFWater * (UpH - y)$
<b>Fraksi volume udara(hilir)</b>	DownVFAir	$Step((y - DownH) / l[m])$
<b>Fraksi volume air(hilir)</b>	DownVFWater	$1 - DownVFAir$
<b>Distribusi tekanan hilir</b>	DownPres	$DenH * g * DownVFWater * (DownH - y)$

Setelah mengatur ekspresi CEL maka selanjutnya adalah mengatur kondisi batas pada domain.

- Kondisi batas Domain

Ada dua fluida dalam domain yaitu air dan udara. Fluida diasumsikan berada pada suhu ruang yaitu 25°C dan tekanan 1 atm pada batas permukaan *free surface*. Model turbulensi yang digunakan adalah *SST(Shear Stress Transport)* pada keadaan *isothermal*. Pengaruh gravitasi diperhitungkan dengan percepatan gravitasi 9.8 m/s<sup>2</sup>

- Kondisi Batas *Inflow*

Air diasumsikan bergerak sedangkan kapal diam. Hal ini mewakili keadaan yang sesungguhnya. Kecepatan fluida bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan kapal. Variasi kecepatan dapat dilihat di tabel variasi kecepatan.

Dalam tahap ini dikenal *volume fraction*, yaitu rasio antara volume domain udara atau fluida dan volume total domain. Untuk menentukan kondisinya dapat dilakukan dengan menuliskan ekspresi CEL.

Jenis aliran pada *inflow* merupakan tipe aliran *subsonic* karena nilai bilangan *Mach*-nya  $\leq 1$ .

- Kondisi Batas *Outflow*

*Outflow* merupakan sisi keluarnya aliran fluida sehingga dapat disebut sebagai hulu. Tekanan yang terjadi pada daerah *outflow* dianggap statis dan merupakan fungsi Downpres pada CEL.

- Kondisi Batas Wall

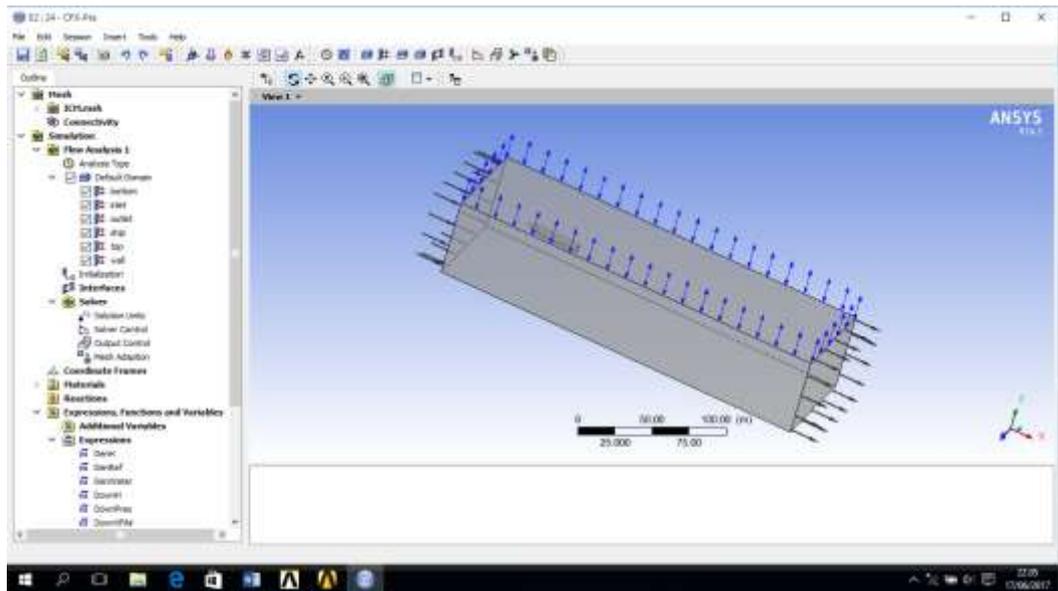
Bagian wall merupakan dinding bagian kanan dan kiri domain serta bagian bottom domain. Wall diasumsikan *free slip* yaitu kondisi tanpa gesekan sehingga pada bagian ini gesekan fluida dan dinding dianggap tidak ada.

- Kondisi Batas *Opening*

Top didefinisikan sebagai *opening* yang artinya volume udara dibagian atas domain terbuka. Pada sisi ini tidak mengalami gaya dan tekanan. Serta pada bagian ini tidak mengalami turbulensi.

- Kondisi Batas Model

Kondisi model diasumsikan sebagai wall yang tidak mengalami slip.

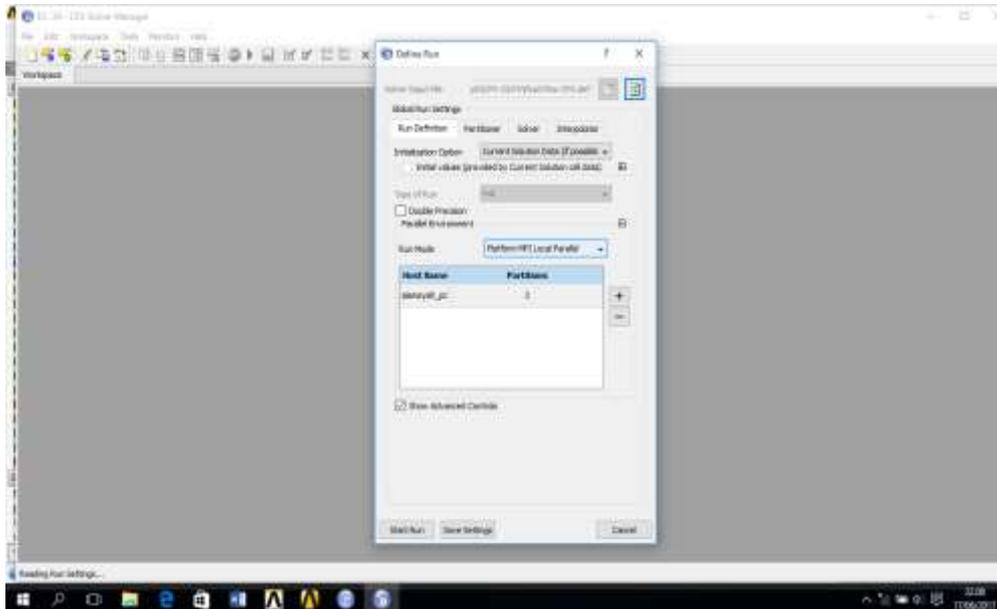


Gambar III-22 Setting Boundary Condition

Setelah selesai melakukan pengaturan pada *boundary conditions* maka selanjutnya adalah mengatur *initial condition*. Hal ini dilakukan agar terjadi konsistensi dengan *inlet*. Pada komponen kecepatan dimasukkan nilai kecepatan kapal sesuai dengan batas *inlet*. Selanjutnya dilakukan pengaturan parameter *mesh adaptation* untuk meningkatkan resolusi *interface* antara udara dan air. Pada fitur ini juga ditentukan berapa iterasi maksimum yang diinginkan saat melakukan *running solution*. Iterasi adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika proses *running* hingga didapat hasil yang konvergen. Pengaturan jumlah iterasi maksimal dapat dilakukan pada menu *solver control*.

Setelah selesai mengatur *boundary* dan *initial condition* maka dapat dilanjutkan pada proses *running*. Pada langkah ini akan muncul grafik dengan sumbu x merupakan *accumulated time step* dan sumbu y merupakan variabel nilai. Proses ini menggunakan tiga inti prosesor untuk menjalankan fungsinya.

Proses *running* akan selesai jika nilai perhitungan melawati batas konvergensi yang telah ditentukan. Standar nilai konvergensi yang telah ditentukan adalah  $10^{-4}$  untuk percobaan *free surface*.

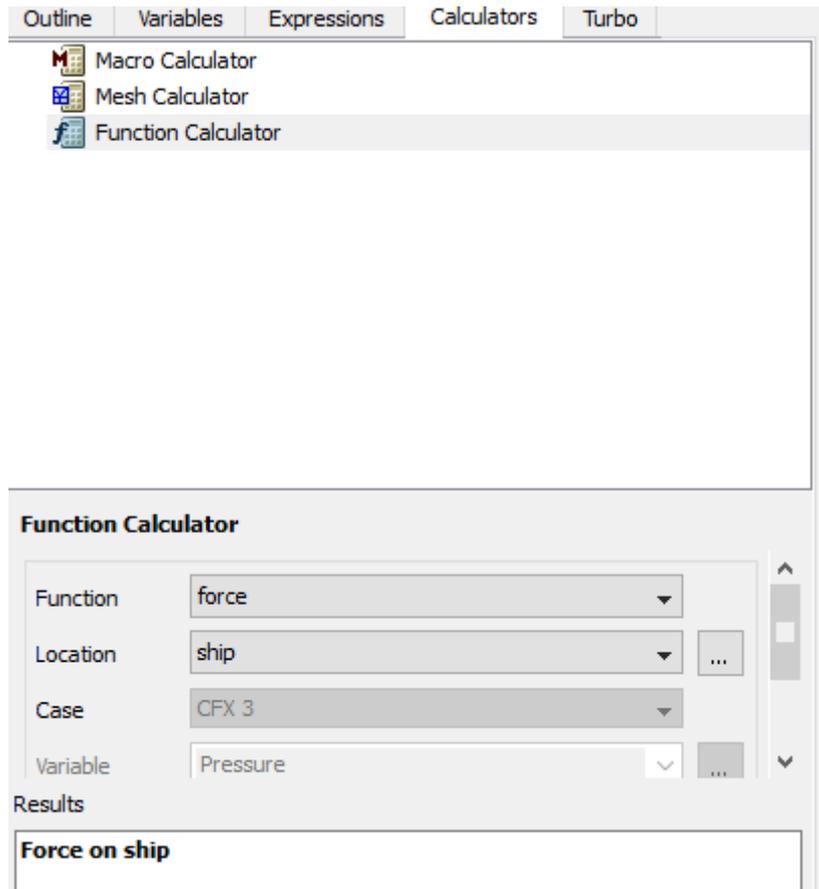


Gambar III-23 Tampilan Sebelum Running

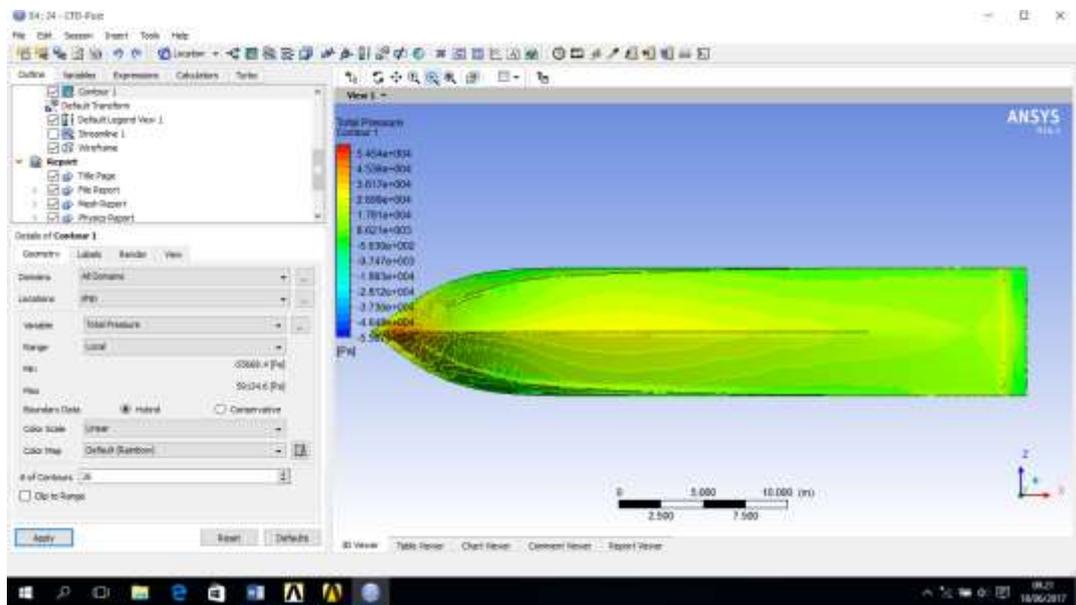


Gambar III-24 Proses Running

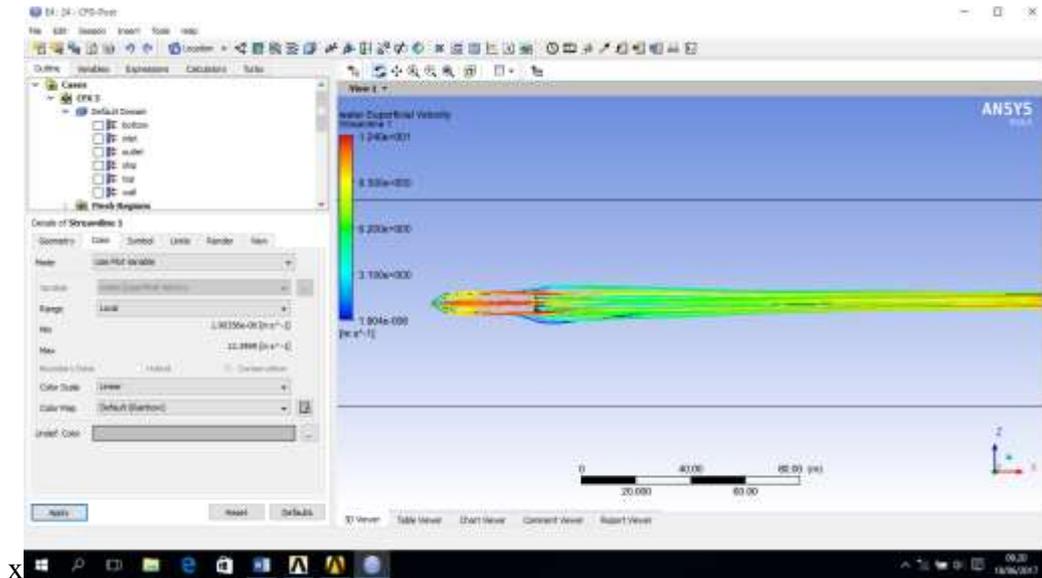
Setelah melakukan proses *running* maka langkah selanjutnya adalah dengan melihat hasil. Tahap ini disebut *post processor*. Dalam tahap ini dapat dilihat besarnya nilai hambatan total dengan fungsi *function calculator* serta kondisi tekanan pada kapal yang direpresentasikan dengan bentuk diagram kontur. Selain itu pola aliran dapat dilihat dengan fitur *stream line*.



Gambar III-25 Function Calculator



Gambar III-26 Kontur yang Menunjukkan Tekanan pada Kapal



Gambar III-27 Fitur Streamline untuk Menunjukkan Pola Aliran

### III.3.9. Analisis Hasil

Analisis dilakukan terhadap setiap model yang diuji. Masing model yaitu *crew boat* dengan *integrated wedges flap* sudut  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $6^\circ$  dibandingkan dengan model *benchmark*. Hasil penelitian berupa besar nilai hambatan akan dibandingkan. Kemudian fenomena aliran yang terjadi pada masing-masing model dilihat. Fenomena perubahan tekanan dan pola aliran dianalisis lebih lanjut. Hal ini dilakukan agar penyebab perubahan nilai hambatan akibat perubahan sudut IWF dapat diketahui.

### III.3.10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian ini adalah konfigurasi IWF terbaik yang memberikan pengurangan hambatan pada kapal yang diuji. Saran penelitian berisi tentang rekomendasi dan kekurangan dari penelitian ini yang dapat dilakukan penelitian lebih lanjut. Rekomendasi tersebut akan menjadi masukan bagi penelitian selanjutnya.

### III.3.11. Penulisan Laporan

Penulisan laporan penelitian mengacu pada pedoman penulisan laporan tugas akhir yang telah dikeluarkan oleh Departemen Teknik Perkapalan ITS tahun 2017. Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Bab 1

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, manfaat, hipotesis, serta sistematika penulisan penelitian.

b. Bab 2

Bab ini berisi landasan teori berupa referensi dan teori yang terkait dengan penelitian. Dalam bab ini teori yang dikaji berkaitan tentang hambatan kapal, teori kapal cepat, data kapal yang dipakai untuk objek penelitian, penjelasan tentang *integrated wedges-flap*, penjelasan tentang CFD, dan proses simulasinya.

c. Bab 3

Bab ini berisi metodologi penelitian yang digunakan dalam memecahkan permasalahan dalam penelitian ini. Pada bab ini akan dibahas langkah-langkah penelitian dari tahap persiapan hingga penulisan laporan.

d. Bab 4

Bab ini berisi data hasil penelitian.

e. Bab 5

Bab ini berisi analisis data dari bab 4. Dengan membahas secara detail fenomena yang terjadi pada hasil simulasi.

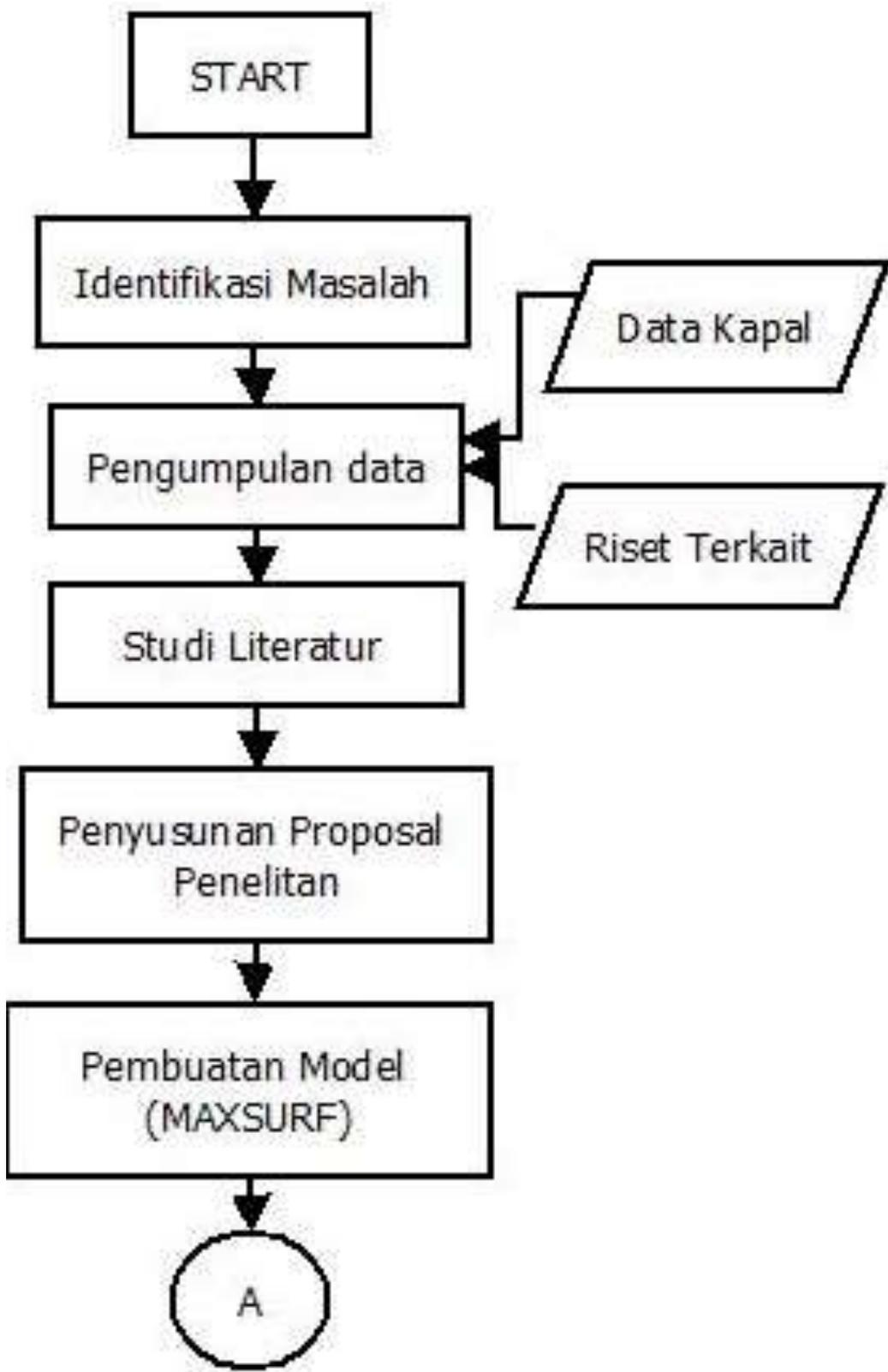
f. Bab 6

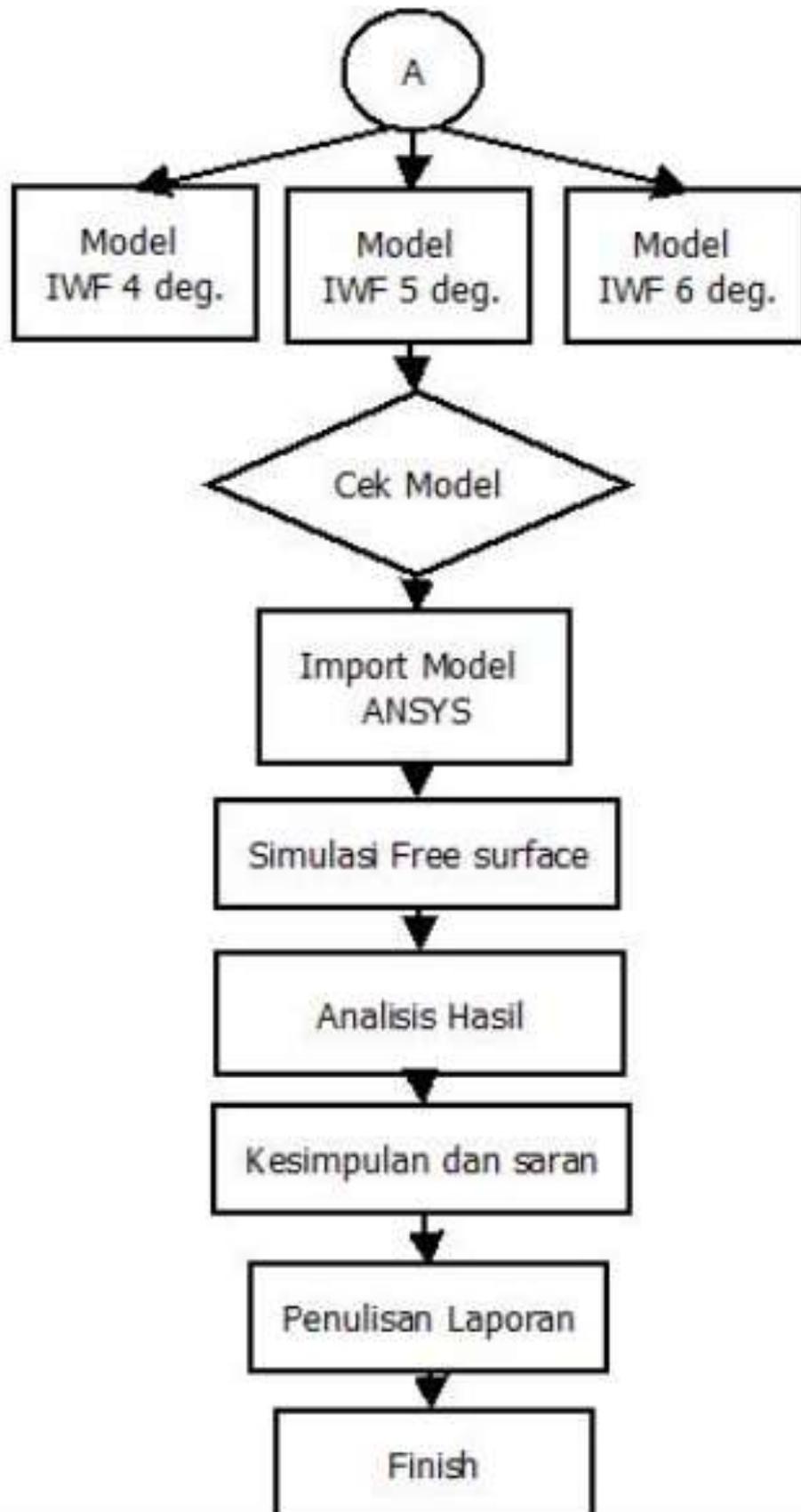
Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian serta rekomendasi serta saran untuk penelitian yang telah dilakukan.

#### **III.4. Lokasi Pengerjaan**

Lokasi pengerjaan penelitian adalah Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan ITS, Surabaya.

III.5. Bagan Alir





Gambar III-28 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Hasil Grid Independence

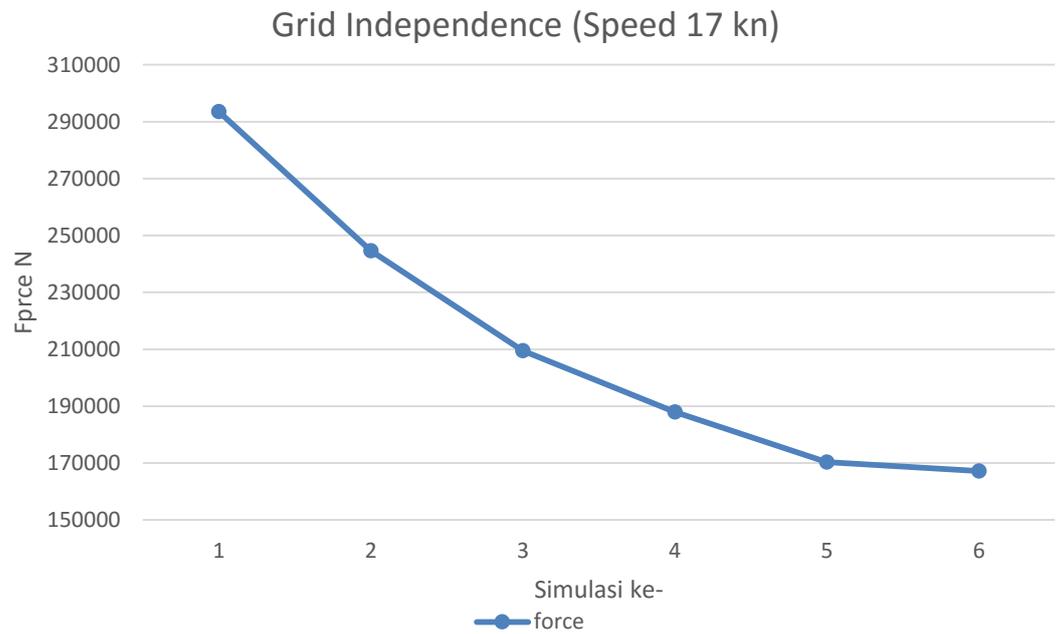
Simulasi CFD sangat bergantung pada *grid* atau *mesh* pada model yang diuji. Semakin kecil ukuran elemen maka akan membuat jumlah elemen pada benda uji semakin banyak. Hal ini akan memberikan hasil yang semakin akurat. Namun dengan semakin banyaknya jumlah elemen maka proses simulasi akan memakan waktu semakin lama. Sehingga dalam simulasi kemampuan komputer menjadi batasan dalam penentuan jumlah elemen. Untuk itu perlu dicari jumlah elemen yang optimal sehingga hasil yang didapatkan menjadi optimum. Dengan melakukan proses *grid independence* dapat dilakukan pencarian jumlah elemen yang optimum. Proses *grid independence* dilakukan pada setiap model pada kecepatan 17 knot.

#### IV.1.1. Grid Independence Benchmark

Model benchmark merupakan model acuan yang menjadi patokan dalam penelitian ini. Model tersebut merupakan kapal tanpa penambahan IWF. Proses *grid independence* dilakukan pada kecepatan 17 knot. Simulasi dilakukan sebanyak enam kali. Dalam setiap simulasi jumlah elemen ditambah hingga hampir atau lebih dari dua kali lipat jumlah elemen sebelumnya. Simulasi pada model ini telah mencapai hasil optimum jika nilai hambatan mempunyai selisih kurang dari 2 %. Jumlah grid yang optimum untuk model ini terjadi pada simulasi ke lima dengan selisih 1.83% ketika jumlah grid ditambah untuk simulasi ke enam. Dengan hal ini maka jumlah grid pada simulasi ke lima telah mencapai titik optimum.

**Tabel IV-1 Hasil Grid Independence Benchmark**

<b>Silmulasi Ke</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Jumlah Element</b>	56786	112974	326854	755657	<b>1694520</b>	3946667
<b>Hambatan Force (N)</b>	293572	244644	209491	187935	<b>170370</b>	167252
<b>%RT</b>	-	19.08	16.79	11.47	10.31	<b>1.83</b>



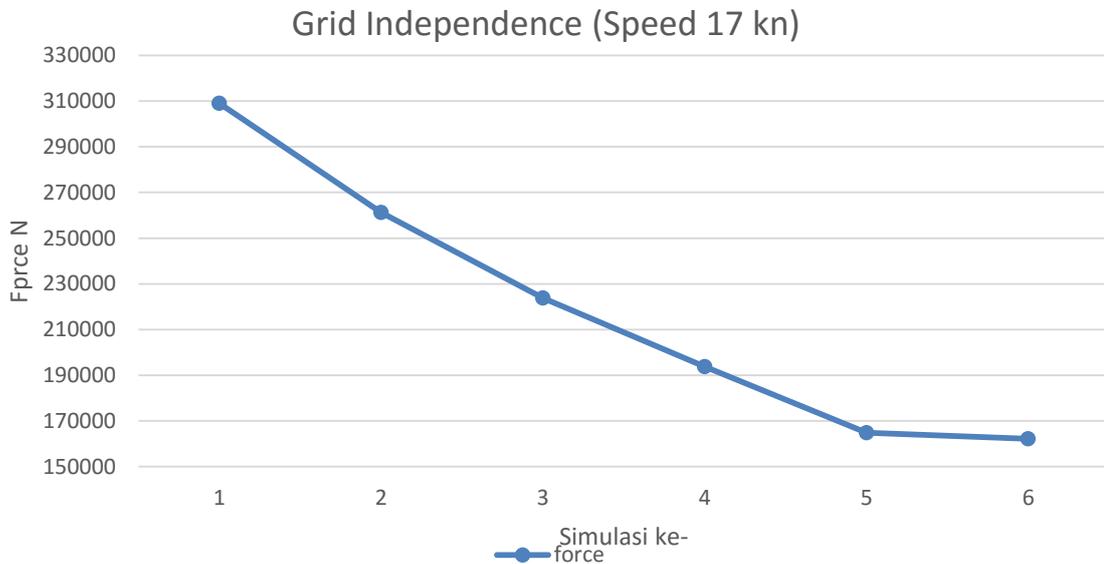
**Gambar IV-1 Grafik Grid Independence Benchmark**

#### IV.1.2. Grid Independence IWF 4deg

Tahapan *grid independence* juga dilakukan pada setiap model variasi. Masing masing model dilakukan pencarian jumlah grid optimum. Pada model IWF 4deg jumlah grid optimum tercapai pada percobaan simulasi ke lima. Pada simulasi ke keenam selisih hambatan dengan dengan hasil simulasi ke lima adalah 1.56%. Selisih tersebut sudah memenuhi kriteria dibawah selisih 2%. Untuk model ini jumlah elemen yang dipakai adalah 3753926 elemen.

**Tabel IV-2 Hasil Grid Independence IWF 4deg**

Silmulasi Ke	1	2	3	4	5	6
<b>Jumlah Element</b>	128479	348932	767356	1697368	3753926	5361121
<b>Hambatan Force (N)</b>	309068	261220	223791	193775	164832	162252
<b>%RT</b>	-	15.48	14.33	13.50	14.93	1.56



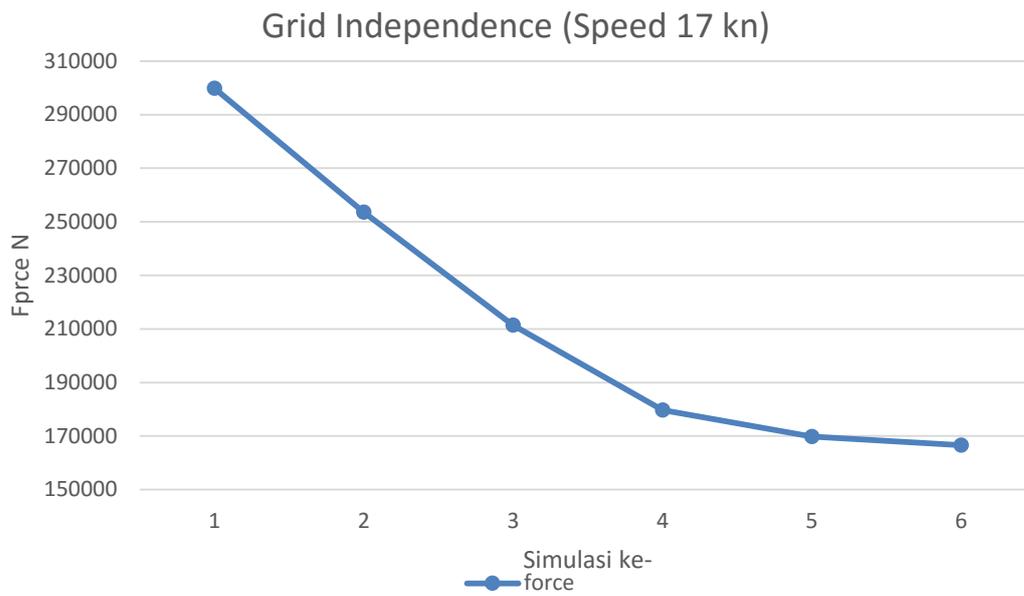
Gambar IV-2 Grafik Grid Independence IWF 4deg

#### IV.1.3. Grid Independence IWF 5deg

Pada model IWF 5deg grid optimum tercapai pada simulasi ke lima. Pada simulasi keenam selisih dengan simulasi sebelumnya adalah 1.89%. Jumlah grid optimum yang digunakan untuk simulasi selanjutnya adalah 3598376 elemen.

Tabel IV-3 Hasil Grid Independence IWF 5deg

Silmulasi Ke	1	2	3	4	5	6
<b>Jumlah Element</b>	123866	368077	775926	1652305	3598376	5445980
<b>Hambatan Force (N)</b>	299870	253600	211348	179735	169776	166572
<b>%RT</b>	-	15.43	16.67	14.96	5.87	1.89

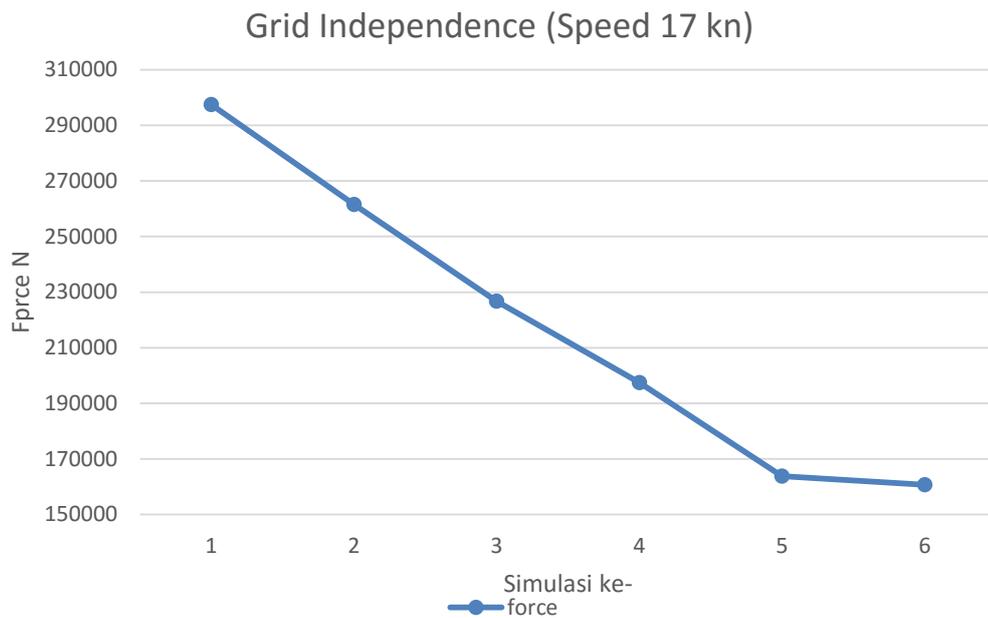


Gambar IV-3 Grafik Grid Independence IWF 5deg

#### IV.1.4. Grid Independence IWF 6deg

Tabel IV-4 Hasil Grid Independence IWF 6deg

Silmulasi Ke	1	2	3	4	5	6
Jumlah Element	156388	369925	802754	1875392	3349253	5973966
Hambatan Force (N)	297480	261550	226734	197490	163790	160652
%RT	-	12.08	13.31	12.90	17.06	1.91



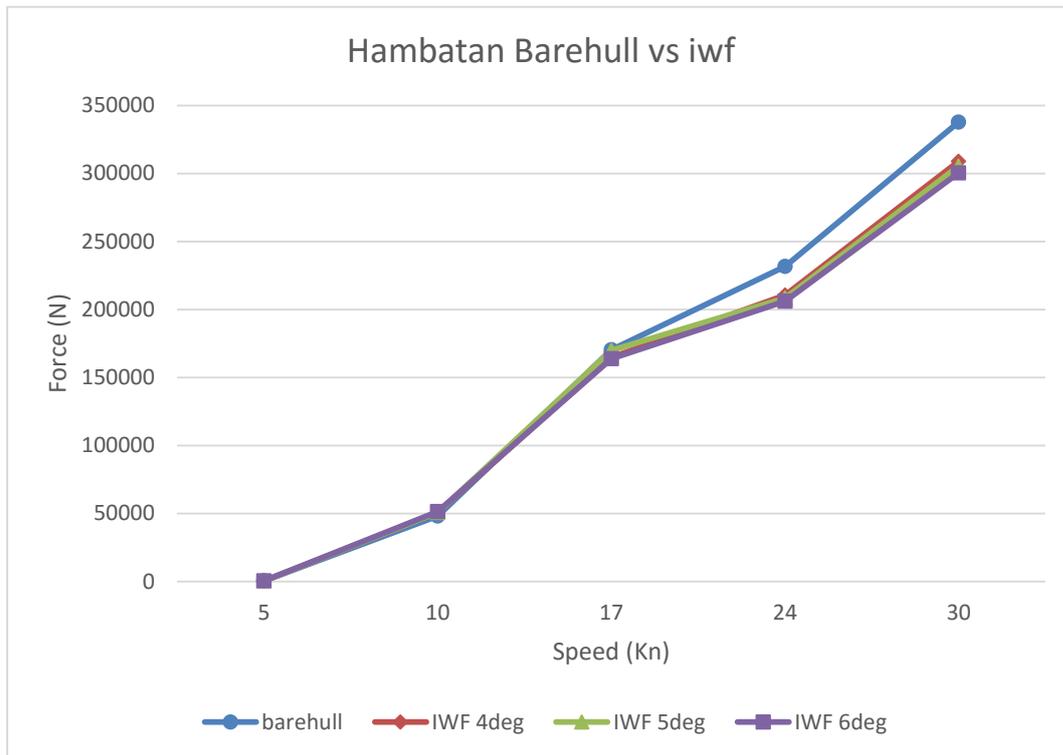
Gambar IV-4 Grafik Grid Independence IWF 6deg

#### IV.2. Total Hambatan

Hasil dari simulasi yang telah dilakukan selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut. Analisis yang dilakukan adalah dengan melihat perbedaan nilai hambatan total pada tiap-tiap model yang diuji. Selain itu dilakukan kondisi tekanan yang terjadi pada tiap-tiap model dan sekaligus pola aliran. Analisis tersebut dilakukan untuk mencari tahu efek dari penggunaan *integrated wedges-flap* pada kapal yang diuji.

Tabel IV-5 Hambatan Total

Kecepatan (Knot)	Barehull	IWF 4deg		IWF 5deg		IWF 6deg	
	RT (N)	RT (N)	Selisih (%)	RT (N)	Selisih (%)	RT (N)	Selisih (%)
5	355	405	14.1	427	20.3	440	23.9
10	47981	50634	5.5	50602	5.5	51284	6.8
17	170370	164832	-3.3	169776	-0.4	163790	-3.9
24	231663	210572	-9.1	208376	-10.1	205920	-11.1
30	337783	308935	-8.5	305289	-9.6	300460	-11



**Gambar IV-5 Grafik Hambatan Total**

#### IV.2.1. Analisis Perbedaan Nilai Hambatan Total

Analisis dilakukan dengan membandingkan antara kapal dengan IWF dan kapal tanpa IWF. Pada tahap ini data hasil simulasi pada model “Benchmark” akan dibandingkan dengan ketiga model yang menggunakan IWF. Pada tahap ini analisis dilakukan dengan melihat besar nilai hambatan pada lima variasi kecepatan. Untuk itu diperlukan konversi kecepatan kapal saat simulasi ke dalam bentuk *froude number*. Hasil konversi kecepatan kapal dapat dilihat pada tabel berikut:

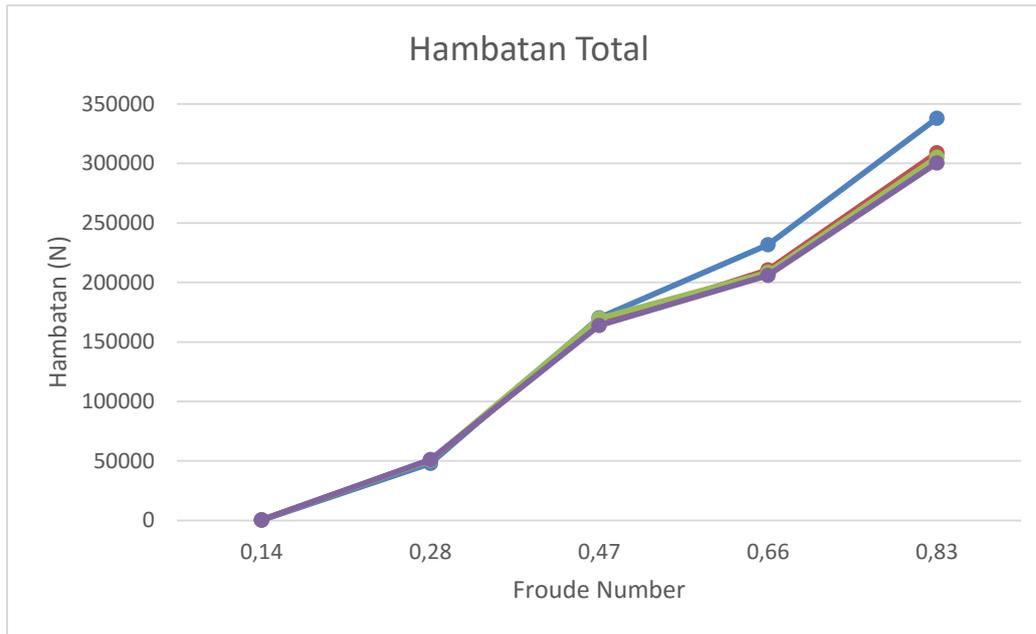
**Tabel IV-6 Konversi Kecepatan ke Froude Number**

Kecepatan (Knot)	<i>Froude Number</i>
5	0,14
10	0,28
17	0,47
24	0,66
30	0,83

Dari tabel IV-6 dapat diketahui dasar pemilihan kecepatan adalah untuk melihat efek dari IWF pada berbagai kondisi kecepatan kapal dari rendah ke tinggi. Pada dasarnya IWF dapat memberikan pengurangan hambatan kapal pada saat kecepatan tinggi. Namun penggunaannya justru akan menambah hambatan pada saat kecepatan rendah.

Perbedaan nilai hambatan yang terjadi sebagai hasil dari simulasi dapat dilihat dari berbagai perspektif. Pada kecepatan rendah ( $Fr < 0.4$ ) terjadi penambahan terhadap nilai hambatan total. Hal ini terjadi pada setiap model yang menggunakan IWF. Terjadi penambahan yang bervariasi antara 14.1% hingga 23.9%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kelemahan dari penggunaan dari IWF. Pada kondisi kecepatan tersebut IWF berperan sebagai tonjolan pada badan kapal. Tonjolan tersebut berkontribusi terhadap bertambahnya nilai hambatan total yang terjadi. Simulasi pada kecepatan rendah tersebut dipilih sebagai kondisi kapal pada saat beroperasi mendekati pelabuhan atau suatu kondisi yang mengharuskan kapal berjalan lambat. Melihat dari hasil yang ada menunjukkan penggunaan IWF pada kondisi ini akan berakibat adanya *penalty* pada kecepatan kapal. Untuk mencapai kecepatan yang sama kapal dengan IWF memerlukan daya yang lebih besar dibanding dengan kapal tanpa IWF.

Pada kecepatan tinggi ( $Fr > 0.4$ ) penggunaan IWF menunjukkan pengurangan hambatan yang cukup signifikan. Terjadi pengurangan antara 0.3% hingga 11% lebih. Fenomena pengurangan hambatan mulai terlihat ketika kapal disimulasikan dengan kecepatan 17 knot ke atas. Pada kecepatan tersebut semua variasi IWF memberikan pengurangan hambatan. Kecepatan 17 knot dipilih karena pada kecepatan tersebut merupakan transisi antara lambat dan cepat. Pengurangan hambatan terlihat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Kondisi berikutnya adalah kecepatan 24 knot. Kecepatan ini merupakan kecepatan dinas kapal. Pada kondisi inilah kapal paling lama beroperasi. Pada kecepatan ini pengurangan hambatan yang terjadi semakin besar antara 9% hingga 11%. Dengan pengurangan ini akan memberikan keuntungan dibandingkan dengan kapal tanpa IWF. Pengurangan juga terjadi pada saat kondisi kecepatan 30 knot. Pada kondisi tersebut pengurangan terjadi antara 8.5% hingga 11%. Hal tersebut memvalidasi bahwa terjadi pengurangan hambatan pada kapal dengan IWF pada kecepatan tinggi. Kecepatan 30 Knot dipilih sebagai kemampuan atau kecepatan maksimal kapal yang mungkin dicapai.



**Gambar IV-6 Hambatan terhadap Froude Number**

Secara keseluruhan penggunaan IWF memberikan keuntungan berupa pengurangan nilai hambatan total pada saat kapal berjalan dengan kecepatan tinggi ( $Fr > 0.4$ ). Hasil dari simulasi menunjukkan semua model dengan IWF mengalami pengurangan hambatan pada kondisi tersebut dibandingkan dengan kapal tanpa IWF atau model *benchmark*. Namun yang perlu diperhatikan adalah terjadinya penambahan hambatan yang cukup besar pada kecepatan rendah. Pada kondisi tersebut kapal dengan IWF menunjukkan penambahan hambatan total yang cukup besar. Hal ini dapat memberikan gambaran tentang penggunaan IWF pada kapal *crew boat* atau yang sejenis.

Efek dari penggunaan IWF memberikan pengurangan hambatan pada kecepatan tinggi dan menambah hambatan pada kecepatan rendah (Karafiath, 1987). Melihat hasil yang telah didapat menunjukkan penggunaan IWF pada kapal yang diuji memberikan pengaruh yang sesuai dengan percobaan sebelumnya.

#### **IV.2.2. Analisis Pengaruh Sudut IWF**

Dalam penelitian yang dilakukan terdapat tiga variasi IWF. Ketiga variasi tersebut memiliki sudut yang berbeda yaitu  $4^0$ ,  $5^0$ , dan  $6^0$ . Sudut merupakan faktor yang penting dalam desain IWF. Untuk itu penulis memilih variasi sudut dalam penelitian ini.

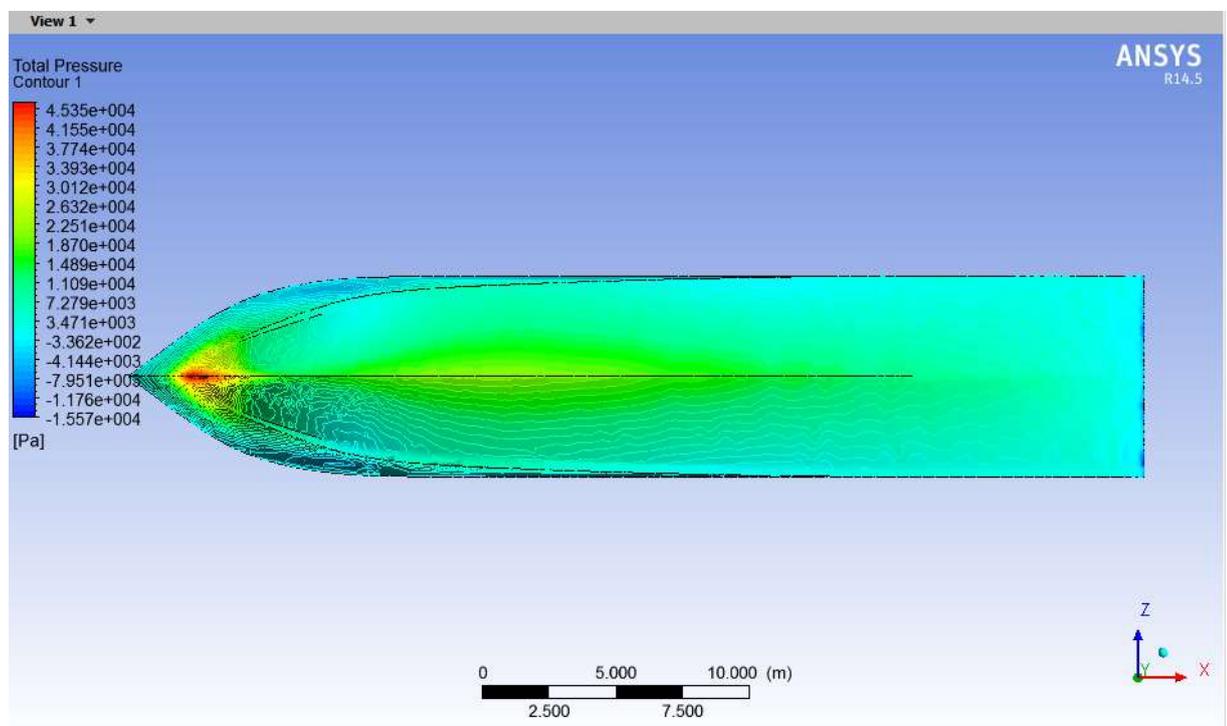
Setiap model kapal dengan IWF memberikan pengaruh yang berbeda untuk tiap sudut yang dipilih. Hasil simulasi menunjukkan pada kecepatan rendah semakin besar

sudut semakin besar pula penambahan hambatan total yang terjadi. Begitu juga pada pada kecepatan tinggi. IWF 6deg yang mempunyai sudut  $6^\circ$  memberikan pengurangan hambatan terbesar.

### IV.2.3. Analisis Distribusi Tekanan

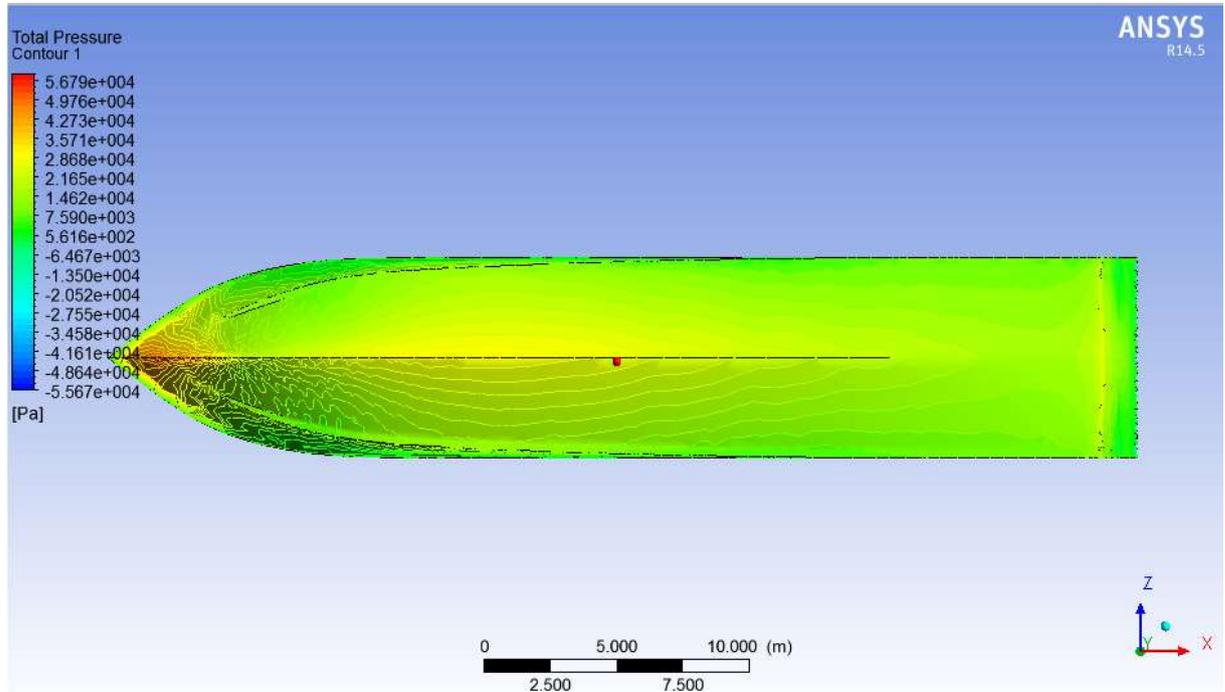
Cara kerja IWF dalah mengurangi hambatan adalah dengan memberikan tekanan pada kapal (Cumming, 2007). Tekanan tersebut mengakibatkan *lift*. Pada analisis ini akan dilihat bagaimana distribusi tekanan yang terjadi antara kapal dengan IWF dan kapal tanpa IWF.

Pada kapal tanpa IWF terlihat bahwa tekanan yang ada di buritan semakin mengecil jika dibandingkan dengan daerah lainnya. Hal ini mengakibatkan tidak terjadinya *lift* yang diharapkan mampu mengurangi besarnya hambatan. Pada model yang menggunakan IWF pada daerah yang terdapat IWF mengalami kenaikan tekanan. Hal ini dapat ditunjukkan oleh kontur tekanan. Dengan ini dapat dilihat bagaimana tekanan yang terjadi akibat aliran air yang dibelokkan oleh IWF. Akibat dari belokkan ini timbul tekanan yang terjadi pada daerah tersebut. Hal ini yang tidak terjadi pada kapal yang tidak dipasang IWF.



Gambar IV-7 Tekanan pada Kapal Tanpa IWF

Pada gambar IV-7 dapat diketahui distribusi tekanan pada kapal tanpa IWF pada kecepatan 24 knot. Tekanan yang terjadi diburitan terlihat sangat kecil jika dibandingkan pada daerah lain. Hal ini mengakibatkan *lift* pada kapal tanpa IWF tidak terjadi.



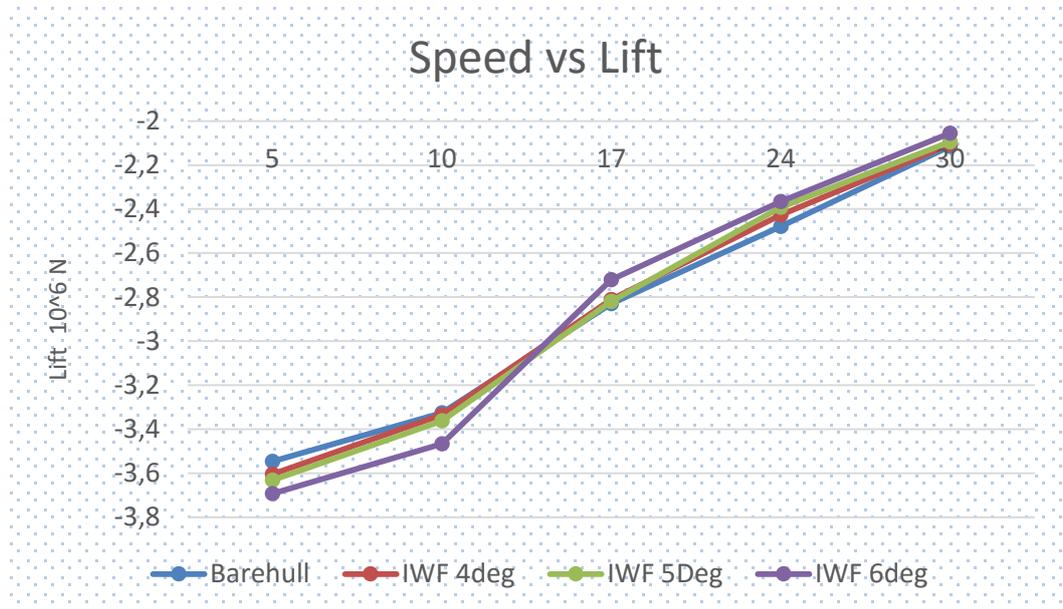
**Gambar IV-8 Distribusi Tekanan pada IWF 6deg**

Pada gambar IV-8 yang merupakan distribusi tekanan pada IWF 6deg pada kecepatan 24 knot menunjukkan terjadi peningkatan tekanan pada seluruh bagian kapal yang tercelup air. Terutama pada bagian yang dipasang IWF. Pada bagian tersebut juga terdapat tekanan tambahan yang diakibatkan oleh bagian *flap* pada IWF. Tekanan tersebut memicu terjadinya *lift*.

**Tabel IV-7 Hasil Analisis Lift**

Speed (Knot)	Barehull $10^6$ N	IWF 4deg $10^6$ N	IWF 5deg $10^6$ N	IWF 6deg $10^6$ N
5	-3.547	-3.605	-3.633	-3.693
10	-3.327	-3.335	-3.362	-3.467
17	-2.830	-2.812	-2.820	-2.722
24	-2.479	-2.427	-2.392	-2.366
30	-2.115	-2.107	-2.094	-2.055

Secara keseluruhan pengaruh penggunaan IWF mengakibatkan perubahan tekanan yang terjadi pada bagian kapal yang tercelup air. Tekanan yang timbul ini mengakibatkan terjadinya *lift* yang akan mengurangi nilai hambatan yang terjadi.

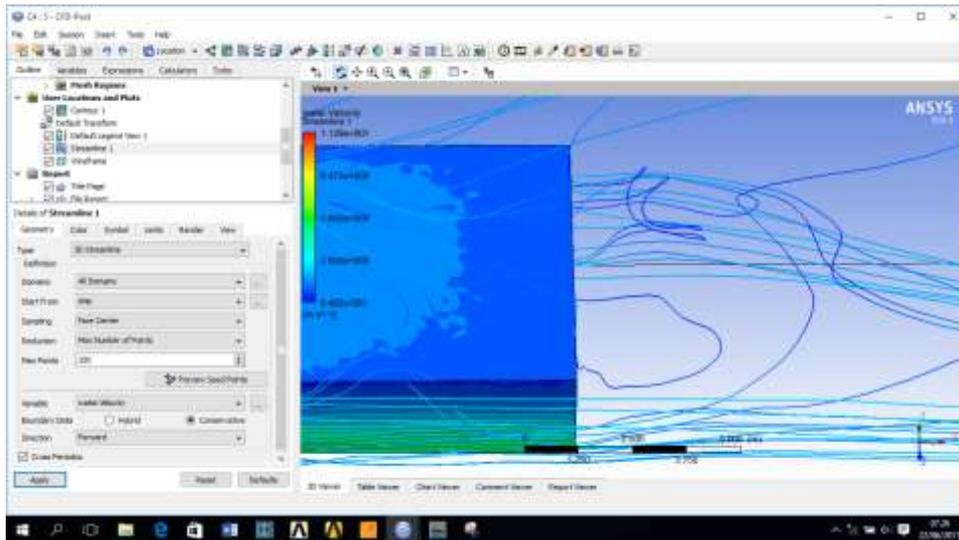


Gambar IV-9 Grafik Lift

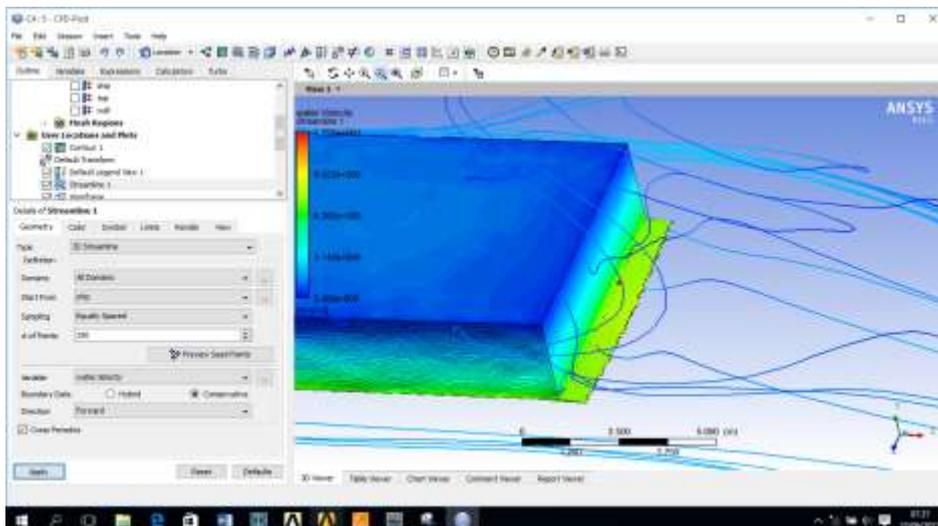
#### IV.2.4. Analisis Pola Aliran

Pola aliran merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hambatan kapal yang terjadi. Pola aliran fluida yang uniform akan mengurangi nilai hambatan yang terjadi. Penambahan IWF dapat mempengaruhi aliran fluida pada kapal. Aliran fluida akan berubah dengan penambahan IWF pada kapal. Konsep kerja IWF memiliki kemiripan dengan cara kerja *flap* pada pesawat terbang. Aliran fluida akan mengalami penurunan kecepatan pada daerah yang dipasang IWF. Kemudian aliran fluida akan mengalami peningkatan kecepatan pada saat setelah melewati IWF. Dengan penurunan kecepatan maka akan terjadi kenaikan tekanan pada kapal.

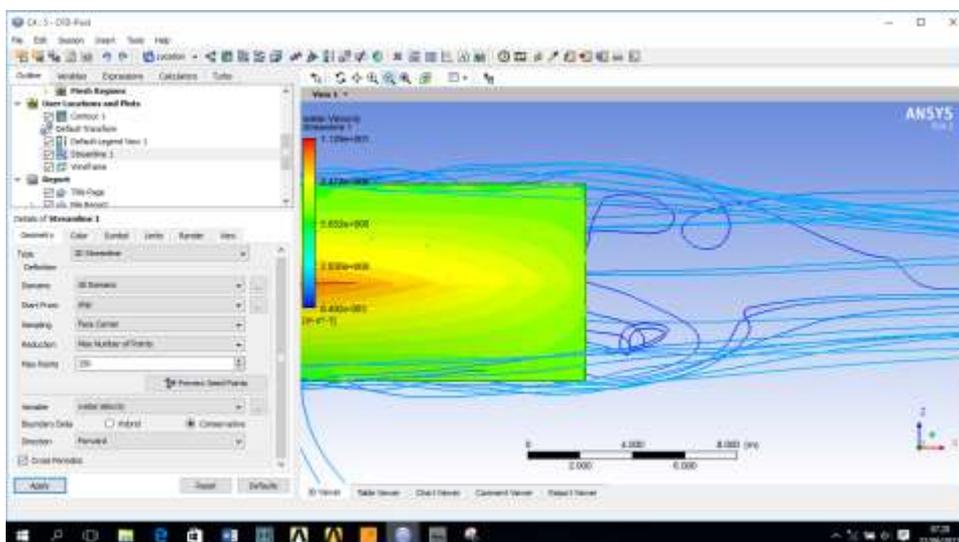
Pada saat kecepatan rendah aliran pada kapal dengan IWF akan banyak mengalami turbulensi. Pengaruh akibat adanya IWF juga memicu turbulensi baik didepan maupun setelah IWF. Pada kecepatan rendah timbul turbulensi pada daerah transom kapal. Hal ini membuat terjadinya peningkatan hambatan seperti yang dijelaskan sebelumnya. Transom kapal menjadi basah akibat adanya turbulensi pada daerah tersebut. Aliran air yang meninggalkan kapal membasahi transom sehingga terjadi penambahan hambatan. Seperti yang terlihat pada gambar IV-9 menunjukkan bahwa transom kapal menjadi basah akibat dari turbulensi aliran yang terjadi.



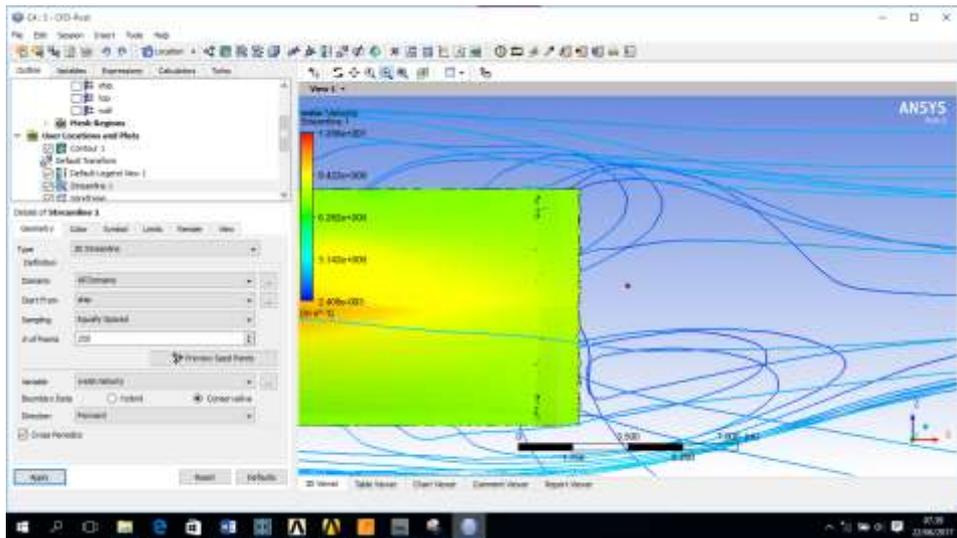
Gambar IV-10 Kondisi Transom Benchmark pada Kecepatan 5 Knot



Gambar IV-11 Kondisi Transom IWF pada Kecepatan 5 Knot



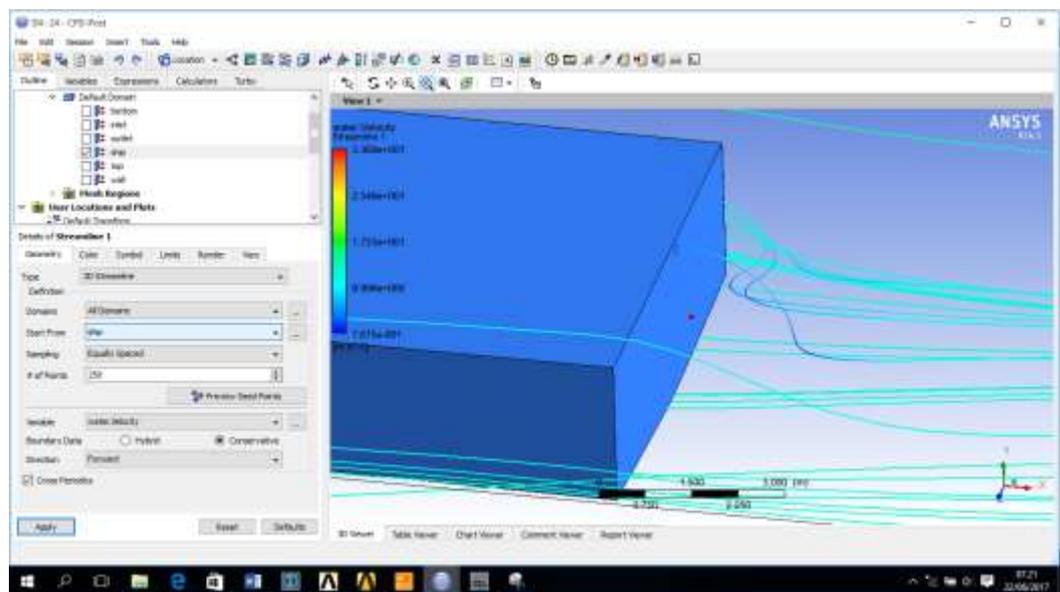
Gambar IV-12 Kondisi Aliran Di Buritan Benchmark pada Kecepatan 5 Knot



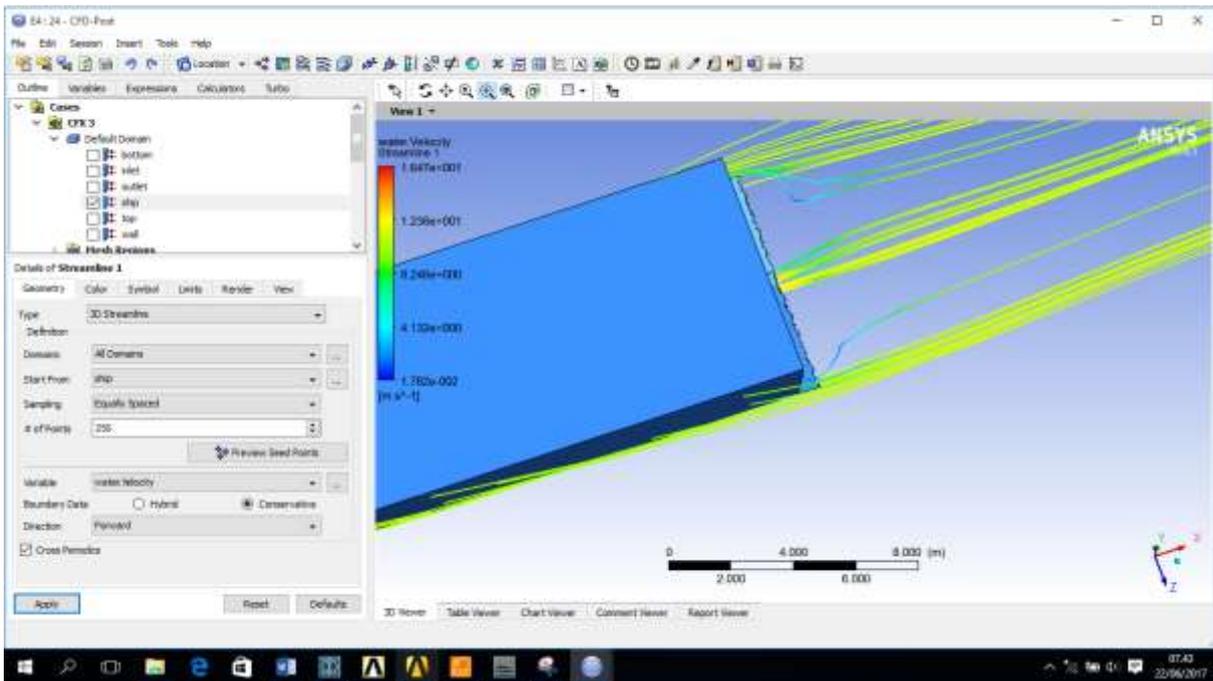
**Gambar IV-13 Kondisi Aliran Di Buritan pada Kecepatan 5 Knot Model IWF**

Pada saat kecepatan tinggi turbulensi dari aliran berkurang. Dan juga turbulensi aliran di buritan kapal menjadi menjauh dari pada saat kecepatan rendah sehingga pengaruhnya terhadap hambatan kapal menjadi berkurang. Pada kecepatan tinggi air yang mengalir tidak sampai mencapai transom. Sehingga pada daerah ini tidak terjadi ulean dan transom tidak menjadi basah. Hasilnya pada kecepatan tinggi hambatan yang terjadi menjadi berkurang.

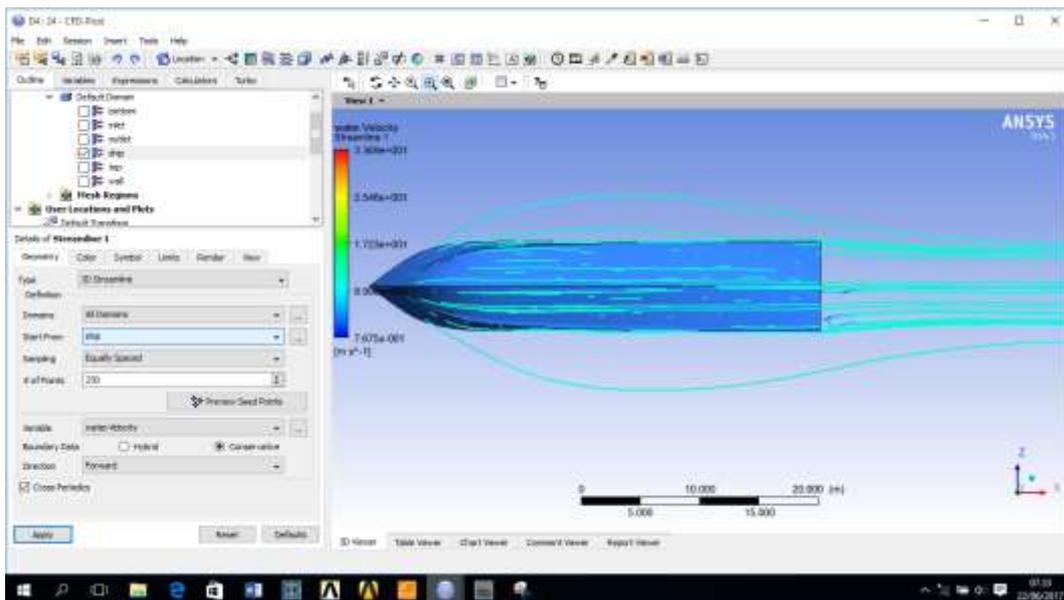
Penambahan IWF pada kapal terbukti memberikan perbaikan pola aliran pada daerah buritan (Karafiath, 1987). Hasil yang telah didapat menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelian sebelumnya yang telah dilakukan. Dalam hal ini hasil simulasi dapat membuktikan bahwa pengaruh IWF memberikan perbaikan pada pola aliran.



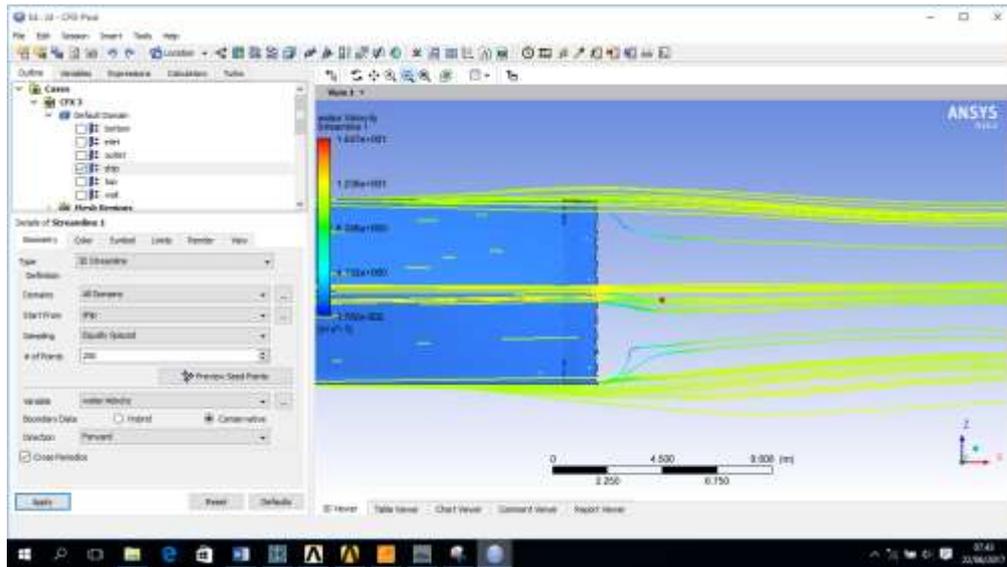
**Gambar IV-14 Aliran pada Buritan Model Benchmark Kecepatan 24 Knot**



Gambar IV-15 Aliran pada Transom IWF



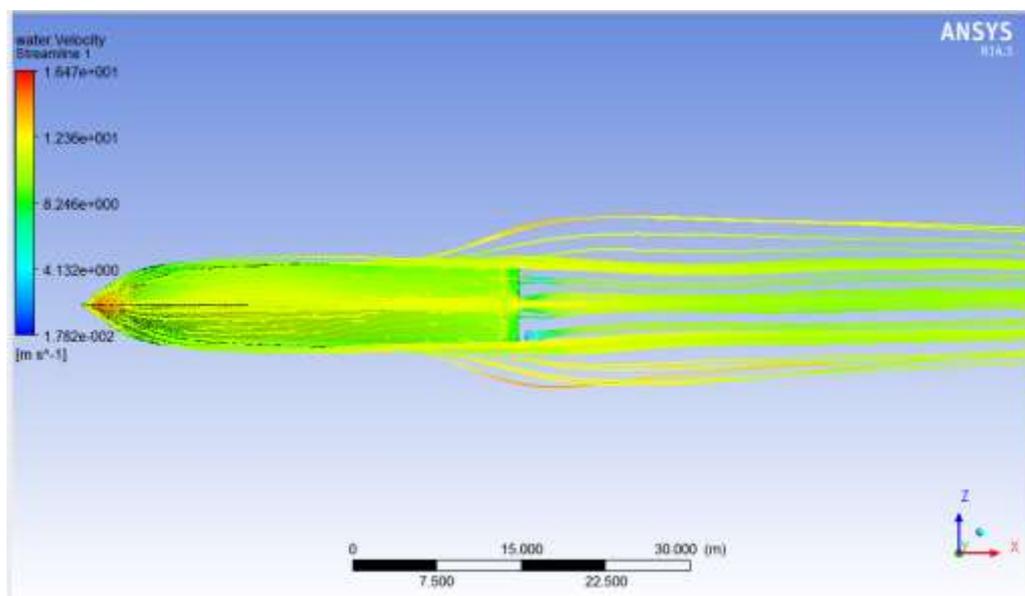
Gambar IV-16 Pola Aliran pada Benchmark



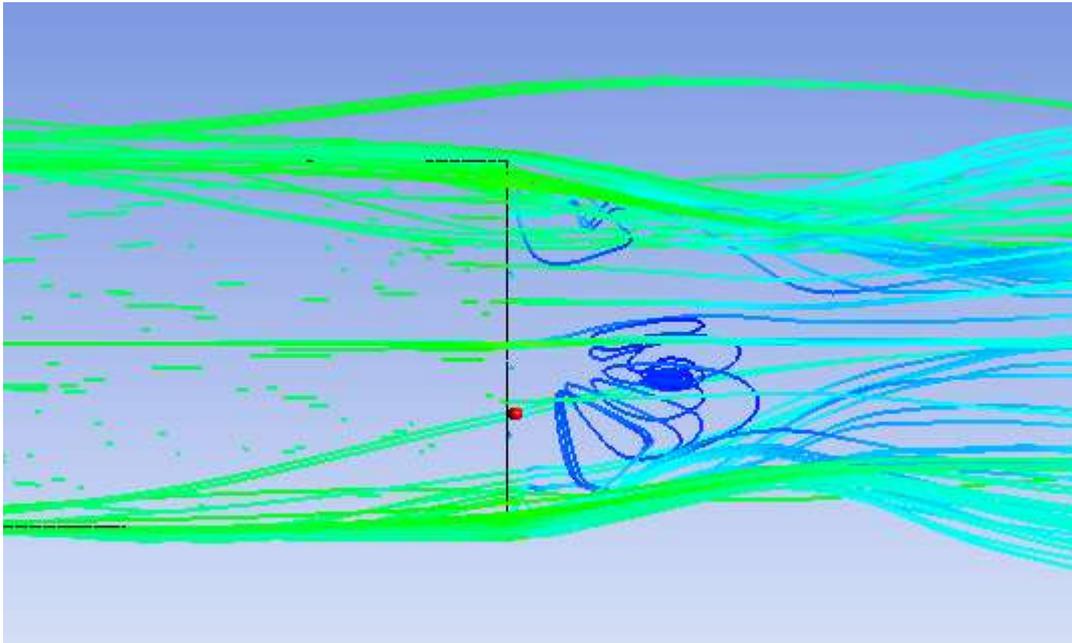
**Gambar IV-17 Aliran Buritan IWF Kecepatan 24 Knot**

Dengan ditambahkannya IWF dapat memperbaiki aliran fluida. Perbaikan aliran yang dimaksud adalah pola aliran yang lebih *smooth* dan mencegah terjadinya turbulensi pada bagian buritan kapal.

Jika dibandingkan antara kapal dengan IWF dan kapal tanpa seperti yang terlihat pada gambar di bawah. Membuktikan bahwa penambahan IWF mempengaruhi pola aliran. Gambar menunjukkan pola aliran pada kapal dengan IWF dan Tanpa IWF pada kecepatan 24 knot. Pada kecepatan yang merupakan kecepatan dinas kapal tersebut kapal dengan IWF menunjukkan aliran yang lebih uniform. Selain itu terjadinya turbulensi menjadi lebih jauh dari badan kapal. Hal ini membuat terjadinya pengurangan hambatan total.



**Gambar IV-18 Aliran Fluida pada Kapal dengan IWF**



**Gambar IV-19 Aliran Fluida pada Kapal Tanpa IWF**

#### **IV.2.5. Validasi Hasil**

Proses validasi yang dilakukan adalah membandingkan antara hasil simulasi dengan penelitian tentang IWF. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa hasil dari simulasi mempunyai kemiripan dengan hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Tren penambahan hambatan pada kecepatan rendah dan pengurangan hambatan pada kecepatan tinggi juga terlihat pada hasil simulasi. Dengan hal ini menunjukkan hasil simulasi merupakan hasil yang valid dan bisa dipertanggungjawabkan.

**Tabel IV-8 Validasi Hasil**

Kecepatan (Knot)	Referensi (USA Paten No. US6038995 A, 2000) (%)	Hasil Rata-Rata IWF(%)
5	+1.2	+19.4
10	+0.6	+5.9
17	-1	-2.5
24	-11.3	-10.1
30	-11.6	-9.7

Dari hasil pada tabel IV-8 dapat dilihat ada beberapa perbedaan antara hasil dan validasi. Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor dalam penelitian. Data referensi menggunakan kapal yang berbeda dengan kapal yang digunakan dalam penelitian (*Crewboat*). Namun kedua memiliki karakteristik yang sama. Kapal yang digunakan dalam referensi merupakan suatu data series hasil dari percobaan beberapa jenis

kapal. Kapal yang digunakan dalam simulasi ini juga termasuk di dalam salah satu jenis kapal yang dicoba. Selain itu pendekatan simulasi *free surface* tidak dilakukan dalam referensi pada tabel IV-8. Referensi menggunakan data percobaan dan pendekatan numerik *non-CFD*.

Meskipun terdapat perbedaan nilai yang mencolok tetapi tren dari referensi dan hasil simulasi mempunyai ciri yang mirip.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan simulasi penggunaan CFD telah membuktikan dapat memberikan hasil yang diinginkan dalam penelitian ini. Maka dapat ditarik beberapa kesimpulan untuk penelitian ini. Berikut kesimpulan yang dapat diambil:

- Penggunaan IWF pada kapal *crew boat* memberikan pengaruh terhadap besarnya nilai hambatan. Terjadi perbedaan hambatan total antara kapal tanpa IWF dan kapal dengan IWF.
- Penggunaan IWF memberikan penambahan hambatan total pada kecepatan rendah ( $Fr < 0.4$ ). Sedangkan pada kecepatan tinggi ( $Fr > 0.4$ ) terjadi pengurangan nilai hambatan total pada kapal dengan IWF.
- Besarnya sudut IWF memberikan pengaruh terhadap besarnya hambatan kapal dengan IWF. Semakin besar sudut memberikan penambahan hambatan total yang semakin besar pada kecepatan rendah. Semakin besar sudut IWF memberikan pengurangan yang semakin besar pada kapal dengan kecepatan tinggi.
- Pengurangan hambatan pada kapal dengan IWF diakibatkan oleh adanya tekanan yang timbul dan perbaikan pola aliran.

#### **V.2. Saran**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini memiliki beberapa keterbatasan. Untuk itu diperlukan rekomendasi yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya agar memperbaiki kekurangan yang ada dalam tugas akhir ini. Saran dari penulis adalah sebagai berikut:

- Variasi IWF dapat ditambah menjadi beberapa faktor. Dalam tugas akhir ini penulis hanya menguji satu faktor saja yaitu sudut. Untuk selanjutnya ada banyak faktor seperti panjang dan bentangan IWF dapat diulas lebih lanjut.
- Penggunaan simulasi *full viscous* dapat dicoba untuk penelitian selanjutnya. Dengan simulasi *full viscous* dapat memberikan hasil yang lebih baik dikarenakan peneliti dapat fokus pada bagian yang tercelup air dan mempersingkat waktu simulasi.

- Perlunya dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar sehingga efek sebenarnya dari IWF dapat dikaji lebih lanjut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

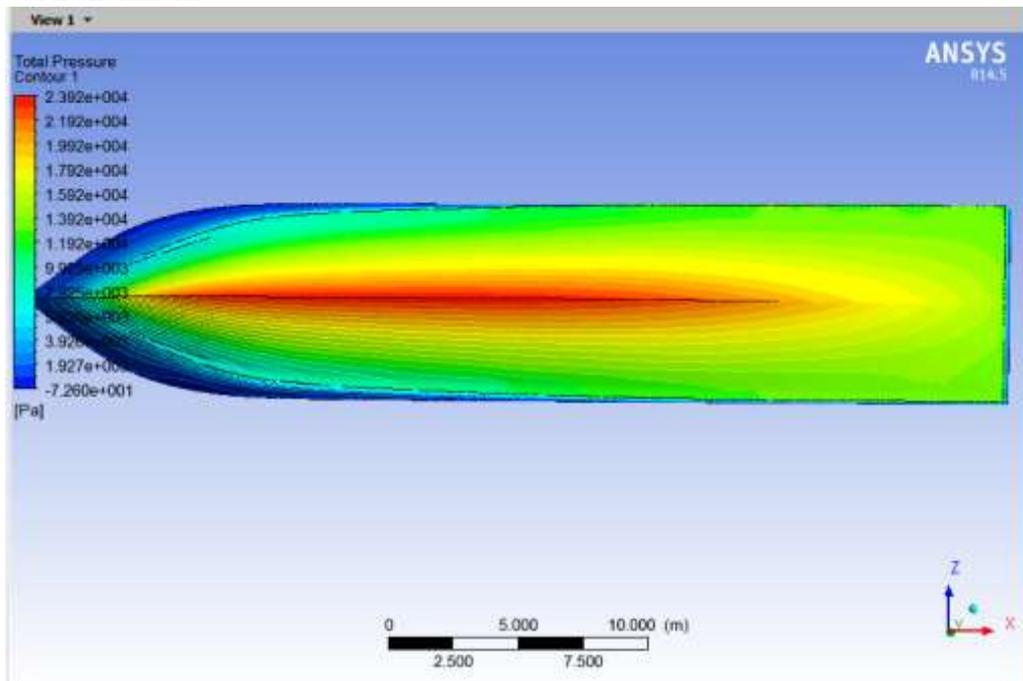
## DAFTAR PUSTAKA

- Ahadyanti, G. (2014). *Modifikasi Bentuk Lambung pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anggara, S. (2013). *Studi Komparatif Performa Hidrodinamik Kapal Bertipe Shallow Draft Barge pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang, dan Dalam*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ANSYS. (2007). *CFX Manual XII Chapter 9: Free Surface Over a Bump*. ANSYS.
- Ari Perwira, B. (2013). *Analisa Perbandingan Hambatan Kapal Antara Ulstein X-Bow Dan Bulb Konvensional Dengan Studi Eksperimen*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bertram, V. (2002). *Practical Ship Hydrodynamics*. Oxford: Butterworth Heineman.
- Clarke, J. (2017, January). *icahip.com/vessel*. Diambil kembali dari *icaship.com*.
- Cumming, D. (2007). Overview of Hydrodynamic Research Effort to Derive a New Stern Design for the HALIFAX Class Frigates. *Canadian Marine Hydromechanics and Structures Conference*.
- Gibson, A. (2016). *Analisis CFD Hambatan Lambung Kapal Trimaran Asimetris Flat Side Inside dengan Variasi Jarak Antar Lambung Secara Membujur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Harvard, S. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- Ikehata, M., and Chandra, S. (1989). Theoretical Calculation of Propulsive Performances of Stator-Propeller in Uniform Flow by Vortex Lattice Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 166, 17-25.
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- Karafiath, G. (2000). *USA Paten No. US6038995 A*.

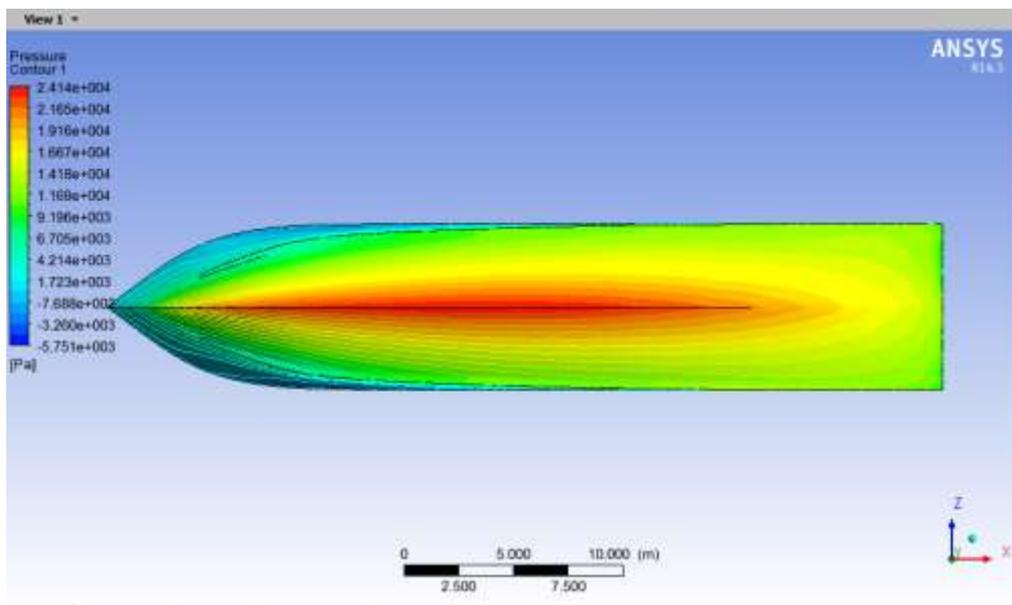
- Karafiath, G. a. (1987). The Effect of Stern WEDges on Ship Powering Performance. *Naval Engineer Journal*.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Vol. II Resistance, Propulsion, and Vibration*. Jersey City: The Society of Naval Architect and Marine Engineers.
- Oni, R. (2015). *Analisa Pengaruh Bentuk Lambung Axe Bow pada Kapal High Speed Craft terhadap Hambatan Total*. Riau: Politeknik Negeri Bengkalis.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Seo, K.-C. (2013). Experimental Investigation of Dynamic Trim Control Devices in Fast Speed Vessel. *J. Navig. Port Res. Vol.37, No. 2*, 137-142.
- Setiawan, A. Y. (2014). *Modifikasi Bentuk Buritan pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utama, I. M. (2012). An Investigation Into The Resistance/Powering and Seakeeping Characteristics of RIVER Catamaran/Trimaran. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah(ATPW)*.
- Utama, IKAP, Murdijanto, Setyawan, D. (2009). *Ship Resistance and Propulsion*. Surabaya: NASE, ITS.
- van Dokkum, K. (2005). *Ship Knowledge*. Enkhuizen, The Netherlands: Dokmar.
- Versteeg H.K., a. M. (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. England: Longman Scientific & Technical.
- W. Date, A. (2004). Introduction to Computational Fluid Dynamics. *Indian Institute of Technology*.
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Penyunt.) Oxford: Elsevier.
- Zou, W. (2007). *Introduction to Computational Fluids Dynamics*. St. Petersburg: FAU Erlangen-Numberg, JASS 05.

## LAMPIRAN A KONTUR DISTRIBUSI TEKANAN

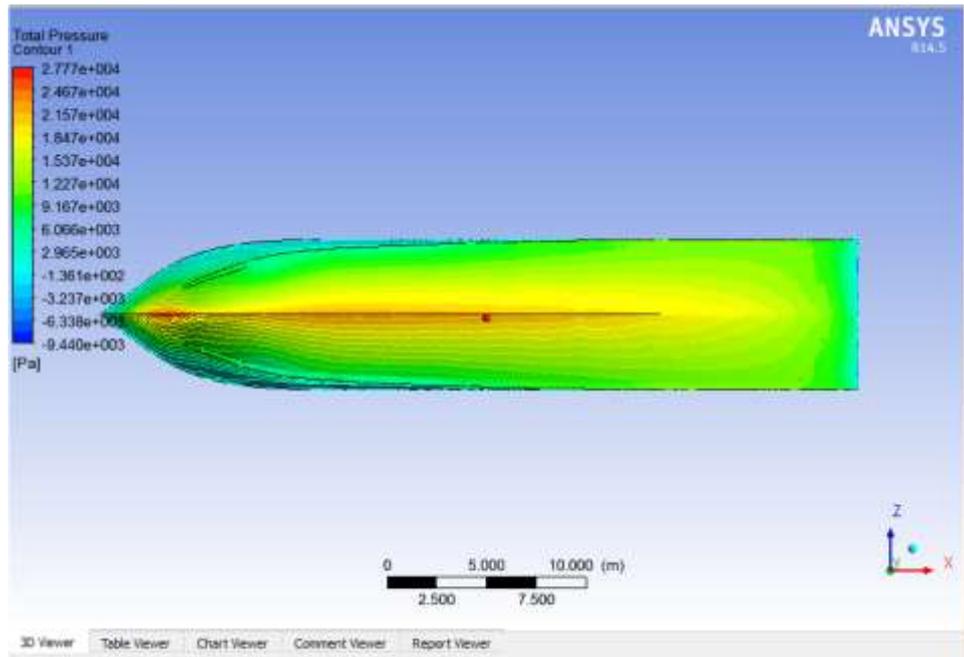
- Model Benchmark



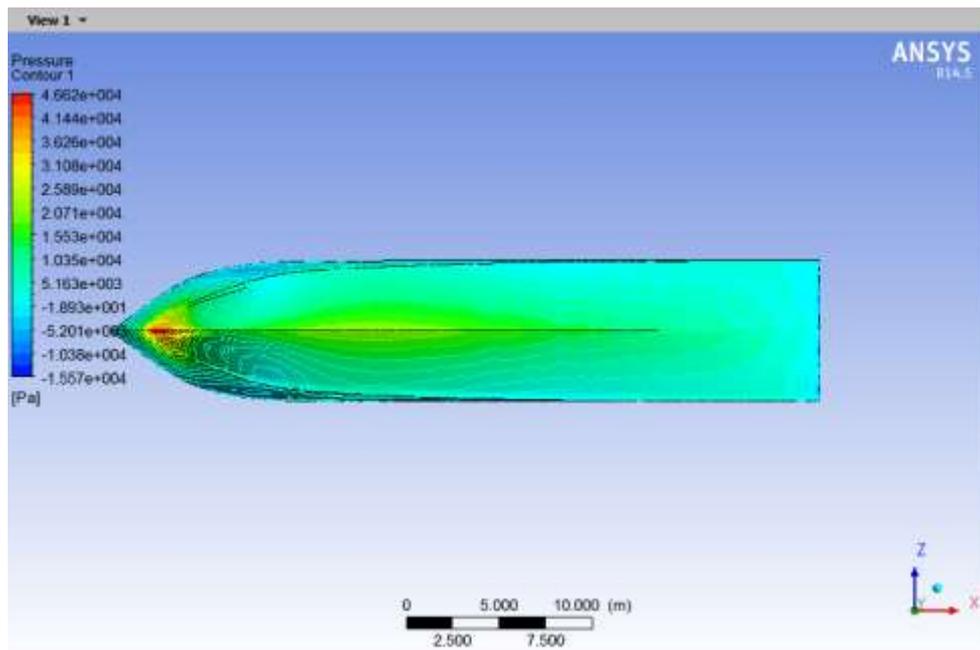
Kontur Tekanan Benchmark Kecepatan 5 knot



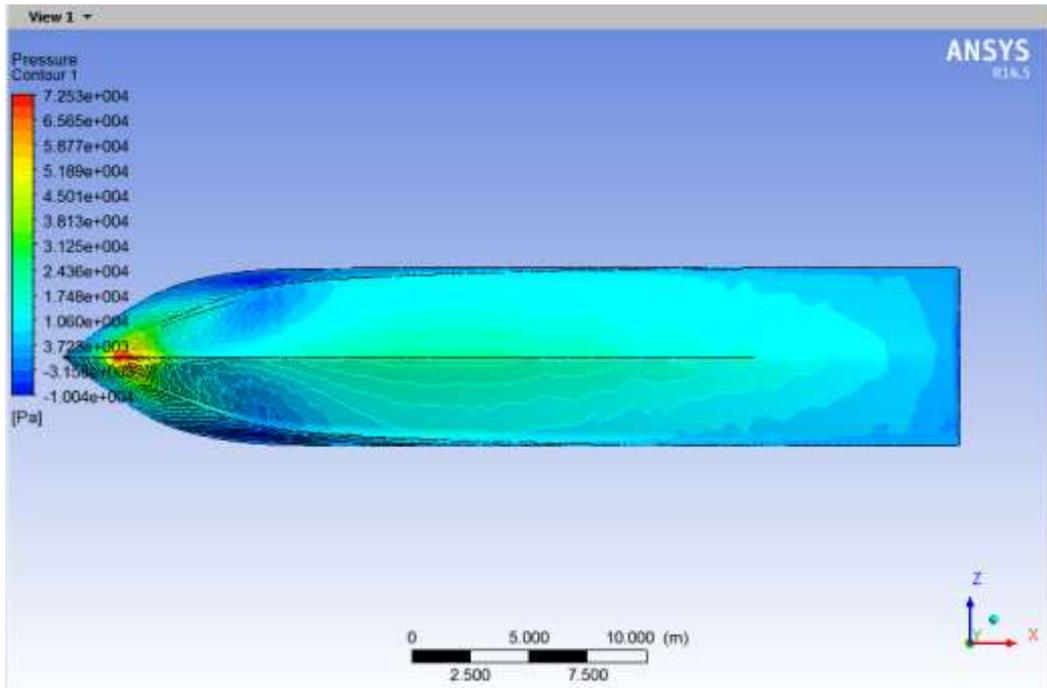
Kontur Tekanan Benchmark Kecepatan 10 knot



Kontur Tekanan Benchmark Kecepatan 17 knot

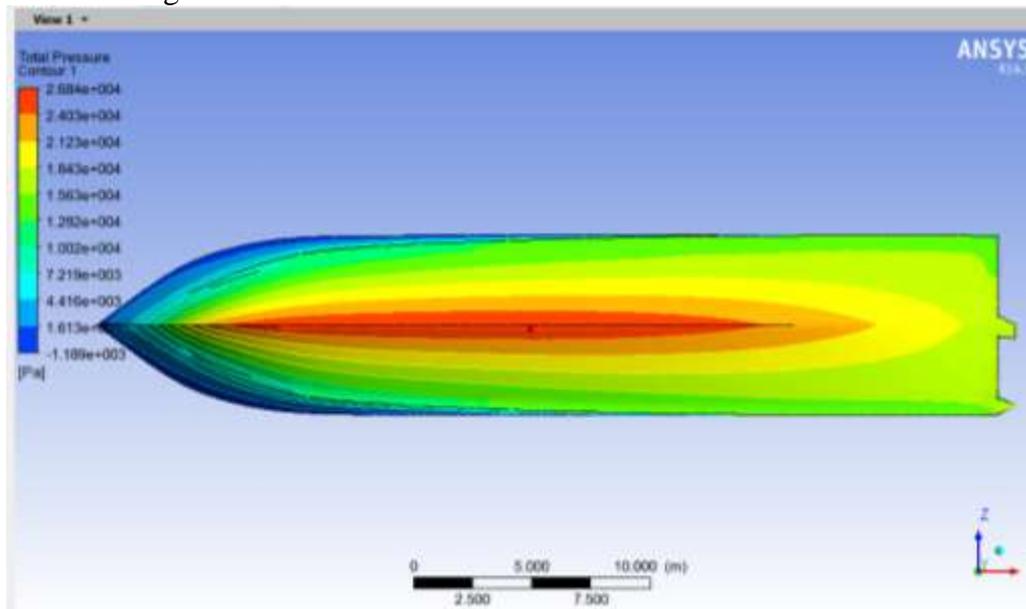


Kontur Tekanan Benchmark Kecepatan 24 knot

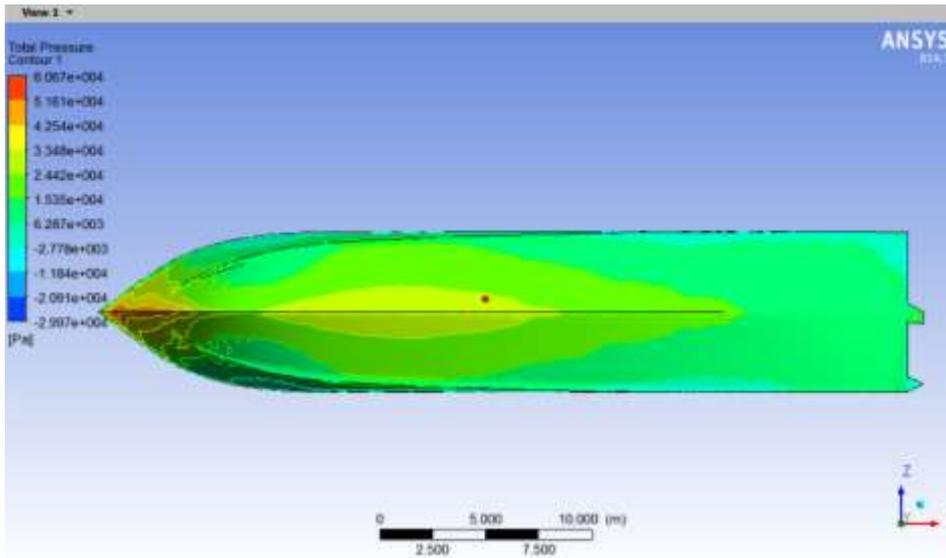


Kontur Tekanan Benchmark Kecepatan 30 knot

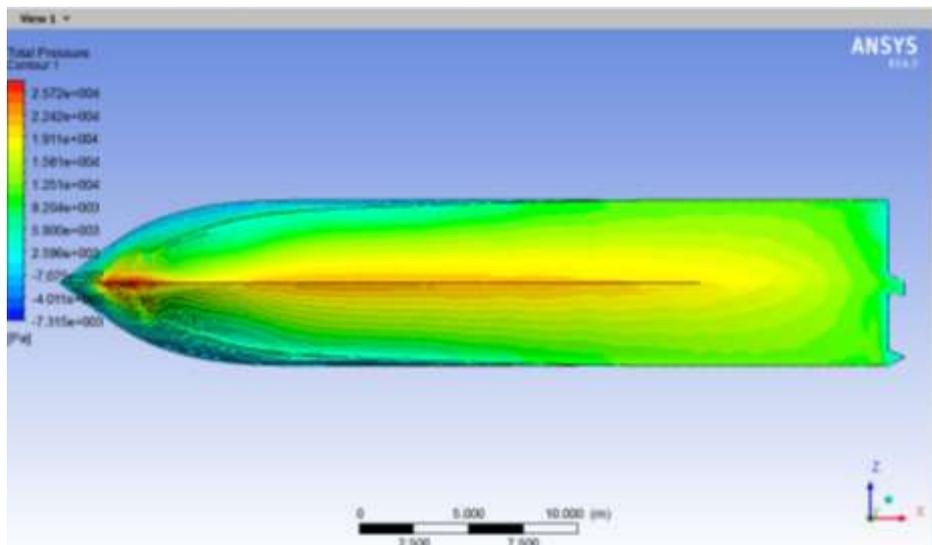
- Model IWF 4deg



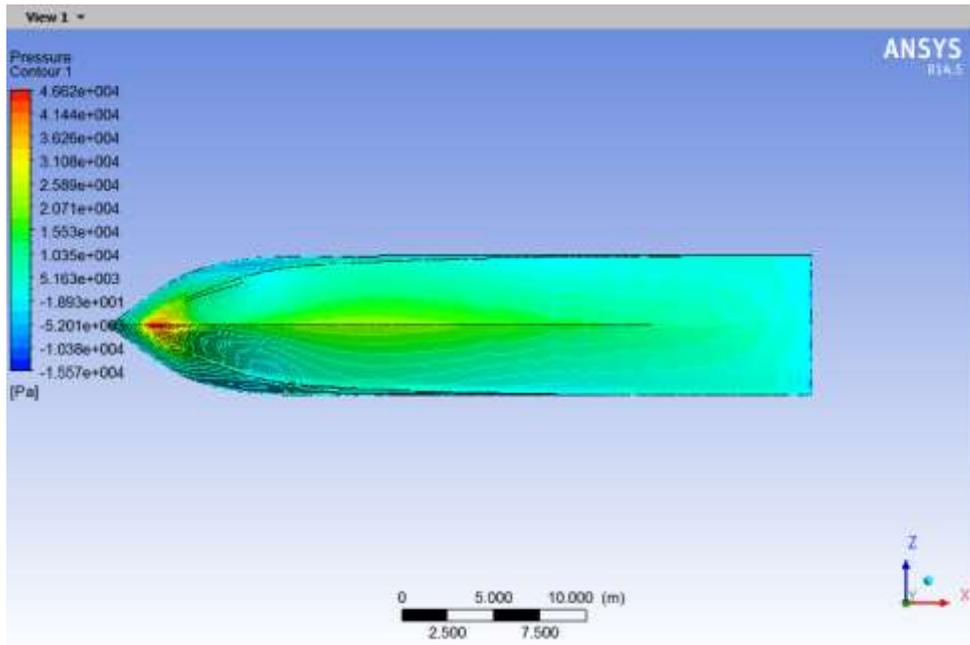
Kontur Tekanan IWF 4deg Kecepatan 5 knot



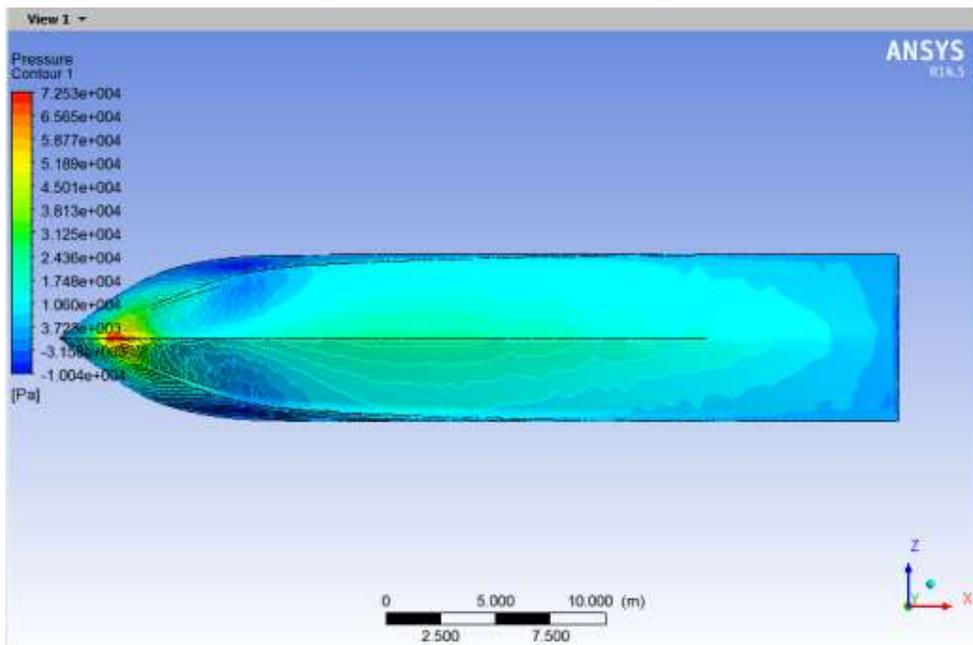
Kontur Tekanan IWF 4deg Kecepatan 10 knot



Kontur Tekanan IWF 4deg Kecepatan 17 knot

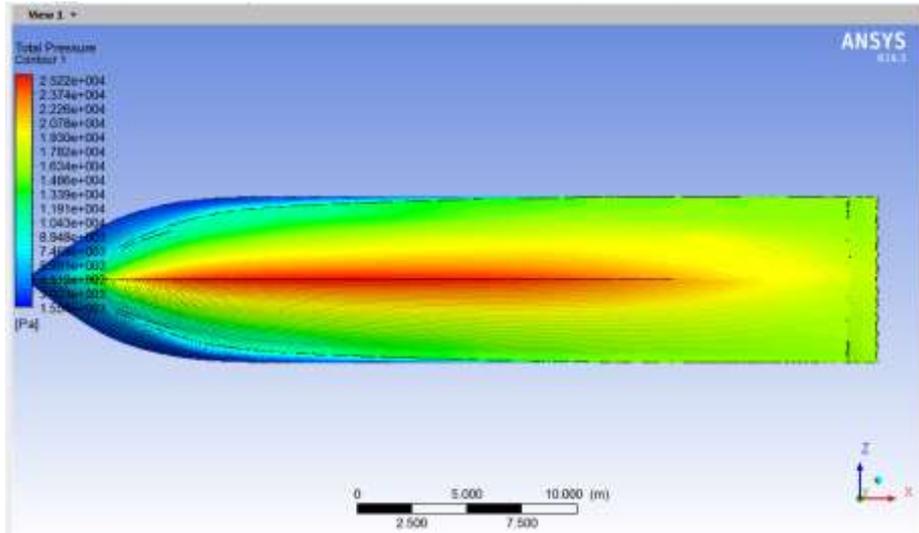


Kontur Tekanan IWF 4deg Kecepatan 24 knot

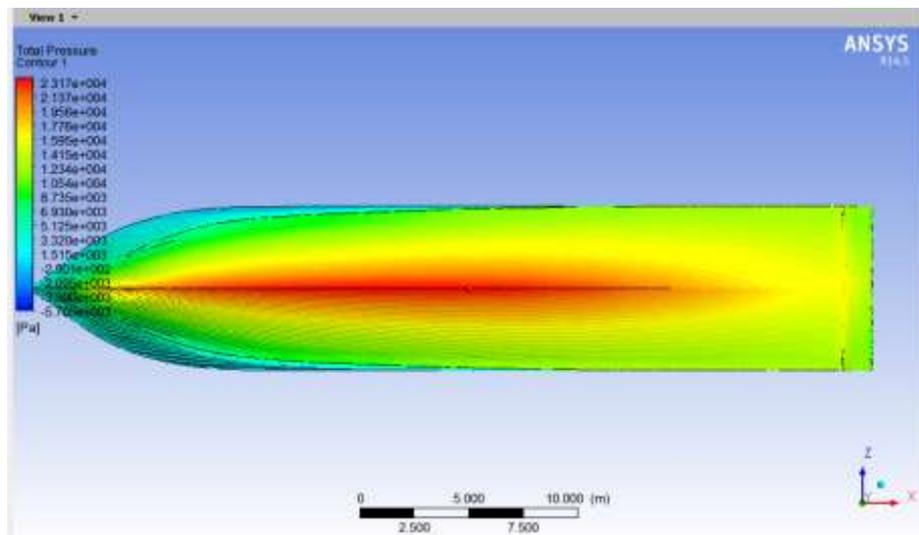


Kontur Tekanan IWF 4deg Kecepatan 30 knot

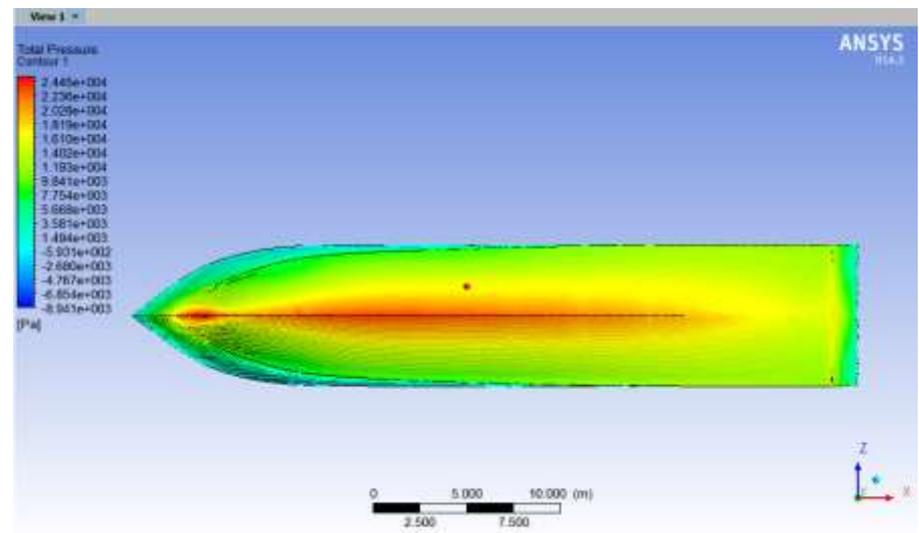
- Model IWF 5deg



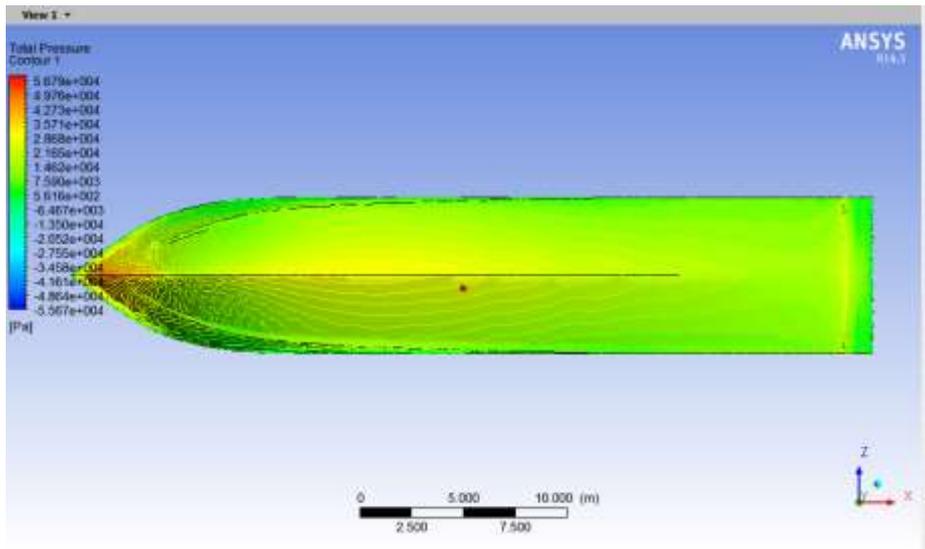
Kontur Tekanan IWF 5deg Kecepatan 5 knot



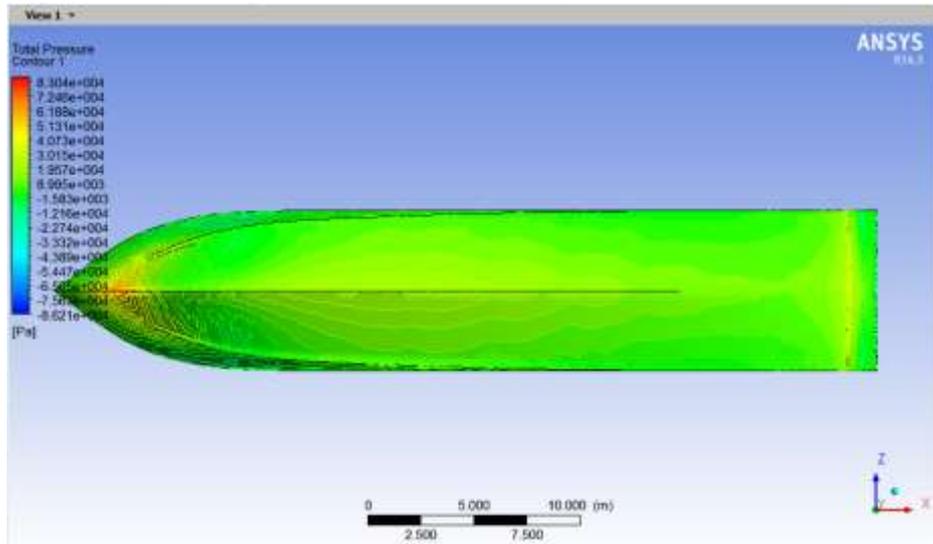
Kontur Tekanan IWF 5deg Kecepatan 10 knot



Kontur Tekanan IWF 5deg Kecepatan 17 knot

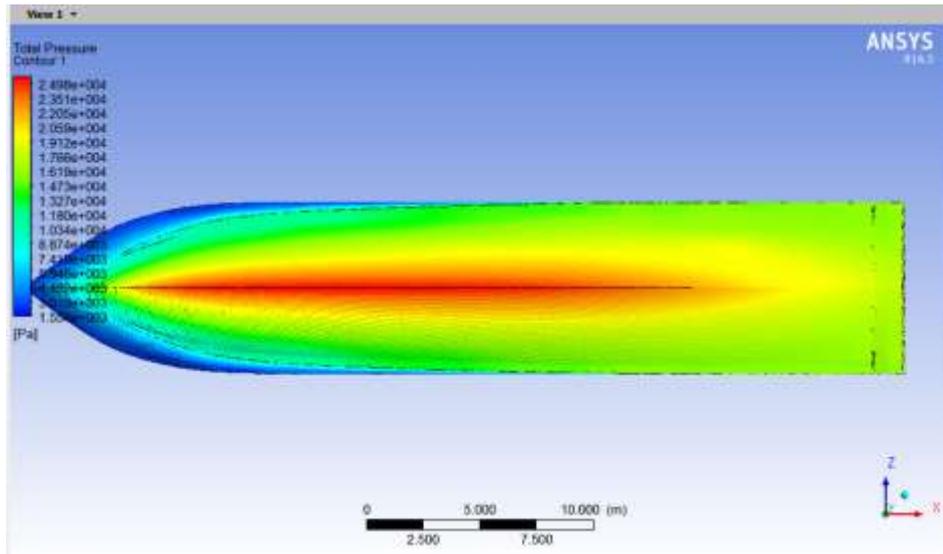


Kontur Tekanan IWF 5deg Kecepatan 24 knot

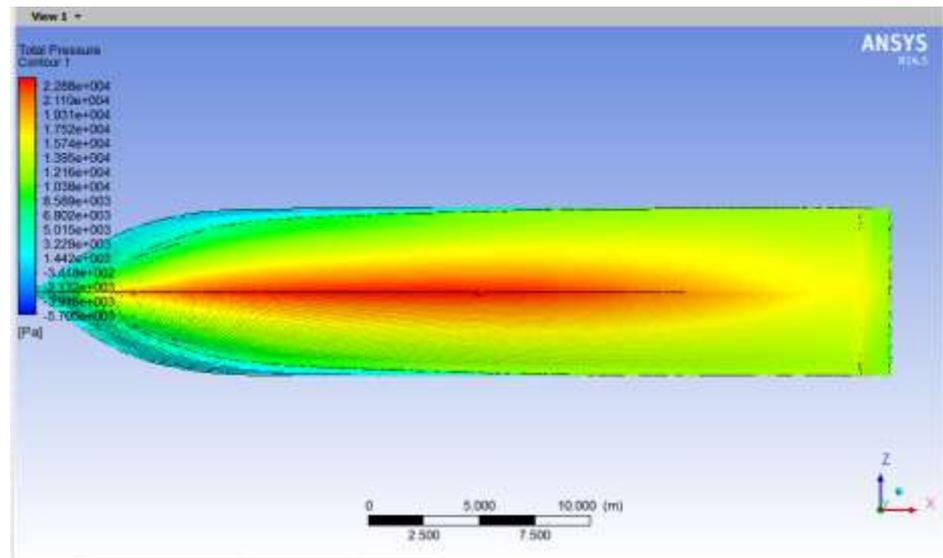


Kontur Tekanan IWF 5deg Kecepatan 30 knot

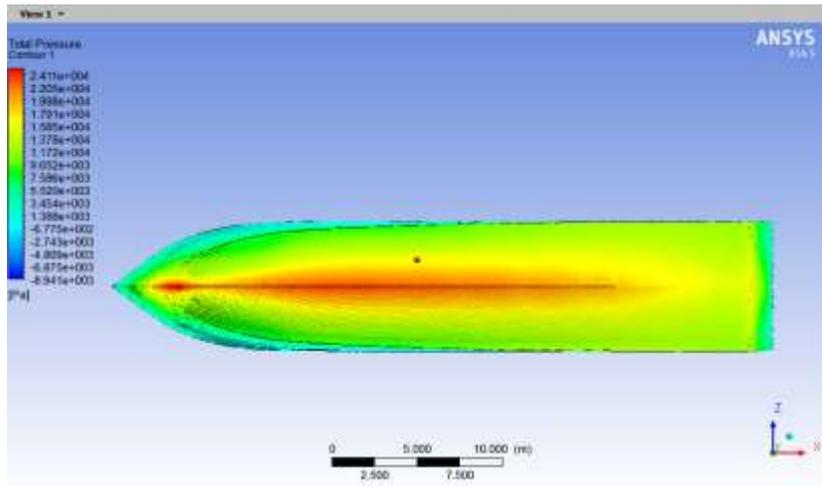
- Model IWF 6deg



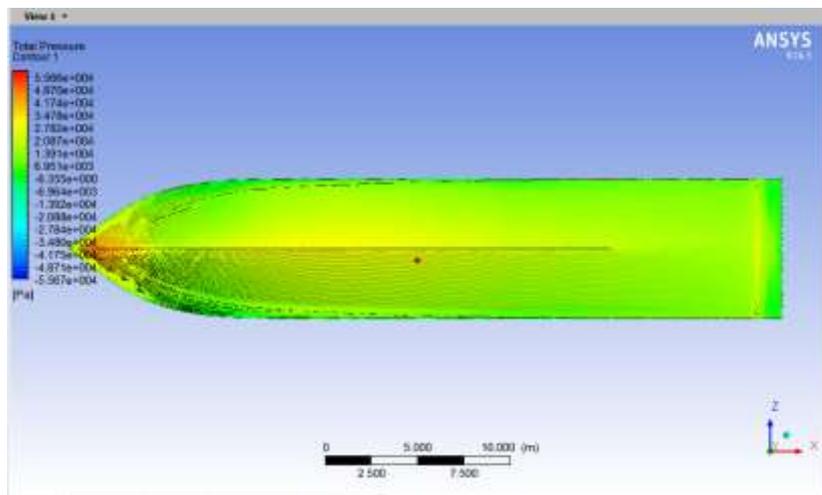
Kontur Tekanan IWF 6deg Kecepatan 5 knot



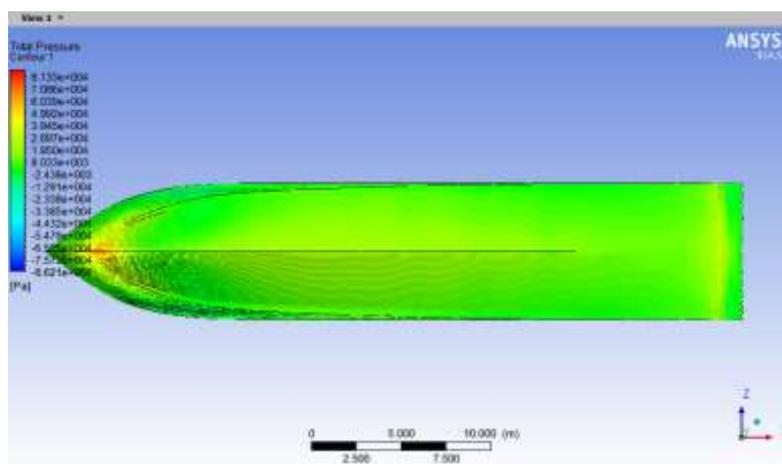
Kontur Tekanan IWF 6deg Kecepatan 10 knot



Kontur Tekanan IWF 6deg Kecepatan 17 knot



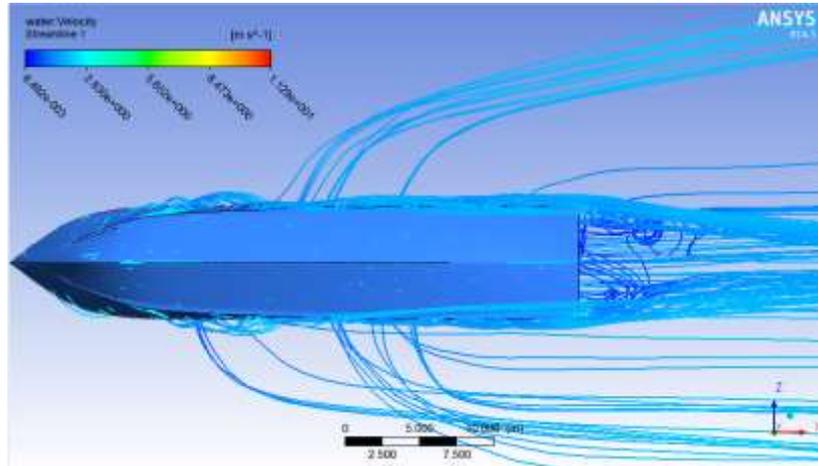
Kontur Tekanan IWF 6deg Kecepatan 24 knot



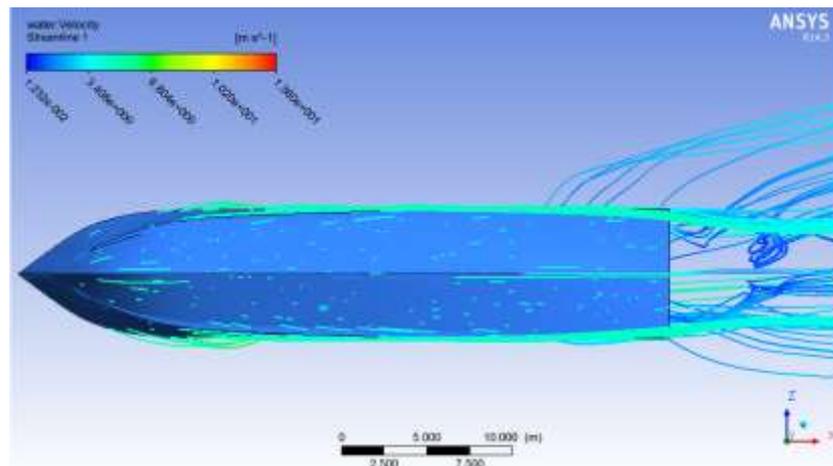
Kontur Tekanan IWF 6deg Kecepatan 30 knot

## LAMPIRAN B POLA ALIRAN

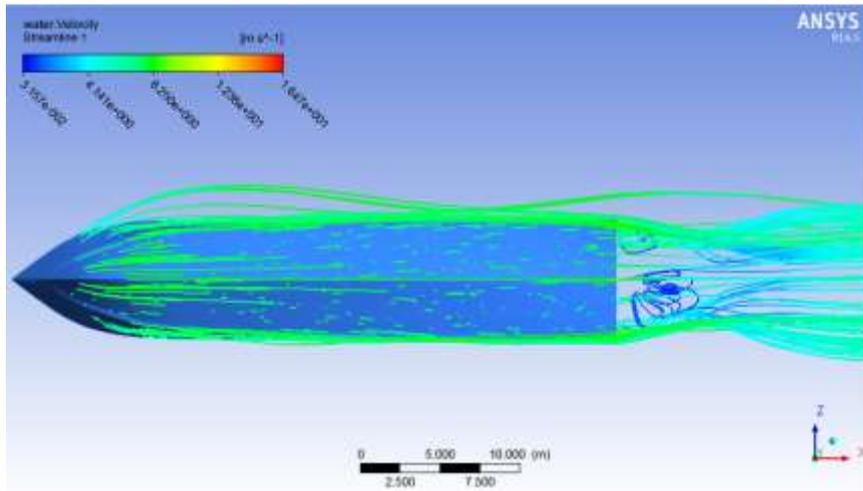
- Pola Aliran Model Benchmark



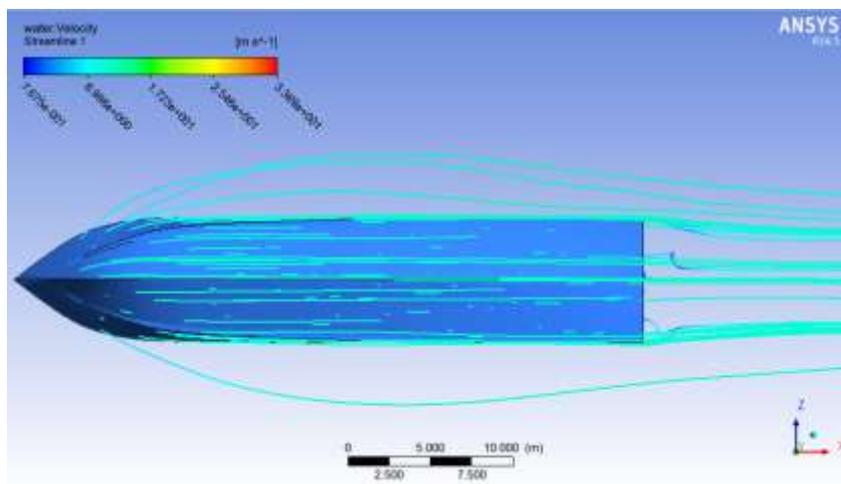
Pola Aliran Benchmark kecepatan 5 knot



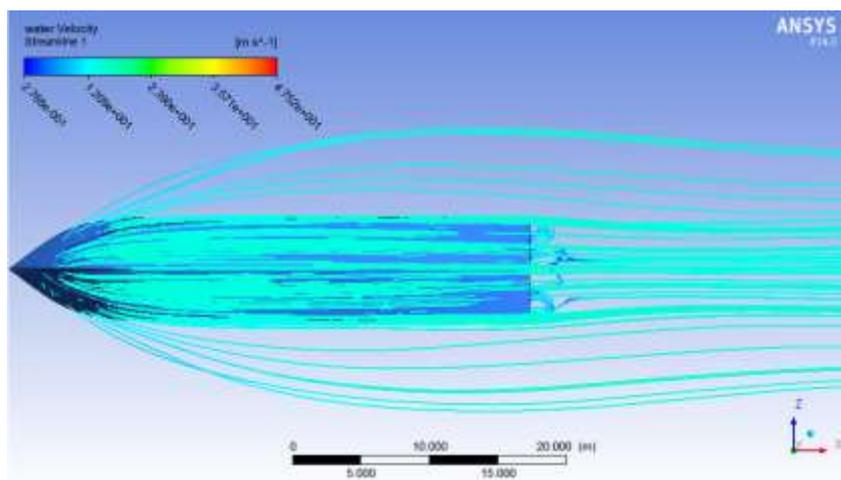
Pola Aliran Benchmark kecepatan 10 knot



Pola Aliran Benchmark kecepatan 17 knot

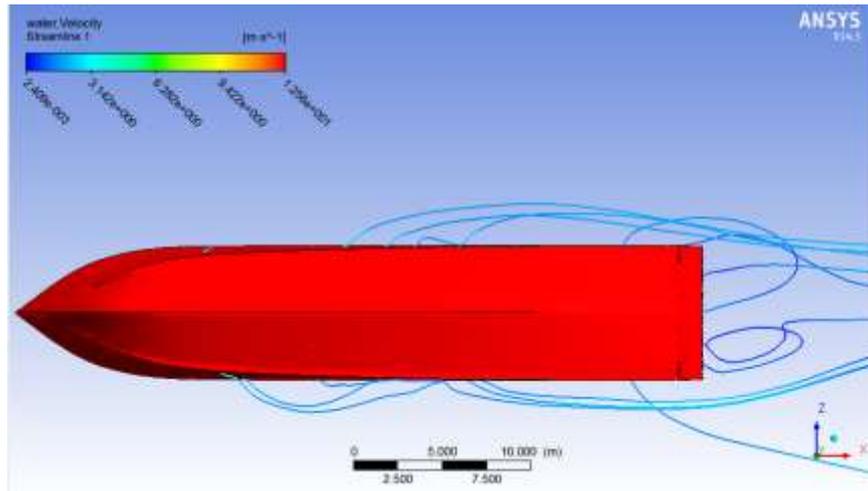


Pola Aliran Benchmark kecepatan 24 knot

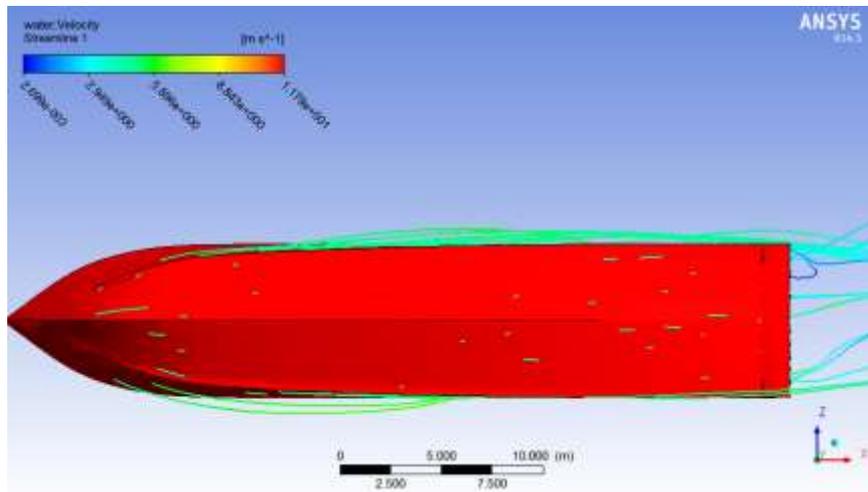


Pola Aliran Benchmark kecepatan 30 knot

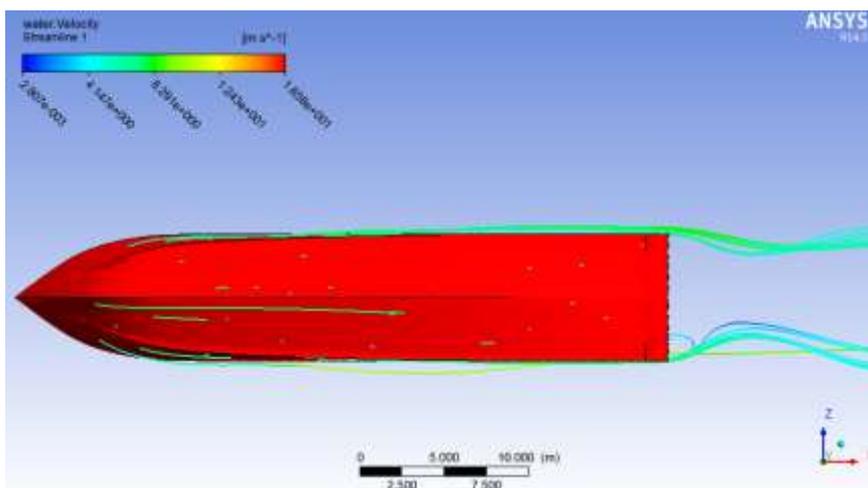
- Pola Aliran IWF 4deg



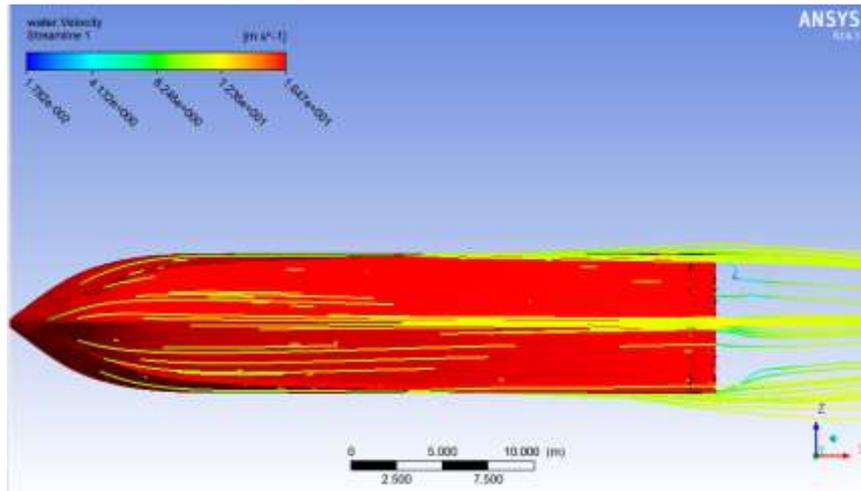
Pola Aliran IWF 4deg Kecepatan 5 knot



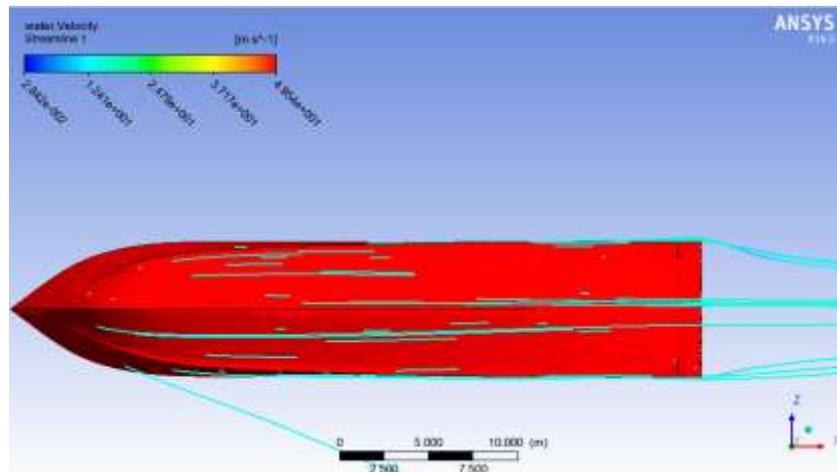
Pola Aliran IWF 4deg Kecepatan 10 knot



Pola Aliran IWF 4deg Kecepatan 17 knot

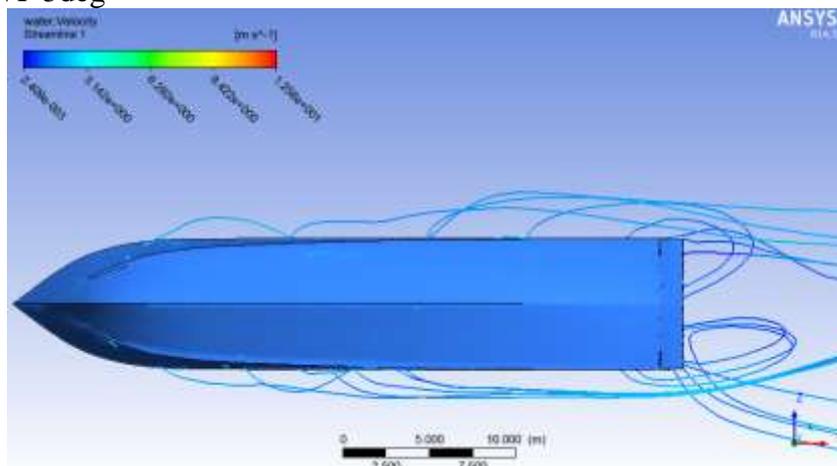


Pola Aliran IWF 4deg Kecepatan 24 knot

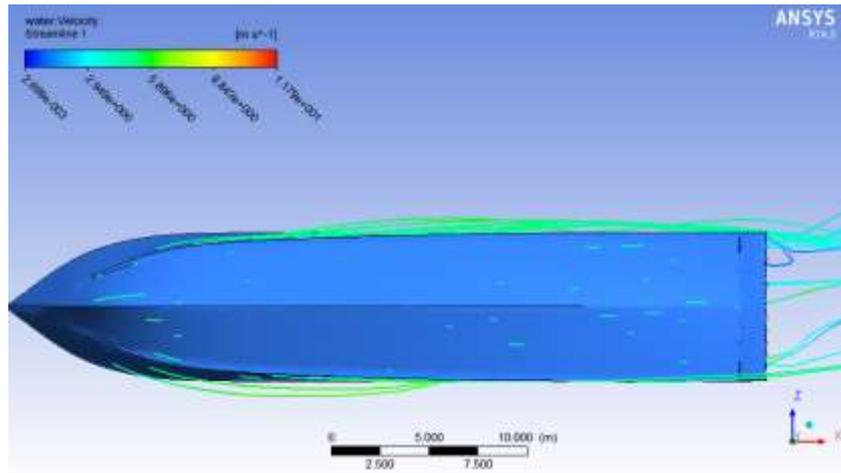


Pola Aliran IWF 4deg Kecepatan 30 knot

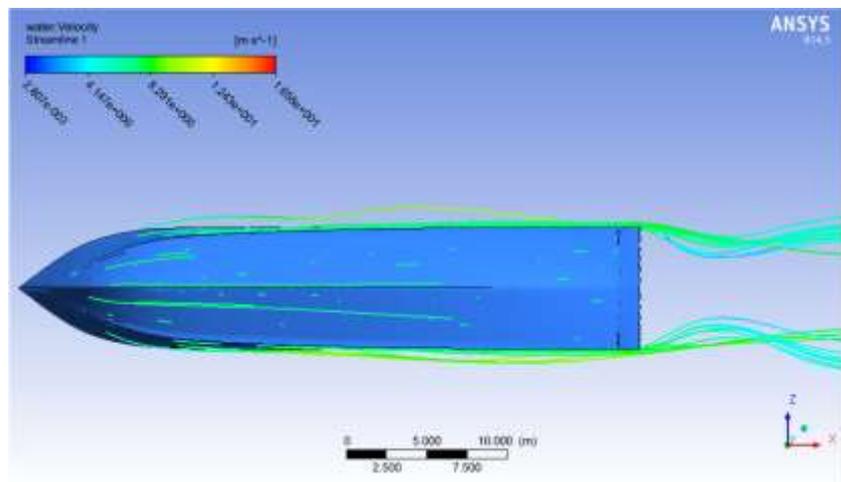
- Pola Aliran IWF 5deg



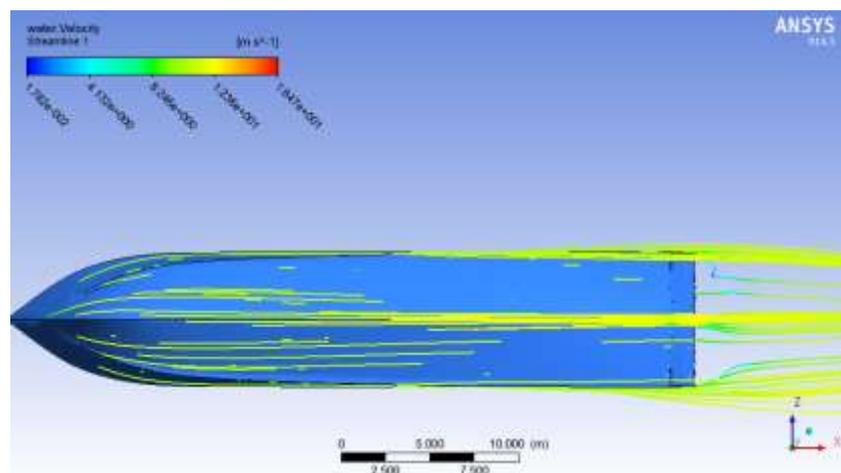
Pola Aliran IWF 5deg Kecepatan 5 knot



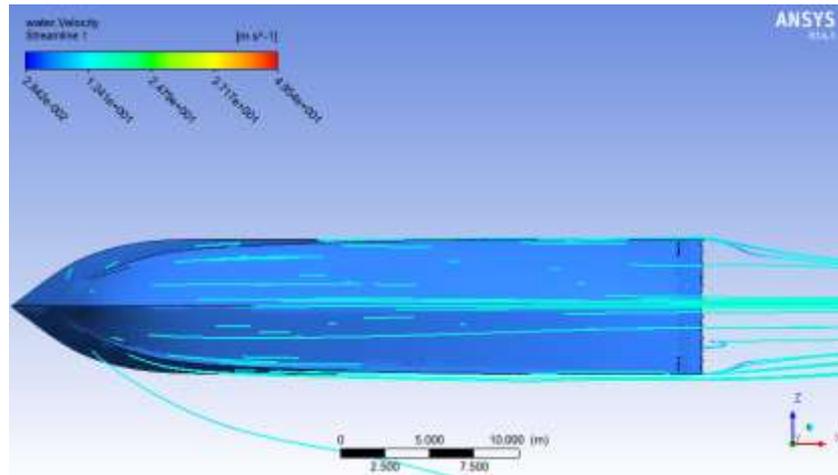
Pola Aliran IWF 5deg Kecepatan 10 knot



Pola Aliran IWF 5deg Kecepatan 17 knot

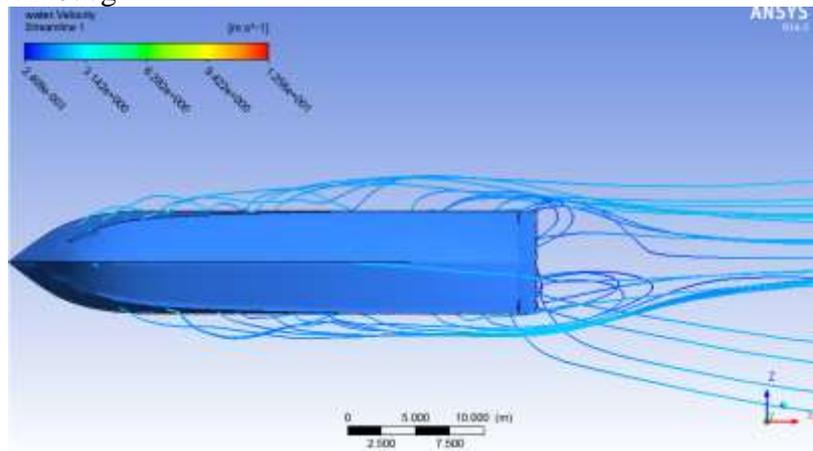


Pola Aliran IWF 5deg Kecepatan 24 knot

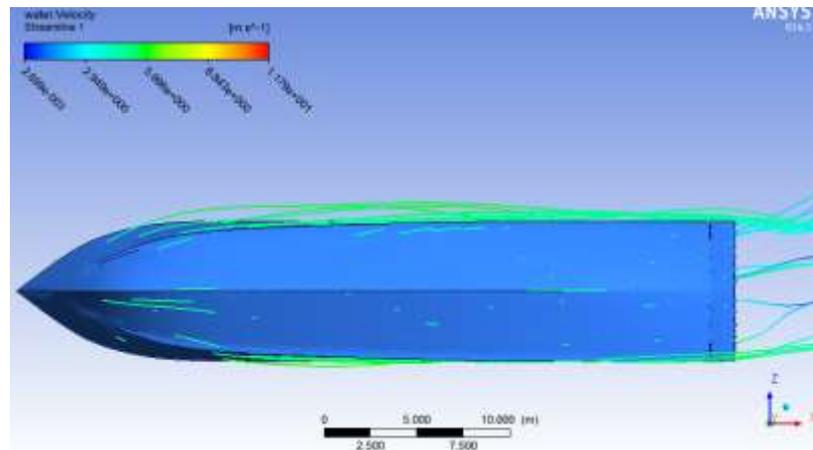


Pola Aliran IWF 5deg Kecepatan 30 knot

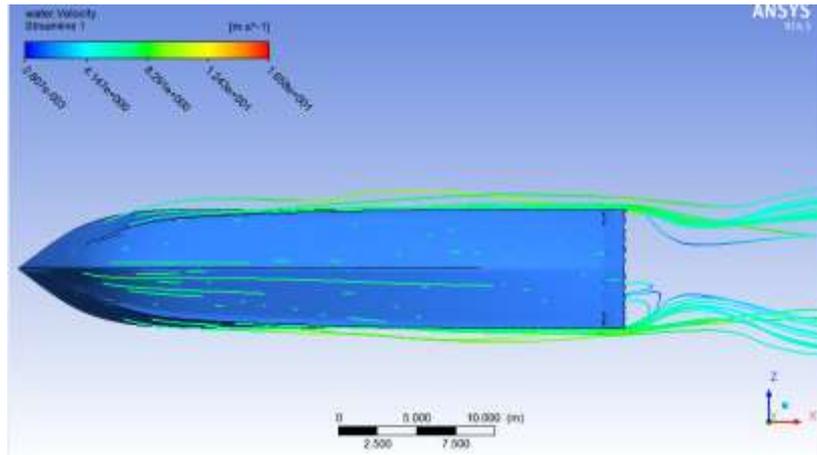
- Pola Aliran IWF 6deg



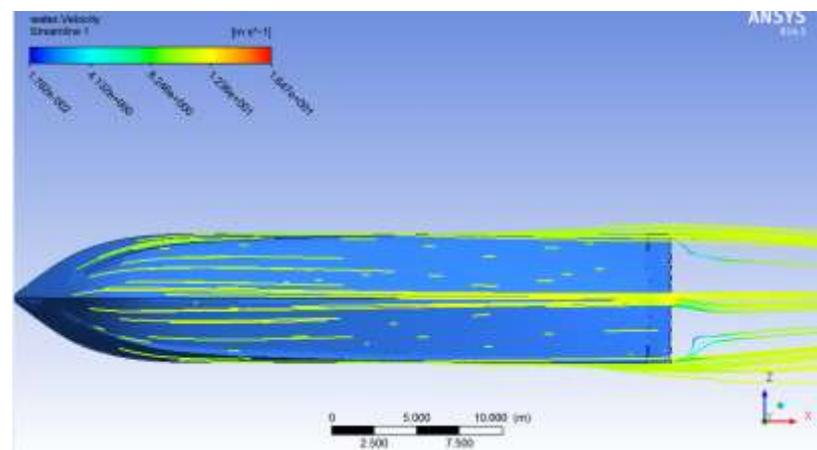
Pola Aliran IWF 6deg Kecepatan 5 knot



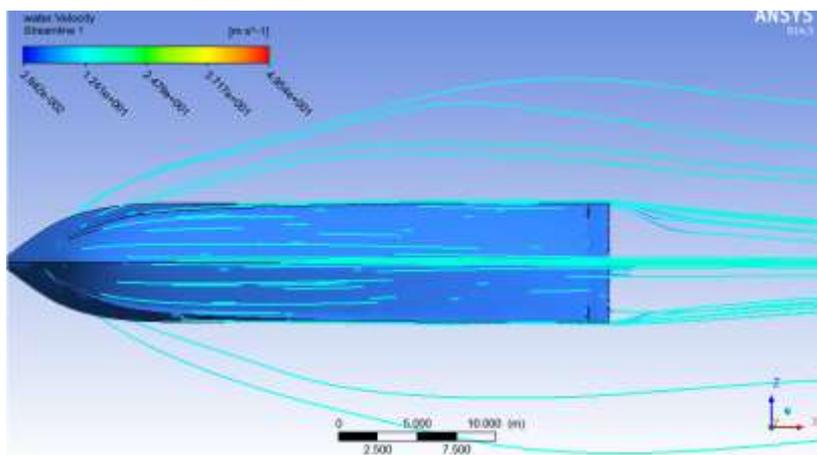
Pola Aliran IWF 6deg Kecepatan 10 knot



Pola Aliran IWF 6deg Kecepatan 17 knot



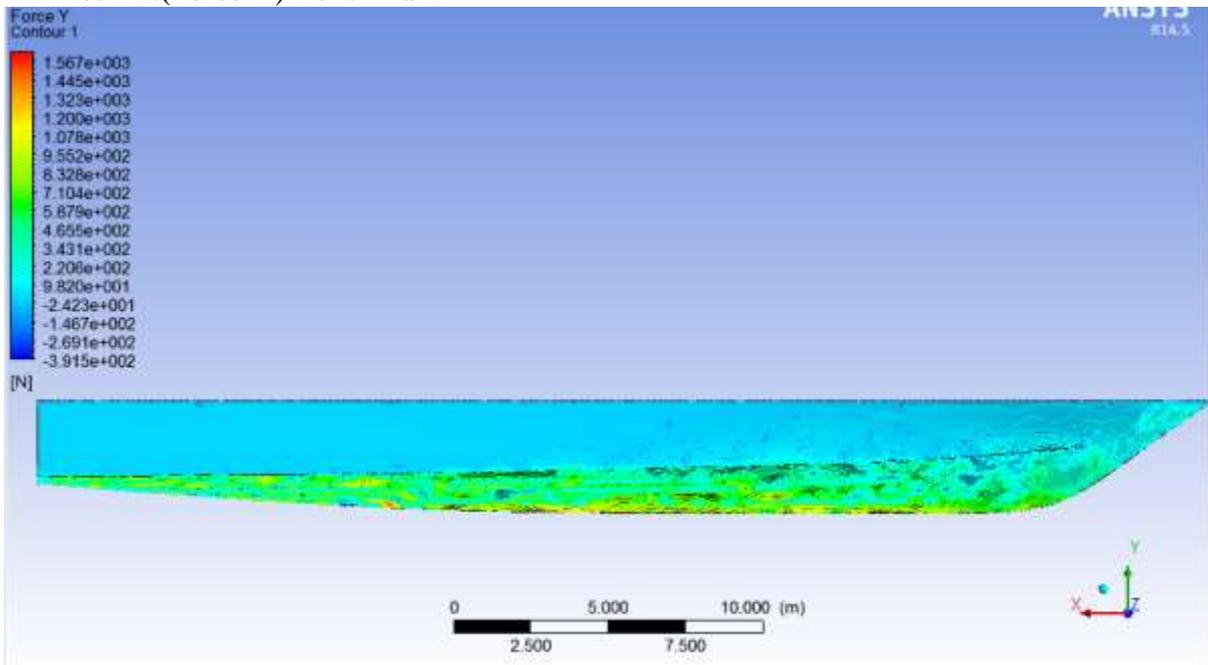
Pola Aliran IWF 6deg Kecepatan 24 knot



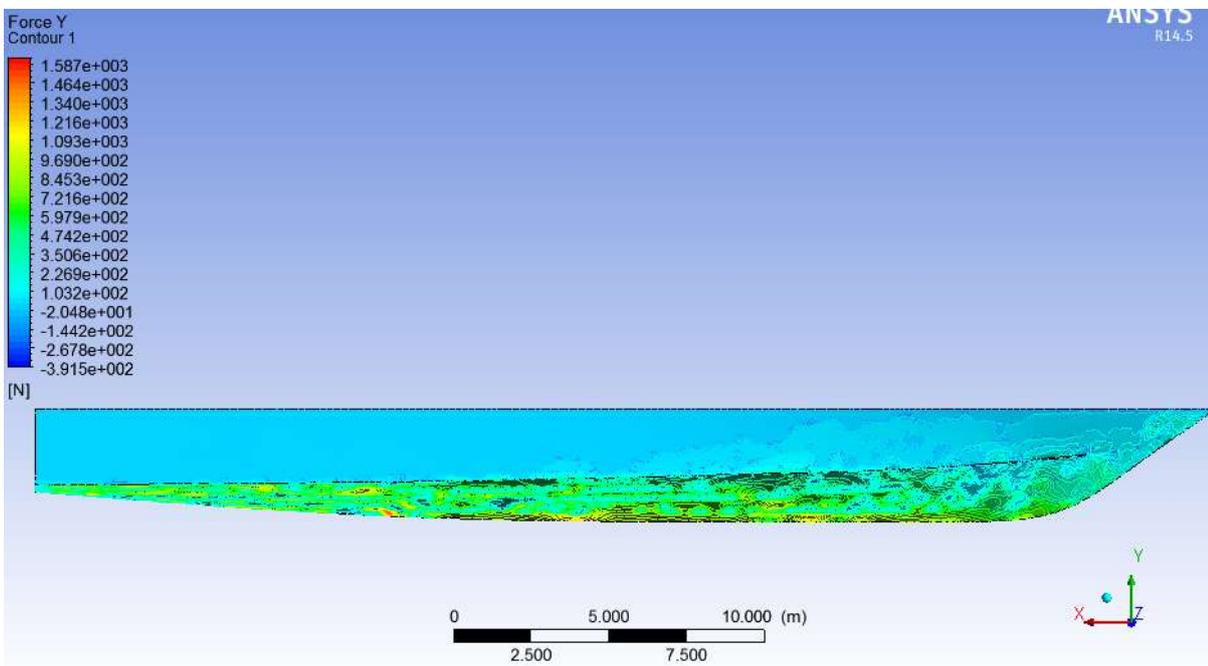
Pola Aliran IWF 6deg Kecepatan 30 knot

# LAMPIRAN C LIFT(FORCE Y)

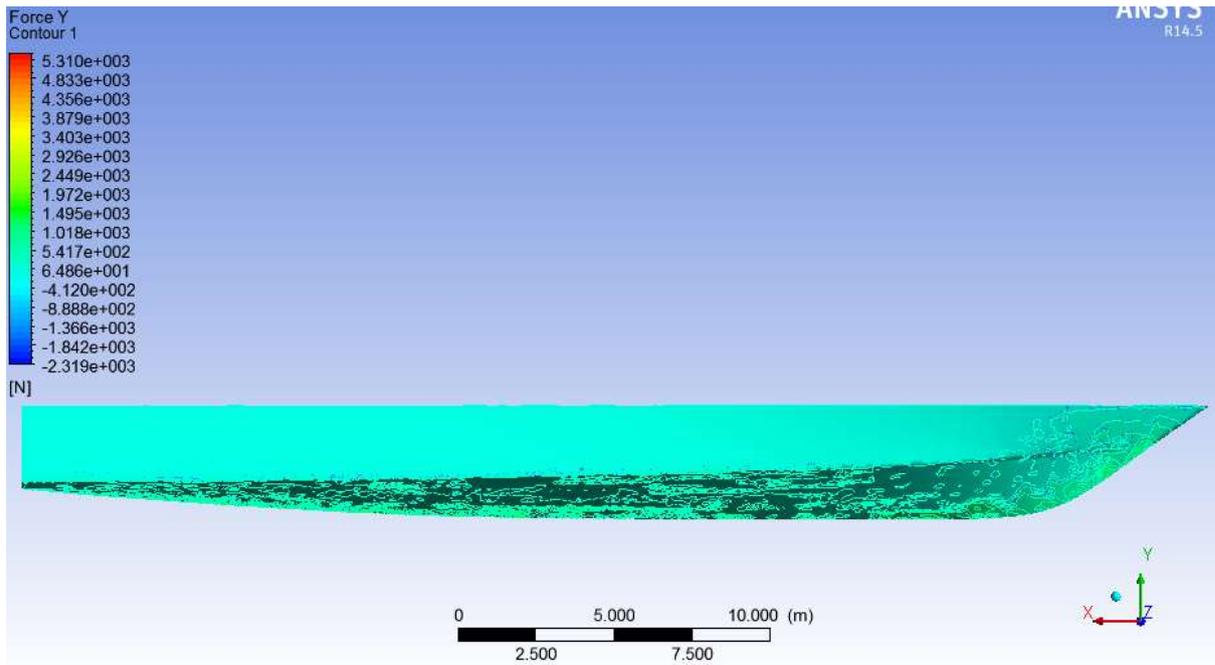
- Plot Lift(Force Y) Benchmark



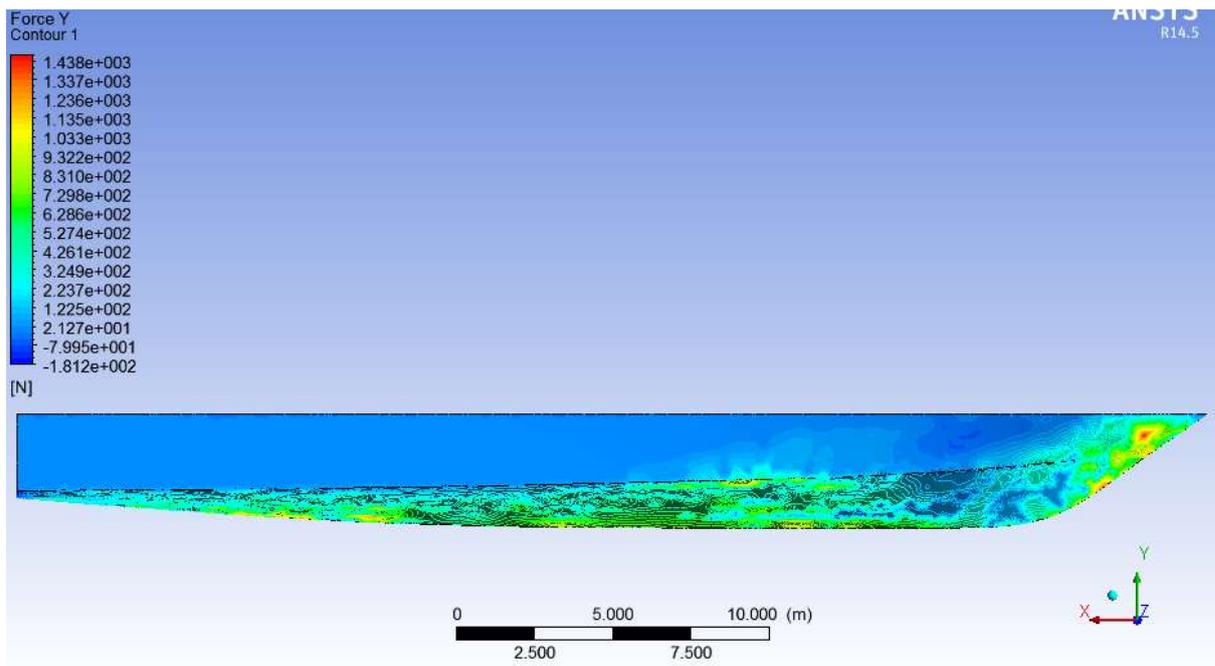
Lift benchmark 5 knot



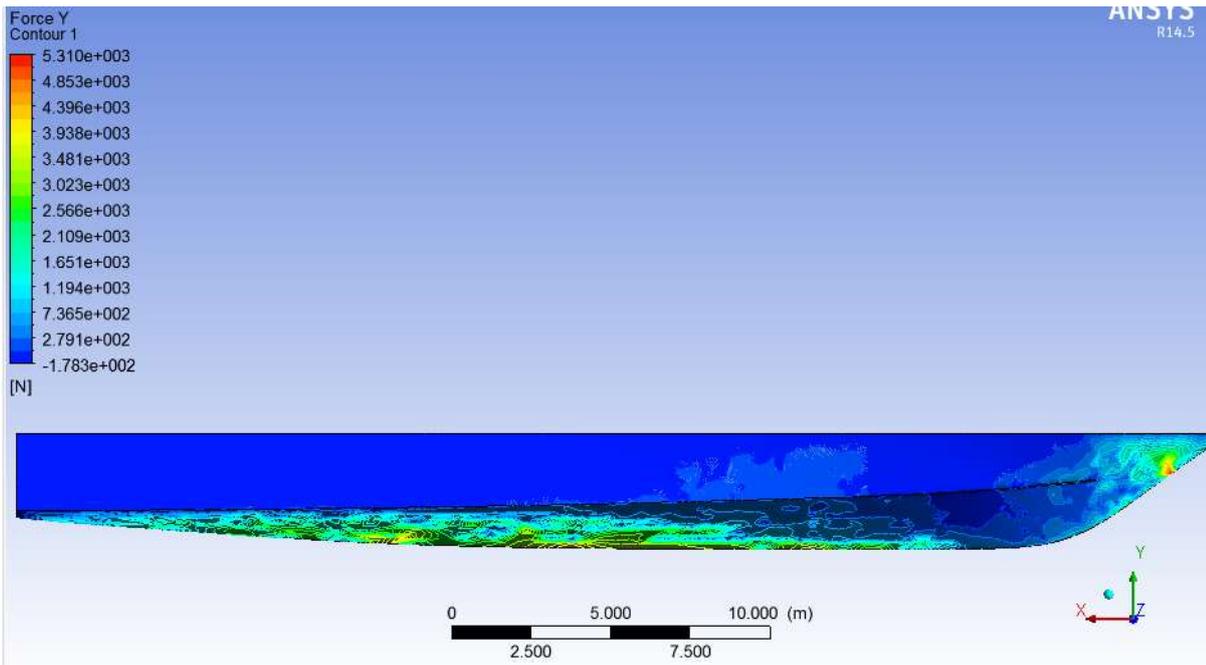
Lift benchmark 10 knot



Lift benchmark 17 knot

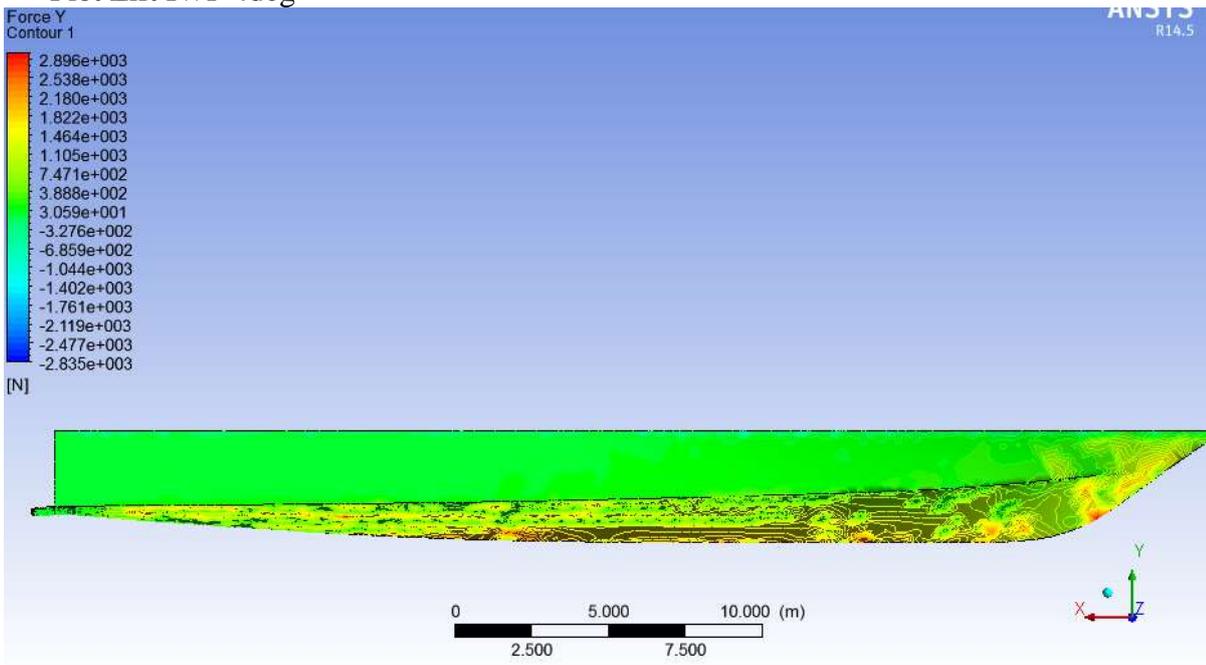


Lift benchmark 24 knot

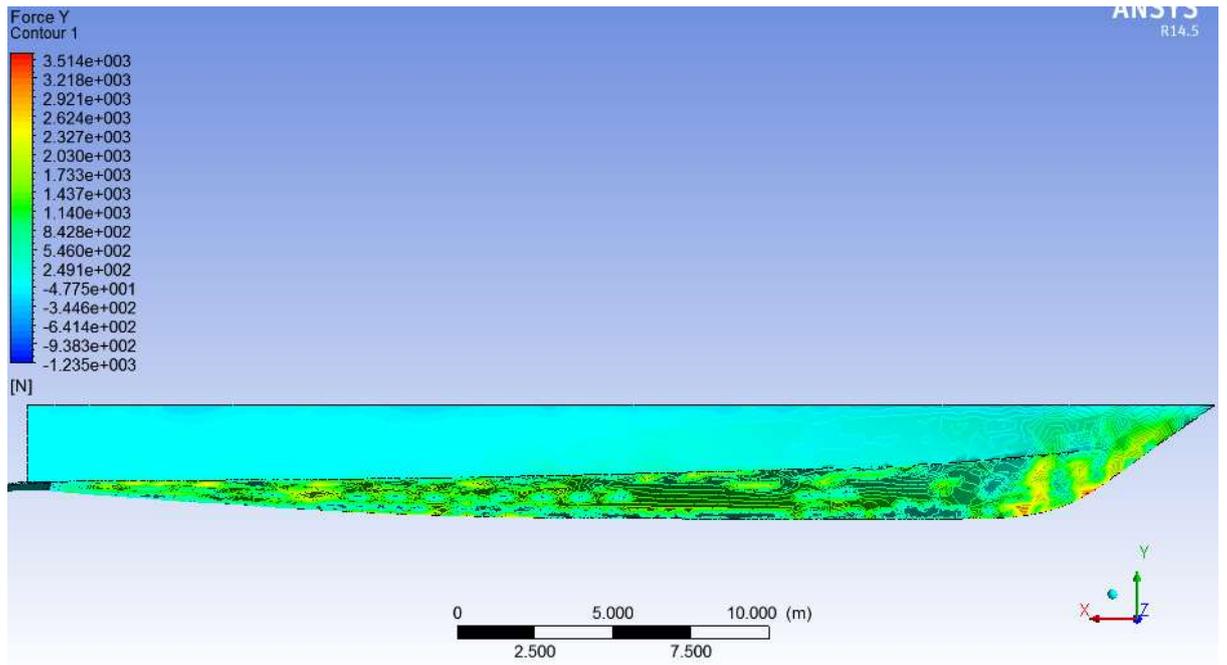


Lift benchmark 30 knot

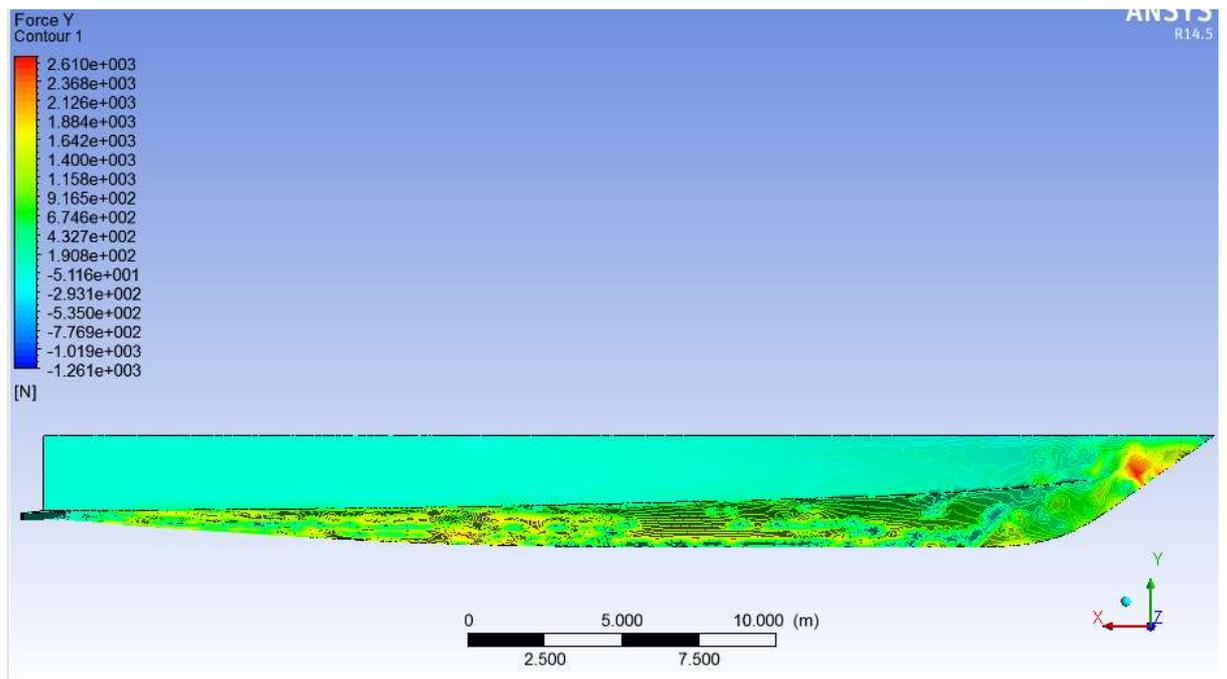
- Plot Lift IWF 4deg



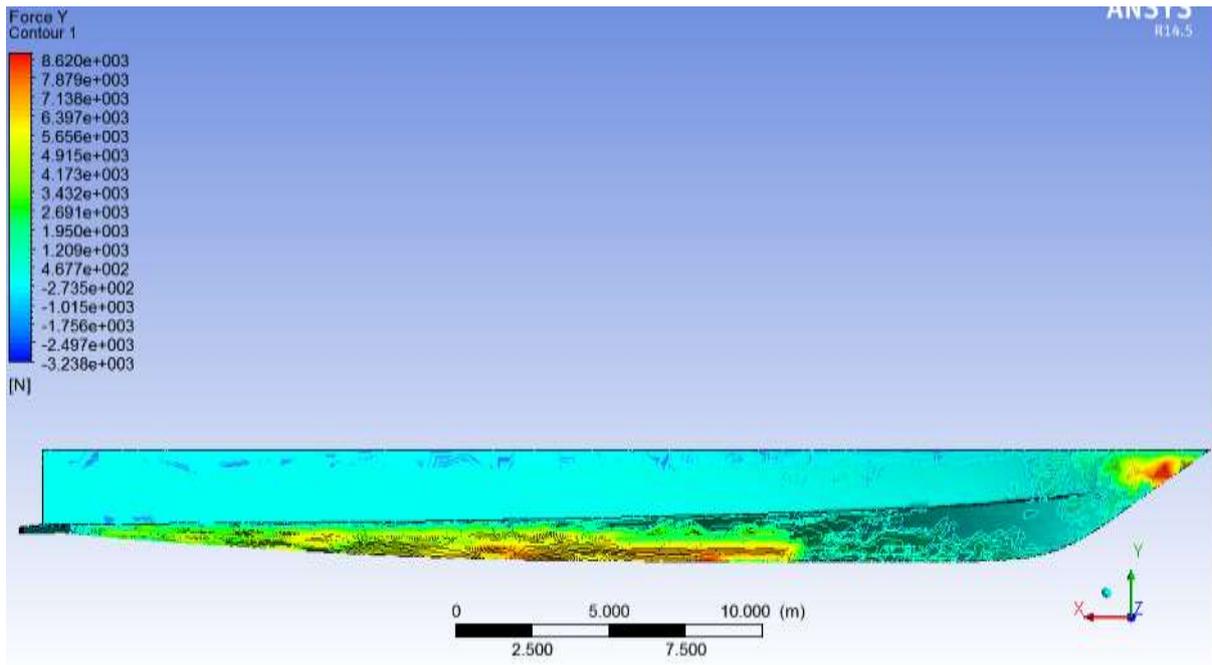
Lift IWF 4deg 5 knot



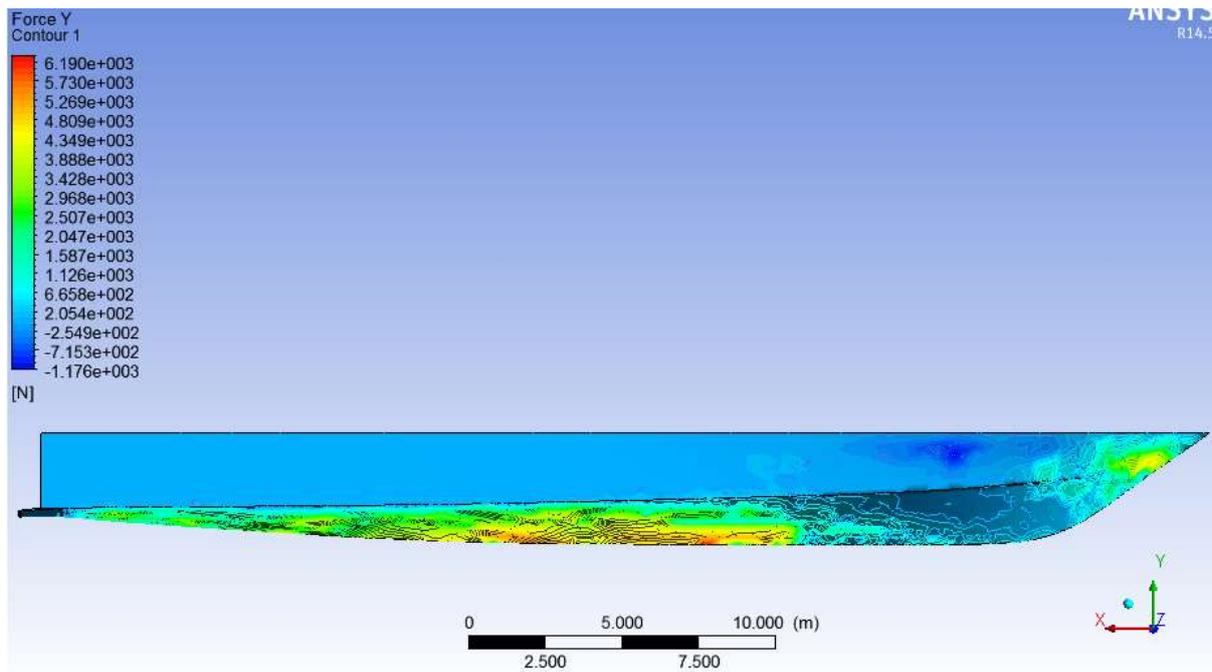
Lift IWF 4deg 10 knot



Lift IWF 4deg 17 knot

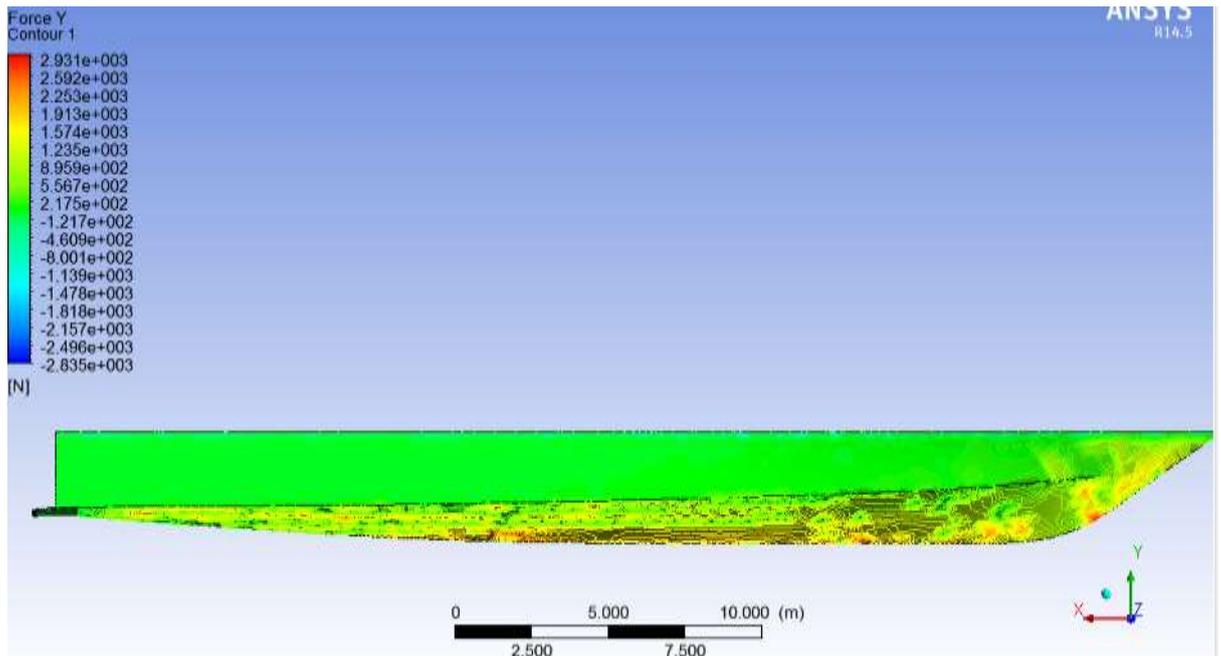


Lift IWF 4deg 24 knot

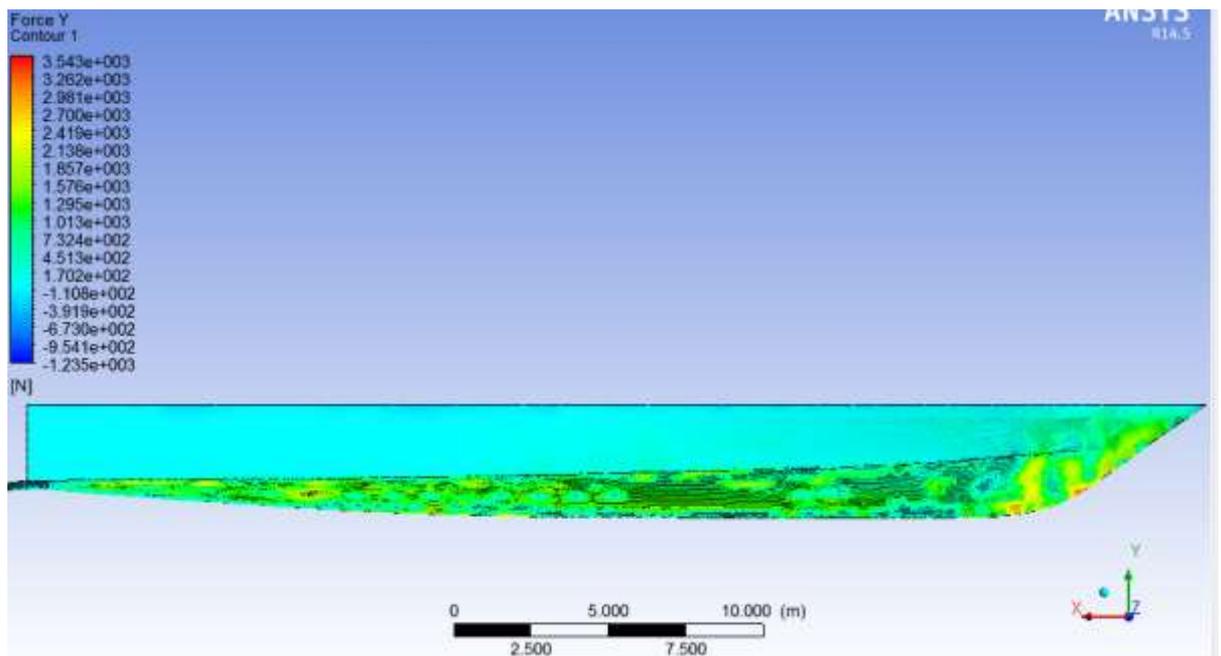


Lift IWF 4deg 30 knot

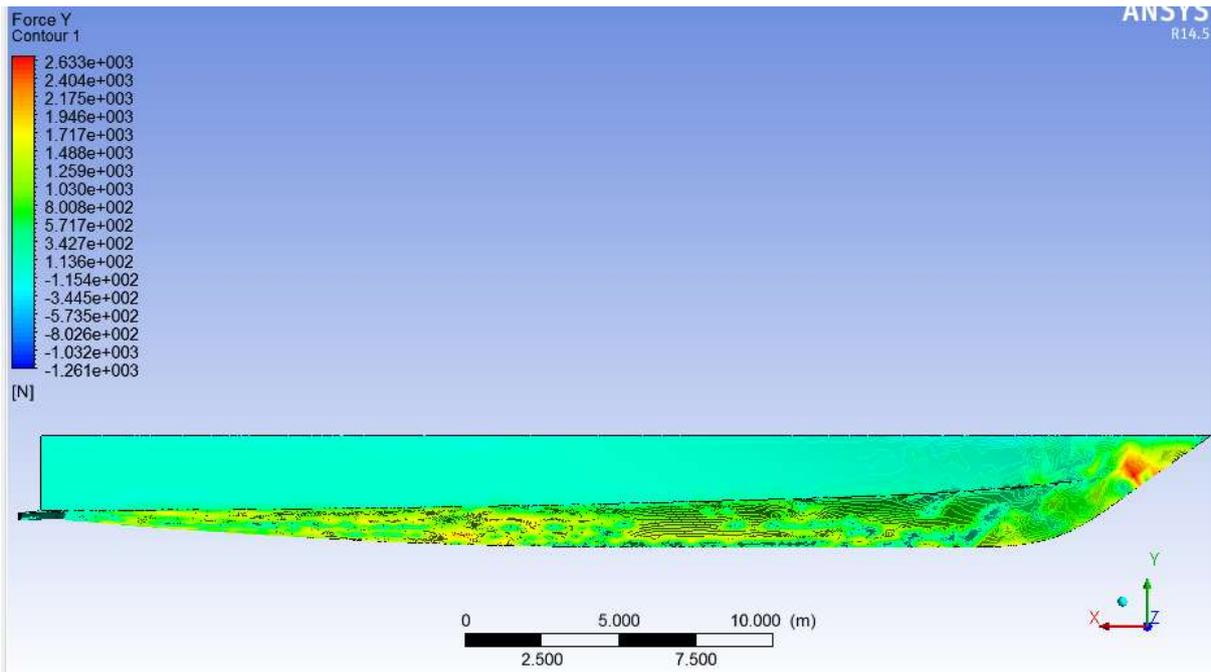
- Plot Lift IWF 5deg



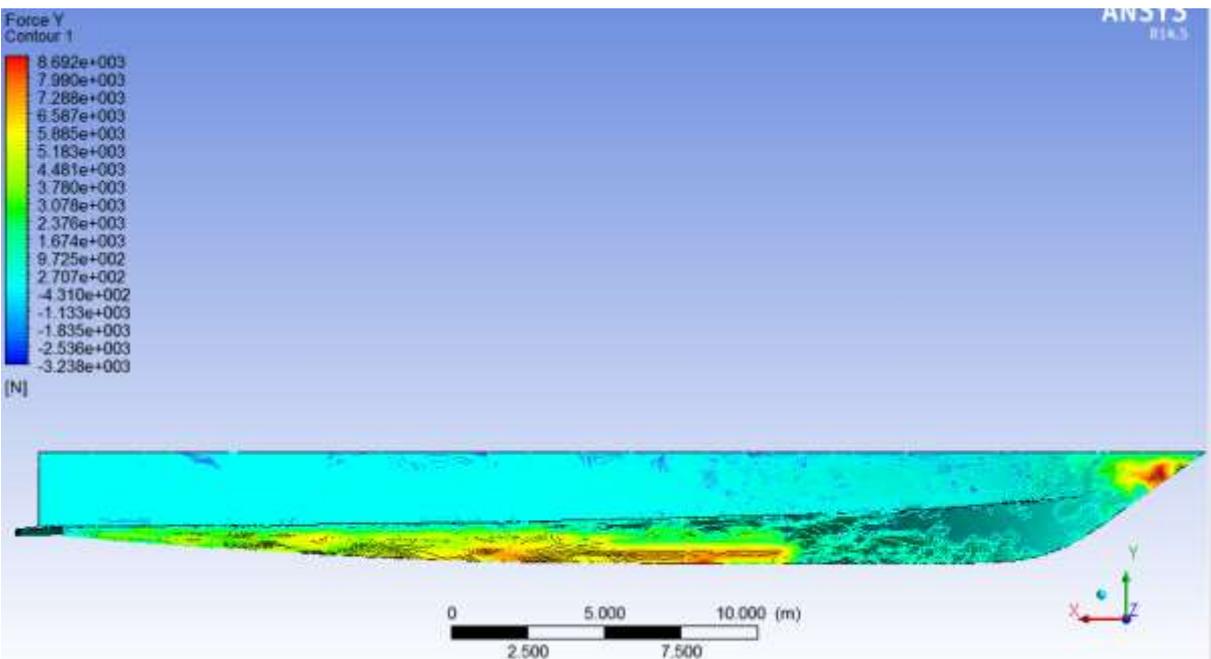
Lift IWF 5deg 5 knot



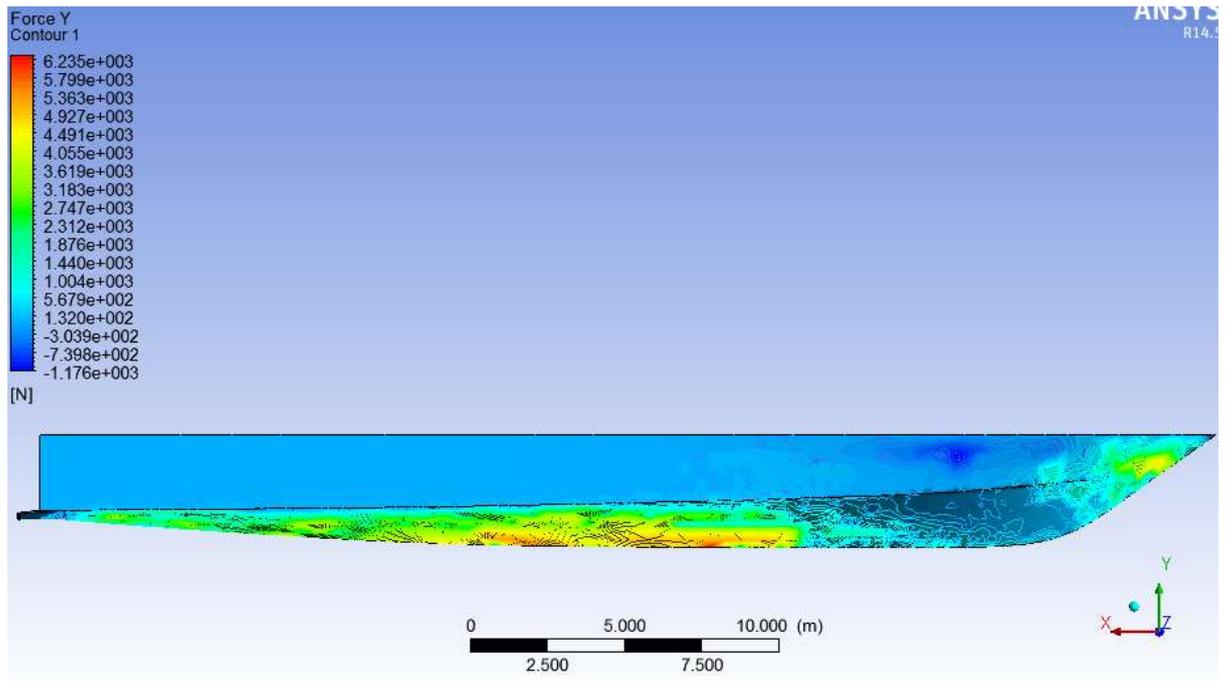
Lift IWF 5deg 10 knot



Lift IWF 5deg 17 knot

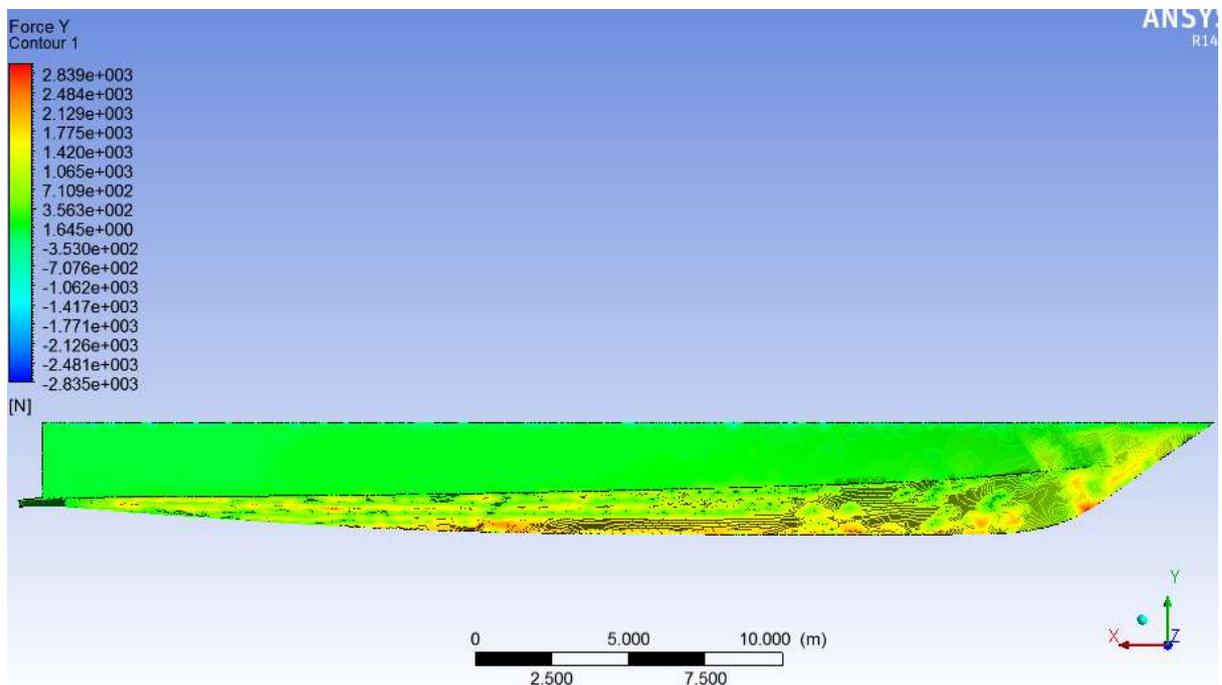


Lift IWF 5deg 24 knot

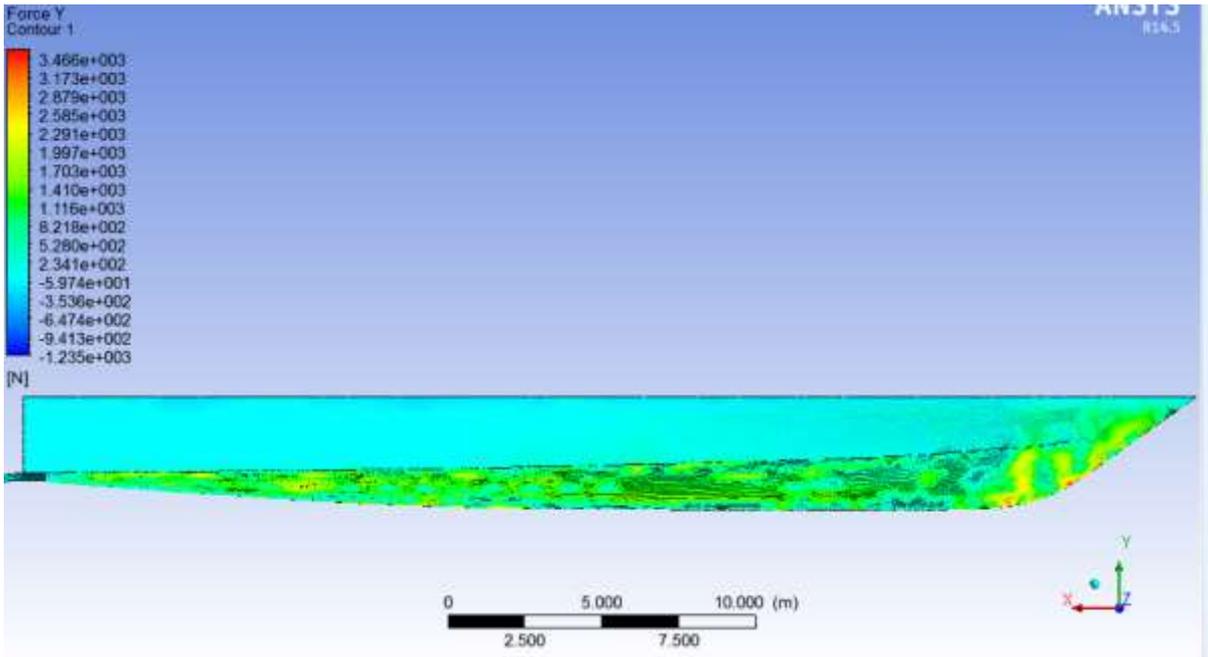


Lift IWF 5deg 30 knot

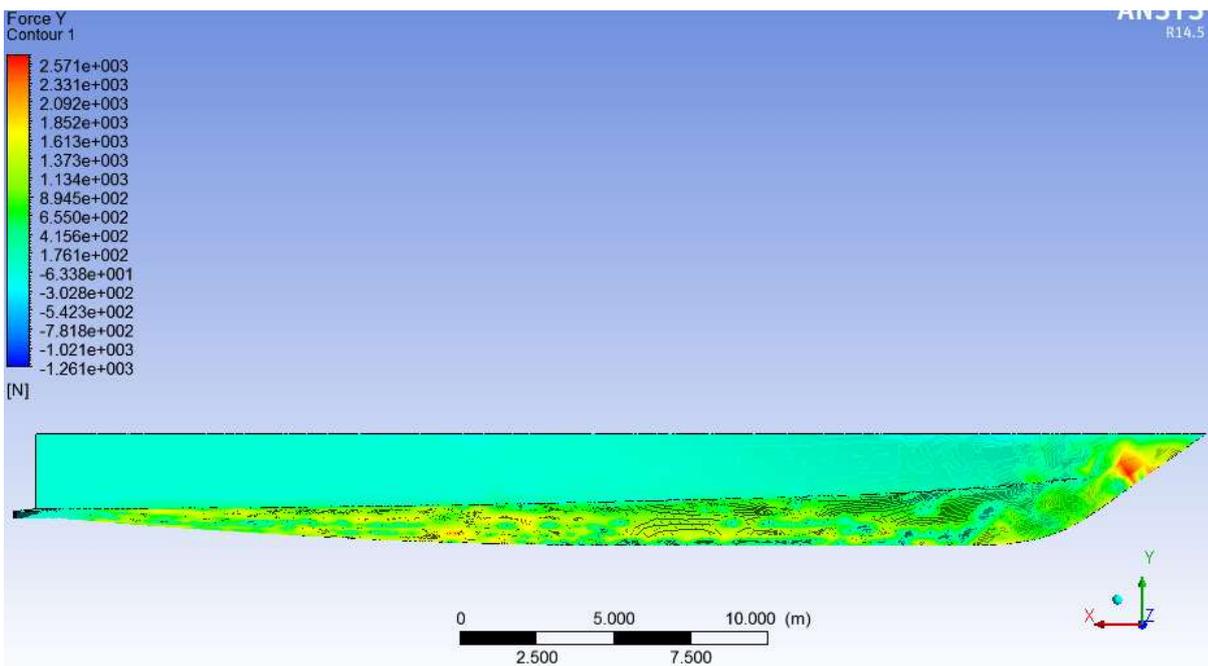
- Plot Lift IWF 6 deg



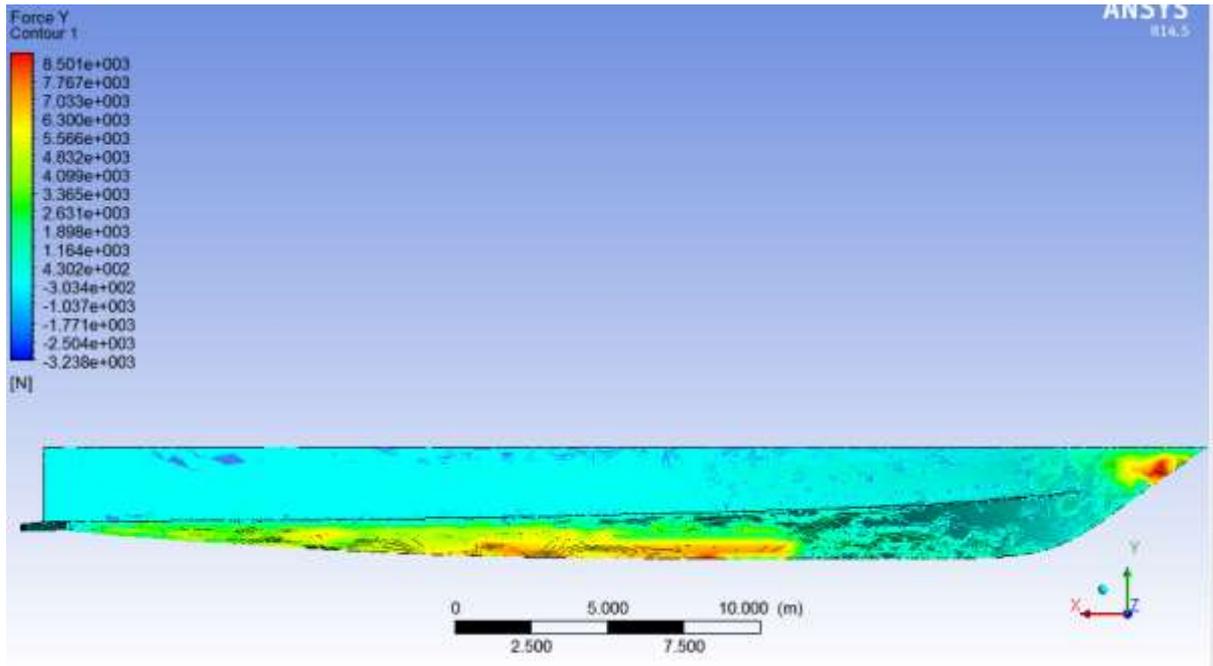
Lift IWF 6deg 5 knot



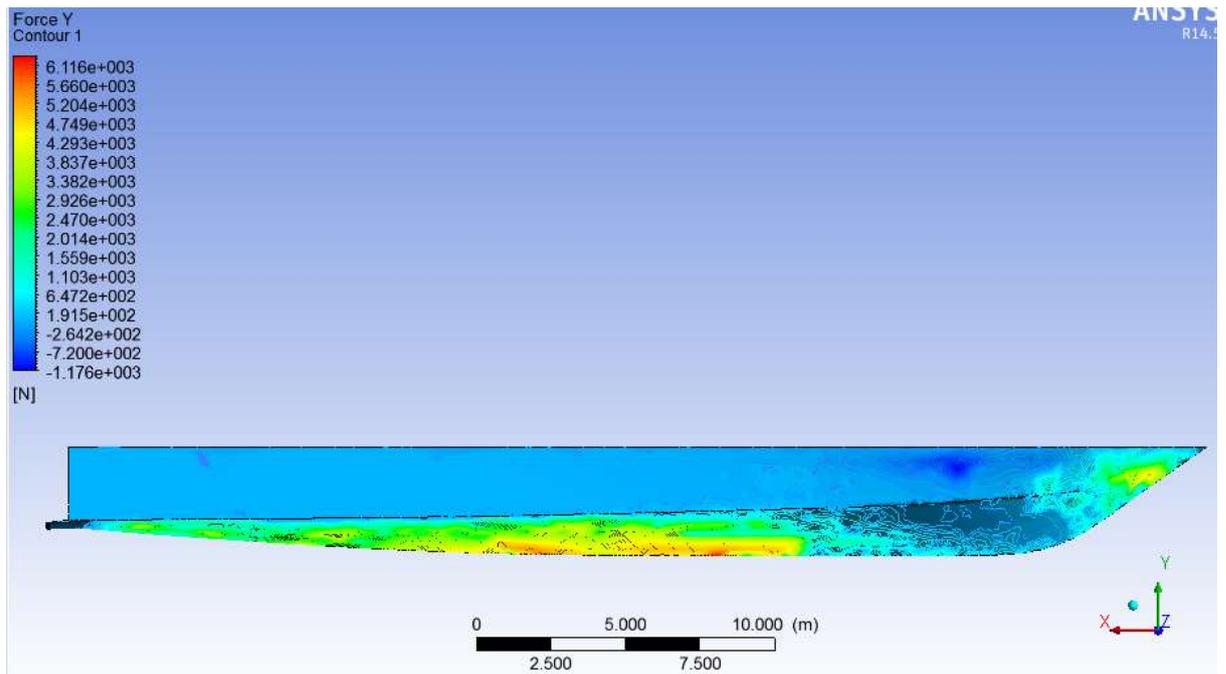
Lift IWF 6deg 10 knot



Lift IWF 6deg 17 knot



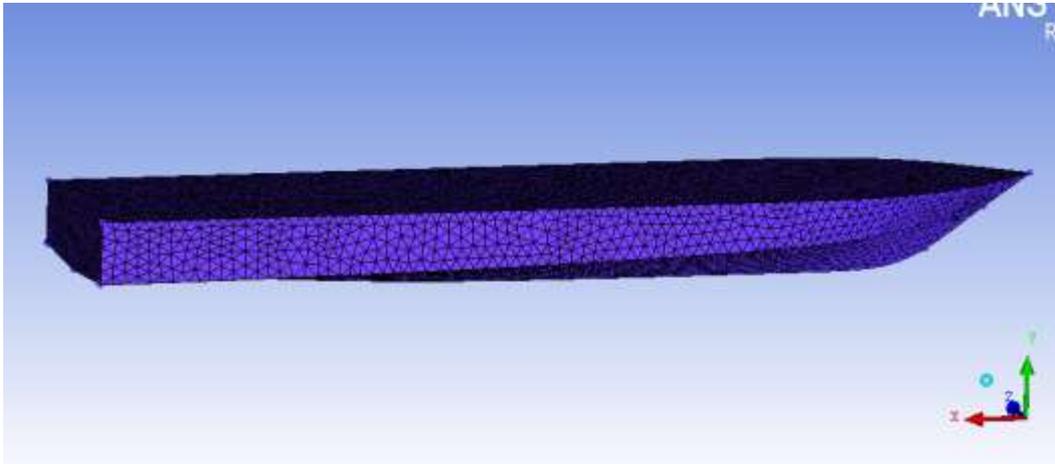
Lift IWF 6deg 24 knot



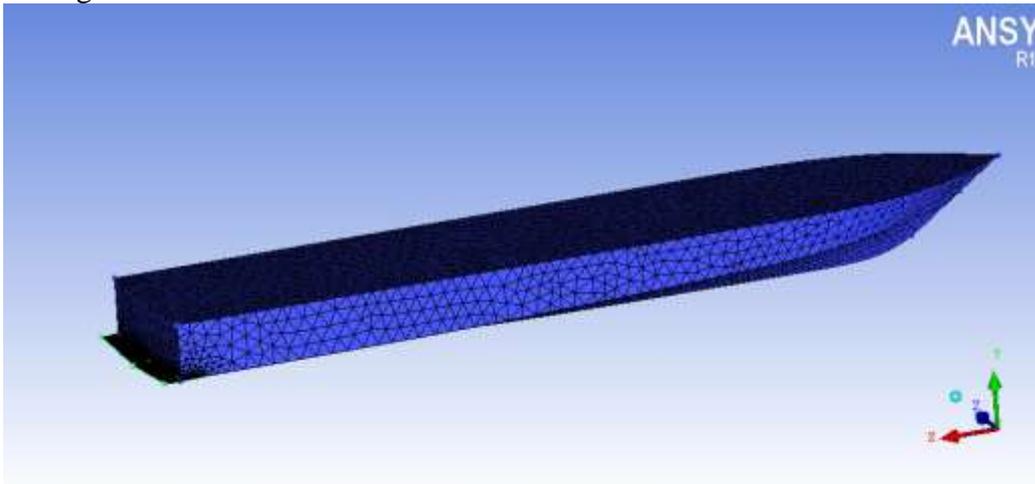
Lift IWF 6deg 30 knot

## LAMPIRAN D MODEL UJI

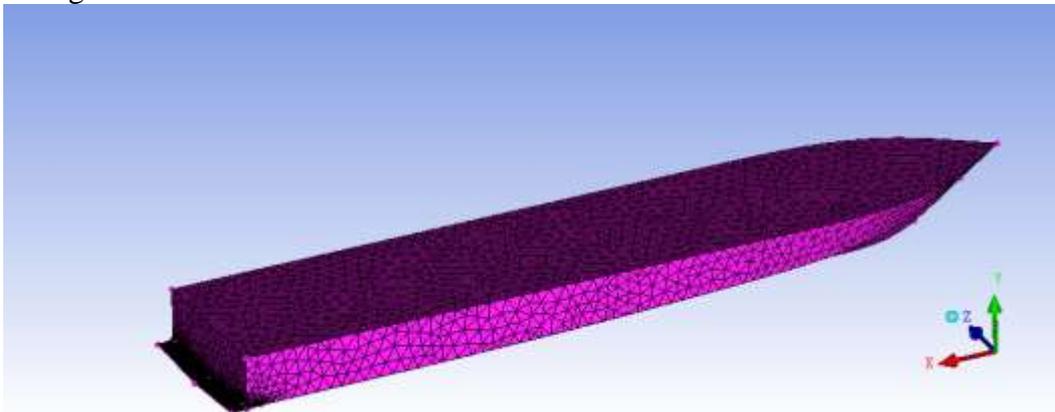
- Model Benchmark



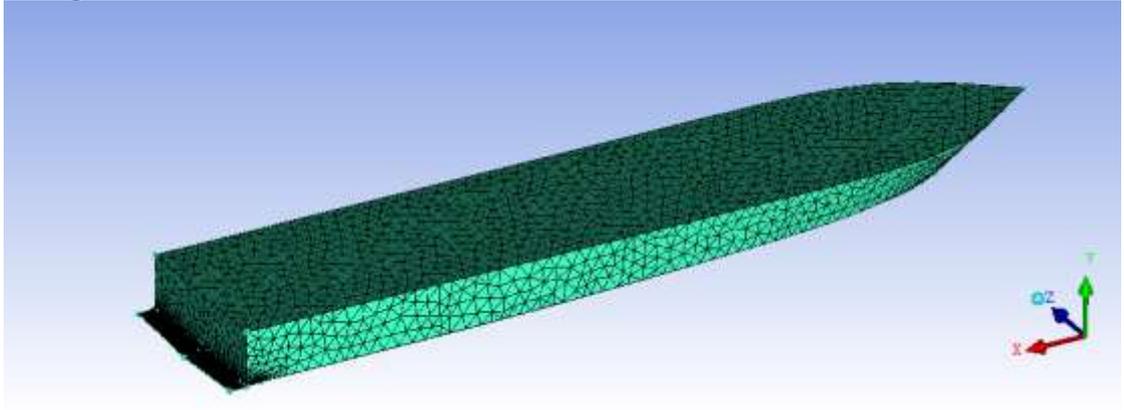
- IWF 4deg



- IWF 5deg



- IWF 6deg



## LAMPIRAN E PERBANDINGAN SIMULASI STATIC PRESSURE DAN NORMAL SPEED PADA OUTLET

Pada ujian tugas akhir diberikan masukan untuk melakukan simulasi tambahan. Simulasi tambahan bertujuan untuk membandingkan kondisi boundary condition pada bagian *outlet* pada *domain*. Perbedaan yang dimaksud adalah jika penulis melakukan simulasi dengan menggunakan kondisi *static pressure* maka pada simulasi ini dicoba dengan menggunakan *normal speed*. Penetapan kondisi pada *outlet* tersebut bertujuan agar aliran pada bagian *outlet* tidak mengalami gangguan. Untuk itu perlu dilakukan simulasi pada satu kondisi percobaan.

Berikut adalah kondisi yang akan dipakai untuk simulasi tambahan:

**Tabel 9 Perbandingan Hasil Simulasi**

Parameter	A	B
<b>Kondisi outlet</b>	<i>Static pressure</i>	<i>Normal speed</i>
<b>fungsi</b>	Downpres	<i>Normal speed(17Knot)</i>
<b>Jumlah grid(unit)</b>	<b>1694520</b>	
<b>Model</b>	<b>Benchmark</b>	
<b>Kecepatan(Knot)</b>	<b>17 Knot</b>	

Dari hasil simulasi maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 10 Hasil Simulasi**

	A	B	Selisih(%)
<b>Force (N)</b>	170370	160509	-5.79

Dari hasil pada tabel 19 maka dapat diketahui bahwa dengan menggunakan kondisi boundary condition yang berbeda dapat menghasilkan hasil yang berbeda. Selisih dari kedua percobaan tersebut adalah sebesar 5.79 %. Dengan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa selisih dari kedua kondisi tersebut tidak signifikan. Dan tidak berpengaruh banyak pada hasil akhir.

Dugaan awal yang dikhawatirkan adalah terjadi selisih yang cukup signifikan. Namun setelah melihat dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa hal tersebut tidak terjadi.

Simulasi menyeluruh kepada seluruh kondisi variasi pada penelitian dapat dilakukan sebagai langkah selanjutnya untuk melihat pengaruh dari perbedaan boundary condition pada keseluruhan simulasi ini.

## BIODATA PENULIS



Muhammad Auliya Alamsyah, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Sidoarjo pada 14 Juli 1992 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Dharma Wanita, kemudian melanjutkan ke SD Al-Falah Tropodo, SMP Al-Falah Deltasari, dan SMAN 1 Taman,Sidoarjo. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2010 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Desain Kapal – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Hubungan Dalam Negeri HIMATEKPAL 2011/2012 dan 2012/2013 serta Ketua Lembaga Dakwah Jurusan As-Safiinah Departemen Teknik Perkapalan ITS 2012/2013. Selan itu, Penulis juga pernah menerima penghargaan CLASSNK award pada tahun 2014.

Email: [alamsyah.1407@gmail.com](mailto:alamsyah.1407@gmail.com)