



---

## **TUGAS AKHIR - MN 141581**

# **KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS HAMBATAN KAPAL *CREW BOAT* “ORELA” DENGAN DAN TANPA MENGUNAKAN *FOIL* BELAKANG**

AFFAN HIDAYAT  
N.R.P. 4112 100 036

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



---

**FINAL PROJECT - MN 141581**

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF “ORELA”  
CREW BOAT RESISTANCE WITH AND WITHOUT  
STERN FOIL (HULL VANE)**

AFFAN HIDAYAT  
N.R.P. 4112 100 036

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS HAMBATAN KAPAL *CREW BOAT* "ORELA" DENGAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *FOIL* BELAKANG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Hidrodinamika  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AFFAN HIDAYAT**  
N.R.P. 4112 100 036

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



NIP. 19691231 200604 1 178

**SURABAYA, 1 JULI 2016**

## LEMBAR REVISI

# KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS HAMBATAN KAPAL *CREW BOAT* "ORELA" DENGAN DAN TANPA MENGUNAKAN *FOIL* BELAKANG

## TUGAS AKHIR

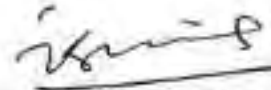
Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 21 Juni 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**AFFAN HIDAYAT**  
N.R.P. 4112 100 036

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir  
Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.



Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
2. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



SURABAYA, 1 JULI 2016

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal *Crew Boat* Orela Dengan dan Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang”. Dengan terselesaikannya tugas akhir ini tidak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang mendukung terselesaikannya tugas akhir ini. Adapun berbagai pihak yang bersangkutan adalah:

1. Ayahanda Drs. H. Usman Hidayat, M.Pd. dan Ibunda Hj. Anik Suziyati yang selalu berdoa dengan tiada henti-hentinya, memberikan kasih sayang, serta nasihat-nasihat yang selalu menjadi panutan hidupku.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Perkapalan yang sudah banyak membantu penulis sebagai mahasiswa dalam belajar.
3. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir dan sekaligus sebagai dosen wali bagi penulis selama berkuliah di Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS Surabaya yang telah mengarahkan, membimbing, dan mendidik penulis untuk dapat mengikuti proses pembelajaran selama di perkuliahan.
4. Soegeng Riyadi, ST. selaku pembimbing dari PT. Orela Shipyard, Ujung Pangkah, Gresik yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.
5. Semua Bapak dan Ibu Dosen beserta staf dan karyawan di Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis selama ini.
6. Pak Langgeng Condro dan Pak Rudie Sebastian yang telah membantu dalam proses pembuatan model dan eksperimen di Laboratorium Hidrodinamika ITS.
7. Kakakku Nining Khoirunniza, S.Pi dan seluruh keluarga, kerabat, dan semua saudara-saudara penulis yang selalu mendukung dan berdoa bagi penulis.
8. Teman-teman FORECASTLE P52, yang sudah menemani, membantu, dan menjadi teman terbaik selama penulis berkuliah di Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS.
9. Dan kepada semua orang yang berperan aktif dalam kehidupan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sebuah kesempurnaan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk kesempurnaan pada riset yang akan datang. Akhir kata, penulis mohon maaf apabila terselip penulisan kata yang salah dan kurang berkenan di hati para pembaca. Terima kasih.

Surabaya, 1 Juli 2016

Affan Hidayat

# KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS HAMBATAN KAPAL *CREW BOAT* “ORELA” DENGAN DAN TANPA MENGGUNAKAN *FOIL* BELAKANG

Nama Mahasiswa : Affan Hidayat  
NRP : 4112 100 036  
Jurusan/Fakultas : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan  
Pembimbing : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

## ABSTRAK

Operasional dari kapal *crew boat* banyak digunakan sebagai keperluan logistik di daerah lepas pantai. Dengan mempertimbangkan kecepatan, waktu tempuh, dan bahan bakar kapal *crew boat* untuk dapat mengantar atau menjemput pekerja lepas pantai, dan keperluan logistik lainnya, maka penambahan *foil* belakang pada kapal *crew boat* dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan performa kapal. Tujuan dari pemasangan *foil* belakang adalah memperkecil luas permukaan kapal yang tercelup di dalam air akibat adanya gaya angkat *foil* ketika kecepatan ditambahkan sehingga dapat memperkecil hambatan kapal. Untuk mendapatkan tipe *foil* belakang yang optimum, maka dilakukan variasi aspek rasio dan sudut serang dari variasi tipe NACA. Dari simulasi kekentalan murni mendapatkan tipe NACA untuk *foil* belakang adalah NACA 64A212 aspek rasio 6,67 dan sudut serang  $2^0$  dengan *lift force/drag force* tertinggi yaitu 29,67; dan untuk *strut* adalah NACA 0010 dengan *drag coefisien* yang paling minimum yaitu 0,0091. Dari pengujian hambatan di *towing tank* (eksperimen) dan simulasi *free surface* (numerik) menggunakan aplikasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) didapatkan nilai hambatan total kapal. Pengaruh penambahan *foil* belakang pada Kapal Orela adalah pada *froude number* 0.36 (kecepatan 14 knots) dapat menambah hambatan total kapal sebesar 14,5% (eksperimen) dan 16,1% (numerik); hambatan terus berkurang dengan bertambahnya kecepatan kapal; dan pada *froude number* 0.57 (kecepatan 22 knots) dapat mengurangi hambatan total yaitu sebesar 5.2% (eksperimen), dan 8.4% (numerik); serta pada *froude number* 0.62 (kecepatan 24 knots) yaitu sebesar 3.3% (eksperimen), dan 7.1% (numerik). Kemudian pada kecepatan dinas kapal yaitu pada kecepatan 28 knots (*froude number* 0,73) pengurangan hambatan semakin besar yaitu 10% (numerik).

Kata Kunci : *Crew Boat*, CFD (*Computational Fluid Dynamics*), eksperimental, *foil* belakang, hambatan total

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF  
“ORELA” CREW BOAT RESISTANCE WITH AND WITHOUT  
STERN FOIL (HULL VANE)**

Author : Affan Hidayat  
ID Number : 4112 100 036  
Dept./Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology  
Supervisor : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

**ABSTRACT**

Crew boat is operationally often used as offshore logistic purposes. In considering of speed, travel time, fuel needed to deliver or pick up offshore workers, and other logistic utilities, installation of stern foil on crew boat can be an alternative to improve ship's performance. The purpose of the stern foil installation is to reduce ship's surface area that submerged in the water due to the lifting force of the foil when the speed is increased so that the constraints of the ship can be minimized. Then varying the aspect ratio and angle of attack from NACA type variety in order to obtain an optimum stern foil type. Full viscous simulation resulting in NACA stern foil type, it is NACA 64A212 at 6.67 aspect ratio and at  $2^0$  angle of attack with an optimum lift force / drag force of 29.67; and for the strut is NACA 0010 with minimum drag coefficient of 0.0091. The total resistance of ship is obtainable from resistance test in towing tank (experiment) and free surface simulation (numeric) using CFD (Computational Fluid Dynamics). The effect of stern foil installation on ship is at froude number 0,36 (speed 14 knots) can increase total resistance of ship at 14.5% (experiment) and 16.1% (numeric); resistance is continue to decreasing due to increased speed; and at froude number 0.57 (speed of 22 knots) can reduce the total resistance equal to 5.2% (experiment), and 8.4% (numeric); and at froude number 0.62 (speed of 24 knots) is equal to 3.3% (experiment), and 7.1% (numeric). Then at ship's service speed which is 28 knots (froude number 0,73), the resistance reduction is 10% (numeric).

Keywords : Crew boat, CFD (Computational Fluid Dynamics), experiment, stern foil (hull vane), total resistance

# DAFTAR ISI

COVER DEPAN .....	i
HALAMAN DEPAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
LEMBAR REVISI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Hipotesis .....	2
BAB II STUDI LITERATUR .....	3
2.1 Kapal dengan <i>Foil</i> Belakang.....	3
2.2 <i>The NACA Airfoil Series</i> .....	8
2.2.1 NACA Seri Empat Digit.....	9
2.2.2 NACA Seri Lima Digit.....	9
2.2.3 Modifikasi NACA Seri Empat dan Lima Digit: .....	10
2.2.4 <i>NACA 1-Series</i> atau <i>16-Series</i> .....	10
2.2.5 <i>NACA 6-Series</i> .....	11
2.2.6 <i>NACA 7-Series</i> .....	11
2.2.7 <i>NACA 8-Series</i> .....	11
2.3 Teori Perhitungan Hambatan .....	13
2.3.1 <i>Displacement Mode</i> .....	13



2.3.2	<i>Transition Mode (semi-planing)</i> .....	17
2.3.3	<i>Planning Mode</i> .....	17
2.4	<i>Lift dan Drag</i> .....	19
2.5	Teori Pemodelan .....	21
2.6	<i>CFD (Computational Fluid Dynamics)</i> .....	22
2.6.1	<i>Pre-Processor</i> .....	24
2.6.2	<i>Processor (Solver)</i> .....	24
2.6.3	<i>Post-Processor</i> .....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		27
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2	Metodologi Penelitian .....	28
3.2.1	Studi Literatur dan Pengumpulan Data .....	28
3.2.2	Pemilihan Jenis <i>Foil</i> .....	29
3.2.3	Pemodelan, Simulasi CFD, dan Uji Coba <i>Towing Tank</i> .....	31
3.2.4	Validasi .....	32
3.2.5	Analisa Data dan Penyelesaian .....	32
BAB IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI CFD .....		35
4.1	Pembuatan Model Uji Numerik .....	35
4.1.1	Lambung Kapal .....	35
4.1.2	<i>Foil</i> Belakang dan <i>Strut</i> .....	37
4.1.3	Proses <i>Meshing</i> .....	40
4.2	Simulasi CFD .....	44
4.2.1	Tahap CFX- <i>Pre Processor</i> .....	44
4.2.2	Tahap <i>Solver</i> .....	48
4.2.3	Tahap <i>Post-Processor</i> .....	49
4.3	Validasi <i>Grid Independence</i> .....	49
BAB V PENGUJIAN HAMBATAN DI TOWING TANK .....		53
5.1	Prosedur Percobaan .....	54

5.2	Faktor Korelasi dan Sifat-Sifat Fisik .....	55
5.3	Analisis Percobaan Secara Elementer.....	55
5.4	Pengujian Model di Towing Tank .....	56
5.5	Hasil Pengujian Model Kapal Orela Tanpa Menggunakan <i>Foil</i> Belakang.....	57
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....		59
6.1	Pendahuluan.....	59
6.2	Kapal Tanpa Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	59
6.3	<i>Foil</i> Belakang.....	63
6.4	<i>Strut</i> .....	69
6.5	Kapal Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang.....	69
6.6	Hasil Pengujian Hambatan di <i>Towing Tank</i> .....	75
6.6.1	Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	75
6.6.2	Analisis Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	76
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....		79
7.1	Kesimpulan .....	79
7.2	Saran .....	79
DAFTAR PUSTAKA.....		81
LAMPIRAN .....		83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Foil</i> Belakang yang Terpasang dengan Dua <i>Strut</i> (Hull Vane b.v., 2016).....	1
Gambar 2. 1 Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang (The International Institute of Marine Surveying, 2015) .....	3
Gambar 2. 2 Komponen Gaya pada <i>Foil</i> Belakang (Hull Vane b.v., 2016).....	4
Gambar 2. 3 Perbedaan <i>Wave Pattern</i> pada Kapal Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Foil</i> Belakang (Hull Vane b.v., 2016).....	4
Gambar 2. 4 Koreksi <i>Trim</i> (Hull Vane b.v., 2016).....	5
Gambar 2. 5 Mengurangi <i>Pitching</i> (Hull Vane b.v., 2016).....	5
Gambar 2. 6 Pengaplikasian <i>Foil</i> Belakang pada MS. Karina (Hull Vane b.v., 2016).....	6
Gambar 2. 7 Pengaplikasian <i>Foil</i> Belakang pada Rijnborg (Hull Vane b.v., 2016) .....	6
Gambar 2. 8 Pengaplikasian <i>Foil</i> Belakang pada DTMB 5415 (Hull Vane b.v., 2016).....	7
Gambar 2. 9 Pengaplikasian <i>Foil</i> Belakang pada <i>Project Kinesis</i> (Hull Vane b.v., 2016) ...	7
Gambar 2. 10 Pengaplikasian <i>Foil</i> Belakang pada <i>IACC Sailing Yacht</i> (Hull Vane b.v., 2016).....	8
Gambar 2. 11 <i>NACA Airfoil Geometry</i> (Sadraey, 2012) .....	9
Gambar 2. 12 Tiga Mode Hambatan Kapal Fungsi dari <i>Froude Number</i> (Yousefi, Shafaghat, & Shakeri, 2013).....	13
Gambar 2. 13 Grafik Koefisien <i>Lift</i> dari <i>Planning Hull</i> (Savitsky, 1964) .....	18
Gambar 2. 14 Simulasi Memprediksi <i>Wave Motion, Heights</i> dan <i>Pressure</i> pada Lambung Kapal (ANSYS, 2016).....	25
Gambar 2. 15 Simulasi <i>Wave Impact</i> pada <i>Offshore Platform</i> (ANSYS, 2016).....	26
Gambar 2. 16 Kontur Tinggi Gelombang pada Simulasi <i>Free Surface</i> (ANSYS, 2016)....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Rencana Garis Kapal Orela .....	29
Gambar 4. 1 Model Kapal dan Rencana Garis Kapal <i>Crew Boat</i> yang Digambar Ulang Dengan Menggunakan <i>Maxsurf</i> .....	36
Gambar 4. 2 Hasil Data Hidrostatik <i>Redrawing</i> Kapal <i>Crew Boat</i> Dengan <i>Maxsurf</i> .....	37
Gambar 4. 3 Koordinat NACA 64A212 dan NACA 21021 Untuk Variasi <i>Foil</i> Belakang (Abbott & Doenhoff, 1958).....	38
Gambar 4. 4 Koordinat NACA 0010 dan NACA 63012 Untuk Variasi <i>Strut</i> (Abbott & Doenhoff, 1958) .....	39

Gambar 4. 5 Hasil Impor dari <i>software</i> Auto-CAD ke ICEM-CFD .....	40
Gambar 4. 6 Hasil Impor dari <i>software</i> Maxsurf ke ICEM-CFD.....	40
Gambar 4. 7 Hasil Import Kapal dengan <i>Foil</i> Belakang .....	41
Gambar 4. 8 Proses Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian Domain Fluida Simulasi Kekentalan Murni .....	41
Gambar 4. 9 Proses Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian Domain Fluida Simulasi <i>Free Surface</i> .....	41
Gambar 4. 10 Pengaturan <i>Meshing Foil</i> untuk Simulasi Kekentalan Murni.....	42
Gambar 4. 11 Pengaturan <i>Meshing</i> Kapal Tanpa dan Dengan <i>Foil</i> Belakang untuk Simulasi <i>Free Surface</i> .....	42
Gambar 4. 12 Hasil <i>Meshing</i> Pada Simulasi Kekentalan Murni .....	42
Gambar 4. 13 Hasil <i>Meshing Foil</i> Belakang Simulasi Kekentalan Murni .....	43
Gambar 4. 14 Hasil <i>Meshing</i> Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang Pada Simulasi <i>Free Surface</i> ....	43
Gambar 4. 15 Hasil <i>Meshing</i> Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang Pada Simulasi <i>Free Surface</i> ..	43
Gambar 4. 16 Tahap <i>CFX-Pre Processor</i> Pada Simulasi Kekentalan Murni .....	45
Gambar 4. 17 Tahap <i>CFX-Pre Processor</i> Pada Simulasi <i>Free Surface</i> .....	48
Gambar 4. 18 Proses <i>Running</i> Pada Simulasi Kekentalan Murni .....	48
Gambar 4. 19 Proses <i>Running</i> Pada Simulasi <i>Free Surface</i> .....	49
Gambar 4. 20 <i>Grid Independence</i> NACA 64A212 Aspek Rasio 6.67 .....	50
Gambar 4. 21 <i>Grid Independence</i> Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang .....	51
Gambar 4. 22 <i>Grid Independence</i> Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang.....	51
Gambar 4. 23 Spesifikasi Komputer dalam Simulasi CFD .....	52
Gambar 5. 1 Pandangan Dari Samping Model Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang.....	53
Gambar 5. 2 Model Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang Dilihat Dari Depan.....	54
Gambar 5. 3 Model Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang Dilihat Dari Belakang .....	54
Gambar 5. 4 Pandangan Dari Samping Model Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang .....	54
Gambar 5. 5 Pandangan Dari Belakang Model Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang .....	54
Gambar 5. 6 Hasil Kalibrasi Kapal dengan <i>Foil</i> Belakang Pada <i>Strip Chart</i> .....	56
Gambar 5. 7 Pengujian Hambatan Kapal Orela Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	56
Gambar 5. 8 Pengujian Hambatan Kapal Orela Tanpa Menggunakan <i>Foil</i> Belakang.....	57
Gambar 5. 9 Hubungan Kecepatan dengan Hambatan Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang (Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015) .....	58
Gambar 5. 10 Hubungan Kecepatan dengan Power (EHP) Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang (Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015) .....	58

Gambar 6. 1 Proses Simulasi CFD dan Pengujian di <i>Towing Tank</i> .....	59
Gambar 6. 2 Persyaratan Metode Untuk Perhitungan Hambatan.....	60
Gambar 6. 3 Perbandingan Hambatan dari Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang .....	61
Gambar 6. 4 Perbandingan Power dari Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang.....	61
Gambar 6. 5 Perbandingan Hambatan dari Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang .....	62
Gambar 6. 6 Hasil Perbandingan Aspek Rasio & <i>Lift Force/ Drag Force</i> pada NACA 64A212 dan NACA 21021 .....	63
Gambar 6. 7 Perbandingan <i>Drag Force</i> dengan Sudut Serang pada NACA 64A212.....	65
Gambar 6. 8 Perbandingan <i>Lift Force</i> dengan Sudut Serang pada NACA 64A212 .....	65
Gambar 6. 9 <i>Lift Force/ Drag Force</i> fungsi Sudut Serang Pada NACA 64A212.....	66
Gambar 6. 10 Visualisasi Kontur Kecepatan dari <i>Foil</i> Belakang pada Simulasi Kekentalan Murni .....	67
Gambar 6. 11 Visualisasi Kontur Tekanan dari <i>Foil</i> Belakang pada Simulasi Kekentalan Murni .....	68
Gambar 6. 12 Perbandingan Hambatan Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang Secara Numerik .....	70
Gambar 6. 13 <i>Wave Patern</i> dari Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .	71
Gambar 6. 14 Perbedaan Ketinggian Air dari Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	73
Gambar 6. 15 Perbedaan Tekanan <i>Foil</i> Belakang Pada Berbagai Kecepatan .....	73
Gambar 6. 16 Perbedaan Kecepatan Aliran Pada Daerah <i>Foil</i> Belakang .....	74
Gambar 6. 17 Hubungan Kecepatan dengan Hambatan Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang .....	75
Gambar 6. 18 Hubungan Kecepatan dengan Power (EHP) Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang .	76
Gambar 6. 19 Hasil Perbedaan Hambatan Total Kapal Dengan dan Tanpa <i>Foil</i> Belakang Melalui Eksperimen.....	77
Gambar 6. 20 Hasil Perbedaan Hambatan Total Kapal Dengan dan Tanpa <i>Foil</i> Belakang Melalui Eksperimen dan Numerik.....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Keuntungan, Kerugian, dan Aplikasi dari Tipe-Tipe <i>Foil</i> (Marzocca, 2009) ....	12
Tabel 2. 2 Harga <i>effective form factor</i> .....	15
Tabel 3. 1 Data Ukuran Utama Kapal <i>Crew Boat</i> “Orela” .....	29
Tabel 3. 2 Hasil Analisa <i>Angel of Attack</i> .....	30
Tabel 3. 3 Hasil Perhitungan $F_L/F_D$ <i>Angel of Attack</i> $0^\circ$ .....	30
Tabel 3. 4 Hasil Perhitungan $F_L/F_D$ <i>Angel of Attack</i> $30^\circ$ .....	30
Tabel 3. 5 Variasi Dimensi <i>Foil</i> Belakang .....	31
Tabel 4. 1 Perbandingan Data Hidrostatik Kapal dan <i>Maxsurf</i> .....	36
Tabel 4. 3 Pendefinisian CEL ( <i>CFX Expression Language</i> ).....	46
Tabel 4. 4 <i>Grid Independence</i> NACA 64A212 Aspek Rasio 6.67 .....	50
Tabel 4. 5 <i>Grid Independence</i> Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang .....	50
Tabel 4. 6 <i>Grid Independence</i> Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang .....	51
Tabel 5. 1 Data Utama Kapal .....	53
Tabel 5. 2 Hubungan Kecepatan dengan $R_T$ dan EHP Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang (Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015) .....	57
Tabel 6. 1 Hasil Perhitungan Persyaratan Untuk Perhitungan Hambatan.....	60
Tabel 6. 2 Perbandingan Hambatan dan Power dari Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang .....	60
Tabel 6. 3 Perbandingan Hambatan pada Kapal Tanpa <i>Foil</i> Belakang.....	62
Tabel 6. 4 Data Perbandingan <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> Pada NACA 64A212.....	63
Tabel 6. 6 Perbandingan <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> dengan Variasi Sudut Serang.....	64
Tabel 6. 7 Tipe dan Ukuran <i>Foil</i> Belakang .....	66
Tabel 6. 8 Perbandingan <i>Drag</i> Pada Variasi Tipe <i>Foil</i> .....	69
Tabel 6. 9 Tipe dan Ukuran <i>Strut</i> .....	69
Tabel 6. 10 Perbandingan Hambatan Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan <i>Foil</i> Belakang .....	70
Tabel 6. 11 Hubungan Kecepatan dengan $R_T$ dan EHP Kapal Dengan <i>Foil</i> Belakang.....	75
Tabel 6. 12 Hasil Perbedaan Hambatan Kapal Dengan dan Tanpa <i>Foil</i> Belakang Melalui Eksperimental dan Numerik .....	76

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di daerah lepas pantai, operasional dari kapal *crew boat* digunakan sebagai keperluan *regular crew change* dan keperluan logistik, terutama untuk para pekerja *offshore* eksplorasi minyak dan gas yang banyak bekerja di daerah lepas pantai. Dengan mempertimbangkan kecepatan, waktu tempuh, dan bahan bakar kapal *crew boat* untuk dapat mengantar atau menjemput pekerja lepas pantai, dan keperluan logistik lainnya, maka penambahan *foil* belakang pada kapal *crew boat* dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan performa kapal. Tujuan dari pemasangan *foil* belakang adalah memperkecil hambatan yang terjadi akibat gaya gesek antara lambung kapal yang tercelup dengan air. Pemasangan *foil* belakang memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan.

Kapal *Crew Boat* “Orela” dari PT. Orela Shipyard, Ujung Pangkah, Gresik telah dilakukan uji tarik di Laboratorium Hidrodinamika ITS untuk mengetahui hambatan dan power yang digunakan pada kecepatan dinasnya. Untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan waktu tempuh, maka Kapal *Crew Boat* “Orela” ini akan dipasang *foil* belakang seperti pada Gambar 1. 1 yang berguna untuk meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan sehingga hambatan total kapal dapat berkurang karena luasan kapal yang tercelup dalam air berkurang. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan kajian eksperimental dan numeris tentang hambatan Kapal *Crew Boat* “Orela” dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang.



**Gambar 1. 1** *Foil* Belakang yang Terpasang dengan Dua *Strut* (Hull Vane b.v., 2016)

### 1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat diperoleh perumusan masalah dari tugas akhir adalah bagaimana pengaruh pemasangan *foil* belakang terhadap hambatan dari Kapal *Crew Boat* “Orela” secara numeris dan eksperimental?

### 1.3 Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan proses penelitian Tugas Akhir ini. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Kecepatan maksimal di *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika ITS untuk model Kapal *Crew Boat* “Orela” pada sarat kapal sesungguhnya 1.7 meter adalah 24 knot.
- b) *Foil* yang digunakan adalah *foil* NACA *Series*.
- c) *Foil* belakang diaplikasikan pada tipe *planning hull*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan *foil* belakang terhadap hambatan dari Kapal *Crew Boat* “Orela”. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan kajian secara numeris dan eksperimental.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

- a) Dapat menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal dengan menggunakan atau tidak menggunakan *foil* belakang.
- b) Dapat digunakan sebagai acuan dalam memperhitungkan pengaruh hambatan kapal dengan dan tidak menggunakan *foil* belakang.

### 1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian adalah pemasangan atau penambahan *foil* belakang dari kapal Kapal *Crew Boat* “Orela” akan mengurangi hambatan kapal. Dengan pemasangan *foil* belakang dapat mengurangi hambatan sebesar 5% sampai 15% (Hull Vane b.v., 2016).

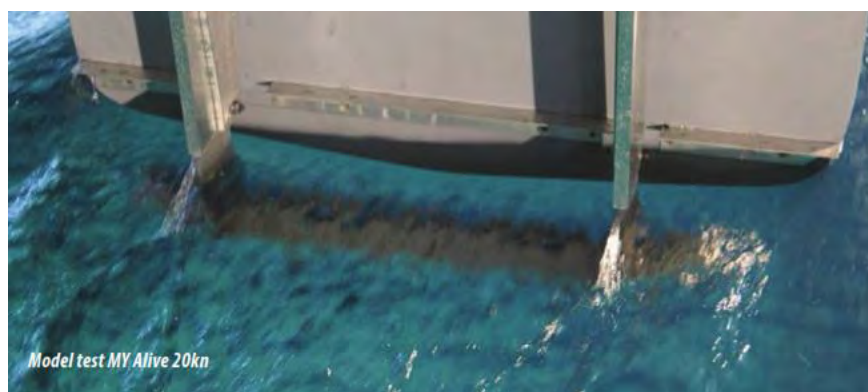


## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 Kapal dengan *Foil* Belakang

Sebuah *foil* belakang yang terpasang di bawah *transom* kapal berfungsi memberi gaya angkat dinamis sehingga lambung kapal dapat terangkat. Alasan pemakaian dari *foil* belakang adalah ketika kecepatan bertambah dan lambung kapal mulai terangkat sehingga memperkecil luas hambatan yang terjadi akibat gaya gesek antara lambung kapal yang tercelup dengan air, *foil* belakang memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan. Setelah lambung kapal terangkat dari air sampai batas maksimum, gaya angkat yang diperlukan konstan. Sebuah *foil* belakang yang terpasang di bawah *transom* kapal mempunyai berat yang sensitif dan harus dioperasikan pada kecepatan relatif tinggi yang bertujuan untuk memberikan gaya angkat dinamis yang diinginkan untuk menopang berat dengan ukuran *foil* yang sesuai.



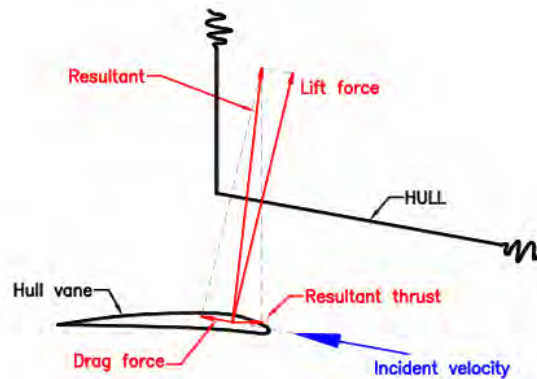
**Gambar 2. 1** Kapal Dengan *Foil* Belakang (The International Institute of Marine Surveying, 2015)

*Foil* belakang ini juga ada yang telah mematenkan dengan nama *Hull Vane* oleh Dr. Ir. Peter van Oossanen. *Hull Vane* adalah peralatan penghematan bahan bakar di kapal dengan sebuah *fixed foil*, yang ditempatkan di bawah buritan kapal. *Foil* belakang dapat mempengaruhi bentuk gelombang di buritan kapal dan membuat gaya angkat hidrodinamik. Hasil dari pemasangan ini adalah dapat mengurangi hambatan total kapal. Performa dari *foil* belakang berdasarkan panjang kapal, kecepatan, dan bentuk lambung pada buritan kapal (Hull Vane b.v., 2016).

*Foil* belakang ini memberikan beberapa efek antara lain:

1. Gaya dorong

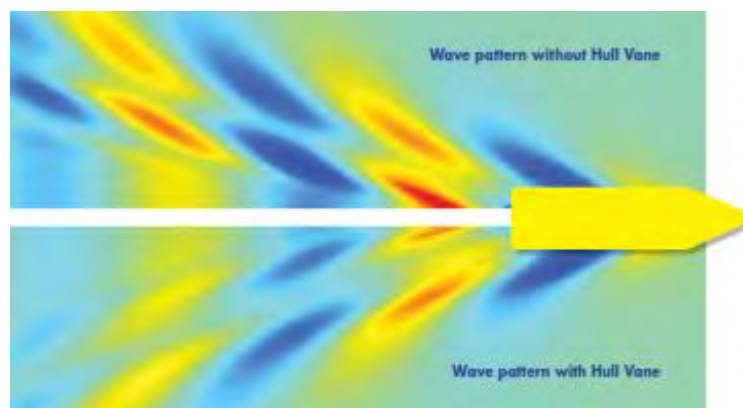
*Foil* belakang dapat memperoleh energi dari aliran air dekat buritan kapal. Gaya angkat itu dihasilkan oleh *foil* belakang memiliki komponen yang mengarah kedepan. Ketika hambatan *foil* belakang sendiri kurang dari gaya dorong kedepan ini, maka hasil resultannya adalah gaya dorong tambahan pada kapal.



**Gambar 2. 2** Komponen Gaya pada *Foil* Belakang (Hull Vane b.v., 2016)

2. Mengurangi hambatan gelombang

Dengan menambahnya kecepatan kapal dengan pemasangan *foil* belakang, gelombang buritan kapal dapat berkurang, seperti *bulbous bow* mengurangi gelombang haluan. Pola gelombang yang dihasilkan oleh kapal tersebut energi yang dihabiskan oleh sistem propulsi. Dengan berkurangnya gelombang buritan, maka hambatan total kapal berkurang dan karena itu mengurangi konsumsi bahan bakar kapal.



**Gambar 2. 3** Perbedaan *Wave Pattern* pada Kapal Dengan dan Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang (Hull Vane b.v., 2016)

3. Koreksi *trim*

Banyak kapal yang berlayar dengan kecepatan relatif cepat memberikan keuntungan dengan koreksi *trim* pada kecepatan yang lebih tinggi. Gaya angkat

yang dihasilkan oleh *foil* belakang dapat mengurangi *trim* dan menjaga kapal tetap *even keel* pada kecepatan yang lebih tinggi.



**Gambar 2. 4** Koreksi *Trim* (Hull Vane b.v., 2016)

#### 4. Mengurangi *Pitching*

Menggerakkan sebuah bidang horizontal yang besar secara vertikal melalui air membutuhkan banyak kekuatan. Hal yang sama berlaku untuk *foil* belakang. Karena gerakan vertikal, *foil* belakang menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong, sekaligus mengurangi gerakan kapal di gelombang sehingga mengurangi penambahan hambatan. Manfaat tambahan dari *foil* belakang adalah peningkatan tingkat kenyamanan bagi penumpang dan awak kapal, dan kemungkinan mengurangi kerusakan muatan dalam cuaca ekstrim.



**Gambar 2. 5** Mengurangi *Pitching* (Hull Vane b.v., 2016)

Pengaplikasian *foil* belakang ini telah dilakukan pada berbagai macam tipe kapal, seperti pada kapal feri, kapal kontainer, *cruise ships*, *patrol boats*, *supply vessels*, kapal perang, *large motoryachts*, *car carriers*, dan kapal ro-ro. Dalam kasus ini, umumnya penghematan bahan bakar antara 5% sampai 15% dan dalam beberapa kasus, penghematan bahan bakar hingga 20% telah dicapai (Hull Vane b.v., 2016).

Contoh pengaplikasian *foil* belakang pada berbagai kasus tipe-tipe kapal adalah sebagai berikut (Hull Vane b.v., 2016):

1. MS. Karina



**Gambar 2. 6** Pengaplikasian *Foil* Belakang pada MS. Karina (Hull Vane b.v., 2016)

Tipe kapal : *Supply vessel*  
Panjang : 55 meter  
Kecepatan : 12 knots - 20 knots  
Pengurangan hambatan : 12% - 15%  
Lingkup dari studi kasus : *CFD, model testing, dan sea trials*

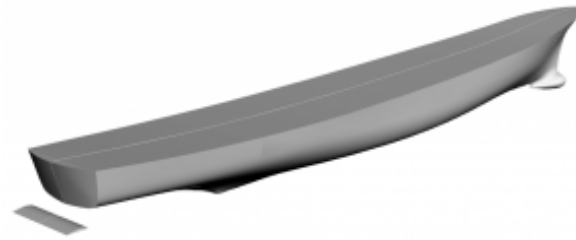
2. Rijnborg



**Gambar 2. 7** Pengaplikasian *Foil* Belakang pada Rijnborg (Hull Vane b.v., 2016)

Tipe kapal : *Container vessel*  
Panjang : 169 meter  
Kecepatan : 17 knots – 21 knots  
Pengurangan hambatan : 10.1% – 15.5%  
Lingkup studi kasus : *CFD, dan model testing*

### 3. DTMB 5415



**Gambar 2. 8** Pengaplikasian *Foil* Belakang pada DTMB 5415 (Hull Vane b.v., 2016)

Tipe kapal	: <i>Navy Surface Combatant</i>
Panjang	: 142 meter
Kecepatan	: 18 knots – 24 knots – 30 knots
Pengurangan hambatan	: 7,5% – 8% – 7%
Lingkup studi kasus	: CFD

### 4. *Project Kinesis*



**Gambar 2. 9** Pengaplikasian *Foil* Belakang pada *Project Kinesis* (Hull Vane b.v., 2016)

Tipe kapal	: <i>Motor yacht</i>
Panjang	: 42 meter
Kecepatan	: 16 knots
Pengurangan hambatan	: 20%
Lingkup studi kasus	: CFD, <i>tank testing</i> , dan <i>sea trials</i>

## 5. IACC Sailing Yacht

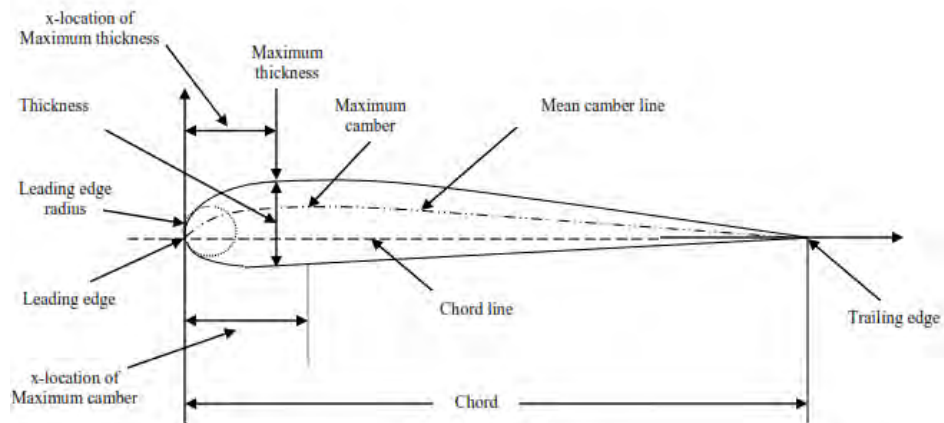


**Gambar 2. 10** Pengaplikasian *Foil* Belakang pada *IACC Sailing Yacht* (Hull Vane b.v., 2016)

Tipe kapal	: <i>Sailing yacht</i>
Panjang	: 25 meter
Kecepatan	: 10 knots
Pengurangan hambatan	: 8%
Lingkup studi kasus	: CFD, <i>model testing</i> , dan <i>sea trials</i>

### 2.2 *The NACA Airfoil Series*

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) *airfoil* adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa  $C_L$ , dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan). Hingga sekitar Perang Dunia II, *airfoil* yang banyak digunakan adalah hasil riset. Selama periode ini banyak pengujian *airfoil* dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset, NACA-lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi maksimal ketebalan, posisi maksimal bentuk melengkung, dan hidung jari-jari (Gibs, 1954). Seperti terlihat pada Gambar 2. 11 suatu *airfoil* terdiri dari:



**Gambar 2. 11** NACA Airfoil Geometry (Sadraey, 2012)

- Permukaan atas (*Upper Surface*)
- Permukaan bawah (*Lowerer Surface*)
- *Mean camber line* adalah tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap mean camber line itu sendiri.
- *Leading edge* adalah titik paling depan pada mean camber line, biasanya berbentuk lingkaran dengan jari-jari mendekati 0,02 c.
- *Trailing edge* adalah titik paling belakang pada mean camber line
- *Camber* adalah jarak maksimum antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
- Ketebalan (*thickness*) adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.

### 2.2.1 NACA Seri Empat Digit

Keluaran pertama *airfoil* dirancang menggunakan pendekatan ini yang dikenal sebagai *NACA Four-Digit Series*. Digit pertama menentukan *camber* maksimum (m) dalam persentase dari *chord* (panjang *foil*), kedua menunjukkan posisi *camber* maksimum (p) dalam sepersepuluh *chord*, dan dua nomor terakhir memberikan ketebalan maksimum (t) dari *airfoil* dalam persentase *chord*.

Sebagai contoh, NACA 2415 *airfoil* memiliki ketebalan maksimum 15% dengan *camber* dari 2% terletak 40% kembali dari *airfoil* terdepan (atau 0.4c).

### 2.2.2 NACA Seri Lima Digit

NACA seri lima digit menggunakan bentuk ketebalan sama dengan Seri Empat-Digit tapi garis *mean camber* didefinisikan secara berbeda dan konvensi penamaan sedikit lebih kompleks. Digit pertama, ketika dikalikan dengan 3/2, menghasilkan koefisien *lift* desain ( $c_l$ ) dalam sepersepuluh. Dua digit berikutnya, ketika dibagi 2,

memberikan posisi *camber* maksimum (p) dalam sepersepuluh *chord*. Dua digit terakhir lagi menunjukkan ketebalan maksimum (t) dalam persentase dari *chord*.

Sebagai contoh, NACA 23012, memiliki ketebalan maksimum 12%; koefisien angkat 0,3; dan *camber* maksimum terletak 15% dari *leading edge*.

### 2.2.3 Modifikasi NACA Seri Empat dan Lima Digit:

Modifikasi ini dengan menambahkan dua angka di belakangnya, yang mempunyai arti sebagai berikut:

- Angka tambahan yang pertama menunjukkan *leading edge* radius % *chord* dari tipe tersebut.
- Angka tambahan kedua menunjukkan maksimum ketebalan diukur dari *leading edge* dalam sepersepuluh *chord*.

Sebagai contoh, NACA 23012-64, memiliki arti sama dengan seri 5 digit, sedangkan dua angka tambahan tersebut memiliki arti *leading edge* radius sebesar 6% *chord* dan lokasi maksimal ketebalan adalah 0.4 *chord* dari *leading edge*.

### 2.2.4 NACA 1-Series atau 16-Series

Tidak seperti tipe *airfoil* yang telah dibahas sejauh ini, NACA 1-Series dikembangkan berdasarkan teori *airfoil* bukan pada hubungan geometris. Pada saat *airfoil* ini dirancang selama akhir 1930, banyak kemajuan telah dibuat dalam metode desain *airfoil* terbalik. Pendekatan dasar konsep ini adalah untuk menentukan distribusi tekanan yang diinginkan pada *airfoil* (distribusi ini menentukan karakteristik gaya angkat dari bentuk *foil*) dan kemudian memperoleh bentuk geometris yang menghasilkan distribusi tekanan ini. Akibatnya, *airfoil* ini tidak dihasilkan menggunakan beberapa set analitis ekspresi seperti empat atau lima Digit Series.

NACA 1-Series *airfoil* diidentifikasi oleh lima digit, sebagai dicontohkan oleh NACA 16-212. Digit pertama, 1, menunjukkan seri (seri ini dirancang untuk *airfoil* dengan daerah aliran nyaris supersonik). 6 menentukan lokasi tekanan minimum di sepersepuluh *chord*, yaitu 60% dari *leading edge*. Kemudian, digit pertama mengindikasikan desain angkat koefisien dalam sepersepuluh (0,2) dan dua digit terakhir menentukan maksimum ketebalan dalam persepuluh *chord* (12%). Karena *airfoil* 16-XXX adalah satu-satunya yang banyak digunakan, maka tipe ini sering disebut sebagai 16-Series bukan sebagai 1-Series.



### 2.2.5 NACA 6-Series

Meskipun NACA bereksperimen dengan perkiraan metode teoritis yang menghasilkan 2-Series dan 5-Series, tak satu pun dari pendekatan ini ditemukan secara akurat menghasilkan tingkah laku *foil* yang diinginkan. 6-Series berasal menggunakan metode teoritis yang baik, seperti 1-Series, menentukan distribusi tekanan yang diinginkan dan menghitung perhitungan matematika yang rumit untuk menghasilkan bentuk geometris yang diperlukan. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk merancang *foil* yang dimaksimalkan di mana aliran udara tetap laminar. Dengan demikian, *drag* lebih kecil pada berbagai koefisien *lift* dapat jauh berkurang.

Salah satu contoh penamaan dari NACA 6-Series yang lebih umum adalah NACA 64<sub>1</sub>-212,  $a = 0,6$ . Dalam contoh ini, 6 menunjukkan seri dan menunjukkan bahwa tipe ini dirancang untuk laminar lebih besar daripada empat atau lima Digit Series. Angka kedua, 4, adalah lokasi tekanan minimum dalam sepersepuluh *chord* ( $0.4c$ ). *subscript* 1 menunjukkan bahwa *drag* yang rendah dipertahankan di *lift* koefisien 0,1 di atas dan koefisien lift desain (0,2) ditentukan oleh digit pertama setelah dasbor di persepuluh. Dua digit terakhir menentukan ketebalan di persentase *chord*, 12%. Fraksi ditentukan oleh  $a = 0.6$  menunjukkan persentase *chord airfoil* dimana distribusi tekanan pada *foil* seragam, yaitu 60% *chord* dalam kasus ini. Jika tidak ditentukan, kuantitas diasumsikan 1, atau distribusi konstan pada seluruh *airfoil*.

### 2.2.6 NACA 7-Series

NACA 7-Series adalah upaya lebih lanjut untuk memaksimalkan daerah aliran laminar melalui *airfoil* dengan membedakan lokasi tekanan minimum pada permukaan atas dan bawah.

Sebuah contoh adalah NACA 747A315. 7 menunjukkan seri, 4 menyediakan lokasi minimum tekanan pada permukaan atas dalam sepersepuluh *chord* (40%), dan 7 menyediakan lokasi tekanan minimum pada permukaan yang lebih rendah dalam sepersepuluh *chord* (70%). Karakter keempat, menunjukkan distribusi ketebalan dan bentuk garis (*camber*) yang digunakan. Selanjutnya, angka kelima diartikan koefisien *lift* dalam sepersepuluh (0,3) dan dua bilangan bulat akhir adalah ketebalan *airfoil* dalam persen *chord* (15%).

### 2.2.7 NACA 8-Series

Variasi final pada metodologi 6 dan 7-Series, NACA 8-Series dirancang untuk penerbangan pada kecepatan superkritis. Seperti *airfoil* sebelumnya, tujuannya adalah

untuk memaksimalkan tingkat aliran laminar pada permukaan atas dan bawah secara independen. Konvensi penamaan sangat mirip dengan *7-Series*.

Sebagai contoh menjadi NACA 835A216. 8 menunjuk seri, 3 adalah lokasi minimum tekanan pada permukaan atas dalam sepersepuluh *chord* (0.3c), 5 adalah lokasi tekanan minimum pada permukaan bawah dalam sepersepuluh *chord* (50%), huruf A membedakan *airfoil* memiliki *camber* berbeda atau bentuk ketebalan, 2 menunjukkan desain angkat koefisien dalam sepersepuluh (0,2), dan 16 menyediakan *airfoil* ketebalan dalam persentase *chord* (16%).

Jadi secara singkat dari tipe-tipe *foil* diatas dapat disimpulkan keuntungan, kerugian, dan aplikasi dari masing-masing tipe *foil* tersebut pada Tabel 2.1 berikut.

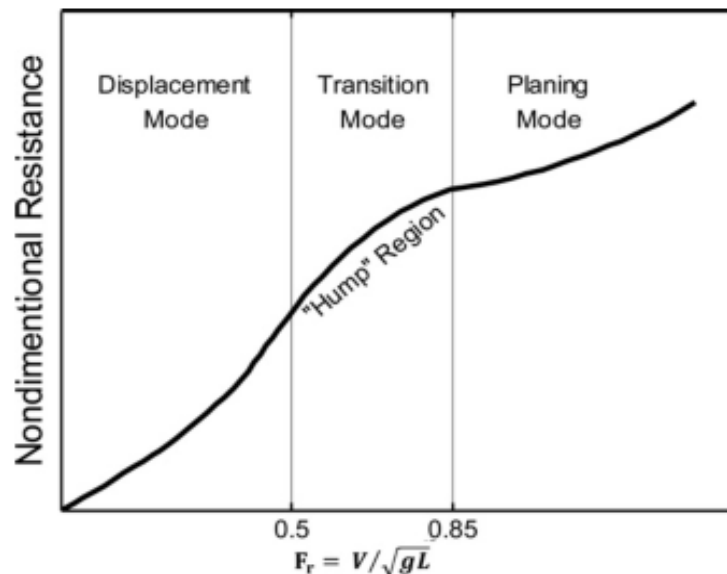
**Tabel 2. 1** Keuntungan, Kerugian, dan Aplikasi dari Tipe-Tipe *Foil* (Marzocca, 2009)

<b>Tipe Foil</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>	<b>Aplikasi</b>
4-Digit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Karakteristik <i>stall</i> baik</li> <li>2. Gerakan tekanan di rentang kecepatan besar.</li> <li>3. Kekasaran memiliki pengaruh yang kecil</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koefisien <i>lift</i> rendah</li> <li>2. <i>Drag</i> relatif tinggi</li> <li>3. <i>Pitching</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Penerbangan</li> </ol> <p><b>Simetris:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Supersonic jet</li> <li>2. Helicopter</li> <li>3. <i>Shrouds</i></li> <li>4. Rudal / roket</li> </ol>
5-Digit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koefisien <i>lift</i> maksimum lebih tinggi</li> <li>2. saat <i>pitching</i> Rendah</li> <li>3. Kekasaran memiliki pengaruh yang kecil</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perilaku <i>stall</i> jelek</li> <li>2. <i>Drag</i> relatif tinggi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. penerbangan Umum</li> <li>2. Komuter</li> <li>3. Jet bisnis</li> </ol>
16-Series	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menghindari puncak tekanan rendah</li> <li>2. <i>Drag</i> rendah dengan kecepatan tinggi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Lift</i> relatif rendah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baling-baling pesawat</li> <li>2. Baling-baling kapal</li> </ol>
6-Series	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Koefisien lift maksimum tinggi</li> <li>2. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada kondisi operasi rentang kecil</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>2. <i>Pitching</i> tinggi</li> <li>3. Karakteristik <i>stall</i> jelek</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Piston bertenaga</li> <li>2. Jet Bisnis</li> <li>3. <i>Jet Trainers</i></li> <li>4. Jet Supersonic</li> </ol>

<b>Tipe Foil</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>	<b>Aplikasi</b>
	3. Dioptimalkan untuk kecepatan tinggi	4. Sangat rentan terhadap kekasaran	
7-Series	1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. <i>Pitching</i> rendah	1. Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum 2. Drag tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum 3. Karakteristik stall jelek 4. Sangat rentan terhadap kekasaran	Jarang digunakan
8-Series	Tidak diketahui	Tidak diketahui	Sangat jarang digunakan

### 2.3 Teori Perhitungan Hambatan

Kapal cepat pada saat beroperasi, mulai dari kecepatan nol knot sampai dengan kecepatan maksimum akan mengalami 3 tahapan (fase) kecepatan sebagai berikut:



**Gambar 2. 12** Tiga Mode Hambatan Kapal Fungsi dari *Froude Number* (Yousefi, Shafaghat, & Shakeri, 2013)

#### 2.3.1 *Displacement Mode*

Kapal-kapal komersial besar hampir selalu belayar pada fase ini, dimana berat kapal keseluruhan disangga oleh gaya angkat (*buoyency*). Kapal yang belayar dengan kecepatan rendah ( $F_n < \sim 0.5$ ) tidak akan mengalami perubahan trim ataupun titik berat (VCG) yang berarti. Dengan naiknya  $F_n$  perubahan tersebut mulai timbul.

Metode Holtrop digunakan untuk menghitung hambatan kapal *full displacement*, yaitu dalam kondisi apapun dalam kecepatan tetap, *displacement* kapal dianggap tidak berubah. Di dalam metode ini, Holtrop membagi hambatan total menjadi tiga komponen hambatan. Komponen tersebut yaitu:

1. *viscous resistance* (hambatan kekentalan),
2. *appendages resistance* (hambatan karena bentuk kapal),
3. *wave making resistance* (hambatan gelombang).

Adapun untuk rumus hambatan total adalah sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S_{tot} * (C_F(1+k) + C_A) + \frac{R_w}{W} W$$

### 2.3.1.1 Viscous Resistance

Rumus viscous resistance dalam (V.Lewis, 1980) diberikan sebagai berikut :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_{FO} (1 + k_1) S$$

dimana :

$\rho$  = mass density salt water (1025 kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = service speed [m/s<sup>2</sup>]

$C_{FO}$  = friction coefficient (ITTC 1957)

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

$Rn$  = Reynold Number

$$= \frac{V \cdot Lwl}{\nu}$$

$\nu$  = kinematic viscosity, untuk air laut dengan temperature 15° C

$$= 1.18831 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$1+k_1$  = form factor of bare hull

$$= 0.93 + 0.4871 \cdot c \cdot (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/L_R)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{-0.6042}$$

Keterangan:

$$c = 1 + 0.011 c_{stern}$$

$c_{stern}$  = 0 , normal section shape

$$L/L_R = 1 - C_p + 0.06 \cdot C_p \cdot LCB / (4 C_p - 1)$$

$LCB$  = longitudinal center of buoyancy as percentage of  $L$

$L$  = length of water line ( $Lwl$ )

- T = draft [m]  
 B = breadth [m]

### 2.3.1.2 Appendages Resistance

Dalam menghitung hambatan kapal yang diakibatkan oleh bentuk badan kapal yang tercelup dalam air, dibutuhkan luas permukaan basah kapal ( $S_{tot}$ ) yang terdiri dari luas badan kapal WSA ( $S$ ) dan luas tonjolan-tonjolan seperti kemudi, dan *bilge keel* ( $S_{app}$ ). Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung *appendages resistance* yaitu:

$$R_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{tot} (1+k)$$

dimana :

$$1+k = 1+k_1 + \left[1+k_2 - (1+k_1)\right] \frac{S_{app}}{S_{tot}}$$

$S$  = luas permukaan basah

$$= L(2T+B) \cdot C_M^{0.5} \cdot \left(0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.0346 \frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}\right) + 2.38 \frac{A_{BT}}{C_B}$$

$A_{BT} = 0$ , penggunaan *bulbous bow*.

$k_2$  = *effective form factor of appendages* (lihat Tabel 2. 2)

$S_{app}$  = total *wetted surface of appendages*

$$= S_{rudder} + S_{bilge\ keel}$$

$$S_{tot} = S + S_{app}$$

*Efftive form factor values (k2), untuk appendages yang berbeda:*

**Tabel 2. 2** Harga *effective form factor*

<i>Type of Appendages</i>	<b>Value of 1 + k<sub>2</sub></b>
<i>Rudder of single screw ship</i>	1.3 to 1.5
<i>Spade-type rudders of twin-screw ships</i>	2.8
<i>Skeg-rudders off twin-screw ships</i>	1.5 to 2.0
<i>Shaft brackets</i>	3.0
<i>Bossings</i>	2.0
<i>Bilge keel</i>	1.4
<i>Stabilizer fins</i>	2.8
<i>Shafts</i>	2.0
<i>Sonar dome</i>	2.7

$$S_{\text{rudder}} = C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * 1,75 * I_{pp} * T / 100 \quad (\text{BKI, 2009})$$

$C_1$  = faktor tipe kapal = 1, in general

$C_2$  = faktor tipe kemudi = 1, in general

$C_3$  = faktor tipe profil kemudi = 1, NACA-profiles and plate rudder

$C_4$  = faktor letak baling-baling = 1, rudder in the propeller jet

$S_{\text{bilge keel}}$  = panjang keel x tinggi (Watson, 1998)

Panjang keel =  $0.6.C_b.L$

Tinggi keel =  $0.18 / (C_b - 0.2)$

Jika harga  $k_2$  lebih dari 1, maka dihitung menggunakan rumus ini :

$$(1 + k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i}$$

### 2.3.1.3 Wave making Resistance

Untuk menghitung hambatan gelombang, dibutuhkan masukan data seperti berat *displacement*, sudut masuk, luasan *bulbous bow* dan transom. Adapun rumus diberikan sebagai berikut:

$$\frac{R_w}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}}$$

dimana :

untuk kecepatan rendah ( $F_n \leq 0.4$ )

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

keterangan:

$C_4 = B/L$

$i_E = \text{half angle of entrance at the load waterline}$

$$= 125.67 \frac{B}{L} - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551 \left( \text{LCB} + \frac{6.8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

$T_a = \text{sarat di AP [m]}$

$T_f = \text{sarat di FP [m]}$

$d = -0.9$

$$m_1 = 0.01404 L/T - 1.7525 \nabla^{1/3} / L - 4.7932 B/L - C_5$$

keterangan:

$$C_5 = 8.0798.C_p - 13.8673.C_p^2 - 6.9844.C_p^3 \quad [\text{untuk } C_p \leq 0.8]$$

$$m_2 = C_6 * 0.4e^{-0.034F_n^{329}}$$

$$C_6 = -1.69385 \quad [\text{untuk } L^3 / \nabla \leq 512]$$

$$\lambda = 1.446C_p - 0.03L/B \quad [\text{untuk } L / B \leq 12]$$

$$C_2 = 1, \text{ tidak ada bulb}$$

$$C_3 = 1 - 0.8A_T / (B \cdot T \cdot C_M)$$

keterangan:

$A_T$  = immersed area of the transom at zero speed

$W$  = displacement weight

$$= \rho \cdot g \cdot \nabla \text{ [N]}$$

### 2.3.2 Transition Mode (semi-planing)

Pada *semi planing mode*, lambung kapal mulai berubah dari kondisi *full displacement mode* menuju *planning mode* dan *froude number* berada dibawah angka 0.85 dimana hambatan kapal mengalami peningkatan. Pada *mode* ini terjadi fenomena *resistance barrier* ( $F_n \approx 0.5$ ), dimana terjadi peningkatan nilai hambatan total secara tajam diiringi dengan perubahan gaya angkat hidrodinamik yang tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan. Peningkatan hambatan kapal ini akan mencapai puncak dan menurun. Kondisi ini disebut dengan *hump region*. Setelah melewati *mode* ini, kapal akan mengalami sedikit penurunan nilai hambatan dan akan meningkat kembali seiring dengan perubahan *froude number*.

### 2.3.3 Planning Mode

*Planning mode* 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. Meskipun kapal hampir seluruhnya meluncur di permukaan air dan permukaan basahya menjadi sangat kecil demikian juga *trim* kapal mulai menurun dibandingkan dengan pada *semi planing mode*, tetapi tekanan hidrodinamik menjadi sangat besar sebagai akibat kecepatan tinggi yang diperoleh dari gaya dorong propeller. Pada *planning mode*, bagian kapal yang terbenam sangat kecil, sehingga gelombang yang terbentuk hampir hilang sama sekali.

Untuk menghitung hambatan pada *semi planing mode* dan *planning mode* menggunakan metode savitsky. Koefisien kecepatan ( $C_v$ ) dan Koefisien *lift* ( $C_{L\beta}$ ) *planing hull* menurut Daniel Savitsky dinyatakan dengan (Savitsky, 1964):

$$C_{L\beta} = \frac{mg}{\frac{1}{2}V^2 b^2 \rho^2} \qquad C_v = \frac{V}{\sqrt{gb}}$$

Dimana:

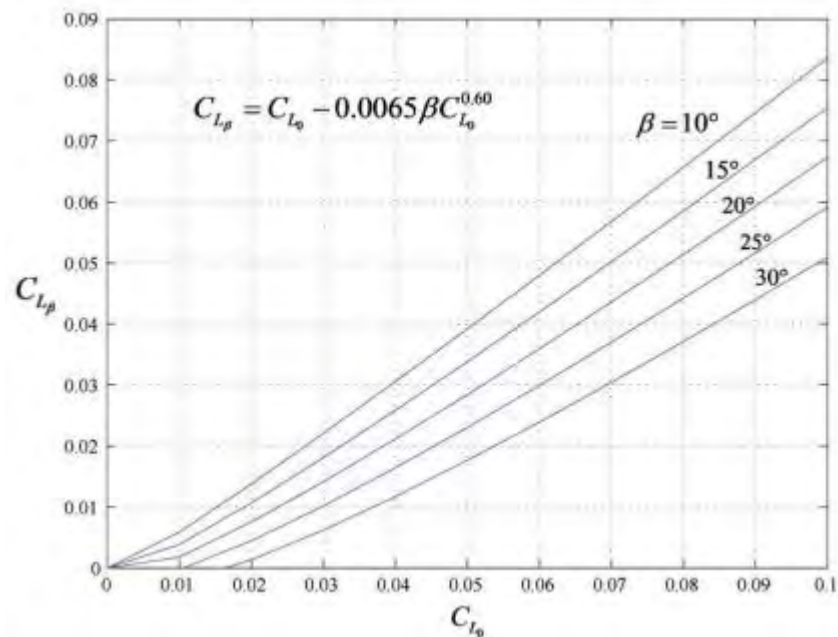
$C_v$  = Koefisien Kecepatan

$C_{L\beta}$  = Koefisien lift, *deadrise surface*

$V$  = Kecepatan Kapal (m/s)

$g$  = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$b$  = Lebar dari *Planning surface* (m)



**Gambar 2. 13** Grafik Koefisien Lift dari *Planning Hull* (Savitsky, 1964)

Nilai  $\lambda$  yang merupakan nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal. Untuk mendapatkan besar trim kapal maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_{L_o} = \tau^{1.1} \left( 0.0120\lambda^{0.5} + \frac{0.0055\lambda^{0.5}}{C_v^2} \right)$$

Dimana :

$C_{L_o}$  = koefisien lift, *zero deadrise*

$\tau$  = sudut trim

Untuk melakukan perhitungan hambatan gesek lambung *planning hull* maka dibutuhkan kecepatan aliran rata-rata yang dibutuhkan yaitu dengan rumus:

$$V_m = V \left[ 1 - \frac{0.0120\lambda^{0.5}\tau^{1.1} - 0.0065\beta(0.0120\lambda^{0.5}\tau^{1.1})^{0.6}}{\lambda \cos \tau} \right]^{0.5}$$



Dimana:

$\beta$  = sudut *deadrise* dari *planning surface*

$V_m$  = kecepatan rata-rata

Maka hambatan gesek lambung *planning hull* yaitu:

$$D_f = \frac{1}{2} \frac{\rho V_m^2 \lambda b^2}{\cos \beta} (C_f + \Delta C_f)$$

Dimana:

Koefisien gesekan dan bilangan Reynold:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re)-2)^2} \quad Re = V_m \lambda \frac{b}{\nu}$$

$\Delta C_f = 0.0004$ , ATTC Standard kekasaran

Jadi total hambatan dari *planning hull* yaitu (Savitsky, 1964):

$$D = mg \tan \tau + \frac{D_f}{\cos \tau}$$

Dimana:

D = hambatan total (N)

$D_f$  = hambatan gesek (N)

$\tau$  = sudut trim (derajat)

m = total massa kapal (kg)

g = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

## 2.4 *Lift dan Drag*

Benda yang terbenam dalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya akibat interaksi fluida dengan benda, gaya yang ditimbulkan akibat interaksi fluida dan benda berupa gaya normal yang disebabkan tekanan dan gaya geser yang disebabkan pengaruh viskositas fluida. Pada aliran horizontal jika dilihat dari sisi dua dimensi, gaya yang tegak lurus dengan arah aliran disebut gaya angkat (*lift force*) sedangkan gaya yang searah dengan aliran disebut dengan *drag*.

Dalam konsep aerodinamik, gaya angkat (*lift force*) didefinisikan sebagai gaya dengan arah normal ke atas pada suatu benda yang ditimbulkan oleh pengaruh tekanan fluida sehingga gaya normal kebawah akibat tekanan fluida disebut dengan negatif *lift force*. Sedangkan gaya *drag* adalah gaya yang mengakibatkan pergerakan atau pergeseran benda yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Vektor gaya *drag* searah dengan arah aliran fluida. Gaya pada sayap (*foil*) dihasilkan oleh fenomena aliran fluida pada

luas permukaan sayap. Pada sayap kecepatan aliran fluida pada permukaan cembung (bagian atas) lebih cepat dari pada kecepatan aliran permukaan yang datar (bagian bawah). Berdasarkan hukum Bernoulli hal tersebut akan mengakibatkan tekanan permukaan bagian bawah lebih besar dan permukaan bagian atas lebih kecil sehingga mengakibatkan gaya angkat keatas (*lift force*).

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = C$$

Karena *foil* yang digunakan tipis, maka  $h$  dapat diabaikan sehingga didapatkan:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = C$$

$$p_{Lift} + \frac{1}{2}\rho v^2 = C$$

$$p_{Drag} + \frac{1}{2}\rho v^2 = C$$

Dimana:

$p$  = tekanan fluida

$\rho$  = massa jenis fluida

$v$  = kecepatan aliran fluida

Dari persamaan Bernoulli diatas jumlah energi adalah konstan, pada aliran disekitar sayap (*foil*) kecepatan aliran fluida pada permukaan bagian atas (cembung) lebih besar sedangkan kecepatan aliran fluida pada permukaan bagian bawah (datar) lebih kecil, sebaliknya tekanan pada bagian atas akan mengecil dan bagian bawah akan membesar.

Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya pada partikel tersebut. Sehingga gaya yang terjadi akibat tekanan fluida sama dengan perubahan momentum aliran fluida.

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$\frac{F}{S} = \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$F = \frac{1}{2}\rho \cdot S \cdot v^2$$

Gaya aerodinamik yang bekerja pada sayap mempunyai persamaan umum sebagai berikut:

$$F = C_F \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^2$$

Dimana:

F = gaya yang bekerja pada *foil*

C<sub>F</sub> = koefisien gaya

ρ = massa jenis fluida

v = kecepatan

S = *plan area*

Untuk analisa gaya angkat (*lift force*) dan *drag* yang bekerja pada sayap (*foil*) dapat dinyatakan dalam besaran berupa koefisien seperti berikut:

$$C_L = \frac{F_{lift}}{\frac{1}{2} \rho S v^2} \qquad C_D = \frac{F_{drag}}{\frac{1}{2} \rho S v^2}$$

## 2.5 Teori Pemodelan

Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapaldittransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan yang dipakai harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Digul Siswanto, 1998):

### 1. Kesamaan geometris

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi– dimensi linier model, misalnya :

Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m}$$

Dimana :

λ = skala perbandingan

B<sub>m</sub> = lebar model (m)

L<sub>s</sub> = panjang kapal (m)

T<sub>s</sub> = sarat kapal (m)

L<sub>m</sub> = panjang model (m)

T<sub>m</sub> = sarat model (m)

B<sub>s</sub> = lebar kapal (m)

### 2. Kesamaan kinematis

Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara angka Froude model dan angka

Froude kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Atau :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$$

Dimana :

Fr = angka Froude	$V_s$ = kecepatan kapal (m/s)
$L_s$ = panjang kapal (m)	$V_m$ = kecepatan model (m/s)
$L_m$ = panjang model (m)	g = percepatan gravitasi (9,81 m/s <sup>2</sup> )

### 3. Kesamaan Dinamis

Gaya-gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang besesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya-gaya inersia dengan viskositas :

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

Atau :

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu}$$

Dimana :

Rn = angka Reynold	$V_m$ = kecepatan model (m/s)
$L_s$ = panjang kapal (m)	$\nu$ = viskositas kinematis fluida (m <sup>2</sup> /s) = 1,1883 x 10 <sup>-6</sup> (m <sup>2</sup> /s)
$L_m$ = panjang model (m)	
$V_s$ = kecepatan kapal (m/s)	g = percepatan gravitasi (9,81 m/s <sup>2</sup> )

## 2.6 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

*Computational Fluid Dynamics*, biasanya disingkat CFD, adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida (Hirsch, 2007). Komputer yang digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi cairan dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas. Dengan kecepatan tinggi superkomputer, solusi yang lebih baik dapat dicapai. Validasi

eksperimental awal dari perangkat lunak tersebut dilakukan menggunakan terowongan angin dengan validasi akhir datang dalam pengujian skala penuh, misalnya tes penerbangan. Dalam proses analisisnya, CFD menggunakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, serta momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

- a. Hukum Kekekalan Massa
- b. Hukum Kedua Newton
- c. Hukum Kekekalan Energi

Persamaan dasar yang digunakan sebagai penyelesaian masalah menggunakan CFD adalah persamaan Navier-Stokes. Navier-Stokes dinamakan oleh Claude-Louis Navier dan George Gabriel Stokes, merupakan serangkaian persamaan yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel-partikel fluida bergantung hanya kepada gaya viskos yang bekerja pada fluida. Oleh karena itu, persamaan Navier-Stokes menjelaskan kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Persamaan Navier-Stokes memiliki bentuk persamaan diferensial yang menerangkan pergerakan dari suatu fluida.

Perbedaan CFD dengan eksperimental adalah ebagai berikut (Kuzmin, 2014):

Eksperimen	Simulasi CFD
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deskripsi kuantitatif fenomena aliran menggunakan perhitungan.</li> <li>• Untuk model skala laboratorium.</li> <li>• Kesalahan: Pengukuran</li> <li>• Mahal</li> <li>• Lambat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deskripsi kuantitatif fenomena aliran menggunakan <i>software</i> CFD.</li> <li>• Untuk domain aliran yang sebenarnya.</li> <li>• Kesalahan: Modelling, iterasi</li> <li>• Murah</li> <li>• Cepat</li> </ul>

Metode yang digunakan pada proses penyelesaian governing equation adalah metode diskrit. Beberapa metode diskrit yang digunakan adalah: *Finite Element Method (FEM)* dan *Finite Volume Method (FVM)*.

*Finite element method (FEM)* menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (residual) yang dapat diukur

kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. Hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

*Finite Volume Method (FVM)* dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi.

### **2.6.1 Pre-Processor**

*Preprocessor* adalah tahap dimana data diinput mulai dari : pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*; *grid generation* yaitu pembagian domain ke dalam domain yang lebih kecil yaitu *grid* atau *mesh* dari elemen elemen kecil (*cells*); pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan; pendefinisian properti fluida; spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada *cell* yang bersinggungan dengan batas domain (Versteeg & Malalasekera, 1995).

Solusi dari masalah fluida didefinisikan pada titik di dalam tiap *cell*. Akurasi dari solusi CFD diatur oleh banyaknya jumlah *cell* dalam *grid*. Secara umum semakin besar jumlah *cell* maka akurasi dari solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik. Semakin banyak jumlah *grid* maka waktu komputasi juga semakin besar.

### **2.6.2 Processor (Solver)**

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma (Versteeg & Malalasekera, 1995) yaitu :

- a. Konvergensi, yaitu metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk

kondisi lapangan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linear memerlukan konvergensi.

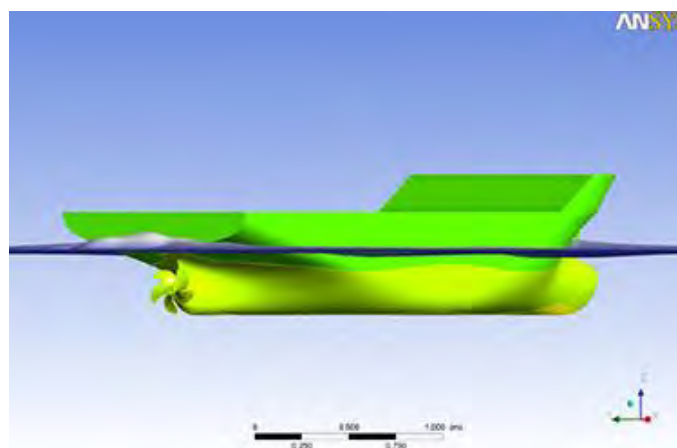
- b. Konsistensi, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan system persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (equivalen) dengan persamaan pengendali sebagai jarak grid mendekati nol.
- c. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan path data awal maka, dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

Pada tahap processor dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.

### 2.6.3 *Post-Processor*

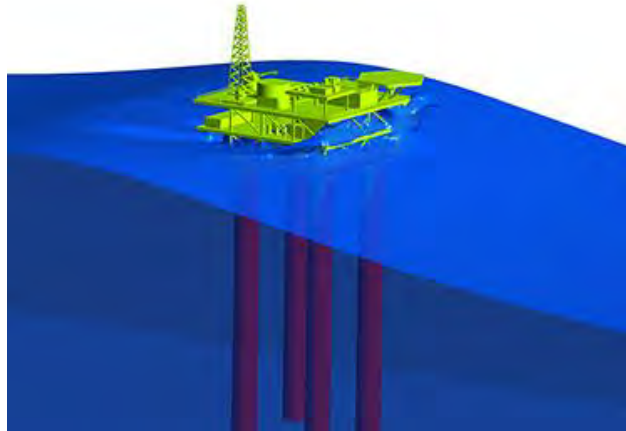
Program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, atau animasi. Berikut ini beberapa contoh penerapan konsep CFD yang sudah dipakai dalam bidang perkapalan dan kelautan:

- a. Simulasi hidrodinamika dari kapal kontainer. Simulasi ini digunakan untuk memprediksi *wave motion*, *heights*, dan tekanan pada lambung kapal.



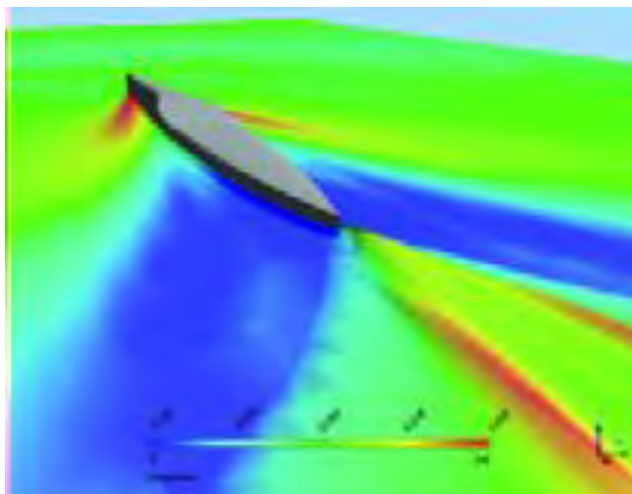
**Gambar 2. 14** Simulasi Memprediksi *Wave Motion*, *Heights* dan *Pressure* pada Lambung Kapal (ANSYS, 2016)

- b. Simulasi *wave impact* pada *offshore platform* untuk memprediksi *wave loading* pada *offshore structure*.



**Gambar 2. 15** Simulasi *Wave Impact* pada *Offshore Platform* (ANSYS, 2016)

- c. Kontur simulasi *free surface* untuk memprediksi tinggi gelombang pada kapal.



**Gambar 2. 16** Kontur Tinggi Gelombang pada Simulasi *Free Surface* (ANSYS, 2016)

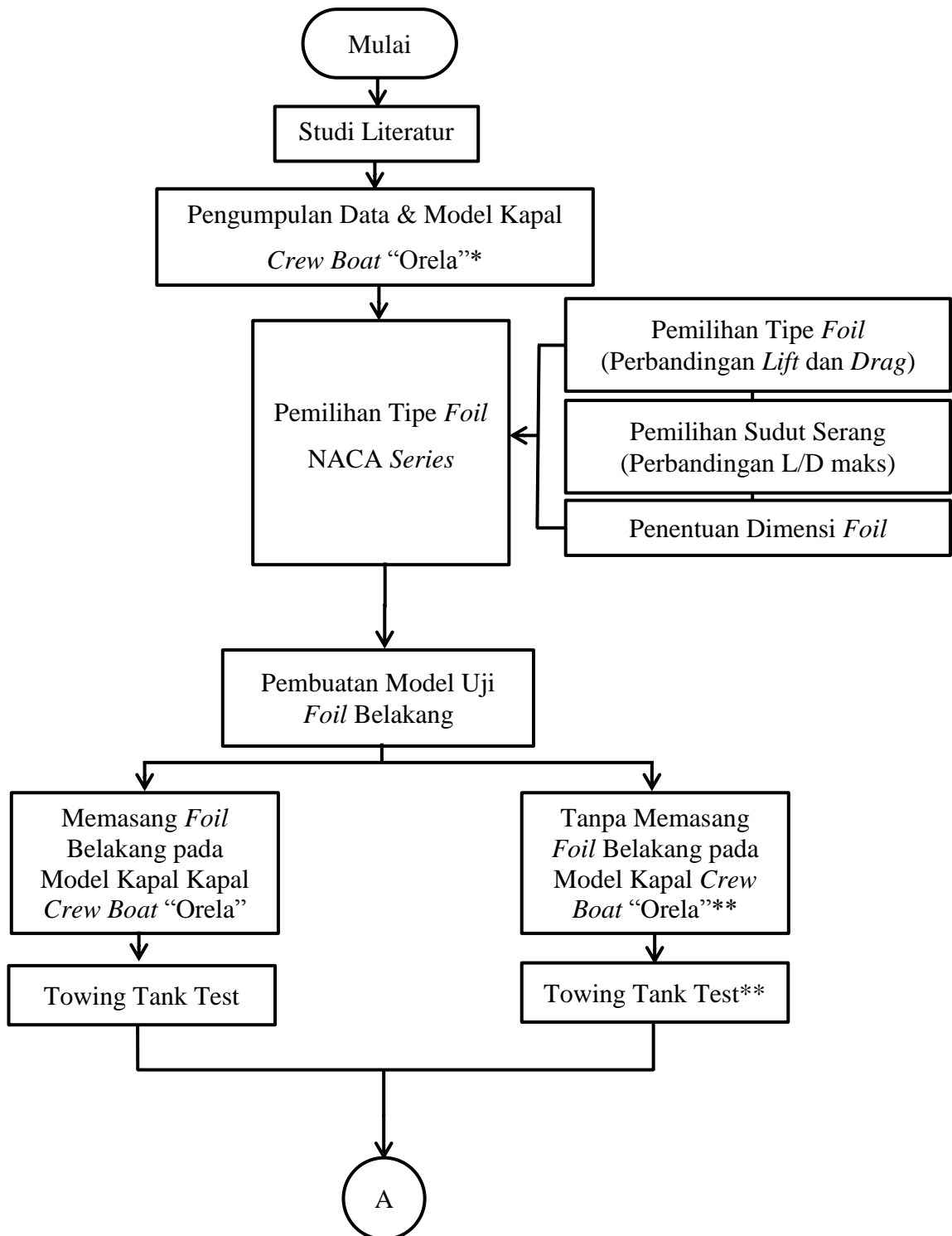


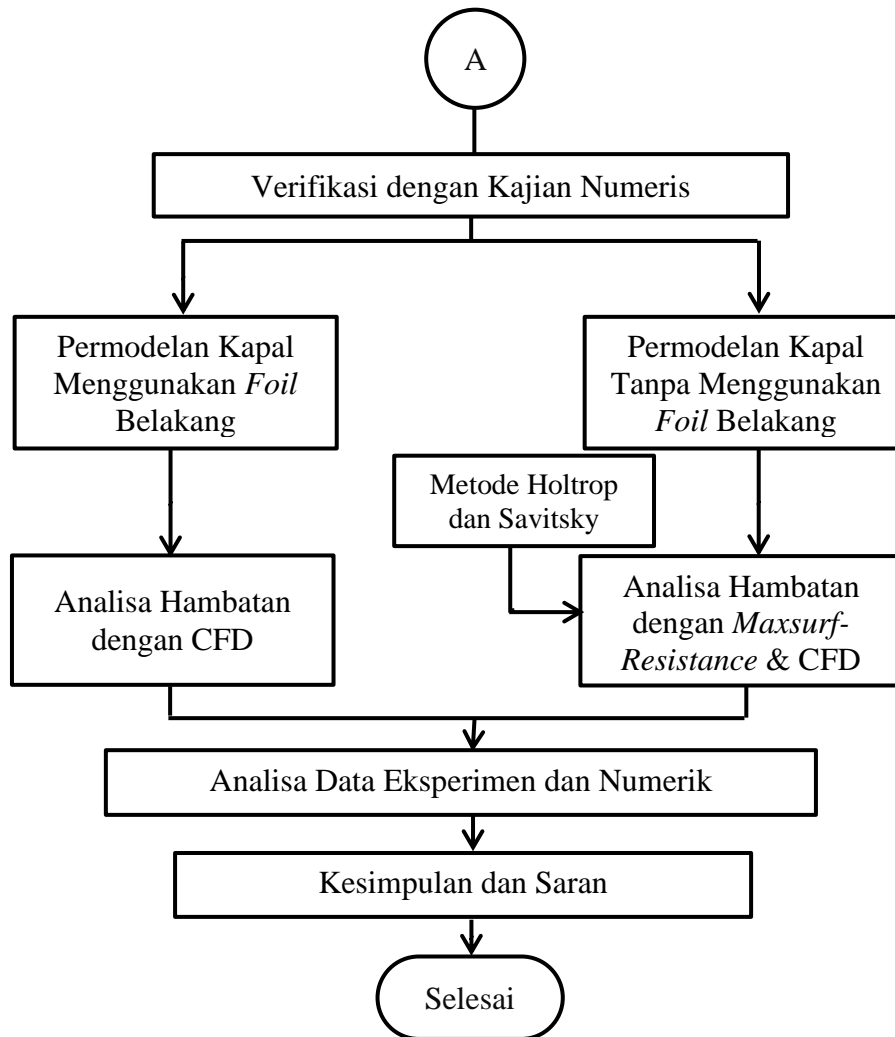
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian dan digambarkan secara keseluruhan pada diagram alir sesuai Gambar 3. 1 berikut:





\* Model Kapal *Crew Boat* “Orela” sudah ada di Laboratorium Hidrodinamika ITS.

\*\* Eksperimen Model Kapal *Crew Boat* “Orela” tanpa menggunakan *foil* telah dilakukan.

**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

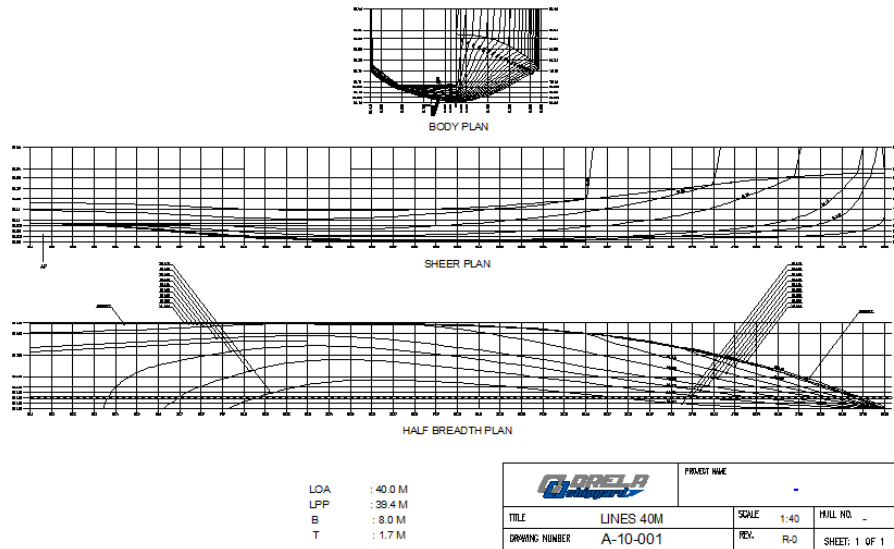
### 3.2 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam kajian Tugas Akhir ini berupa simulasi model dengan *Software Ship Design* melalui pendekatan Maxsurf dan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Sehingga prosedur pengerjaan Tugas Akhir ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

#### 3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan guna lebih memahami permasalahan yang ada, sehingga memunculkan dugaan-dugaan awal yang selanjutnya bisa disusun menjadi sebuah hipotesis awal. Studi literatur yang dilakukan adalah yang berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan hambatan *crew boat* dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang, serta teori-teori dasar mengenai *drag* dan *lift*

pada suatu *foil* untuk nantinya digunakan sebagai bahan untuk menganalisa kinerja suatu *foil* terhadap hambatan kapal. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data tentang *crew boat* “Orela” seperti data ukuran utama kapal dan model kapal yang telah diuji hambatan di Laboratorium Hidrodinamika ITS pada Tabel 3. 1, rencana garis pada Gambar 3. 2, data hidrostatis kapal *crew boat* “Orela”, model uji eksperimen kapal *crew boat* “Orela” tanpa menggunakan *foil* belakang, dan hasil uji hambatan kapal *crew boat* “Orela” tanpa menggunakan *foil* belakang.



**Gambar 3. 2** Rencana Garis Kapal Orela

**Tabel 3. 1** Data Ukuran Utama Kapal *Crew Boat* “Orela”

Dimensi Partikular	Kapal
$L_{OA}$	40.00 m
$L_{PP}$	39.90 m
Lebar (B)	8.00 m
Tinggi (H)	4.40 m
Sarat (T)	1.70 m
Kecepatan	28 knot
WSA	287.24 m <sup>2</sup>
<i>Displacement</i>	242.716 ton

### 3.2.2 Pemilihan Jenis *Foil*

Untuk mendapatkan hasil gaya angkat yang optimum maka jenis *foil* belakang yang digunakan adalah jenis *foil* asimetris. Menurut (Wonggiawan, Budiarto, & Rindo, 2015) yang telah melakukan analisis dari berbagai tipe *foil* NACA pada sudut

serang  $0^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$ . Hasil analisis *lift force* dan *drag force* dari berbagai tipe *foil* NACA tersebut adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 2** Hasil Analisa *Angel of Attack*  
(Wonggiawan, Budiarto, & Rindo, 2015)

No.	Tipe <i>Foil</i> NACA	Drag Force (N)	Lift Force (N)
1	64A212 ( $0^{\circ}$ )	690.429	1556.99
2	64A212 ( $30^{\circ}$ )	13625.4	21426.5
3	2412 ( $0^{\circ}$ )	684.374	1547.79
4	2412 ( $30^{\circ}$ )	13677.3	21107
5	23012 ( $0^{\circ}$ )	684.373	1547.79
6	23012 ( $30^{\circ}$ )	12482.8	19295.6
7	21021 ( $0^{\circ}$ )	692.995	1575.89
8	21021 ( $30^{\circ}$ )	13706.2	21427.3

**Tabel 3. 3** Hasil Perhitungan  $F_L/F_D$  *Angel of Attack*  $0^{\circ}$   
(Wonggiawan, Budiarto, & Rindo, 2015)

No.	Tipe <i>Foil</i> NACA	$F_L/F_D$
1	64A212	2.255105159
2	2412	2.261614264
3	23012	2.261617568
4	21021	2.274027951

**Tabel 3. 4** Hasil Perhitungan  $F_L/F_D$  *Angel of Attack*  $30^{\circ}$   
(Wonggiawan, Budiarto, & Rindo, 2015)

No.	Tipe <i>Foil</i> NACA	$F_L/F_D$
1	64A212	1.572541
2	2412	1.543214
3	23012	1.545775
4	21021	1.563329

Dari hasil perbandingan *Lift/Drag* pada sudut serang  $0^{\circ}$  nilai tertinggi terdapat pada tipe *foil* NACA 21021 dan pada sudut serang  $30^{\circ}$  nilai tertinggi terdapat pada tipe *foil* NACA 64A212. Maka tipe *foil* yang akan dipilih untuk *foil* belakang adalah antara NACA 21021 dan 64A212.

Selain pemilihan dari tipe NACA yang paling optimum, penentuan dimensi *foil* dan sudut serang juga akan menentukan nilai dari L/D yang paling optimum. *Span* yang digunakan adalah selebar kapal. Variasi sudut serang yang digunakan adalah 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, dan 20°. Variasi dimensi *foil* yang digunakan adalah pada Tabel 3. 5.

**Tabel 3. 5** Variasi Dimensi *Foil* Belakang

No.	<i>Chord</i> (meter)	<i>Span</i> (meter)	Aspek Rasio ( <i>Span/Chord</i> )
1	1.2	8	6.67
2	1.6	8	5
3	2	8	4

### 3.2.3 Pemodelan, Simulasi CFD, dan Uji Coba *Towing Tank*

Pada penelitian tugas akhir ini, pemodelan dibagi menjadi dua bagian utama yaitu pemodelan uji numerik dan pemodelan uji eksperimen. Untuk uji numerik, pemodelan diklasifikasikan dalam dua bagian, yaitu desain lambung kapal dan desain *foil* belakang dengan variasi tipe NACA, aspek rasio, dan sudut serang. Untuk uji eksperimen, yang perlu disiapkan adalah model *foil* belakang. Model kapal *crew boat* “Orela” telah ada di Laboratorium Hidrodinamika ITS. Uji coba pada *towing tank* dan prosedurnya dapat dilihat di bab V.

Dalam proses numerik *software-software* yang digunakan adalah:

a) *Maxsurf Modeler Advanced*

*Software* ini digunakan untuk memodelkan bentuk lambung kapal *crew boat* dan selanjutnya akan di analisa lebih lanjut dengan *Maxsurf-Resistance* dan CFD.

b) *Auto-CAD*

*Software* ini digunakan untuk memodelkan bentuk *foil* belakang yang selanjutnya akan dieksport ke ICEM-CFD.

c) ICEM-CFD

Merupakan tahap pemodelan tingkat lanjut yang digunakan untuk proses *pre-processor*. Pada proses ini juga dilakukan pembuatan *boundary condition* seperti model kapal, *foil*, surface *inlet*, *outlet*, *wall*, *top*, dan *bottom*.

Pada *boundary* tersebut akan dilakukan proses *meshing*. *Meshing* atau *grid* tersusun atas sel-sel (segitiga, *tetra/mixed*, *hexa-dominant*).

#### d) *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Digunakan aplikasi CFD sebagai *solver* dan *simulator* dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam simulasi CFD:

- *Pre-Processor*

Pada tahap ini digunakan *software* ANSYS CFX-PRE untuk menentukan kondisi lingkungan yang meliputi *Inlet*, *outlet*, interaksi dinding batas dengan fluida dan objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainnya yang berpengaruh pada proses pengujian.

- *Processor/Solver*

*Solver* atau *processor* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan pada aplikasi CFD. Dalam proses *solver* ini ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.

- *Post-Processor*

Pada tahap akhir dilakukan perhitungan, analisa, dan visualisasi hasil menggunakan program ANSYS CFX-POST. Aplikasi ini menyediakan informasi berupa data, gambar dan animasi.

### 3.2.4 Validasi

Pada proses ini dipastikan bahwa metode dan hasil yang diperoleh dari simulasi CFD valid dan dapat dianggap benar. Sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk tahapan selanjutnya. Hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih antara grid independen kurang dari 2%. Apabila hasil simulasi melebihi 2%, maka perlu dilakukan simulasi ulang dengan memperbaiki *meshing*.

### 3.2.5 Analisa Data dan Penyelesaian

Pada tahap ini dilakukan analisis data hasil dari simulasi model numerik dan eksperimen. Pada simulasi numerik adalah:

- a) Hasil Simulasi Kekentalan murni

Akan dilakukan analisis mengenai besarnya *lift force*, *drag force*, dan *lift/drag* yang terjadi pada *foil* terhadap variasi sudut serang yang telah dilakukan.

b) Hasil Simulasi *Free Surface*

Akan dilakukan analisis mengenai besarnya hambatan total dan fenomena-fenomena yang terjadi pada berbagai variasi kecepatan. Sehingga dapat mengetahui pengaruh dari pemasangan *foil* belakang terhadap hambatan total kapal.

Pada uji coba eksperimen di *towing tank* akan memperoleh *stripchart* yang kemudian dihitung dan dianalisa sehingga mendapatkan hasil dari setiap variasi kecepatan. Hasil dari numerik dan eksperimen akan dibandingkan dan dilakukan analisa.

Setelah analisa dilakukan, maka dari hasil analisa tersebut dibuat kesimpulan untuk merangkum keseluruhan hasil penelitian. Langkah terakhir dari rangkaian penelitian Tugas Akhir ini adalah pendokumentasian laporan hasil penelitian yang telah dilakukan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV

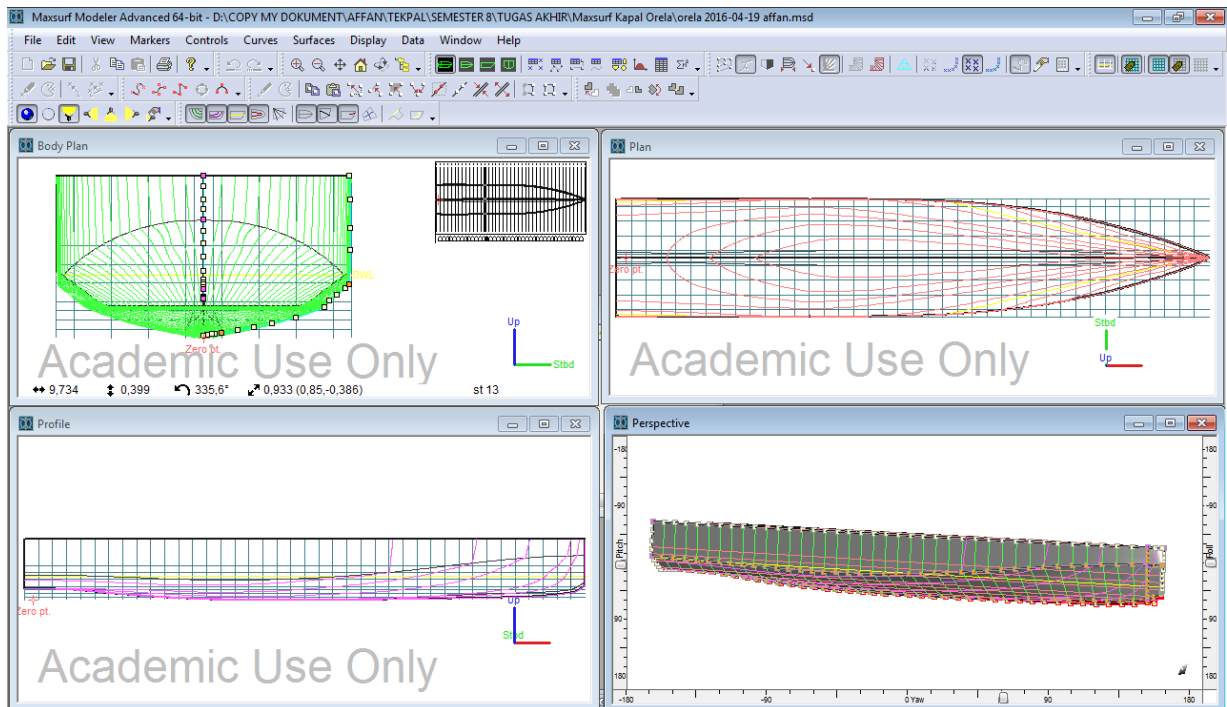
### PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI CFD

#### 4.1 Pembuatan Model Uji Numerik

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab III, pembuatan model uji numerik diklasifikasikan dalam tiga bagian, yaitu desain lambung kapal, desain *foil* belakang dengan variasi tipe NACA, aspek rasio, dan sudut serang, serta desain strut. Model lambung kapal *crew boat* orela digunakan untuk simulasi *free surface* dan *foil* belakang serta *strut* dimodelkan untuk simulasi kekentalan murni dengan pendekatan pengujian *tunnel*. Proses pembuatan model uji numerik dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

##### 4.1.1 Lambung Kapal

Pembuatan desain lambung kapal *crew boat* “Orela” menggunakan bantuan *software Maxsurf Modeler Advanced*. Dengan cara melakukan gambar ulang dari rencana garis kapal *crew boat* “Orela” berdasarkan acuan ukuran utama kapal yang telah diketahui. Langkah pertama adalah perencanaan jumlah *surface* yang dibutuhkan untuk memodelkan kapal *crew boat*, yaitu dengan cara memilih menu “*surface-add surface-buttock plane*”. Kemudian atur panjang dan tinggi *surface* tersebut sesuai dimensi utama kapal; tambahkan *control point* untuk dapat membentuk *surface* sesuai bentuk rencana garis *crew boat*; dan tambahkan *design grid section*, *buttock*, dan *waterline* sesuai rencana garis kapal *crew boat* dengan cara memilih menu “*data-design grid*”. Setelah *surface* kapal *crew boat* telah siap, *import* gambar rencana garis kapal *crew boat* dengan memilih menu “*file-import-image background*”. Untuk mengatur skala dari *background* rencana garis tersebut agar sama dengan *surface* yang telah dibuat adalah dengan cara memilih menu “*display-background-set image zero point* dan *set image reference point*”. Setelah skala *background* dan *surface* telah sama, maka proses *redrawing* kapal *crew boat* dapat mulai dilakukan. Proses gambar ulang dilakukan dengan cara mengatur *control point* sesuai pada *background* rencana garis kapal *crew boat* yang telah di-*setting*. Untuk mengatur sarat kapal maka dapat memilih menu “*data-frame of reference*”. Atur sarat dengan mengubah DWL sesuai sarat kapal pada dimensi utama kapal *crew boat*. Bentuk visualisasi dari model uji lambung kapal yang telah dilakukan ditampilkan pada gambar-gambar berikut ini.



**Gambar 4. 1** Model Kapal dan Rencana Garis Kapal *Crew Boat* yang Digambar Ulang Dengan Menggunakan *Maxsurf*

Dalam proses gambar ulang kapal *crew boat* ini, data hidrostatik kapal juga harus dibandingkan. Sehingga dapat memvalidasi bahwa hasil gambar ulang kapal *crew boat* ini telah benar.

**Tabel 4. 1** Perbandingan Data Hidrostatik Kapal dan *Maxsurf*

No.	Komponen	Nilai		Unit	Selisih [%]
		Data Kapal	Data <i>Maxsurf</i>		
1	L <sub>OA</sub>	40	40	m	0
2	B	8	8	m	0
3	H	4.4	4.4	m	0
4	T	1.7	1.7	m	0
5	<i>Displacement</i>	242.716	239.1	ton	1.49
6	C <sub>B</sub>	0.437	0.435		0.46
7	C <sub>M</sub>	0.606	0.605		0.17
8	C <sub>P</sub>	0.721	0.718		0.42
9	WPA	238.79	238.354	m <sup>2</sup>	0.18
10	VCB	1.118	1.119	m	0.09
11	LCB	15.352	15.348	m	0.03

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	239,1	t
2	Volume (displaced)	233,303	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	1,700	m
4	Immersed depth	1,700	m
5	WL Length	39,998	m
6	Beam max extents on WL	7,904	m
7	Beam on WL amidships	7,750	m
8	Wetted Area	281,409	m <sup>2</sup>
9	Max sect. area	9,355	m <sup>2</sup>
10	Waterpl. Area	238,354	m <sup>2</sup>
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,718	
12	Block coeff. (Cb)	0,435	
13	Midship Sect. area coeff. (Cm)	0,605	
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,755	
15	LCB length	15,348	from aft perp. (+ve fwd) m
16	LCF length	15,087	from aft perp. (+ve fwd) m
17	LCB %	38,372	from aft perp. (+ve fwd) % Lwl
18	LCF %	37,719	from aft perp. (+ve fwd) % Lwl
19	VCB	1,119	m
20	KG fluid	0,000	m
21	BMt	4,457	m
22	BML	92,049	m
23	GMt corrected	5,575	m
24	GML	93,168	m
25	KMt	5,575	m
26	KML	93,168	m
27	Immersion (TPc)	2,443	tonne/cm
28	MTc	5,655	tonne.m
29	Precision	Highest	210 stations

Density (water)

Std. densities

VCG

**Gambar 4. 2** Hasil Data Hidrostatik *Redrawing* Kapal *Crew Boat* Dengan *Maxsurf*

Setelah bentuk badan kapal selesai dimodelkan, tahap selanjutnya adalah mengekspor model lambung kapal *crew boat* tersebut dalam bentuk format *iges*. Proses pengeksporan model diperlukan untuk menyamakan format *file* dengan *file* yang mampu untuk dibaca oleh *software* ICEM-CFD, sehingga proses *meshing* dapat dilakukan.

#### 4.1.2 Foil Belakang dan Strut

Berdasarkan subbab 3.2.2, maka tipe *foil* NACA yang akan dipilih untuk *foil* belakang adalah antara NACA 21021 dan 64A212. Data koordinat NACA 21012 dan NACA 64A212 yang digunakan dalam pemodelan *foil* belakang ini diambil dari *data base* NACA yang dapat dilihat pada Gambar 4. 3. Koordinat tersebut merupakan persentase dari panjang *chord foil* belakang. Untuk ukuran dimensi dan rekap variasi *foil* belakang akan disajikan pada Tabel 4. 2.

NACA 641212				NACA 21021			
(Stations and Ordinates given in percent of foils chord)				(Stations and Ordinates given in percent of foils chord)			
Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface	
Station	Ordinate	Station	Ordinate	Station	Ordinate	Station	Ordinate
0	0	0	0	0	0	0	0
0.418	1.025	0.582	-0.925	0.397	2.464	1.628	-1.807
1.147	1.593	1.353	-1.379	1.595	5.370	3.299	-3.531
4.868	3.123	5.132	-2.491	5.511	7.562	5.388	-5.340
9.865	4.386	10.135	-3.352	9.644	9.121	9.455	-6.995
14.872	5.291	15.128	-3.945	14.754	10.292	14.536	-8.286
19.886	5.968	20.114	-4.376	20.729	11.032	20.492	-9.166
29.921	6.815	30.079	-4.871	27.424	11.327	27.177	-9.618
34.941	7.008	35.059	-4.948	34.672	11.194	34.427	-9.656
44.982	6.893	45.018	-4.703	42.296	10.680	42.061	-9.321
50	6.583	50	-4.377	50.109	9.852	49.891	-8.676
55.016	6.151	54.984	-3.961	57.919	8.787	57.724	-7.796
60.029	5.619	59.971	-3.477	65.535	7.566	65.367	-6.754
65.039	5.004	64.961	-2.944	72.769	6.264	72.630	-5.622
70.045	4.322	69.955	-2.378	79.445	4.950	79.334	-4.466
75.047	3.59	74.953	-1.8	85.397	3.691	85.314	-3.346
80.045	2.825	79.955	-1.233	90.480	2.547	90.422	-2.323
85.038	2.054	84.962	-0.708	94.568	1.579	94.533	-1.451
90.027	1.303	89.973	-0.269	97.562	0.841	97.543	-0.784
95.013	0.604	94.987	-0.028	99.388	0.378	99.380	-0.364
100	0	100	0	100	0	100	0

**Gambar 4. 3** Koordinat NACA 64A212 dan NACA 21021 Untuk Variasi *Foil* Belakang  
(Abbott & Doenhoff, 1958)

**Tabel 4. 2** Variasi Dimensi *Foil* Belakang

Variasi Dimensi <i>Foil</i> Belakang	
Tipe NACA	: NACA 64A212 dan NACA 21021
Panjang <i>Chord</i>	: 1.2 meter, 1.6 meter, dan 2 meter
Panjang <i>Span</i>	: 8 meter
Aspek Rasio ( <i>span/chord</i> )	: 4, 5, 6.67
Sudut Serang	: 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, dan 20°

Untuk permodelan *strut* menggunakan *foil* simetris dan tanpa menggunakan sudut serang. Variasi dari tipe NACA yang akan digunakan pada *strut* yaitu NACA 63012 dan NACA 0010. Data koordinat NACA 63012 dan NACA 0010 yang digunakan dalam pemodelan *strut* ini diambil dari data base NACA yang dapat dilihat pada Gambar 4. 4.

Koordinat tersebut merupakan persentase dari panjang *chord strut*, dimana panjang *chord strut* adalah sama dengan panjang *chord foil* belakang yang dipilih, dan ukuran span adalah 0.6 meter.

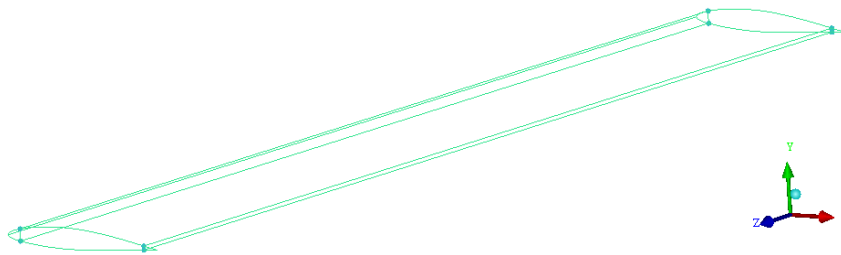
NACA 0010		NACA 63012	
X (Percent c)	Y (Percent c)	X (Percent c)	Y (Percent c)
0	0	0	0
0.5	....	0.5	0.985
1.25	1.578	0.75	1.194
2.5	2	1.25	2
5	2.962	2.5	2.102
7.5	3.5	5	2.925
10	3.902	7.5	3.542
15	4.455	10	4.039
20	4.782	15	4.799
25	4.952	20	5.342
30	5.002	25	5.712
40	4.837	30	5.93
50	4.412	35	6
60	3.803	40	5.92
70	3.053	45	5.704
80	2.187	50	5.37
90	1.207	55	4.935
95	0.672	60	4.42
100	0.106	65	3.84
	LE Radius = 1.1	70	3.21
		75	2.556
		80	1.902
		85	1.274
		90	0.707
		95	0.25
		100	0
		LE Radius = 1.087	

**Gambar 4. 4** Koordinat NACA 0010 dan NACA 63012 Untuk Variasi *Strut* (Abbott & Doenhoff, 1958)

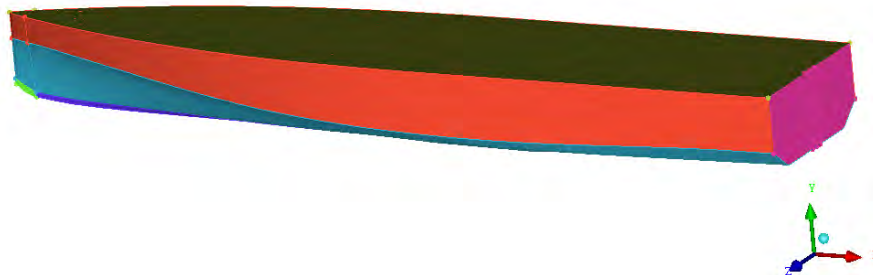
Selanjutnya dari data-data *foil* diatas, dilakukan proses pemodelan menggunakan *software* Auto-CAD. Kemudian hasil dari permodelan tersebut disimpan dalam format (nama *file.dwg*). Proses pengeksporan model diperlukan untuk menyamakan format *file* dengan *file* yang mampu untuk dibaca oleh *software* ICEM CFD, sehingga dapat dilakukan proses *meshing*.

### 4.1.3 Proses *Meshing*

Setelah pembuatan model kapal, *foil* belakang, dan *strut* telah selesai, maka proses selanjutnya adalah proses *meshing* menggunakan *software* ICEM CFD. Setelah hasil pemodelan dari *software* Maxsurf di-*export* ke dalam bentuk format igs dan Auto-CAD dalam format dwg, selanjutnya pada ICEM-CFD file-file tersebut di-*import* untuk kemudian dilakukan pembuatan dinding-dinding uji dan proses *meshing*, seperti pada Gambar 4. 5 dan Gambar 4. 6.

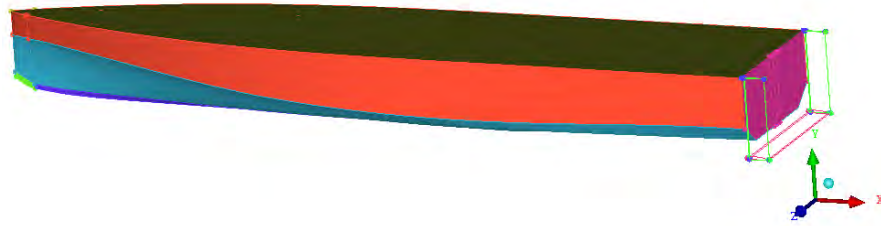


**Gambar 4. 5** Hasil Impor dari *software* Auto-CAD ke ICEM-CFD



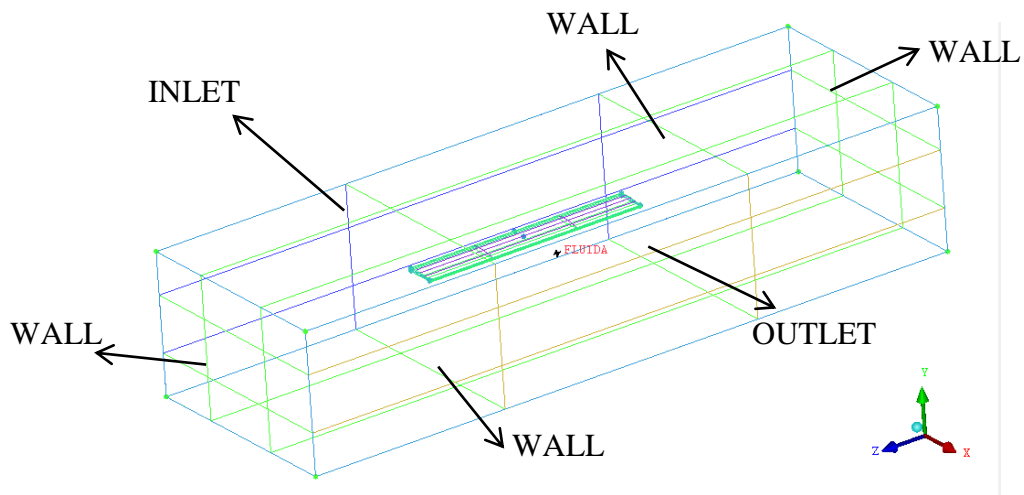
**Gambar 4. 6** Hasil Impor dari *software* Maxsurf ke ICEM-CFD

Untuk proses *meshing* model kapal dengan menggunakan *foil* belakang pada *software* ICEM-CFD dilakukan proses *import merged* antara model kapal dari *software* Maxsurf (format impor .igs) dan model *foil* belakang serta *strut* yang telah dilakukan proses *trimming* dan memastikan semua garis tersambung dengan *software* Auto-CAD (format impor .dwg), seperti pada Gambar 4. 7.

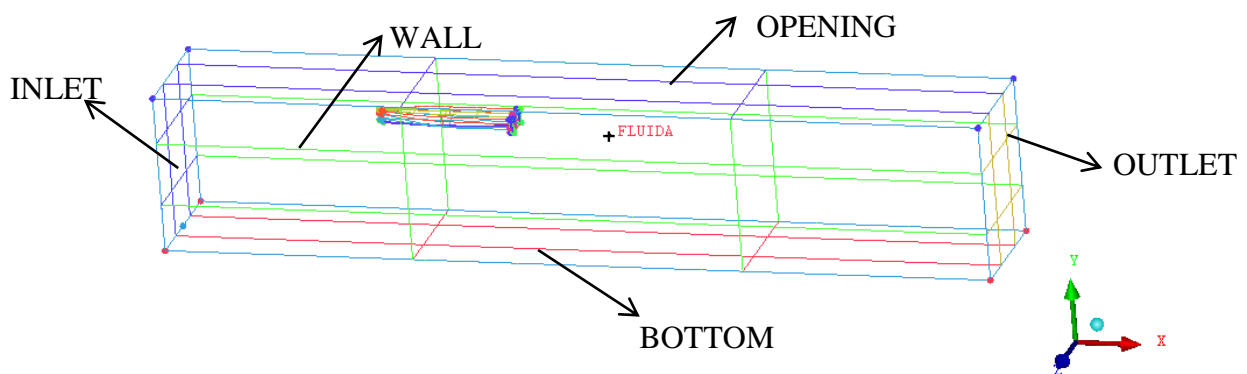


**Gambar 4. 7** Hasil Import Kapal dengan *Foil* Belakang

Setelah proses impor model selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah pemberian *boundary* atau batas-batas pada domain yang nantinya akan menjadi parameter dalam melakukan simulasi.

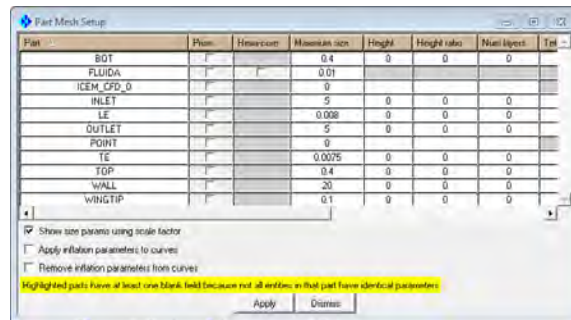


**Gambar 4. 8** Proses Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian Domain Fluida Simulasi Kekentalan Murni

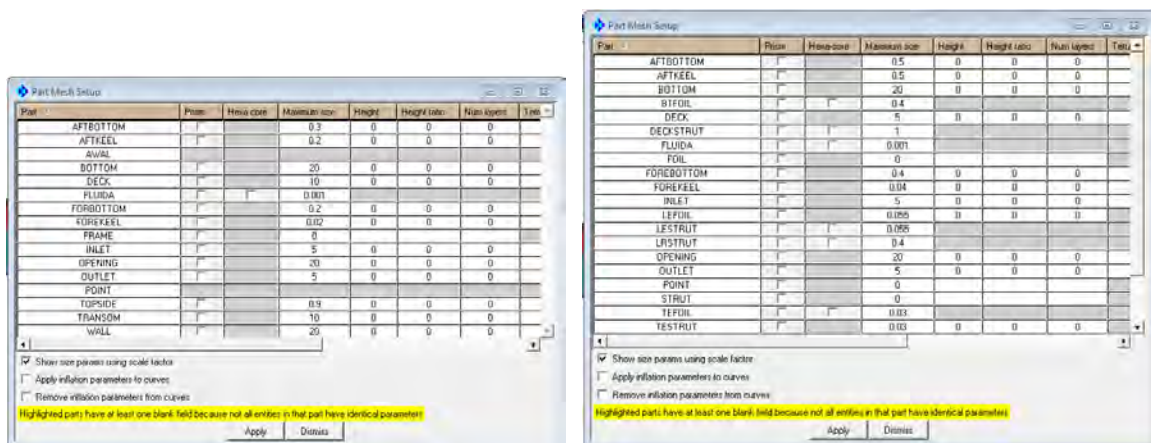


**Gambar 4. 9** Proses Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian Domain Fluida Simulasi *Free Surface*

Sebelum dilakukan proses *meshing*, perlu dilakukan pengaturan proses *meshing* sehingga hasil *meshing* yang dihasilkan dapat sesuai. Berikut merupakan pengaturan *meshing* untuk simulasi kekentalan murni dan simulasi *free surface*.

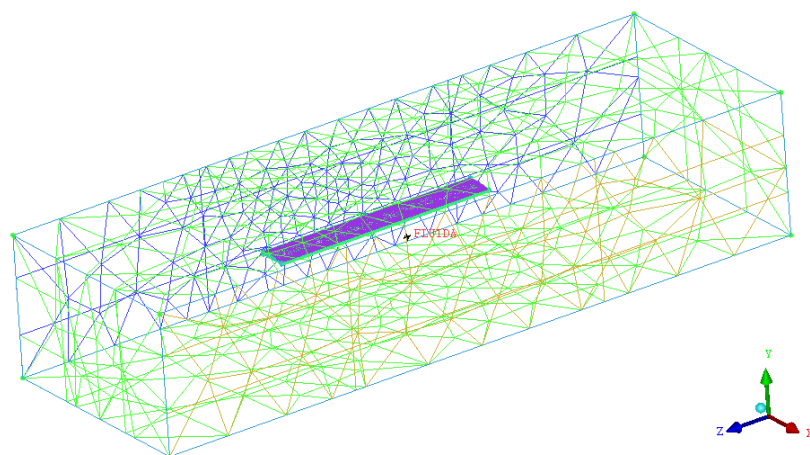


Gambar 4. 10 Pengaturan *Meshing Foil* untuk Simulasi Kekentalan Murni



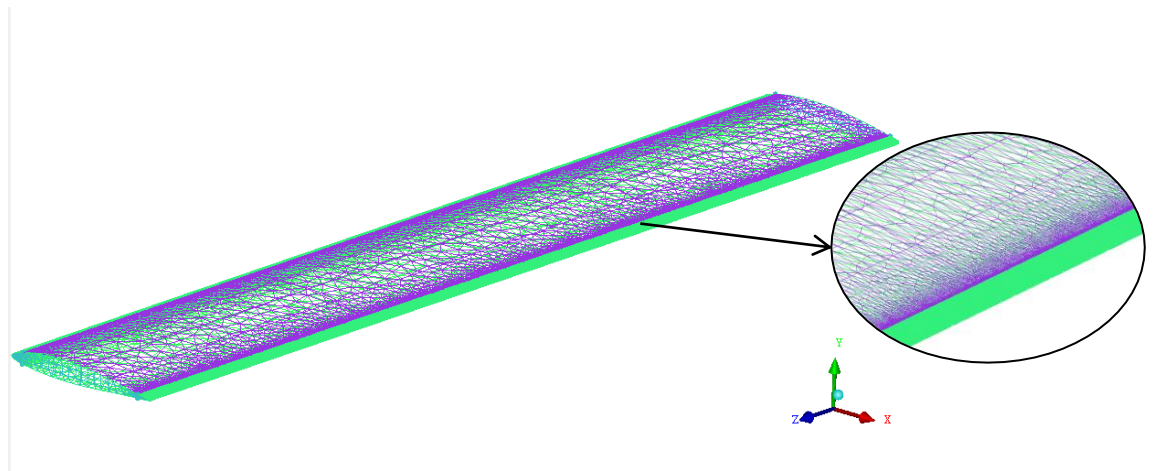
Gambar 4. 11 Pengaturan *Meshing Kapal Tanpa dan Dengan Foil Belakang* untuk Simulasi *Free Surface*

Berikut ini adalah gambar-gambar dari hasil *meshing* yang telah dilakukan untuk simulasi kekentalan murni.



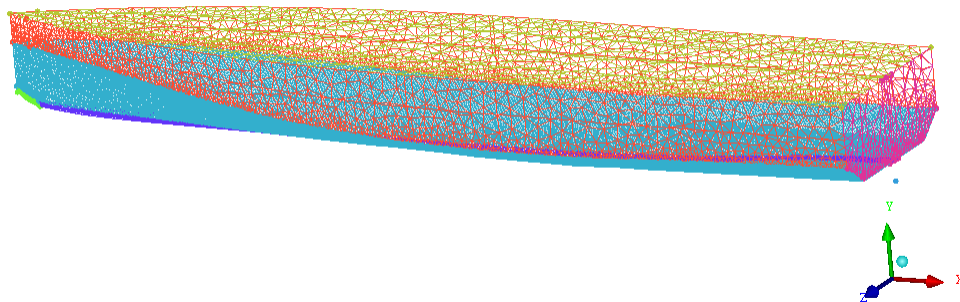
Gambar 4. 12 Hasil *Meshing* Pada Simulasi Kekentalan Murni



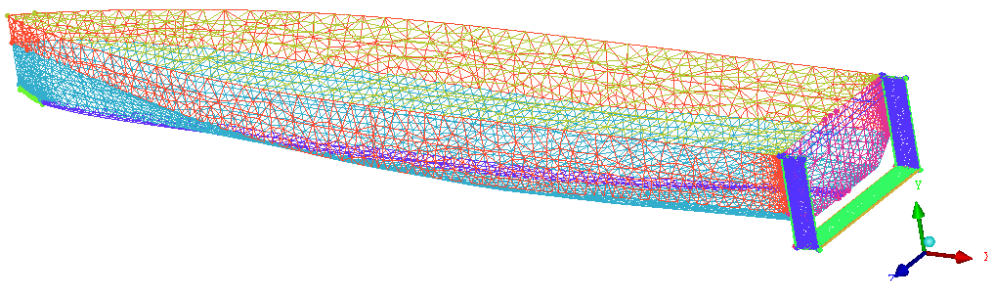


**Gambar 4. 13** Hasil *Meshing Foil* Belakang Simulasi Kekentalan Murni

Berikut ini adalah gambar-gambar dari hasil *meshing* yang telah dilakukan untuk simulasi *Free Surface*, yang terdiri dari kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang.



**Gambar 4. 14** Hasil *Meshing* Kapal Tanpa *Foil* Belakang Pada Simulasi *Free Surface*



**Gambar 4. 15** Hasil *Meshing* Kapal Dengan *Foil* Belakang Pada Simulasi *Free Surface*

## 4.2 Simulasi CFD

### 4.2.1 Tahap CFX-Pre Processor

#### A. Simulasi Kekentalan Murni

Setelah proses pemodelan dan *meshing* telah dilakukan maka selanjutnya memasuki tahap *pre-processor* yaitu menentukan karakteristik kondisi-kondisi batas pada objek uji berupa model kapal dan dinding uji (*inlet*, *outlet*, dan *wall*). Tahap ini dilakukan untuk membuat objek serta deskripsi karakteristiknya sehingga dapat dibaca oleh *software*. Setiap batasan yang diberikan akan berpengaruh pada hasil simulasi yang akan keluar. Kondisi batas itu sendiri dapat didefinisikan sebagai keadaan atau karakteristik dari bagian objek penelitian yang dilakukan.

##### a) Kondisi Domain

Domain merupakan media atau tempat dimana model yang akan disimulasikan dapat bergerak. Pada simulasi *full viscous* ini domain hanya memiliki satu fluida yaitu pada air tawar. Sedangkan untuk model turbulensi di-setting *Shear Stress Transport*. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan setting *default*. Model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam diskusi NASA Technical Memorandum (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000). Pada tab *Initialisation*, masukkan nilai kecepatan pada koordinat masing-masing. Pada simualsi ini fluida dianggap bergerak hanya pada satu arah yaitu pada sumbu x atau sumbu u, pada sumbu u diisikan nilai kecepatan kapal sedangkan pada sumbu lain dianggap nol.

##### b) Kondisi *Inlet*

*Inlet* merupakan bagian sisi dimana tempat aliran fluida masuk. Pada sisi ini disetting kecepatan dari aliran fluida yang disamakan dengan kecepatan gerak model uji. Pada simulasi ini fluida diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan model uji pada posisi seolah-olah diam.

##### c) Konsisi *Outlet*

*Outlet* merupakan bagian sisi dimana tempat aliran fluida keluar. Pada sisi ini disetting *stating pressure*, dimana *Relative Pressure* adalah 0 Pa.

d) Kondisi *Wall* (*Side, Top, dan Bottom*)

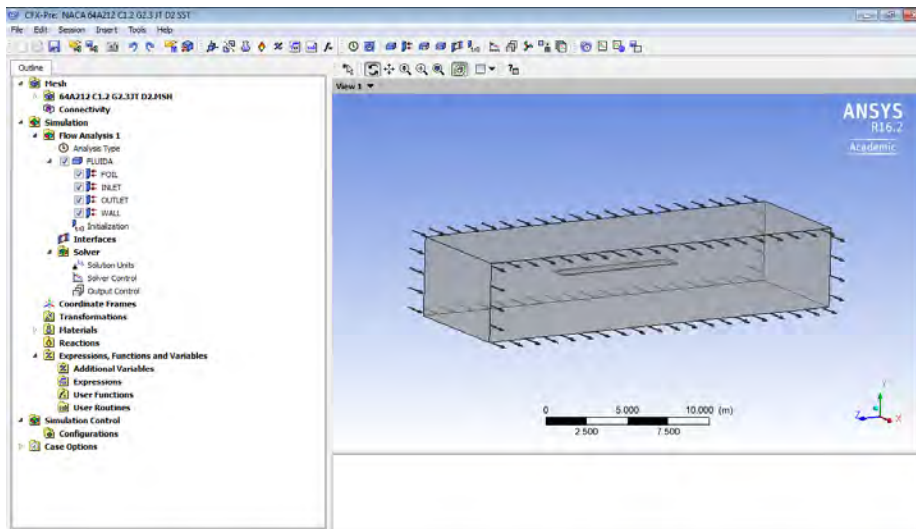
Dinding-dinding fluida dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan sehingga boundary detail disetting *free slip wall*.

e) Kondisi Batas Model Uji

Berbeda dengan keadaan yang diterapkan pada area dinding-dinding fluida. Permukaan model uji akan mengalami gesekan dengan fluida akibat terjadinya kontak langsung dari keduanya. Sehingga pada simulasi ini model uji dikondisikan sebagai *no slip wall* (tidak terjadi selip).

f) *Solver Control*

Pada tahap *solver control* dikenal istilah RMS (*Root Mean Square*) yang merupakan salah satu komponen dari proses konvergensi pada tahap validasi. RMS menggambarkan jumlah iterasi yang diinginkan. Jumlah iterasi tersebut dapat diungkapkan pada jumlah residual target yang ingin dicapai, yaitu tingkat kesalahan yang mungkin terjadi selama iterasi. Apabila nilainya diperkecil akan berakibat pada semakin akurat dari hasil yang akan dikeluarkan. Pada simulasi *full viscous*, residual target untuk tahap konvergensi yaitu sampai  $10^{-5}$ .



**Gambar 4. 16** Tahap *CFX-Pre Processor* Pada Simulasi Kekentalan Murni

## B. Simulasi *Free Surface*

Seperti simulasi *full viscous*, pada tahap *pre-processor* perlu melakukan mendefinisikan domain dan *boundary* dari *part-part* yang telah dibuat di ICEM-CFD. Namun pada simulasi full viscous, model uji berada pada 2 fluida, yaitu fluida air dan udara. Sehingga perlu dilakukan setting ekspresi-ekspresi untuk dapat membagi domain menjadi 2 fluida. Selain itu perlu dilakukan setting *mesh*

*adaption* yang berguna untuk memperhalus meshing sehingga dapat membantu perkembangan *interface* yang tajam antara air dan udara. Berikut merupakan setting simulasi *free surface* pada CFX-Pre:

- a) Pendefinisian CEL (*CFX Expression Language*) dimana CEL ekspresi-ekspresi bahasa pemrograman terhadap *boundary conditions* dituliskan (CFX, 2007). Ekspresi-ekspresi untuk *boundary* dan *initial conditions* yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel 4. 3 berikut ini:

**Tabel 4. 3** Pendefinisian CEL (*CFX Expression Language*)

Nama Bagian	CEL	Definisi
Tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	35.7 [m]
Tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	35.7 [m]
Densitas air	DenWater	1025 [kg m <sup>-3</sup> ]
Densitas udara	DenRef	1.185 [kg m <sup>-3</sup> ]
Densitas air-densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
Fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
Fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
Distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater* (UpH-y)
Fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
Fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
Distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater* (DownH-y)

- b) Kondisi *Domain*

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian *domain* fluida. Pada bagian ini jenis fluida dibagi dalam dua jenis yaitu air dan udara. Pada *tab Basic Setting* terdapat opsi *Gravity X Dim*, *Gravity Y Dim*, dan *Gravity Z Dim* yang diisi dengan angka 0 m/s; -g; dan 0 m/s secara berturut-turut. Untuk *Buoy. Ref. Density* diisi dengan “DenRef “ sesuai dengan ekspresi-ekspresi CEL yang telah dijelaskan. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan setting default. Pada *tab Fluid Model*, kotak di sebelah pilihan “*Homogeneous Model*” dicentang dan pada opsi *Free Surface Model* di-setting mode “*Standard*”, sedangkan untuk model turbulensi di-setting “*Shear Stress Transport*”. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada *tab Fluid Specific Model*, harus dipastikan bahwa fluida yang telah di-setting pada proses ini ada dua yaitu air dan udara. Seperti pada simulasi

sebelumnya, model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi isothermal lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam diskusi NASA Technical Memorandum (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000).

c) *Kondisi Boundary*

Pada batas *inlet* dimasukkan kecepatan kapal dan pada batas *outlet* di-setting “*Normal Speed*”. Batas *wall* di-setting *symmetry* yang berarti bahwa tekanan kondisi dalam dan luar lingkungan pengujian sama, gelombang tidak dipantulkan terhadap dinding. Batas *top* didefinisikan sebagai *opening* atau dinding terbuka yang artinya tidak ada pengaruh tekanan dari manapun. Batas *bottom*, didefinisikan *wall* dengan setting *free slip* yang artinya bebas slip. Model uji didefinisikan *wall* dengan setting *no slip wall* yang artinya permukaan model uji akan mengalami gesekan dengan fluida akibat terjadinya kontak langsung dari keduanya (tidak terjadi selip).

d) *Global initialization*

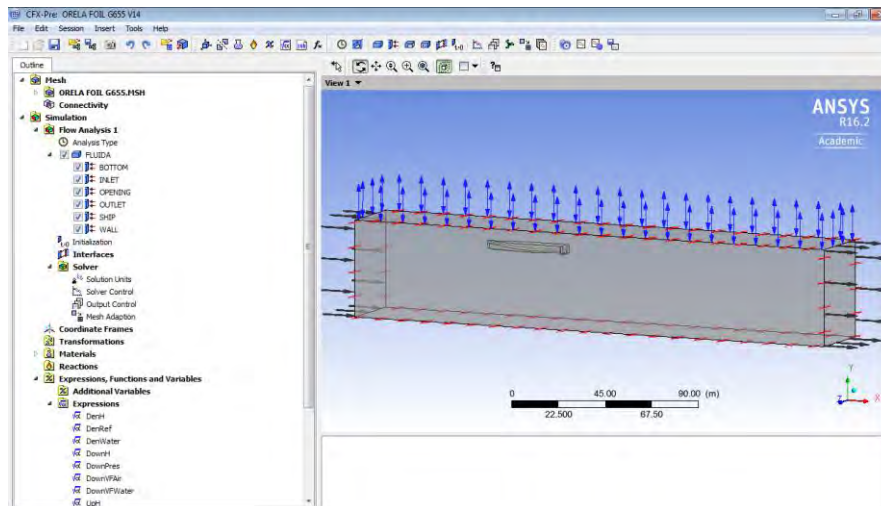
Agar konsisten dengan batas *inlet*, maka pada komponen kecepatan dimasukkan nilai kecepatan kapal sesuai dengan batas *inlet*. *Initialization* merupakan tahap pengaturan dimana kecepatan aliran fluida diatur, fraksi udara diatur dengan mengisikan “*UpVFAir*” dan fraksi air diisi dengan “*UpVFWater*”.

e) *Mesh Adaption*

Untuk meningkatkan resolusi *interface* antara udara dan air maka dilakukan setting parameter-parameter pada fitur “*Mesh Adaption*”. Pada fitur ini juga ditetapkan berapa maksimum iterasi yang diinginkan ketika akan melakukan *running* model. Iterasi adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika *software* melakukan *running* hingga didapat hasil yang konvergen.

f) *Solver Control*

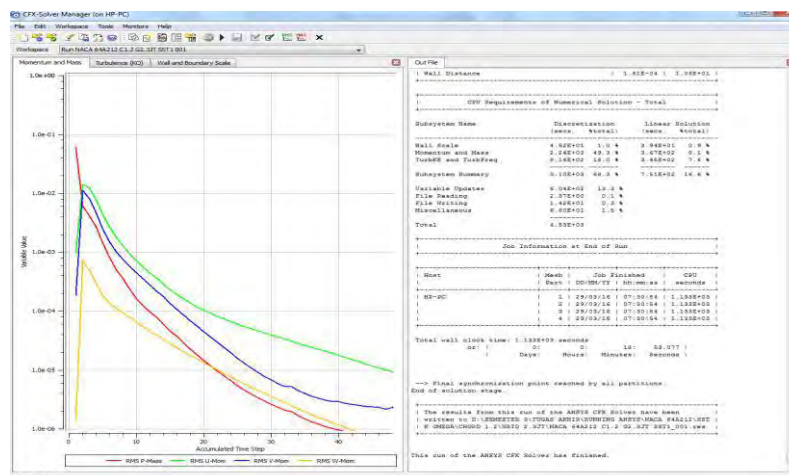
Seperti pada simulasi *full viscous*, pada tahap ini melakukan *setting residual target* untuk tahap konvergensi dimana pada simulasi *free surface* di-setting *default* yaitu  $10^{-4}$ . Selain mengatur jumlah iterasi pada tahap ini agar domain pada simulasi ini dapat terbagi menjadi 2 fluida yaitu air dan udara, maka perlu melakukan *setting* pada *tab Advanced Options*, dan mencentang *multiphase control* dan *volume fraction coupling*. Kemudian pilih *option “coupled”*.



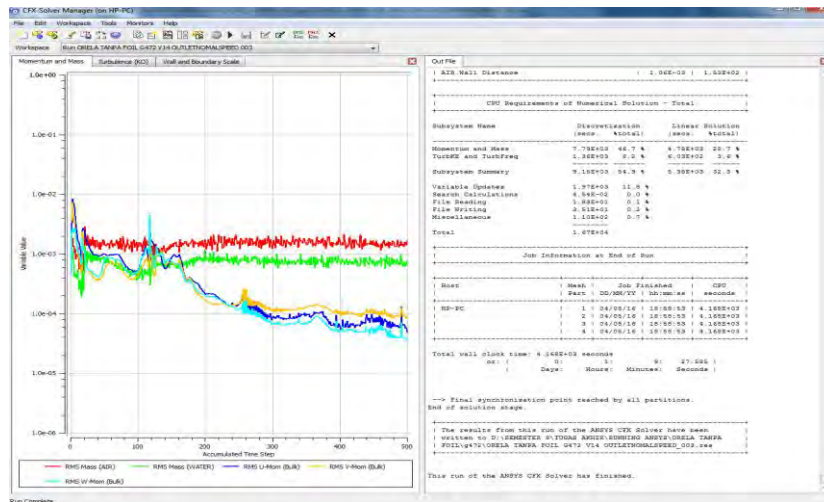
Gambar 4. 17 Tahap CFX-Pre Processor Pada Simulasi Free Surface

#### 4.2.2 Tahap Solver

Pada tahap *solver* ini adalah tahap dimana proses *running* dimulai setelah proses pendefinisian *domain* dan *boundary* pada semua *part* yang telah dibuat pada ICEM-CFD serta men-setting *solver control* pada CFX-Pre telah dilakukan. Pada proses *running* ini menampilkan grafik dimana sumbu x adalah *acumulated time step* (banyaknya jumlah iterasi) dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai  $10^{-6}$  sesuai dengan *solver control* pada tahap *pre-processor*. Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver control* yang bertujuan meminimalisir error pada hasil simulasi. Proses iterasi pada tahap *solver* ini akan berhenti sampai dengan *variable value* (nilai konvergensi) telah sesuai dengan *residual target* pada tahap *pre-processor*. Pada tahap ini selain jumlah total elemen dari model uji, waktu iterasi dipengaruhi juga oleh spesifikasi komputer yang digunakan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Berikut merupakan hasil pada tahap *solver* untuk simulasi kekentalan murni dan *free surface*.



Gambar 4. 18 Proses Running Pada Simulasi Kekentalan Murni



Gambar 4. 19 Proses Running Pada Simulasi Free Surface

### 4.2.3 Tahap Post-Processor

Tahap *post-processor* adalah tahap terakhir pada simulasi CFD. Pada tahap ini mendapatkan hasil-hasil dari proses iterasi yang telah dilakukan. Hasil dari tahap ini dapat berupa nilai, gambar, dan animasi.

### 4.3 Validasi Grid Independence

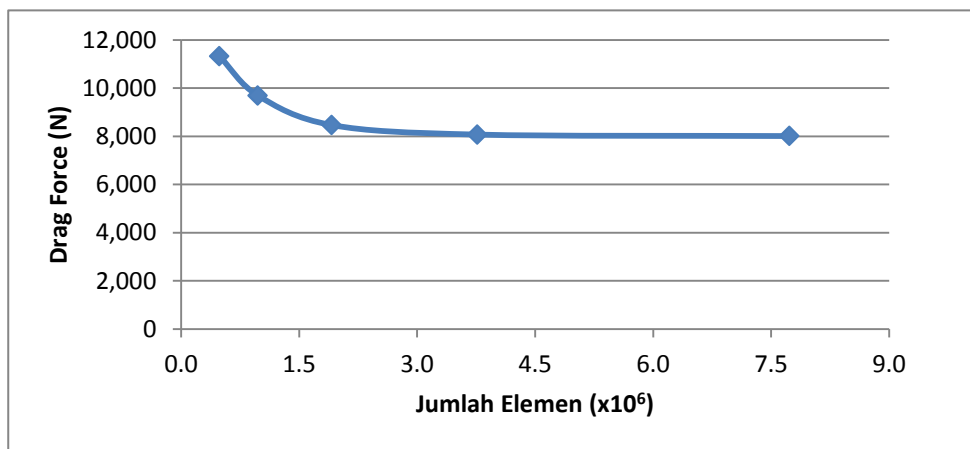
Selain membandingkan dengan hasil eksperimental, metode yang dapat digunakan untuk membuktikan keakuratan hasil dari simulasi CFD ini adalah dengan metode *grid independence*. Maksud dari *Grid Independence* ini adalah hasil dari simulasi CFD yang ditampilkan telah tidak dipengaruhi oleh jumlah total elemen dari model uji. Jumlah total elemen dari model uji dapat mempengaruhi hasil dari simulasi CFD. Dengan jumlah total elemen yang lebih besar dapat menghasilkan hasil yang lebih mendekati nilai aslinya. Tetapi dengan jumlah elemen yang lebih besar tersebut dapat memerlukan waktu iterasi yang lebih lama. Maka metode *grid independence* ini perlu dilakukan sehingga dapat menghasilkan hasil yang paling optimal yang artinya selisih persentase hasil dari simulasi CFD tersebut terhadap jumlah total elemen kurang dari 2% sehingga waktu iterasi yang dihasilkan dapat relatif minimum. Selain dari jumlah total elemen, waktu iterasi juga dipengaruhi oleh spesifikasi komputer yang digunakan.

*Grid Independence* yang telah dilakukan pada model uji simulasi kekentalan murni dilakukan pada kecepatan 24 knot untuk *drag force* pada *foil* belakang dan *strut*. Apabila model uji berubah maka *grid independence* harus dilakukan lagi. Pada simulasi ini untuk pemilihan *foil* belakang terdapat variasi tipe NACA 64A212 dan NACA 21021 serta variasi aspek rasio 6.67; 5; dan 4. Sedangkan untuk pemilihan *strut* terdapat variasi tipe NACA 0010 dan NACA 63012. Hasil perubahan hambatan terhadap jumlah elemen untuk

*foil* belakang dari NACA 64A212 aspek rasio 6.67 disajikan pada Tabel 4. 4 berikut ini. Hasil *grid independence* dari *foil* belakang dan *strut* dari variasi tipe NACA dan aspek rasio dapat dilihat pada Lampiran I.

**Tabel 4. 4** *Grid Independence* NACA 64A212 Aspek Rasio 6.67

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	486,243	11321.3	
2	975,329	9692.2	16.81
3	1,915,280	8463.8	14.51
4	3,765,262	8070.3	4.88
5	7,732,874	8009.0	0.77



**Gambar 4. 20** *Grid Independence* NACA 64A212 Aspek Rasio 6.67

Gambar 4. 20 merepresentasikan hasil *grid independence* dimana pemilihan jumlah total elemen yang digunakan untuk simulasi CFD. Dari grafik *grid independence* tersebut dipilih model 4 dengan jumlah total elemen sebesar 3.504.097 untuk dilakukan simulasi kekentalan murni.

Kemudian untuk simulasi *free surface* terdapat dua model uji yaitu kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang. Simulasi dilakukan pada kecepatan 14 knot untuk hambatan total kapal sebagai parameter hasil uji. Hasil perubahan hambatan total dari kedua model uji terhadap jumlah elemen disajikan pada Tabel 4. 5 dan Tabel 4. 6 berikut ini.

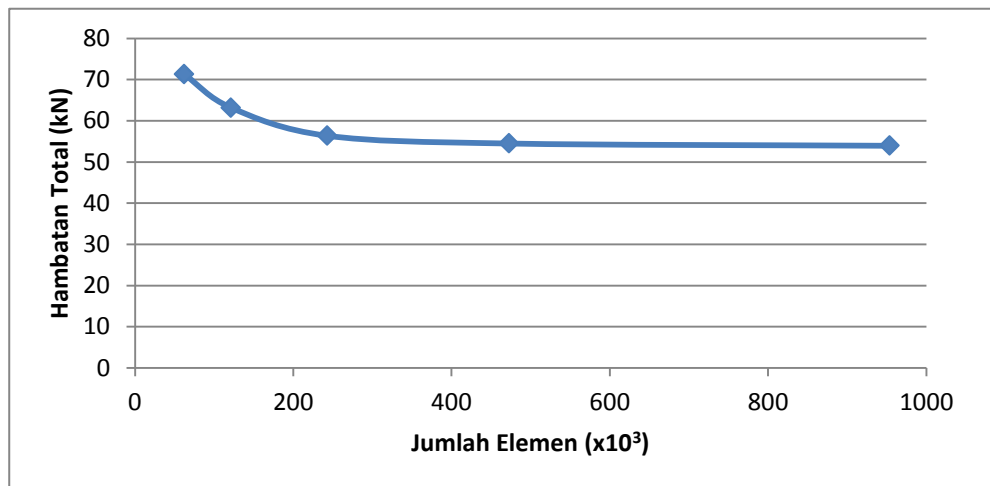
**Tabel 4. 5** *Grid Independence* Kapal Tanpa *Foil* Belakang

No.	Jumlah Elemen	Hambatan Total (kN)	Selisih Hambatan (%)
1	62060	71.30	
2	121437	63.17	12.87
3	243188	56.35	12.10
4	472787	54.48	3.44
5	953631	53.93	1.01

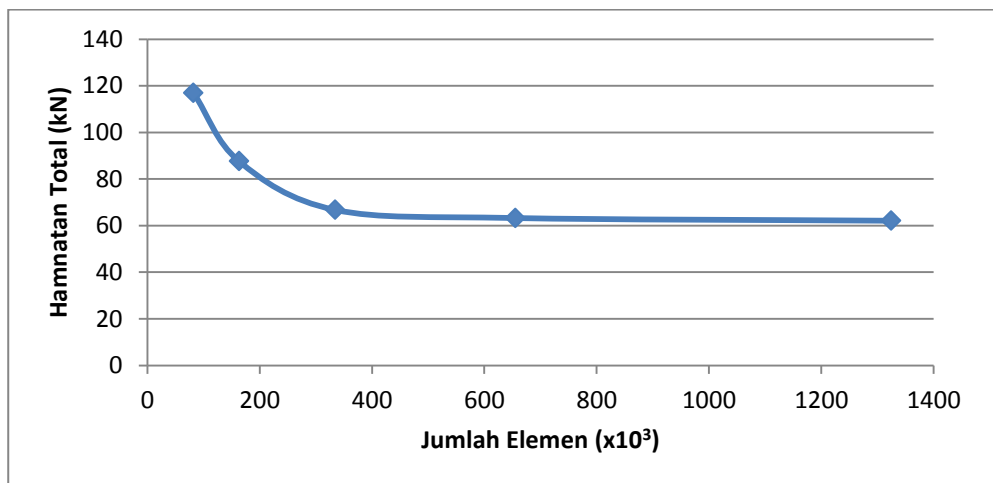


**Tabel 4. 6** *Grid Independence* Kapal Dengan *Foil* Belakang

No.	Jumlah Elemen	Hambatan Total (kN)	Selisih Hambatan (%)
1	82117	116.96	
2	163181	87.63	33.48
3	334373	66.75	31.28
4	655350	63.26	5.52
5	1324760	62.10	1.87



**Gambar 4. 21** *Grid Independence* Kapal Tanpa *Foil* Belakang



**Gambar 4. 22** *Grid Independence* Kapal Dengan *Foil* Belakang

Gambar 4. 21 dan Gambar 4. 22 merepresentasikan hasil *grid independence* dimana pemilihan jumlah total elemen yang digunakan untuk simulasi CFD. Dari grafik *grid independence* tersebut dipilih model 4 dimana untuk kapal tanpa *foil* belakang dengan jumlah total elemen sebesar 472.787 dan kapal dengan *foil* belakang dengan jumlah total elemen sebesar 655.350. Total elemen tersebut dilakukan simulasi *free surface* untuk kedua model uji tersebut.

Selain *grid independence*, yang perlu diperhatikan dalam proses simulasi CFD adalah hukum kontinuitas dimana *massflow* pada sisi *inlet* harus memiliki nilai yang sama pada sisi *outlet*. Hukum kontinuitas menjelaskan bahwa massa fluida yang masuk ke dalam suatu penampang akan keluar di ujung penampang lain dengan massa yang sama. Maka massa fluida yang bergerak tidak berubah ketika mengalir (Young & Freedman, 2002). Dalam simulasi ini telah dilakukan pengecekan untuk memastikan bahwa hukum kontinuitas telah terpenuhi, yaitu sebagai contoh pada simulasi kekentalan murni *massflow* pada *inlet* dan *outlet* berturut-turut adalah  $1,46 \cdot 10^6$  kg/s dan  $-1,46 \cdot 10^6$  kg/s. Tanda minus merupakan tanda bahwa arah aliran fluida tersebut keluar.

Kapasitas komputer sangat memengaruhi lama durasi dalam proses *running* yang terjadi pada setiap simulasi. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut.

System	
Rating:	4,0 Windows Experience Index
Processor:	Intel(R) Core(TM) i5 CPU 650 @ 3.20GHz 3.33 GHz
Installed memory (RAM):	4,00 GB (3,87 GB usable)
System type:	64-bit Operating System
Pen and Touch:	No Pen or Touch Input is available for this Display

**Gambar 4. 23** Spesifikasi Komputer dalam Simulasi CFD

Pada simulasi kekentalan murni dengan total iterasi 49 (maksimum iterasi 100) mencapai durasi waktu 18 menit, dan pada simulasi *free surface* dengan total iterasi 501 (maksimum iterasi 800) mencapai durasi waktu 5 jam 49 menit.

## BAB V

### PENGUJIAN HAMBATAN DI TOWING TANK

Pada pengujian eksperimental ini model kapal telah ada dan telah dilakukan pengujian hambatan di *towing tank* oleh PT. Orela Shipyard dengan panjang keseluruhan ( $L_{OA}$ ) 40.0 m (dengan skala 1:40 dari kapal sesungguhnya) terbuat dari bahan *fibreglass reinforced plastics* (FRP) yang dilapisi cat dan resin.

Percobaan model kapal tanpa menggunakan *foil* belakang dilakukan pada tanggal 4 sampai 8 Agustus 2015 dan percobaan model kapal dengan menggunakan *foil* belakang dilakukan pada tanggal 11 Mei 2016 di Laboratorium Hidrodinamika, Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Data utama kapal dan model diperlihatkan pada Tabel 5. 1.

**Tabel 5. 1** Data Utama Kapal

Dimensi Utama	Kapal	Model
LOA	40.00 m	1000.0 mm
LPP	39.90 m	997.5 mm
B	8.00 m	200.0 mm
H	4.40 m	110.0 mm
T	1.70 m	42.5 mm
WSA	287.24 m <sup>2</sup>	0.1795 m <sup>2</sup>
<i>Displacement</i>	242.716 ton	3.7924 kg

Model kapal tanpa menggunakan *foil* belakang yang diuji dapat dilihat pada Gambar 5. 1 sampai Gambar 5. 3 yang memperlihatkan posisi model pada berbagai sisi sebelum pengujian dilakukan.



**Gambar 5. 1** Pandangan Dari Samping Model Kapal Tanpa *Foil* Belakang



**Gambar 5. 2** Model Kapal Tanpa *Foil* Belakang Dilihat Dari Depan



**Gambar 5. 3** Model Kapal Tanpa *Foil* Belakang Dilihat Dari Belakang

*Foil* belakang yang digunakan dalam pengujian eksperimental ini adalah tipe *foil* yang memiliki perbandingan *lift* dan *drag* yang paling maksimum dari berbagai tipe *foil* yang telah dijelaskan pada subbab 4.1.2. Sedangkan pemilihan *strut* berdasarkan *drag* yang paling minimum. *Lift* dan *drag* didapatkan dari simulasi CFD yang telah dijelaskan pada bab 4. *Foil* belakang ini diletakkan di bawah transom, dengan posisi *leading edge* dari *foil* belakang tepat di transom kapal.



**Gambar 5. 4** Pandangan Dari Samping Model Kapal Dengan *Foil* Belakang



**Gambar 5. 5** Pandangan Dari Belakang Model Kapal Dengan *Foil* Belakang

### 5.1 Prosedur Percobaan

Percobaan model kapal dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS dengan ukuran tangki percobaan sebagai berikut:

Panjang	: 50 meter	Lebar	: 3 meter
Dalam	: 2 meter	Sarat	: 1.8 meter

Kereta penarik model kapal menggunakan 4 buah motor listrik linier yang memungkinkan dicapainya kecepatan konstan yang diinginkan dengan waktu yang relatif singkat sehingga tersedia waktu pengukuran yang cukup sebelum kereta berhenti pada ujung tangki atau kolam. Selama percobaan, model kapal ditarik oleh kereta dengan mempergunakan poros vertikal yang dilengkapi *load cell*, dimana *load cell* inilah yang mengukur besarnya *force* atau hambatan model kapal. *Load cell* dihubungkan ke penguat tegangan sebelum masuk ke jaringan komputer di dalam ruang kontrol.

Percobaan ini dilakukan dalam kondisi air tenang (*calm water condition*) dan selama percobaan model kapal dapat melakukan gerakan mengangguk (*heaving* dan *pitching*) secara bebas tetapi terbatas. Percobaan tarik ini dilakukan pada beberapa kecepatan (14 sampai 24 knots) sehingga dapat diperoleh grafik hubungan antara tenaga kuda efektif (EHP) dan kecepatan kapal (knots).

## 5.2 Faktor Korelasi dan Sifat-Sifat Fisik

Percobaan model dan analisisnya dilakukan menurut metode Froude, yaitu hambatan total dibagi atas hambatan gesek dan hambatan sisa ( $R_T = R_F + R_R$ ). Panjang garis air ( $L_{WL}$ ) adalah panjang yang digunakan untuk bilangan Reynolds maupun bilangan Froude.

Koefisien hambatan gesek dihitung dengan garis korelasi ITTC-1957 yang ditetapkan di Madrid, Spanyol.

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

dengan faktor kekasaran (*correlation allowance*)  $C_A = 0.0004$ .

Analisis hasil percobaan didasarkan pada sifat-sifat fisik berikut:

Percepatan gravitasi, $g = 9.81 \text{ m/det}^2$ .
Density air laut, $\rho = 1022.25 \text{ kg/m}^3$
Viskositas kinematis air laut, $\nu = 0.8847 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$
Density air tawar, $\rho = 996.45 \text{ kg/m}^3$
Viskositas kinematis air tawar, $\nu = 0.85409 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$

## 5.3 Analisis Percobaan Secara Elementer

Perubahan harga-harga yang diperoleh pada percobaan model ke harga yang sebenarnya pada kapal digunakan formula seperti tersebut di bawah ini:

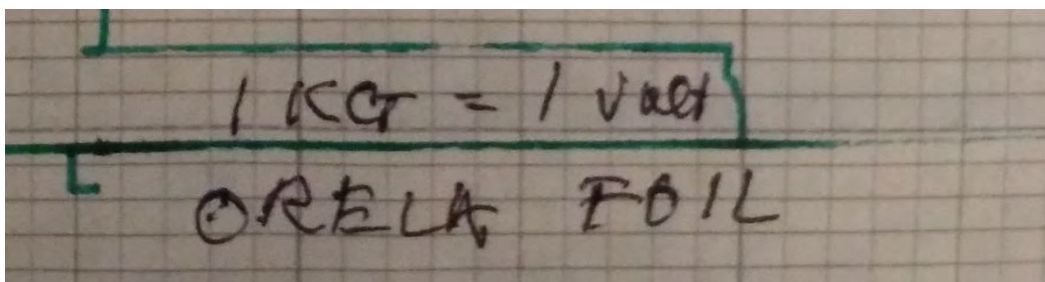
Kecepatan Kapal  $V_K = V_M \lambda^{0.5}$

Tenaga Kuda Efektif  $EHP = R_{TK} V_K$

Indeks “m” adalah untuk **model** dan “k” adalah untuk **kapal**

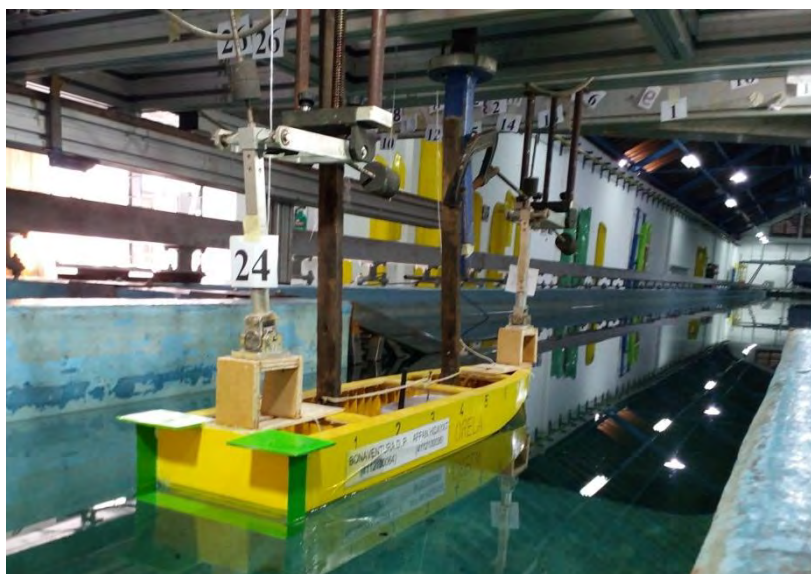
#### 5.4 Pengujian Model di Towing Tank

Setelah pembuatan dan pemasangan dari *foil* belakang dan strut ke model kapal telah selesai, maka pengujian hambatan di towing tank siap dilaksanakan. Langkah awal dari pengujian towing tank adalah melakukan kalibrasi. Dimana proses kalibrasi untuk hambatan dengan memberikan beban pada *loadcell* sebesar 1 kg. Hasil dari proses kalibrasi dapat terlihat pada *strip chart* Gambar 5. 6.

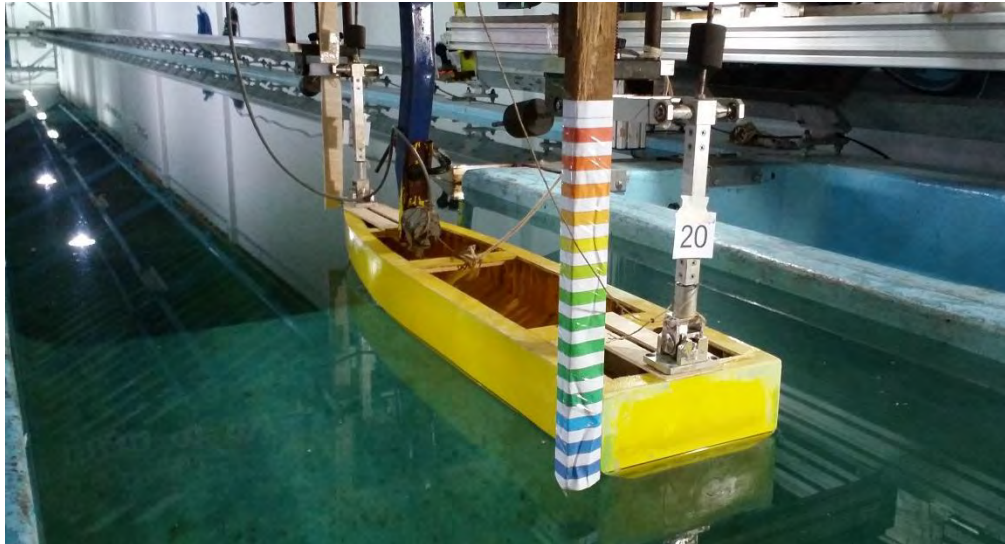


**Gambar 5. 6** Hasil Kalibrasi Kapal dengan *Foil* Belakang Pada *Strip Chart*

Dari gambar menunjukkan bahwa dengan beban sebesar 1 kg dan tegangan 1 volt didapatkan simpangan rata-rata sebesar 15 unit kotak. Sehingga beban tiap unit kotak yaitu 0.067 kg. Hasil kalibrasi ini menentukan hasil hambatan yang akan dilakukan. Setelah proses kalibrasi selesai, pengujian hambatan di *towing tank* dapat dilakukan. Berikut merupakan rangkaian proses pengujian hambatan di *towing tank* pada kapal dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang.



**Gambar 5. 7** Pengujian Hambatan Kapal Orela Dengan Menggunakan *Foil* Belakang



**Gambar 5. 8** Pengujian Hambatan Kapal Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang

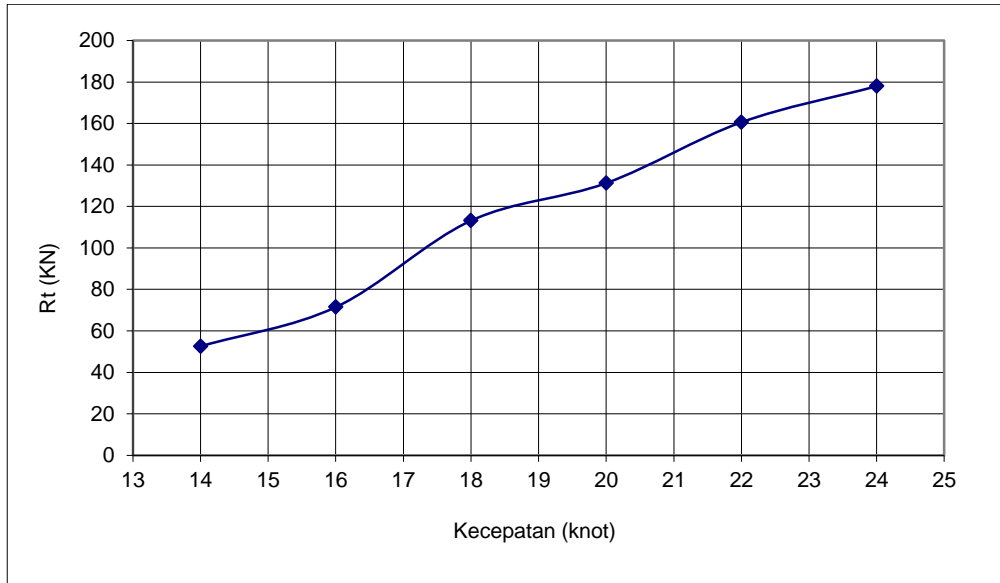
### 5.5 Hasil Pengujian Model Kapal Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang

Model diuji pada kondisi perairan tenang dimana hasil akhir estimasi tenaga penggerak adalah berupa besaran EHP (*effective horse power*). Untuk mengetahui besarnya ukuran mesin (BHP) maka hasil pengukuran harus dikoreksi dengan menyertakan koreksi efisiensi badan kapal, poros propeller, propeller, kemudi, dan lain-lain.

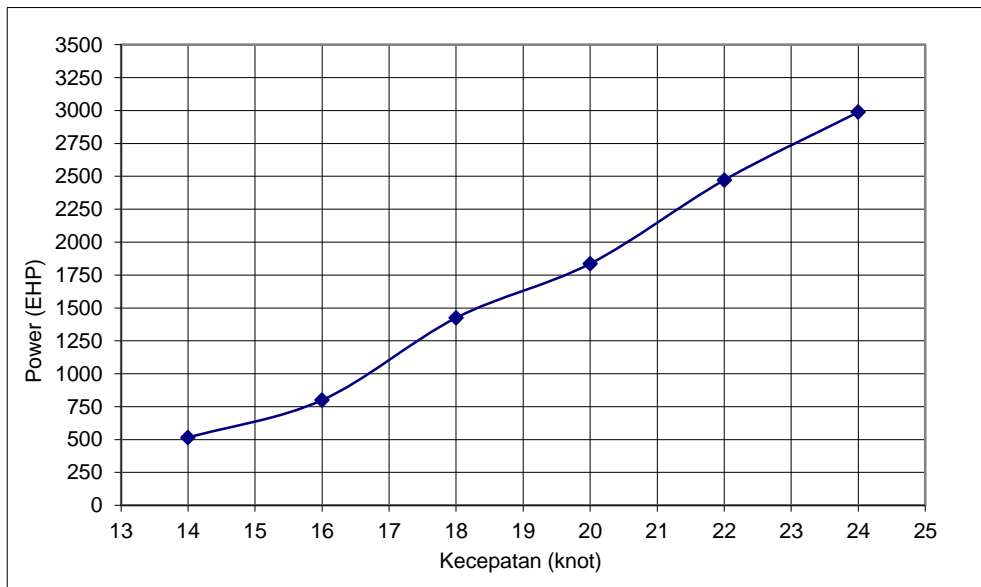
**Tabel 5. 2** Hubungan Kecepatan dengan  $R_T$  dan EHP Kapal Tanpa *Foil* Belakang  
(Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015)

MODEL							
Run ke-	V(m/s)	$R_T$ (kg)	$Re$ ( $\times 10^6$ )	$C_T(\times 10^{-3})$	$C_F(\times 10^{-3})$	$C_R(\times 10^{-3})$	$F_n$
1	1.139	0.108	1.330	9.145	4.410	4.735	0.364
2	1.301	0.144	1.520	9.335	4.289	5.047	0.416
3	1.464	0.216	1.710	11.064	4.186	6.878	0.467
4	1.627	0.252	1.900	10.456	4.097	6.359	0.519
5	1.789	0.306	2.090	10.493	4.019	6.474	0.571
6	1.952	0.342	2.220	9.854	3.949	5.905	0.623

KAPAL						
Run ke-	V(knots)	$Re$ ( $\times 10^8$ )	$C_F(\times 10^{-3})$	$C_T(\times 10^{-3})$	$R_T$ (KN)	$P_E$ (EHP)
1	14	3.243	1.769	6.904	52.568	514.855
2	16	3.707	1.738	7.185	71.453	799.800
3	18	4.170	1.711	8.990	113.153	1424.880
4	20	4.634	1.688	8.447	131.259	1836.530
5	22	5.097	1.667	8.541	160.598	2471.737
6	24	5.560	1.648	7.953	177.970	2988.115



**Gambar 5. 9** Hubungan Kecepatan dengan Hambatan Kapal Tanpa *Foil* Belakang  
(Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015)



**Gambar 5. 10** Hubungan Kecepatan dengan Power (EHP) Kapal Tanpa *Foil* Belakang  
(Laboratorium Hidrodinamika ITS, 2015)

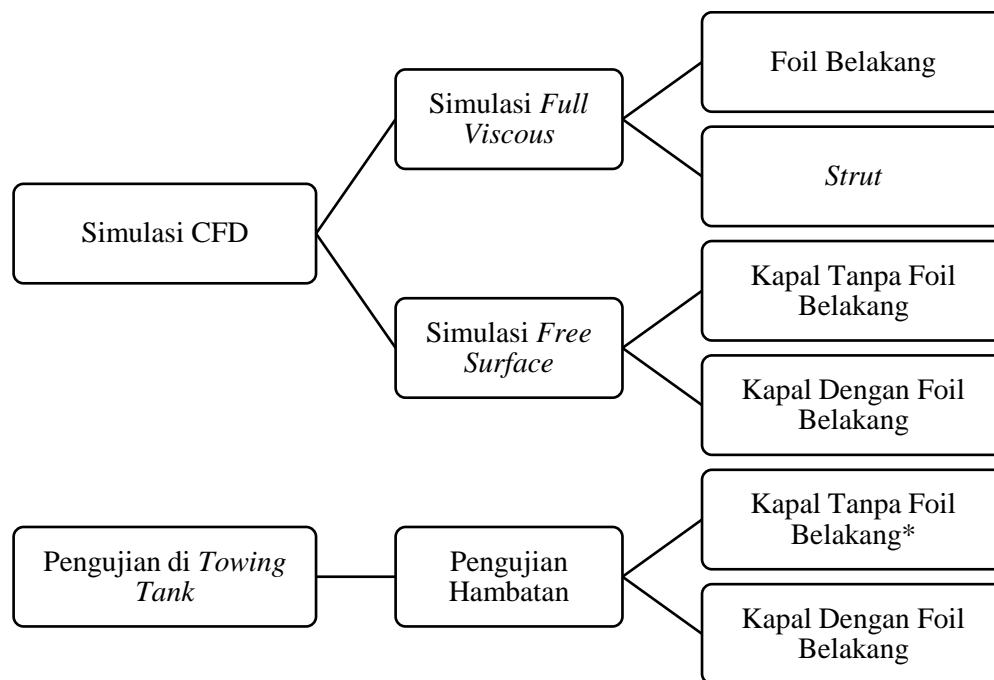


# BAB VI

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 6.1 Pendahuluan

Setelah melakukan proses simulasi CFD dan pengujian hambatan di *towing tank*, maka pada bab ini akan membahas mengenai hasil-hasil dari proses simulasi dan pengujian tersebut. Dari proses simulasi CFD akan mendapatkan nilai hambatan total. Hasil simulasi CFD tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengujian hambatan di *towing tank*.



\*Eksperimen model kapal tanpa menggunakan *foil* telah dilakukan

**Gambar 6. 1** Proses Simulasi CFD dan Pengujian di *Towing Tank*

### 6.2 Kapal Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang

Dari hasil simulasi *free surface* di Ansys-CFD, maka akan mendapatkan hasil hambatan total dari kapal uji. Selain menggunakan *software* Ansys-CFD, kapal tanpa menggunakan *foil* belakang yang telah dilakukan permodelan ulang menggunakan *software Maxsurf Modeler Advanced* juga dilakukan perhitungan hambatan menggunakan *software Maxsurf Resistance*. Sehingga dapat dilakukan perbandingan antara hambatan kapal tanpa *foil* belakang menggunakan *software Maxsurf Resistance*, Ansys-CFD, dan pengujian hambatan di *towing tank*. Metode yang akan digunakan pada *software Maxsurf Resistance* adalah Holtrop dan Savitsky. Dimana penentuan metode tersebut sesuai dengan persyaratan-persyaratan sebagai berikut.

Algorithm:	Requirement:			
Savitsky	3.07	<	$L/V^{1/3}$	< 12.4
(pre-planing)	3.7	<	ie	< 28.6
	2.52	<	L/B	< 18.26
	1.7	<	B/T	< 9.8
	0	<	At/Ax	< 1
	-6.56%	<	LCG/L	< 0.3%
Holtrop	0.55	<	Cp	< 0.85
	3.9	<	L/B	< 15

**Gambar 6. 2** Persyaratan Metode Untuk Perhitungan Hambatan

**Tabel 6. 1** Hasil Perhitungan Persyaratan Untuk Perhitungan Hambatan

$L/V^{1/3}$	6.41
ie	11.1
L/B	5
B/T	4.71
At/Ax	0.59
LCG/L	-0.11
Cp	0.72
L/B	5

Dimana: L = panjang dari garis air

V = volume *displacement*

ie = *half angle of entrance*

At = luas transom

Ax = Luas *maximum sectional*

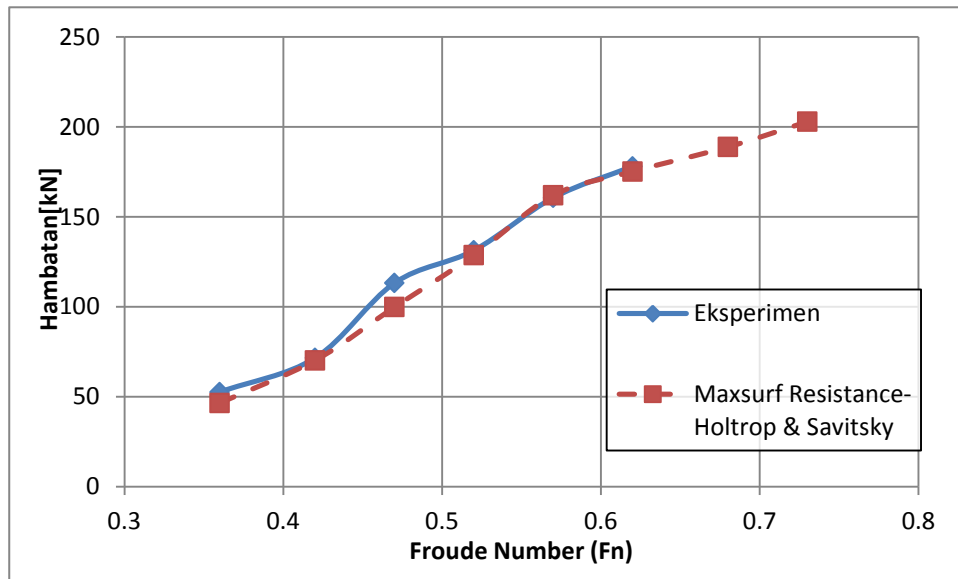
Berdasarkan Tabel 6. 1 telah sesuai dengan persyaratan-persyaratan dari kedua metode tersebut. Sehingga metode yang digunakan pada perhitungan hambatan dengan bantuan *software Maxsurf Resistance* adalah metode Holtrop dan Savitsky.

Pada simulasi numerik ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan hambatan total sampai pada kecepatan 28 knots, sedangkan pada pengujian eksperimen hanya sampai pada kecepatan 24 knots karena keterbatasan dari Laboratorium Hidrodinamika ITS. Hasil hambatan total dari *Maxsurf Resistance* akan dibandingkan dengan hasil dari uji ekperimental di *towing tank* dengan berbagai kecepatan ditampilkan pada Tabel 6. 2.

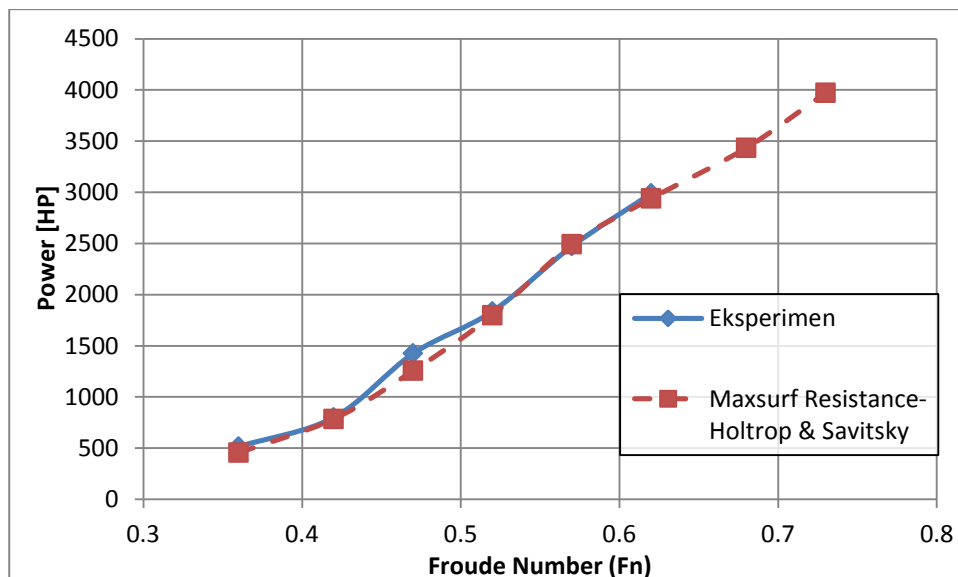
**Tabel 6. 2** Perbandingan Hambatan dan Power dari Kapal Tanpa *Foil* Belakang

Run ke-	V (knots)	Fn	Eksperimen		Maxsurf Resistance-Holtrop & Savitsky		MAPE (%)
			R <sub>T</sub> (kN)	P (HP)	R <sub>T</sub> (kN)	P (HP)	
1	14	0.36	52.6	514.9	46.5	455.30	11.6
2	16	0.42	71.5	799.8	70.2	785.54	1.8
3	18	0.47	113.2	1424.9	99.8	1256.36	11.8

Run ke-	V (knots)	Fn	Eksperimen		Maxsurf Resistance-Holtrop & Savitsky		MAPE (%)
			R <sub>T</sub> (kN)	P (HP)	R <sub>T</sub> (kN)	P (HP)	
4	20	0.52	131.3	1836.5	128.6	1798.80	2.0
5	22	0.57	160.6	2471.7	161.9	2491.05	0.8
6	24	0.62	178.0	2988.1	175.1	2939.07	1.6
7	26	0.68	-	-	188.8	3434.12	-
8	28	0.73	-	-	202.8	3972.52	-
							4.9



**Gambar 6. 3** Perbandingan Hambatan dari Kapal Tanpa *Foil* Belakang

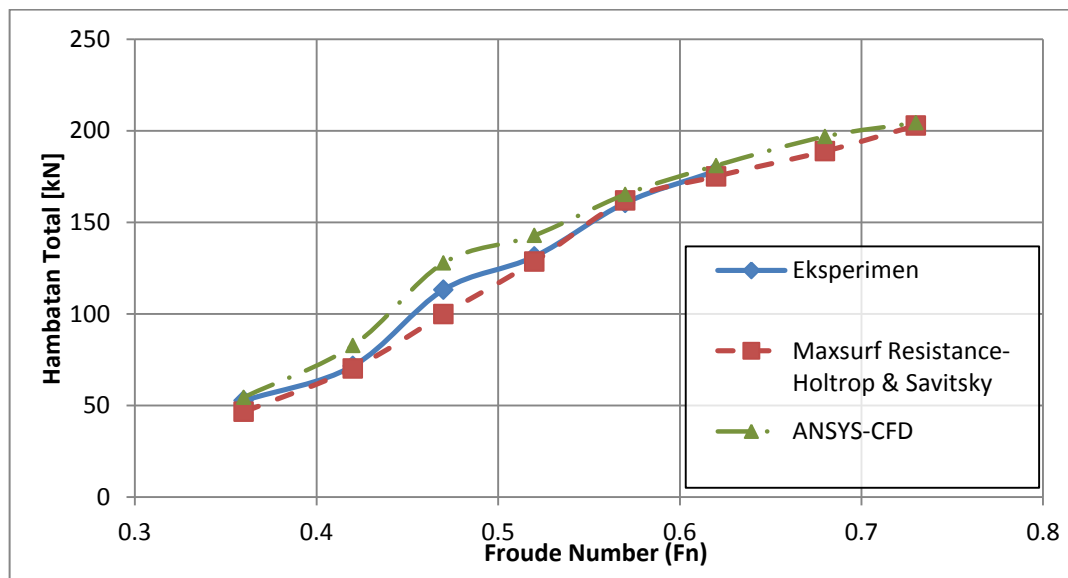


**Gambar 6. 4** Perbandingan Power dari Kapal Tanpa *Foil* Belakang

Hasil dari simulasi *free surface* dengan menggunakan Ansys-CFD pada kapal tanpa menggunakan *foil* belakang dengan variasi kecepatan adalah sebagai berikut.

**Tabel 6. 3** Perbandingan Hambatan pada Kapal Tanpa *Foil* Belakang

Run ke-	V (knots)	Fn	Hambatan Total (kN)		
			Eksperimen	Maxsurf Resistance- Holtrop & Savitsky	ANSYS-CFD
1	14	0.36	52.6	46.5	54.5
2	16	0.42	71.5	70.2	82.7
3	18	0.47	113.2	99.8	127.9
4	20	0.52	131.3	128.6	142.9
5	22	0.57	160.6	161.9	165.2
6	24	0.62	178	175.1	180.9
7	26	0.68	-	188.8	196.8
8	28	0.73	-	202.8	204.3



**Gambar 6. 5** Perbandingan Hambatan dari Kapal Tanpa *Foil* Belakang

Gambar 6. 3 menunjukkan perbandingan hambatan dari kapal tanpa *foil* belakang, dimana total selisih persentase antara simulasi dengan *maxsurf resistance* (metode holtrop dan savitsky) dan eksperimen adalah 4,9%. Namun pada simulasi menggunakan *maxsurf resistance*, pada *froude number* 0,47 (kecepatan 18 knots) fenomena *hump* tidak dapat muncul. Sedangkan (Gambar 6. 5) pada simulasi menggunakan Ansys-CFD fenomena *hump* dapat terjadi seperti pada pengujian eksperimen, yaitu pada *froude number* 0,47 (kecepatan 18 knots). Total selisih persentase antara simulasi Ansys-CFD dan eksperimen adalah 7,6%. Fenomena *hump* ini terjadi pada mode transisi antara perubahan mode *displacement* menuju mode *planning*. Dimana pada mode ini terjadi perubahan gaya angkat hidrodinamik seiring dengan bertambahnya kecepatan, sehingga berat kapal akan

disangga lebih banyak oleh gaya angkat hidrodinamik (Yousefi, Shafaghat, & Shakeri, 2013). Gaya angkat hidrodinamik ini timbul karena adanya deviasi aliran di sekitar dasar kapal bagian buritan, sehingga mengakibatkan kapal trim. Seperti pada (Kim, 2012) menganalisa performa dari kapal *planning hull*, dan menghasilkan fenomena *hump* pada *froude number* 0,5.

### 6.3 Foil Belakang

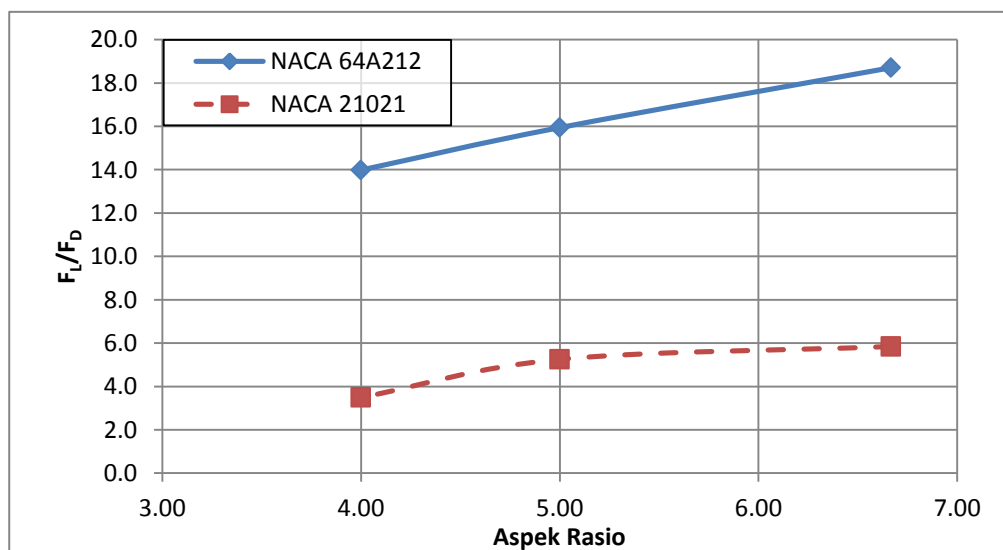
Berdasarkan subbab 3.2.2 variasi tipe NACA yang dipilih untuk *foil* belakang adalah NACA 64A212 dan NACA 21021. Dari tipe-tipe NACA tersebut dilakukan proses simulasi CFD sehingga mendapatkan hasil perbandingan *Lift* dan *Drag* dari berbagai variasi aspek rasio (*span/chord*). Hasil perbandingan *lift* dan *drag* pada NACA 64A212 dan NACA 21021 dapat dilihat pada Tabel 6. 4 dan Tabel 6. 5.

**Tabel 6. 4** Data Perbandingan *Lift* dan *Drag* Pada NACA 64A212

No	Span (meter)	Chord (meter)	Aspek Rasio	Lift (N)	Drag (N)	$F_L/F_D$
1	8	1,2	6,67	104583,0	5591,8	18,703
2	8	1,6	5,00	146405,0	9184,3	15,941
3	8	2	4,00	129883,0	9288,2	13,984

**Tabel 6. 5** Data Perbandingan *Lift* dan *Drag* Pada NACA 21021

No	Span (meter)	Chord (meter)	Aspek Rasio	Lift (N)	Drag (N)	$F_L/F_D$
1	8	1,2	6,67	50775,8	8690,7	5,843
2	8	1,6	5,00	57990,2	11043,4	5,251
3	8	2	4,00	49124,2	14066,0	3,492



**Gambar 6. 6** Hasil Perbandingan Aspek Rasio & *Lift Force/ Drag Force* pada NACA 64A212 dan NACA 21021

Dari Gambar 6. 6 dapat terlihat bahwa perbandingan *lift force/drag force* yang paling maksimum terdapat pada NACA 64A212 dengan aspek rasio 6.67 yaitu dengan ukuran *chord* 1.2 meter dan *span* 8 meter. Selisih persentase antara kedua tipe NACA tersebut yaitu pada aspek rasio 4 sebesar 75.03%; pada aspek rasio 5 sebesar 67.06%; dan pada aspek rasio 6.67 sebesar 68.76%.

Setelah mendapatkan *lift force/drag force* maksimum dari variasi aspek rasio, maka tipe dan ukuran NACA yang terpilih (NACA 64A212 dengan aspek rasio 6.67 yaitu dengan ukuran *chord* 1.2 meter dan *span* 8 meter) dilakukan simulasi CFD dengan variasi sudut serang untuk mendapatkan hasil *lift force/drag force* yang maksimum. Sehingga dapat menghindari *stall* pada sudut serang tertentu. Untuk mengetahui karakteristik *lift* dan *drag* dari masing-masing *foil* maka dilakukan perubahan menjadi koefisien *lift* dan koefisien *drag*. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CL = \frac{L}{0.5 \rho S v^2} \qquad CD = \frac{D}{0.5 \rho S v^2}$$

Dimana : L = *lift force* (N)

D = *drag force* (N)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

S = luas bidang tekan *foil* (m<sup>2</sup>)

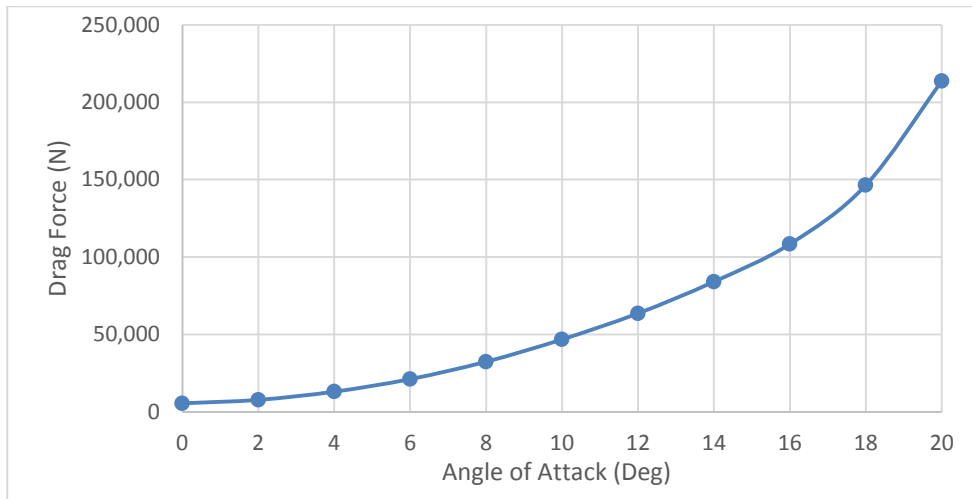
v = kecepatan *foil* (m/s)

Berikut merupakan hasil perbandingan *lift force* dan *drag force* dengan variasi sudut serang yang ditunjukkan pada Tabel 6. 6.

**Tabel 6. 6** Perbandingan Lift dan Drag dengan Variasi Sudut Serang

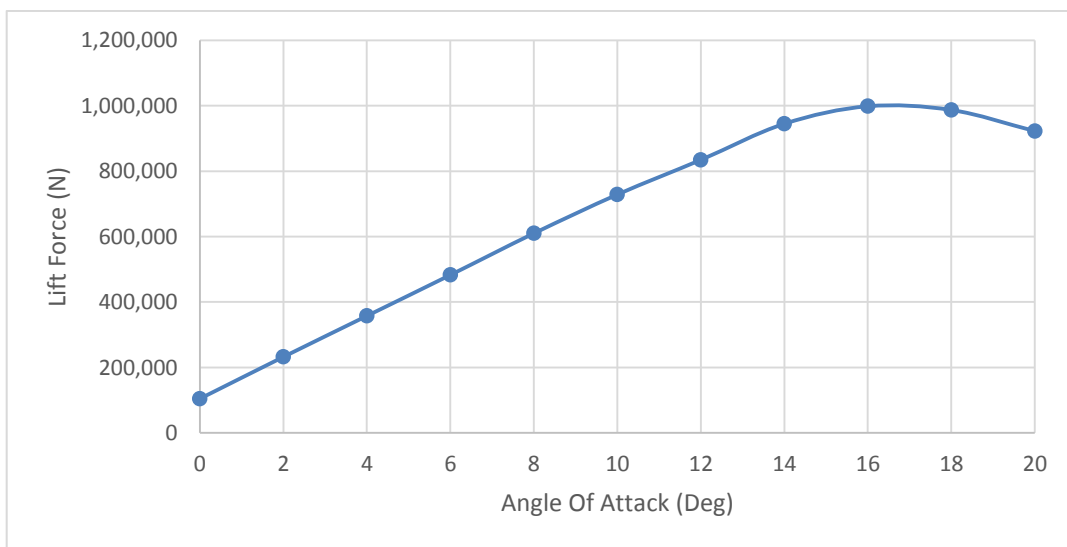
No	Sudut Serang (Deg)	Drag Force (N)	CD	Lift Force (N)	CL	F <sub>L</sub> /F <sub>D</sub>
1	0	5591,75	0,008	104583	0,143	18,70
2	2	7829,92	0,011	232281	0,319	29,67
3	4	13112,6	0,018	357528	0,490	27,27
4	6	21233,2	0,029	482677	0,662	22,73
5	8	32469,4	0,045	609838	0,837	18,78
6	10	46852	0,064	728488	0,999	15,55
7	12	63683,1	0,087	834353	1,145	13,10
8	14	84134,2	0,115	944632	1,296	11,23
9	16	108427	0,149	998231	1,369	9,21
10	18	146521	0,201	986913	1,354	6,74
11	20	213669	0,293	922527	1,265	4,32

Nilai gaya hambat (*drag force*) NACA 64A212 dengan variasi sudut serang pada Tabel 6. 6 dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 6. 7 berikut ini.



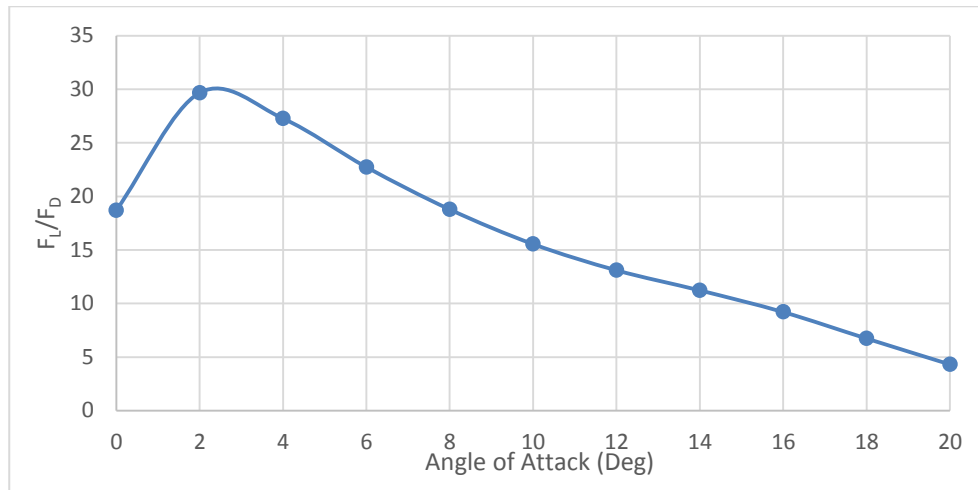
**Gambar 6. 7** Perbandingan *Drag Force* dengan Sudut Serang pada NACA 64A212

Gambar 6. 7 merepresentasikan perbedaan *drag force* yang diterima *foil* pada setiap variasi sudut serang, dimana nilai *drag force* terus bertambah dengan bertambahnya sudut serang. Nilai *drag force* terendah pada sudut  $0^0$  sebesar 5591,75 N, sedangkan *drag force* tertinggi pada sudut  $20^0$  sebesar 213.669 N.



**Gambar 6. 8** Perbandingan *Lift Force* dengan Sudut Serang pada NACA 64A212

Gambar 6. 8 merepresentasikan perbedaan *lift force* yang diterima *foil* pada setiap variasi sudut serang, dimana nilai *lift force* memiliki titik puncak yaitu pada sudut serang  $16^0$ . Nilai *lift force* terendah pada sudut  $0^0$  sebesar 104.583N, sedangkan *lift force* tertinggi pada sudut  $16^0$  sebesar 998.231 N.



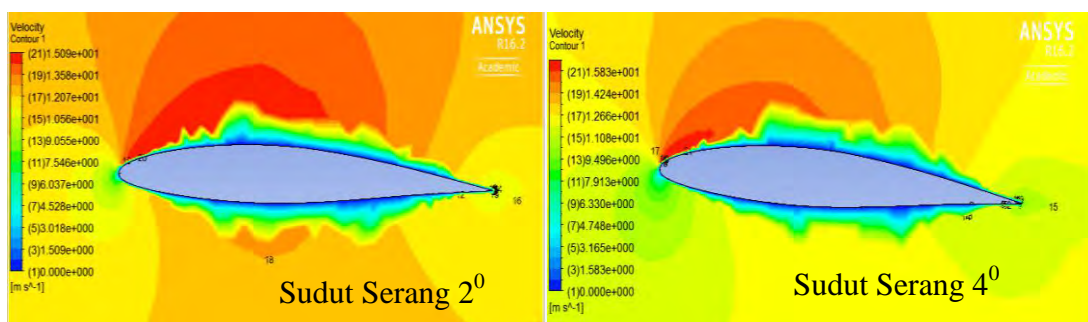
**Gambar 6. 9** Lift Force/Drag Force fungsi Sudut Serang Pada NACA 64A212

Gambar 6. 9 merepresentasikan perbedaan *lift force/drag force* yang diterima *foil* pada setiap variasi sudut serang, dimana nilai *lift force/drag force* mengalami *stall* yaitu pada sudut serang  $2^0$ . Dimulai dari sudut serang  $0^0$  sebesar 18.70; kemudian pada sudut serang  $2^0$  *lift force/drag force* maksimum sebesar 29.67; selanjutnya nilai *lift force/drag force* mulai turun pada sudut serang  $4^0$  sebesar 27.27; dan nilai *lift force/drag force* berikutnya terus menurun mengikuti bertambahnya sudut serang. Maka dari hasil *lift force/drag force* ini dapat disimpulkan tipe dan ukuran *foil* belakang yang dipilih adalah sebagai berikut:

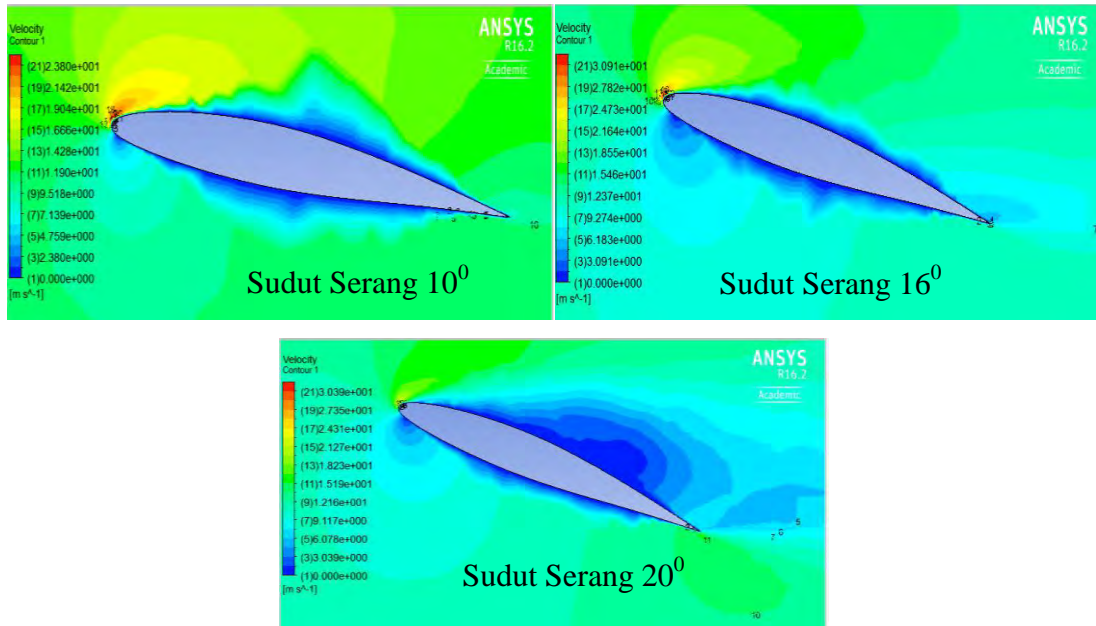
**Tabel 6. 7** Tipe dan Ukuran *Foil* Belakang

Foil Belakang	
Tipe NACA	: NACA 64A212
Aspek Rasio	: 6.67
<i>Chord</i>	: 1.2 m
<i>Span</i>	: 8 m
Sudut Serang	: $2^0$

Dari hasil simulasi CFD, dapat dilakukan visualisasi efek-efek yang terjadi pada *foil* belakang. Berikut hasil visualisasi *foil* belakang dengan menggunakan CFX-Post.



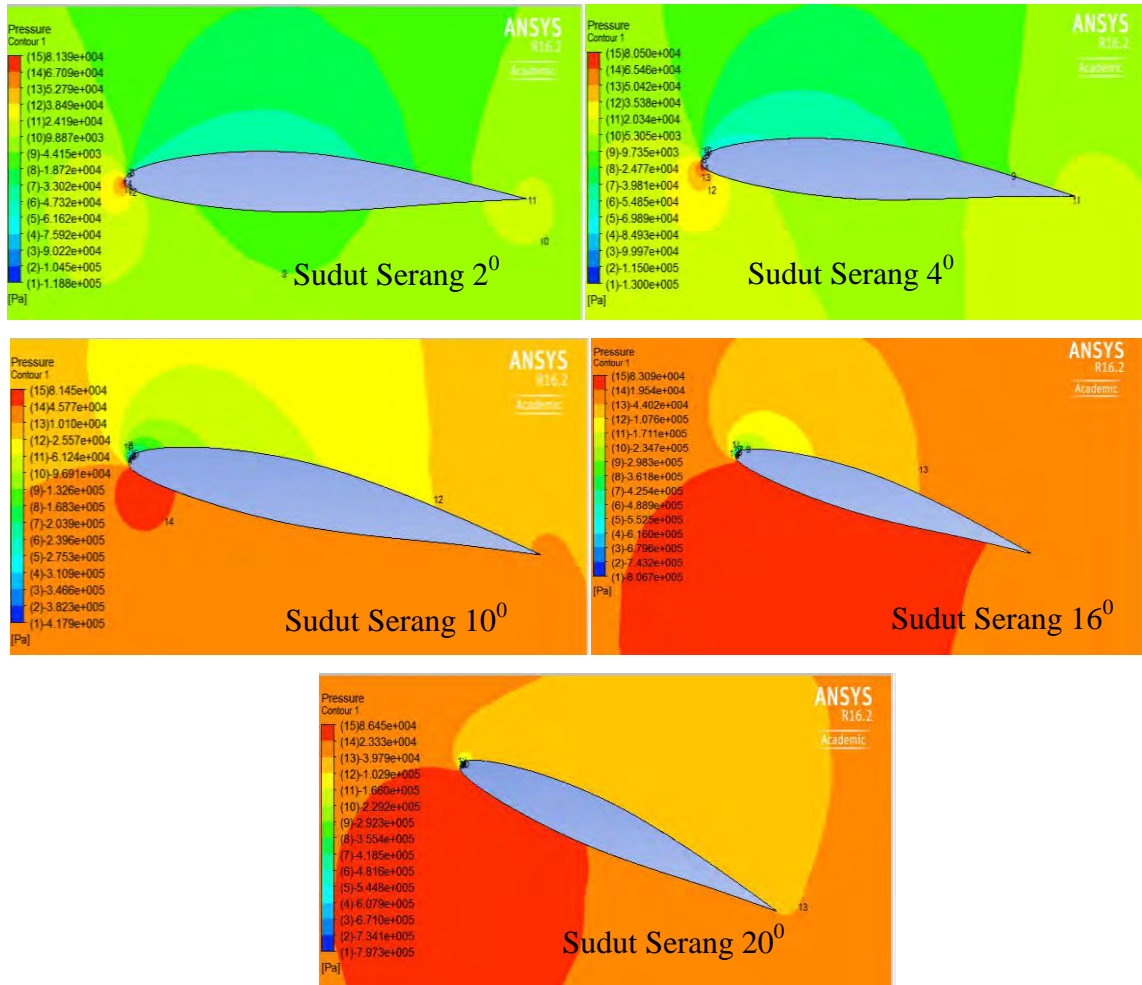




**Gambar 6. 10** Visualisasi Kontur Kecepatan dari *Foil* Belakang pada Simulasi Kekentalan Murni

Dari Gambar 6. 10 dapat terlihat kontur kecepatan dalam berbagai sudut serang *foil* belakang. Perbedaan warna kontur biru, hijau, kuning, dan merah menunjukkan bahwa adanya perbedaan kecepatan yang terjadi, dimana semakin berwarna merah menunjukkan kecepatan yang semakin cepat. Sesuai dengan persamaan Bernaulli, peningkatan kecepatan aliran fluida terjadi bersamaan dengan penurunan tekanan yang terjadi pada bagian atas *foil*. Seperti pada sudut serang  $2^0$  pada bagian atas *foil* terjadi peningkatan kecepatan dengan kontur semakin berwarna merah, dan dengan bertambahnya sudut serang maka kecepatan pada bagian atas *foil* semakin berkurang dengan terbukti pada sudut serang  $20^0$  kontur kecepatan bagian atas *foil* semakin berwarna biru. Sebaliknya pada bagian bawah *foil* terjadi penurunan kecepatan seperti pada sudut serang  $2^0$  pada bagian bawah *foil* berwarna oranye, dan dengan bertambahnya sudut serang maka kecepatan pada bagian bawah *foil* semakin berkurang dengan terbukti pada sudut serang  $20^0$  kontur kecepatan bagian bawah *foil* semakin berwarna biru muda. Dengan adanya perbedaan kecepatan ini maka akan menimbulkan gaya angkat. Gaya angkat tertinggi terdapat pada sudut serang  $16^0$  terbukti pada area bawah *foil* semakin berwarna biru.

Dari Gambar 6. 11 dapat terlihat kontur tekanan yang terjadi pada daerah sekitar *foil*. Seperti penjelasan sebelumnya, pada Gambar 6. 11 lebih terlihat gaya angkat yang terjadi pada area sekitar *foil*, dan lebih terlihat pada sudut serang berapa *foil* mengalami *stall*.



**Gambar 6. 11** Visualisasi Kontur Tekanan dari *Foil* Belakang pada Simulasi Kekentalan Murni

Gambar 6. 11 menunjukkan perbedaan warna kontur biru muda, hijau, kuning, dan merah menunjukkan bahwa adanya perbedaan tekanan yang terjadi, dimana semakin berwarna merah menunjukkan tekanan yang semakin tinggi. Seperti sudut serang  $2^{\circ}$  pada bagian bawah *foil* kontur tekanan berwarna hijau, dan dengan bertambahnya sudut serang maka tekanan pada bagian bawah *foil* semakin bertambah dengan terbukti pada sudut serang  $16^{\circ}$  kontur kecepatan bagian atas *foil* semakin berwarna merah. Dan pada sudut serang  $20^{\circ}$  area kontur yang berwarna merah mulai berkurang, ini membuktikan bahwa gaya angkat (*lift force*) yang terjadi mulai berkurang. Maka pada sudut serang  $16^{\circ}$  merupakan titik *stall*. Penambahan sudut serang ini tidak hanya meningkatkan gaya angkat pada *foil* melainkan juga dapat menambah hambatan. Maka diperlukan perbandingan antara *lift* dan *drag*, sehingga dapat menghasilkan sudut serang *foil* yang paling optimum.

#### 6.4 Strut

Berdasarkan subbab 4.1.2 tipe NACA yang digunakan untuk *strut* adalah antara NACA 63012 dan NACA 0010. Pemilihan *strut* ini dipilih berdasarkan hambatan yang paling minimum. Dengan menggunakan Ansys-CFD dilakukan simulasi *full viscous* sehingga dapat mengetahui besarnya nilai hambatan yang terjadi pada *strut*. Berikut Tabel 6. 8 merupakan hasil hambatan *strut* pada variasi tipe *foil* pada kecepatan 24 knots.

**Tabel 6. 8** Perbandingan Drag Pada Variasi Tipe *Foil*

<b>Tipe Foil</b>	<b>Drag Force (N)</b>	<b>CD</b>
NACA 63012	900,80	0,0099
NACA 0010	828,198	0,0091

Dari Tabel 6. 8 dapat terlihat bahwa nilai koefisien *drag* minimum terdapat pada tipe *foil* NACA 0010 yaitu sebesar 0.0091 dan nilai *drag force* sebesar 828.198 N. Selisih persentase *drag force* dari kedua tipe *foil* tersebut adalah 8.4%. Maka dari hasil simulasi CFD ini dapat disimpulkan tipe dan ukuran *strut* yang dipilih adalah sebagai berikut:

**Tabel 6. 9** Tipe dan Ukuran *Strut*

<b>Strut</b>	
Tipe NACA	: NACA 0010
<i>Chord</i>	: 1.2 m
<i>Span</i>	: 4.15 m
Sudut Serang	: 0 <sup>0</sup>

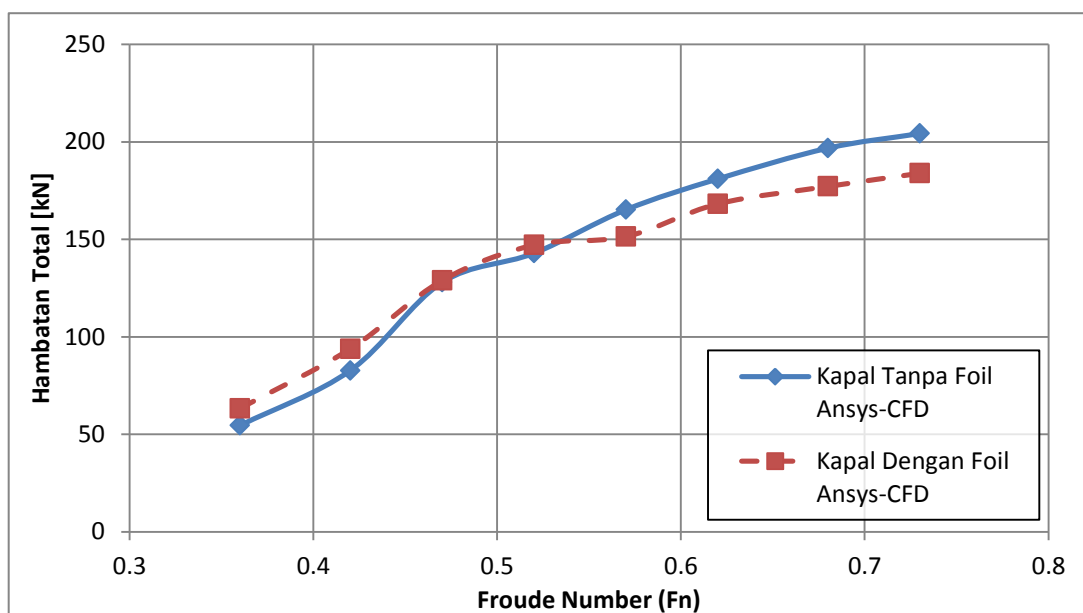
#### 6.5 Kapal Dengan Menggunakan *Foil* Belakang

Setelah mendapatkan tipe NACA untuk *foil* belakang dan *strut*, maka permodelan kapal orela akan di-merged dengan *foil* belakang dan *strut* yang telah terpilih. Dari hasil simulasi *free surface* di Ansys-CFD, maka akan mendapatkan hasil hambatan total dari kapal uji. Hasil hambatan total dari Ansys-CFD dengan berbagai kecepatan ditampilkan pada Tabel 6. 10.

**Tabel 6. 10** Perbandingan Hambatan Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan *Foil* Belakang

Run ke-	V (knots)	Fn	Hambatan Total (kN)		
			Kapal Tanpa <i>Foil</i>		Kapal Dengan <i>Foil</i>
			Eksperimen	ANSYS-CFD	ANSYS-CFD
1	14	0.36	52.6	54.5	63.3
2	16	0.42	71.5	82.7	93.8
3	18	0.47	113.2	127.9	128.9
4	20	0.52	131.3	142.9	147.1
5	22	0.57	160.6	165.2	151.4
6	24	0.62	178.0	181.0	168.2
7	26	0.68	-	196.8	177.2
8	28	0.73	-	204.3	183.9

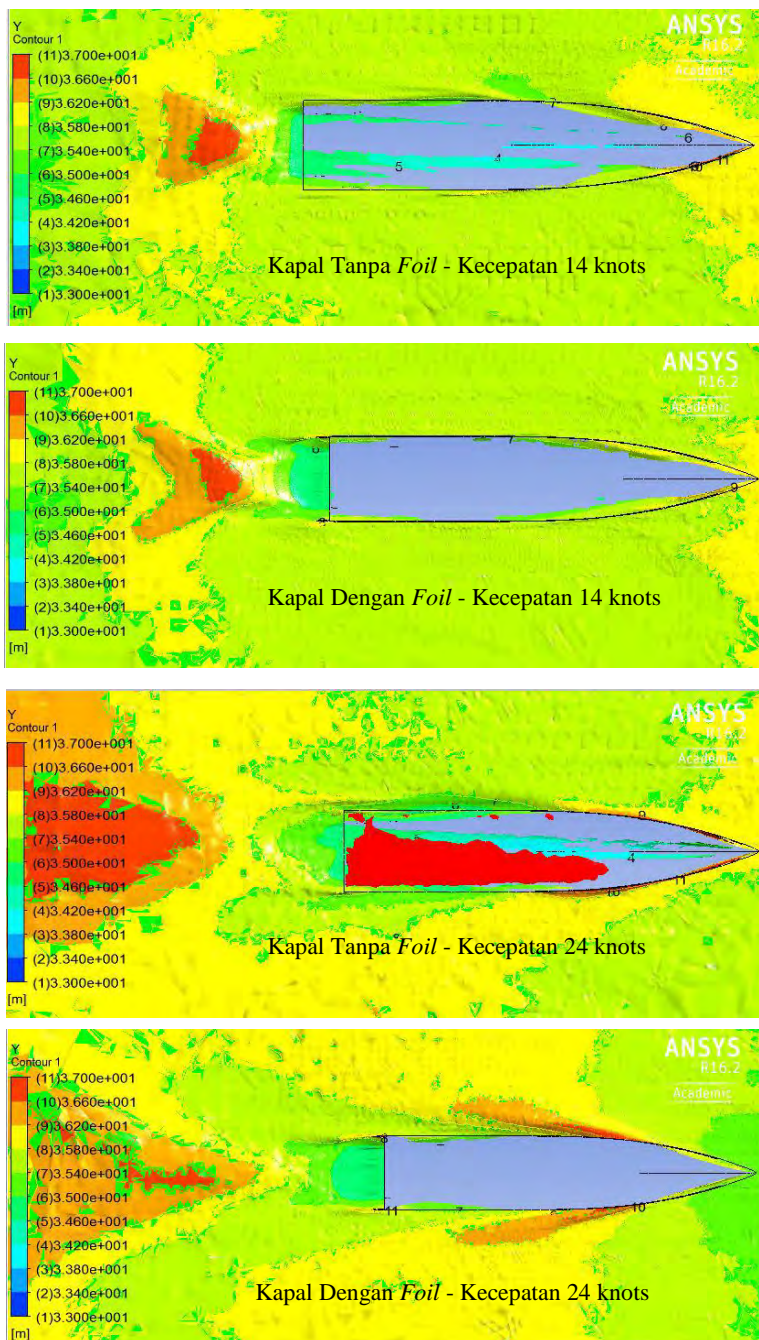
Nilai hambatan total dari kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang dengan variasi kecepatan pada Tabel 6. 10 dapat disajikan dalam bentuk Gambar 6. 12 seperti pada berikut ini.



**Gambar 6. 12** Perbandingan Hambatan Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan *Foil* Belakang Secara Numerik

Gambar 6. 12 merepresentasikan perbandingan hambatan total kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang secara numerik, dimana akibat dari pemasangan *foil* belakang pada *froude number* 0,36 sampai 0,52 (kecepatan 14 sampai 20 knots) hambatan kapal bertambah, namun pada *froude number* 0,57 dan 0,62 (kecepatan 22 dan 24 knots) hambatan kapal mulai mengalami penurunan. Melalui simulasi numerik nilai persentase

pertambahan hambatan pada *froude number* 0,36 (kecepatan 14 knots) yaitu 16,1%; dan nilai persentase ini terus berkurang sampai pada *froude number* 0,52 (kecepatan 20 knots) yaitu 2,9%. Sedangkan nilai persentase penurunan hambatan pada *froude number* 0,57 dan 0,62 (kecepatan 22 dan 24 knots) berturut-turut yaitu 8,4% dan 7,1%. Kemudian nilai persentase ini terus berkurang semakin besar sampai pada *froude number* 0,72 (kecepatan 28 knots) yaitu sebesar 10%. Perubahan hambatan ini dipengaruhi oleh gaya angkat yang

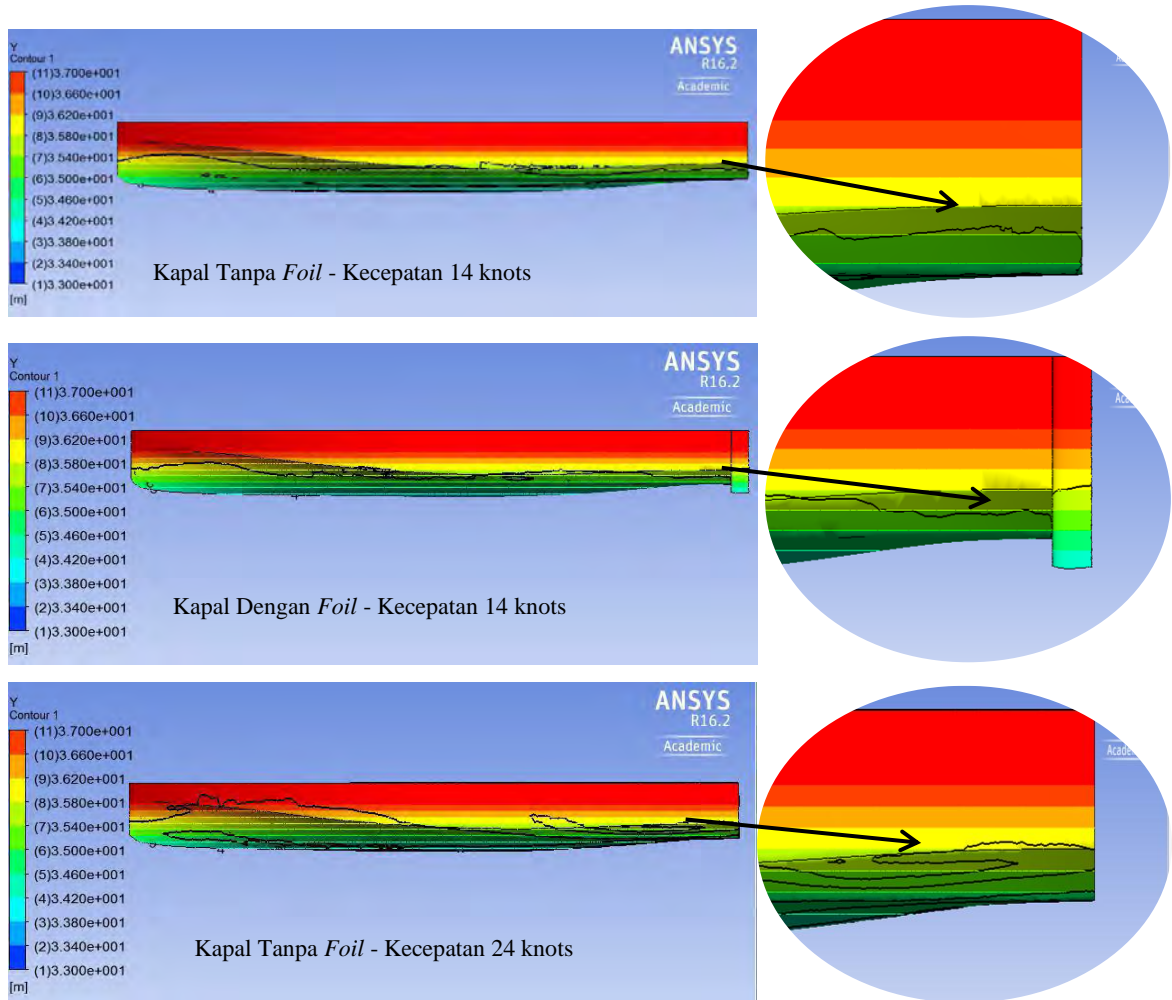


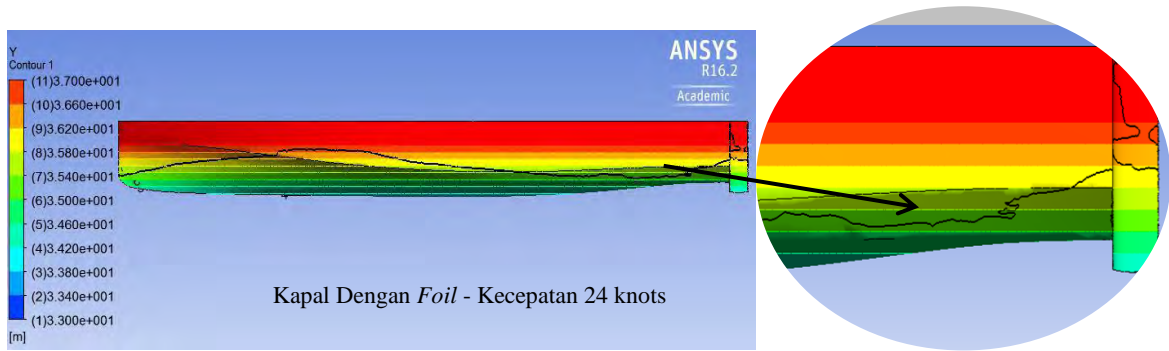
**Gambar 6. 13** *Wave Patern* dari Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan *Foil* Belakang

terjadi pada *foil* belakang, dimana pada kecepatan rendah gaya angkat kapal belum dapat mengangkat *displacement* kapal, sedangkan pada kecepatan tinggi gaya angkat telah dapat mengurangi *displacement* kapal sehingga luas permukaan badan kapal yang tercelup dalam air dapat berkurang.

Dari hasil simulasi CFD, dapat dilakukan visualisasi efek-efek yang terjadi pada kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang. Berikut hasil visualisasi perbedaan kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang dengan menggunakan CFX-Post, dimana nilai kontur antara masing-masing kecepatan telah disamakan, sehingga dapat dilakukan proses perbandingan.

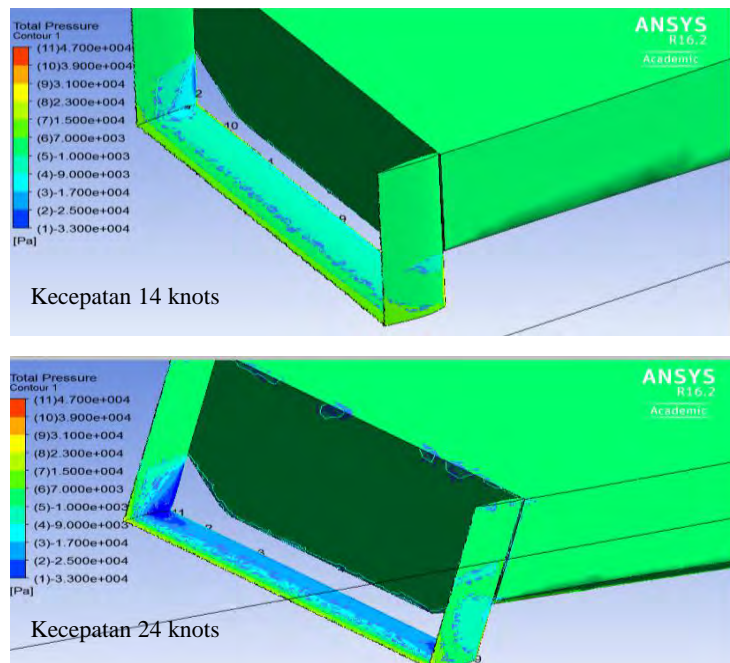
Dari Gambar 6. 13 menunjukkan perbedaan warna kontur biru, hijau, kuning, dan merah menunjukkan bahwa adanya perbedaan ketinggian air yang terjadi, dimana semakin berwarna merah menunjukkan ketinggian air yang semakin tinggi. Bertambahnya kecepatan kapal dengan pemasangan *foil* belakang, gelombang buritan kapal dapat berkurang, seperti *bulbous bow* mengurangi gelombang haluan. Pada kecepatan 14 knots (*froude number* 0.36) pengaruh dari *foil* belakang masih belum terlihat perbedaannya antara kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang. Sedangkan pada kecepatan 24 knots (*froude number* 0.62) telah terlihat perbedaan gelombang di belakang buritan kapal, dimana kapal yang tanpa menggunakan *foil* belakang terlihat kontur ketinggian air berwarna merah cukup besar, dan ketika kapal dengan menggunakan *foil* belakang kontur ketinggian air warna merah berkurang dan didominasi warna oranye. Dengan berkurangnya gelombang buritan, maka hambatan total kapal berkurang dan oleh karena itu dapat mengurangi konsumsi bahan bakar kapal.





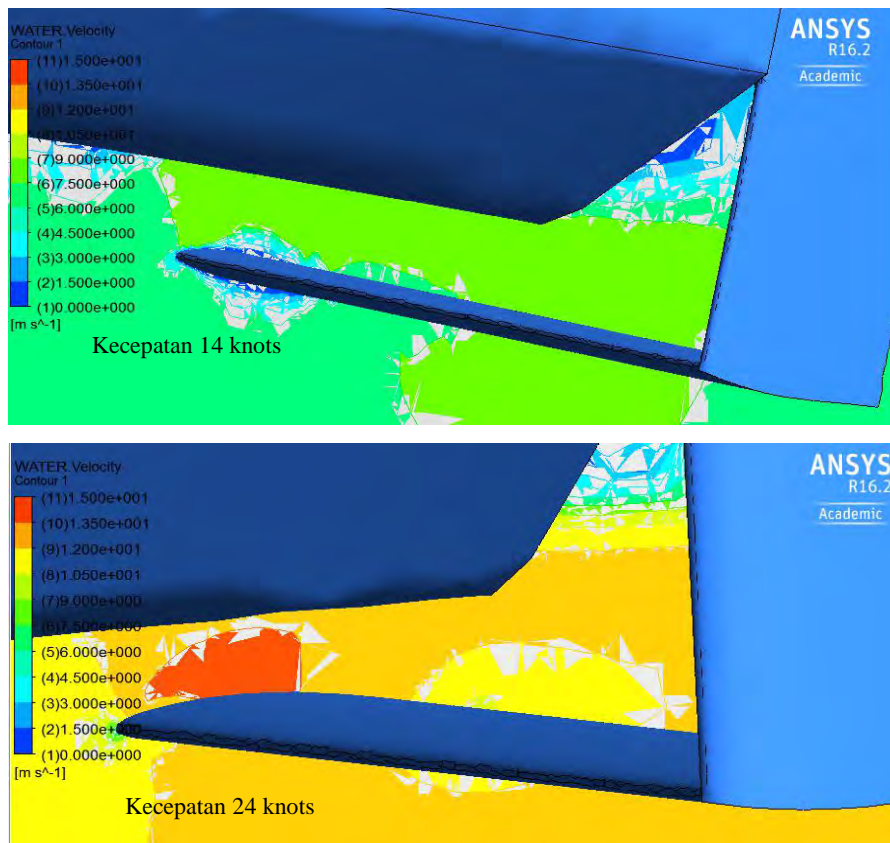
**Gambar 6. 14** Perbedaan Ketinggian Air dari Kapal Tanpa dan Dengan Menggunakan *Foil* Belakang

Dari Gambar 6. 14 menunjukkan perbedaan warna kontur biru, hijau, kuning, dan merah menunjukkan bahwa adanya perbedaan ketinggian air yang terjadi, dimana semakin berwarna merah menunjukkan ketinggian air yang semakin tinggi dan garis hitam merupakan garis permukaan air, sehingga luas permukaan basah kapal dapat tervisualisasikan. Bertambahnya kecepatan kapal dengan pemasangan *foil* belakang, dapat menambah gaya angkat kapal sehingga luas permukaan badan kapal yang tercelup dalam air dapat berkurang. Pada kecepatan 14 knots (*froude number* 0.36) pengaruh dari *foil* belakang belum terlihat. Sedangkan pada kecepatan 24 knots (*froude number* 0.62) terlihat pengurangan luas permukaan basah kapal dibuktikan dengan kontur kapal tanpa *foil* berwarna kuning, dan ketika menggunakan *foil* belakang kontur berubah menjadi berwarna hijau.



**Gambar 6. 15** Perbedaan Tekanan *Foil* Belakang Pada Berbagai Kecepatan

Dari Gambar 6. 15 menunjukkan perbedaan warna kontur biru tua, biru muda, dan hijau menunjukkan bahwa adanya perbedaan tekanan yang terjadi, dimana semakin berwarna hijau menunjukkan tekanan yang semakin tinggi. Bertambahnya kecepatan kapal dapat memperjelas perbedaan tekanan yang terjadi pada *foil*. Pada kecepatan kapal 14 knots (*froude number* 0.36) daerah atas *foil* memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan ketika kecepatan kapal 24 knots (*froude number* 0.62), dibuktikan warna biru yang semakin tua.



**Gambar 6. 16** Perbedaan Kecepatan Aliran Pada Daerah *Foil* Belakang

Gambar 6. 16 dapat merepresentasikan kontur kecepatan pada daerah *foil* belakang kapal, dimana pada kecepatan 14 knots (*froude number* 0.36) bagian atas *foil* kecepatan aliran lebih rendah apabila dibandingkan dengan kecepatan kapal 24 knots (*froude number* 0.62). Hal ini dibuktikan dengan warna hijau pada bagian atas *foil* untuk kecepatan kapal 14 knots (*froude number* 0.36) dan warna merah untuk kecepatan kapal 24 knots (*froude number* 0.62). Maka dalam hal ini tekanan pada bagian bawah *foil* belakang pada kecepatan 24 knots (*froude number* 0.62) lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan 14 knots (*froude number* 0.36).



## 6.6 Hasil Pengujian Hambatan di *Towing Tank*

Dari proses pengujian hambatan di *towing tank* dengan model kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *foil* belakang, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

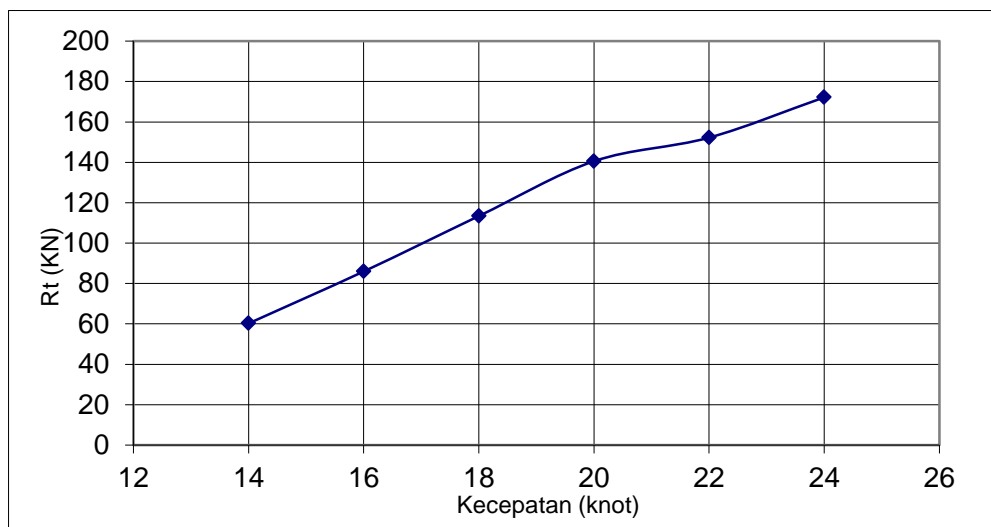
### 6.6.1 Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan Menggunakan *Foil* Belakang

Setelah selesai memilih tipe *foil* belakang dan *strut* serta melakukan simulasi numerik kapal dengan menggunakan *foil* belakang, maka selanjutnya dapat melakukan eksperimen kapal dengan menggunakan *foil* belakang sehingga dapat memvalidasi hasil dari simulasi numerik. Hasil dari pengujian hambatan kapal menggunakan *foil* belakang di *towing tank* dapat dilihat pada tabel berikut.

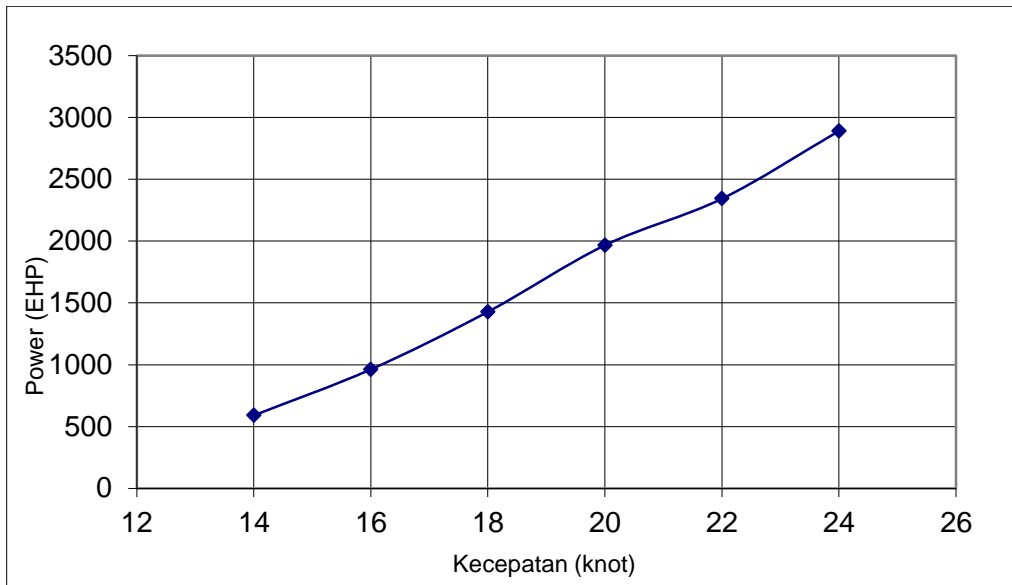
**Tabel 6. 11** Hubungan Kecepatan dengan  $R_T$  dan EHP Kapal Dengan *Foil* Belakang

MODEL							
Run ke-	V(m/s)	Rt (kg)	Re ( $\times 10^6$ )	$C_T(\times 10^{-3})$	$C_F(\times 10^{-3})$	$C_R(\times 10^{-3})$	Fn
1	1,139	0,120	1,330	10,151	4,410	5,741	0,3636
2	1,301	0,167	1,520	10,794	4,289	6,505	0,4155
3	1,464	0,217	1,710	11,084	4,186	6,898	0,4674
4	1,627	0,267	1,900	11,053	4,097	6,956	0,5194
5	1,789	0,293	2,090	10,048	4,019	6,030	0,5713
6	1,952	0,333	2,280	9,595	3,949	5,646	0,6232

KAPAL						
Run ke-	V(knots)	Re ( $\times 10^8$ )	$C_F(\times 10^{-3})$	$C_T(\times 10^{-3})$	$R_T$ (KN)	$P_E$ (EHP)
1	14	3.243	1.769	7,910	60,227	589,874
2	16	3.707	1.738	8,643	85,960	962,178
3	18	4.170	1.711	9,009	113,400	1427,992
4	20	4.634	1.688	9,044	140,543	1966,432
5	22	5.097	1.667	8,097	152,242	2343,134
6	24	5.560	1.648	7,694	172,167	2890,688



**Gambar 6. 17** Hubungan Kecepatan dengan Hambatan Kapal Dengan *Foil* Belakang



**Gambar 6.18** Hubungan Kecepatan dengan Power (EHP) Kapal Dengan *Foil* Belakang

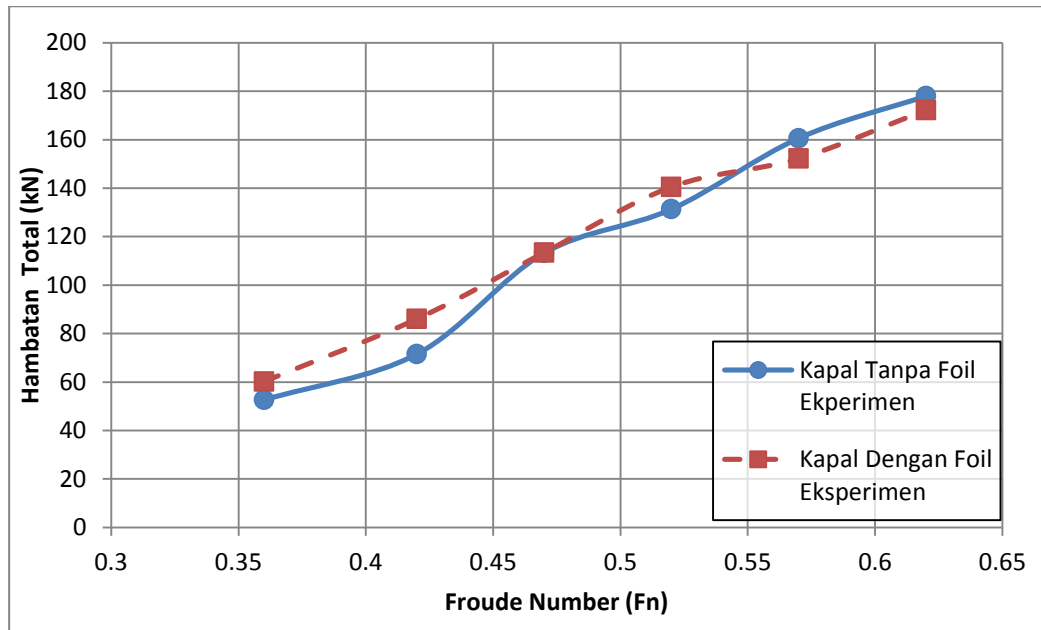
### 6.6.2 Analisis Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan dan Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang

Hasil perbedaan hambatan total dari kapal yang dengan dan tidak menggunakan *foil* belakang dari simulasi numerik dan eksperimental adalah sebagai berikut:

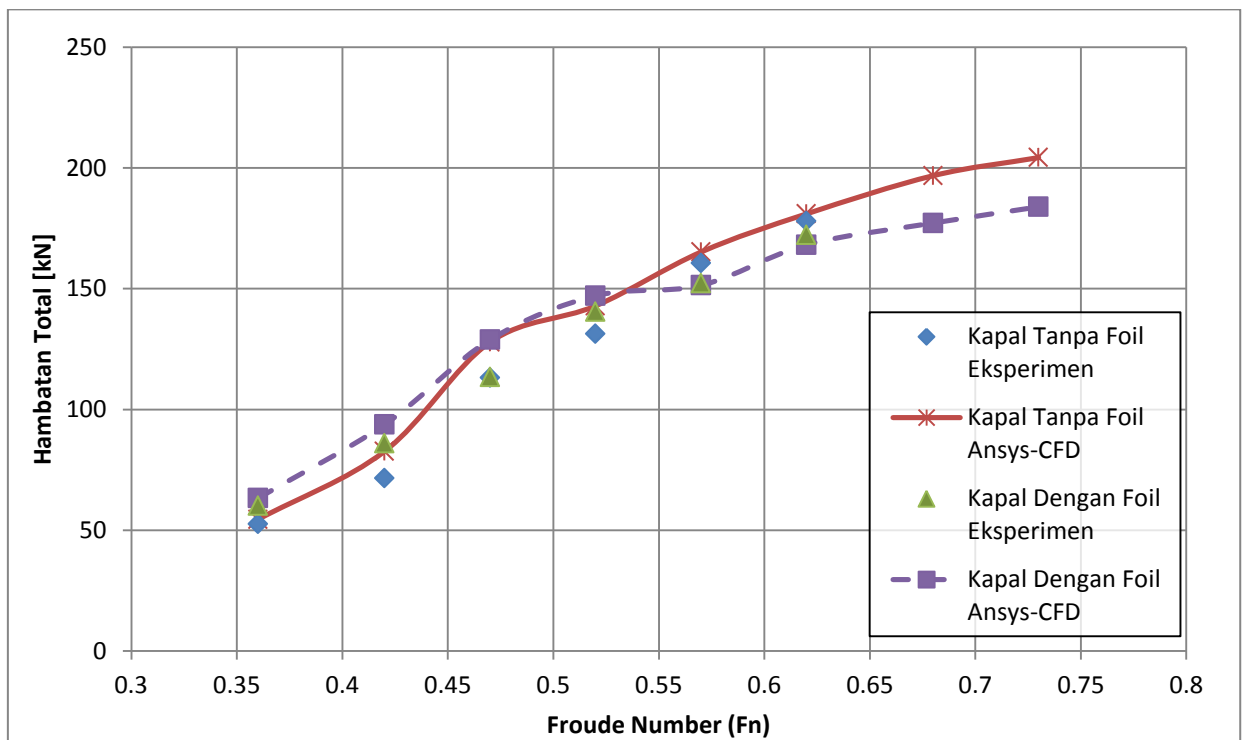
**Tabel 6.12** Hasil Perbedaan Hambatan Kapal Dengan dan Tanpa *Foil* Belakang Melalui Eksperimental dan Numerik

Run ke-	V (knots)	Fn	Hambatan Total (kN)			
			Kapal Tanpa <i>Foil</i>		Kapal Dengan <i>Foil</i>	
			Eksperimen	ANSYS-CFD	Eksperimen	ANSYS-CFD
1	14	0.36	52.6	54.5	60.2	63.3
2	16	0.42	71.5	82.7	86.0	93.8
3	18	0.47	113.2	127.9	113.4	128.9
4	20	0.52	131.3	142.9	140.5	147.1
5	22	0.57	160.6	165.2	152.2	151.4
6	24	0.62	178.0	181.0	172.2	168.2
7	26	0.68	-	196.8	-	177.2
8	28	0.73	-	204.3	-	183.9

Nilai hambatan total dari kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang dengan variasi kecepatan pada Tabel 6.12 dapat disajikan dalam bentuk seperti pada gambar berikut ini.



**Gambar 6. 19** Hasil Perbedaan Hambatan Total Kapal Dengan dan Tanpa *Foil* Belakang Melalui Eksperimen



**Gambar 6. 20** Hasil Perbedaan Hambatan Total Kapal Dengan dan Tanpa *Foil* Belakang Melalui Eksperimen dan Numerik

Gambar 6. 19 merepresentasikan perbandingan hambatan total kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang melalui eksperimental, dimana seperti pada hasil numerik pada *froude number* kurang dari 0.52 (kecepatan 20 knots) hambatan kapal lebih besar dari pada kapal tanpa menggunakan *foil* belakang, namun pada *froude number* 0.52 (kecepatan 22

knots) keatas, hambatan kapal mulai mengalami penurunan dibandingkan dengan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang. Melalui eksperimental nilai persentase pertambahan hambatan dibandingkan dengan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang pada *froude number* 0.36 (kecepatan 14 knots) yaitu 14,5%; dan nilai persentase ini terus berkurang sampai pada *froude number* 0.52 (kecepatan 20 knots) yaitu 7%. Sedangkan nilai persentase penurunan hambatan dibandingkan dengan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang pada *froude number* 0.57 dan 0.62 (kecepatan 22 knots dan 24 knots) berturut-turut yaitu 5.2% dan 3.3%. Perubahan hambatan ini dipengaruhi oleh gaya angkat yang terjadi pada *foil* belakang, dimana pada kecepatan rendah gaya angkat kapal belum dapat mengangkat *displacement* kapal, sedangkan pada kecepatan tinggi gaya angkat telah dapat mengurangi *displacement* kapal sehingga luas permukaan badan kapal yang tercelup dalam air dapat berkurang.

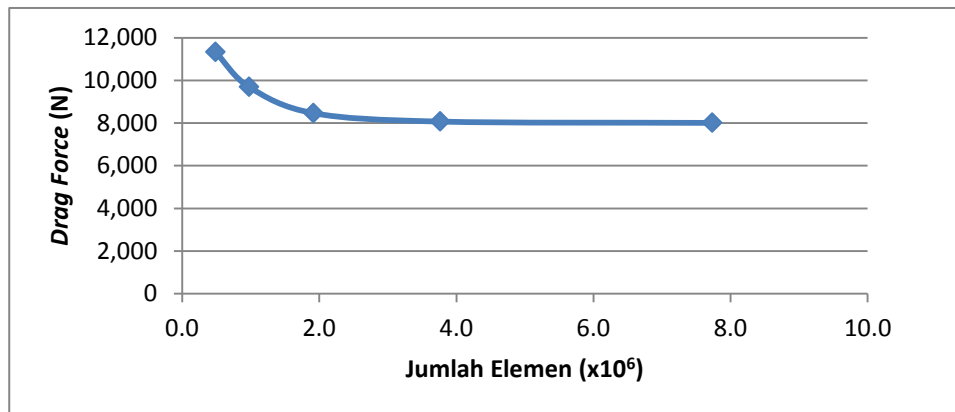
Selisih persentase antara simulasi numerik dan eksperimental terjadi dikarenakan pembuatan *foil* secara eksperimental dibuat dengan pendekatan sehingga gaya angkat yang terjadi pada *foil* tidak optimal. Selain itu pengaruh keterbatasan spesifikasi komputer dan residual target untuk tahap konvergensi pada simulasi numerik menggunakan *software Ansys-CFD* juga mempengaruhi hasil dari nilai hambatan total kapal. Dimana semakin besar spesifikasi komputer yang digunakan dapat mempercepat waktu pada tahap solver. Sedangkan sebaliknya untuk residual target pada tahap konvergensi apabila semakin kecil maka akan memperbesar akurasi dari nilai hambatan total kapal yang dihasilkan.

# LAMPIRAN A

*Grid Independence* Untuk Foil Belakang dan Strut Pada Simulasi Kekentalan Murni

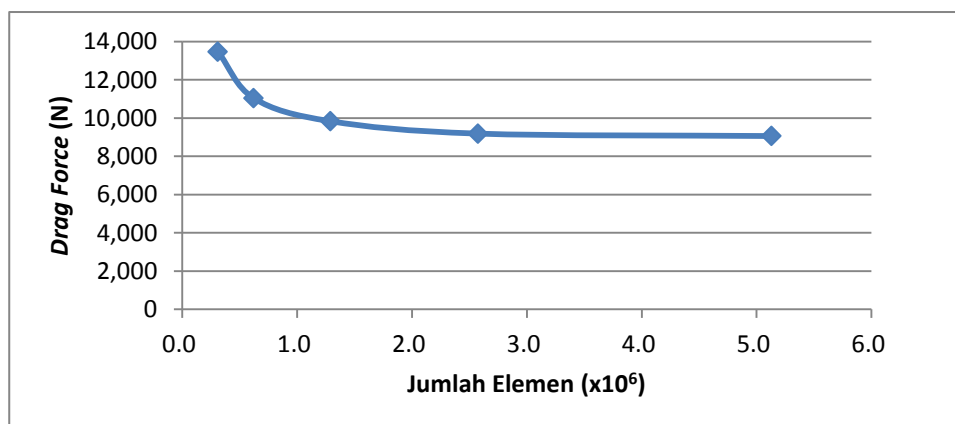
## A. 1 *Grid Independence* Foil Belakang NACA 64A212 Aspek Rasio 6.67

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	486,243	11321.3	
2	975,329	9692.2	16.81
3	1,915,280	8463.8	14.51
4	3,765,262	8070.3	4.88
5	7,732,874	8009.0	0.77



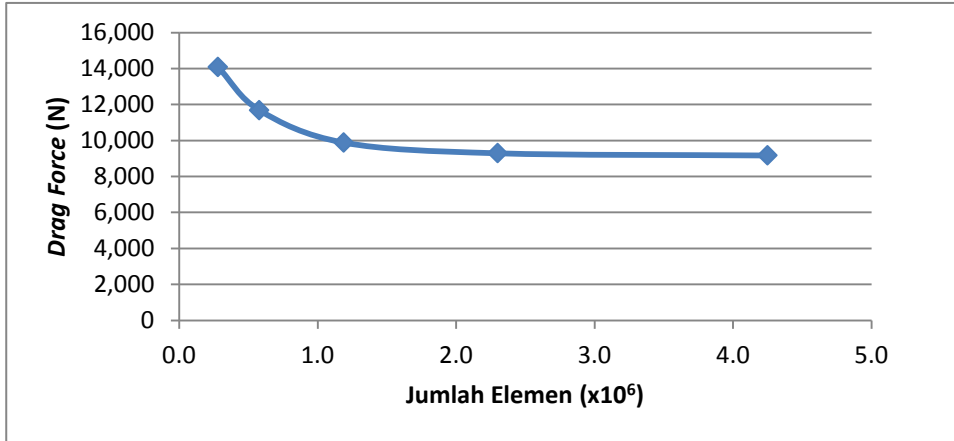
## A. 2 *Grid Independence* Foil Belakang NACA 64A212 Aspek Rasio 5

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	310,283	13469.9	
2	623,370	11031.1	22.11
3	1,289,963	9831.3	12.20
4	2,575,474	9184.3	7.05
5	5,130,156	9056.6	1.41



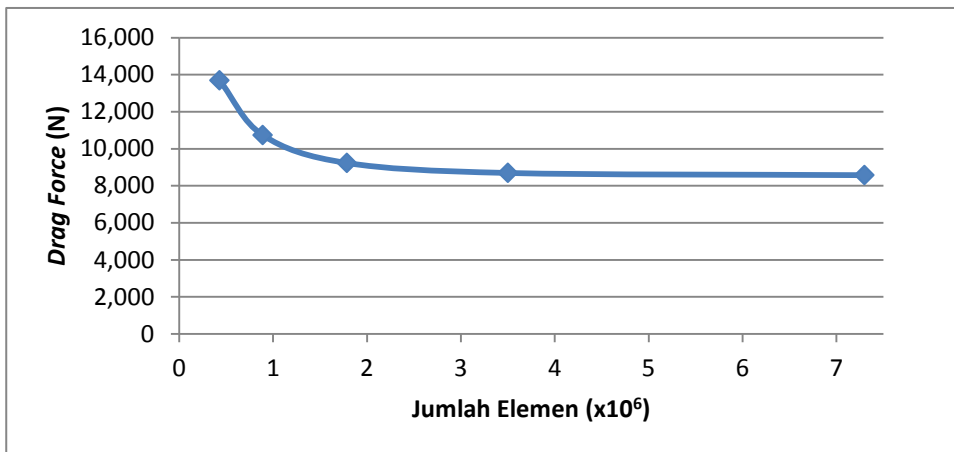
**A. 3 Grid Independence Foil Belakang NACA 64A212 Apek Rasio 4**

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	281,301	14072.3	
2	579,351	11679.9	20.48
3	1,190,184	9879.8	18.22
4	2,301,653	9288.2	6.37
5	4,251,255	9167.2	1.32



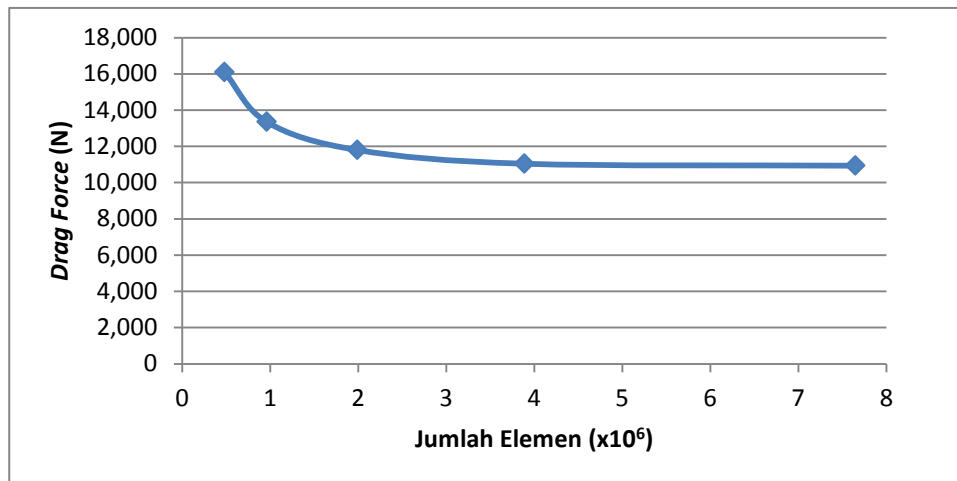
**A. 4 Grid Independence Foil Belakang NACA 21021 Aspek Rasio 6.67**

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	431,157	13677.1	
2	891,825	10726.8	27.50
3	1,786,464	9229.8	16.22
4	3,504,097	8690.7	6.20
5	7,300,000	8572.0	1.39



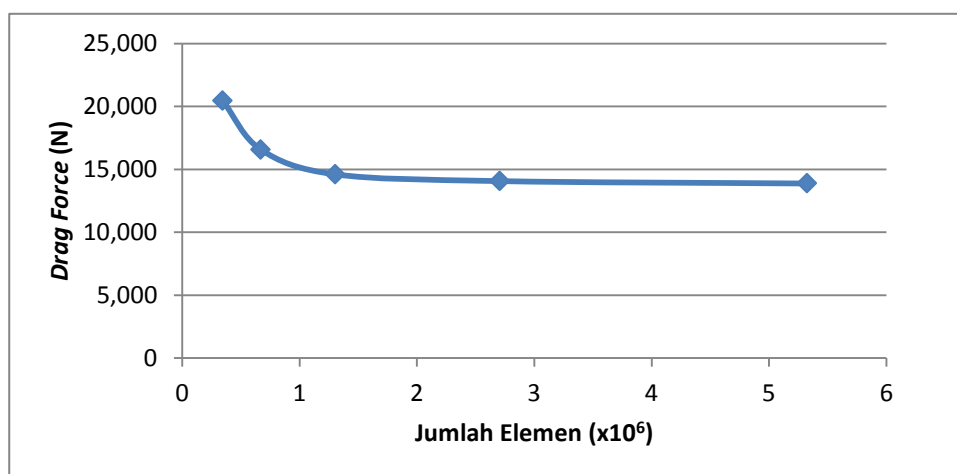
**A. 5 Grid Independence Foil Belakang NACA 21021 Aspek Rasio 5**

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	480,000	16099.1	
2	959,999	13348.0	20.61
3	1,989,864	11798.5	13.13
4	3,889,221	11043.4	6.84
5	7,651,595	10935.4	0.99



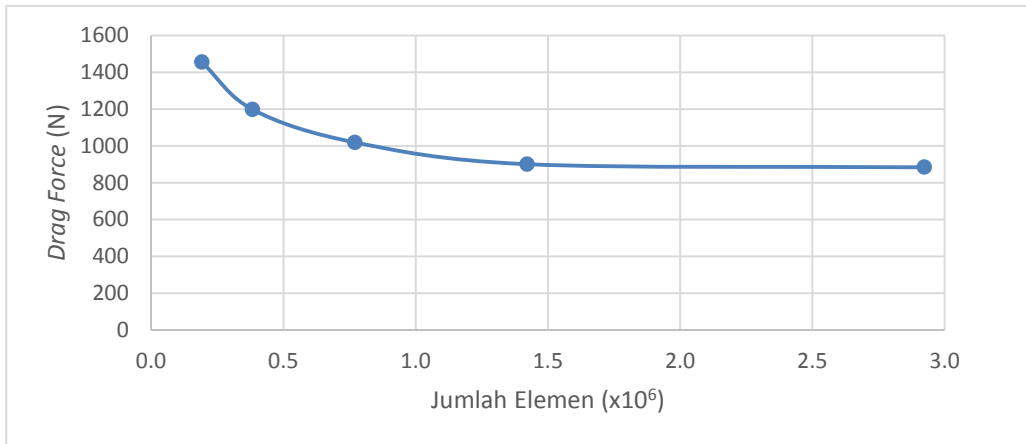
**A. 6 Grid Independence Foil Belakang NACA 21021 Aspek Rasio 4**

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	343,769	20453.5	
2	669,709	16567.9	23.45
3	1,303,754	14601.5	13.47
4	2,707,495	14066.0	3.81
5	5,325,635	13874.1	1.38



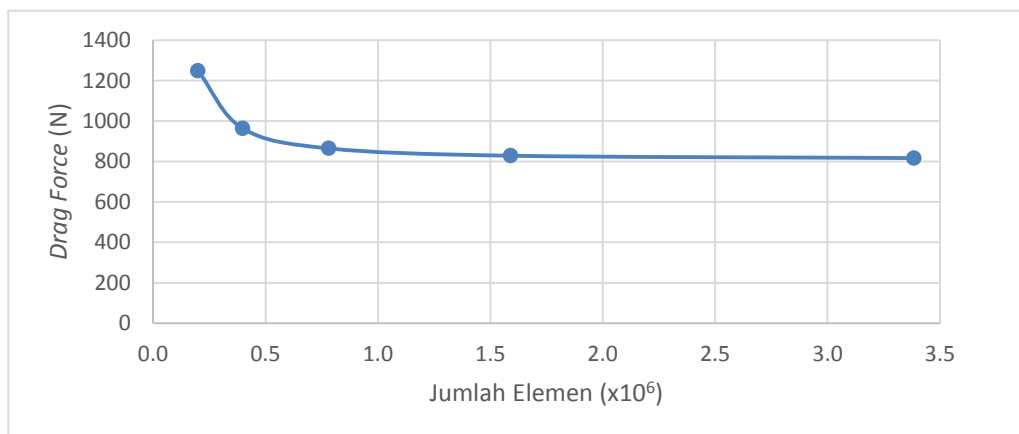
### A. 7 Grid Independence Strut NACA 63012

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	192,114	1454.2	
2	384,105	1197.1	21.48
3	770,906	1018.95	17.48
4	1,421,505	900.80	13.12
5	2,923,480	883.77	1.93



### A. 8 Grid Independence Strut NACA 0010

No	Jumlah Elemen	Drag Force (N)	Selisih Drag Force (%)
1	199,852	1248.68	
2	398,637	963.375	29.62
3	781,582	864.42	11.45
4	1,590,296	828.198	4.37
5	3,384,465	816.691	1.41



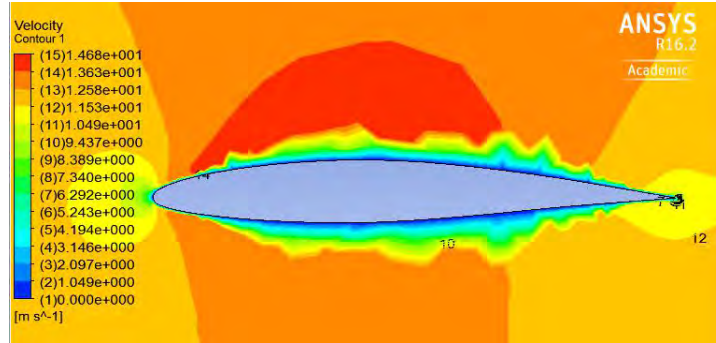


# LAMPIRAN B

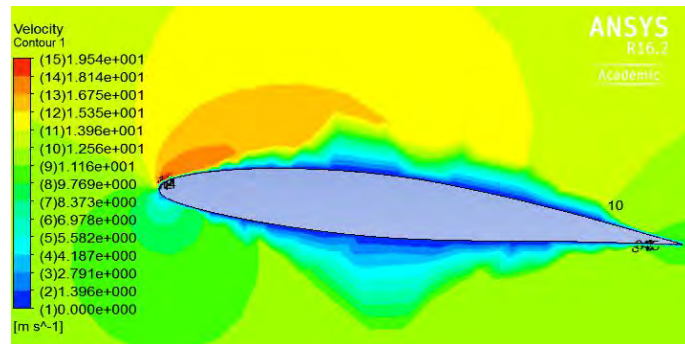
## Visualisasi Simulasi Kenkentalan Murni

### B.1. Visualisasi kontur kecepatan *foil* balakang NACA 64A212

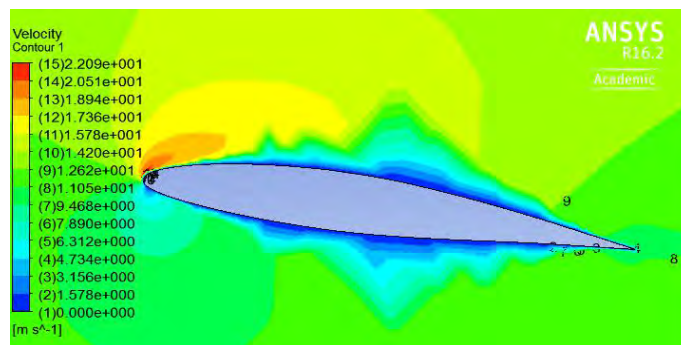
#### B.1.1. Sudut serang $0^0$



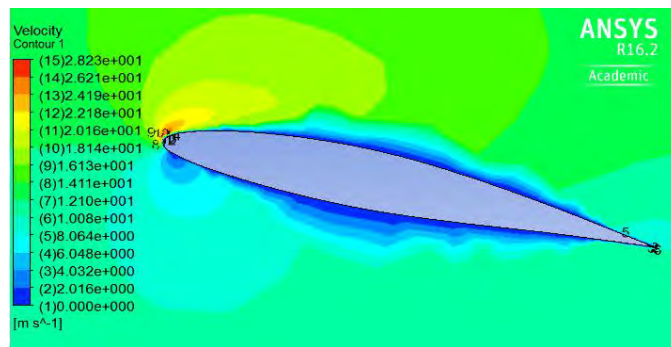
#### B.1.2. Sudut serang $6^0$



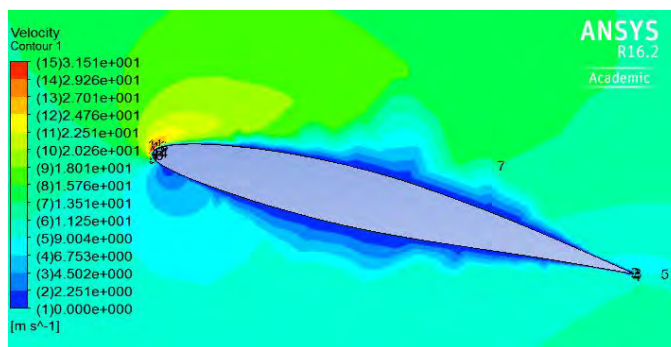
#### B.1.3. Sudut serang $8^0$



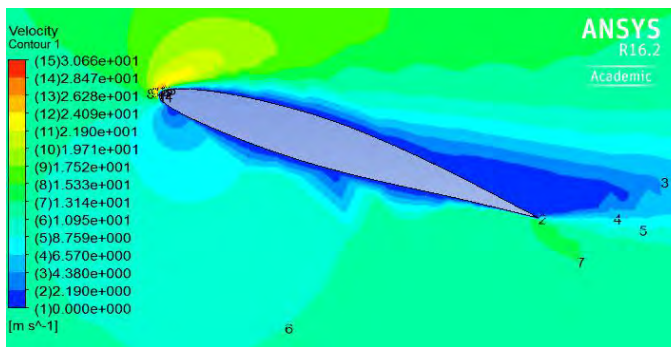
### B.1.4. Sudut serang $12^{\circ}$



### B.1.5. Sudut serang $14^{\circ}$

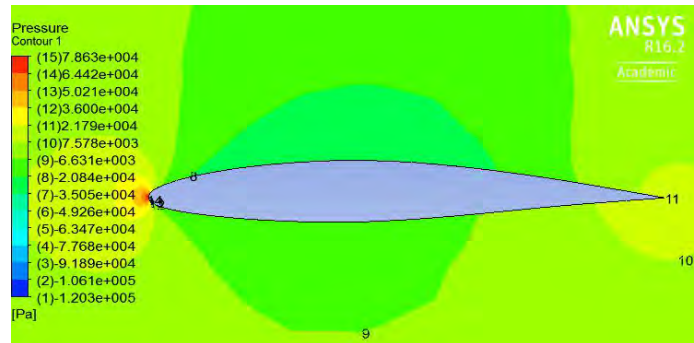


### B.1.6. Sudut serang $18^{\circ}$

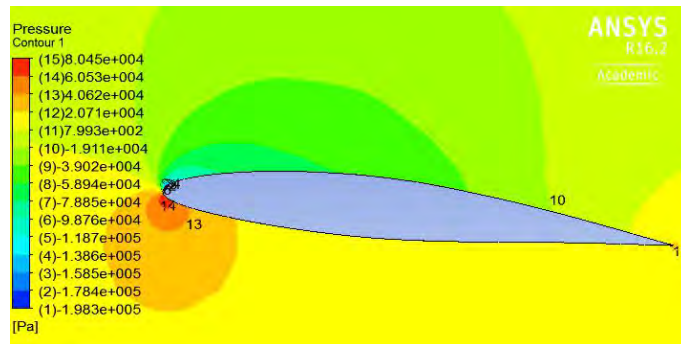


## B.2. Visualisasi kontur tekanan *foil* balakang NACA 64A212

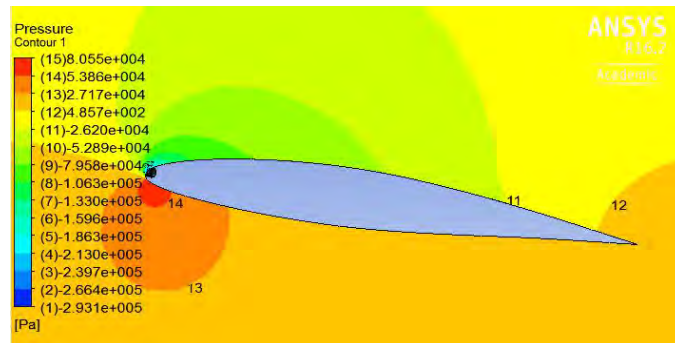
### B.2.1. Sudut serang $0^{\circ}$



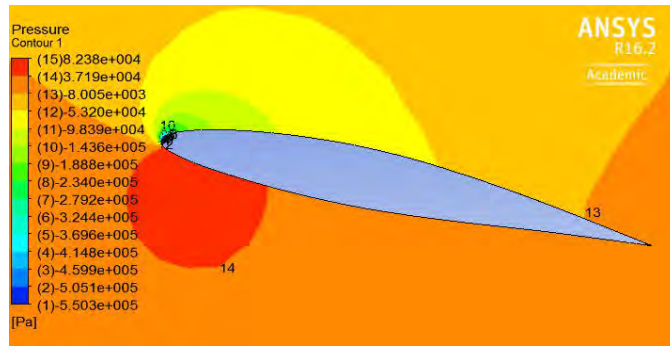
### B.2.2. Sudut serang $6^{\circ}$



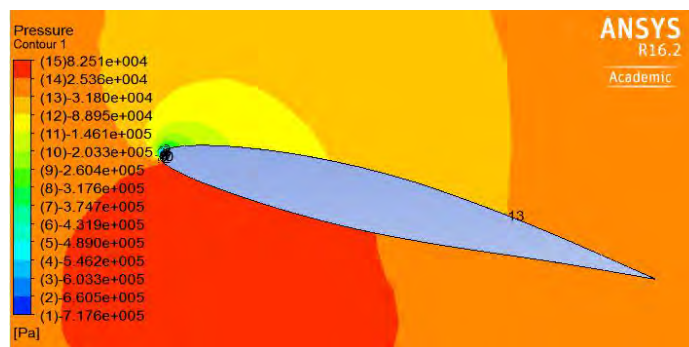
### B.2.3. Sudut serang $8^{\circ}$



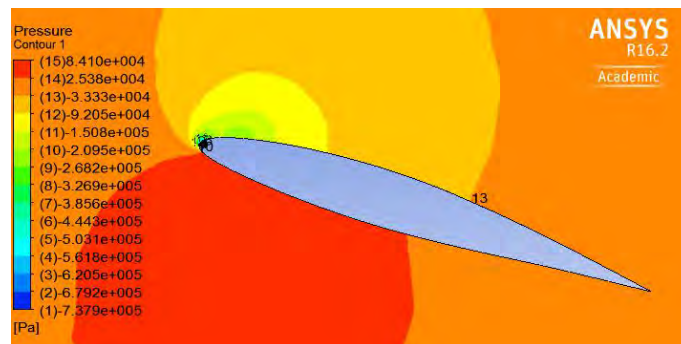
### B.2.4. Sudut serang $12^{\circ}$



### B.2.5. Sudut serang $14^{\circ}$



### B.2.6. Sudut serang $18^{\circ}$



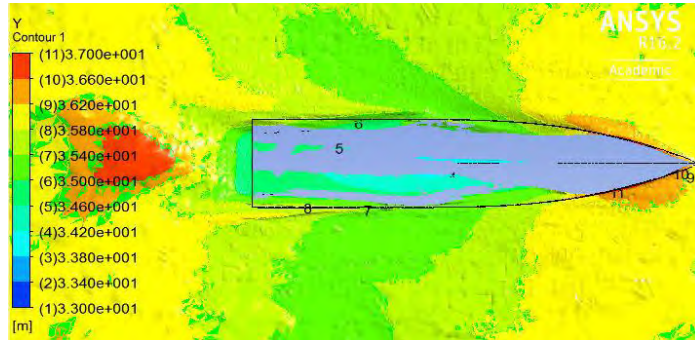
# LAMPIRAN C

## Visualisasi Simulasi *Free Surface*

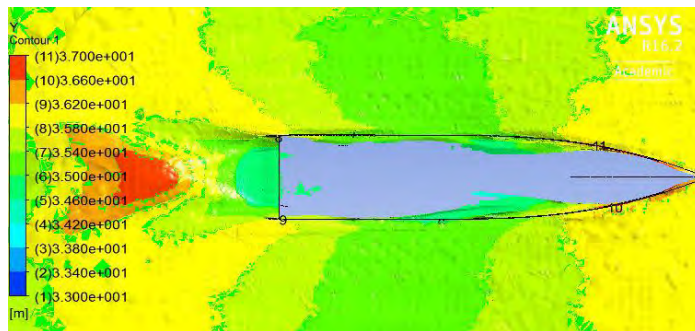
### C.1. Visualisasi kontur *wave pattern*

#### C.1.1. Kecepatan 16 knots (Fn 0.42)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang

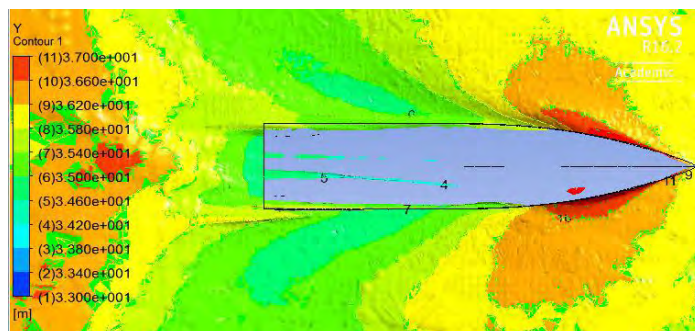


- Kapal Dengan *Foil* Belakang

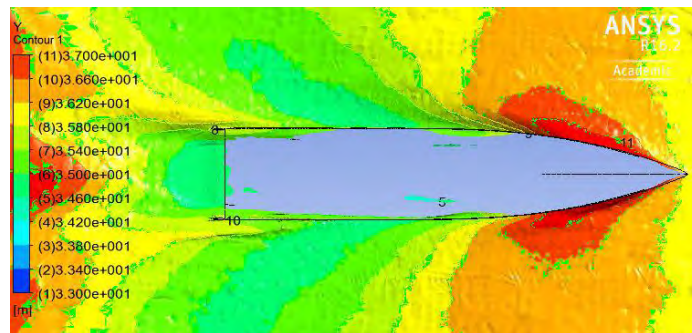


#### C.1.2. Kecepatan 18 knots (Fn 0.42)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang

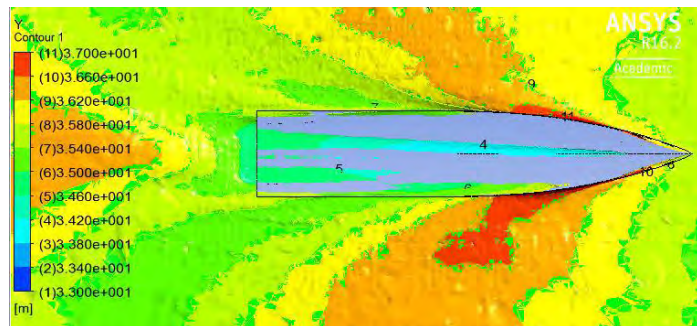


- Kapal Dengan *Foil* Belakang

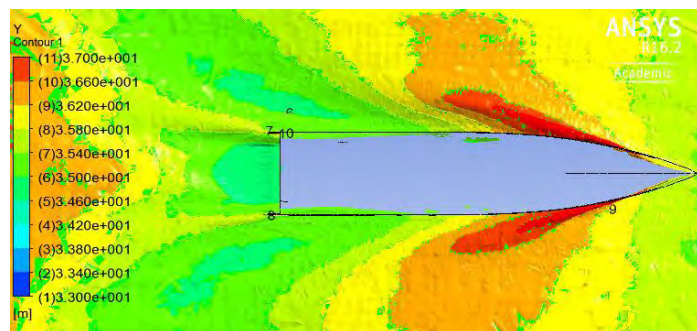


### C.1.3. Kecepatan 20 knots ( $F_n$ 0.52)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang

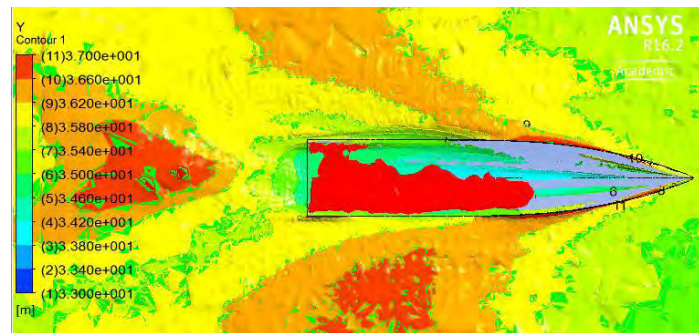


- Kapal Dengan *Foil* Belakang

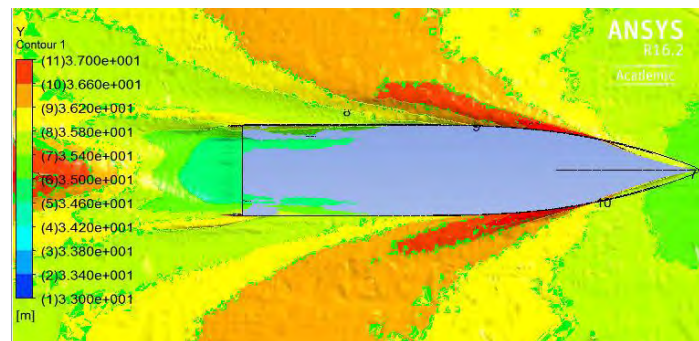


### C.1.4. Kecepatan 22 knots (Fn 0.57)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang



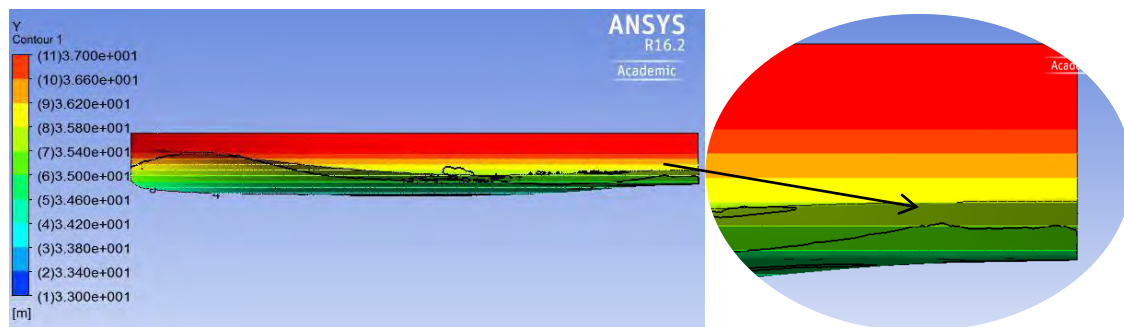
- Kapal Dengan *Foil* Belakang



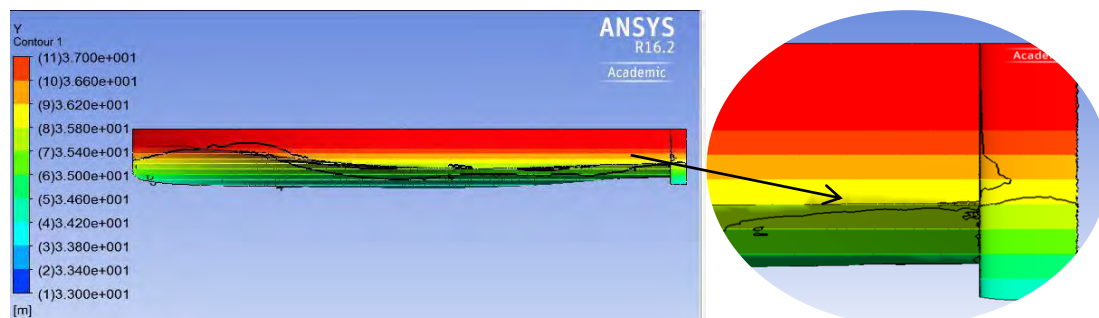
## C.2. Visualisasi kontur ketinggian air

### C.2.1. Kecepatan 16 knots (Fn 0.42)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang

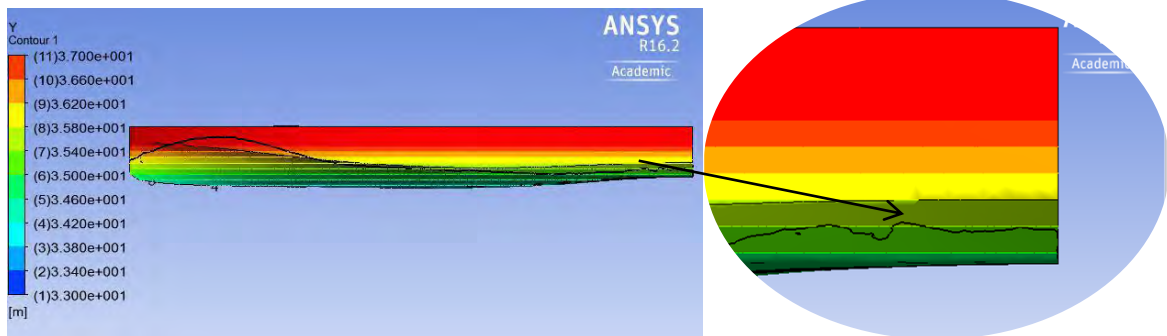


- Kapal Dengan *Foil* Belakang

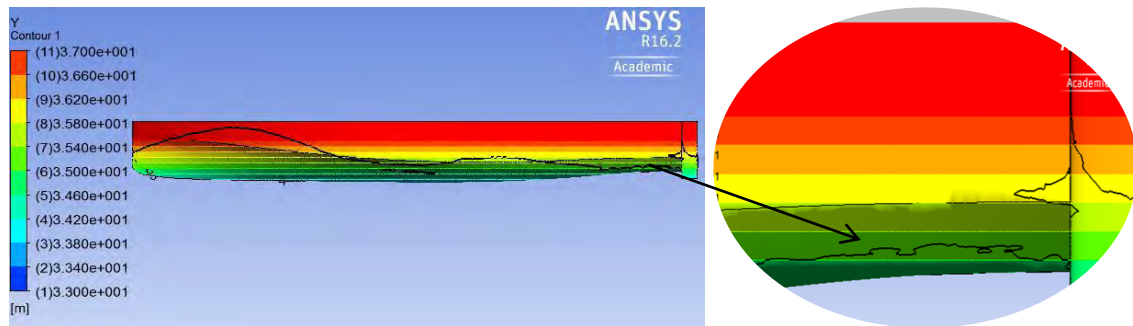


### C.2.2. Kecepatan 18 knots (Fn 0.47)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang

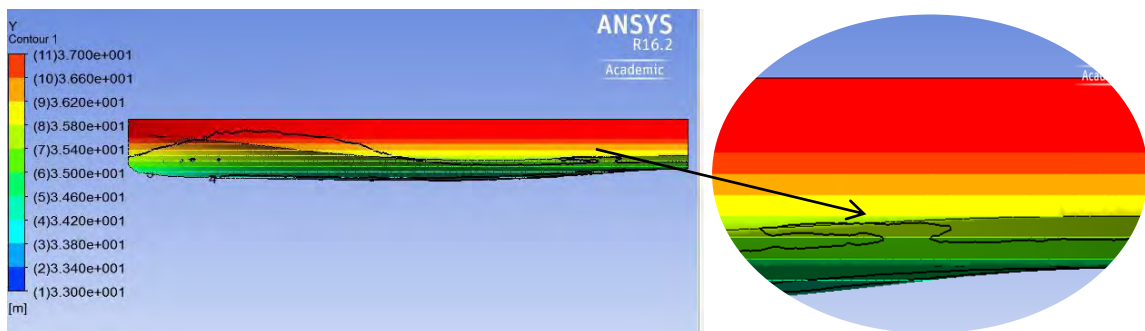


- Kapal Dengan *Foil* Belakang

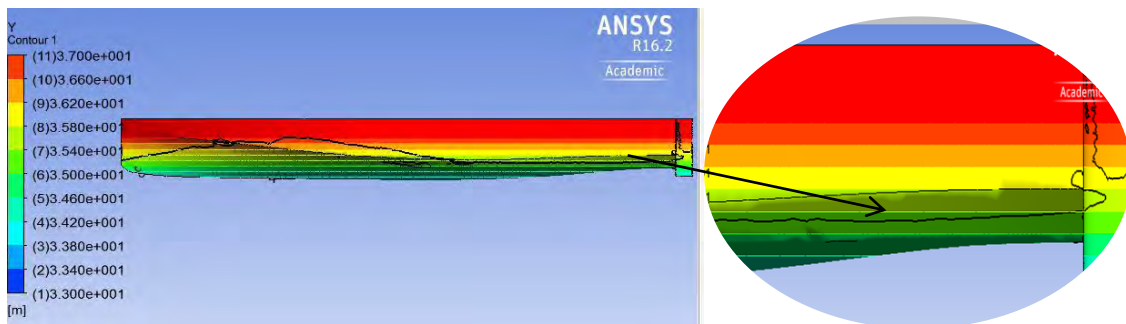


### C.2.3. Kecepatan 20 knots (Fn 0.52)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang



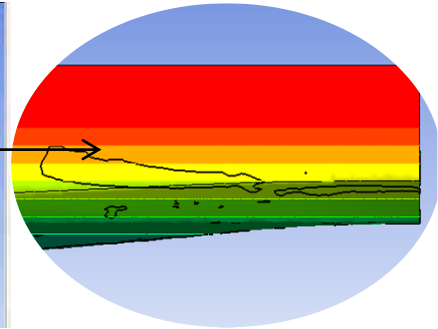
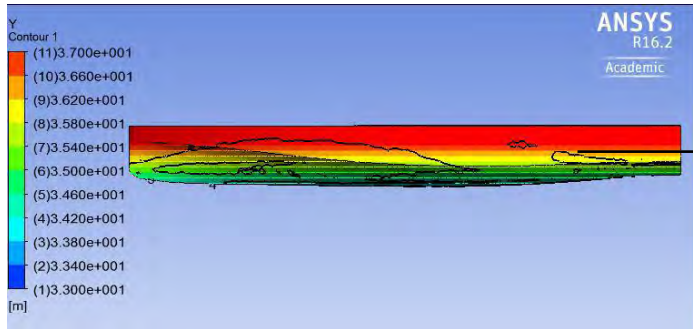
- Kapal Dengan *Foil* Belakang



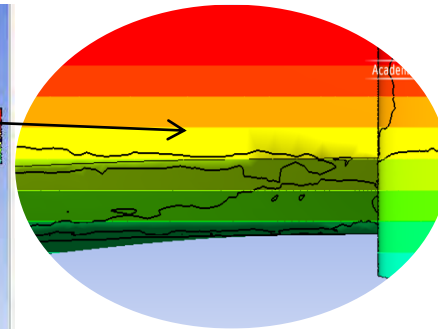
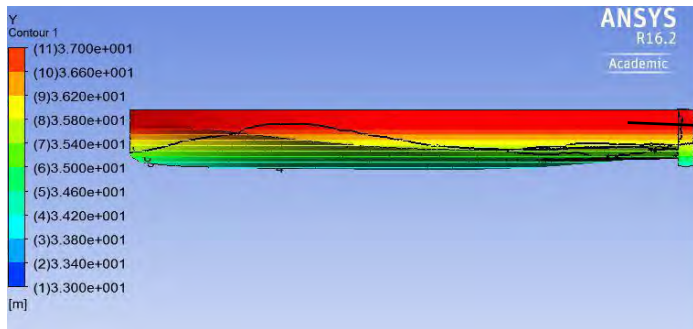


#### C.2.4. Kecepatan 22 knots (Fn 0.57)

- Kapal Tanpa *Foil* Belakang



- Kapal Dengan *Foil* Belakang



## LAMPIRAN D

Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan *Foil* Belakang di *Towing Tank*

D.1. Kecepatan 14 knots (Fn 0.36 )

- Tampak Belakang

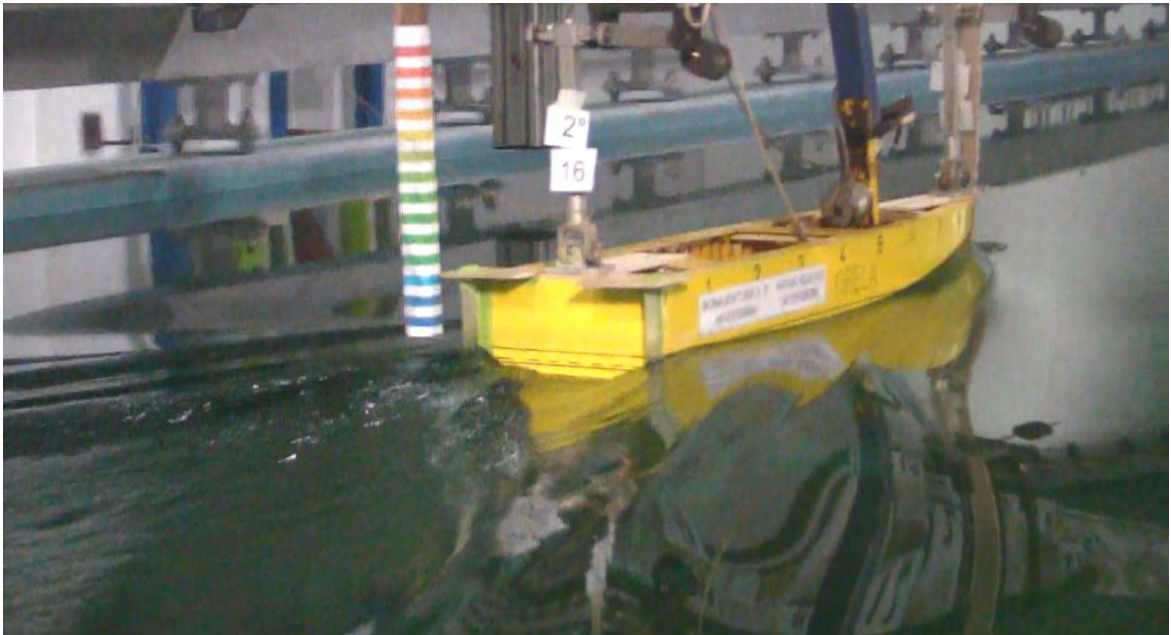


- Tampak Depan



D.2. Kecepatan 16 knots (Fn 0.42)

- Tampak Belakang

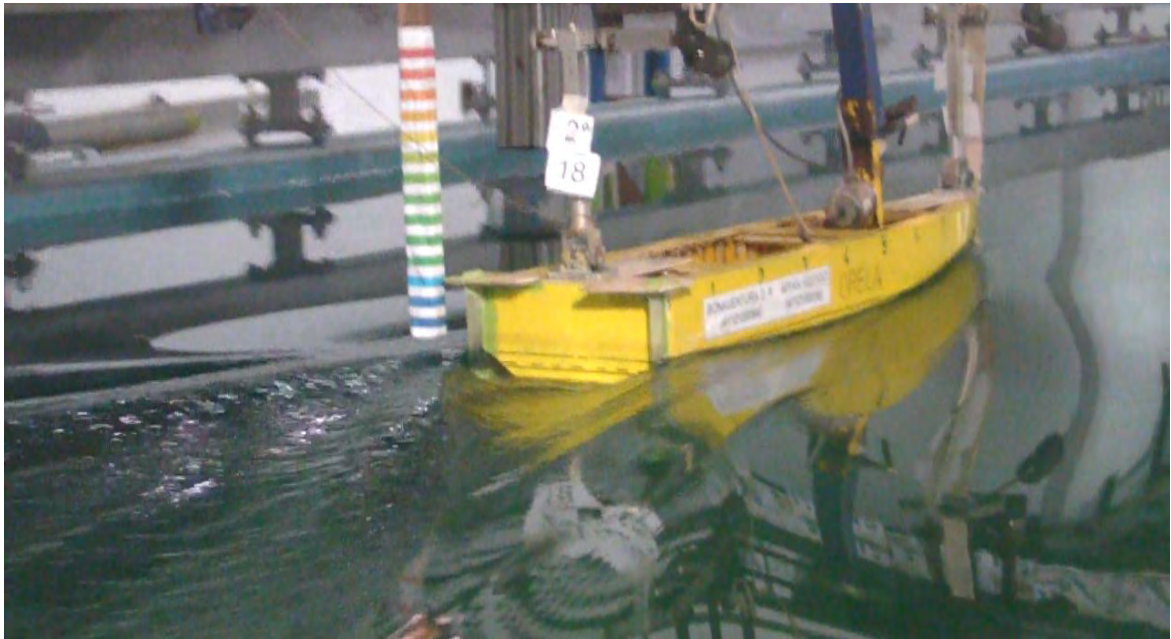


- Tampak Depan

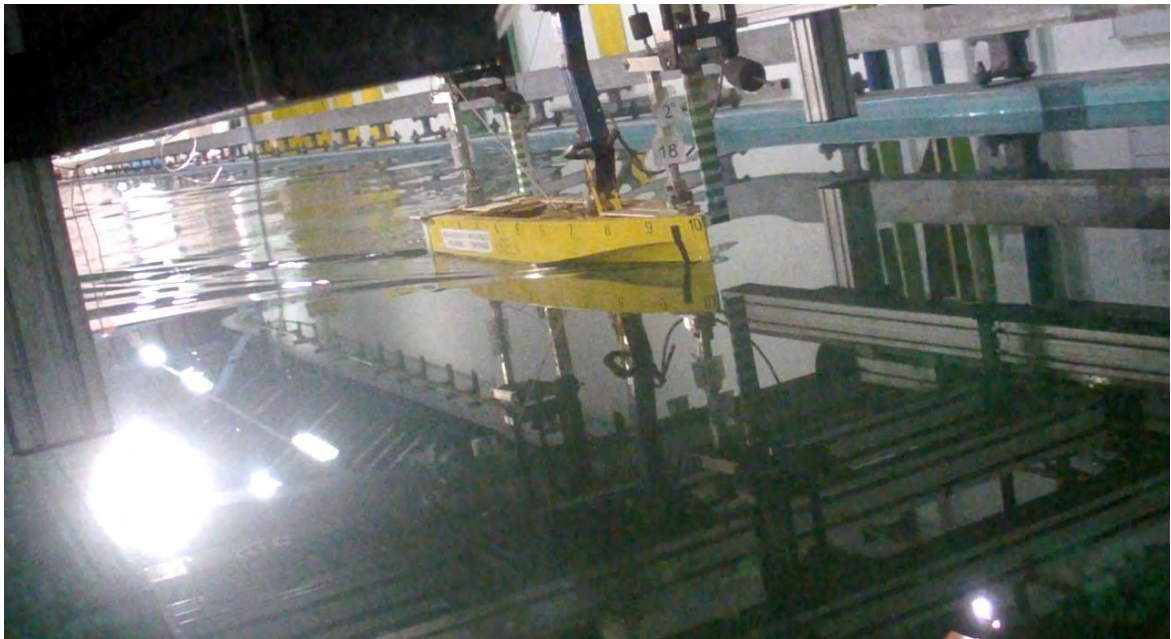


### D.3. Kecepatan 18 knots (Fn 0.47)

- Tampak Belakang

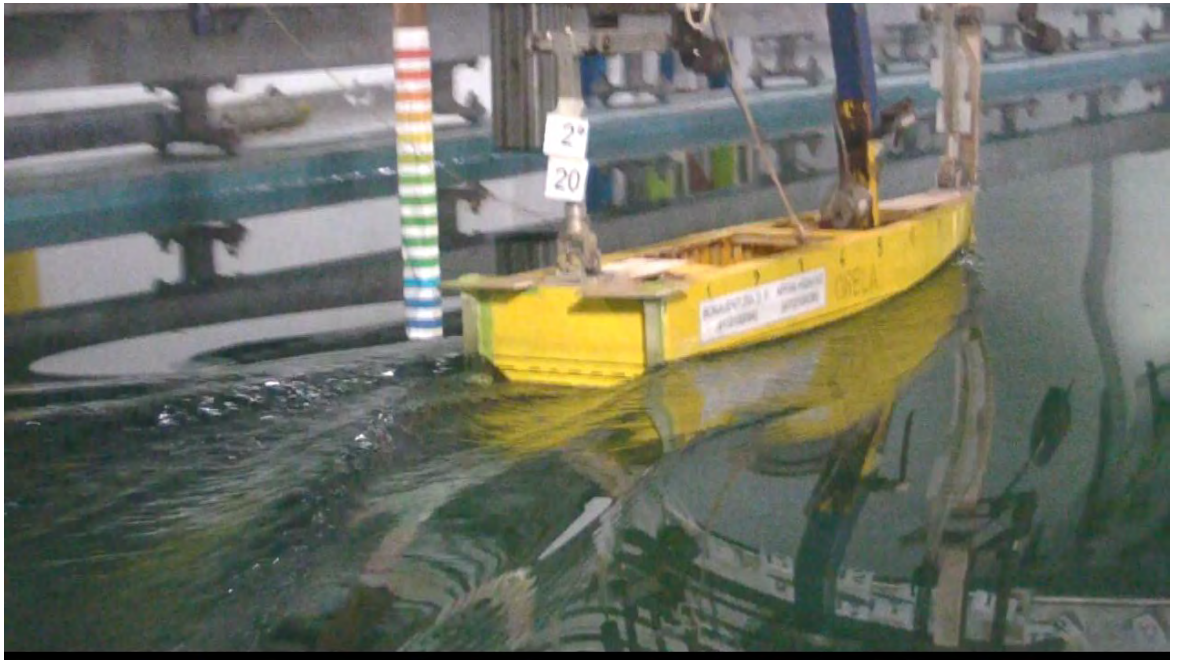


- Tampak Depan



D.4. Kecepatan 20 knots (Fn 0.52)

- Tampak Belakang



- Tampak Depan



D.5. Kecepatan 22 knots (Fn 0.57)

- Tampak Belakang

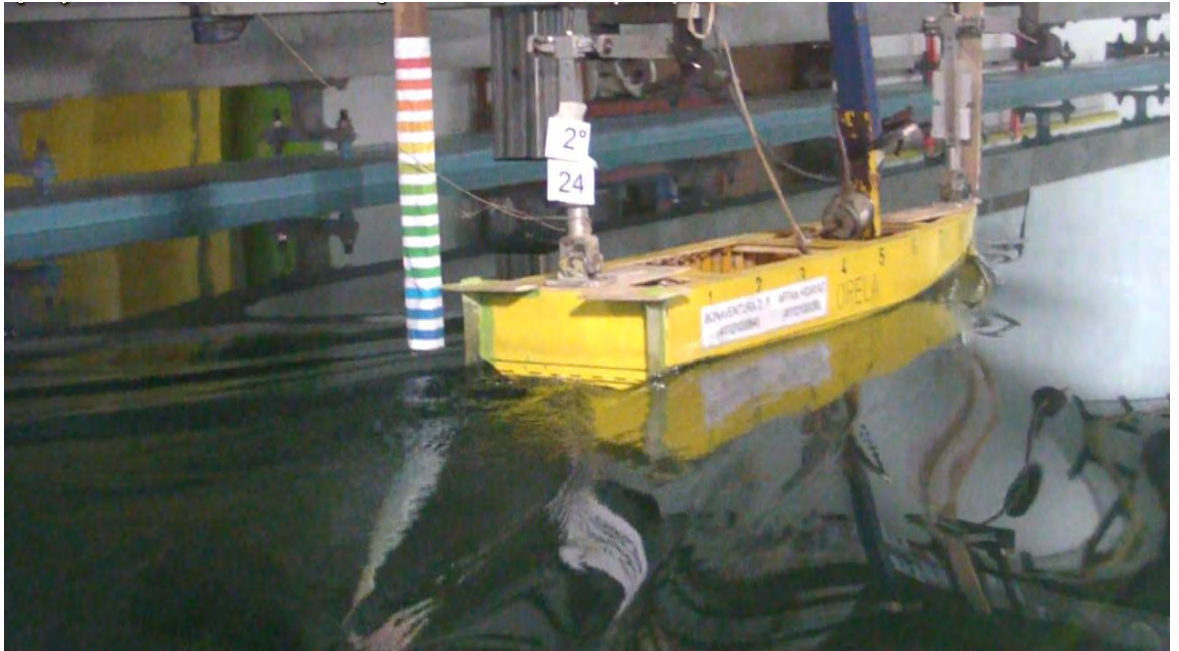


- Tampak Depan

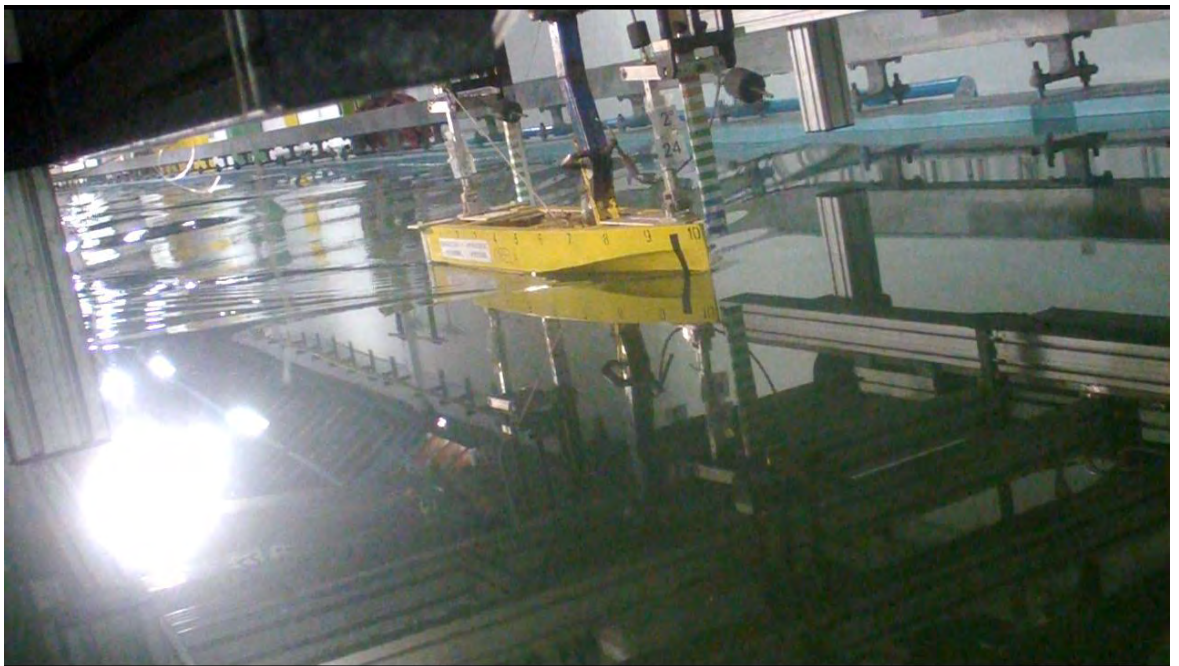


D.6. Kecepatan 24 knots (Fn 0.62)

- Tampak Belakang



- Tampak Depan



## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis pada hasil simulasi secara numerik dan eksperimental, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tipe NACA untuk *foil* belakang adalah NACA 64A212 sudut serang  $2^0$  dengan *lift force/drag force* tertinggi yaitu 29,67; dan untuk *strut* adalah NACA 0010 dengan *drag coefisien* yang paling minimum yaitu 0,0091.
2. Pengaruh penambahan *foil* belakang pada Kapal Orela pada *froude number* 0.36 (kecepatan 14 knots) dapat menambah hambatan total kapal sebesar 14,5% (eksperimen) dan 16,1% (numerik); terus berkurang dengan bertambahnya kecepatan; dan pada *froude number* 0.57 (kecepatan 22 knots) dapat mengurangi hambatan total yaitu sebesar 5.2% (eksperimen), dan 8.4% (numerik); serta pada *froude number* 0.62 (kecepatan 24 knots) yaitu sebesar 3.3% (eksperimen), dan 7.1% (numerik). Kemudian pada kecepatan dinas kapal yaitu pada kecepatan 28 knots (*froude number* 0,73) pengurangan hambatan semakin besar yaitu 10% (numerik).

#### 7.2 Saran

Adapun saran dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan model *foil* untuk uji eksperimental perlu menggunakan alat khusus sehingga dapat mendapatkan hasil *foil* yang presisi.
2. Pengujian eksperimental kapal dengan menggunakan *foil* belakang sampai pada kecepatan dinas kapal yaitu 28 knots, sehingga dapat dibandingkan dengan simulasi numerik.
3. Menggunakan *dynamic mesh* untuk simulasi *free surface* sehingga mendapat hasil yang lebih akurat dan dapat mewakili fenomena asli. Seperti kondisi *displacement*, WSA kapal, dan kondisi *trim* dapat disimulasikan dengan sempurna.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, I. H., & Doenhoff, A. E. (1958). *Theory of Wing Section*. New York: Dover Publications, INC.
- ANSYS, I. (2016). *Marine and Offshore CFD Simulation: Hydrodynamics and Wave Impact Analysis*. Dipetik Juni 12, 2016, dari ANSYS: <http://www.ansys.com/Products/Fluids/Free-Surface-Flows/Marine-and-Offshore-CFD-Simulation>
- BKI. (2009). *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships, Volume II, Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- CFX. (2007). *CFX Manual XIII Chapter 9: Free Surface Flow Over a Bump*. Ansys.
- Digul Siswanto, M. (1998). *Hand Out Kuliah Tahanan Kapal*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan,FTK,ITS.
- Gibs, C. (1954). *Hydrofoil Research Project for Office of Nacal Research Navy Department*. Washington, D.C.
- Hirsch, C. (2007). *Numerical Computation of Internal and External Flows*. Oxford, UK: Elsevier's Science & Technology.
- Hull Vane b.v. (2016). *Hull Vane - Fuel Saving Foils*. Dipetik 05 Juli, 2016, dari Hull Vane: <http://www.hullvane.nl/>
- Kim, D. (2012). *The Performance of Planing Hulls in Transition Speeds* . University of Southampton .
- Kuzmin, D. (2014). *Introduction to Computational Fluid Dynamics*. University of Dortmund: Institut of Applied Mathematics.
- Laboratorium Hidrodinamika ITS. (2015). *Tes Hambatan dan Estimasi Power Kapal Orela*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Marzocca, P. (2009). *The NACA airfoil series*. Dipetik Januari 24, 2016, dari Clarkson University.
- Sadraey, M. (2012). *Wing Design, Chapter 5*. Wiley Publications Errata.
- Savitsky, D. (1964). *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*. NJ USA: SNAME, Paramus.
- Teddy, S. (2008). Pengaruh Lokasi Ketebalan Maksimum Airfoil Simetris Terhadap Koefisien Angkat Aerodinamisnya. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol. 11, No. 1* 2008, 110-124.
- The International Institute of Marine Surveying. (2015, Desember). The Report. *The Application of Technology in Marine Surveying*(74), hal. 36-43.
- The Royal Institution of Naval Architects. (2015, Oktober). Fuel Saving Device Also Enhances Vessel Motions. (D. Foxwell, Penyunt.) *Warship Technology*, hal. 17-21.
- V.Lewis, E. (1980). *Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City, NJ: The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- Versteeg, H., & Malalasekera, W. (1955). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*,. England: Longman Scientific & Technical.
- Watson. (1998). *Practical Ship Design, Volume I*. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Wonggiawan, F., Budiarto, U., & Rindo, G. (2015, Januari). Studi Perancangan Hydrofoil Kapal Penumpang Untuk Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3, 33-34.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2002). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Yousefi, R., Shafaghat, R., & Shakeri, M. (2013). *Hydrodynamic analysis techniques for high-speed planing hulls*. Babol, Iran: Elsevier Ltd.

## LAMPIRAN

Daftar lampiran terdiri dari:

- Lampiran A : *Grid Independence* Untuk *Foil* Belakang dan *Strut* Pada Simulasi Kekentalan Murni
- Lampiran B : Visualisasi Simulasi Kekentalan Murni
- Lampiran C : Visualisasi Simulasi *Free Surface*
- Lampiran D : Hasil Pengujian Hambatan Kapal Dengan *Foil* Belakang di *Towing Tank*

## BIODATA PENULIS



Affan Hidayat panggilan Affan, lahir di kota Surabaya, provinsi Jawa Timur pada tanggal 10 Juni 1994. Penulis lahir dari pasangan Drs. H. Usman Hidayat, M.Pd. dan Hj. Anik Suziyati sebagai anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Bhakti Pertiwi Sidoarjo (lulus tahun 2000), melanjutkan ke SDN Kepuh Kiriman I (lulus tahun 2006). Lalu pada saat SMP penulis diterima di SMPN 1 Waru Sidoarjo sampai kelas VIII dan pindah ke SMPN 17 Surabaya hingga lulus pada tahun 2009. Penulis melanjutkan bangku pendidikan di kota Surabaya, yaitu di SMAN 16 Surabaya (lulus tahun 2012). Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan-Fakultas Teknologi Kelautan-Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tulis sebagai Perguruan Tinggi pilihan pertama.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan–Hidrodinamika Kapal. Semasa kuliah, selain mengikuti perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan keorganisasian dan pelatihan. Dalam kegiatan keorganisasian Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Panitia Lomba Karya Cipta Maritim Nasional (Lokarina), Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) 8 ITS tahun 2014; dan Sekretaris Departemen Riset dan Teknologi, Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) tahun 2014-2015. Dalam kegiatan pelatihan yang pernah diikuti Penulis adalah *Auto-CAD Training* (tahun 2013), *Maxsurf Training* (tahun 2014), *Introduction to Hydrostar and Ariane*, *Software Bureau Veritas* (tahun 2015), dan *Training of Ansys* (tahun 2016). Selain itu penulis pernah tercatat menjadi *grader* mata kuliah Menggambar Teknik (MN 1212) pada tahun ajaran 2013-2014.

Email : [affanhidayat10@gmail.com](mailto:affanhidayat10@gmail.com)