

## TUGAS AKHIR - MN 141581

# ANALISIS HAMBATAN PENGGUNAAN HYDROFOIL PADA KATAMARAN DENGAN MENGGUNAKAN CFD

### **REGI YUDHA DIKANTORO**

NRP 4113100049

Dosen Pembimbing Dr. Ir. I Ketut Suastika Dedi Budi Purwanto S<u>T., MT</u>

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



TUGAS AKHIR - MN 141581

# ANALISIS HAMBATAN PENGGUNAAN HYDROFOIL PADA KATAMARAN DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Regi Yudha Dikantoro NRP 4113100049

Dosen Pembimbing Dr. Ir. I Ketut Suastika Dedi Budi Purwanto ST.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2018



## FINAL PROJECT - MN 141581

# RESISTANCE ANALYSIS OF CATAMARAN USING HYDROFOIL WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

Regi Yudha Dikantoro NRP 4113100049

Supervisor(s) Dr. Ir. I Ketut Suastika Dedi Budi Purwanto ST., MT.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA 2018

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS HAMBATAN PENGGUNAAN HYDROFOIL PADA KATAMARAN DENGAN MENGGUNAKAN CFD TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

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

Oleh:

REGI YUDHA DIKANTORO NRP 4113100049

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II

Thurks

Dedi Budi Purwanto, S.T., MT NIP 19820320 201012 1 001

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. I Ketut Suastika NIP 19691231 200604 1 178

Mengetahui, Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

SURABAYA, Januari 2018

## **LEMBAR REVISI**

# ANALISIS HAMBATAN PENGGUNAAN HYDROFOIL PADA KATAMARAN DENGAN MENGGUNAKAN CFD

### **TUGAS AKHIR**

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir Tanggal Januari 2018

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

Oleh:

REGI YUDHA DIKANTORO NRP 4113100049

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

- 1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T
- 2. Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D
- 3. Aries Sulisetyono, S.T., MASc., PhD

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

- 1. Dr. Ir. I Ketut Suastika
- 2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T

SURABAYA, Januari 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

### **KATA PENGANTAR**

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

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

- 1. Dr Ir I Ketut Suastika dan Dedi Budi Purwanto ST., MT selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
- Hasanudin ST., MT. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
- 3. Cecep Komar SH dan Ida Latifah SH selaku orang tua penulis yang telah memberikan perhatiaan dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir
- 4. 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.
- 5. Teman-teman SUBMARINE P53, yang sudah menemani, membantu, dan menjadi teman terbaik selama penulis berkuliah di Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS.

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

Surabaya, Januari 2018

**REGI YUDHA DIKANTORO** 

# ANALISIS HAMBATAN PENGGUNAAN HYDROFOIL PADA KATAMARAN DENGAN MENGGUNAKAN CFD

Nama Mahasiswa	: REGI YUDHA DIKANTORO
NRP	: 4113100049
Departemen / Fakultas	: Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	: 1. Dr. Ir. I Ketut Suastika
	2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T

### ABSTRAK

Simulasi CFD dilakukan untuk mempelajari pengaruh hydrofoil dan pemasangan hydrofoil secara memanjang terhadap hambatan HYSUCAT. Tiga variasi penempatan foil dilakukan yaitu (i) posisi 1: di bawah center gravity kapal, (ii) 3 panjang chord ke arah stern dari posisi 1, dan (iii) 6 panjang chord ke arah stern dari posisi 1. Pada kecepatan relatif rendah (FrV < 1,8), pemasangan hydrofoil menambah hambatan katamaran. Sebaliknya pada kecepatan relatif tinggi (FrV > 1,8), pemasangan hydrofoil mengurangi hambatan katamaran. Nilai koefisien hambatan meningkat pada awalnya, mencapai nilai maksimum kemudian berkurang seiring meningkatnya bilangan Froude. Nilai maksimum terjadi pada FrV  $\approx$  1,4 (atau Fr  $\approx$  0,5 ).Posisi peletakkan foil yang paling optimum adalah di bawah CG kapal.

Kata kunci: CFD, Hambatan Kapal, Hydrofoil, Hysucat, Katamaran.

# RESISTANCE ANALYSIS OF CATAMARAN USING HYDROFOIL WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

Author : REGI YUDHA DIKANTORO

ID No. : 4113100049

Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology

Supervisors : 1. Dr. Ir. I Ketut Suastika.

2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T

### ABSTRACT

CFD simulations were conducted to study the effects of a hydrofoil and its relative placement in the longitudinal direction on the total resistance of a HYSUCAT. Three foil positions were considered, namely, (i) position 1: precisely below the vehicle's center of gravity, (ii) 3 chordlengths towards the stern from position 1 and (iii) 6 chord-lengths towards the stern from position 1. At relatively low speed (FrV < 1,8), the hydrofoil results in an increase of the total resistance of the catamaran. At relatively high speed (FrV > 1,8), the hydrofoil results in a decrease of the total resistance. The resistance coefficient first increases, takes a maximum value and then decreases with increasing Froude number. The maximum value is observed at FrV  $\approx$  1,4 (or Fr  $\approx$  0,5). The most optimum foil placement is that precisely below the center of gravity of the vehicle.

Keyword : Catamaran, CFD, Hydrofoil, Hysucat, Ship Resistance.

# **DAFTAR ISI**

LEMBAR	PENGESAHANiii
LEMBAR	REVISIiv
HALAMA	N PERUNTUKANv
KATA PE	NGANTARvi
ABSTRA	۲vii
ABSTRAC	CTviii
DAFTAR	ISIix
DAFTAR	GAMBARxii
DAFTAR	TABELxv
Bab I PEN	DAHULUAN
I.1.	Latar Belakang Masalah1
I.2.	Perumusan Masalah2
I.3.	Tujuan2
I.4.	Batasan Masalah2
I.5.	Manfaat2
I.6.	Hipotesis2
Bab II STU	JDI LITERATUR
II.1.	Katamaran
II.2.	HYSUCAT4
II.3.	The NACA Airfoil Series7
II.3.1	. NACA Seri Empat Digit9
II.3.2	. NACA Seri Lima Digit9
II.3.3	. Modifikasi NACA Seri Empat dan Lima Digit9
II.3.4	NACA 1-Series atau 16-Series9
II.3.5	NACA 6-Series10
II.3.6	NACA 7-Series11
	ix

II.3.7.	NACA 8-Series
II.4.	Hambatan kapal14
II.4.1.	Froude Number16
II.4.2.	Reynolds Number17
II.5.	Teori lift dan drag pada foil17
II.6.	Computational Fluid Dynamics20
II.6.1.	Konsep Computational Fluid Dynamics21
II.6.2.	Persamaan dasar dinamika fluida dalam CFD22
II.7.	Ansys CFX
II.8.	Fine Marine
Bab III ME	TODOLOGI
III.1.	Metode
III.2.	Proses Pengerjaan
III.2.1	. Studi Literatur
III.2.2	. Pengolahan data
III.2.3	. Pembuatan Model kapal serta foil
III.2.4	. Pengujian Model
III.2.5.	. Validasi
III.2.6	. Analisa dan Pembahasan
III.2.7	. Kesimpulan
III.3.	Lokasi Pengerjaan
III.4.	Bagan Alir
Bab IV Pen	nbuatan model Dan Simulasi
IV.1.	Pembuatan Model
IV.1.1	. Lambung kapal
IV.1.2	. Hydrofoil dan Strut
IV.1.3	. Komputasi Domain dan Meshing
IV.2.	Simulasi CFD41
IV.2.1	. Tahap Pre-Processor
IV.2.2	. Tahap Solver
IV.2.3	. Tahap Post-Processor
IV.3.	Grid Independence45
Bab V Anal	lisa dan Pembahasan49
	X

V.1.	Pendahuluan	49
V.2.	Kapal Katamaran	49
V.3.	Foil	50
V.4.	Kapal Katamaran dengan Foil	55
V.5.	Koreksi Gaya Angkat Foil terhadap Hambatan Kapal	60
V.6.	Analisa Perubahan Sarat	64
Bab VI KI	ESIMPULAN DAN SARAN	69
VI.1.	Kesimpulan	69
VI.2.	Saran	70
DAFTAR	PUSTAKA	71
LAMPIRA	AN A Visualisasi Wave Pattern Katamaran	
LAMPIRA	AN B Visualisasi Ketinggian Gelombang	
BIODATA	A PENULIS	

# DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Hydrofoil Supported Catamaran	4
Gambar II.2 Konfigurasi Hysucat (Hoppe K. G., 1980)	4
Gambar II.3 Perbandingan Hysucat dengan planing katamaran (Migeotte, 2015)	6
Gambar II.4 Fase pada Hydrofoil Assisted Catamaran (Loveday, 2006)	6
Gambar II.5 Jenis konfigurasi foil pada katamaran (Hoppe., 1980)	7
Gambar II.6 NACA aifoil geometri (Sadraey, 2012)	8
Gambar II.7 NACA 641-212 (Abbot & Doenhoff, 1949)	.11
Gambar II.8 Diagram komponen hambatan (Harvald, S.S, 1983)	.16
Gambar II.9 Lift dan Drag (Suryadi, Arief, & Amiadji, 2016)	.18
Gambar II.10 Perbedaan tekanan antara permukaan menyebabkan timbulnya gaya angkat	
(Suryadi, Arief, & Amiadji, 2016)	.19
Gambar II.11 Diagram komputasi pada program Ansys CFX (ANSYS, CFX Manual, 2014)	)21
Gambar II.12 Model-model aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) mode	el-
model pendekatan elemen fluida tak hingga (Anderson, 1995)	.23
Gambar II.13 Tahapan komputasi di Fine Marine	.25
Gambar III.1 Rencana umum katamaran	.28
Gambar III.2 Linesplan kapal katamaran	.28
Gambar III.3 Bodyplan demihull	.29
Gambar III.4 L/D ratio foil NACA 64A121 pada berbagai sudut serang (Hidayat, 2016)	.30
Gambar III.5 Bagan alir pengerjaan tugas akhir	.32
Gambar IV.1 Model kapal di Maxsurf Modeler	.34
Gambar IV.2 Data hidrostatik kapal	.34
Gambar IV.3 Koordinat NACA 64A212 dan NACA 0010 (Abbot & Doenhoff, 1949)	.35
Gambar IV.4 Letak kedalaman foil	.36
Gambar IV.5 Posisi foil pertama, di pusat G	.36
Gambar IV.6 Posisi foil kedua, 3c dibelakang G dimana c adalah chord length	.36
Gambar IV.7 Posisi foil ketiga, 6c dibelakang G	.37
Gambar IV.8 Domain dan kondisi batas simulasi kapal	.38

Gambar IV.9 Mesh katamaran	39
Gambar IV.10 Mesh katamaran dengan domain	39
Gambar IV.11 Mesh foil pada simulasi di CFX	39
Gambar IV.12 Domain beserta foil pada simulasi di CFX	40
Gambar IV.13 Mesh katamaran foil	40
Gambar IV.14 Mesh didaerah foil	40
Gambar IV.15 Jenis fluida	42
Gambar IV.16 Parameter aliran	42
Gambar IV.17 Parameter kondisi batas	43
Gambar IV.18 Pembuatan body kapal	44
Gambar IV.19 Parameter body motion	44
Gambar IV.20 Grid independence katamaran	46
Gambar IV.21 Grid independence NACA 64A212 aspek rasio 6.5	47
Gambar IV.22 Spesifikasi komputer untuk simulasi CFD	47
Gambar V.1 Proses simulasi CFD	49
Gambar V.2 Hambatan kapal katamaran	50
Gambar V.3 Lift force pada berbagai sudut serang	51
Gambar V.4 Lift/ Drag ratio pada berbagai sudut serang	52
Gambar V.5 Lift foil/displasemen yang terjadi pada berbagai kecepatan	53
Gambar V.6 Visualisasi kontur kecepatan pada foil	53
Gambar V.7 Visualisasi kontur tekanan di sekitar foil	54
Gambar V.8 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil	57
Gambar V.9 Koefisien hambatan total	58
Gambar V.10 Lift force foil	59
Gambar V.11 Perbandingan lift foil dengan displasemen kapal	59
Gambar V.12 Hambatan kapal setelah dilakukan koreksi gaya angkat	61
Gambar V.13 Hubungan RT/ $\Delta$ dengan FrV	61
Gambar V.14 Hasil penelitian penggunaan hydrofoil pada katamaran (Loveday, 2006)	62
Gambar V.15 Koefisien hambatan total setelah dilakukan koreksi gaya angkat foil	63
Gambar V.16 Nilai ketinggian air pada bagian haluan kapal	64
Gambar V.17 Wave pattern katamaran	65
Gambar V.18 Wave pattern katamaran foil posisi 1	66
Gambar V.19 Wave pattern katamaran foil posisi 2	66
	xiii

Gambar V.20 Wave pattern katamaran foil posisi 3	66
Gambar V.21 Luas permukaan basah posisi 1	67
Gambar V.22 Luas permukaan basah posisi 2	67
Gambar V.23 Luas permukaan basah posisi 3	67
Gambar V.24 Perbedaan tekanan pada kecepatan 16 knot	68
Gambar V.25 Perbedaan tekanan pada kecepatan 28 knot	68

# **DAFTAR TABEL**

Tabel II.1 Keuntungan, kerugian, dan aplikasi dari penggunaan NACA airfoil series	
(Marzocca, 2016)	12
Tabel III.1 Ukuran utama kapal katamaran (Satriawansyah, 2016)	29
Tabel III.2 Perbandingan lift dan drag dengan variasi sudut serang (Hidayat, 2016)	29
Tabel IV.1 Parameter uji simulasi foil	41
Tabel IV.2 Parameter simulasi kapal	45
Tabel IV.3 Grid independence katamaran	46
Tabel IV.4 Grid independence foil	46
Tabel V.1 Data hambatan katamaran dengan software MAXSURF dan CFD	50
Tabel V.2 Perbandingan aspek rasio foil	51
Tabel V.3 Perbandingan Lift / Drag pada berbagai sudut serang	51
Tabel V.4 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 1	55
Tabel V.5 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 2	55
Tabel V.6 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 3	56
Tabel V.7 Perbandingan hambatan katamaran dan katamaran foil	56
Tabel V.8 Nilai koefisien hambatan total	58
Tabel V.9 Lift force yang dihasilkan foil	59
Tabel V.10 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 1	60
Tabel V.11 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 2	60
Tabel V.12 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 3	60
Tabel V.13 Nilai hambatan setelah dikoreksi perubahan displasemen	61
Tabel V.14 Koefisien hambatan setelah dikoreksi perubahan displasmen	62
Tabel V.15 Perubahan sarat kapal berbagai posisi	64
Tabel V.16 WSA kapal	65

# BAB I PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Aplikasi kapal katamaran sebagai moda transportasi atau angkutan laut/ sungai telah berkembang secara pesat dewasa ini dan nampaknya akan terus berkembang dimasa akan datang. Drewry Shipping Consultans, Ltd., (1990) menyatakan bahwa 43% dari seluruh armada angkutan penumpang dan kendaraan yang ada dewasa merupakan kapal tipe katamaran.

Suatu hal yang membuat kapal katamaran menjadi populer dan sukses digunakan sebagai moda transportasi adalah tersedianya area geladak (deck area) yang lebih luas dan tingkat stabilitas yang lebih nyaman dan aman (Insel & Molland, 1990). Disamping itu katamaran (lambung ganda) dengan bentuk badan yang langsing dapat memperkecil timbulnya sibakan air dibanding kapal lambung tunggal.

Penggunaan hydrofoil pada kapal telah banyak dilakukan karena menawarkan kelebihan yaitu mengurangi hambatan yang dihasilkan akibat adanya gaya angkat (lift) yang mengangkat badan lambung kapal diatas air sehingga memperkecil luas hambatan yang terjadi akibat gaya gesek (drag) antara lambung kapal yang tercelup air.

Munculah ide mengombinasikan hydrofoil pada katamaran yang diwujudkan dalam kapal HYSUCAT (*Hydrofoil Supported Catamaran*). HYSUCAT adalah kapal hybrid yang mengabungkan pengunaan *hydrofoil* pada kapal *planning* katamaran. Kapal jenis ini memiliki efsiensi yang lebih besar dibandingkan dengan kapal cepat atau jenis katamaran dengan bentuk lambung V. HYSUCAT menunjukkan pengurangan pada tenaga propulsi dan memiliki karakteristik seakeeping yang baik pada *rough water* (Hoppe, 1995).

Pada penelitian Tugas Akhir ini akan menganalisa pengaruh penggunaan hydrofoil pada kapal katamaran yang telah didesain sebelumnya oleh (Satriawansyah, 2016) untuk mengetahui pengaruh pengunaan hydrofoil pada besarnya hambatan kapal yang dihasilkan.

### I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan Hydrofoil pada hambatan kapal katamaran.

### I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan hydrofoil pada hambatan kapal katamaran.

### I.4. Batasan Masalah

Batasan –batasan masalah yang ada dalam tugas akhir ini adalah :

- Menggunakan model kapal yang digunakan dalam tugas akhir (Satriawansyah, 2016).
- 2. Model Foil yang digunakan dalam tugas akhir ini foil NACA 64A212 yang telah diuji oleh (Hidayat, 2016).
- 3. Kecepatan model kapal yang diuji adalah 16, 20, 24, dan 28 knot.
- 4. Metode penghitungan hambatan kapal menggunakan metode numerik dengan software FINE MARINE.
- 5. Posisi foil divariasikan menjadi 3 posisi yaitu di CG, 3c kearah stern, dan 6c kearah stern.
- 6. Simulasi kapal terangkat pada kondisi posisi even keel.

### I.5. Manfaat

Dari penulisan tugas akhir ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh pengunaan hydrofoil pada hambatan kapal katamaran.

### I.6. Hipotesis

Penggunaan hidrofoil pada katamaran dapat mengurangi hambatan yang dihasilkan .

# BAB II STUDI LITERATUR

#### II.1. Katamaran

Terdapat begitu banyak jenis kapal termasuk kapal dengan badan kapal lebih dari satu seperti kapal katamaran dengan 2 buah badan kapal, trimaran dengan 3 buah badan kapal dan seterusnya. Terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan pada saat merancang kapal katamaran yaitu permasalahan hambatan yang ditimbulkan oleh dua badan kapal sehingga menghasilkan interferensi diantara kedua lambung tersebut yang didefinisikan sebagai interferensi viskos yang disebabkan oleh aliran Simetris disekitar kedua badan kapal dan merupakan pengaruh pada pembentukan *boundary layer* disekitar badan kapal serta interferensi gelombang yang disebabkan oleh sistem gelombang antara kedua badan kapal.

Berbagai keuntungan lebih diberikan oleh kapal katamaran dibandingkan dengan kapal monohull. Kapal katamaran memiliki luasan geladak yang lebih luas dan tingkat stabiltas transversal yang lebih baik dibandingkan dengan kapal monohull (Insel & Molland, 1990). Keuntungan lain dari bentuk kapal katamaran selain dari segi kenyamanan penumpang adalah bentuk kapal yang berbeda dengan *monohull* membuat hambatan kapal katamaran 20 % lebih kecil pada displasemen kapal yang sama. Hal ini membuat kapal katamaran mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 20% dibandingkan dengan kapal monohull.

Luasnya layout kapal katamaran memberikan kemudahan dalam desain dan tata ruang kapal untuk berbagai jenis kapal seperti kapal penumpang serta penataan ruang untuk kendaraan. Hal ini membuat kapal katamaran telah banyak digunakan pada berbagai tipe kapal penumpang. Selain kelebihan yang dimiliki oleh kapal katamaran, kapal katamaran memiliki beberapa kekurangan seperti penggunaan dua lambung katamaran membuat kapal katamaran memiliki maneuver yang kurang baik jika dibandingkan dengan kapal *monohull*. Karakteristik hambatan di air tenang kapal katamaran lebih besar dibandingkan dengan monohull, dimana dominasi hambatan gesek mencapai 40% dari hambatan total pada kecepatan rendah (Wijhost & Wargeland, 1996). Penurunan kecepatan kapal katamaran akibat kondisi gelombang yang tinggi tidak jarang ditemui pada kapal katamaran sehingga kapal katamaran pada umumnya

digunakan pada kecepatan tinggi dengan tingkat penggunaan bahan bakar yang relatif ekonomis.

### II.2. HYSUCAT

HYSUCAT (Hydrofoil Support Catamaran) adalah kapal hybrid yang menggunakan hydrofoil untuk menghasilkan gaya angkat dengan tujuan mengurangi hambatan yang dihasilkan. Hysucat menggunakan hydrofoil didalam terowongan antara dua demihull katamaran. Kekuataan kapal meningkat akibat foil yang diletakkan di keel kapal membentuk seperti struktur cincin yang menghubungkan dua demihull.



Gambar II.1 Hydrofoil Supported Catamaran

Secara umum jenis kapal Hysucat menggunakan sebuah foil diletakkan di posisi LCG kapal dan membentang pada celah antara demihull berada dekat keel. Pada kecepatan tinggi, Hydrofoil yang didesain mengangkat demihul keluar dari air. Hal imi tejadi karena gaya angkat yang dihasilkan lambung kapal lebih kecil dan *dynamic planning force* lebih dominan.



Gambar II.2 Konfigurasi Hysucat (Hoppe K. G., 1980)

Katamaran dengan mono foil sangat sensitif terhadap perubahan LCG kapal serta memerlukan sebuah trim device untuk pengoperasiannya. Untuk mengatasi permasalahan 4 tersebut digunakan sistem dua foil. Foil utama diletakkan sedikit didepan posisi LCG kapal dan trim foil dipasang dekat transom dengan posisi diatas keel supaya foil beroperasi pada permukaan air. Foil utama mengangkat sekitar 40-75 % berat kapal pada kecepatan desain tergantung ukuran dan displasemen kapal. (Migeotte & Hoppe, 1999).

Pengunaan trimfoil memudahkan kapal agar tetap stabil pada kecepatan penuh dan mempertahankan sudut kemiringan yang diinginkan pada planning. Pengunaan sistem hidrofoil lain dikembangkan oleh Gerdesen yang dinamakan Canard Hydrofoil yang memiliki keunggulan pada kapal Hysucat dengan angka Froude yang lebih rendah. Pada sisten ini trim foil diletakkan di depan LCG kapal dan main foil dibelakang LCG.

Sistem fixed hydrofoil, yang terdiri dari foil utama yang terletak sedikit ke depan dari titik pusat gravitasi dan dua buah trim foil yang berada dekat transom memberikan trim stabilitas dinamis melalui pengaruh *hydrofoil surface effect*. Gaya angkat foil berkurang ketika foil mencapai permukaan air pada kecepatan tinggi. Inilah yang dinamakan hydrofoil surface effect yang mencegah hidrofoil keluar dari permukaan air ketika kecepatan melebihi batas. Foil berfungsi pada kedalaman tertentu dimana gaya angkat dan planning force bergabung untuk mengimbangi berat kapal.

Pengurangan hambatan kapal katamaran akan terjadi ketika hydrofoil yang berada didalam terowongan dua demihull asimetris mengangkat sebagian berat kapal pada kecepatan tertentu sehingga badan kapal terangkat keluar dari air yang berdampak pada berkurangnya hambatan karena hydrofoil mempunyai efisiensi gaya angkat yang lebih besar dibandingkan lambung.

Menurut Hoppe, (1989) dan Milandri, (2006), Hysucat memiliki keunggulan dibandingkan planning hull yaitu

- Meningkatkan kecepatan kapal
- Meningkatkan kapasitas daya tampung
- Meningkatkan kemampuan seakeeping
- Mengurangi friction resistance dan wave making resistance akibat sebagian lambung kapal terangkat
- Meningkatkan efisiensi bahan bakar akibat berkurangnya hambatan
- Meningkatkan kemampuan olah gerak kapal (manoevuring)



Gambar II.3 Perbandingan Hysucat dengan planing katamaran (Migeotte, 2015)

Dari hasil analisa yang dilakukan pada data hasil eksperimen pada kapal katamaran dibantu foil yang telah dikumpulkan oleh Universitas Stellenbosch dapat diketahui bahwa katamaran foil mengalami 3 fase operasi yang ditunjukkan pada Gambar II.4 yaitu fase displasemen, fase transisi dari semi displasemen menuju planing, dan fase planing.



Gambar II.4 Fase pada Hydrofoil Assisted Catamaran (Loveday, 2006)

Selain jenis hyuscat, konfigurasi foil terdiri dari beberapa jenis seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.5.



Gambar II.5 Jenis konfigurasi foil pada katamaran (Hoppe., 1980).

Pengunaan konfigurasi tipe tandem dan standar *canard* merupakan konfigurasi yang populer digunakan pada jenis kapal semi displasemen, banyak kapal yang sudah ada mengunakan dua jenis konfigurasi ini. Hal ini akibat dari kemampuan *lifting* yang menghasilkan badan kapal terangkat dari air jika dibutuhkan. Konfigurasi ini tidak terlalu sensitif terhadap perubahan titik berat secara memanjang (LCG) dan *overloading*. Pengaplikasian konfigurasi avion atau hyuscat banyak ditemukan pada kapal planning berukuran 5 sampai 20 meter namun penaplikasian jenis terbatas pada kapal semi displasemen karena terbatas kemampuan *lifting* pada kecepatan semi displasemen. Serupa dengan sistem monofoil yang hanya terlihat berhasil pengaplikasiannya pada kapal semi displasemen 40 m. Konfigurasi Hysuwac memanfaatkan foil depan yang memiliki aspek rasio yang besar beserta foil belakang yang dipasang pada terowongan. Konfigurasi ini diaplikasikan pada kapal berukuran 20 m sampai 40 m dan berhasil didesain hingga kapal berukuran panjang 72 m.

### II.3. 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 air*foil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan). Hingga sekitar Perang Dunia II, air*foil* yang banyak digunakan adalah hasil riset. Selama periode ini banyak pengajuan air*foil* dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset, NACA-lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematik 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 jarijari (Gibs, 1954).Seperti terlihat Gambar II.6, pada suatu air*foil* terdiri dari:



Gambar II.6 NACA aifoil geometri (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*.

#### II.3.1. 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 air*foil* dalam persentase *chord*. Sebagai contoh, NACA 2415 air*foil* memiliki ketebalan maksimum 15% dengan camber dari 2% terletak 40% kembali dari air*foil* terdepan (atau 0.4c)

#### II.3.2. NACA Seri Lima Digit

NACA seri lima digit menggunakan bentuk ketebalan sama dengan Seri EmpatDigit tapi garis *mean camber* didefinisikan secara berbeda dan konvensi penamaan sedikit lebih kompleks. Digit pertama, ketika dikalikan dengan 3/2, menghasilkan koefisien *lift* desain (cl) dalam sepersepuluh. Dua digit berikutnya, ketika dibagi 2, 10 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*.

#### II.3.3. Modifikasi NACA Seri Empat dan Lima Digit

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

- Angka tambahan yang pertama menunjukan *leading edge* radius % *chord* dari tipe tersebut.
- Angka tambahan kedua menunjukan 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*.

#### II.3.4. 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*.

#### **II.3.5.** 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  $64_{1-}$ 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 atas *lift* koefisien 0,1 di dan dibawah koefisien lift desain (0,2) yang 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*.



Gambar II.7 NACA 641-212 (Abbot & Doenhoff, 1949)

#### II.3.6. NACA 7-Series

NACA 7-Series adalah upaya lebih lanjut untuk memaksimalkan daerah aliran laminar melalui air*foil* 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 air*foil* dalam persen *chord* (15%).

### II.3.7. NACA 8-Series

Variasi final pada metodologi 6 dan 7-Series, NACA 8-Series dirancang untuk penerbangan pada kecepatan superkritis. Seperti air*foil* sebelumnya, tujuannya adalah 12 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 air*foil* 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 II.1 berikut.

Tipe foil	Keuntungan Kerugian	Aplikasi
4-Digit	1. Karakteristik <i>stall</i> 1. Koefisien lift	Penerbangan
	baik Rendah	Simetris:
	2. Gerakan tekanan 2. Drag relatif tinggi	1. Supersonic
	direntang 3. Pitching	jet
	kecepatan besar.	2. Helicopter
	3. Kekasaran	3. Shrouds
	memiliki pengaruh	4. Rudal / roket
	yang kecil	
5-Digit	1. Koefisien lift 1. Perilaku <i>stall</i> jelek	1. Penerbangan
	maksimum lebih 2. <i>Drag</i> relatif tinggi	umum
	tinggi	2. Komuter
	2. saat pitching	3. Jet Bisnis
	Rendah	
	3. Kekasaran	
	memiliki pengaruh	
	yang kecil	

Tabel II.1 Keuntungan, kerugian, dan aplikasi dari penggunaan NACA airfoil series (Marzocca, 2016)

16-Series	1. Menghindari	1. <i>Lift</i> relatif rendah	1. Baling-baling
	puncak tekanan		pesawat
	rendah		2. Baling-baling
	2. <i>Drag</i> rendah		kapal
	dengan kecepatan		
	tinggi		
6-Series	1. Koefisien lift	1. Drag tinggi pada	1. Piston
	maksimum tinggi	kondisi operasi	bertenaga
	2. <i>Drag</i> yang sangat	rentang maksimum	2. Jet Bisnis
	rendah pada	2. Pitching tinggi	3. Jet Trainers
	kondisi operasi	3. Karakteristik <i>stall</i>	4. Jet Supersonic
	rentang kecil	jelek	
	3. Dioptimalkan	4. Sangat rentan terhadap	
	untuk kecepatan	kekasaran	
	tinggi		
7-Series	tinggi 1. <i>Drag</i> yang sangat	1. Mengurangi koefisien	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada	1. Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi	<ol> <li>Mengurangi koefisien Lift maksimum</li> <li>Drag tinggi pada</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. Pitching rendah	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. Pitching rendah	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>Karakteristik <i>stall</i></li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. <i>Pitching</i> rendah	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>Karakteristik <i>stall</i> jelek</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. Pitching rendah	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>Karakteristik <i>stall</i> jelek</li> <li>Sangat rentan</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. Pitching rendah	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>Karakteristik <i>stall</i> jelek</li> <li>Sangat rentan terhadap kekasaran</li> </ol>	Jarang digunakan
7-Series 8 -Series	tinggi 1. Drag yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. Pitching rendah Tidak diketahui	<ol> <li>Mengurangi koefisien <i>Lift</i> maksimum</li> <li><i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum</li> <li>Karakteristik <i>stall</i> jelek</li> <li>Sangat rentan terhadap kekasaran</li> <li>Tidak diketahui</li> </ol>	Jarang digunakan

#### II.4. Hambatan kapal

*William Froude* (1867) pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu hambatan sisa (*residual*) dan hambatan gesek (*friction*). Hambatan sisa dalam hal ini meliputi komponen hambatan wave-making system energies, eddy dan viscous energy losses akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan hambatan gesek kapal diasumsikan sama dengan hambatan gesek suatu pelat datar 2-dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal.

Komponen hambatan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana hambatan total merupakan penjumlahan hambatan gesek (RF) dengan hambatan sisa (RR) sehingga didapat persamaan:

$$R_T = R_F + R_R \tag{II-1}$$

Dimana :

 $R_T$ : Hambatan total kapal

- $R_F$ : Hambatan gesek
- $R_R$ : Hambatan sisa

Metode analisa 2-dimensi tersebut diatas tidak cukup meng-refleksikan kontribusi bentuk/kontur lambung kapal (yang 3-dimensi) terhadap hambatan viskos, sehingga kemudian (Hughes, 1954) memperkenalkan metode untuk digunakan dalam korelasi model kapal dimana total hambatan adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen:

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

$$C_T = C_F + C_{F0} + C_W \text{ dimana } C_{F0} = kC_F$$
$$C_T = (1+k)C_F + C_W$$

(1+k) disebut *form factor* dan dapat diperoleh dari eksperimen pada kecepatan rendah (Fr<</li>
0.1) dimana Cw dapat diabaikan, sehingga *form factor* dapat dihitung dengan:

$$(1+k) = \frac{C_T}{C_{F0}}$$

Selanjutnya Standar internasional dari *ITTC* (1978) dengan judul "1978 *Performance Prediction Method for Simple Single Screw Ships*". meng-klasifikasikan hambatan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis, dalam 2 (dua) komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan *Reynolds* dan hambatan gelombang (*wave-making resistance*) yang tergantung pada bilangan *Froude*, dimana korelasi kedua komponen hambatan tersebut diperlihatkan pada persamaan dibawah ini

Hambatan total kapal dibagi dalam empat komponen:

$$C_T = (1+k)C_F + C_R + C_F + C_{AA}$$
 (II-2)

Dimana,

(1+k): merupakan *form factor*.

*C<sub>F</sub>*: Hambatan gesek dengan menggunakan ITTC '57.

*C*<sub>*R*</sub> : Hambatan sisa dari percobaan model.

CF: Roughness Allowance (0 for smooth model).

*CAA*: *Air Resistance* (*assumed* 0 *for model without superstructure*)

Metode untuk mendapatkan k dengan pengukuran pada kecepatan rendah dimana  $C_R$  diasumsikan mendekati 0 dan (1+k) = CT/CF. Dengan penurunan sebagai berikut:

 $C_{\text{R}} \approx 0$ 

 $C_F \approx 0$  (0 for smooth model).

 $C_{AA} \approx 0$  (assumed 0 for model without superstructure).

Sehingga,

 $C_T = (1+k) C_F + C_R + C_F + C_{AA}$ 

$$= (1+k) C_F + 0$$

 $C_T = (1+k)C_F$ 

(1+k) = CT/CF

Pada prakteknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam menjamin keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam memperhitungkan hambatan, yaitu metode yang diusulkan oleh Prohaska.

Mengasumsikan  $C_{RM} = a Fr_n$  pada kecepatan rendah (pada umumnya Fr<0.2) sehingga didapat persamaan hambatan total kapal sebagai berikut:

$$C_T = (1+k)C_F + aF_n^T$$

Dimana (1+k), a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari pengukuran pada kecepatan rendah.

Secara skematik, pembagian komponen hambatan diperlihatkan pada skematik diagram dibawah ini.



Gambar II.8 Diagram komponen hambatan (Harvald, S.S, 1983).

#### **II.4.1. Froude Number**

Bilangan Froude adalah sebuah bilangan non dimensional yang digunakan untuk mengukur hambatan dari sebuah benda yang bergerak di permukaan air. Bilangan Froude dinamakan sesuai dengan penemunya William Froude. Bilangan Froude dapat di formulasikan sebagai berikut

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g L}}$$
 atau  $Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \nabla^{\frac{1}{3}}}}$  (II-3)

Dimana

Vs = kecepatan kapal

16

g = percepatan gravitasi L = panjang garis air

 $\nabla$  = volume displasemen

#### **II.4.2.** Reynolds Number

Reynolds number adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya kekentalan yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan reynolds merupakan bilangan non dimensional yang sangat penting dalam mekanika fluida. Bilangan reynold digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda seperti jenis aliran laminar dan turbulen. Pada aliran laminar memiliki bilangan Reynolds lebih kecil  $2x10^5$  sedangkan aliran turbulen memiliki bilangan Reynolds lebih besar  $3.5 \times 10^5$ . Aliran yang memiliki bilangan Reynolds  $2x10^5 - 3.5 \times 10^5$  biasa disebut dengan aliran transisi. Bilangan Reynolds di formulasikan sebagai berikut:

$$Rn = \frac{\rho v_{sL}}{\mu} = \frac{v_{sL}}{v} \tag{II-4}$$

Dimana

 $\rho$  = densitas fluida  $v_s$  = kecepatan aliran L= panjang  $\mu$  = viskositas absolut dinamis v = viskositas kinematik fluida

### II.5. Teori lift dan drag pada foil

Pada benda yang terbenam dalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya akibat interaksi fluida dengan benda, gaya yang ditimbulkan berupa gaya normal yang disebabkan perubahan tekanan dan gaya geser yang terjadi akibat viskoksitas fluida. Jika dilihat dari arah horisontal, gaya yang tegak lurus dengan arah aliran disebut gaya angkat (lift force) dan gaya yang searah dengan aliran fluida disebut gaya gesek (drag).



Gambar II.9 Lift dan Drag (Suryadi, Arief, & Amiadji, 2016)

Dalam konsep aerodinamik, gaya angkat (lift force) didefiniskan 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 negative 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 luasan 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*).

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \mathsf{C} \tag{II-5}$$

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


Gambar II.10 Perbedaan tekanan antara permukaan menyebabkan timbulnya gaya angkat (Suryadi, Arief, & Amiadji, 2016)

Dari persamaan Bernaulli diatas jumlah energi adalah konstan, pada aliran disekitas 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.

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

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

$$F = C_F \frac{1}{2} \rho S v^2 \tag{II-6}$$

Dimana

F = gaya yang bekerja pada *foil* 

- $C_F$  = koefisien gaya
- $\rho$  = 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:

$$C_l = \frac{F_{lift}}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \tag{II-7}$$

19

$$C_d = \frac{F_{drag}}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \tag{II-8}$$

# **II.6.** Computational Fluid Dynamics

CFD adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan boundary condition yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan menggunakan bantuan komputasi komputer.

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah boundary condition. Boundary condition adalah kondisi dimana kontrol-kontrol penghitungan didefinisikan sebagi definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat. Gambar II.11 memperlihatkan skema perhitungan dengan menggunakan program Ansys CFX. Struktur ANSYS CFX terdiri dari 4 modul software yang memerlukan geometri dan mesh untuk memberikan informasi yang dibutuhkan dalam menampilkan analisa CFD. Komponen ANSYS CFX antara lain ANSYS CFX-Pre sebagai bagian dari Physics Pre-Processor, dilanjutkan dengan ANSYS CFX-Solver yang bertautan dengan ANSYS CFX-Solver Manager sebagai bagian untuk memecahkan atau menjalankansimulasi dan ANSYS CFD-Post yang merupakan modul untuk menampilkan hasil simulasiyang dirangkai dengan berbagai visualisasi aliran.



Gambar II.11 Diagram komputasi pada program Ansys CFX (ANSYS, CFX Manual, 2014)

# **II.6.1.** Konsep Computational Fluid Dynamics

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu metode perhitungan dalam sebuah control dimensi, luas dan *volume* dengan memanfaatkan bantuan komputer dalam melakukan perhitungan disetiap elemen-elemen pembaginya. CFD juga didefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Malalasekera & Versteeg, 1995)

Penggunaan CFD telah berkembang begitu luas dalam beberapa bidang industri dan berbagai disiplin ilmu. CFD digunakan untuk melakukan berbagai eksperimen dalam sebuah komputer dengan menggunakan ekperimen numerik. Penggunaan CFD untuk tujuan eksperimen memberikan keuntungan yang lebih jika dibandingkan dengan eksperimen dengan menggunakan model. Efisiensi waktu dan jumlah pengujian yang tak terbatas serta hasil yang didapatkan dapat diperoleh sesuai dengan pemberian kondisi batas yang diterapkan dan dapat dianalisa disetiap waktu yang ditentukan menjadikan CFD memiliki keunggulan tersendiri.

# II.6.2. Persamaan dasar dinamika fluida dalam CFD

*Computational Fluid Dynamics* merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat bergeraknya suatu benda pada fluida tersebut. Persamaan dasar yang digunakan pada CFD merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan tersebut merupakan pernyataan matematis dari tiga prinsip dasar fisika sebagai berikut:

- 1. Hukum kekekalan massa
- 2. Hukum kedua Newton, F = m.a
- 3. Hukum kekekalan energi

Pada proses mendapatkan persamaan gerak fluida maka terdapat tiga hal yang harus menggunakan prinsip-prinsip sebagai berikut:

- Memilih prinsip fisika dasar dari hokum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton dan hukum kekekalan energi).
- 2. Menetapkan prinsip-prinsip fisika tersebut dalam pemodelan aliran.
- Pada penerapan ini, dapat diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsipprinsip fisika.

Pada proses pemodelan aliran maka dapat digunakan beberapa metode yaitu metode kontrol volume dan metode elemen fluida. Pemilihan metode aliran dapat dijelaskan melalui gambar dibawah ini





 (a) kontrol volume hingga yang diam dengan fluida yang bergerak melaluinya



 (b) kontrol volume hingga yang bergerak bersamafluida



(c) elemen fluida kecil tak-hingga yang diam dengan fluida yang bergerak melaluinya

(d) elemen fluida kecil tak-hingga yang bergerak sepanjang streamline dengan kecepatan V, yang sama dengan kecepatan aliran lokal pada tiap titik

Gambar II.12 Model-model aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) model-model pendekatan elemen fluida tak hingga (Anderson, 1995)

Pada pemodelan dengan menggunakan prinsip (a) dan (c) maka dapat diperoleh persamaan yang disebut dengan *conservation form*. Sedangkan pemodelan dengan menggunakan prinsip (b) dan (d) maka akan diperoleh persamaan yang disebut *non conservation form*. Dari penurunan keempat model tersebut, pada dasarnya akan menghasilkan persamaan yang sama tetapi dengan proses matematis yang berbeda

# II.7. Ansys CFX

Pada proses penyelesaian masalah dengan menggunakan CFD-Ansys CFX terdapat tiga tahap yang harus dilalui, yaitu: *Pre-processor, Flow Solver (Solution),* dan *Post Processor.* 

# A. Tahap Pre Processor

Merupakan tahap dimana data diinput mulai dari pembuatan domain serta pembuatan kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahap ini sebuah model yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*. Secara umum, tahap ini terdiri dari:

- 1. Pemodelan kapal
- 2. Pembuatan domain fluida
- 3. Pemodelan kondisi batas
- 4. Optimasi model yang optimum
- 5. Pemilihan jumlah grid yang optimum
- B. Tahap Flow Solver (Solution)

Pada tahap ini 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. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum tahap ini terdiri dari:

- 1. Penentuan kondisi batas
- 2. Pemilihan jenis fluida
- 3. Penentuan kecepatan model
- 4. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
- 5. Penentuan batas konvergensi yang optimum
- C. Tahap Post Processor

Tahap Post-Processor merupakan tahap yang digunakan untuk menganalisis, visualisasi dan mempresentasikan hail interaktif sesuai dengan kasus yang sedang ditinjau. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

# **II.8.** Fine Marine

Fine marine merupakan software CFD yang dikeluarkan NUMECA International yang khusus digunakan untuk berbagai simulasi yang berkaitan dengan kelautan seperti menghitung *Resistance , Seakeeping, Manouvering dan Propulsion*. Sama seperti dengan software CFD lainnya dalam melakukan simulasi terdapat 3 tahap yang harus dilalui yaitu Pre-Processor , Solver, dan Post Processor. Pada software Fine Marine, ketiga tahap tersebut dilakukan dengan 3 program yang terdapat pada Hexpress dan Fine yang berfungsi untuk tahapan Pre-processor, ISIS-CFD yang berfungsi untuk tahap solver dan CFView yang berfungsi tahapan Post Processor. Ketiga Tahapan tesebut dapat dilihat pada gambar



Gambar II.13 Tahapan komputasi di Fine Marine

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB III METODOLOGI

# III.1. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini berupa simulasi model kapal dengan *Software Ship Design* Maxsurf Modeler, Ansys CFX, dan FINE MARINE sebagai software CFD.

# **III.2.** Proses Pengerjaan

Berikut merupakan tahap -tahap dalam proses pengerjaan tugas akhir:

# III.2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna lebih memahami permasalahan yang ada, sehingga memunculkan dugaan-dugaan awal yang selanjutnya bisa disusun menjadi sebuah hipotesis awal. Studi literatur dilakukan berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan hambatan pada kapal katamaran, foil yang akan digunakan, konsep HYSUCAT, serta CFD.

# III.2.2. Pengolahan data

Pada tahap ini, data –data yang akan digunakan dikumpulkan untuk kemudian dilakukan pembuatan model dengan Software. Data-data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah model kapal katamaran yang didapatkan dari penelitian Satriawansyah (2016) serta data foil yang didapatkan dari penelitian Hidayat (2016).

Data yang didapatkan berupa ukuran utama kapal, rencana garis kapal, dan data hidrostatik kapal katamaran. Berikut merupakan data ukuran utama kapal katamaran:



Gambar III.1 Rencana umum katamaran



Gambar III.2 Linesplan kapal katamaran



Gambar III.3 Bodyplan demihull

Dimensi Partikular	Kapal
LWL	44,00 m
В	11,80 m
Т	1,40 m
Н	3,80 m
Vs	28 knot
B <sub>1</sub>	3,00 m

Tabel III.1 Ukuran utama kapal katamaran (Satriawansyah, 2016)

Untuk mendapatkan hasil gaya angkat yang optimum maka jenis foil yang digunakan foil yang asimetris. Menurut (Hidayat, 2016) yang telah melakukan analisis terhadap foil NACA 64212 pada sudut serang 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 16°, 18°, dan 20° diketahui bahwa pada sudut serang 2° memiliki lift drag ratio yang lebih baik dibandingkan variasi sudut serang lainnya sehingga sudut serang yang digunakan pada katamaran foil yaitu 2°.Berikut merupakan hasil analisis lift dan drag force pada variasi sudut serang (Hidayat, 2016) yang ditunjukan padaTabel III.2 dan Gambar III.4.

No	Sudut serang (Deg)	Drag (N)	Lift (N)	L/D
1	0	5591,75	104583	18,7031
2	2	7829,92	232281	29,6658
3	4	13112,6	357528	27,266
4	6	21233,2	482677	22,7322
6	8	32469,4	609838	18,7819
7	10	46852	728488	15,5487
8	12	63683,1	834353	13,1016

Tabel III.2 Perbandingan lift dan drag dengan variasi sudut serang (Hidayat, 2016)



Gambar III.4 L/D ratio foil NACA 64A121 pada berbagai sudut serang (Hidayat, 2016)

# III.2.3. Pembuatan Model kapal serta foil

Pada tahap ini, model kapal katamaran dibuat dengan software Maxsurf Modeler dengan menyesuaikan ukuran utama kapal yang telah didapatkan sesuai dengan penelitian Satriawansyah. Sedangkan Pembuatan model foil dilakukan dengan menggunakan software Rhinocheros. Setelah melakukan pemodelan model kapal di Maxsurf untuk menyesuaikan dengan data Hidrostatik, model kapal diimport ke software CFD untuk dilakukan perbaikan geometri serta meshing kapal. Pada Tahap ini dilakukan pemodelan kapal katamaran tanpa foil dan katamaran dengan foil.

Setelah melakukan perbaikan model kapal di software CFD, tahap selanjutnya adalah pembuatan komputasi domain yang akan digunakan dalam proses selanjutnya. Pada tahap ini dilakukan pemberian boundary condition, model turbulensi, jumlah iterasi dan nilai *time step*.

#### **III.2.4.** Pengujian Model

Pada tahap ini 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 ditentukan menentukan kondisi batas ,interaksi dinding batas dengan fluida dan objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainya yang perpengaruh pada proses pengujian.

Processor/Solver

*Solver* atau *processor* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan dari data-data yang telah dimasukan .Dalam proses *solver* ini ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.

Post Processor

Pada tahap ini dilakukan perhitungan hasil serta visualisasi melalui software . Aplikasi ini menyediakan informasi berupa data, gambar dan animasi.

# III.2.5. Validasi

Pada tahap ini data yang telah diperoleh dari hasil numerik dengan CFD akan divalidasi. Terdapat parameter yang digunakan pada tahap validasi data yaitu:

#### Grid Independensi

Besarnya jumlah elemen atau *grid* yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakurasian hasil yang diperoleh karena jumlah elemen mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat pemrosesan hasil.Pada tahap ini hasil numerik yang telah didapatkan diuji dengan jumlah elemen yang berbeda. Hasil simulasi dinyatakan valid apabila jumlah elemen yang digunakan tidak mempengaruhi hasil simulasi. Pada tahap ini hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih hasil kurang dari 5%.

#### III.2.6. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis data hasil dari simulasi model numeric. Pada tahap ini analisis mengenai besarnya hambatan total dan fenomena- fenomena yang terjadi pada berbagai variasi kecepatan. Sehingga dapat mengetahui pengaruh dari pemasangan *foil* terhadap hambatan total kapal katamaran.

#### III.2.7. Kesimpulan

Setelah analisa dilakukan, maka dari hasil analisa tersebut dibuat kesimpulan untuk merangkum keseluruhan hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

#### III.3. Lokasi Pengerjaan

Pengerjaan Tugas Akhir dilakukan di Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan ITS

# **III.4.** Bagan Alir

Berikut merupakan bagan alir pengerjaan Tugas Akhir :



Gambar III.5 Bagan alir pengerjaan tugas akhir

# **BAB IV**

# PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI

#### **IV.1. Pembuatan Model**

Seperti yang dijelaskan pada Bab III, dalam pembuatan model terbagi menjadi tiga komponen yaitu pembuatan desain lambung kapal katamaran, desain hydrofoil, dan desain lambung kapal katamaran dengan hydrofoil. Pembuatan model lambung kapal katamaran dilakukan untuk *simulasi free surface* yang digunakan dalam menghitung hambatan secara numerik.

#### **IV.1.1. Lambung kapal**

Pembuatan desain lambung kapal katamaran menggunakan bantuan software Maxsurf Modeler Advanced. Dengan cara melakukan gambar ulang dari rencana garis kapal katamaran berdasarkan acuan ukuran utama kapal yang telah diketahui. Langkah pertama adalah perencanaan jumlah surface yang dibutuhkan untuk memodelkan kapal katamaran, 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 katamaran ; dan tambahkan design grid section, buttock, dan waterline sesuai rencana garis kapal katamarn dengan cara memilih menu "data-design grid". Setelah surface kapal katamaran telah siap, import gambar rencana garis kapal katamaran dengan memilih menu "file-import-image background". Untuk mengatur skala dari background recana 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 katamaran dapat mulai dilakukan. Proses gambar ulang dilakukan dengan cara mengatur *control point* sesuai pada *background* rencana garis kapal katamaran 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 katamaran. Bentuk visualisasi dari model uji lambung kapal yang telah dilakukan ditampilkan pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar IV.1 Model kapal di Maxsurf Modeler

Berikut merupakan data hidrostatik kapal katamaran

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	185,2	t
2	Volume (displaced)	180,690	m^3
3	Draft Amidships	1,400	m
4	Immersed depth	1,400	m
5	WL Length	44,025	m
6	Beam max extents o	11,800	m
7	Wetted Area	328,401	m^2
8	Max sect. area	6,363	m^2
9	Waterpl. Area	220,485	m^2
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,645	
11	Block coeff. (Cb)	0,489	•
12	Max Sect. area coeff	0,758	
13	Waterpl. area coeff.	0,835	
14	LCB length	20,992	from z
15	LCF length	18,719	from z
16	LCB %	47,681	from z
17	LCF %	42,520	from z
18	VCB	0,886	m
19	КВ	0,886	m
20	KG fluid	0,000	m
21	BMt	24,425	m
22	BML	152,434	m
23	GMt corrected	25,311	m
24	GML	153,319	m
25	KMt	25,311	m
26	KML	153,319	m
27	Immersion (TPc)	2,260	tonne/c
28	MTc	6,454	tonne.
28 en	MTc sity (water) 1.025 tonne	6,454 :/m^3	tonne.
Std.	densities 1,025 tonne	e/m^3 - Std. I	Metric sea
	0 m		

Gambar IV.2 Data hidrostatik kapal

Setelah selesai pembuatan lambung kapal di Maxsurf, tahap selanjutnya adalah mengekspor model kapal dalam bentuk yang dapat dibaca software CFD untuk kemudian dilakukan pembuatan komputasi domain untuk proses simulasi.

#### IV.1.2. Hydrofoil dan Strut

Berdasarkan subbab 3.2.2, maka tipe *foil* NACA yang dipilih adalah 64A1212.Serta permodelan *strut* menggunakan *foil* simetris dan tanpa menggunakan sudut serang. Tipe NACA yang digunakan pada strut yaitu NACA 0010. Data koordinat NACA 64A1212 dan NACA 0010 yang digunakan dalam pemodelan *foil* diambil dari *data base* NACA yang dapat dilihat pada Gambar 4. 3. Koordinat tersebut merupakan persentase dari panjang *chord foil* dan chord sturt.

	percent of	foils chore	d)		
Upper	Surface	Lower	Surface	NAC	A 0010
Station	Ordinate	Station	Ordinate	X	v
0	0	0	0	(Percent c)	(Dercent c
0.418	1.025	0.582	-0.925	(rescence)	(reicent c
1.147	1.593	1.353	-1.379	0	0
4.868	3.123	5.132	-2.491	0.5	
9.865	4.386	10.135	-3.352	1.25	1.578
14.872	5.291	15.128	-3.945	2.5	2
19.886	5.968	20.114	-4.376	5	2.962
29 921	6.815	30.079	-4.871	7.5	3.5
24 041	7.009	35.050	4.0/1	10	3.902
34.941	7.008	35.059	-4.948	15	4.455
44.982	6.893	45.018	-4.703	20	4.782
50	6.583	50	-4.377	25	4.952
55.016	6.151	54.984	-3.961	30	5.002
60.029	5.619	59.971	-3.477	40	4.837
65.039	5.004	64.961	-2.944	50	4.412
70.045	4.322	69.955	-2.378	60	3.803
75.047	3.59	74.953	-1.8	70	3.053
80.045	2.825	79.955	-1.233	80	2.187
85.038	2.054	84.962	-0.708	90	1.207
90.027	1.303	89.973	-0.269	95	0.672
95.013	0.604	94.987	-0.028	100	0.106
100	0	100	0	LE Radius =	1.1

NACA 641212

Gambar IV.3 Koordinat NACA 64A212 dan NACA 0010 (Abbot & Doenhoff, 1949)

Menurut (Hoppe K., 1995) agar foil dapat beroperasi dengan efisien, foil harus berada dalam kedalaman tertentu agar gaya angkat yang dihasilkan foil dan gaya angkat yang dihasilkan oleh lambung kapal dapat mengangkat kapal. Berdasarkan penelitian Hoppe, foil direkomendasikan beroperasi pada  $h_w/l_c$  (Hw = air diatas foil, cl = panjang chord foil) 0,2 saat kapal berjalan dengan kecepatan dinas. Menurut (Aktas, Turkmen, Sasaki, & Knos, 2016) peletakkan foil pada permukaan air di daerah LCG dengan sudut serang tertentu berperan sebagai tambahan permukaan planning yang menghasilkan gaya angkat ketika meluncur pada permukaan air. Keunggulan dari peletakan ini induced drag yang dihasilkan relatif kecil.

Posisi Hydrofoil pada kapal katamaran divariasikan menjadi 3 variasi posisi secara memanjang yaitu diletakkan pada titik berat secara memanjang (LCG) kapal, 3 panjang chord ke arah stern, dan 6 panjang chord ke arah stern. Sedangkan posisi foil berada pada kedalaman 0,4 m dari permukaan air.



Gambar IV.4 Letak kedalaman foil



Gambar IV.5 Posisi foil pertama, di pusat G



Gambar IV.6 Posisi foil kedua, 3c dibelakang G dimana c adalah chord length



Gambar IV.7 Posisi foil ketiga, 6c dibelakang G

Selanjutnya dari data-data *foil* diatas, dilakukan proses pemodelan menggunakan *software* RHINOCEROS. Kemudian hasil dari permodelan tersebut disimpan dalam format yang dapat dibaca oleh *software* CFD. Proses pengeksportan model diperlukan untuk menyamakan format *file* dengan *file* yang mampu untuk dibaca oleh *software* CFD, sehingga dapat dilakukan proses *meshing*.

## IV.1.3. Komputasi Domain dan Meshing

Setelah pembuatan geometri selesai, langkah selanjutnya adalah pembuatan komputasi domain untuk simulasi CFD. Ukuran domain memiliki standar ukuran *boundary* agar hasil analisa bisa sesuai dengan keadaan lingkungan sebenarnya. Ukuran domain yang digunakan dalam model kapal ditunjukkan pada Gambar IV.8.





Gambar IV.8 Domain dan kondisi batas simulasi kapal

Setelah dilakukan pembuatan domain, proses selanjutnya adalah melakukan *meshing*. Proses *meshing* dilakukan dengan membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil yang disebut *cell*. Gabungan dari *cell-cell* tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut *mesh* atau *grid* karena gabungan dari elemen-elemen tersebut membentuk jala. Proses meshing dilakukan memberikan ukuran *mesh* pada pengaturan part mesh.

Pada proses meshing kapal di Hexpress Fine Marine terdapat 5 tahap yang dilalui untuk menghasilkan meshing yang baik, kelima tahapan tersebut yaitu ;

- 1. Tahapan membagi domain kedalam kotak-kotak elemen sesuai sumbu cartesian.
- 2. Tahapan penyesuaian mesh terhadap bentuk lambung kapal dengan melakukan *refinement* pada bagian permukaan dan garis lekung kapal. Pada Tahap ini ditentukan ukuran dari *cell* pada bagian yang ingin diperhalus seperti bagian antara air dan udara. Pada free surface, parameter *target cell* size sumbu x dan y harus lebih kecil dari pengatur *intial mesh* pada parameter pertama sedangkan *target cell size* sumbu z berpatokan pada ukuran LPP kapal/1000 (NUMECA, 2013).
- 3. Tahapan memperhalus meshing dengan menyesuaikan dengan bentuk kapal.
- 4. Tahapan optimasi. Pada tahap ini dilakukan proses optimasi dari hasil meshing dengan memperbaiki kualitas meshing yang dihasilkan. Kualitas meshing yang dihasilkan mempengaruhi dari proses solver suatu simulasi.
- 5. Tahapan pemberian layer pada bagian permukaan kapal yang berfungsi untuk memperbaiki *boundary layer*. Pada tahap ini memerlukan ukuran dan kecepatan kapal sehingga dihasilkan angka Reynolds dan angka Froude yang dipengaruhi ukuran dan kecepatan kapal.

Berikut merupakan hasil meshing katamaran yang dapat dilihat pada Gambar IV.9.



Gambar IV.9 Mesh katamaran



Gambar IV.10 Mesh katamaran dengan domain

Gambar IV.10 menunjukan hasil *meshing* katamaran dengan domain. Pada bagian free surface, meshing perlu diperhalus dibandingkan bagian yang lainnya untuk mendapatkan fenomena-fenomena yang terjadi pada kapal.



Gambar IV.11 Mesh foil pada simulasi di CFX

Gambar IV.11menunjukan hasil meshing foil yang dilakukan pada CFX. Pada bagian trailing edge, ukuran mesh diperkecil untuk mendapatkan bentuk trailing edge yang sempurna tajam seperti pisau. Meshing foil dengan domain dapat dilihat pada Gambar IV.12.



Gambar IV.12 Domain beserta foil pada simulasi di CFX



Gambar IV.13 Mesh katamaran foil



Gambar IV.14 Mesh didaerah foil

Gambar IV.13 dan Gambar IV.14 merupakan hasil *meshing* kapal dengan foil serta hasil meshing yang didaerah foil. Pada daerah badan kapal dengan foil, meshing lebih rapat dibandingkan daerah lainnya.

# IV.2. Simulasi CFD

#### **IV.2.1. Tahap Pre-Processor**

# A. Simulasi Foil

Setelah proses pemodelan dan *meshing* foil telah dilakukan maka selanjutnya memasuki tahap *pre-processor* yaitu menentukan karakteristik kondisi-kondisi batas pada objek uji berupa model foil 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. Untuk simulasi pada foil dilakukan pada 1 fluida yaitu air. Simulasi Foil dilakukan dengan menggunakan Ansys CFX. Parameter uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel IV.1.

Property	Foil		
Domain Physics	Water, SST turbulence model, Automatic wall function, Heat transfer Isothermal		
Bo	oundary physics:		
Inlet	Subsonic, Normal speed 28 knot, turbulence medium intensity		
Outlet	Static Pressure with relative pressure $= 0$ Pa		
TOP ,Bottom,Side wall	Wall with free slip condition		
Foil	Wall with no slip condition		
5	Solver settings:		
Advection scheme	High Resolution		
Timescale control	Automatic timescale		
Turbulence	First Order		
Convergence criteria	Residuary type: RMS, Target: 0.0001		
Proc	essing Parameters:		
Run type	3 core; Parallel		

Tabel IV 1	Daramatar II	ii e	imul	201	foi	1
Tabel IV.I	Parameter u	$\mu$ s	imui	ası	101	L

#### B. Simulasi Kapal

Proses selanjutnya setelah dilakukan *meshing* dan definisi geometri kapal adalah proses pengaturan parameter simulasi aliran. Proses pengaturan simulasi dilakukan dengan software FINE. Berikut beberapa parameter yang harus didefinisikan pada tahap ini :

a. Kondisi Aliran

Kondisi aliran terbagi menjadi 2 jenis yaitu aliran *steady* dimana kecepatan aliran tetap dan aliran *unsteady* dimana jenis aliran ini memiliki kecepatan yang berubah-ubah. Dari penjelasan tersebut maka aliran yang dipakai pada penelitian ini adalah aliran *steady*.

b. Jenis Fluida

Definisi fluida dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian fluida air laut dan fluida udara. Pada analisa ini bagian fluida dipisahkan oleh *internal surface* yang dibuat pada proses penggambaran geometri kapal katamaran hidrofoil.

74 Fluid Model	×
Fluid-1 properties	
Name WATER	
Dynamic viscosity 0.00104362 [Pa-s]	
Density 998.4 [kg/m <sup>3</sup>	
Fluid-2 properties	
Name AIR	
Dynamic viscosity 1.85e-005 [Pa-s]	
Density 1.2 [kg/m³	
FLUID-2	
g	
FLUID-1	
• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
	Ok Cancel

Gambar IV.15 Jenis fluida

c. Jenis Aliran

Model turbulensi aliran yang paling umum digunakan pada analisa aliran fluida adalah model k-omega (SST-Menter). Parameter ukuran dan kecepatan kapal diperlukan untuk mendapatkan nilai Angka Reynolds dan Angka Froude.

Mathematical mod Regime / Turbulence	del model k-	omega (SS	ST-Menter)			
Gravity intensity Z -9.81 [m/s2]						
Reference parameters           Reference length         44.0         [m]         Reynolds (WATER): 6.0628E+008           Reference velocity         14.4032         [m/s]         Froude : 0.69326						

Gambar IV.16 Parameter aliran

d. Kondisi batas

Batas domain perlu didefinisikan untuk membedakan jenis batas. Kondisi batas untuk badan kapal bisa berupa fungsi dinding yang memiliki definisi nilai gesek. Kondisi batas untuk bagian atas dan bawah domain didefinisikan sebagai fungsi tekanan hidrostatik. Kondisi batas untuk bagian depan, belakang, dan samping didefinisikan *far field*.

SOLD       EXTERNAL       MAROR       Non-contornal interfaces       X         Patches          • Skp (zero shear stress)         • Val-Kunction         • Val-Val-Val-Val-Val-Val-Val-Val-Val-Val-	74 Boundary Conditions		×	
Patches       © Sip (zero shear stress)         Totals       © No sip (Laminar or low Reynolds number model)         Ock       © No sip (Laminar or low Reynolds number model)         Will       © Walk-function         Will       © K Cancel             Ok       Cancel             Y Boundary Conditions       X             Y Boundary Conditions       X <td< th=""><th>SOLID EXTERNAL MIRROR Non-conformal interfaces</th><th></th><th>·</th><th>74 Boundary Conditions X</th></td<>	SOLID EXTERNAL MIRROR Non-conformal interfaces		·	74 Boundary Conditions X
Ok       Cancel         Patches       Patches         O       Far field         O       Far field         O       Far field         O       Far field velocity         O       field         O	Patches C Silp (zero shear stress) Transom Deck HULL1 HULL	nber model)		SOLID     EXTERNAL     MIRROR     Non-conformal interfaces       Patches <ul> <li></li></ul>
74 Boundary Conditions       X         SOLD       XTERNAL       MRROR       Non-conformal interfaces         Patches		Ok	Cancel	Ok Cancel
	76 Boundary Conditions         SOLD       EXTERNAL       MIRROR       Non-conformal interfaces         Patches		×	% Boundary Conditions       X         SOLD       EXTERNAL       Non-conformal interfaces         Pathes

Gambar IV.17 Parameter kondisi batas

# e. Kondisi kapal

Jenis dinding yang digunakan pada semua bagian geometri kapal. Definisi bagianbagian domain yang merupakan bagian dari badan kapal dikelompokkan menjadi satu komponen.



Gambar IV.18 Pembuatan body kapal

f. Kondisi gerakan kapal

Titik apung kapal dan jenis gerakan kapal didefinisikan sesuai perhitungan dan kebutuhan analisa. Pada penelitian kali ini jenis gerakan kapal yang diaktifkan gerakan translasi pada sumbu x dengan *motion law* menggunakan adalah *1/2 sinusoidal ramp* dimana kecepatan awal kapal (V0) pada awal komputasi hingga t0 kemudian beranjak naik sampai kecepatan akhir kapal (V1) pada t1.

74 Body Motion						×
General Options		Activat				
Bodies hull	Motion definitio	n Dynamic p	arameters			
	D.O.F motion	n definition			74 Motion Law for Tx	×
	D.o.fs	Motion type	Motion la	w	Motion law parameters	
	Tx0	Imposed 🛓	1/2 sinusoidal ramp	± Edi	i 1/2 sinusoidal ramp profile	
	Ty0	Fixed 🛓		_	▲ V(t)	
	Tz0	Fixed 🛓				
	Rx0 (Roll)	Fixed				
	Ry0 (Pitch) Rz0 (Yaw)	Fixed ±		_		
	1.00 (1017)	<u>-</u>	D		V <sub>0</sub>	
	Deference	aint				
	X =	0.0 🖨 [m	]		Initial time (t0) 0 [s]	
	Y =	0.0 🛓 (m	]		Initial velocity (V0) 0 [m/s]	
	Z =	0.0 🜩 (m	]		Final time (t1) 1 [s]	
					Ok C	ancel

Gambar IV.19 Parameter body motion

# g. Parameter lain

Pada initial condition, posisi free surface didefinisikan dengan sarat kapal. Pada variabel kontrol ditentukan jumlah perhitungan iterasi dan *timestep value*. Setelah semua parameter ditentukan proses *running solver* dilakukan. Proses *running* simulasi merupakan

proses perhitungan data secara komputasi oleh komputer. Secara umum parameter uji untuk simulasi kapal dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Description	Туре	Condition	
Xmin (Inlet)	EXT	Far field , $Vx = 0$	
Xmax (Outlet)	EXT	Far field, $Vx = 0$	
Zmin (Bottom)	EXT	Updated Hydrostatic Pressure	
Zmax(Top)	EXT	Updated Hydrostatic Pressure	
Ymin (Side)	MIR	Mirror	
Ymax(side)	EXT	Far field, $Vx = 0$	
Ship and foil	SOL	Wall Function	
Deck	SOL	Slip (zero shear stress)	
Motion	Translation in X direction	Velocity = ship speed (28 knot) using ½ sinusoidal ramp	

Tabel IV.2 Parameter simulasi kapal

# IV.2.2. Tahap Solver

Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data secara komputasi dari berbagai parameter yang telah dimasukkan. Proses perhitungan akan terhenti jika variabel kontrol telah dipenuhi seperti jumlah iterasi, jumlah timestep, dan residual target .

# **IV.2.3. Tahap Post-Processor**

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

# **IV.3.** Grid Independence

Salah satu metode yang digunakan untuk membuktikan keakuratan hasil simulasi adalah dengan menggunakan Grid Independence. Grid Independence merupakan metode untuk mengetahui pengaruh jumlah elemen terhadap hasil simulasi. Penggunaan jumlah elemen yang lebih besar pada model dapat menghasilkan hasil yang mendekati sebenarnya. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang besar akan menjamin hasil simulasi akurat. Jumlah elemen yang besar mempengaruhi lamanya waktu solver. Grid independence dilakukan untuk menghasilkan hasil simulasi yang paling optimal yang artinya selisih persentase hasil dari simulasi CFD tersebut terhadap jumlah total elemen kurang dari 5% sehingga waktu iterasi yang dihasilkan dapat relatif minimum. Selain dari jumlah total elemen, waktu iterasi juga dipengaruhi oleh spesifikasi komputer yang digunakan.

Grid independence dilakukan pada model katamaran dan foil NACA 64A212 dengan variasi aspek rasio 4.3; 5.2; dan 6.5 pada kecepatan pengujian 16 knot dengan ukuran meshing yang berbeda –beda yang berakibat dengan jumlah elemen yang digunakan.Berikut merupakan hasil perubahan hambatan terhadap jumlah elemen untuk foil NACA 64212 aspek ratio 6.5 yang disajikan pada Tabel IV.4 dan perubahan hambatan terhadap jumlah elemen terhadap model katamaran yang dilakukan pada kecepatan 16 knot yang disajikan pada Tabel IV.3 berikut ini

No	Elemen	Rt (KN)	Selisih
1	800000	124,0	
2	1200000	100,7	18,80%
3	1900000	99,8	0,89%

Tabel IV.3 Grid independence katamaran



Gambar IV.20 Grid	independence	katamaran
-------------------	--------------	-----------

No	Jumlah Elemen	Drag force (N)	Selisih %	
1	330000	2763,35		
2	457000	2517,3	9%	
3	690000	2367,8	6%	
4	930000	2006,6	15%	
5	1600000	1984,6	1%	

Tabel IV.4 Grid independence foil



Gambar IV.21 Grid independence NACA 64A212 aspek rasio 6.5

Pada Gambar IV.21 menunjukkan *grid indepedence* dari foil NACA 64A212 dengan aspek rasio 6.5. Dari grafik diketahui pengaruh jumlah elemen mempengaruhi nilai drag yang dihasilkan oleh foil. Nilai drag yang dihasilkan foil mengecil seiring bertambahnya jumlah elemen namun pada jumlah elemen sebesar 1.6 juta, nilai drag memiliki selisih yang kecil dibandingkan nilai drag dengan jumlah elemen sebesar 930.000. Dari grafik *grid independence* tersebut dipilih model 4 dengan jumlah total elemen sebesar 930.000 untuk dilakukan simulasi kekentalan murni pada berbagai variasi kecepatan. Dari Gambar IV.20 menunjukkan grid independence yang model katamaran dimana model 2 memiliki selisih yang sangat kecil dengan model 3 sehingga model 2 digunakan untuk proses simulasi.

Kapasitas komputer sangat mempengaruhi 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 IV.22 Spesifikasi komputer untuk simulasi CFD

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB V

# ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### V.1. Pendahuluan

Setelah melakukan proses simulasi CFD, maka pada bab ini akan membahas mengenai hasil-hasil dari proses simulasi. Dari proses simulasi CFD akan mendapatkan nilai hambatan total dari kapal katamaran dan katamaran foil.



Gambar V.1 Proses simulasi CFD

# V.2. Kapal Katamaran

Dari hasil simulasi CFD, maka didapatkan nilai hambatan total kapal katamaran. Perhitungan hambatan kapal katamaran dilakukan pada berbagai variasi kecepatan yaitu pada kecepatan 16, 20, 24 ,dan 28 knot. Selain menggunakan CFD, perhitungan hambatan katamaran dapat dilakukan dengan menggunakan software Maxsurf Resistance dengan metode *slender body*. Perhitungan *slender body* mengasumsikan lambung kapal berbentuk simetris dan pipih dimana rasio antara panjang dan lebar kapal yang besar ( $L/V^{1/3} > 4.0$ ). Berikut merupakan hasil simulasi nilai hambatan kapal katamaran pada berbagai variasi kecepatan dengan CFD dan Maxsurf yang ditampilkan pada Tabel V.1.

Fr	Vs (knot)	CFD	Maxsurf
0,40	16	32,51	40,2
0,50	20	65,83	71,8
0,59	24	81,84	90,9
0,69	28	99,8	110,6

Tabel V.1 Data hambatan katamaran dengan software MAXSURF dan CFD



Gambar V.2 Hambatan kapal katamaran

Gambar V.2 menunjukan hambatan yang dihasilkan kapal katamaran dengan menggunakan Maxsurf Resistance dan CFD. Pada Gambar V.2 terlihat adanya perbedaan nilai hambatan yang dihasilkan CFD dengan Slender Body yang dilakukan Maxsurf. Nilai hambatan total yang dihasilkan oleh CFD lebih kecil dibandingkan dari hasil hambatan yang dihasilkan maxsurf.

# V.3. Foil

Untuk menentukan ukuran foil yang akan digunakan pada katamaran perlu dilakukan simulasi untuk menentukan perbandingan lift dan drag dari berbagai aspek ratio. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ukuran foil yang digunakan mampu memberikan gaya angkat yang cukup untuk mengangkat kapal.Berikut merupakan hasil perbandingan aspek ratio pada foil NACA 64A212.

No	chord (m)	Span (m)	aspek ratio	Drag (N)	Lift (N)	L/D
1	0,8	5,2	6,5	2006,6	18289,3	9,115
2	1	5,2	5,2	2780,9	21947,2	7,892
3	1,2	5,2	4,333333	3159	25179,3	7,971

Tabel V.2 Perbandingan aspek rasio foil

Berdasarkan Tabel V.2 foil yang memiliki aspek ratio 6.5 memiliki perbandingan lift dan drag yang lebih besar dibandingkan foil yang memiliki aspek ratio yang lain. Setelah menentukan ukuran foil yang digunakan, langkah selanjutnya melakukan variasi sudut serang untuk mendapatkan perbandingan *lift force/ drag force* maksimum. Berikut merupakan hasil perbandingan lift force/ drag force pada berbagai variasi sudut serang yang disajikan pada Tabel V.3.

No	Angle Attack	Drag (N)	Lift(N)	l/D	D/l
1	0	6031,7	56081	9,298	0,108
2	2	8527,6	127244	14,921	0,067
3	4	14112	196412	13,918	0,072
4	6	22721	257593	11,337	0,088
5	8	34330	310299	9,039	0,111
6	10	48236	355039	7,360	0,136
7	12	62360	376502	6,038	0,166
8	14	79381	385461	4,856	0,206
9	16	101175	392845	3,883	0,258
10	18	125008	397889	3,183	0,314
11	20	152111	404074	2,656	0,376

Tabel V.3 Perbandingan Lift / Drag pada berbagai sudut serang



Gambar V.3 Lift force pada berbagai sudut serang

Gambar V.3 menunjukkan perbandingan lift force yang terjadi pada foil pada berbagai sudut serang. Lift force yang terjadi mengalami peningkatan dengan bertambahnya namun pada titik tertentu gaya angkat yang dihasilkan mengalami penurunan. Kondisi tersebut dinamakan stall.



Gambar V.4 Lift/ Drag ratio pada berbagai sudut serang

Gambar V.4 menunjukkan perbandingan *lift force/drag force* yang dialami foil pada berbagai variasi sudut serang dimana *lift force/ drag force* mengalami stall pada sudut serang 2°. Tren ini sama dengan penelitian yang dilakukan (Hidayat, 2016) yang melakukan penelitian foil belakang menggunakan foil tipe NACA 64A212 dengan aspek rasio 6.67. Dimana pada sudut serang 0° *lift force/ drag force* sebesar 9.297, kemudian mencapai maksimum pada sudut serang 2° sebesar 14.92, dan mengalami penurunan harga *lift force /drag force* seiring bertambahnya sudut serang. Maka dari hasil simulasi didapatkan ukuran foil yang digunakan yaitu

- Span : 5.2 meter
- Chord : 0.8 meter
- Angle of attack : 2°



Gambar V.5 Lift foil/displasemen yang terjadi pada berbagai kecepatan



Gambar V.6 Visualisasi kontur kecepatan pada foil

Gambar V.6 dapat terlihat kontur kecepatan yang terjadi pada foil dalam berbagai sudut serang. Perbedaan warna kontur biru, hijau, kuning, dan merah menunjukkan adanya perbedaan kecepataan yang terjadi dimana semakin merah warna menunjukkan semakin tinggi kecepatan. Menurut persamaan Bernoulli, peningkatan kecepatan aliran fluida yang terjadi pada bagian atas foil disertai penurunan tekanan yang dialami bagian atas foil. Pada sudut serang 2°, kecepatan aliran yang terjadi pada bagian atas foil lebih cepat dibandingkan bagian bawah foil yang ditandai kontur warna merah pada bagian atas. Dengan bertambahnya sudut serang maka kecepatan aliran yang berada pada bagian atas foil semakin berkurang yang ditandai dengan kontur warna biru yang dialami foil pada sudut serang 20°. Perbedaan aliran kecepatan yang terjadi pada bagian bagian bawah ini menimbulkan gaya angkat.



Gambar V.7 Visualisasi kontur tekanan di sekitar foil

Gambar V.7 menunjukkan kontur tekanan yang terjadi disekitar foil pada berbagai sudut serang. Perbedaan warna kontur biru, hijau, kuning, dan merah menunjukkan adanya perbedaan tekanan yang terjadi di sekitar foil dimana semakin merah warna menunjukkan semakin besar tekanan yang berada di disekitar foil. Pada sudut serang 2 derajat, tekanan pada bagian bawah foil lebih besar dari bagian atas foil yang ditandai warna hijau. Dengan bertambahnya sudut serang tekanan di bagian bawah semakin meningkat yang ditandai perubahan kontur warna kuning.
#### V.4. Kapal Katamaran dengan Foil

Dari hasil simulasi di CFD didapatkan hambatan total kapal katamaran dengan foil. Pada simulasi ini kapal tidak mengalami perubahan kedudukan akibat adanya gaya angkat yang dihasilkan oleh foil yang dipasang pada kapal. Berikut merupakan hasil hambatan total katamaran foil dari CFD pada berbagai variasi kecepatan yang serta variasi posisi ditampilkan pada Tabel V.4, Tabel V.5, dan Tabel V.6.

Er	R⊤ (I	Solicib	
ГІ	Barehull	posisi 1	Selisili
0,40	32,51	33,24	2%
0,50	65,83	66,47	1%
0,59	81,84	87,01	6%
0,69	99,8	108,95	9%

Tabel V.4 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 1

Pada Tabel V.4 menunjukkan perbandingan hambatan kapal katamaran dengan katamaran foil posisi 1. Dari tabel menunjukkan bahwa pemasangan foil pada posisi 1 yaitu posisi foil pada LCG tidak mengurangi hambatan yang dihasilkan oleh kapal katamaran .

Er	R⊤ (k	Solicib	
ΓI	Barehull posisi2		Selisili
0,40	32,51	33,21	2%
0,50	65,83	64,48	-2%
0,59	81,84	85,63	5%
0,69	99,8	107,75	8%

Tabel V.5 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 2

Pada Tabel V.5 menunjukkan perbandingan hambatan kapal katamaran dengan katamaran foil posisi 2. Dari tabel menunjukkan bahwa pemasangan foil pada posisi 2 yaitu posisi foil 3 chord length kearah stern terjadi pengurangan hambatan sebesar 2% pada kecepatan bilangan froude 0,5.

Er	R <sub>T</sub> (ł	Solicib	
ΓI	Barehull posisi 3		Selisiii
0,40	32,51	36,11	11%
0,50	65,83	63,418	-4%
0,59	81,84	84,90	4%
0,69	99,8	108,95	9%

Tabel V.6 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil posisi 3

Pada Tabel V.6 menunjukkan perbandingan hambatan kapal katamaran dengan katamaran foil posisi 3. Dari tabel menunjukkan bahwa pemasangan foil posisi ke 3 yaitu posisi foil 6 chord length kearah stern terjadi pengurangan hambatan pada bilangan froude 0,5 sebesar 4%.

Pemasangan foil pada beberapa posisi secara memanjang menyebabkan perubahan letak LCG dan LCB kapal. Hal ini berpengaruh terhadap pengaruh fenomena yang terjadi di kapal. Pada posisi 1 terjadi perubahan LCG sebesar 3,88 cm menjadi 21,03 m dari LCG barehull sebesar 20,99 m. Pada posisi 2 terjadi perubahan LCG sebesar 3,52 cm menjadi 21,03 m dan posisi 3 terjadi perubahan LCG sebesar 3,17 cm menjadi 21,02.

Pemasangan foil pada katamaran menghasilkan hambatan tambahan (*appendages resistance*) akibat adanya tambahan foil yang terdapat pada lambung katamaran pada saat kecepatan rendah. Pada saat fase semi displacement atau fase transisi, terjadi peningkatan gaya hidrodinamika yang berlawanan dengan gaya hidrostatik yang mendominasi kapal pada kecepatan rendah, yang terjadi pada lambung kapal menyebabkan lambung kapal bergerak berlawanan dengan gaya angkat yang dihasilkan oleh foil. Sehingga gaya angkat yang dihasilkan oleh foil tidak dapat mengangkat lambung kapal untuk keluar dari air akibat dominannya gaya hidrodinamika yang terjadi pada lambung kapal alambung kapal.

Perbandingan nilai hambatan antara katamaran dan katamaran dengan berbagai posisi dapat dilihat pada Tabel V.7 dan disajikan dalam dalam bentuk grafik pada Gambar V.8.

Vs (Knot)	Er.	R <sub>T</sub> (kN)			
vs (Knot)	Гľ	Bare hull	Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3
16	0,40	32,51	33,24	33,21	36,11
20	0,50	65,83	66,47	64,48	63,42
24	0,59	81,84	87,01	85,63	84,9
28	0,69	99,8	108,95	107,75	108,95

Tabel V.7 Perbandingan hambatan katamaran dan katamaran foil



Gambar V.8 Perbandingan hambatan katamaran dengan katamaran foil

Gambar V.8 menunjukkan perbandingan hambatan kapal katamaran dengan katmaran foil. Dari Gambar V.8 diketahui bahwa penggunaan katamaran dengan foil menghasilkan hambatan yang lebih besar ketimbang dengan katamaran yang tidak menggunakan foil sehingga penggunaan foil pada katamaran secara keseluruhan menambah hambatan. Hal ini terjadi karena gaya angkat yang dihasilkan foil tidak dapat mengangkat sebagian badan kapal keluar dari permukaan air. Berdasarkan penelitian pemasangan hydrofoil yang tidak menempel dengan lambung kapal juga mengakibatkan hilangnya gaya angkat akibat aliran air yang mengalir melalui celah antara foil dengan lambung kapal.

Dari hasil simulasi didapatkan nilai hambatan kapal dan nilai dari luas permukaan basah yang kemudian menghasilkan nilai koefisien hambatan total menggunakan rumus:

$$C_T = \frac{R_T}{0.5 \,\rho \,S \,V^2}$$

Dimana :

 $C_T$  = Koefisien hambatan total

 $R_T$  = Hambatan total (N)

 $\rho$  = massa jenis air laut (1025 kg/m<sup>3</sup>)

S =luas permukaan basah (m<sup>2</sup>)

V = kecepatan kapal (m/s<sup>2</sup>)

Dari rumus diatas didapatkan nilai koefisien hambatan total pada tiap-tiap kecepatan kapal untuk kapal katamaran dan katamaran dengan tiga posisi berbeda yang disajikan pada Tabel V.8

Fr	$C_{\rm T} (x 10^3)$					
	Barehull	posisi 1	posisi 2	posisi3		
0,40	2,965	2,969	2,966	3,218		
0,50	4,120	3,985	3,937	3,917		
0,59	3,448	3,548	3,494	3,487		
0,69	2,874	3,051	3,005	3,041		

Tabel V.8 Nilai koefisien hambatan total

Dari data-data tersebut kemudian disajikan dalam satu grafik yang dapat dilihat pada







Dari Gambar V.9 menunjukkan adanya penurunan nilai koefisien hambatan total kapal pada mulai bilangan froude 0,5 sampai dengan bilangan froude 0,69. Pada bilangan froude 0,5, nilai dari koefisien hambatan total katamaran berbagai posisi foil besanya lebih kecil dibandingkan nilai koefisien hambatan total barehull.

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan gaya angkat / *lift force* yang dihasilkan oleh interaksi foil terhadap badan kapal. Besarnya *lift force* diperoleh dengan mengintegralkan tekanan terhadap luas permukaan foil. Nilai *lift force* yang dihasilkan foil pada berbagai kecepatan dapat dilihat pada Tabel V.9 dan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar V.10.

Tabel V.9 Lift force yang dihasilkan foil

Fr	Lift (N)			
	Posisi1	Posisi 2	Posisi 3	
0,40	3082,96	9778,39	10062,66	
0,50	15041,57	20959,96	33065,46	
0,59	56736,52	40238,78	40586,1	
0,69	96774,6	65628,6	68830,86	



Gambar V.10 Lift force foil



Gambar V.11 Perbandingan lift foil dengan displasemen kapal

Pada Gambar V.11 menunjukkan hubungan antara besarnya kecepatan terhadap gaya angkat / lift force yang dihasilkan foil. Dari gambar grafik dapat diketahui semakin cepat kapal

maka semakin besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh foil dan besarnya gaya angkat/ *lift* yang dihasilkan oleh foil pada posisi 1 yaitu di CG kapal lebih besar dibandingkan dengan posisi foil lainnya. Interaksi antara foil dengan badan kapal mengakibatkan gaya angkat yang dihasilkan oleh foil berkurang hal ini disebabkan karena tekanan rendah yang terjadi di permukaan atas foil menciptakan gaya isap kebawah (*suction downward force*) pada lambung kapal sehingga gaya angkat yang dihasilkan oleh foil berkurang. Hal ini sama seperti yang dijelaskan oleh (Ishikawa, 1991).

### V.5. Koreksi Gaya Angkat Foil terhadap Hambatan Kapal

Setelah hasil simulasi didapatkan, dilakukan koreksi terhadap perubahan gaya angkat foil dan hambatan kapal terhadap perubahan displasement, luas permukaan basah, sarat kapal, dan LWL. Proses simulasi dilakukan dengan kondisi kapal *even keel*.Proses koreksi dilakukan dengan memasukkan displasemen kapal yang telah dikurangi dengan besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh sistem foil yang direncanakan. Displasemen kapal yang baru ini kemudian dihitung hidrostatik. Proses perhitungan menggunakan software Maxsurf Stability. Setelah itu simulasi ulang dilakukan pada saat kapal sudah terangkat oleh gaya angkat foil.

Vs (knot)	$\Delta$ (ton)	Lift foil (ton)	$\Delta$ koreksi (ton)
16	186,523	0,314	186,21
20	186,523	1,534	184,99
24	186,523	5,786	180,74
28	186,523	9,868	176,65

Tabel V.10 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 1

Tabel V.11 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 2

Vs (knot)	$\Delta$ (ton)	Lift foil (ton)	$\Delta$ koreksi (ton)
16	186,523	0,997	185,53
20	186,523	2,137	184,39
24	186,523	4,103	182,42
28	186,523	6,692	179,83

Tabel V.12 Koreksi displasemen kapal dengan foil posisi 3

Vs (knot)	$\Delta$ (ton)	Lift foil (ton)	$\Delta$ koreksi (ton)
16	186,523	1,026	185,497
20	186,523	3,372	183,152
24	186,523	4,139	182,385
28	186,523	7,019	179,504

Setelah dilakukan koreksi, dilakukan simulasi ulang untuk mendapatkan nilai hambatan akibat gaya angkat foil yang dihasilkan. Hasil simulasi disajikan pada Tabel V.13 dan Tabel V.14.

FrV	Fr	$R_{T}(kN)$				
11 V	11	Barehull	Posisi 1	Posisi2	Posisi 3	
1,108	0,40	32,51	32,742	33,21	35,37	
1,388	0,50	65,83	62,926	64,48	61,642	
1,670	0,59	81,84	83,698	85,63	81,17	
1,955	0,69	99,8	65,018	82,252	78,654	

Tabel V.13 Nilai hambatan setelah dikoreksi perubahan displasemen



Gambar V.12 Hambatan kapal setelah dilakukan koreksi gaya angkat



Gambar V.13 Hubungan RT/ $\Delta$  dengan FrV

Gambar V.12 menunjukkan nilai hambatan kapal setelah dilakukan koreksi displasemen kapal. Pada Fr 0,69 nilai hambatan katamaran foil pada berbagai posisi mengalami penurunan. Hal ini terjadi kapal telah berada dalam fase transisi antara fase displasemen menuju planning dimana pada fase tersebut ditandai oleh pengurangan nilai hambatan yang disebabkan karena foil mulai mengangkat lambung kapal keluar dari air. Penurunan hambatan terbesar terjadi pada foil yang berada pada posisi 1 sebesar 35%. Pada posisi 2 terjadi penurunan hambatan sebesar 18 %. Pada posisi 3 terjadi penurunan hambatan sebesar 21 %. Penurunan tren nilai hambatan pada bilangan FrV (Froude volumetrik) 1.95 (Fr=0,69) mirip dengan penelitian yang dilakukan (Loveday, 2006) dimana penurunan hambatan kapal dengan menggunakan Hydrofoil mulai terjadi pada bilangan FrV>2.0 dimana pada saat itu foil mengangkat badan kapal keluar dari air akibat dominannya gaya hidrodinamika.



 Tabel V.14 Koefisien hambatan setelah dikoreksi perubahan displasmen

 Fr
 C<sub>T</sub> (x10<sup>3</sup>)

 Barehull
 Posisi 1
 Posisi 2
 Posisi 3

Gambar V.14 Hasil penelitian penggunaan hydrofoil pada katamaran (Loveday, 2006)

Fr		C <sub>T</sub> (x	$(x10^3)$		
11	Barehull	Posisi 1	Posisi 2	Posisi3	
0,40	2,965	2,949	3,009	3,184	
0,50	4,120	3,830	4,010	3,877	
0,59	3,448	3,506	3,611	3,428	
0,69	2,874	1,924	2,387	2,208	

Dari tabel diketahui bahwa nilai koefisien hambatan setelah dikoreksi displasemen pada kecepatan rendah Fr 0,40 didapatkan nilai koefisien hambatan barehull lebih kecil dibandingkan dengan nilai koefisien hambatan kapal yang dipasang foil. Bertambahnya koefisien hambatan ini disebabkan pada kecepatan kecepatan rendah, foil menjadi *appendages* sehingga WSA kapal dengan foil lebih besar akibat penambahan foil yang tercelup kedalam air. Kemudian pada Fr 0,5 – 0,69 foil mulai mengangkat badan kapal keluar dari permukaan air

sehingga WSA kapal dengan foil berkurang. Berkurangnya WSA kapal mempengaruhi besarnya hambatan kapal yang dihasilkan. Perubahan posisi foil secara memanjang berpengaruh terhadap hambatan yang dihasilkan. Perubahan posisi foil ke arah stern kapal mengakibatkan kapal menghasilkan momen gaya. Momen gaya tersebut mengakibatkan bagian buritan kapal terangkat dan bagian haluan tercelup air. Hal ini berdampak terhadap WSA kapal yang meningkat.



Gambar V.15 Koefisien hambatan total setelah dilakukan koreksi gaya angkat foil

Gambar V.15 menunjukkan nilai koefisien hambatan total katamaran foil setelah dilakukan koreksi pengurangan displasemen kapal karena adanya gaya angkat yang dihasilkan foil. Nilai koefisien hambatan bertambah kemudian mencapai puncaknya pada bilangan Fr 0,5 dan berkurang seiring dengan meningkatnya bilangan Fr. Pada gambar dapat diketahui bahwa besarnya nilai koefisien hambatan total yang dihasilkan katamaran dengan pemasangan foil di CG yaitu posisi 1 lebih kecil dibandingkan dengan posisi lainnya. Pada Fr relatif rendah, nilai koefisien hambatan total meningkat akibat foil yang dipasang menambah hambatan kapal karena lift yang dihasilkan kecil sehingga foil berperan sebagai appendages. Nilai koefisien hambatan total awalnya meningkat mencapai nilai maksimum kemudian menurun seiring meningkatnya Fr. Fenomena tersebut dinamakan dengan fenomena hump. Fenomena hump terjadi ketika 2 puncak gelombang bertemu pada waktu yang sama, sehingga timbul superposisi gelombang. Hump terjadi akibat pengaruh panjang dan kecepatan kapal, dimana keberadaanya ditimbulkan oleh sistem gelombang konvergen. Nilai maksimum tejadi pada FrV  $\approx$  1,4 (Fr  $\approx$  0,5), sesuai dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Marshall, 2002; Youseffi et.al, 2013; Suastika, et.al, 2017) yang memprediksi hump tersjadi pada Fr $\approx$  0,47.

#### V.6. Analisa Perubahan Sarat

Penambahan foil pada kapal memberikan gaya lift yang berpengaruh terhadap perubahan Wetted Surface Area kapal. WSA merupakan faktor yang mempengaruhi hambatan kapal. Analisa perubahan WSA dilakukan dengan mengukur ketinggian air yang telah diperoleh melalui hasil simulasi. Pengukuran perubahan sarat kapal dilakukan dengan memplotkan nilai lokal pada ketinggian air pada haluan dan buritan kapal. Nilai ketinggian air pada bagian haluan kapal dapat dilihat pada Gambar V.16.



Gambar V.16 Nilai ketinggian air pada bagian haluan kapal

Gambar V.16 menunjukkan nilai ketinggian air pada bagian haluan kapal. Kontur merah menunjukkan ketinggian air yang tinggi. Pada daerah sekitar haluan memiliki ketinggian tinggi maksimum dengan nilai 1.88 meter dari base line. Dari hasil pengukuran nilai lokal ketinggian air pada haluan dan buritan kapal diketahui ketinggian sarat kapal pada berbagai posisi peletakan foil yang dapat dilihat pada Tabel V.15.

Vs	Posi	isi 1	Posi	Posisi 2 Posis		si 3
(knot)	Tf (m)	Ta (m)	Tf (m)	Ta (m)	Tf (m)	Ta (m)
16	1,89	1,57	1,92	1,58	1,87	1,56
20	2,03	1,16	2,11	1,19	2,06	1,11
24	2,27	1,03	2,33	1,11	2,3	1,08
28	2,1	1,04	2,28	1,06	2,73	1,05

Tabel V.15 Perubahan sarat kapal berbagai posisi

Dari tabel diketahui nilai sarat depan dan sarat belakang pada berbagai posisi penempatan foil. WSA kapal dihitung dengan plugin *compute wetted area* yang tersedia dalam software post processing atau dengan mengintegralkan mass fraction pada badan kapal. Nilai WSA kapal dapat dilihat pada Tabel V.16.

Vs	WSA ( $m^2$ )		
(knot)	Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3
16	319,76	317,872	320,018
20	302,862	296,414	299,126
24	299,65	285,558	295,116
28	287,89	288,048	291,018

Tabel V.16 WSA kapal

Dari tabel diketahui pada kecepatan 16 knot, penempatan foil posisi 3 menghasilkan WSA yang lebih besar dibandingkan posisi lainya. Pada kecepatan 28 knot, penempatan foil posisi 3 menghasilkan WSA yang lebih besar dibandingkan posisi lainnya. Peningkatan WSA kapal pada posisi 3 disebabkan karena bagian haluan kapal tercelup lebih banyak dibandingkan posisi lainnya. Selain pengaruh WSA, hambatan kapal dipengaruhi trim yang terjadi akibat pemasangan foil secara memanjang. Pemasangan foil ke arah *stern* kapal memberikan momen gaya pada buritan yang menyebabkan bagian haluan kapal tetap tercelup dalam air. Prinsip kerja pemasangan foil ke arah stern kapal sama dengan kapal Hull Vane yang memberikan koreksi trim untuk meminimalkan hambatan kapal.(Hull Vane B V, 2018).

Dari hasil simulasi CFD dapat disimulasikan efek-efek visual yang terjadi pada kapal katamaran tanpa foil dengan katamaran foil. Berikut merupakan hasil visualisasi *wave pattern* antara katamaran dan katamaran foil saat kecepatan 28 knot yang disajikan pada gambar dibawah ini.



Gambar V.17 Wave pattern katamaran



Gambar V.18 Wave pattern katamaran foil posisi 1



Gambar V.19 Wave pattern katamaran foil posisi 2



Gambar V.20 Wave pattern katamaran foil posisi 3

Pada Gambar V.17, Gambar V.18, Gambar V.19, dan Gambar V.20 menunjukkan kontur gelombang yang dihasilkan oleh katamaran dengan katamaran foil dengan berbagai variasi posisi pada kecepatan 28 knot. Pada gambar menunjukkan perbedaan warna kontur biru, kuning, hijau, dan merah yang memperlihatkan perbedaan ketinggian air yang terjadi pada kapal, dimana semakin merah menunjukkan semakin tinggi ketinggian air. Pada gambar 66

diketahui bahwa pola gelombang yang dihasilkan foil posisi 2 lebih besar dibandingkan posisi lainnya.





Gambar V.21, Gambar V.22, dan Gambar V.23 menunjukkan luas permukaan basah kapal yang dialami model kapal katamaran foil pada berbagai posisi foil saat kecepatan 28 knot. Pada gambar ditampilkan perbedaan berdasarkan warna kontur dimana warna merah adalah daerah yang tercelup air dan warna biru adalah daerah udara. Dari gambar diketahui pada posisi 1 memiliki area yang tercelup lebih sedikit ini terlihat dari ketinggian garis air yang terjadi pada badan kapal lebih rendah dibandingkan dengan posisi foil lainnya. Pada posisi 3 terlihat jika area yang tercelup lebih banyak dibandingkan dengan posisi lainnya yang terlihat dari ketinggian garis air pada bagian haluan kapal. Berdasarkan gambar diketahui bahwa posisi 1

menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil. Luas permukaan basah berpengaruh terhadap hambatan kapal yang dihasilkan.



Gambar V.24 Perbedaan tekanan pada kecepatan 16 knot



Gambar V.25 Perbedaan tekanan pada kecepatan 28 knot

Gambar V.24 dan Gambar V.25 menunjukkan perbedaan kontur warna yang terjadi pada foil pada kecepatan 16 knot dan 28 knot. Perbedaan kontur warna merah, kuning, biru muda, dan merah menunjukkan perbedaan tekanan yang terjadi, dimana semakin merah tekanan yang tejadi semakin meningkat. Bertambahnya kecepatan kapal memperjelas perubahan tekanan yang terjadi pada foil. Pada kecepatan 16 knot, tekanan di daerah atas foil berwarna biru muda yang menunjukkan tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan saat kecepatan kapal 28 knots yang dibuktikan dengan warna hijau.

### BAB VI

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### VI.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi CFD dan analisa yang dilakukan terkait dengan hidrofoil dan kapal katamaran dengan hidrofoil maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Hasil simulasi dengan foil menunjukkan ukuran foil yang paling optimum adalah dengan panjang chord (c) = 0,8 m serta span = 5,2 m (aspect ratio = 6,5). Selanjutnya sudut serang yang paling optimum adalah 2° (dengan *lift/drag ratio* = 14,92).
- 2. Lift yang dihasilkan foil yang dipasang pada demihull lebih kecil jika dibandingkan dengan lift foil tanpa demihull. Penempatan foil secara memanjang berpengaruh terhadap gaya angkat yang dihasilkan oleh foil.
- 3. Pada kecepatan relatif rendah (FrV < 1,8), foil menambah hambatan kapal sedangkan pada kecepatan relatif tinggi (FrV > 1,8), foil mengurangi hambatan kapal.
- 4. Dari hasil simulasi dan analisa didapatkan hambatan kapal tanpa foil pada kecepatan dinas (FrV = 1,955) sebesar 99,8 kN dan hambatan kapal dengan foil posisi 1 (di bawah CG kapal) sebesar 65,018 kN, posisi 2 (3c di belakang posisi 1) sebesar 82,252 kN, dan posisi 3 (6c di belakang posisi 1) sebesar 78,654 kN.
- 5. Penggunaan hydrofoil pada kapal katamaran mengurangi hambatan kapal katamaran pada kecepatan dinas. Posisi peletakan foil yang paling optimum (pengurangan hambatan terbesar) adalah peletakan foil posisi persis di bawah CG kapal (pengurangan hambatan sebesar 35%).
- 6. Koefisien hambatan (C<sub>T</sub>) meningkat, mencapai nilai maksimum kemudian menurun seiring meningkatnya Fr. Nilai maksimum tejadi pada FrV  $\approx$  1,4 (Fr  $\approx$  0,5), sesuai dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Marshall, 2002; Yousefi et.al, 2013; Suastika et.al, 2017).

### VI.2. Saran

- 1. Perlu dilakukan pengujian eksperimen untuk memverifikasi hasil simulasi numerik yang telah diperoleh.
- 2. Perlu penelitian lebih lanjut, menggunakan konfigurasi foil yang lain, seperti tandem atau canard.
- 3. Penggunaan moving mesh untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mendapatkan fenomena asli, seperti perubahan Wetted Surface Area, trim, dan perubahan *displacement* dapat disimulasikan sempurna.
- 4. Pengaruh trim yang diakibatkan pemasangan foil secara memanjan perlu disimulasikan untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Abbot, I. H., & Doenhoff, A. E. (1949). *Theory of Wing Section*. New York: Dover Publication.
- Aktas, B., Turkmen, S., Sasaki, N., & Knos, M. (2016). A study on hydrofoil application to assist wind farm support activity of a catamaran. *Conference: 10th Symposium on High-Performance Marine Vehicles*.
- Anderson, J. D. (1995). *Computational Fluid Dynamics The Basic with Application*. New York: Mc Graw -Hill.
- Andrewartha, M., Doctors, L., & Kantimahanthi, K. (2003). A Numerical Method for Performance Prediction of Hydrofoil-assisted Catamarans . FAST 2003 International Conference on Fast Sea Transportation.
- ANSYS. (2014). CFX Manual. ANSYS.
- Gibs, C. (1954). *Hydrofoil Research Project for Office of Nacal Research Navy*. Washington DC.
- Harvald, S.S. (1983). Resistance and Propulsion of Ships. New York: John Wiley and Sons.
- Hidayat, A. (2016). Tugas Akhir. *Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal CREW Boat "ORELA" Dengan dan Tanpa Menggunakan Foil Belakang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hoppe, K. (1989). The Hysucat Development. *Internal Report 1989*. Stellenbosch, South Africa.: Department of Mechanical Engineering, University of Stellenbosch.
- Hoppe, K. (1995). OPTIMISATION OF HYDROFOIL-SUPPORTED-PLANING CATAMARANS. Fast Sea Transportation Conference. Lubeck-Travemunde: University of Stellenbosch.
- Hoppe, K. G. (1980). The Hydrofoil Supported Catamaran. *Internal Report 1980*.Stellenbosch, South Africa: Mechanical Engineering University of Stellenbosch.
- Hughes, G. (1954). Friction and form resistance in turbulent flow, and a proposed formulation for use in model and ship correlation. *Transactions, Royal Institution of Naval Arcihtect*, 96.
- Hull Vane B V. (2018, January 13). *Hull Vane Tech Talk*. Diambil kembali dari Hull Vane B.V.: http://www.hullvane.nl/tech-talk/

- Insel, M., & Molland, A. F. (1990). PhD Thesis. An investigation into the resistance components of high speed displacement. Southampton, United Kingdom: University of Southampton.
- Ishikawa, S. (1991). Study on Hydrodynamic Interaction between Hull and submerged Foils. *Spring Meeting of SNAME*. SNAME.
- Loveday, H. (2006, April). The Design of Hydrofoil System of Sailing Catamaran. University of Stellenbosch.
- Malalasekera, W., & Versteeg, H. (1995). *An Introduction to Computational Fluid*. England: Longman Scientific & Technical.
- Marshall, R. (2002). Powering Your Boat. *All About Powerboats: Understanding Design and Performance*. New York: McGraw-Hill Professional.
- Marzocca, P. (2016). The NACA Airfoil Series. Clarkson University.
- Migeotte, G. (2015, October). Hydrofoil Supported Catamaran. *Professional Boat Builder*. Boston Boatworks.
- Migeotte, G., & Hoppe, K. (1999). *Developments in Hydrofoil Assistance for Semi-Displacement Catamarans*. SNAME.
- Milandri, G. S. (2006). Master Thesis. *Seakeeping Control of HYSUCATs*. Stellenbosch, South Africa: University of Stellenbosch.
- NUMECA. (2013). Tutorial 1 : Full Appended DTMB. *Tutorial Fine Marine*. NUMECA International.
- Prastowo, H., Santoso, A., & B, A. A. (2016). Analysis and Optimation Hydrofoil Supported Catamaran (HYSUCAT) Size 25 Meter Based on CFD Method. *International Journal* of Marine Engineering Innovation and Research, 31-37.
- Sadraey, M. H. (2012). *Wing Design, in Aircraft Design: A Systems Engineering Approach.* Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Satriawansyah, M. H. (2016). Tugas Akhir. Design of Catamaran Passenger Ship for the route of Boom Marina, Banyuwangi to Benoa Port. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suastika, K., Hidayat, A., & Riyadi, S. (2017). Effects of the application of a stern foil on ship resistance: A case study of an Orela crew boat. *International Journey of Techonology Vol 8 No 7*, 1266-1275.

- Suryadi, A., Arief, I. S., & Amiadji. (2016). Analisa Sudut Serang Hidrofoil Terhadap Gaya Angkat Kapal Trimaran Hidrofoil Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics CFD. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2.
- Youseffi, R., Shafaghat, R., & Shakeri, M. (2013). Hydrodynamic analysis techniques for high-speed planing hulls. *Applied Ocean Research*, 105-113.

## LAMPIRAN

Lampiran A Visualisasi Wave Pattern Katamaran Lampiran B Visualisasi Ketinggian Gelombang

## LAMPIRAN A

## Visualisasi Wave Pattern Katamaran

Visualisasi wave pattern katamaran pada berbagi kecepatan

• Kecepatan 16 knot



• Kecepatan 20 knot



• Kecepatan 24 knot



• Kecepatan 28 knot



# LAMPIRAN B

# Visualisasi Ketinggian Gelombang

• Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi cg kecepatan 16



• Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi cg kecepatan 28 knot



• Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi 3c pada kecepatan 16 knot



• Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi 3c pada kecepatan 28 knot



 Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi 6c pada kecepatan 16 knot



• Visualisasi Ketinggian gelombang pada kapal katamaran foil posisi 6c pada kecepatan 28 knot



## **BIODATA PENULIS**



REGI YUDHA DIKANTORO, itulah nama lengkap penulis., lahir di Bogor 6 Agustus 1995 .Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SDN Pengadilan 5, SMPN 5 Bogor dan SMAN 1 Bogor Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi anggota panitia Dialog Interaktif SAMPAN (Semarak Mahasiswa Teknik Perkapalan) 8 ITS.

Email: regi.yudha@gmail.com