



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA ANSYS-CFD HAMBATAN LAMBUNG
KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS
(*FLAT SIDE INSIDE*) UNTUK APLIKASI PADA KAPAL
PATROLI**

More Rise Tambunan

NRP 4113100019

Dosen Pembimbing

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

Teguh Putranto, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA ANSYS-CFD HAMBATAN LAMBUNG
KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS
(FLAT SIDE INSIDE) UNTUK APLIKASI PADA KAPAL
PATROLI**

More Rise Tambunan

NRP 4113100019

Dosen Pembimbing

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

Teguh Putranto, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



FINAL PROJECT - MN 141581

**SYMETRICAL AND ASYMETRICAL (FLAT SIDE INSIDE)
CATAMARAN HULL RESISTANCE ANALYSIS USING
ANSYS-CFD AND THE APPLICATION FOR CATAMARAN
PATROL SHIP**

**More Rise Tambunan
NRP 4113100019**

**Supervisor(s)
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D
Teguh Putranto, S.T., M.T**

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA ANSYS-CFD HAMBATAN LAMBUNG KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS (FLAT SIDE INSIDE) UNTUK APLIKASI PADA KAPAL PATROLI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

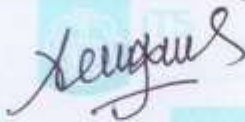
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

MORE RISE TAMBUNAN

NRP 4113100019

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Teguh Putranto, S.T., M.T
NIP 19900513 201404 1 001

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D
NIP 19670406 199203 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan




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

SURABAYA, JULI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISA ANSYS-CFD HAMBATAN LAMBUNG KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS (*FLAT SIDE INSIDE*) UNTUK APLIKASI PADA KAPAL PATROLI

TUGAS AKHIR

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

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

Oleh:


MORE RISE TAMBUNAN
NRP 4109100019

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

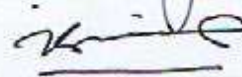
1. Ahmad Nasirudin, S.T.,M.Eng.


.....

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


.....

3. Dr. Ir. Ketut Suastika

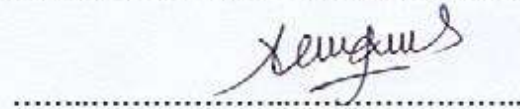

.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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


.....

2. Teguh Putranto, S.T., M.T


.....

SURABAYA, JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua saya 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. Reni Nuraini Manurung, mama saya dan Alm. Saor Tambunan, ayah saya yang telah memberikan doa, dukungan dan memberikan semangat kepada saya
2. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing 1 atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini
3. Teguh Putranto, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini
4. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D sebagai Kepala Departemen Teknik Perkapalan ITS
5. Septia Hardy Sujiatanti,S.T.,M.T selaku dosen wali yang membimbing saya selama menempuh studi di Departemen Teknik Perkapalan ITS
6. Abang Firstman Yosef Tambunan dan Adek Yessi Christiana Tambunan untuk dukungan dan doanya.
7. Prilly Risni panjaitan sebagai wanita yang selalu memberikan support dan doanya kepada saya.
8. Teman-teman seperjuangan sibolis naburju yaitu sulowes Siregar, Marshall Manurung, dan Alm. Niko sihombing atas dukungannya.

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, 24 juli 2017

More Rise Tambunan

**ANALISA ANSYS-CFD HAMBATAN LAMBUNG KATAMARAN
SIMETRIS DAN ASIMETRIS
(FLAT SIDE INSIDE) UNTUK APLIKASI PADA KAPAL PATROLI**

Nama Mahasiswa : More Rise Tambunan
NRP : 4113100019
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D
2. Teguh Putranto, S.T., M.T

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana luas perairannya mencapai 70 persen dari keseluruhan luas wilayahnya. Kapal patroli sebagai penunjang pelaksanaan pengawas keselamatan pelayaran sangat dibutuhkan untuk mendukung keselamatan aktivitas transportasi laut. Berkembangnya kapal patroli yang cepat stabil dan efisien membuat permintaan pasar meningkat. Desain kapal patroli menggunakan lambung katamaran yang dapat mengurangi 20 % hambatan dari kapal monohull dan juga stabilitas yang lebih baik dari kapal *monohull* menjadikan lambung katamaran dipakai sebagai kapal patroli. Tugas akhir ini bertujuan untuk membandingkan hambatan total lambung kapal patroli katamaran simetris dan asimetris dengan displasemen yang sama dan pengaruh konfigurasi bentuk lambung kapal katamaran terhadap besarnya hambatan kapal patrol katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*), pola aliran (tekanan dan kecepatan aliran) dan *shear stress* yang terjadi pada lambung kapal bagian dalam dan luar untuk membuktikan interferensi. Lambung kapal patrol katamaran simetris menggunakan kapal patroli seri FBI.1023.XA yang di produksi oleh PT. Fiberboat. Pada kedua lambung kapal patrol katamaran diberikan variasi jarak pemisah lambung (*Demihull*) yaitu $S/L = 0.2 ; 0.3 ; 0.4$. Analisa perbandingan hambatan total lambung katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) menggunakan ANSYS-CFD pada berbagai kecepatan dengan variasi angka Froude Number yaitu $Fr = 0.19; 0.28; 0.37; 0.46; 0.55; \text{ dan } 0.65$.

Kata Kunci : Hambatan, Katamaran, Simetris, Asimetris, Jarak pisah Lambung, CFD, Ansys

**SYMETRICAL AND ASYMETRICAL (FLAT SIDE INSIDE) CATAMARAN
HULL RESISTANCE ANALYSIS USING
ANSYS-CFD AND THE APLICATION FOR CATAMARAN PATROL SHIP**

Author : More Rise Tambunan
ID No. : 4113100019
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering /
Marine Technology
Supervisors : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D
2. Teguh Putranto, S.T., M.T

ABSTRACT

Indoneisa is an archipelago where the region of the sea reached 70 percent of total broad of it's area. Patrol boats is a supporting, implementation and inspector for safety shipping. It makes patrol boat is needed to support the safety activity of marine transportation. As the developing of Marine technology, the patrol boat that have the high speed, good stability and low fuel consumption makes catamaran hull to be a better option for patrol boat, because catamaran hull can reduce 20 % ships' resisitance than the monohull. This Thesis aims to compare the total resistance of smmetrican and asymetrical Patrol boat with the equal displacemet and determine the effect of configuration is symmetrical catamaran hull become asymmetrical (flat side inside) to the amount of asymmetrical catamaran resistance, the pattren of flow (Pressure and flow rate) and the shear stress to prove the interferece phenomenom. Symmetrical catamaran hull design using the seri FBI.1023.XA patrol catamaran by P.T Fiberboat. Both of catamaran Hull design to varying the distance separating (demuhull), namely $S/L = 0.2 ; 0.3 ; 0.4$. Analysis of constraints and calculation of interference effects between the two hull using ANSYS-CFD at various speeds with the variation of the Froude Number $Fr = 0.19 ; 0.28 ; 0.37 ; 0.46 ; 0.55$ and 0.65 .

Keywords : *resistance, catamaran, asymmetrical, symetrical, hull separation distance, CFD, Ansys*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
ALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	3
I.5. Manfaat.....	3
I.6. Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Kapal Katamaran.....	5
II.2. Tipe Kapal Katamaran	5
II.3. Katamaran Asimetris.....	7
II.4. Hambatan	9
II.5. Hambatan Katamaran.....	13
II.5.1. Interferensi badan kapal.....	14
II.5.2. Interferensi Gelombang (Wave Interference).....	14
II.6. Computational Fluid Dynamics (CFD).....	18
II.6.1. Persamaan Dinamika Fluida dalam CFD	19
II.6.2. Persamaan aliran Viskos (Navier-Stokes).....	20
II.7. CFD-Ansys CFX.....	20
II.7.1. Tahap Pre-processor	20
II.7.2. Tahap Solver (Processor).....	20
II.7.3. Tahap Post – processor	20
Bab III METODOLOGI Penelitian	23
III.1. Diagram Alir Penelitian	23
III.2. Langkah Pengerjaan	25
III.2.1. Studi literatur.....	25
III.2.2. Pemodelan kapal Katamaran	25
III.2.3. Simulasi <i>Free Surface</i> pada Computational Fluid Dynamic (CFD)	32
III.2.4. Validasi <i>Grid independence</i>	36
III.2.5. Analisa data dan Penyelesaian	38
Bab IV Analisis dan Pembahasan.....	39
IV.1. Pendahuluan	39
IV.2. Perbandingan Hambatan Total kapal katamaran simetris	39

IV.3. Perbandingan Hambatan Total kapal katamaran Asimetris (<i>Flat Side Inside</i>)	43
IV.4. Perbandingan Hambatan Total Kapal Katamaran Simetris dan Asimetris (<i>Flat Side Inside</i>) dengan Displasemen yang Sama	45
IV.4.1. Perbandingan hambatan Total untuk $S/L = 0.2$	45
IV.4.2. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris dengan Jarak pisah lambung $S/L = 0.3$	46
IV.4.3. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris dengan Jarak pisah lambung $S/L = 0.4$	47
IV.4.4. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris untuk setiap variasi jarak pisah lambung (S/L)	48
IV.6. Perbandingan rasio ukuran utama kapal patroli katamaran dengan kapal katamaran penelitian oleh Andi Jammaludin.	55
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	57
V.1. Kesimpulan	57
V.2. Saran	58
daftar pustaka	59
LAMPIRAN A : Nilai Wall Shear Stress Kapal Patroli Katamaran Simetris Dan Asimetris (<i>Flat Side Inside</i>)	
LAMPIRAN B : Kontur Wall Shear Stress Kapal Patroli Katamaran Simetris Dan Asimetris (<i>Flat Side Inside</i>)	
LAMPIRAN C : Interferensi Gelombang Antar Demihull Pada Fr 0.55	
LAMPIRAN D : Tinggi Gelombang Kapal Patroli Katamaran Simetris Dan Asimetris Pada Fr 0.55	
LAMPIRAN E : Kecepatan Aliran Fluida Kapal Katamaran Simetris Dan Asimetris Pada Fr 0.55	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Lambung Katamaran Simetris (Insel & Molland, 1992)	6
Gambar II. 2 Tipe bentuk lambung katamaran asimetris (<i>flat side inside</i>)	6
Gambar II. 3 Katamaran asimetris tipe C (Niekerk, 2000)	7
Gambar II. 4 Katamaran asimetris tipe D (Niekerk, 2000)	7
Gambar II. 5 Katamaran asimetris tipe E (Niekerk, 2000).....	8
Gambar II. 6 Katamaran asimetris tipe H (Niekerk, 2000)	8
Gambar II. 7 Diagram Komponen Koefisien Hambatan Total Kapal (Bertram, 2002)	13
Gambar II. 8 Grafik sumbu X, Y dan gradient kecepatan	17
Gambar II. 9 Model – Model Aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) model – model pendekatan fluida tak hingga (Anderson, 1995).....	19
Gambar II. 10 Aliran Kecepatan Fluida (ANSYS, 2014).....	21
Gambar II. 11 Kontur Gelombang Pada simulasi Free Surface (Ansys, 2014).....	21
Gambar III. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	24
Gambar III. 2 Kapal Patroli katamaran seri FBI.1032.XA (PT.FIBERBOAT INDONESIA 2013).....	26
Gambar III. 3 Model 3D Kapal Katamaran simetris	26
Gambar III. 4 Model 3D kapal katamaran asimetris	27
Gambar III. 5 Hasil Dimensi Data Model kapal Katamaran Simetris dan Asimetris Pada Maxurf Pro 11.12 (dari kiri ke kanan).....	27
Gambar III. 6 Jarak S dan L pada kapal katamaran simetris (Chao Ma Dkk, 2015).....	28
Gambar III. 7 Jarak S pada kapal katamaran Asimetris Flat Side Inside (Bari Dkk, 2016)...	28
Gambar III. 8 Geometry kapal katamaran simetris pada ICEM -CFD.....	29
Gambar III. 9 Geometry kapal katamaran asimetris pada ICEM -CFD.....	29
Gambar III. 10 Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian domain Fluida Simulasi Free Surface	30
Gambar III. 11 Pengaturan Meshing Kapal Katamaram Simetris dan	31
Gambar III. 12 Gambar Pemodelan <i>Free surface</i> pada Kapal Katamaran Simetris	31
Gambar III. 13 Gambar Pemodelan <i>Free Surface</i> pada Kapal Katamaran Asimetris.....	31
Gambar III. 14 Hasil Meshing Keseluruhan pada Model Free Surface	32
Gambar III. 15 Tahap Simulasi CFX-Pre Processor Pada simulasi <i>Free Surface</i>	34
Gambar III. 16 Proses Running Pada simulasi <i>Free Surface</i>	35
Gambar III. 17 Posisi Node pada lambung kapal katamaran simetris.....	36
Gambar III. 18 Hasil Grid independence pada simulasi <i>Free Surface</i>	37
Gambar IV. 1 Bagan Hasil Simulasi Model.....	39
Gambar IV. 2 Koefisien Hambatan Total Lambung Katamaran simetris terhadap Variasi S/L	40
Gambar IV. 3 Visualisasi Tekanan dan Aliran Kecepatan aliran Fluida katamaran simetris S/L = 0.2 pada Fr 0.55	41
Gambar IV. 4 Visualisasi Tekanan dan Aliran Kecepatan aliran Fluida katamaran simetris S/L = 0.3 (atas) dan S/L = 0.4 (bawah) pada Fr 0.55	42
Gambar IV. 5 Koefisien Hambatan Total Lambung Katamaran Asimetris (<i>flat side inside</i>) terhadap Variasi S/L	43

Gambar IV. 6 Visualisasi Tekanan dan Aliran Kecepatan aliran Fluida katamaran asimetris S/L = 0.2 (atas) dan S/L = 0.3 (bawah) pada Fr 0.55	44
Gambar IV. 7 Visualisasi Tekanan dan Aliran Kecepatan aliran Fluida katamaran asimetris S/L = 0.4 pada Fr 0.55	45
Gambar IV. 8 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung S/L = 0.2	45
Gambar IV. 9 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung S/L = 0.3	46
Gambar IV. 10 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung S/L = 0.4	47
Gambar IV. 11 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk seluruh variasi jarak pisah lambung (S/L).....	48
Gambar IV. 12 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris S/L = 0.2	49
Gambar IV. 13 Efek interferensi simulasi Free Surface pada S/L = 0.2	50
Gambar IV. 14 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris S/L = 0.3	51
Gambar IV. 15 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris S/L = 0.3	51
Gambar IV. 16 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris S/L = 0.4	52
Gambar IV. 17 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris S/L = 0.4	52
Gambar IV. 18 Perbandingan Shear Stress pada katamaran asimetris S/L = 0.4.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Data ukuran utama kapal patroli katamaran (seri FBI.1032.XA)	25
Tabel III. 2 Konfigurasi Jarak S/L Kapal Katamaran Simetris dan Asimetris	29
Tabel III. 3 Ekspresi – ekspresi pada CEL (CFX, 2007).....	33
Tabel III. 4 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil Simulasi <i>Free surface</i>	37
Tabel IV. 1 Nilai Hambatan Total untuk Setiap Variasi Model Kapal Katamaran Simetris...40	
Tabel IV. 2 Nilai Hambatan Total untuk Setiap Variasi Model Kapal Katamaran Asimetris..43	
Tabel IV. 3 Ukuran utama dan rasio geometri lambung katamaran penelitian jammaludindkk,2012.....	55
Tabel IV. 4 Ukuran utama dan rasio geometri kapal patroli katamaran simetris dan asimetris.....	55

DAFTAR SIMBOL

Demihull	:	Salah Satu lambung Kapal
Flat side inside	:	Lambung datar sisi dalam
L, LWL	:	Panjang Garis Air (m)
V	:	Volume Displacement (m ³)
b	:	Lebar demihull (m)
B	:	Lebar katamaran (m)
T	:	Sarat kapal (m)
S/L	:	Rasio jarak melintang antar demihull dan panjang kapal
v	:	Kecepatan Kapal (m/s)
Fr	:	Froude Number
Re	:	Reynolds Number
R _T	:	Hambatan Total
C _b	:	koefisien Bentuk
C _T	:	Koefisien Hambata Total
C _w	:	Koefisien Hambatan Gelombang
C _F	:	Koefisien Hambatan Gesek
β	:	Faktor interferensi Viskos
WSA	:	Luas Bidang Basah Kapal (m ²)
ρ	:	Massa Jenis (kg/m ³)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan di mana luas perairan mencapai 70 persen, kapal patroli sebagai penunjang pelaksanaan pengawas keselamatan pelayaran sangat dibutuhkan untuk mendukung keselamatan aktivitas transportasi laut. Berbagai macam tipe kapal patroli yang sudah berkembang di Indonesia diantaranya adalah kapal patroli tipe katamaran. Bentuk lambung katamaran yang di adopsi untuk menjadi kapal patroli mempunyai kelebihan yang paling dibutuhkan kapal patroli yaitu tingkat stabilitas yang baik dan hambatan yang lebih kecil 20 % dari kapal monohull. Kelebihan yang diberikan adalah tersedianya permukaan geladak yang luas stabilitas yang bagus dan memiliki tingkat keselamatan yang baik (Dubrovsky & Lyakhtovitsky, 2001).

Berkembangnya kapal patroli yang cepat, stabil dan efisien membuat permintaan pasar yang meningkat. Kecepatan kapal yang dibutuhkan oleh kapal patroli menjadi faktor penting dalam mendesain kapal patroli. Mengurangi besarnya hambatan badan kapal merupakan salah satu jalan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang optimum. Semakin kecil hambatan badan kapal maka semakin kecil pula gaya penghambat laju kapal. Dengan kecilnya hambatan dapat membuat kapal patroli menjadi lebih ekonomis dari segi penggunaan bahan bakar. Dari segi penggunaan bahan bakar bentuk lambung katamaran simetris mampu mengurangi penggunaan bahan bakar sebesar 20 % dari pada kapal monohull.

Kebutuhan kapal patroli sebagai sarana pengawas dan pengamanan transportasi laut membuat kapal patroli tipe katamaran didesain untuk hambatan yang kecil dan kecepatan yang tinggi membuat optimasi dari hambatan lambung kapal demikian penting untuk memenuhi kriteria tersebut. Desain kapal patroli katamaran menggantikan kapal patroli *monohull* dari segi hambatan lambung kapal yang cukup besar sehingga cenderung menghasilkan kecepatan kapal yang rendah, kelemahan ini bisa diatasi dengan penggunaan badan kapal katamaran. Dengan hambatan yang lebih kecil sehingga dengan daya mesin yang sama menghasilkan kecepatan yang lebih besar, stabilitas kapal yang lebih baik, dengan geladak yang lebih besar maka penempatan persenjataan lebih mudah dan kapasitas muat relatif lebih besar. Seiring dengan perkembangan model kapal katamaran maka variasi bentuk lambung menjadi sangat penting untuk mendapatkan lambung yang mempunyai hambatan yang sangat

kecil. Permintaan pasar untuk kapal katamaran dari berbagai tipe dan dimensi serta desain untuk hambatan yang kecil dan kecepatan tinggi membuat optimasi dari hambatan lambung kapal sangat penting untuk memenuhi kebutuhan itu (Vasconcellos & Iatoree, 200 (Caprio F., Pensa C, 2007)4)

Dengan berkembangnya teknologi, perhitungan numerik kita lakukan dengan menggunakan apa yang disebut dengan Computational Fluid Dynamics (CFD). Teknik CFD dapat memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian sangat tinggi dan juga memerlukan kapasitas memori yang tinggi pula (Versteeg dan Malalasekara, 2007). Penelitian mengenai hambatan katamaran simetris dan asimetris, (pola aliran dan kecepatan aliran) dan pengaruh interferensi lambung, serta shear stress yang terjadi dilakukan dengan menggunakan menggunakan analisa komputasi numerik dengan bantuan software CFD-Ansys CFX.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan karakteristik rasio ukuran utama kapal katamaran (model kapal penelitian oleh (Jamaluddin Dkk, 2012) dan kapal patroli (kapal patroli katamaran seri FBI.1032.XA).
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak demihull secara melintang (S/L) terhadap hambatan lambung kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) ?
3. Bagaimana pola aliran (tekanan dan kecepatan aliran) dan pengaruh interferensi yang dihasilkan bentuk lambung katamaran simetris dan asimetris pada kapal patroli ?
4. Bagaimana perbandingan Shear stress yang terjadi pada kapal patroli lambung simetris dan asimetris (*flat side inside*).
5. Bagaimana perbandingan total hambatan kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) dengan *displacement* yang sama ?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik kapal patroli dengan membandingkan rasio ukuran kapal katamaran (model kapal penelitian oleh Jamaluddin Dkk, 2012) dan kapal patroli (kapal patroli katamaran seri FBI.1032.XA).
2. Mengetahui pengaruh variasi jarak demihull secara melintang (S/L) terhadap hambatan katamaran asimetris datar sisi dalam dan simetris

3. Mengetahui pola aliran (tekanan dan kecepatan aliran) dan pengaruh interferensi yang dihasilkan bentuk kapal patroli katamaran simetris dan asimetris pada kapal patroli.
4. Mengetahui Perbandingan *Shear stress* yang terjadi pada kapal patroli katamaran simetris dan kapal patroli katamaran asimetris.
5. Mengetahui perbandingan total hambatan kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) yang sesuai untuk kapal patroli dengan displacement yang sama.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya sebatas teoritis, yaitu semua perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan software CFD-Ansys CFX.
2. Jenis kapal yang dimodelkan adalah kapal katamaran jenis patroli boat lambung sumetris FBI.1023.XA dengan $L = 10.3$ m, $B = 3.2$ m $T = 0.55$ m.
3. Jenis kapal katamaran yang dipakai sebagai perbandingan rasio ukuran adalah model kapal yang dilakukan penelitian oleh Jamaluddin A.
4. Variasi jarak antar lambung secara melintang $S/L = 0.2; 0.3; 0.4$
5. Variasi kecepatan yang digunakan dengan angka Froude $F_n = 0.19; 0.28; 0.37; 0.46; 0.55$ dan 0.65 .

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh bentuk lambung kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) terhadap hambatannya pada kapal patroli
2. Sebagai database untuk pihak – pihak yang tertarik mengembangkan kapal patroli katamaran

I.6. Hipotesis

Hipotesa penulis adalah variasi rasio jarak demi hull (S/L) dengan froude number berpengaruh terhadap besar hambatan kapal katamaran asimetris

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Kapal Katamaran

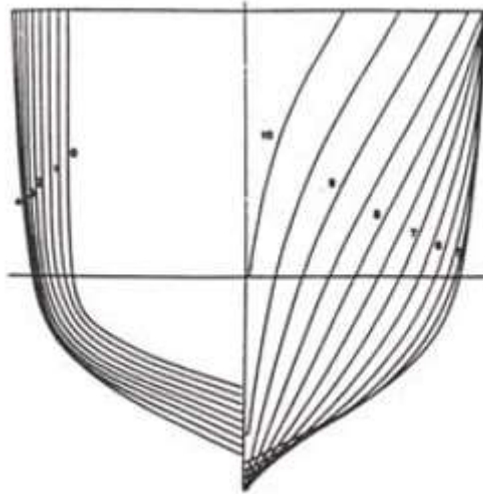
Katamaran adalah tipe kapal laut multi lambung, biasanya terdiri dari dua lambung (tiga lambung disebut trimaran). Desain kapal katamaran disebut sebagai disain terbaik untuk kapal laut karena dapat mengakomodasi kebutuhan akan kecepatan, stabilitas dan kapasitas yg besar dalam sebuah kapal. Beberapa hal penting yang diperhatikan pada saat merancang kapal katamaran yaitu permasalahan yang di timbulkan oleh dua badan kapal sehingga menghasilkan interferensi viskos yang disebabkan oleh aliran asimetris disekitar kedua badan kapal serta interferensi gelombang yang disebabkan oleh sistem gelombang antar kedua badan kapal. Keuntungan dari bentuk kapal katamaran yang berbeda dengan kapal monohull adalah 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 kapal monohull. Luas geladak yang lebih besar dan tingkat stabilitas transversal yang lebih baik dibandingkan dengan kapal monohull adalah salah satu keuntungan kapal katamaran (Insel & molland, 1990)

Karakteristik hambatan di air tenang kapal katamaran lebih besar dibandingkan dengan monohull, dimana dominasi hambatan gesek mencapai 40% dari hambatan total pada kecepatan rendah (Wijholst dan 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 bahan bakar yang relative ekonomis.

II.2. Tipe Kapal Katamaran

a. Katamaran Simetris

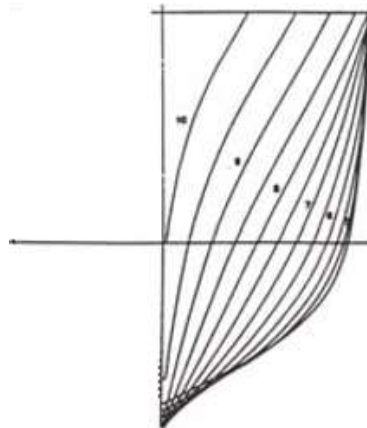
Merupakan desain bentuk lambung yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional. Tidak adanya batasan dari stabilitas membuat demihull katamaran dapat didesain dengan range yang lebih besar dari L/B, B/T, Cwp dari monohull seperti lambung revolusioner yaitu SWATH .



Gambar II. 1 Lambung Katamaran Simetris (Insel & Molland, 1992)

b. Katamaran Asimetris Penuh

Merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser volume displasemen centerline demihull untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antara demihull. pada tipe kapal ini, bagian dalam dari demihull berupa bidang datar. Bentuk datar dari lambung bagian dalam dan berbeda dengan lambung bagian luar membuat tekanan dan kecepatan aliran sekitar kapal berbeda untuk setiap bagian lambung.



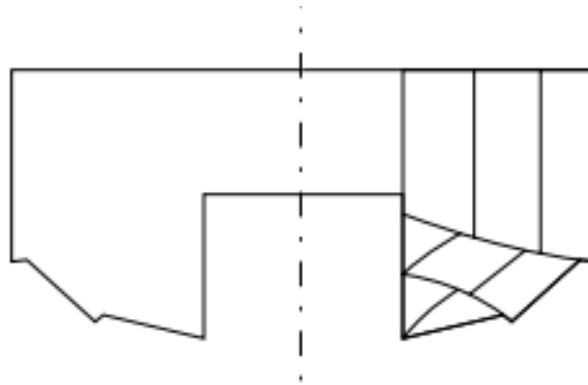
Gambar II. 2 Tipe bentuk lambung katamaran asimetris (*flat side inside*)

II.3. Katamaran Asimetris

Pada tipe kapal ini, bagian dalam dari demihull berupa bidang datar, bentuk datar dari lambung bagian dalam membuat perbedaan tekanan dan kecepatan aliran disekitar kapal berbeda disetiap bagian lambungnya. Besar kecil distribusi tekanan dan aliran sekitar kapal berpengaruh terhadap interferensi yang disebabkan oleh badan kapal maupun gelombang yang terjadi pada kapal katamaran asimetris.

Ada empat jenis kapal katamaran asimetris berdasarkan *performance* kapal menurut (Van Niekerk, 2000) yaitu :

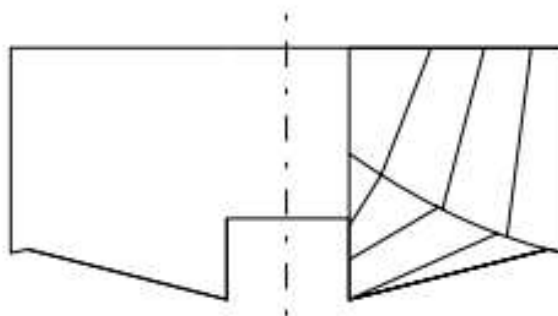
1. Katamaran Asimetris tipe C



Gambar II. 3 Katamaran asimetris tipe C (Niekerk, 2000)

Kapal katamaran tipe C adalah kapal katamaran asimetris berbentuk sponsons dan memiliki deadrise yang rendah, performance kapal tipe C ini tergantung pada besar kecilnya deadrise pada bagian bottom. Sama halnya dengan katamaran tipe lain, kapal tipe c ini jenis kapal katamaran berkecepatan tinggi.

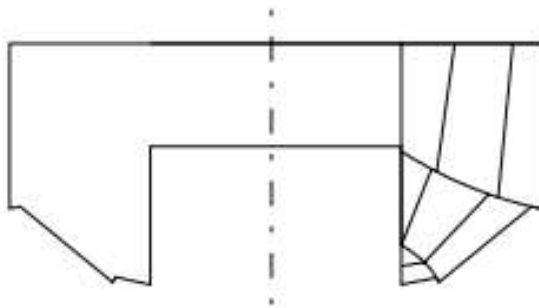
2. Katamaran Asimetris tipe D



Gambar II. 4 Katamaran asimetris tipe D (Niekerk, 2000)

Kapal tipe D ini dikatakan sebagai *split monohull* karena pada katamaran ini terowongannya sempit dengan sudut bow yang tajam. Kapal katamaran tipe ini mempunyai kelemahan karakteristik dari katamaran dan monohull. Stabilitasnya lebih baik dari tipe monohull namun lebih jelek bila dibandingkan dengan kapal katamaran. Keuntungan katamaran jenis ini adalah dalam proses pembangunannya lebih mudah dan ekonomis bila dibandingkan dengan dengan katamaran tipe lainnya.

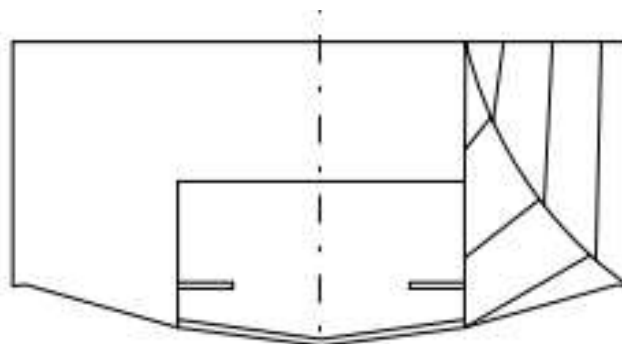
3. Katamaran Asimetris tipe E



Gambar II. 5 Katamaran asimetris tipe E (Niekerk, 2000)

Kapal katamaran jenis ini memiliki kerampingan yang tinggi dan memiliki ketinggian terowongan yang cukup tinggi. Desain kapal katamaran tipe ini dapat mengurangi hambatan gelombang. Karena sangat ramping katamaran tipe ini memiliki beberapa kelemahan yaitu stabilitas yang dimiliki kapal tipe ini kurang bagus serta tidak dapat digunakan di daerah yang memiliki gelombang besar.

4. Katamaran Asimetris tipe H



Gambar II. 6 Katamaran asimetris tipe H (Niekerk, 2000)

Katamaran tipe ini mempunyai nama HySuCat. Kapal katamaran tipe H memiliki satu foil utama dan dua foil trim. Selain itu juga kapal katamaran tipe ini memiliki dasar *deadrise* yang tinggi dan ketinggian terowongannya menengah. Kapal katamaran tipe ini memiliki kecepatan yang bagus dan gelombang yang ditimbulkan sangat kecil. Namun diantara kelebihan tersebut kapal katamaran ini memiliki kelemahan pada saat *docking* atau bersandar karena pada bagian sisi lambung terdapat *foil*.

II.4. Hambatan

Sebuah model kapal yang bergerak pada permukaan fluida tak terganggu dengan kecepatan konstan mengalami gaya yang berlawanan dengan arah gerak kapal yang disebut dengan hambatan total. Hambatan total ini dapat dibagi menjadi beberapa komponen, untuk mempermudah analisa, komponen yang berinteraksi satu sama lain tersebut diasumsikan berdiri sendiri satu sama lain. Langkah ini tidak hanya dilakukan untuk percobaan pada model skala untuk memprediksi hambatan dari kapal sebenarnya tetapi juga untuk menemukan model percobaan sistematis untuk optimasi karakteristik komponen hambatan dari bentuk lambung kapal.

Estimasi dari komponen hambatan dilakukan dengan menggunakan metode berdasarkan pengukuran hambatan total dari towing tank dan estimasi hambatan gesek dengan pendekatan empiris dengan memperhitungkan kemungkinan hasil model untuk kapal dengan skala tertentu.

Komponen hambatan total pertama kali diperkenalkan oleh W.froude. dimana hambatan total merupakan penjumlahan hambatan gesek (R_f) dengan hambatan sisa (R_R) sehingga didapatkan persamaan :

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (1.1)$$

Dimana :

R_{TM} : Hambatan model dari percobaan.

R_{FM} : Hambatan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model, yang mana dapat ditentukan dari :

$$R_{FM} = f S V^n \quad (1.2)$$

f, n : Konstanta, fungsi dari panjang dan sifat permukaan

R_{RM} : hambatan sisa dari model

Dengan menggunakan metode Froude, dapat diperhitungkan untuk koefisien hambatan kapal full side scale dari hasil percobaan model kapal, dengan persamaan koefisien hambatan :

$$C_{TS} = C_{FS} + (C_{TM} C_{FM}) \quad (1.3)$$

Dengan metode baru, pada tahun 1954, Hughes mengusulkan metode perhitungan hambatan total dari model kapal. Dimana hambatan total terdiri dari tiga komponen (Hughes, 1954), yaitu

1. Hambatan gesek (Friction Resistance) (C_F)

Merupakan hambatan akibat gaya tangensial stress antara molekul air dan kulit badan kapal yang berkerja pada permukaan bidang dengan luas dan panjang yang sama dengan model, hambatan gesek terjadi karena adanya suatu volume air yang melekat pada badan kapal yang terbentuk pada permukaan bagian yang terendam dari badan kapal yang sedang bergerak dan disebut dengan lapisan batas (Boundary layer). Didalam daerah lapisan batas tersebut, kecepatan gerak dari partikel – partikel zat cair bervariasi dari nol pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum yaitu sama dengan besarnya kecepatan aliran zat cair pada tepi dari lapisan tersebut. Perubahan atau variasi kecepatan partikel – partikel zat cair inilah yang mencerminkan adanya pengaruh intensif gaya – gaya viskositas pada lapisan batas yang menimbulkan tahanan gesek pada lambung kapal tersebut. Semakin kasar bentuk badan kapal maka nilai dari hambatan gesek akan semakin meningkat. ‘

Aliran fluida bias digolongkan sebagai aliran viscous yang terbentuk boundary layer jika efek viskositasnya tidak diabaikan dan jika efek viskositasnya diabaikan maka aliran fluida tersebut merupakan aliran non viskos tidak terbentuk boundary layer fluida yang kontak langsung dengan suatu batasan . pada aliran viskos akan mempunyai kecepatan sama dengan batasan padat itu sendiri atau tidak terjadi selip pada batasan padat tersebut . *Shear stress* pada aliran viskos laminar dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan gradient kecepatan yang ada dalam aliran fluida tersebut. Shear stress dapat dinyatakan dalam persamaan (molland dkk, 2011)

$$T_y = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0}$$

μ = Viskositas Absolute fluida

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = gradient kecepatan

2. Hambatan Bentuk (form resistance) (C_{FO})

Merupakan hambatan diluar batas hambatan gesek dan terjadi pada saat badan kapal tercelup dengan cukup dalam. Huges mengasumsikan bahwa untuk lambung yang streamline pada aliran turbulen dapat diekspresikan sama dengan hambatan gesek.

Hambatan ini terjadi karena bentuknya partikel – partikel air yang bergerak dalam satu pusaran (eddy). Pusaran – pusaran ini terjadi antara lain karena bentuk – bentuk yang tidak streamline, bentuk yang demikian ini terdapat dibagian belakang kapal. Akibat terjadinya arus eddy ini, tekanan pada bagian buritan yang terjadi tidak dapat mengimbangi tekanan pada bagian depan sehingga timbullah suatu gaya yang melawan gerak maju dari kapal.

3. Hambatan Permukaan bebas (*free surface resistance*) atau hambatan gelombang (*wave resistance*) (C_w)

Secara matematis, dari koefisien – koefisien hambatan dapat ditulis dengan persamaan :

$$C_T = C_F + C_{FO} + C_w \quad (1.4)$$

Dimana, $C_{FO} = k C_F$ (1.5)

Substitusi Pers. (1) ke pers. (2)

$$\begin{aligned} C_T &= C_F + C_{FO} + C_w \\ &= C_F + k C_F + C_w \\ C_T &= (1+k)C_F + C_w \end{aligned} \quad (1.6)$$

(1+k) disebut dengan form factor dan dapat ditemukan pada percobaan dengan kecepatan sangat rendah dimana C_w dapat diabaikan. Secara matematis didapatkan persamaan form factor :

Dengan $C_w \approx 0$ maka

$$C_T = (1+k) C_F + C_w$$

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

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

Sehingga $(1+k) = C_T/C_F$ (1.7)

Era baru dalam perhitungan hambatan kapal diperkenalkan oleh ITTC pada tahun 1978 berjudul “1978 Performance Prediction Method for simple single screw ships”

Hambatan total kapal dibagi dalam empat komponen :

$$C_T = (1+k)C_F + C_R + \blacktriangle C_f + C_{AA} \quad (1.8)$$

Dimana,

$(1+k)$: merupakan form Factor

C_F : Hambatan gesek dengan menggunakan ITTC ‘57

C_R : Hambatan dari sisa percobaan model

$\blacktriangle C_f$: Roughness Allowance (0 for smooth model)

C_{AA} : Air resistance (assume 0 for model without sprastructure).

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

$$C_R \approx 0$$

$$\blacktriangle C_f \approx 0$$

$$C_{AA} \approx 0$$

Sehingga,

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

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

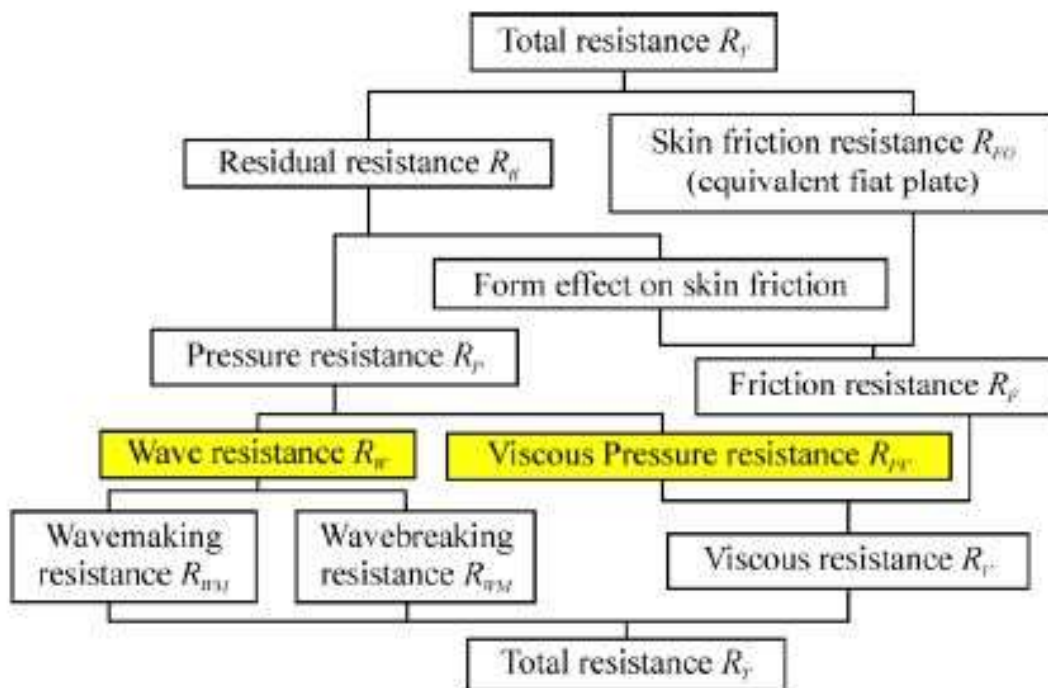
$$C_T = (1+k) C_F$$

$$(1+k) = C_T/C_F$$

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. Diasumsikan $C_{RM} = (1+k) C_F + a F_n^n$ pada kecepatan rendah (pada umumnya $F_n < 0,2$) sehingga persamaan hambatan totalnya adalah sebagai berikut :

$$C_T = (1+k) C_F + a F_n \quad (1.9)$$

Dimana $(1+k)$, a dan n dapat diselesaikan melalui least square analysis dari pengukuran kecepatan rendah. Diagram Komponen dan grafik hambatan total ditunjukkan pada gambar II.3 sebagai berikut :



Gambar II. 7 Diagram Komponen Koefisien Hambatan Total Kapal (Bertram, 2002)

II.5. Hambatan Katamaran

Hambatan kapal katamaran memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dibandingkan kapal monohull. Hal ini terjadi karena adanya faktor interferensi yang dihasilkan oleh kedua lambung kapal. Menurut insel dan Molland (1990), efek interaksi dalam lambung kapal katamaran dibagi menjadi dua yaitu,

II.5.1. Interferensi badan kapal

Aliran sekitar badan demihull simetris dan asimetris atau tidak simetris karena adanya pengaruh satu sama lain dari demuhull misalnya tekanan bidang relatif tidak simetris terhadap centerline demihull. Hal ini berkaitan dengan :

1. Kecepatan pesturbasi atau usikan kecepatan disekitar demuhull semakin meningkat, khususnya pada sisi dalam, sisi terowongan dari lambung karena venture effect. Kecepatan ini semakin bertambah disebabkan oleh hambatan gesek kulit dan modifikasi form factor.
2. Persilangan Aliran (Cross Flow) yang dapat terjadi dibawah lunas (keel) yang mana dapat memicu kedalam komponen tarikan induksi (induced drag) yang pada normalnya diabaikan pada monohull. Meskipun dianggap penting, tetapi pengaruhnya relatif kecil jika dibandingkan dengan pengaruh kecepatan persturbasi atau usikan kecepatan.
4. Adanya perbedaan tinggi gelombang antara stern bagian dalam dan luar dari demuhull, dapat menunjukkan arah aliran air menuju kedalam atau keluar. Hal ini mengakibatkan terjadinya vortice dan spray yang kemudian menghasilkan komponen tarikan induksi (induced drag).Semakin meningkatnya kecepatan didalam sisi terowongan disebabkan oleh perubahan struktur lapisan batas (boundary layer).Akibat gelombang dari suatu demihull mencapai badan (hull) lainnya membuat luas bidang basah menjadi berubah sehingga memberikan nilai perubahan hambatan gesek (skin friction).

II.5.2. Interferensi Gelombang (Wave Interference)

Interferensi akibat sisi – sisi dari dua lambung yang berjalan bersamaan. Interferensi gelombang dapat dianalisa melalui hambatan gelombang. Adanya perubahan tekanan bidang mengakibatkan perubahan gelombang dari demihull. Gelombang melintang dari demihull selalu diperkuat oleh lambung lain saat gelombang divergen haluan dari satu lambung dapat dihilangkan oleh gelombang divergen buritan dari lambung lain.

Pemantulan dari gelombang divergen dari demihul yang sama menyulitkan fenomena interferensi. Gelombang haluan dari satu lambung yang bertemu diterowongan (bagian lam bung antara) dan gelombang haluan dari lambung yang lain tepat di centerline dan superposisi antara keduanya menjadi sangat tinggi menghasilkan gelombang yang tidak stabil, bahkan menimbulkan gelombang pecah dan percikan atau semburan pada kecepatan tinggi. Aliran Air kea rah dalam dan kearah luar pada bagian belakang (stern) merubah formasi gelombang dibelakang badan kapal.

Dengan memasukkan efek interferensi yang dihasilkan maka metode untuk perhitungan hambatan total kapal katamaran dapat memodifikasi dari perhitungan hambatan total monohull. Modifikasi dapat pada metodel ITTC '57, ITTC '78 dan pengukuran secara langsung untuk mengetahui factor interferensi. Berikut merupakan modifikasi yang dilakukan pada metode ITTC'57 :

Hambatan total monohull

$$C_T = C_{F(\text{mono})} + C_{R(\text{mono})}$$

Hambatan total katamaran

$$\begin{aligned} C_{T(\text{cat})} &= C_{F(\text{cat})} + C_{R(\text{cat})} \\ &= \sigma C_F + \Phi C_R \end{aligned}$$

Sehingga hambatan total katamaran

$$C_{T(\text{cat})} = \sigma C_F + \Phi C_R$$

Dimana :

σ : merupakan faktor interferensi hambatan gesek (friction)

Φ : merupakan faktor interferensi hambatan sisa (residual)

Faktor interferensi hambatan gesek dapat menginterpretasikan adanya pertambahan kecepatan pada daerah antar lambung katamaran yang mana faktor ini dapat diperhitungkan dari integrasi hambatan gesek lokal atas permukaan bidang basah dan dipengaruhi oleh jarak pisah lambung (S/L). Variasi besarnya jarak pisah lambung dan froude number yang mengakibatkan berubah kecepatan dinamika kapal berpengaruh terhadap besarnya faktor interferensi hambatan sisa, dimana faktor ini dapat diintegrasikan dengan hasil percobaan.

Metode lain dalam perhitungan hambatan total katamaran dilakukan dengan memodifikasi metode perhitungan hambatan total katamaran oleh ITTC '78 :

$$C_{T(\text{cat})} = C_{F(\text{cat})} + C_{w(\text{cat})}$$

$$C_{T(\text{cat})} = (1 + \Phi k) + \sigma C_F + \tau C_w$$

Sehingga hambatan total katamaran

$$C_{T(\text{cat})} = (1 + \Phi k) \sigma C_F + \tau C_w$$

Dimana :

σ : merupakan faktor interferensi hambatan gesek (friction) sesuai dengan metode ITTC '57

Φ : merupakan faktor interferensi hambatan bentuk (form)

T : merupakan faktor interferensi hambatan gelombang (wave)

Φ digunakan dalam perhitungan dalam perhitungan tekanan disekitar kapal. Untuk tujuan praktis, Φ dan σ dapat dikombinasikan dalam faktor interferensi hambatan viskos (β) sehingga :

$$(1 + \Phi k) \sigma = (1 + \beta k) \quad (1.10)$$

Sedangkan faktor interferensi hambatan gelombang dapat diperoleh dari hasil percobaan sehingga diperoleh hambatan total kapal katamaran

$$C_{T(\text{cat})} = (1 + \beta k) C_F + \tau C_w \quad (1.11)$$

Penurunan rumus interferensi

Untuk hambatan total monohull

$$\begin{aligned} C_{T(\text{mono})} &= (1+k) C_F + \tau C_w \\ T C_{w(\text{mono})} &= [C_T - (1+k) C_F]_{(\text{mono})} \\ T &= \frac{[C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{mono})}}{C_{w(\text{mono})}} \end{aligned}$$

Dengan catatan bahwan untuk demihull in isolation maka $\beta = 1$ dan $\tau = 1$

Untuk hambatan total katamaran

$$\begin{aligned} C_{T(\text{cat})} &= (1+ \beta k) C_F + \tau C_w \\ T C_{w(\text{cat})} &= [C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{cat})} \\ T &= \frac{[C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{cat})}}{C_{w(\text{cat})}} \end{aligned}$$

Maka dengan substitusi dari pers (11) dan pers (12) didapat

$$\begin{aligned} \tau_{(\text{mono})} &= \tau_{(\text{cat})} \\ \frac{[C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{mono})}}{C_{w(\text{mono})}} &= \frac{[C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{cat})}}{C_{w(\text{cat})}} \\ \tau = C_{w(\text{cat})} / C_{w(\text{mono})} &= [C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{cat})} / [C_T - (1+k) C_F]_{(\text{mono})} \end{aligned}$$

sehingga rumus interferensi :

$$\tau = [C_T - (1+\beta k) C_F]_{(\text{cat})} / [C_T - (1+k) C_F]_{(\text{mono})}$$

II.6. *Shaear Stress* pada Fluida

Setiap cairan (termasuk benda cair dan gas) bergerak sepanjang batasan (*boundary*) padat akan mengalami suatu tegangan geser pada batasan itu. Kondisi tidak selip menyatakan bahwa kecepatan cairan pada suatu batasan (terhadap batasan itu) adalah nol, tetapi pada ketinggian tertentu dari batasan, kecepatan aliran harus sama dengan kecepatan cairan itu. Daerah antara kedua titik ini secara tepat dinamakan lapisan batasan (*boundary layer*).

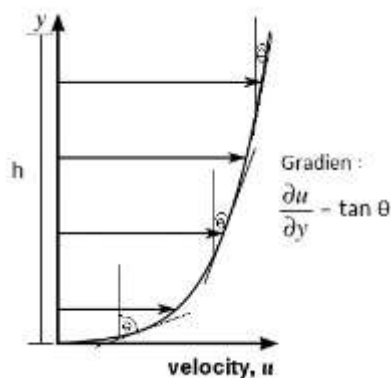
Secara Umum, pada setiap aliran, lapisan-lapisan berpindah pada kecepatan yang berbeda-beda dan viskositas fluida meningkat dari tekanan geser antara lapisan yang secara pasti melawan setiap gaya yang diberikan. Hubungan antara tekanan geser dan gradiasi kecepatan dapat diperoleh dengan mempertimbangkan dua lempeng secara dekat dipisahkan dengan jarak y , dan dipisahkan oleh unsur homogen. Asumsikan bahwa lempeng sangat besar dengan luas penampang A , dan efek samping dapat diabaikan, dan lempeng yang lebih rendah tetap, anggap gaya F dapat diterapkan pada lempeng atas. Jika gaya ini menyebabkan unsur antara lempeng mengalami aliran geser dengan gradien kecepatan u/y , (Satrio,2014)

Hukum Newton tentang kekentalan menyatakan bahwa tegangan geser antara dua partikel zat cair yang berdampingan adalah sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel (gradien kecepatan) . Tegangan geser, untuk suatu cairan Newtonian, pada elemen permukaan yang paralel terhadap suatu bidang datar, pada titik y , dihitung dengan:

$$T_y = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0}$$

dimana

- μ adalah viskositas dinamik cairan
- u adalah kecepatan cairan sepanjang batasan;
- y adalah ketinggian di atas batasan.



Gambar II. 8 Grafik sumbu X, Y dan gradient kecepatan

Gradien kecepatan adalah sebuah perbedaan besar kecepatan yang terjadi di setiap titik pada sebuah fluida. Hal ini terjadi karena fluida memiliki sebuah gaya tarik antar partikel fluida tersebut yang biasanya disebut sebagai viskositas. Aliran fluida bias digolongkan sebagai aliran viscous yang terbentuk boundary layer jika efek viskositasnya tidak diabaikan dan jika efek viskositasnya diabaikan maka aliran fluida tersebut merupakan aliran non viskos tidak terbentuk boundary layer fluida yang kontak langsung dengan suatu batasan. Pada aliran viskos akan mempunyai kecepatan sama dengan batasan padat itu sendiri atau tidak terjadi selip pada batasan padat tersebut.

Hambatan kapal katamaran memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dibandingkan kapal monohull. Hal ini terjadi karena adanya faktor interferensi yang dihasilkan oleh kedua lambung kapal. Menurut Isel dan Molland (1990), Aliran sekitar badan demihull simetris dan asimetris atau tidak simetris karena adanya pengaruh satu sama lain dari demihull misalnya tekanan bidang relatif tidak simetris terhadap centerline demihull. Hal ini berkaitan dengan hal berikut :

1. Kecepatan pesturbasi atau usikan kecepatan disekitar demihull semakin meningkat, khususnya pada sisi dalam, sisi terowongan dari lambung karena *venture effect*. Kecepatan ini semakin bertambah disebabkan oleh hambatan gesek kulit dan modifikasi form factor.

Naiknya kecepatan aliran yang masuk di sisi dalam terowongan lambung membuat gradien kecepatan aliran fluida juga meningkat. Semakin kecil jarak antar lambung (S) katamaran maka semakin meningkat pula kecepatan aliran fluida yang ada di dalamnya. Dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida maka meningkat pula gradient kecepatannya sehingga tegangan geser yang dihasilkan fluida juga meningkat.

II.7. Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD adalah metode perhitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Teknik CFD dapat memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian sangat tinggi dan juga memerlukan kapasitas memori yang tinggi pula (Versteeg dan Malalasekara, 2007). CFD melakukan pendekatan dengan metode numerisasi serta menggunakan persamaan – persamaan fluida. Persamaan – persamaan aliran fluida dapat dideskripsikan dengan persamaan differensial parsial yang tidak dapat dipecahkan secara analitis kecuali dengan kasus yang spesial.

Komputer yang digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi cairan dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas.

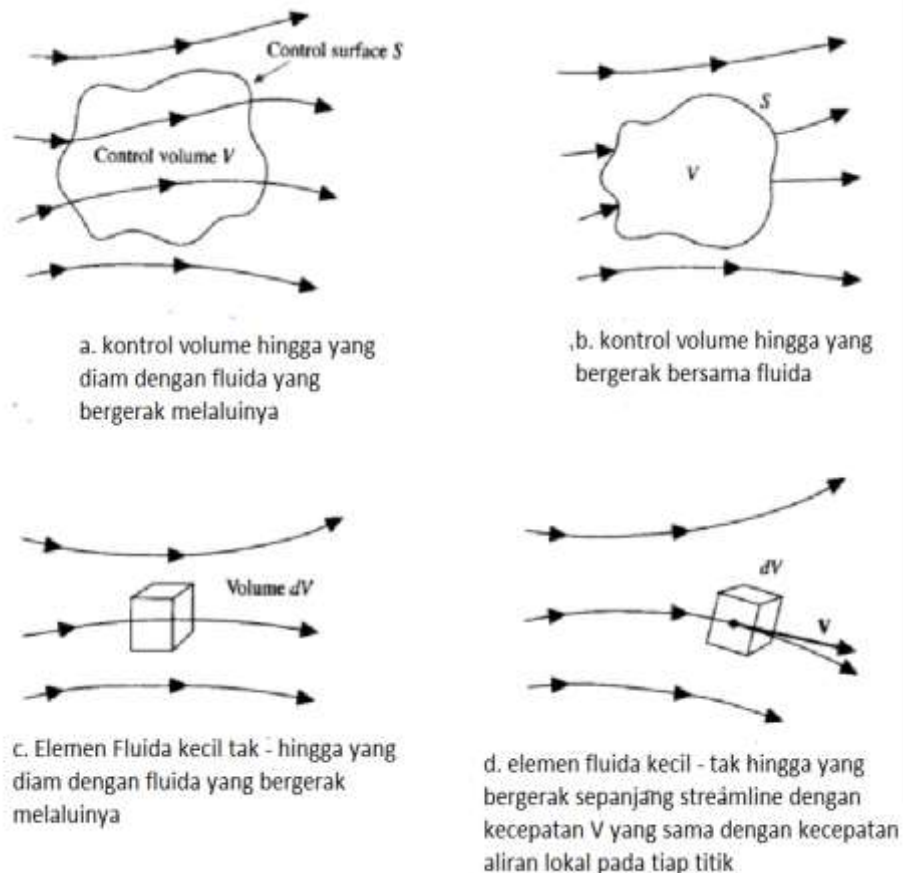
II.7.1. Persamaan Dinamika Fluida dalam CFD

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 :

2. Hukum kekekalan massa
3. Hukum kedua Newton
4. Hukum kekekalan Energi.

Pada Proses mendapatkan persamaan gerak fluida terdapat tiga hal yang harus menggunakan prinsip-prinsip sebagai berikut

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum – hukum fisika
2. Menerapkan prinsip – prinsip fisika tersebut dalam pemodelan aliran
3. Dalam penerapannya dapat diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip – prinsip fisika.



Gambar II. 9 Model – Model Aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) model – model pendekatan fluida tak hingga (Anderson, 1995)

II.7.2. Persamaan aliran Viskos (Navier-Stokes)

Aliran Viscous merupakan aliran yang dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan aliran dengan memperhitungkan fenomena pemindahan gesekan (friction), konduksi hantaran panas dan atau penyebaran massa

II.8. CFD-Ansys CFX

Pada proses penyelesaian masalah dengan menggunakan CFD-Ansys CFX terdapat tiga tahap yang harus dilalui yaitu :

II.8.1. Tahap Pre-processor

Pre-processor adalah tahap dimana data di input mulai dari : pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition; grid generation yaitu pembagian domain ke dalam domain yang lebih kecil yaitu grid atau mesh dari elemen - elemen kecil (cells); pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan; pendefinisian properti fluida; spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada cell yang bersinggungan dengan batas domain (Versteeg & Malalasekera, 2007).

II.8.2. Tahap Solver (Processor)

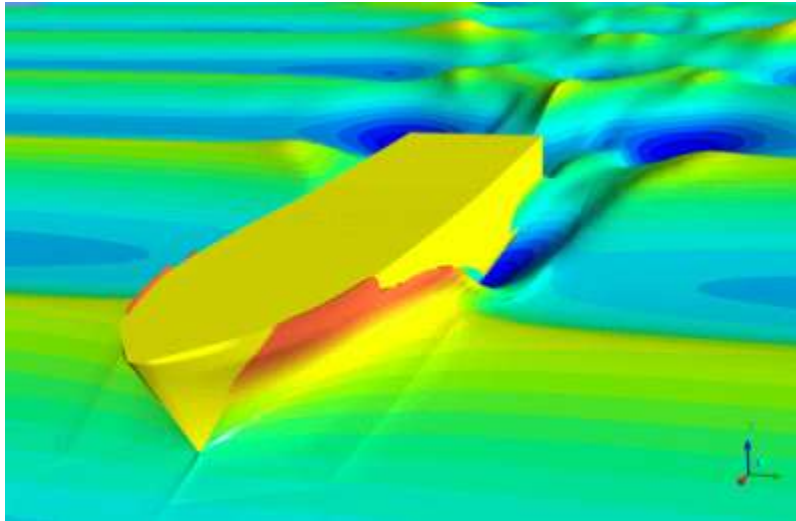
Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan dari data – data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Secara umum tahap ini melakukan perhitungan secara numerik meliputi penentuan kondisi batas, jenis fluida, kecepatan model, pemilihan jumlah iterasi yang optimum dan penentuan batas konvergensi yang optimum

II.8.3. Tahap Post – processor

Program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, atau animasi.

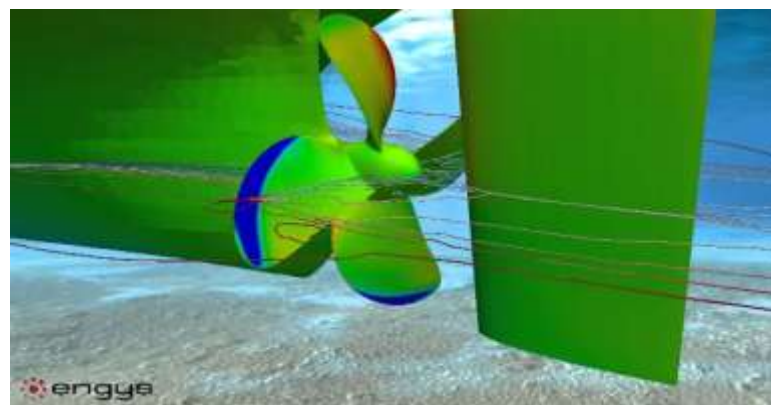
Berikut ini adalah beberapa contoh penerapan konsep CFD dalam bidang perkapalan dan kelautan :

- a. Menganalisis aliran dan kecepatan air oleh gerakan kapal



Gambar II. 10 Aliran Kecepatan Fluida (ANSYS, 2014)

- b. Menanalisis simulasi free surface untuk memprediksi tinggi dan kontur gelombang pada kapal



Gambar II. 11 Kontur Gelombang Pada simulasi Free Surface (Ansys, 2014)

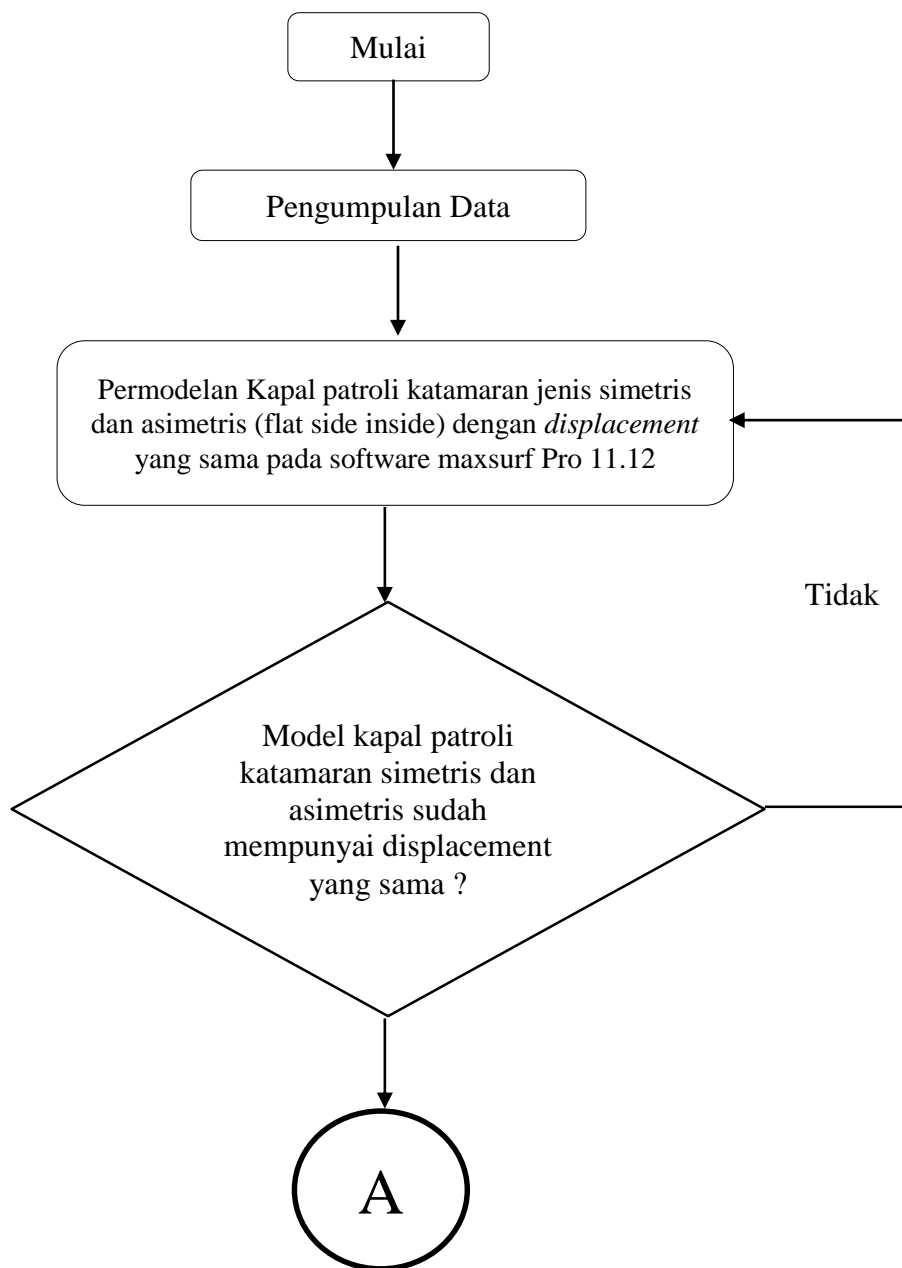
Halaman ini sengaja dikosongkan

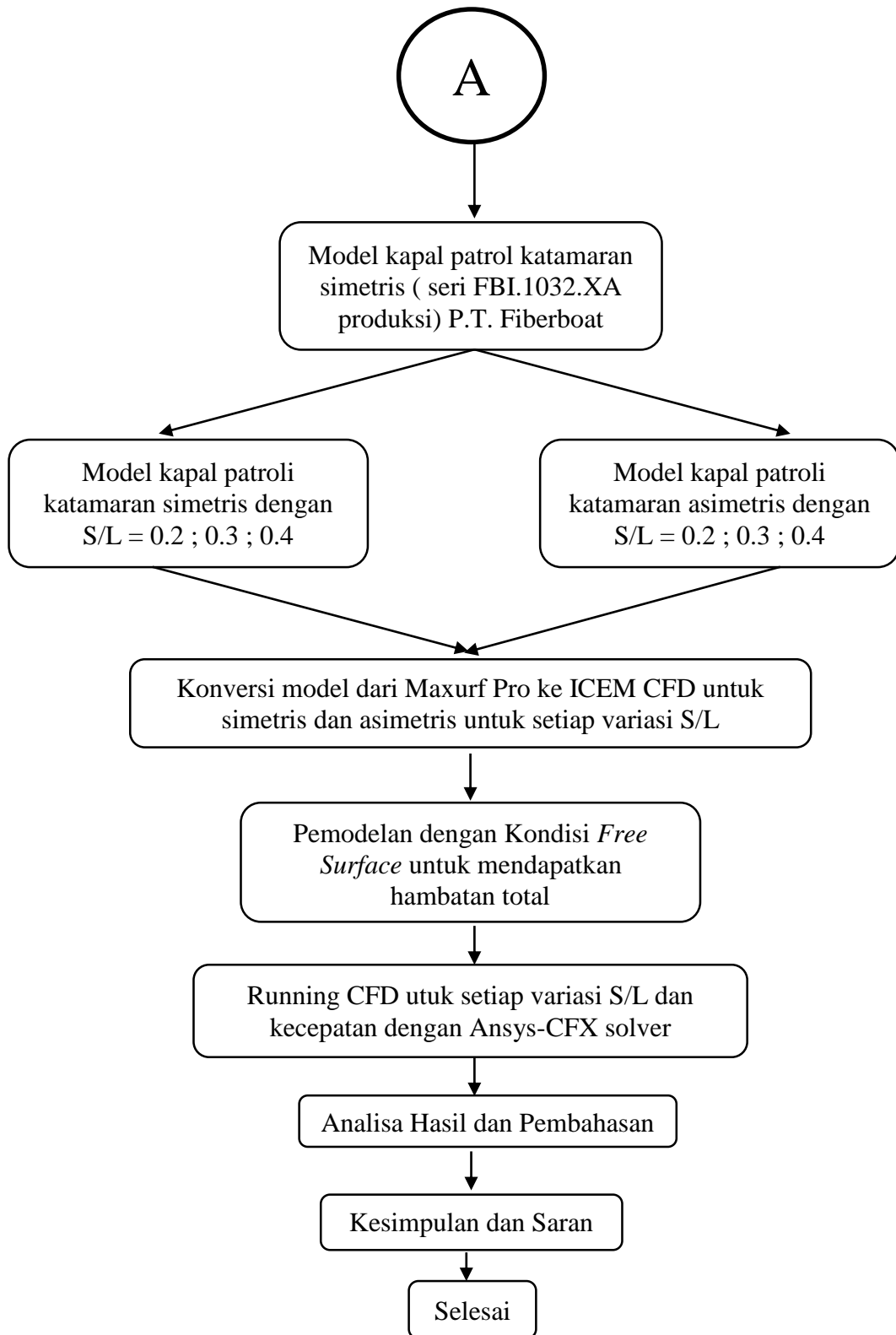
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang dipakai dalam menyelesaikan tugas akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut :





Gambar III. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

III.2. Langkah Pengerjaan

Metodologi Penelitian yang dilakukan dalam kajian tugas akhir ini berupa simulasi model dengan software ship design melalui pendekatan maxurf dan CFD (Computational Fluid Dynamics). Sehingga prosedur pengerjaan tugas akhir disusun dengan urutan sebagai berikut:

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 yang dilakukan adalah berkaitan dengan pemahaman teori dan konsep dari perhitungan hambatan kapal penumpang dan kapal patroli katamaran. Referensi yang dijadikan acuan bagi penulis yaitu berupa jurnal – jurnal dari penelitian yang pernah dilakukan, e-book dan informasi dari beberapa website.

III.2.2. Pemodelan kapal Katamaran

A. Pemodelan Kapal pada Maxurf 11.12

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dimana perancangan lambung kapal katamaran asimetris (*Flat side inside*) dilakukan dengan menggunakan software Maxurf Pro 11.12. Perancangan model kapal mengacu pada lambung kapal katamaran yang sudah ada yaitu kapal patroli katamaran seri FBI.1032.XA yang diproduksi oleh P.T. Fiber Boat indonesia, yang kemudian dari model ini akan dirancang kapal catamaran asimetris (*flat side inside*) dengan *dispacement* yang sama. Berikut adalah ukuran utama dari kapal patroli seri FBI.1032.XA yang akan digunakan dalam pemodelan :

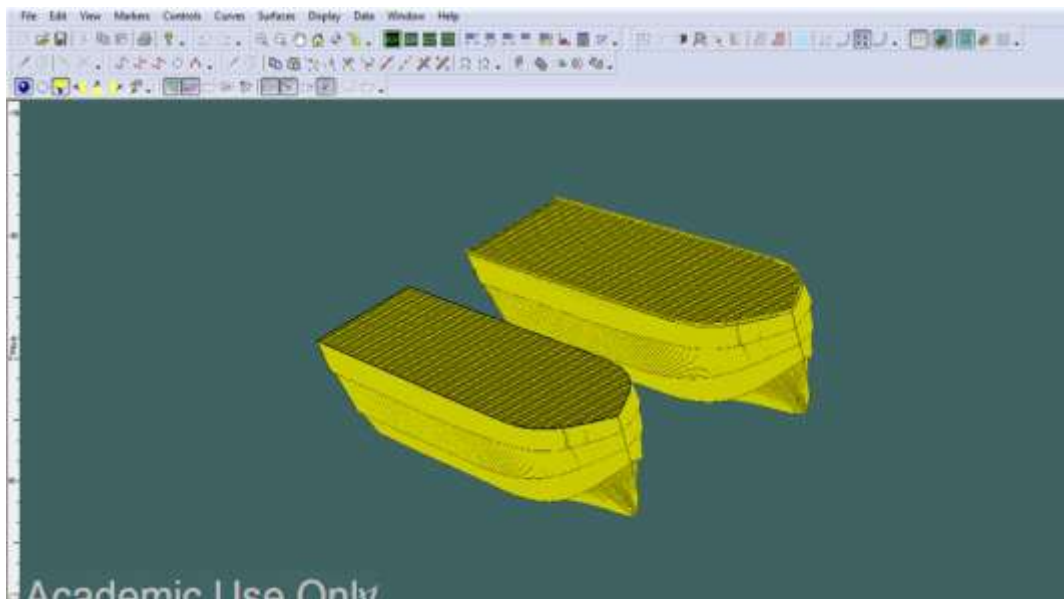
Tabel III. 1 Data ukuran utama kapal patroli katamaran (seri FBI.1032.XA)

Parameter	Katamaran simetris	unit
Lwl	9.321	m
H	1.2	m
B	3.2	m
T	0.55	m
WSA	31.071	m
Volume	6.932	m ³
Displasemen	7.015	Ton
Cb	0.645	-



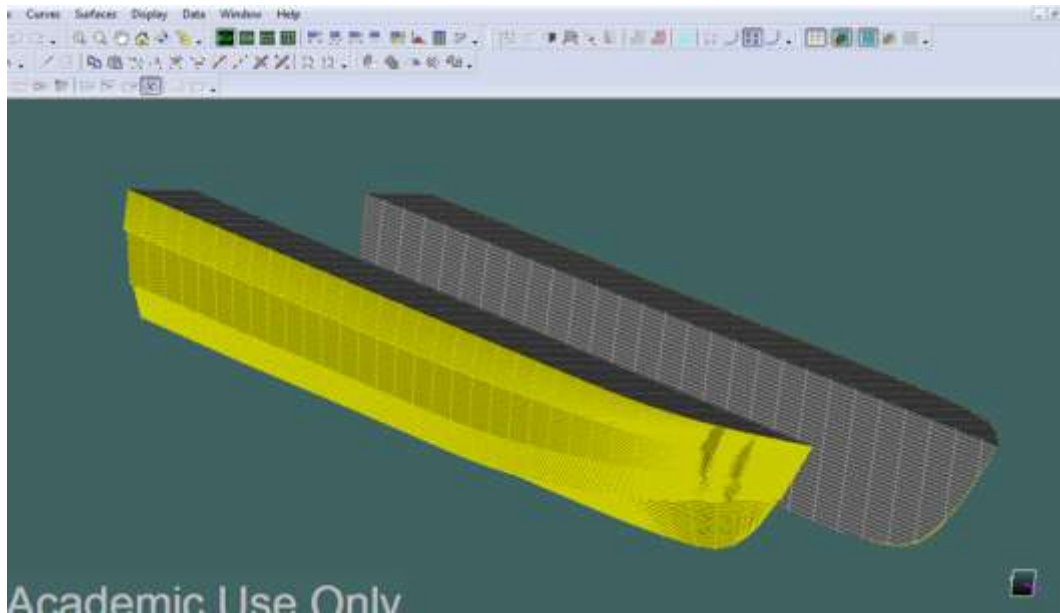
**Gambar III. 2 Kapal Patroli katamaran seri FBI.1032.XA
(PT.FIBERBOAT INDONESIA,2013)**

Berdasarkan data ukuran kapal tersebut, dilakukan pemodelan menggunakan Maxurf Modeler Advanced sebagai berikut :



Gambar III. 3 Model 3D Kapal Katamaran simetris

Setelah kapal patroli katamaran simetris telah selesai di desain yang ada pada gambar III.3 dengan ukuran utama dari kapal tersebut, kemudian dari model kapal ini dilanjutkan untuk memodelkan kapal katamaran asimetris dengan menyamakan *displacement* kedua kapal tersebut (Utama, Jamaluddin dan Aryawan, 2011)



Gambar III. 4 Model 3D kapal katamaran asimetris

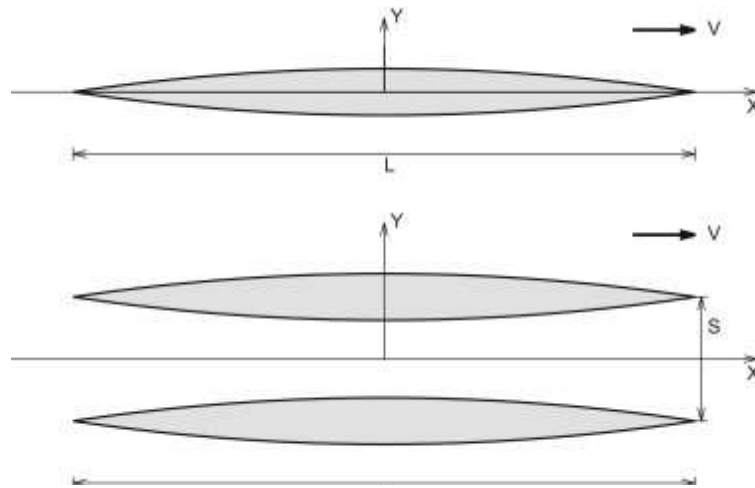
Setelah kedua model telah selesai di desain pada Maxurf Pro. 11.12, dilakukan validasi data sesuai dengan displacement yang ada pada kapal patroli katamaran simetris, berikut adalah hasil dimensi untuk kapal katamaran simetris dan asimetris.

Hydrostatics at DWL				Hydrostatics at DWL			
	Measurement	Value	Units		Measurement	Value	Units
1	Displacement	7.105	t	1	Displacement	7.105	t
2	Volume (displaced)	6.932	m ³	2	Volume (displaced)	6.932	m ³
3	Draft Amidships	0.550	m	3	Draft Amidships	0.651	m
4	Immersed depth	0.550	m	4	Immersed depth	0.650	m
5	WL Length	9.321	m	5	WL Length	11.320	m
6	Beam max extents o	2.947	m	6	Beam max extents o	4.204	m
7	Wetted Area	31.071	m ²	7	Wetted Area	38.166	m ²
8	Max sect. area	0.911	m ²	8	Max sect. area	0.747	m ²
9	Waterpl. Area	17.683	m ²	9	Waterpl. Area	14.996	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.816		10	Prismatic coeff. (Cp)	0.820	
11	Block coeff. (Cb)	0.645		11	Block coeff. (Cb)	0.224	
12	Max Sect. area coeff	0.791		12	Max Sect. area coeff	0.273	
13	Waterpl. area coeff.	0.906		13	Waterpl. area coeff.	0.315	
14	LCB length	-0.686	from z	14	LCB length	-0.332	from z
15	LCF length	-0.378	from z	15	LCF length	0.038	from z
16	LCB %	-7.364	from z	16	LCB %	-2.930	from z
17	LCF %	-4.058	from z	17	LCF %	0.335	from z
18	KB	0.329	m	18	KB	0.390	m
19	KG fluid	0.000	m	19	KG fluid	0.000	m
20	BMt	2.520	m	20	BMt	4.485	m
21	BML	15.765	m	21	BML	19.956	m
22	GMt corrected	2.848	m	22	GMt corrected	4.875	m
23	GML	16.094	m	23	GML	20.345	m
24	KMt	2.848	m	24	KMt	4.875	m
25	KML	16.094	m	25	KML	20.345	m
26	Immersion (TPc)	0.181	tonne/c	26	Immersion (TPc)	0.154	tonne/c
27	MTc	0.123	tonne.	27	MTc	0.140	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Di	0.353	tonne.	28	RM at 1deg = GMt.Di	0.605	tonne.

Density (water) 1.025 tonne/m³

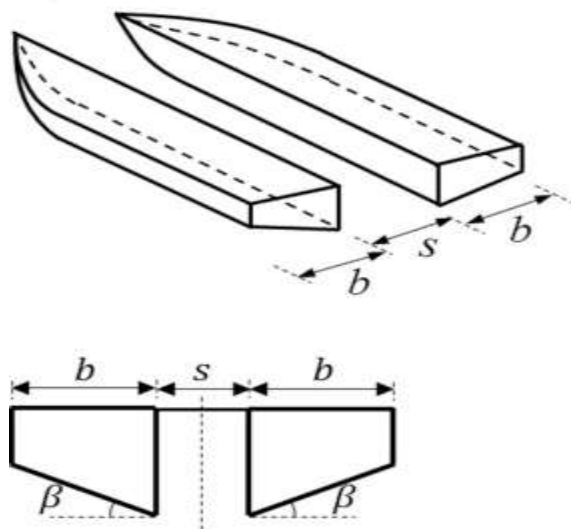
Gambar III. 5 Hasil Dimensi Data Model kapal Katamaran Simetris dan Asimetris Pada Maxurf Pro (dari kiri ke kanan)

Terdapat tiga model kapal katamaran untuk setiap kapal patroli katamaran simetris dan katamaran asimetris (*flat side inside*) dengan tiga variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) yaitu 0,2 ; 0,3 dan) 0,4 yang akan di konversi ke ICM CFD dengan software ANSYS



Gambar III. 6 Jarak S dan L pada kapal katamaran simetris (Chao Ma Dkk, 2015)

Perhitungan jarak pisah lambung S pada kapal katamaran simetris berbeda dengan jarak S pada kapal katamaran asimetris (*flat side inside*), dimana pada kapal katamaran simetris jarak S dihitung dari jarak pisah Center Line antar setiap demihull sedangkan pada kapal katamaran asimetris (*Flat side inside*) dihitung dari sisi datardi bagian dalam diantara setiap demihull (Arisandi, 2012) yang bisa di lihat pada gambar III.6 dan III.7



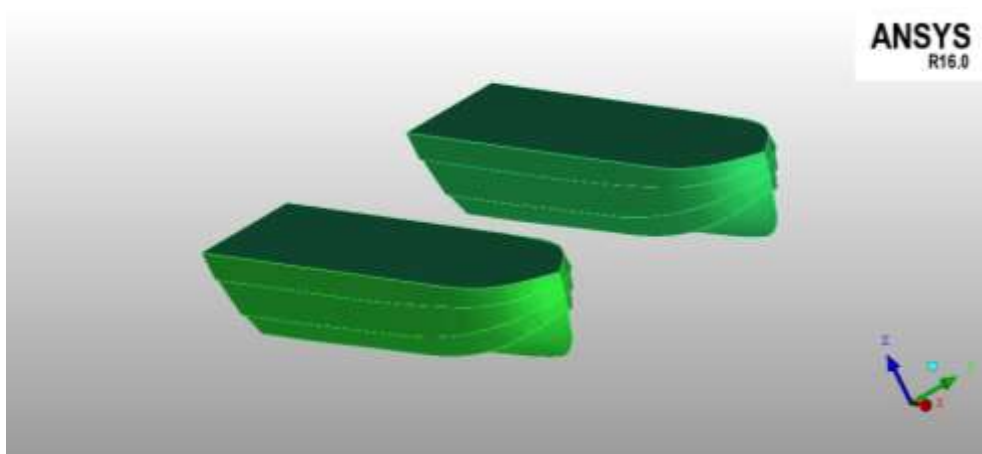
Gambar III. 7 Jarak S pada kapal katamaran Asimetris Flat Side Inside (Bari Dkk, 2016)

Dengan tiga variasi S/L yaitu 0,2 ; 0,3 dan 0,4 maka didapatkan jarak S yang berbeda untuk kedua kapal katamaran simetris dan asimetris yang di tunjukkan pada tabel III.2 :

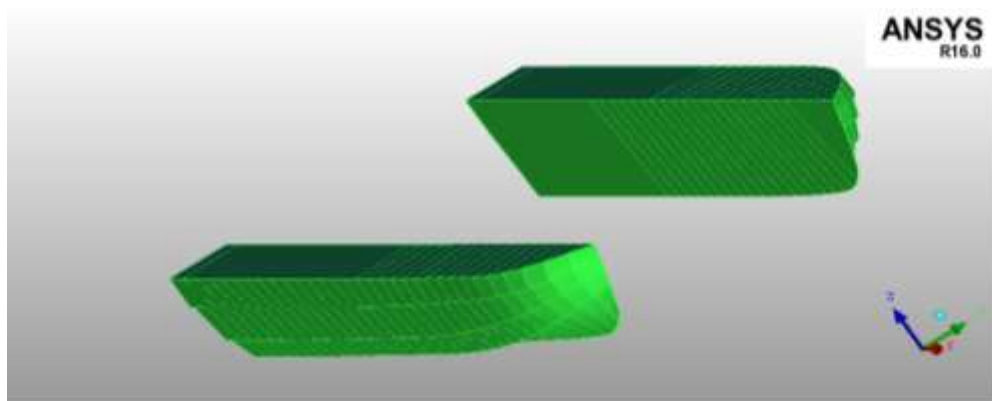
Tabel III. 2 Konfigurasi Jarak S/L Kapal Katamaran Simetris dan Asimetris

Konfigurasi	Katamaran Simetris			Katamaran Asimetris			unit
LWL	9.3			11.3			m
S/L	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	-
S	1.86	2.79	3.72	2.26	3.39	4.52	m

Setelah geometri selesai di desain di maxurf tahap selanjutnya adalah mengekspor model lambung kapal katamaran simetris dan asimetris tersebut di export dalam bentuk format iges. Proses pengeksporan model diperlukan untuk menyamakan format file dengan file yang mampu untuk dibaca oleh software ICEM-CFD, sehingga proses meshing dapat dilakukan

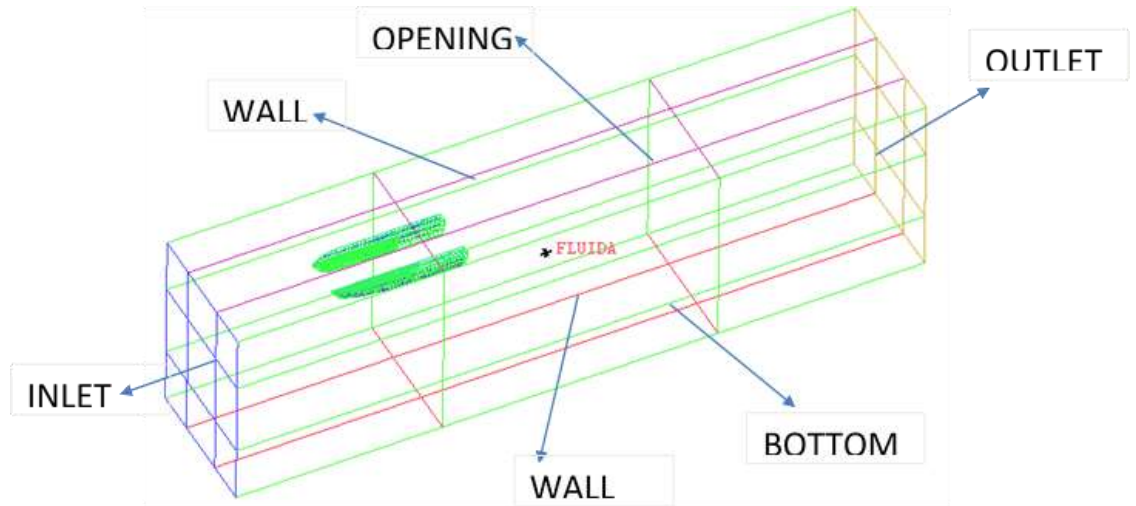


Gambar III. 8 Geometry kapal katamaran simetris pada ICEM -CFD



Gambar III. 9 Geometry kapal katamaran asimetris pada ICEM -CFD

Setelah Import model selesai maka selanjutnya dilakukan adalah pembuatan Boundary atau batas – batas domain yang nantinya akan menjadi parameter dalam melakukan simulasi



Gambar III. 10 Pembuatan Dinding Uji dan Pemberian domain Fluida Simulasi Free Surface

B. Pemilihan Jumlah Grid (Meshing)

Grid didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bergabung membentuk suatu bentuk tertentu. Ukuran grid yang kecil akan berpengaruh terhadap tingkat kehalusan dari setiap bagian kapal. semakin kecil ukuran grid yang digunakan maka semakin banyak pula jumlah grid yang digunakan dan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi (Arisandi.A,2012).

Sebelum dilakukan meshing, perlu dilakukan Pengaturan proses meshing pada tab *Part Mesh Setup* sehingga meshing yang dihasilkan sesuai. Berikut pengaturan meshing untuk simulasi *Free surface* pada kapal katamaran simetris dan asimetris.

Part Mesh Setup

Part	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio	Tetra width	Min size limit	Max deviation	Internal wall	Split wall
BOTTOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHAIN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLUIDA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.001								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MAIN_DECK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.1	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOLL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OUTLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PART_1_1_1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.07	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PART_1_1_1_0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.07	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TITIKBARU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TITIKSARAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

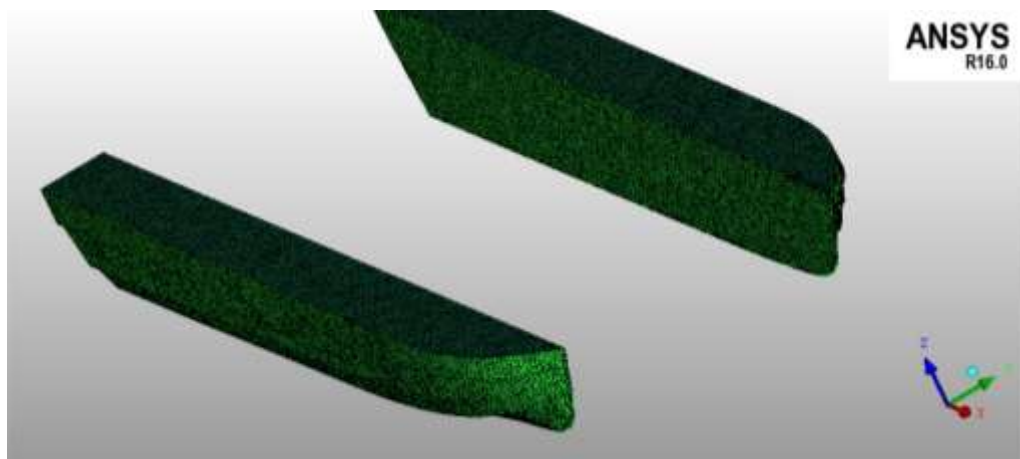
Show size parents using scale factor
 Apply inflation parameters to curves
 Remove inflation parameters from curves
 Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters

Apply Done

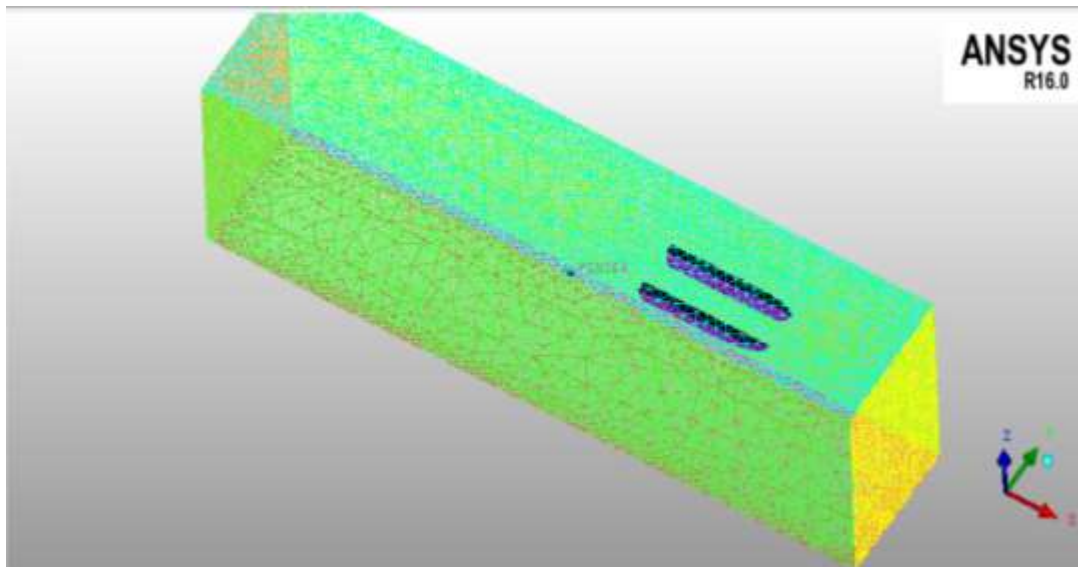
Gambar III. 11 Pengaturan Meshing Kapal Katamaram Simetris dan Asimetris untuk simulasi Free Surface



Gambar III. 12 Gambar Pemodelan *Free surface* pada Kapal Katamaram Simetris



Gambar III. 13 Gambar Pemodelan *Free Surface* pada Kapal Katamaram Asimetris



Gambar III. 14 Hasil Meshing Keseluruhan pada Model Free Surface

III.2.3. Simulasi *Free Surface* pada Computational Fluid Dynamic (CFD)

Perhitungan Numerik Hambatan Total pada kedua jenis kapal dilakukan dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamic yaitu dengan software ANSYS. Pemodelan menggunakan Free surface yaitu pemodelan kapal dengan menggunakan dua fluida yaitu udara dan air pada saat simulasi. Pemodelan dengan kondisi ini memungkinkan diperoleh hambatan total tanpa mengabaikan fluida yang naik melawati sarat kapal. Simulasi dengan kondisi di gunakan untuk kedua kapal dengan variasi jarak pisah lambung dan kecepatan yang sudah ditentukan.

A. Tahap CFX-Pre Processor

Setelah melewati tahap pemodelan dan meshing maka selanjutnya dilakukan tahap *pre-processor*. Pada tahap ini perlu melakukan mendefinisikan domain dan boundary dari part-part yang telah dibuat di ICEM CFD. Pada simulasi ini, model uji berada pada 2 fluida, yaitu fluida air dan udara. Sehingga perlu dilakukan setting ekspresi-ekspresi untuk dapat membagi domain menjadi 2 fluida. Selain itu perlu dilakukan setting mesh adaption yang berguna untuk memperhalus meshing sehingga dapat membantu perkembangan interface yang tajam antara air dan udara. Berikut merupakan setting simulasi free surface pada CFX-Pre:

1. Pendefinisian CEL

(CFX Expression Language) adalah bahasa pemrograman terhadap kondisi batas (Boundary Condition) dituliskan (CFX, 2007). Ekspresi – ekspresi yang digunakan pada boundary dan initial condition yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat Tabel dibawah ini :

Tabel III. 3 Ekspresi – ekspresi pada CEL (CFX, 2007)

Nama Bagian	CEL	Definisi
Tinggi hulu free surface	UpH	11.55 [m]
Tinggi hilir free surface	DownH	11.55 [m]
Densitas air	DenWater	1025 [kg m ⁻³]
Densitas udara	DenRef	1.185 [kg m ⁻³]
Densitas air-densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
Fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
Fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
Distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater *(UpH-y)
Fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
Fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
Distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater *(DownH-y)

2. Kondisi Domain

Pada bagian ini jenis fluida dibagi dalam dua jenis yaitu air dan udara. Pada tab *Basic Setting* terdapat opsi Gravity X Dim, Gravity Y Dim, dan Gravity Z Dim yang diisi dengan angka 0 m/s; -g; dan 0 m/s secara berturut-turut. Untuk Buoy. Ref. Density diisi dengan “DenRef” yang sesuai dengan ekspresi-ekspresi CEL. Pada tab Fluid Model, kotak di sebelah pilihan “Homogeneous Model” dicentang dan pada opsi Free Surface Model di-setting mode “Standard”, sedangkan untuk model turbulensi di-setting “Shear Stress Transport”. Pada tab *Fluid Specific Model*, harus dipastikan bahwa fluida yang telah di-setting pada simulasi ini ada dua yaitu air dan udara. Seperti pada simulasi sebelumnya, model turbulensi fluida menggunakan shear stress transport pada kondisi isothermal lebih memberikan akurasi yang lebih baik.

3. Kondisi Boundary

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

4. Initialization

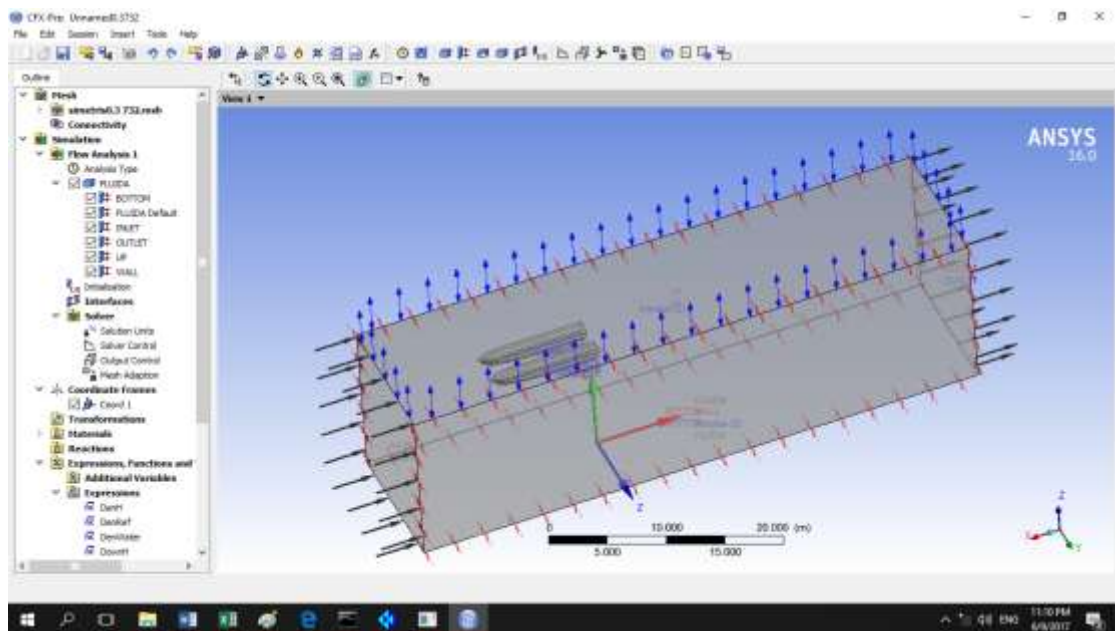
Initialization merupakan pengaturan kecepatan aliran fluida dan fraksi udara dengan memasukkan CEL “UpVFAir” dan fraksi air diisi dengan “UpVFWater”.

5. Mesh Adaptation

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

6. Solver Control

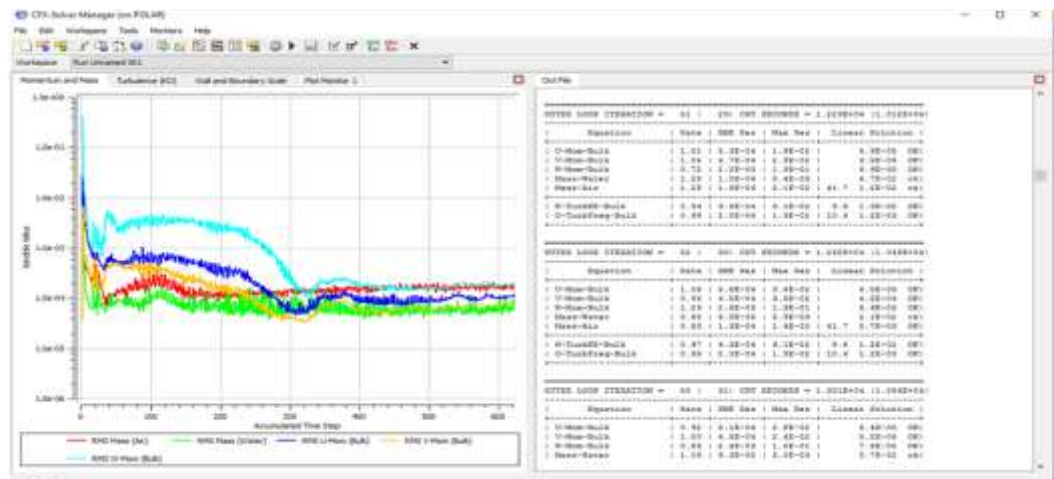
Pada tahap ini dilakukan pengaturan residual target untuk tahap konvergensi dimana pada simulasi free surface di-setting default yaitu 10^{-4} . Selain mengatur jumlah iterasi pada tahap ini agar domain pada simulasi ini dapat terbagi menjadi 2 fluida yaitu air dan udara, maka perlu dilakukan pengaturan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



Gambar III. 15 Tahap Simulasi CFX-Pre Processor Pada simulasi *Free Surface*

B. Tahap Solver

Proses Perhitungan atau disebut sebagai proses solver dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan atau biasa disebut dengan proses running. Proses running ini ditampilkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan accumulated time step sesuai dengan iterasi yang kita gunakan dan sumbu y menunjukkan nilai konvergensi (variable value) dengan nilai 1 sampai 10^{-4} . Kriteria konvergensi pada simulasi ini adalah 10^{-4} berdasarkan settingan default dari software ANSYS. Berikut merupakan gambar proses running pada simulasi free surface

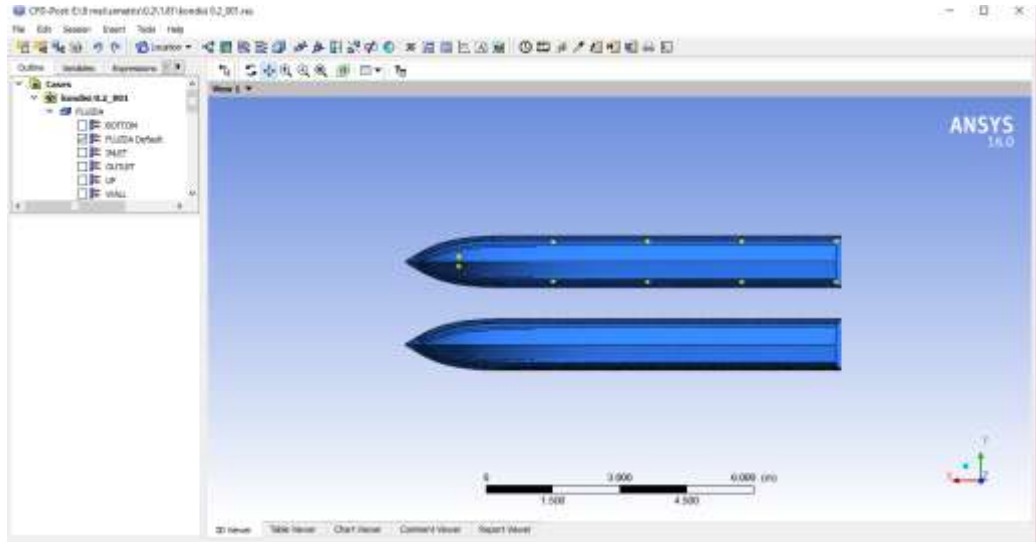


Gambar III. 16 Proses Running Pada simulasi *Free Surface*

C. Tahap post-processor

Langkah terakhir dalam simulasi numerik menggunakan ANSYS adalah tahap *post-processor*. Pada tahap ini dilakukan analisa dan visualisasi dari hasil yang telah diperoleh. Hasil yang diperoleh berupa perhitungan besarnya hambatan total kapal akibat kondisi-kondisi batas yang kita tentukan sebelumnya.

Besarnya tekanan dan kecepatan aliran fluida serta shear stress yang terjadi disetiap bagian lambung kapa dianalisa dengan memberikan beberapa node dengan parameter yang sama yaitu jarak node terhadap centerplane disalah satu sisi dalam dan luar kapal katamaran simetris dan asimetris.



Gambar III. 17 Posisi Node pada lambung kapal katamaran simetris

III.2.4. Validasi *Grid independence*

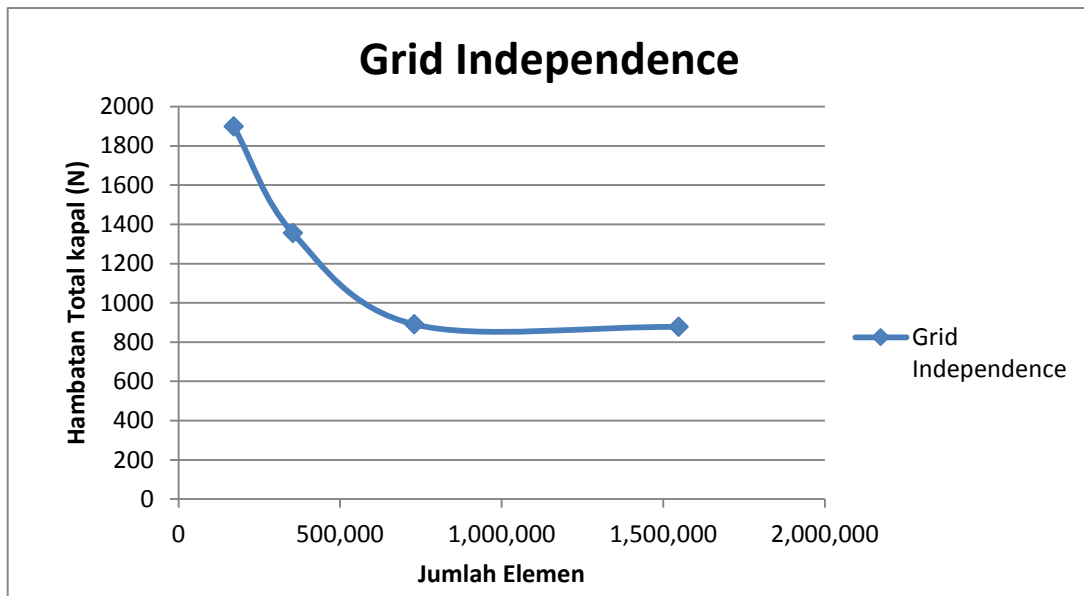
Grid Independence ini adalah hasil dari simulasi CFD yang ditampilkan telah tidak dipengaruhi oleh jumlah total elemen dari model uji. Karena jumlah total elemen dari model uji dapat mempengaruhi hasil dari simulasi CFD maka, dilakukan validasi untuk menentukan jumlah total elemen yang dipakai untuk menentukan kumlah elemen yang dipakai pada proses simulasi CFD. Jumlah elemen yang lebih besar dapat menghasilkan hasil yang lebih mendekati nilai aslinya. Tetapi dengan jumlah elemen yang lebih besar tersebut dapat memerlukan waktu iterasi yang lebih lama.

Metode Grid independence dilakukan dengan membandingkan jumlah elemen mulai dari yang kecil hingga elemen besar, dimana setiap penambahan elemen adalah kelipatan dua dari jumlah elemen sebelumnya, kemudian membandingkan selisih hambatan untuk setiap menambahkan elemen.

Metode *Grid independence* menghasilkan hasil yang paling optimal yang artinya selisih persentase hasil dari simulasi CFD tersebut terhadap jumlah total elemen kurang dari 2% sehingga waktu iterasi yang dihasilkan dapat relatif minimum. Selain dari jumlah total elemen, waktu iterasi juga dipengaruhi oleh spesifikasi komputer yang digunakan. Berikut adalah hasil Grid independence yang dioperasikan pada salah satu kondisi batas yaitu model free surface pada kapal katamaran simetris pada Fr 0.19 utuk hambatan total kapal sebagai parameter hasil ditunjukkan pada gambar berikut :

Tabel III. 4 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil Simulasi *Free surface*

no	Jumlah Elemen	Hambatan Total (N)	Selisih Hambatan (%)
1	170,657	1899	-
2	353,943	1356	28.59400
3	729,587	890	34.3426
4	1,547,512	878	1.43781



Gambar III. 18 Hasil Grid independence pada simulasi *Free Surface*

Kapasitas computer sangat mempengaruhi lama durasi dalam proses running yang terjadi pada setiap simulasi. Spesifikasi computer yang digunakan adalah sebagai berikut

```

System Manufacturer: Hewlett-Packard
System Model: 400-020l
BIOS: BIOS Date: 02/05/13 10:56:41 Ver: 04.06.05
Processor: Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz (4 CPUs), ~3.2GHz
Memory: 4096MB RAM
Page file: 1228MB used, 6871MB available
DirectX Version: DirectX 11
    
```

Gambar III. 19 Spesifikasi komputer yang dipakai dalam pengerjaan tugas akhir

Pada simulasi free surface dengan total iterasi 621 (maksimum iterasi 800) mencapai durasi waktu 13 jam 24 menit.

III.2.5. Analisa data dan Penyelesaian

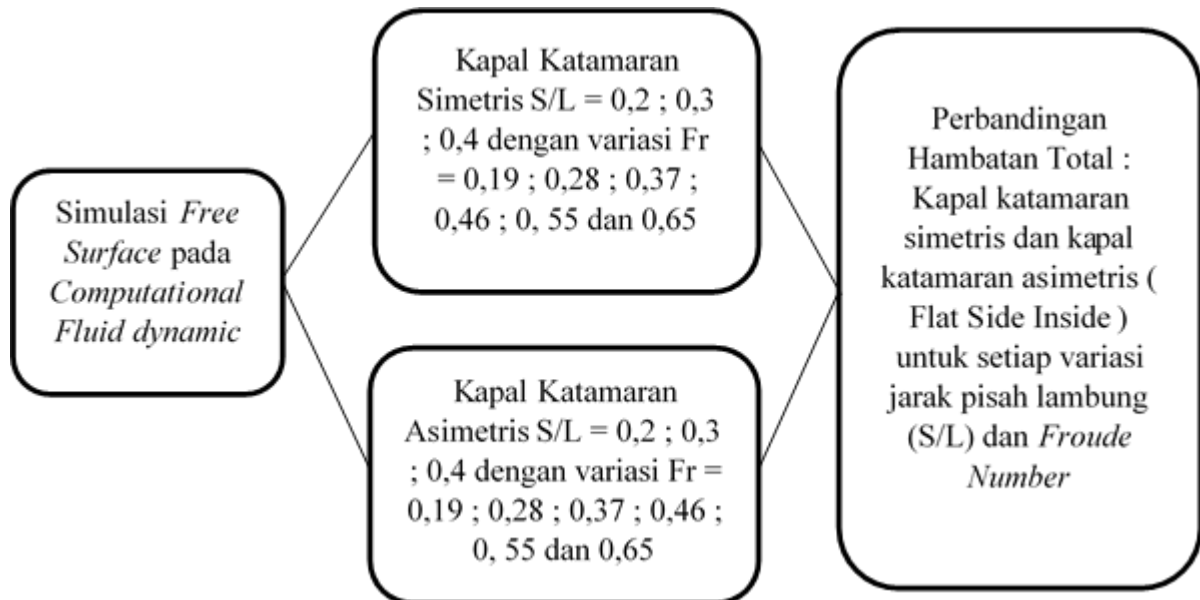
Data yang diperoleh dari hasil simulasi diolah kembali melalui perhitungan – perhitungan yang kemudian hasilnya ditabulasikan dan dibuat grafik trend hubungan antara variabel – variabel perancangan. Setelah analisa dilakukan, maka data dari hasil analisa dibuat kesimpulan untuk merangkum keseluruhan hasil penelitian. Langkah terakhir dari rangkaian penelitian tugas akhir ini adalah pendokumentasian laporan hasil penelitian yang telah dilakukan (dokumentasi laporan tugas akhir)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pendahuluan

Setelah melalui proses simulasi *Computational Fluid Dynamic* dengan *CFX-Solver* didapatkan hasil berupa besarnya nilai hambatan total untuk model kapal patroli simetris dan asimetris (*flatside inside*) pada setiap variasi jarak demihull (S/L) 0.2 ; 0.3 dan 0.4 maka dilanjutkan analisis. Dalam bab IV ini, Proses yang dilakukan menjadi beberapa bagian penting yang dapat di jelaskan pada bagan V.I dibawah ini.



Gambar IV. 1 Bagan Hasil Simulasi Model

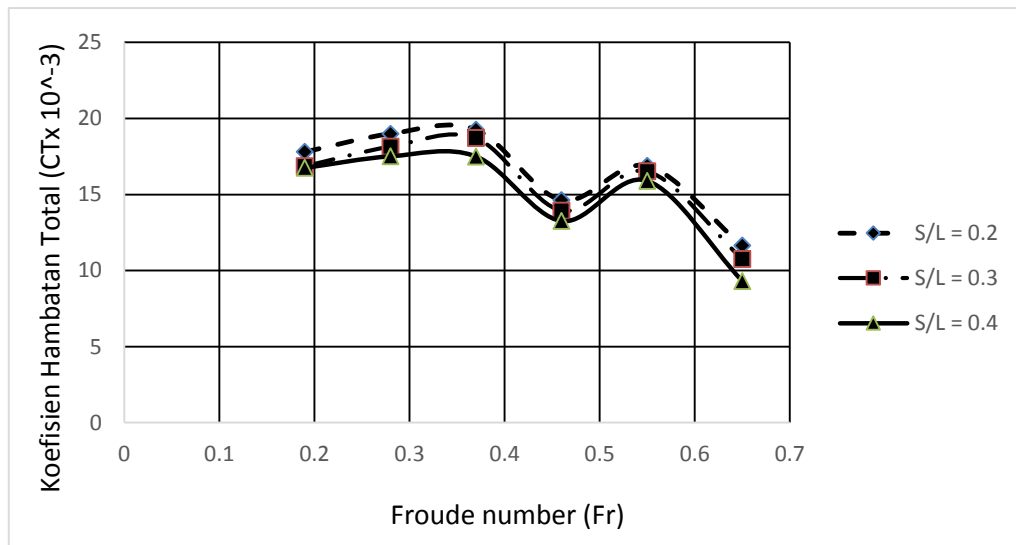
IV.2. Perbandingan Hambatan Total kapal katamaran simetris

Dari Hasil pemodelan *Free Surface* didapatkan hambatan total untuk kapal katamaran simetris dengan variasi jarak pisah lambung (S/L = 0,2 ; 0,3 ; 0,4) dalam 6 variasi kecepatan dalam Froude Number (0,19 ; 0,28 ; 0,37 ; 0,46 ; 0,55 ; 0,65). Dari hasil simulasi tersebut didapatkan nilai hambatan total dan koefisien hambatan total pada tabel IV.1 dibawah ini :

Tabel IV. 1 Nilai Hambatan Total untuk Setiap Variasi Model Kapal Katamaran Simetris

Fn	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)
0.19	0.939	17.805	0.890	16.868	0.884	16.752
0.28	2.177	18.997	2.080	18.157	2.006	17.510
0.37	3.855	19.266	3.743	18.706	3.502	17.501
0.46	4.527	14.638	4.313	13.947	4.099	13.255
0.55	7.463	16.880	7.306	16.524	7.030	15.900
0.65	7.186	11.637	6.641	10.754	5.750	9.311

Dari hasil Hambatan Total yang didapatkan dari simulasi *Free Surface* dengan CFX-Solver. Hambatan Total didominasi oleh hambatan gelombang. Pada kecepatan rendah ($Fr < 0.2$) untuk semua variasi S/L hambatan hanya di dominasi oleh hambatan viskos karena gelombang belum terbentuk pada kecepatan rendah yang dapat kita lihat pada gambar IV. dibawah ini



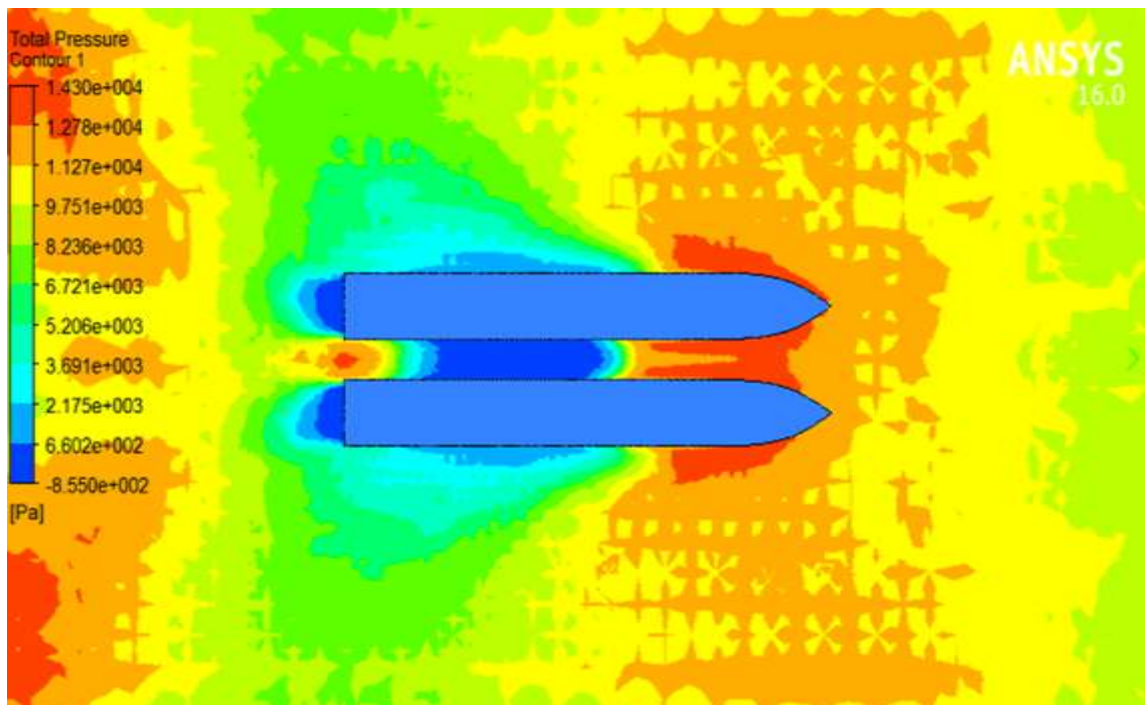
Gambar IV. 2 Koefisien Hambatan Total Lambung Katamaran simetris terhadap Variasi S/L

Pada gambar IV.2 didapatkan kesimpulan dari semua variasi model, kapal katamaran simetris dengan jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ menghasilkan hambatan total yang paling kecil dengan persentase pengurangan hambatan total sebagai berikut model $S/L = 0.2$ dengan model $S/L = 0.4$ adalah sebesar 4.77 % dan model $S/L = 0.2$ dengan model $S/L = 0.4$ adalah sebesar 10,49 % untuk kisaran Froude number 0.19 – 0.65.

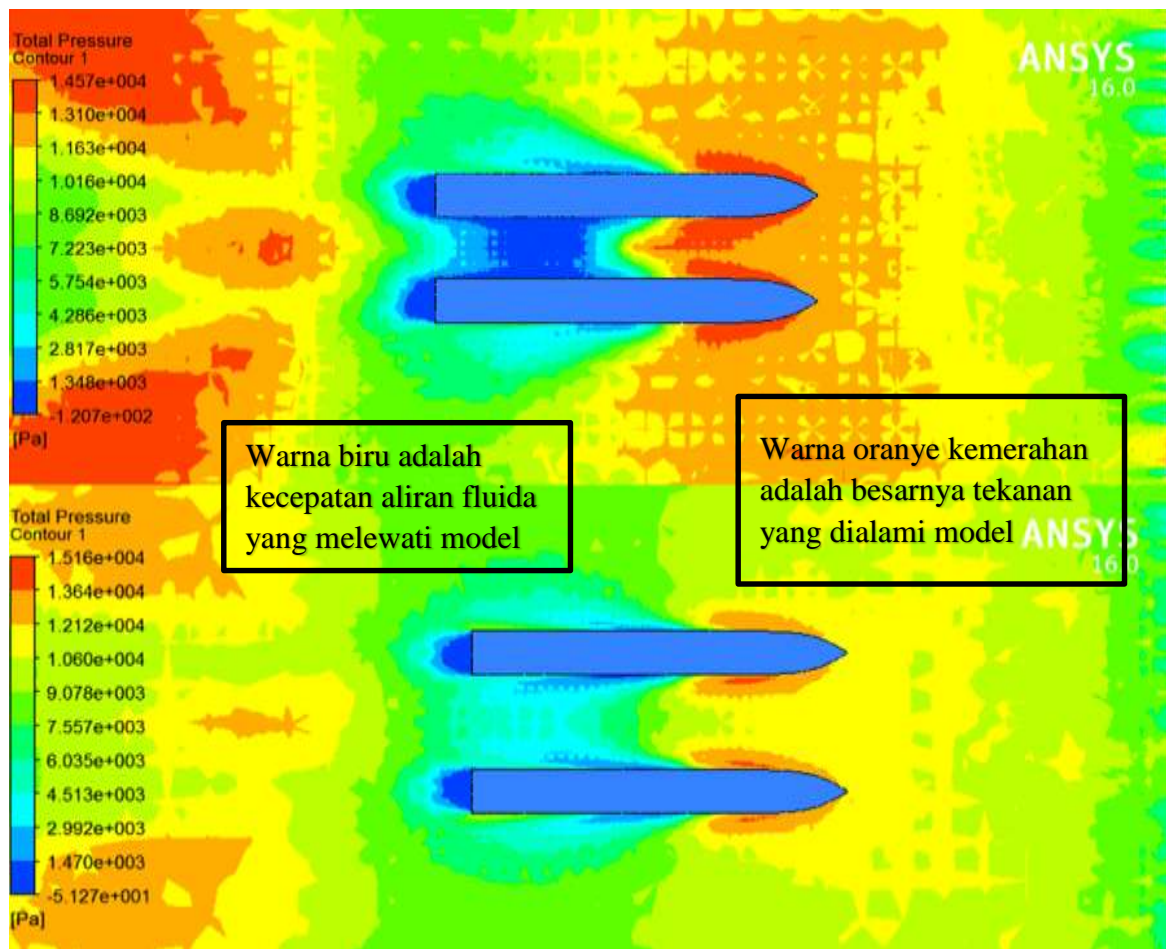
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zaraphonitis, dkk (2001) bahwa antara range Froude number $0.33 < Fr < 0.39$ katamaran dengan konfigurasi terjadi efek interferensi antar kedua

lambung meskipun sangat lemah yang disebabkan efek bow-generated waves yang berjalan berlawanan ke arah buritan, dan grafik tersebut menunjukkan hal yang sama dimana hambatan kapal katamaran berkurang dengan meningkatnya jarak pisah lambung, hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan Sutiyo (2015) yang menunjukkan grafik penurunan hambatan total dengan meningkatnya rasio jarak pisah lambung (S/L).

Penurunan Hambatan total karena peningkatan rasio S/L ini dikarenakan semakin besar jarak pisah lambung katamaran maka hambatan gelombang yang dihasilkan akan semakin kecil dan adanya perbandingan kecepatan dan panjang yang berpengaruh terhadap terbentuknya gelombang transversal dan gelombang divergen seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal.



Gambar IV. 3 Visualisasi Tekanan Fluida katamaran simetris S/L = 0.2 pada Fr 0.55



Gambar IV. 4 Visualisasi Tekanan Fluida katamaran simetris $S/L = 0.3$ (atas) dan $S/L = 0.4$ (bawah) pada $Fr 0.55$

Dari hasil visualisasi tekanan dan aliran kecepatan yang terjadi pada setiap variasi S/L dengan Froude number yang sama. Pada katamaran $S/L = 0.2; 0.3; 0.4$ daerah tekanan yang tinggi terjadi pada sebagian besar bagian depan kapal kapal katamaran dan bagian buritan kapal tersebut, daerah bagian midship kearah belakang kapal menunjukkan warna biru gelap dimana kecepatan aliran fluida yang besar terjadi pada daerah tersebut.

Sesuai dengan penelitian Zaraphonitis, dkk (2001) dan diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Sutiyo (2015). Pada jarak pisah lambung $S/L = 0.2$ terjadi interferensi yang sangat kuat pada kedua lambung kapal,. Pada jarak pisah lambung $S/L = 0.3$ interferensi antar lambung kapal katamaran simetris masih terjadi meskipun sangat lemah, dan jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ interferensi yang ditimbulkan kapal hampir tidak ada.

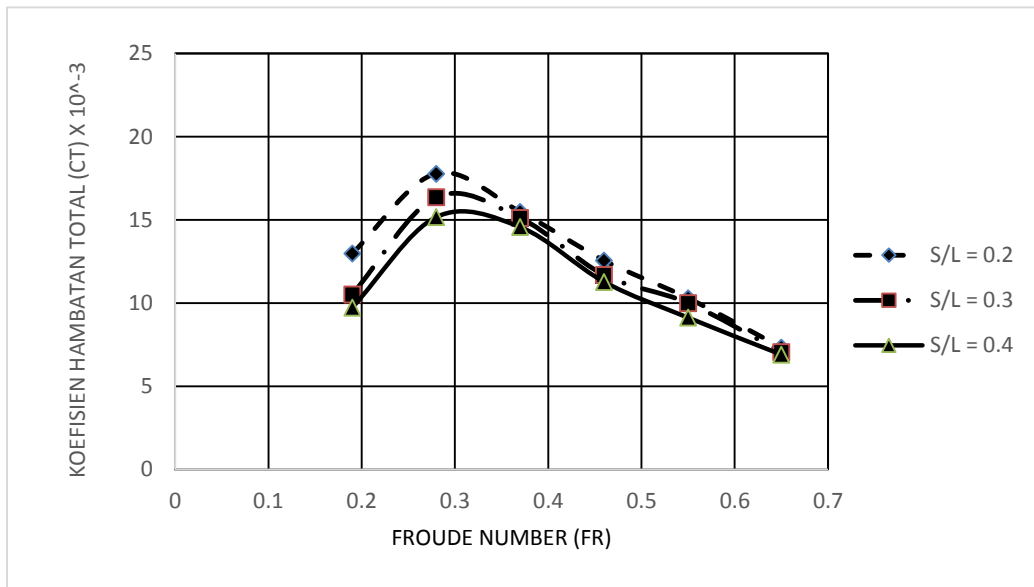
IV.3. Perbandingan Hambatan Total kapal katamaran Asimetris (*Flat Side Inside*)

Dari Hasil pemodelan Free Surface didapatkan hambatan total untuk kapal katamaran simetris dengan variasi jarak pisah lambung ($S/L = 0,2 ; 0,3 ; 0,4$) dalam 6 variasi kecepatan dalam Froude Number ($0,19 ; 0,28 ; 0,37 ; 0,46 ; 0,55 ; 0,65$). Dari hasil simulasi tersebut didapatkan nilai hambatan total dan koefisien hambatan total pada tabel IV.2 dibawah ini :

Tabel IV. 2 Nilai Hambatan Total untuk Setiap Variasi Model Kapal Katamaran Asimetris

Fr	S/L = 0.2		S/L = 0.3		S/L = 0.4	
	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)	RT (KN)	CT ($\times 10^{-3}$)
0.19	1.016	12.976	0.824	10.518	0.762	9.732
0.28	3.022	17.772	2.783	16.363	2.578	15.161
0.37	4.595	15.473	4.487	15.109	4.324	14.563
0.46	5.342	11.638	5.360	11.678	5.173	11.270
0.55	6.745	10.280	6.558	9.995	5.983	9.119
0.65	6.710	7.322	6.462	7.052	6.322	6.899

Sesuai dengan tabel diatas maka dapat dilihat di grafik perbandingan antara koefisien hambatan total dan froude number.



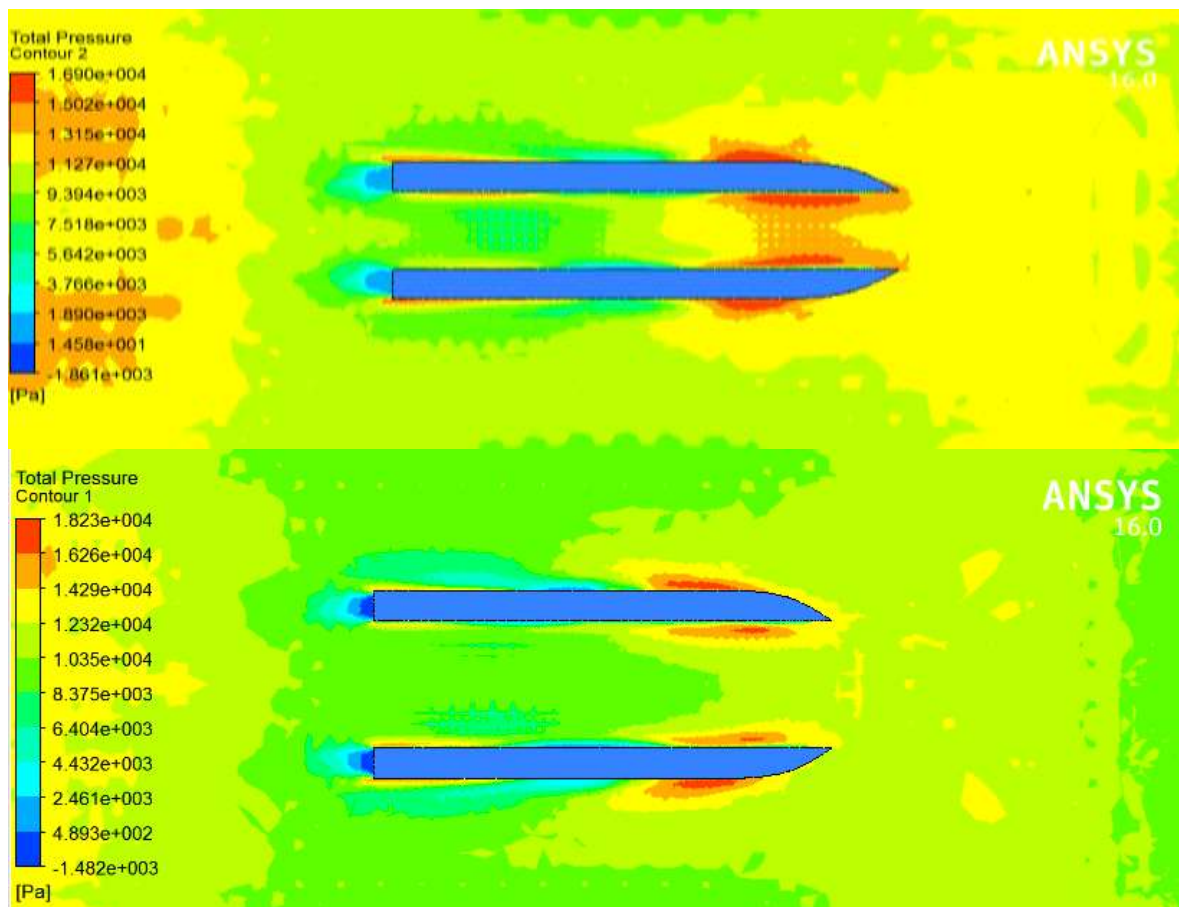
Gambar IV. 5 Koefisien Hambatan Total Lambung Katamaran Asimetris (*flat side inside*) terhadap Variasi S/L

Pada Tabel IV.2 didapatkan kesimpulan dari semua variasi model, kapal katamaran simetris dengan jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ menghasilkan hambatan total yang paling kecil dengan persentase pengurangan hambatan total sebagai berikut model $S/L = 0.2$ dengan model $S/L = 0.3$ adalah sebesar

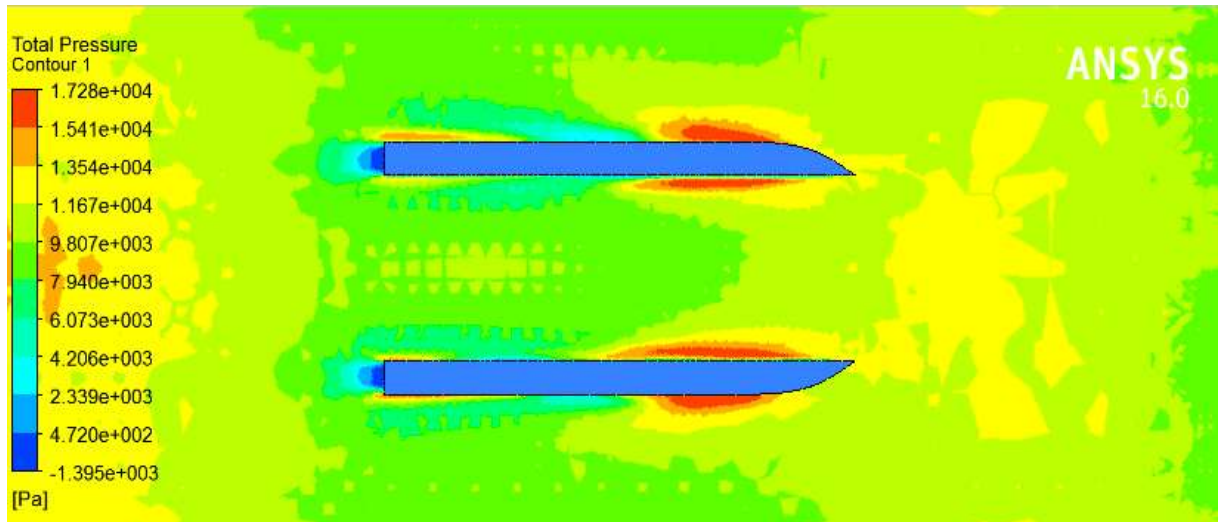
4.97 % dan model $S/L = 0.2$ dengan model $S/L = 0.4$ adalah sebesar 9.70 % untuk kisaran Froude number 0.19 – 0.65.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zaraphonitis,dkk (2001) bahwa antara range Froude number $0.33 < Fr < 0.39$ katamaran dengan konfigurasi terjadi efek interferensi antar kedua lambung meskipun sangat lemah yang disebabkan efek *bow-generated waves* yang berjalan berlawanan ke arah buritan, dan grafik tersebut menunjukkan hal yang sama dimana hambatan kapal katamaran berkurang dengan meningkatnya jarak pisah lambung, hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan Arisandi (2012) yang menunjukkan grafik penurunan hambatan total dengan meningkatnya rasio jarak pisah lambung (S/L).

Sesuai dengan penelitian Zaraphonitis,dkk (2001) dan diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Arisandi (2012). Pada jarak pisah lambung $S/L = 0.2$ terjadi interferensi yang sangat kuat pada kedua lambung kapal,. Pada jarak pisah lambung $S/L = 0.3$ interferensi antar lambung kapal katamaran simetris masih terjadi meskipun sangat lemah, dan jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ interferensi yang ditimbulkan kapal hamper tidak ada.



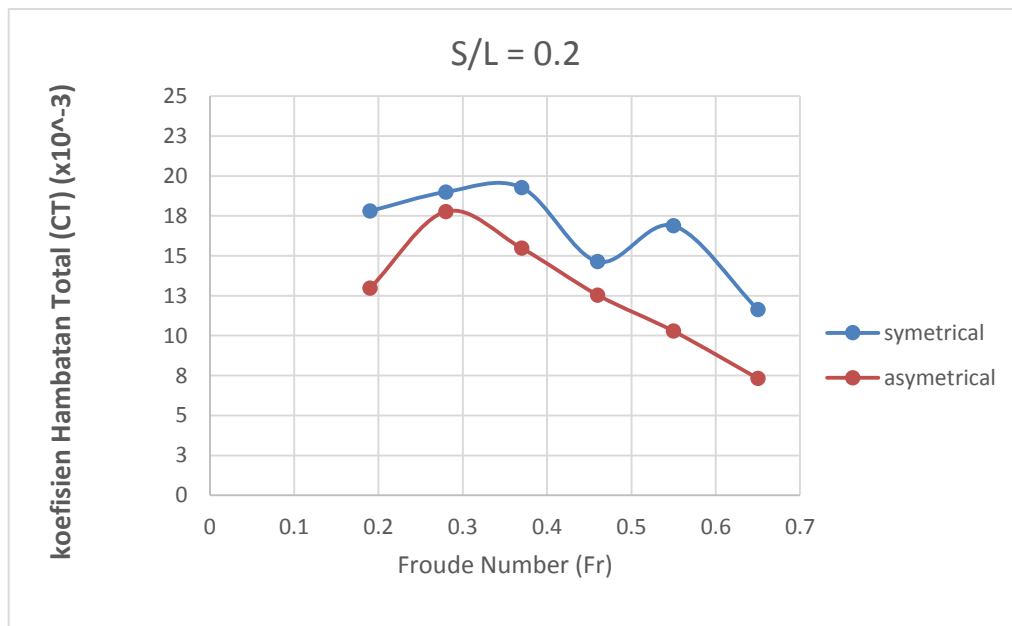
Gambar IV. 6 Visualisasi Tekanan Fluida katamaran asimetris $S/L = 0.2$ (atas) dan $S/L = 0.3$ (bawah) pada $Fr 0.55$



Gambar IV. 7 Visualisasi Tekanan Fluida katamaran asimetris $S/L = 0.4$ pada $Fr 0.55$

IV.4. Perbandingan Hambatan Total Kapal Katamaran Simetris dan Asimetris (*Flat Side Inside*) dengan Displasemen yang Sama

IV.4.1. Perbandingan hambatan Total untuk $S/L = 0.2$

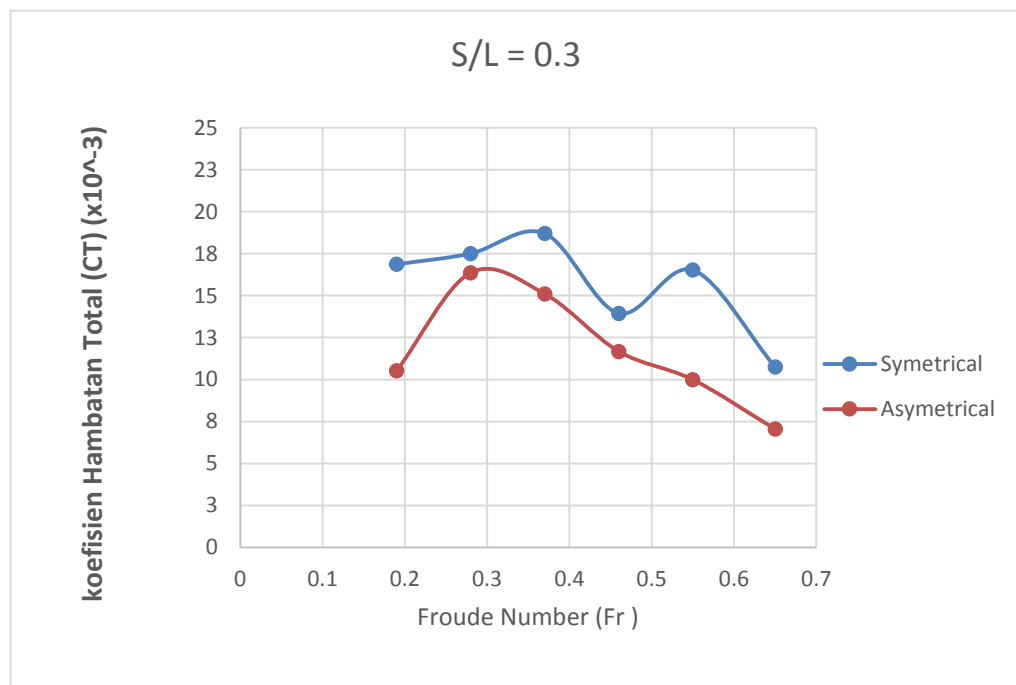


Gambar IV. 8 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung $S/L = 0.2$

Pada Gambar IV.8, grafik perbandingan CT kapal katamaran simetris dan asimetris menunjukkan bahwa nilai CT kapal katamaran asimetris (*flatside inside* selalu lebih kecil dari kapal katamaran simetris untuk setiap variasi kecepatan. Dengan selisih 29,93 % koefisien hambatan total

kapal katamaran asimetris lebih kecil daripada kapal katamaran simetris. Perbedaan ini dikarenakan adanya interferensi badan kapal (*boundary interference*) dimana lambung katamaran simetris mengakibatkan gelombang dari satu *demuhull* mencapai badan (hull) lainnya membuat bidang basah menjadi berubah sehingga memberikan nilai perubahan pada hambatan gesek (Insel & moland, 1990)

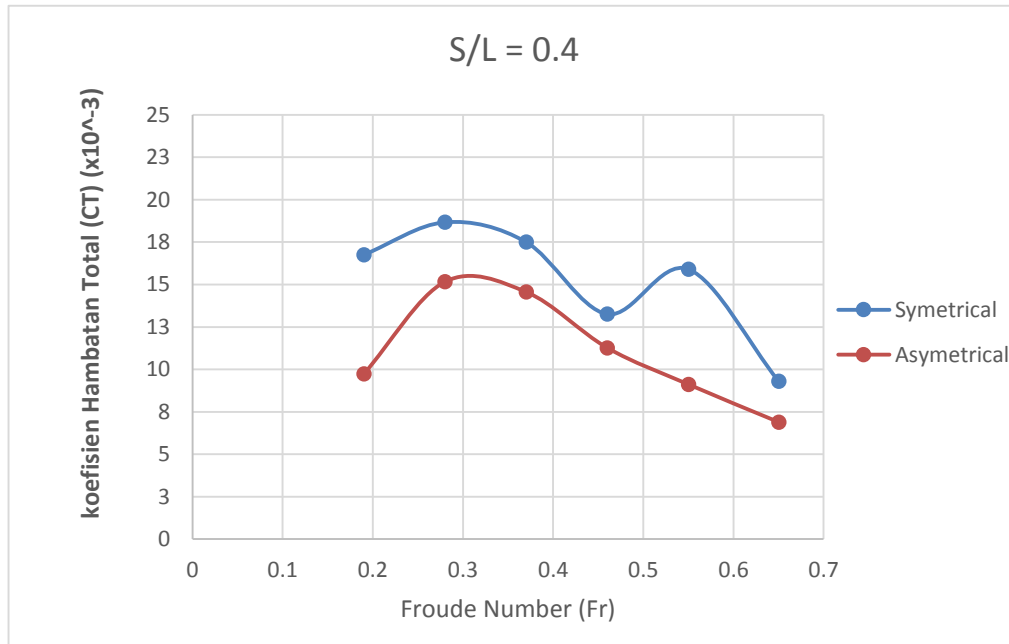
IV.4.2. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris dengan Jarak pisah lambung $S/L = 0.3$



Gambar IV. 9 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung $S/L = 0.3$

Pada Gambar IV.9, grafik perbandingan CT kapal katamaran simetris dan asimetris menunjukkan bahwa nilai CT kapal katamaran asimetris (flatside inside selalu lebih kecil dari kapal katamaran simetris untuk setiap variasi kecepatan. Dengan selisih 33.68 % koefisien hambatan total kapal katamaran asimetris lebih kecil daripada kapal katamaran simetris. Hal ini dikarenakan penurunan nilai CT lambung asimetris lebih besar daripada labung dimetris daripada lambung simetris dengan CT lambung katamaran simetris dengan konfigurasi $S/L = 0.3$ menurun 4.9 % dari kapal katamaran simetris dengan konfigurasi $S/L = 0.2$ sedangkan CT lambung katamaran asimetris dengan konfigurasi $S/L = 0.3$ menurun 7.9 % dari lambung katamaran asimetris $S/L = 0.3$. Hal ini yang menyebabkan selisih CT kapal katamaran simetris dan kapal katamaran asimetris menjadi lebih besar.

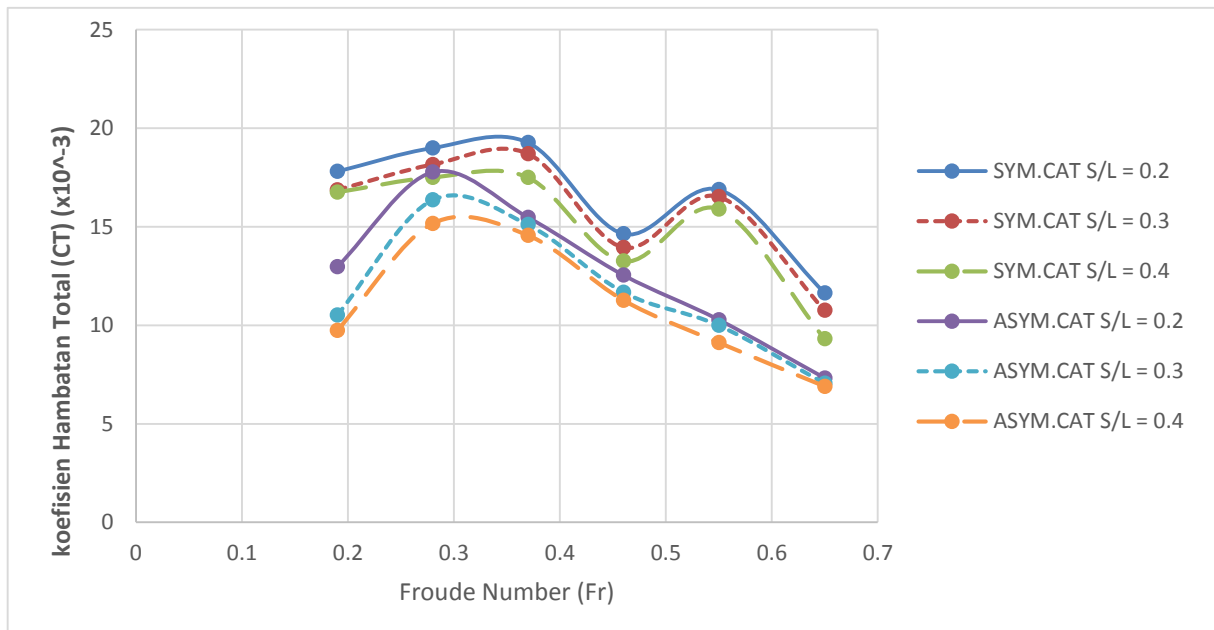
IV.4.3. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris dengan Jarak pisah lambung $S/L = 0.4$



Gambar IV. 10 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk jarak pisah lambung $S/L = 0.4$

Pada Gambar IV.10, grafik perbandingan CT kapal katamaran simetris dan asimetris menunjukkan bahwa nilai CT kapal katamaran asimetris (flatside inside selalu lebih kecil dari kapal katamaran simetris untuk setiap variasi kecepatan. Dengan selisih 36 % koefisien hambatan total kapal katamaran asimetris lebih kecil daripada kapal katamaran simetris. Hal ini dikarenakan penurunan nilai CT lambung asimetris lebih besar daripada lambung dimetris daripada lambung simetris dengan CT lambung katamaran simetris dengan konfigurasi $S/L = 0.4$ turun 7.3 % dari kapal katamaran simetris dengan konfigurasi $S/L = 0.2$ sedangkan CT lambung katamaran asimetris dengan konfigurasi $S/L = 0.4$ turun 12.6 % dari lambung katamaran asimetris $S/L = 0.2$. Hal ini yang menyebabkan selisih CT kapal katamaran simetris dan kapal katamaran asimetris menjadi lebih besar.

IV.4.4. Perbandingan Hambatan kapal katamaran simetris dan Asimetris untuk setiap variasi jarak pisah lambung (S/L)

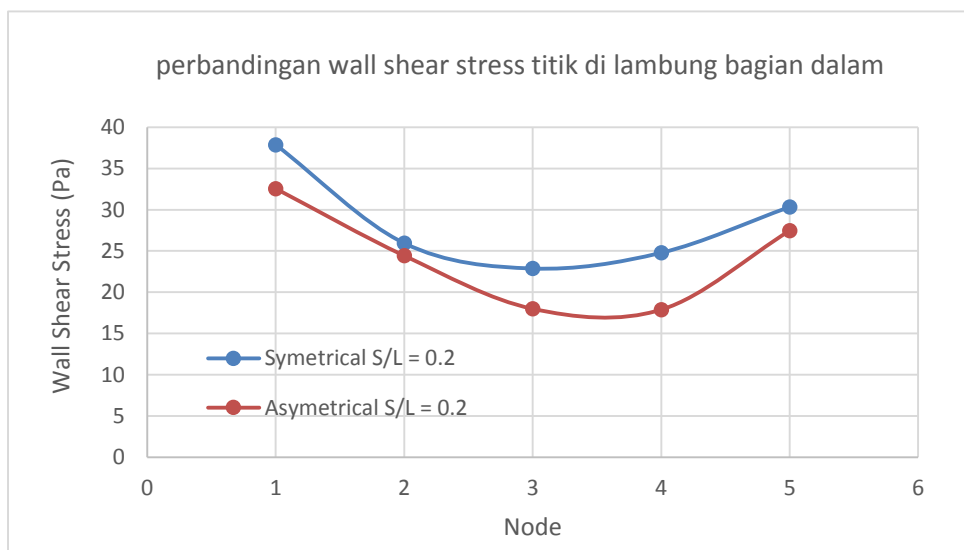


Gambar IV. 11 Perbandingan CT kapal Katamaran Simetris dan Asimetris untuk seluruh variasi jarak pisah lambung (S/L)

Perbandingan Hambatan Total untuk kapal katamaran simetris dan asimetris untuk setiap variasi jarak pisah lambung dari gambar IV.11 diatas menunjukkan bahwa koefisien hambatan total kapal katamaran asimetris lebih rendah daripada kapal katamaran simetris dengan displasemen yang sama. Dimana perbedaan CT pada kapal simetris dan asimetris dengan $S/L = 0.2$ adalah 29.93 % kapal Katamaran asimetris lebih rendah daripada simetris, 33.68 % untuk $S/L = 0.3$ dan 36 % untuk $S/L = 0.4$. Dari ketiga jarak pisah lambung tersebut perbedaan persentasi CT terbesar terjadi pada jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ hal ini membuktikan bahwa jarak pisah labung sangat berpengaruh terhadap hambatan kapal katamaran simetris maupun asimetris. Hal yang menarik pada grafik diatas adalah terjadi kenaikan CT pada Fr 0.55 untuk kapal katamaran simetris sedangkan pada kapal katamaran asimetris tidak terjadi tren yang sama. Hal ini terjadi karena hambatan gelombang kapal katamaran simetris yang semakin meningkat menyebabkan timbulnya gelombang divergen yang kemudian ditambahkan dengan gelombang transversal. Hambatan gelombang ini terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum Fr = 0.55 dan mengalami penurunan pada Fr = 0.65, peningkatan juga terjadi pada kapal katamaran asimetris namun jauh lebih kecil dari kapal katamaran simetris.hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Utama, Dkk. (2011).

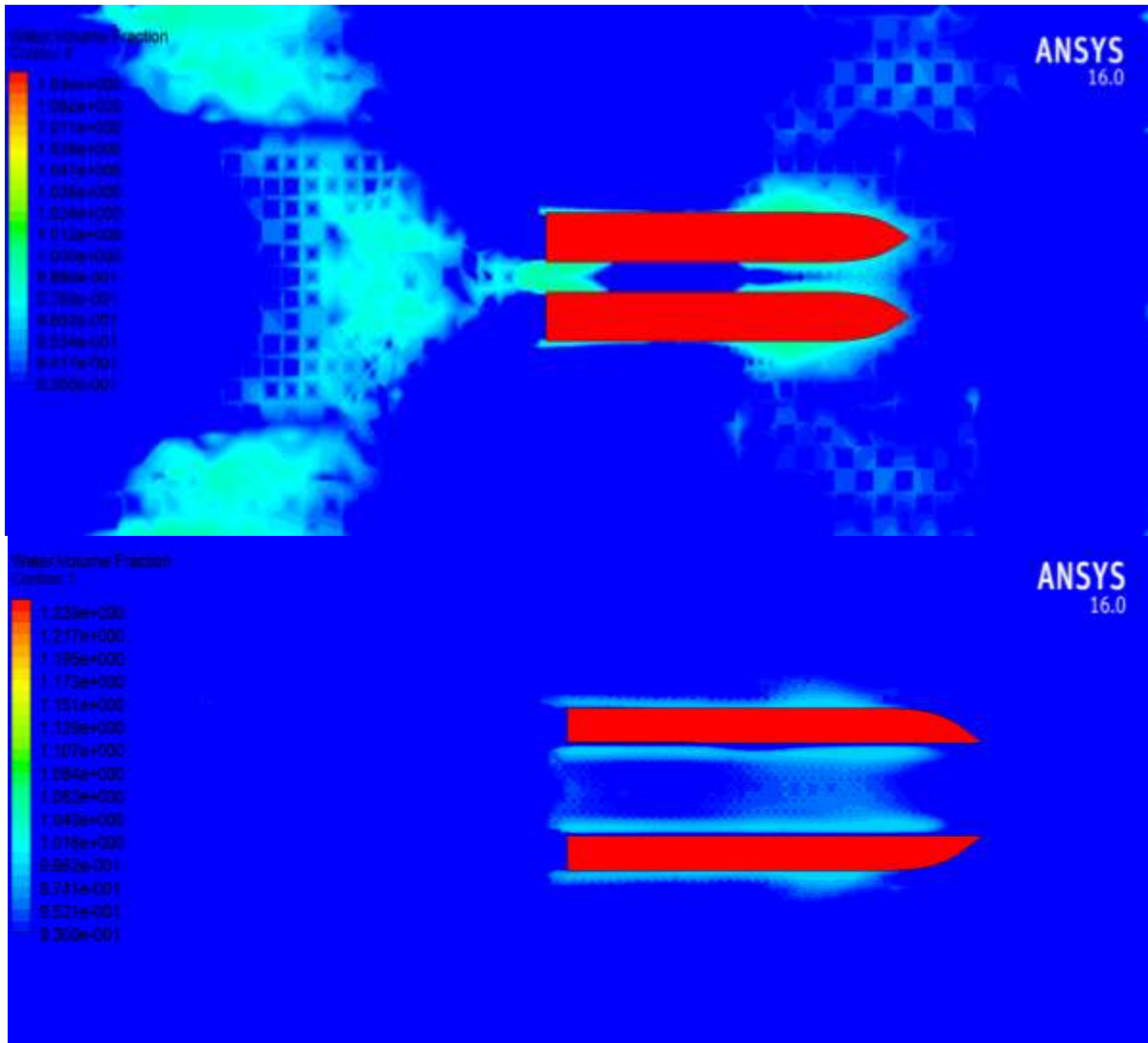
IV.5. Analisa *Shear Stress* fluida dan pengaruhnya terhadap Efek interferensi pada $Fr = 0.55$

Pemeriksaan efek interferensi pada $Fr = 0.55$ untuk kapal katamaran simetris dan asimetris adalah pada Froude Number ini grafik koefisien hambatan total pada kedua model kapal tersebut menunjukkan perbedaan yang sangat besar, karena adanya hambatan gelombang yang terjadi hingga mencapai nilai maksimum pada $Fr = 0.55$ hal ini sesuai dengan penelitian Arisandi, 2012 dan diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Caprio dan Pensa, 2007 menyebutkan bahwa harga C_T kapal katamaran simetris lebih besar dari katamaran asimetris, dan jauh lebih besar pada Range Froude Number 0.4-0.6 karena banyaknya interaksi viskositas dan gelombang antara lambung.



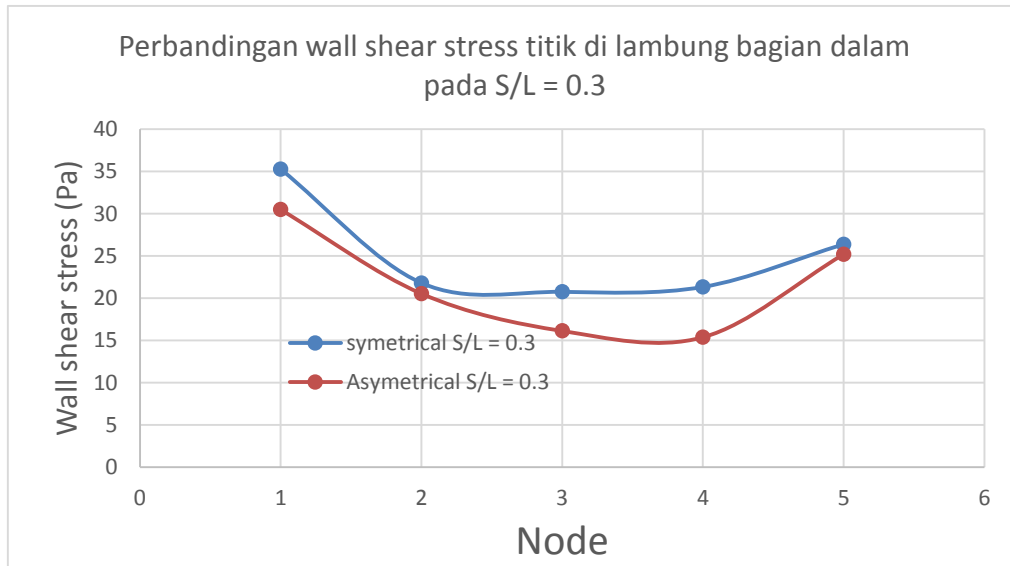
Gambar IV. 12 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris $S/L = 0.2$

Gambar IV. 9 menunjukkan bahawa Shear stress yang terjadi pada katamaran simetris lebih besar daripada katamaran asimetris, untuk node 1, 2, 3, 4 dan 5 yang diletakkan pada daerah AP daerah FP pada kedalaman $0.5 T$ dari permukaan air. Perbedaan nilai shear stress ini membuktikan bahawa besarnya gelombang divergen yang terjadi pada daerah fore pada kapal yang menyebabkan efek interferensi.

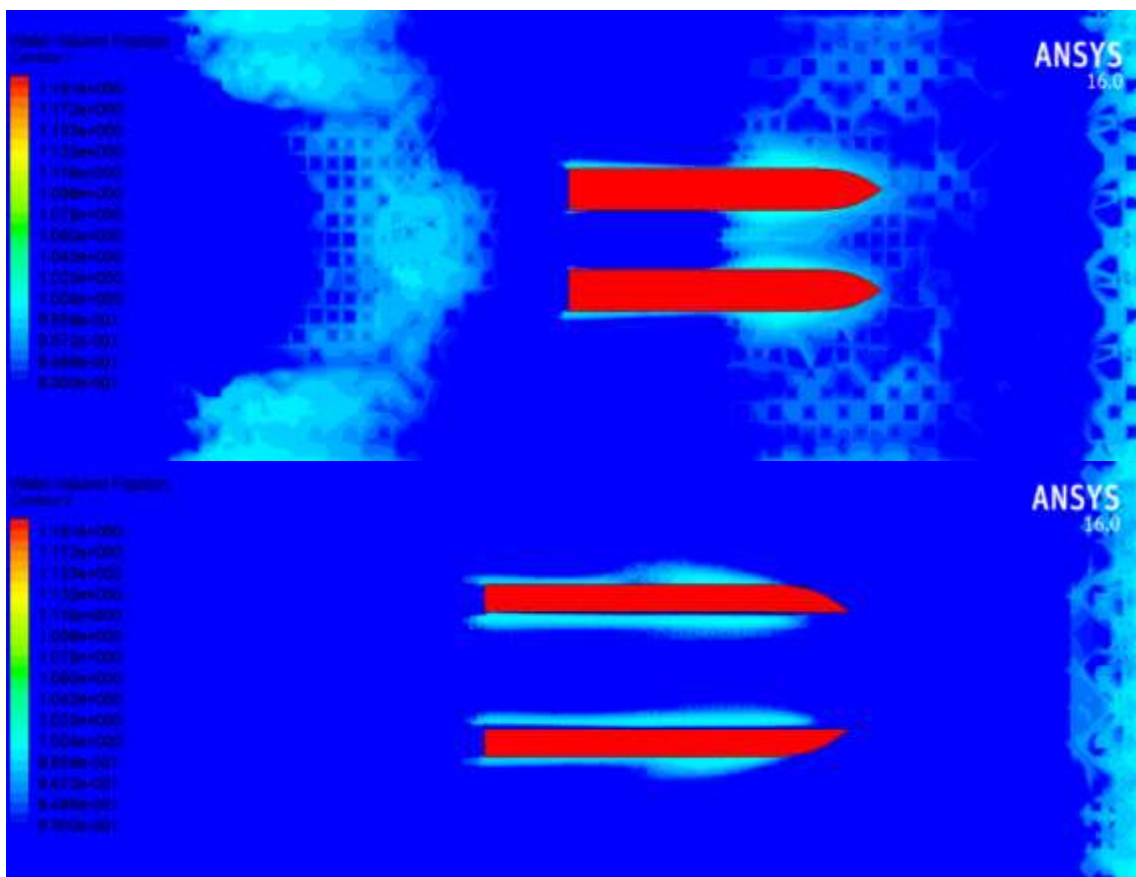


Gambar IV. 13 Efek interferensi simulasi Free Surface pada $S/L = 0.2$

Pada $S/L = 0.3$ juga terjadi perbedaan shear stress untuk kapal katamaran simetris dan asimetris namun perbedaan tersebut tidak sebesar perbedaan yang terjadi pada jarak pisah lambung $S/L = 0.3$ karena semakin besar jarak pisah lambung maka efek interferensi pun semakin kecil Zaraphonitis, dkk (2001).

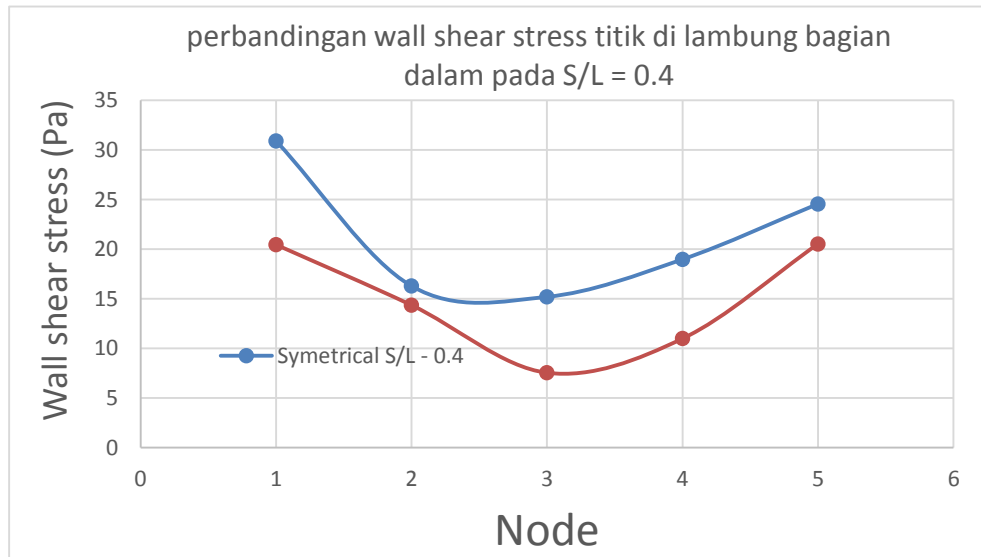


Gambar IV. 14 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris $S/L = 0.3$



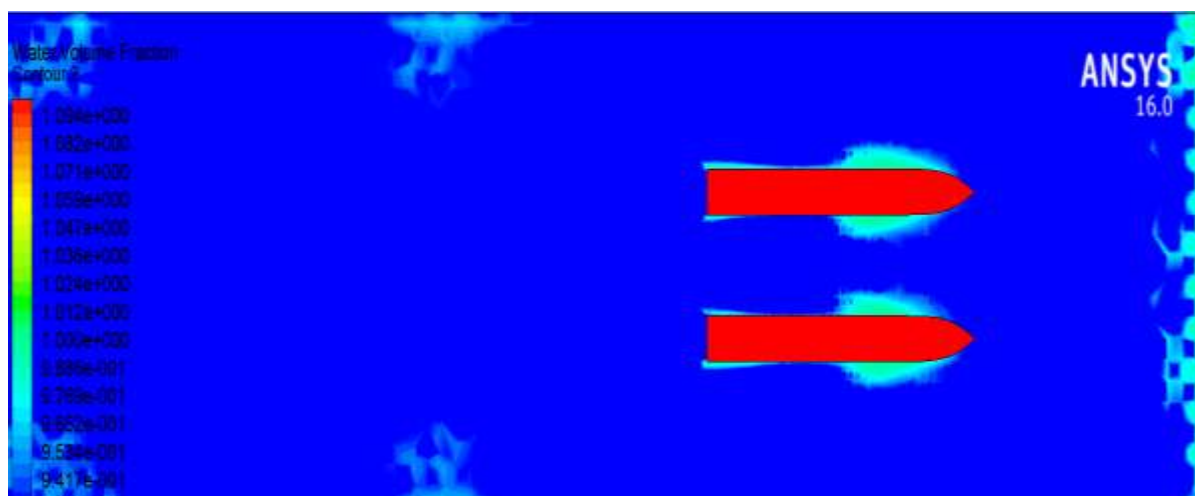
Gambar IV. 15 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris $S/L = 0.3$

Pada gambar IV. 3 Efek interferensi masih sangat tinggi pada kapal katamaran simetris $S/L = 0.3$ namun tidak sebesar efek yang terjadi pada jarak pisah lambung lebih kecil. Dan pada hasil pembacaan shear stress pada node 1,2,3,4 dan 5 juga menunjukkan perbedaan dimana nilai shear stress yang diterima lambung simetris lebih besar dari lambung asimetris.

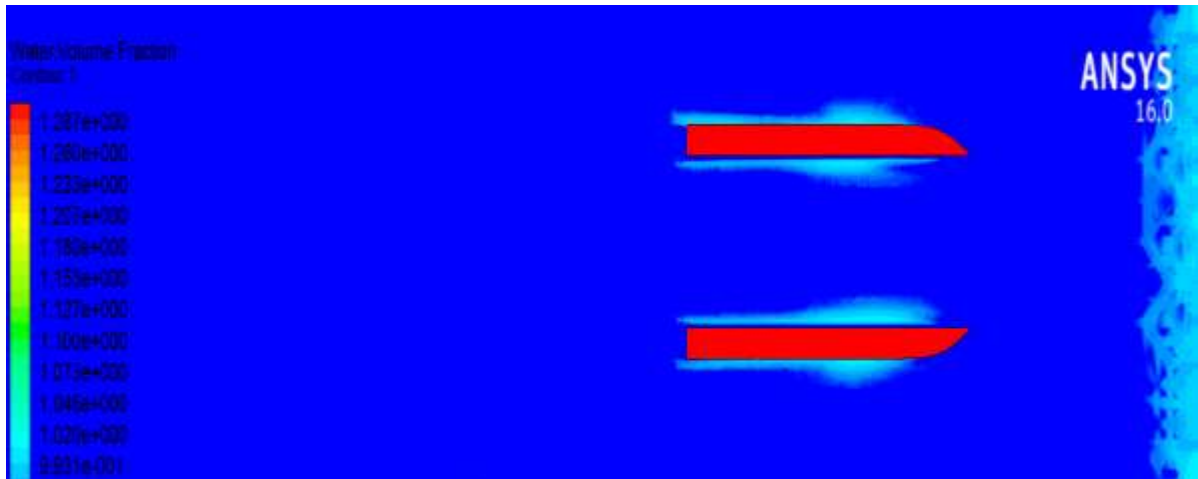


Gambar IV. 16 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris dan asimetris $S/L = 0.4$

Perbedaan nilai shear stress masih terjadi pada jarak pisah lambung $S/L = 0.4$ dimana nilai shear stress yang diterima lambung simetris masih lebih besar daripada lambung asimetris. Namun efek interferensi pada jarak pisah lambung ini hampir tidak ada seperti yang penelitian yang dilakukan oleh (Zaraphonitis, Dkk 2001)

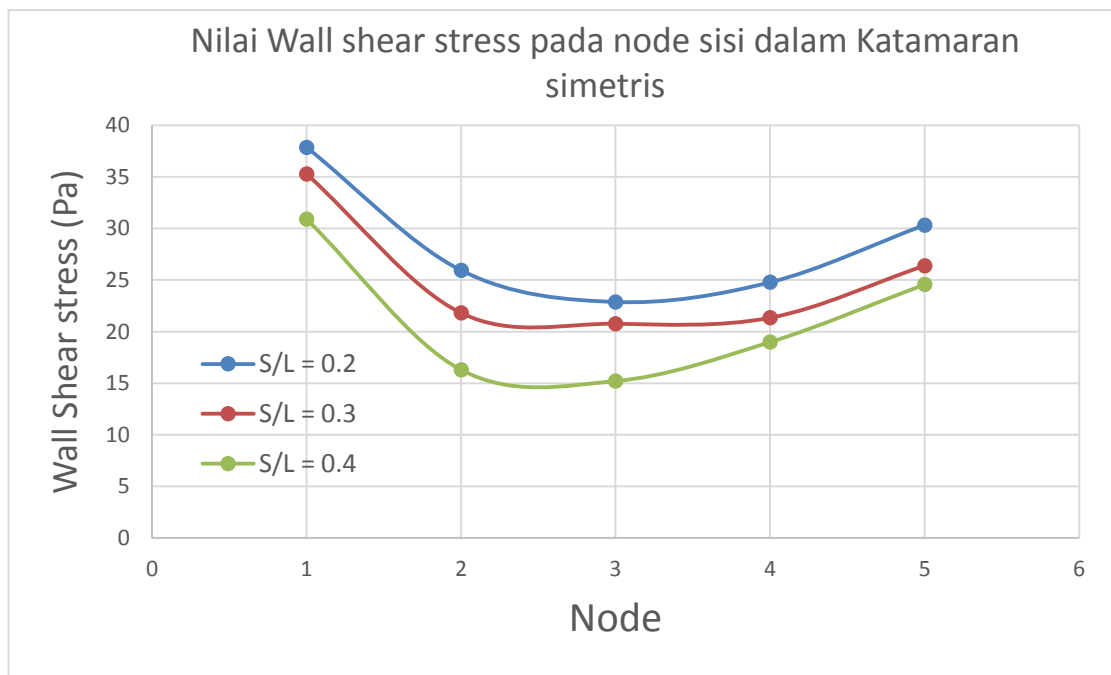


Gambar IV. 17 Perbandingan Shear Stress pada katamaran simetris $S/L = 0.4$

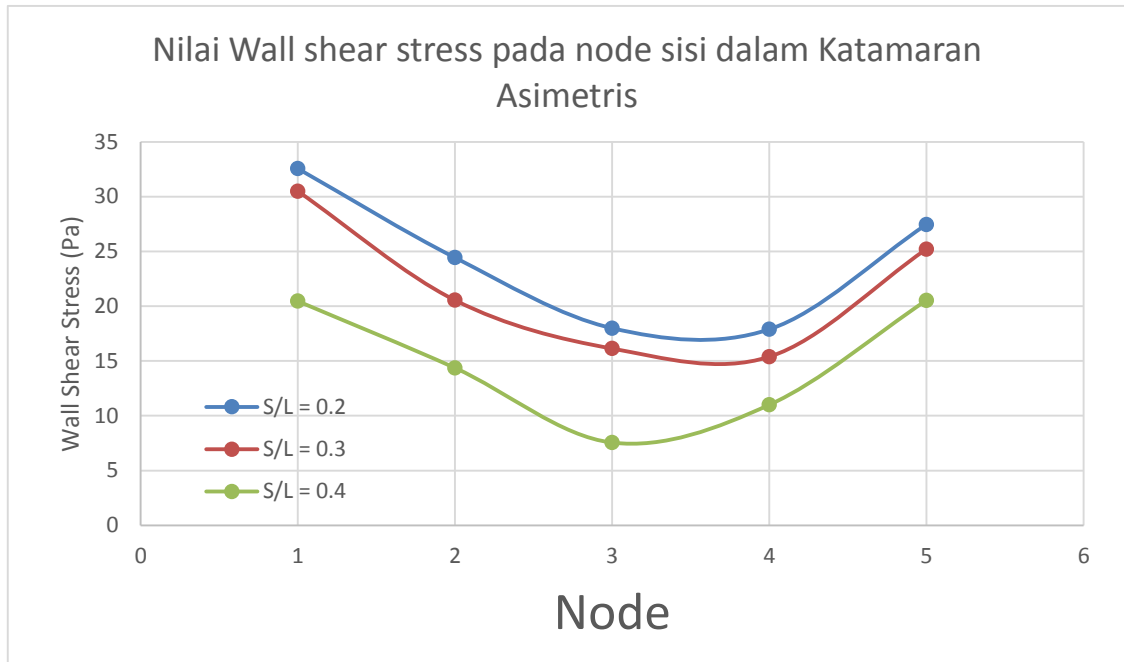


Gambar IV. 19 Perbandingan Shear Stress pada katamaran asimetris $S/L = 0.4$

Nilai wall shear stress untuk setiap variasi jarak pisah lambung S/L node atau titik diletakkan pada lambung sisi dalam . Ditunjukkan oleh gambar IV.19 dan IV.20 dibawah ini :



Gambar IV. 18 Nilai wall Shear stress pada node sisi dalam katamaran simetris



Gambar IV. 20 Nilai wall Shear stress pada node sisi dalam katamaran simetris

Pada grafik yang ditunjukkan gambar IV.29 dan IV.20 memperlihatkan bahwa semakin besar jarak pisah lambung, maka semakin kecil pula shear stress yang diterima lambung kapal katamaran oleh fluida yang melewatinya. Perbedaan shear stress pada kapal katamaran simetris dan asimetris (*flat side inside*) untuk setiap jarak variasi lambung membuktikan bahawa bentuk lambung asimetris menerima shear stress lebih kecil dari kapal katamaran simetris, hal ini disebabkan *flat side inside* atau lambung kapal datar sisi dalam menerima shear stress yang lebih kecil. Sehingga menguatkan bahwa efek interferes yang diterima kapal katamaran asimetris lebih kecil daripada kapal katamaran simetris. Pada setiap jarak pisah lambung (S/L) 0.2 ; 0,3 dan 0,4, shear stress yang diterima oleh lambung sisi dalam kapal katamaran simetris dan asimetris selalu semakin kecil dengan meningkatnya (S/L) hal ini juga membuktikan bahwa efek interferensi pada lambung kapal akan semakin kecil dengan meningkatnya jarak pisah lambung.

Interferensi yang terjadi pada kapal katamaran simetris yang lebih besar daripada kapal katamaran asimetris membuat *boundary layer* atau volume air yang melekat pada badan kapal yang sedang bergerak semakin luas sehingga gaya gesek yang ditimbulkan oleh fluida semakin besar pula maka tegangan geser yang diterima kapal oleh fluida juga semakin besar.

IV.6. Perbandingan rasio ukuran utama kapal patroli katamaran dengan kapal katamaran penelitian oleh Andi Jammaludin.

Tabel IV. 3 Ukuran utama dan rasio geometri lambung katamaran penelitian jammaludin dkk, 2012

parameter	demihull		catamaran		unit
	asimetris	simetris	asimetris	simetris	
Lwl	1.403	1.372	1.403	1.372	m
B	0.066	0.123	-	-	m
T	0.125	0.078	0.126	0.078	m
WSA	0.3563	0.2559	0.7127	0.512	m ²
Displacemen	7.222	7.222	14.444	14.444	kg
Cb			0.616	0.547	-
L/B			21.26	11.15	-
B/T			0.53	1.58	-

Tabel IV. 4 Ukuran utama dan rasio geometri kapal patroli katamaran simetris dan asimetris

parameter	Demihull		Catamaran		unit
	asimetris	simetris	asimetris	simetris	
Lwl	11.32	9.321	11.32	9.321	m
B	0.81	1.16	-	-	m
T	0.65	0.55	0.65	0.55	m
WSA	19.083	15.5355	38.166	31.071	m ²
Displacemen	3.552	3.552	7.104	7.104	ton
Cb			0.645	0.582	-
L/B			13.98	8.04	-
B/T			1.25	2.11	-

Perbandingan rasio ukuran utama kapal patroli katamaran L/B lebih besar dari kapal katamaran yang dipakai oleh jammaludin dkk,2012 sedangkan B/T nya lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kapal patroli katamaran lebih gemuk daripada kapal katamaran yang dipakai oleh (jammaludin dkk, 2012) dengan S/L yang sama yaitu 0.2, 0.3, dan 0.4.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah didapatkan hasil penelitian CFD maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Model kapal penelitian jammaluddin dkk, 2012 mempunyai rasio L/B yang lebih besar dari pada kapal patroli katamaran sedangkan perbandingan B/T nya lebih kecil daripada kapal patroli katamaran. Dimana semakin besar rasio perbandingan L/B dan B/T maka interferensi yang dihasilkan juga semakin kecil. Rasio ukuran utama kapal katamaran simetris yang diproduksi oleh P.T Fiberboat Indonesia yang dipakai sebagai rasio ukuran utama jenis kapal patroli : $L/B = 8.04$ dan $B/T = 2.11$
2. Nilai koefisien total hambatan patroli kapal katamaran asimetris (*flat side inside*) dengan displasemen yang sama selalu lebih kecil dari kapal patroli katamaran simetris untuk jarak pisah lambung (S/L) sama dan untuk Fr 0.19 – 0.65
3. Tekanan yang terjadi pada kapal patroli katamaran simetris lebih besar daripada kapal patroli katamaran asimetris di daerah kapal bagian depan (*Bow*) sedangkan kecepatan aliran fluida nya cenderung lebih rendah daripada kapal patroli katamaran asimetris, hal ini dikarenakan adanya interferensi gelombang yang ditimbulkan oleh bentuk lambung kapal patroli katamaran simetris yang lebih besar pada bagian depan kapal.
4. Kapal partroli katamaran asimetris (*flat side inside*) memberikan efek interferensi hambatan viskos dan gelombang yang lebih rendah dibandingkan dengan katamaran simetris dengan perbandingan jarak pisah lambung (S/L) yang sama.
5. Analisa shear stress pada lambung kapal patroli katamaran simetirs dan asimetris pada $Fr = 0.55$ membuktikan adanya perbedaan interferensi yang terjadi unutupk setiap variasi jarak demihull (S/L). semakin lebar jarak S/L pada kapal patroli katamaran, semakin kecil pula nilai shear stress pada kapal patroli katamaran.

V.2. Saran

Adapun saran dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan *dynamic mesh* dalam pemodelan menghasilkan pemodelan *free surface* yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Affan, H. (2016). Tugas Akhir. *Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal Crew Boat "ORELA" dengan dan Tanpa Menggunakan Foil Belakang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anderson Jr, J. (1995). *Computational Fluid Dynamics : the Basic with Application*. Singapore: McGraw-hill.
- Arisandi, A. (2012). Tugas Akhir. *Analisa ANSYS-CFD Hambatan Lambung Katamaran Asimetris terhadap Variasi Jarak Demihull*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bertram, V. (2000). *Practical ship Hydrodynamics*. UK: Jordan Hill, ButterWorth Heinemann, Linacre House.
- Caprio F., Pensa C. (2007). EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON TWO DISPLACEMENT CATAMARANS: *International Journal of Small Craft Technology* .
- CFX. (2007). *CFX manual VII*. ANSYS.
- Chao Ma, Y. Z. (2016). Wavelengths of the highest waves created by fast monohull ships or catamarans. *Ocean Engineering*, 2016.
- Dubrovsky V, Lyakhovitsky A. (2001). *Multi-Hull Ships*. New York, USA: Backbone Publishing Company.
- Ghazi S. Bari, Konstantin I. Matveev. (2016). Hydrodynamics of single-deadrise hulls and their catamaran configurations. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Pages 305–314.
- Huges, 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 Architects.
- Insel, M and Molland A.F. (1990). *An Investigation into the resistance Component of High-speed displacement Catamarans*. PhD thesis, University of Southampton.
- Jamaluddin, A., Utama, I.K.A.P., Widodo, B., Molland, A F. (2012). Experimental and numerical Study of The Resistance Component Interaction. *Journal Of Engineering for The Maritime Environment*, 50-60.
- Niekerk, J. (2000). *Comparison of Catamaran Hull Type*. Power Multihull Magazine.

- Pujo S. (2017, 7 18). *Gradien Kecepatan Dalam Pipa - Konsep dan Aplikasinya*. Retrieved from Forum Komputasi Teknik (Engineering Computation): http://air.eng.ui.ac.id/tiki-view_forum_thread.php?comments_parentId=8732&display=print
- Utama, I.K.A.P. (1999). PhD thesis. *An Investigation of the Viscous Resistance components of Catamaran Forms*. UK: Faculty Of engineering and Applied Science, University of Southampton.
- Utama, I.K.A.P., Jamaluddin, A., Aryawan, W.D. (2011). Experimental Investigation Into The Drag Interference Of Symmetrical and Asymmetrical Staggered And Unstaggered Catamarans. *Journal of Ocean Technology*, 47 - 58.
- Versteeg H.K., and Malalasekera W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. England: Longman Scientific & Technical .
- Zaraphonitis G., Spanos D., & Papanikolaou A. (2011). *Numerical and Experimental Study on Wave resistance Fast displacement Asymmetric Catamarans*. Ship Design Laboratory: National Technical University of Athens.

LAMPIRAN A
NILAI WALL SHEAR STRESS KAPAL KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS (FLAT SIDE INSIDE)

Wall shear stress pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.2$

NODE		Fr = 0.19		Fr = 0.28		Fr = 0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	0.900685 [Pa]	2.77069 [Pa]	6.99338 [Pa]	8.18641 [Pa]	3.37857 [Pa]	2.5405 [Pa]
2	7	4.70799 [Pa]	2.63745 [Pa]	7.43352 [Pa]	3.31015 [Pa]	3.48074 [Pa]	2.70642 [Pa]
3	8	5.07685 [Pa]	2.86157 [Pa]	5.04175 [Pa]	2.57195 [Pa]	2.42757 [Pa]	2.93062 [Pa]
4	9	3.98934 [Pa]	1.76989 [Pa]	3.58459 [Pa]	1.9113 [Pa]	3.48078 [Pa]	3.46345 [Pa]
5	10	2.9346 [Pa]	3.24925 [Pa]	1.8678 [Pa]	6.99338 [Pa]	5.59343 [Pa]	6.89216 [Pa]

NODE		Fr = 0.46		Fr = 0.55		Fr = 0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	8.80756 [Pa]	3.16849 [Pa]	37.875 [Pa]	23.1092 [Pa]	0.365958 [Pa]	32.9732 [Pa]
2	7	7.55449 [Pa]	3.86326 [Pa]	25.945 [Pa]	21.0653 [Pa]	3.24313 [Pa]	2.21133 [Pa]
3	8	6.50078 [Pa]	5.76289 [Pa]	22.876 [Pa]	15.1189 [Pa]	4.77434 [Pa]	8.31474 [Pa]
4	9	7.48936 [Pa]	5.32013 [Pa]	24.782 [Pa]	19.8915 [Pa]	14.1989 [Pa]	17.0388 [Pa]
5	10	11.4742 [Pa]	13.6623 [Pa]	30.334 [Pa]	26.7876 [Pa]	21.4032 [Pa]	24.0725 [Pa]

Wall shear stress pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.3$

NODE		Fr = 0.19		Fr = 0.28		Fr = 0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	3.59094 [Pa]	1.21261 [Pa]	4.91477 [Pa]	5.86624 [Pa]	6.04236 [Pa]	14.296 [Pa]
2	7	5.54288 [Pa]	2.08698 [Pa]	5.37324 [Pa]	7.48006 [Pa]	6.14093 [Pa]	1.70071 [Pa]
3	8	4.85843 [Pa]	3.02446 [Pa]	3.45789 [Pa]	2.41056 [Pa]	3.1908 [Pa]	1.8024 [Pa]
4	9	3.6325 [Pa]	2.44881 [Pa]	2.7701 [Pa]	2.5808 [Pa]	3.37037 [Pa]	3.52692 [Pa]
5	10	3.21393 [Pa]	3.06766 [Pa]	2.55278 [Pa]	2.73787 [Pa]	2.90542 [Pa]	3.37627 [Pa]

NODE		Fr = 0.46		Fr = 0.55		Fr = 0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	6.16285 [Pa]	21.9535 [Pa]	35.287 [Pa]	16.4055 [Pa]	16.5207 [Pa]	21.8455 [Pa]
2	7	3.50669 [Pa]	3.62198 [Pa]	21.812 [Pa]	9.76251 [Pa]	15.5356 [Pa]	18.1612 [Pa]
3	8	2.42352 [Pa]	4.45742 [Pa]	20.761 [Pa]	13.3661 [Pa]	10.7085 [Pa]	8.6546 [Pa]
4	9	4.65223 [Pa]	4.68093 [Pa]	21.342 [Pa]	15.4635 [Pa]	8.77959 [Pa]	2.71749 [Pa]
5	10	4.53345 [Pa]	5.24869 [Pa]	26.393 [Pa]	25.4598 [Pa]	15.2585 [Pa]	17.5548 [Pa]

Wall shear stress pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.4$

NODE		Fr = 0.19		Fr = 0.28		Fr = 0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	5.51731 [Pa]	3.35976 [Pa]	6.26709 [Pa]	5.52424 [Pa]	3.47987 [Pa]	4.14651 [Pa]
2	7	5.82469 [Pa]	4.79061 [Pa]	5.4002 [Pa]	2.31786 [Pa]	2.82715 [Pa]	1.24265 [Pa]
3	8	3.2121 [Pa]	1.77676 [Pa]	2.14093 [Pa]	3.68624 [Pa]	2.48525 [Pa]	1.77434 [Pa]
4	9	3.07049 [Pa]	2.76781 [Pa]	2.79764 [Pa]	2.78619 [Pa]	3.49395 [Pa]	2.87704 [Pa]
5	10	3.96346 [Pa]	5.69009 [Pa]	3.52062 [Pa]	5.21747 [Pa]	4.67266 [Pa]	6.166 [Pa]

NODE		Fr = 0.46		Fr = 0.55		Fr = 0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	3.03267 [Pa]	1.46959 [Pa]	30.9128 [Pa]	11.0793 [Pa]	24.6529 [Pa]	4.82181 [Pa]
2	7	3.77876 [Pa]	2.97973 [Pa]	16.2951 [Pa]	9.38634 [Pa]	16.4619 [Pa]	7.93293 [Pa]
3	8	7.51361 [Pa]	2.45719 [Pa]	15.2061 [Pa]	11.5678 [Pa]	4.66412 [Pa]	4.96807 [Pa]
4	9	4.47215 [Pa]	3.20048 [Pa]	18.982 [Pa]	10.6088 [Pa]	4.54106 [Pa]	8.74181 [Pa]
5	10	5.86892 [Pa]	8.99966 [Pa]	24.569 [Pa]	23.0028 [Pa]	32.1763 [Pa]	40.2541 [Pa]

Wall shear stress pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.2$

NODE		Fr=0.19		Fr=0.28		Fr=0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	5.4223 [Pa]	0.305453 [Pa]	8.86584 [Pa]	5.33895 [Pa]	13.5788 [Pa]	5.10132 [Pa]
2	7	7.57609 [Pa]	5.94514 [Pa]	8.28747 [Pa]	4.14729 [Pa]	11.6369 [Pa]	7.47621 [Pa]
3	8	5.77885 [Pa]	2.57788 [Pa]	5.19502 [Pa]	7.38738 [Pa]	5.34171 [Pa]	0.320737 [Pa]
4	9	3.61908 [Pa]	2.29688 [Pa]	1.96866 [Pa]	5.16887 [Pa]	1.75327 [Pa]	3.12876 [Pa]
5	10	6.91119 [Pa]	6.66204 [Pa]	12.181 [Pa]	12.005 [Pa]	11.5556 [Pa]	11.3533 [Pa]

NODE		Fr=0.46		Fr=0.55		Fr=0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	16.0288 [Pa]	6.4122 [Pa]	32.554 [Pa]	1.77956 [Pa]	23.6616 [Pa]	5.82914 [Pa]
2	7	10.8538 [Pa]	4.39291 [Pa]	24.432 [Pa]	1.41188 [Pa]	7.59577 [Pa]	11.594 [Pa]
3	8	4.4159 [Pa]	2.41018 [Pa]	17.992 [Pa]	4.6547 [Pa]	1.86796 [Pa]	7.08691 [Pa]
4	9	1.27203 [Pa]	3.28943 [Pa]	17.888 [Pa]	4.23434 [Pa]	4.13971 [Pa]	10.7158 [Pa]
5	10	9.70221 [Pa]	9.90954 [Pa]	27.455 [Pa]	18.9844 [Pa]	22.6838 [Pa]	21.6596 [Pa]

Wall shear stress pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.3$

NODE		Fr=0.19		Fr=0.28		Fr=0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	6.41374 [Pa]	2.67705 [Pa]	16.7368 [Pa]	0.900371 [Pa]	19.6117 [Pa]	11.1215 [Pa]
2	7	11.5009 [Pa]	4.79596 [Pa]	17.0634 [Pa]	3.75463 [Pa]	16.6323 [Pa]	9.51042 [Pa]
3	8	15.2133 [Pa]	4.22903 [Pa]	14.2037 [Pa]	6.09682 [Pa]	12.4218 [Pa]	5.60967 [Pa]
4	9	10.0944 [Pa]	2.29991 [Pa]	9.78535 [Pa]	3.23943 [Pa]	10.6284 [Pa]	2.95518 [Pa]
5	10	9.00202 [Pa]	9.10494 [Pa]	12.9582 [Pa]	13.1155 [Pa]	15.6632 [Pa]	15.8007 [Pa]

NODE		Fr=0.46		Fr=0.55		Fr=0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	26.3411 [Pa]	6.3368 [Pa]	30.4933 [Pa]	2.92332 [Pa]	35.7763 [Pa]	6.86191 [Pa]
2	7	11.6672 [Pa]	4.9861 [Pa]	20.5452 [Pa]	4.29482 [Pa]	28.4972 [Pa]	3.33862 [Pa]
3	8	12.9825 [Pa]	4.57974 [Pa]	16.1349 [Pa]	7.05211 [Pa]	19.8858 [Pa]	2.51519 [Pa]
4	9	15.7403 [Pa]	3.64816 [Pa]	15.3847 [Pa]	5.84365 [Pa]	14.0796 [Pa]	3.83834 [Pa]
5	10	19.2515 [Pa]	19.8019 [Pa]	25.2087 [Pa]	25.8879 [Pa]	28.1242 [Pa]	28.8158 [Pa]

Wall shear stress pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.4$

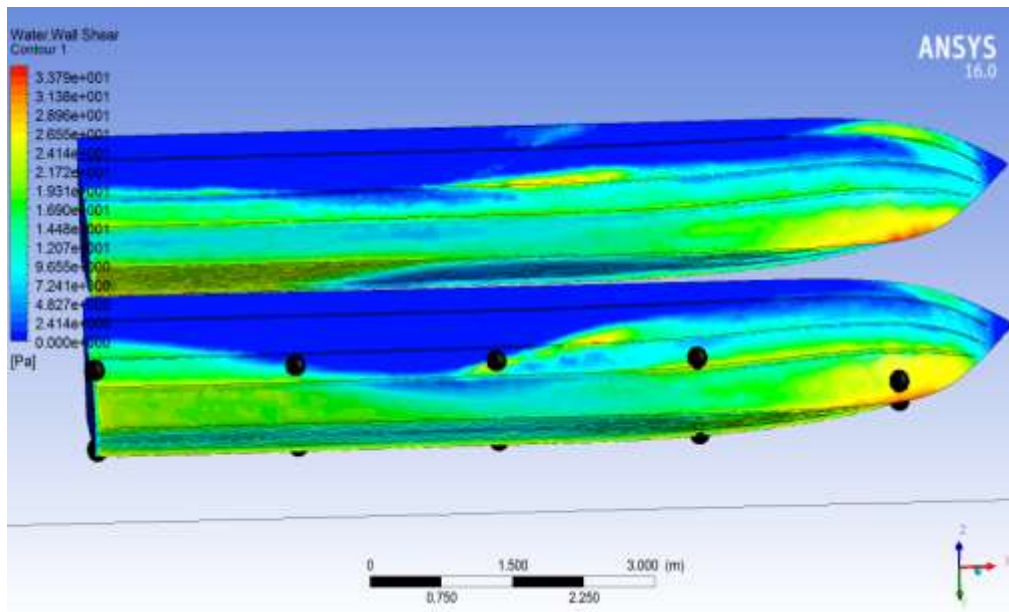
NODE		Fr = 0.19		Fr = 0.28		Fr = 0.37	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	10.4096 [Pa]	7.29232 [Pa]	10.7943 [Pa]	3.62136 [Pa]	1.29822 [Pa]	10.5456 [Pa]
2	7	13.67 [Pa]	5.1606 [Pa]	1.56288 [Pa]	6.11166 [Pa]	2.16026 [Pa]	9.22082 [Pa]
3	8	12.8564 [Pa]	3.51309 [Pa]	6.78489 [Pa]	3.71444 [Pa]	3.90802 [Pa]	3.8714 [Pa]
4	9	14.7437 [Pa]	4.46517 [Pa]	14.6279 [Pa]	1.36039 [Pa]	2.81948 [Pa]	1.66347 [Pa]
5	10	6.55619 [Pa]	7.72994 [Pa]	10.0519 [Pa]	10.6869 [Pa]	9.8817 [Pa]	10.3928 [Pa]

NODE		Fr = 0.46		Fr = 0.55		Fr = 0.65	
inside	outside	inside	outside	inside	outside	inside	outside
1	6	8.78621 [Pa]	8.79863 [Pa]	20.458 [Pa]	7.02014 [Pa]	25.5665 [Pa]	4.25173 [Pa]
2	7	14.4228 [Pa]	6.21093 [Pa]	14.365 [Pa]	5.58808 [Pa]	7.68455 [Pa]	1.63301 [Pa]
3	8	4.02757 [Pa]	1.43021 [Pa]	7.5536 [Pa]	4.54053 [Pa]	7.48614 [Pa]	7.45432 [Pa]
4	9	7.43633 [Pa]	5.56642 [Pa]	10.996 [Pa]	6.37257 [Pa]	13.032 [Pa]	10.4337 [Pa]
5	10	14.9615 [Pa]	15.9297 [Pa]	20.534 [Pa]	17.6906 [Pa]	21.3642 [Pa]	23.8308 [Pa]

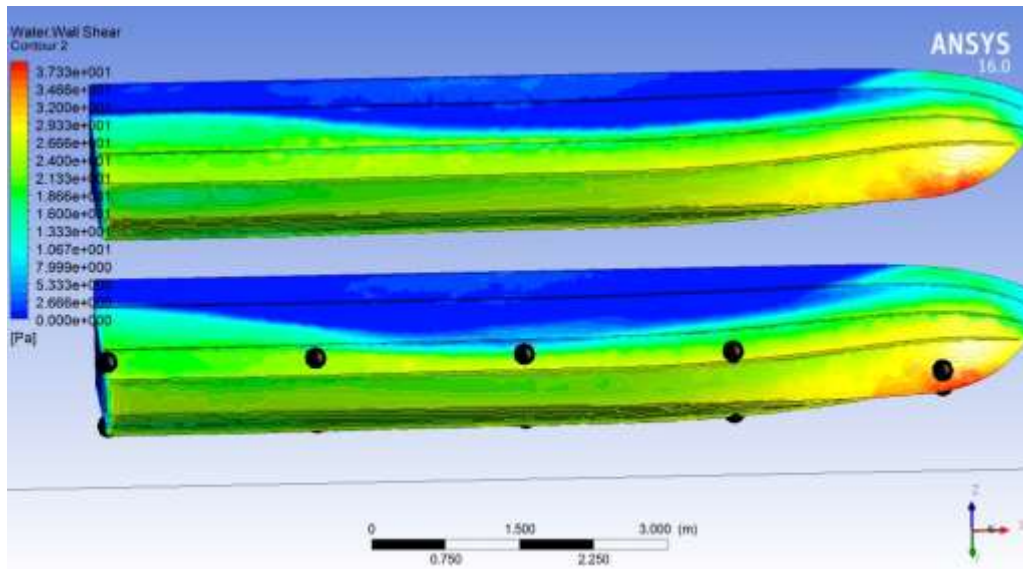
LAMPIRAN B

KONTUR WALL SHEAR STRESS KAPAL KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS (FLAT SIDE INSIDE)

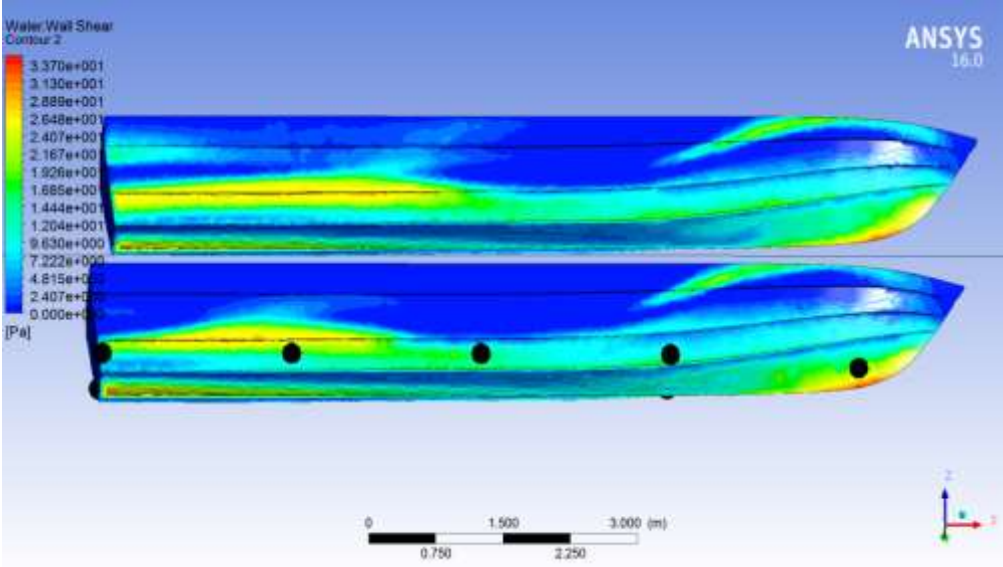
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian dalam pada $S/L = 0.2$



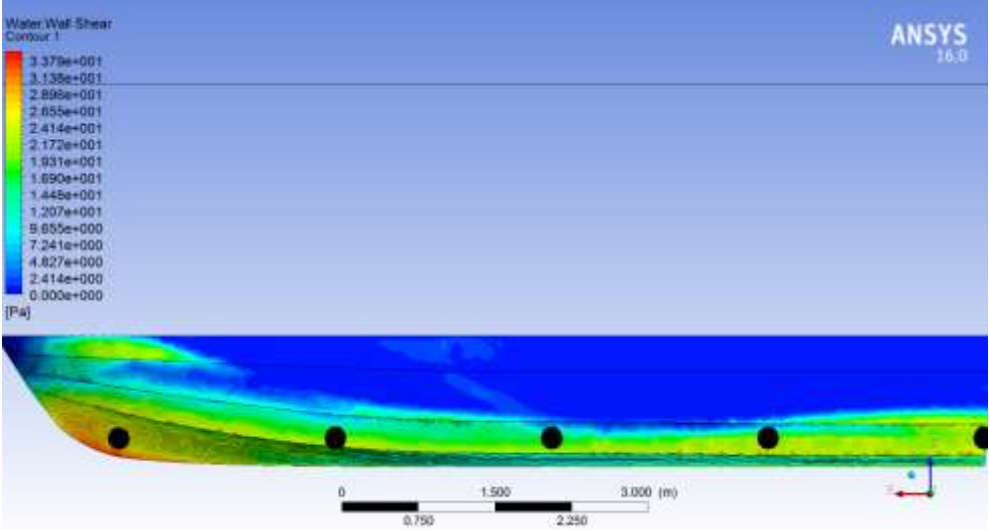
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian dalam pada $S/L = 0.3$



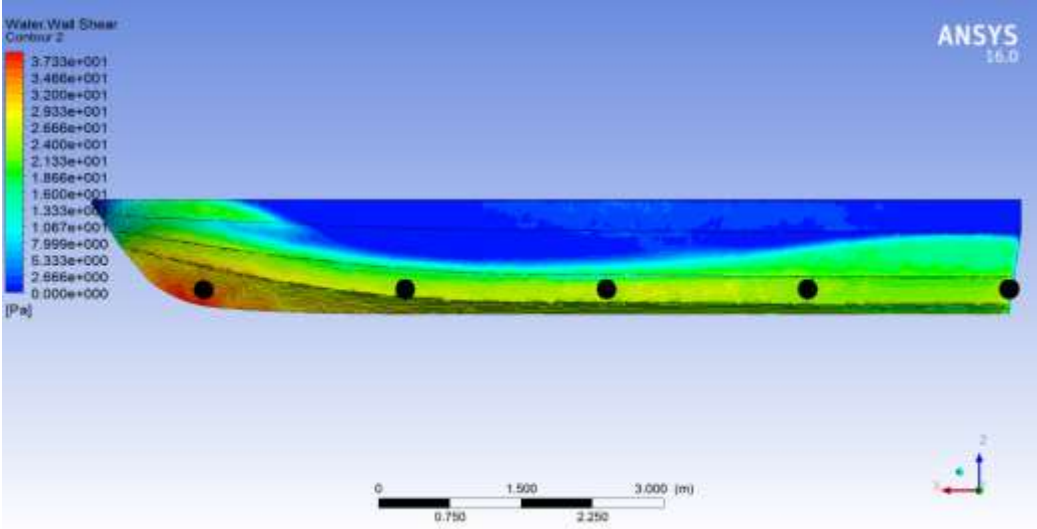
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian dalam pada $S/L = 0.4$



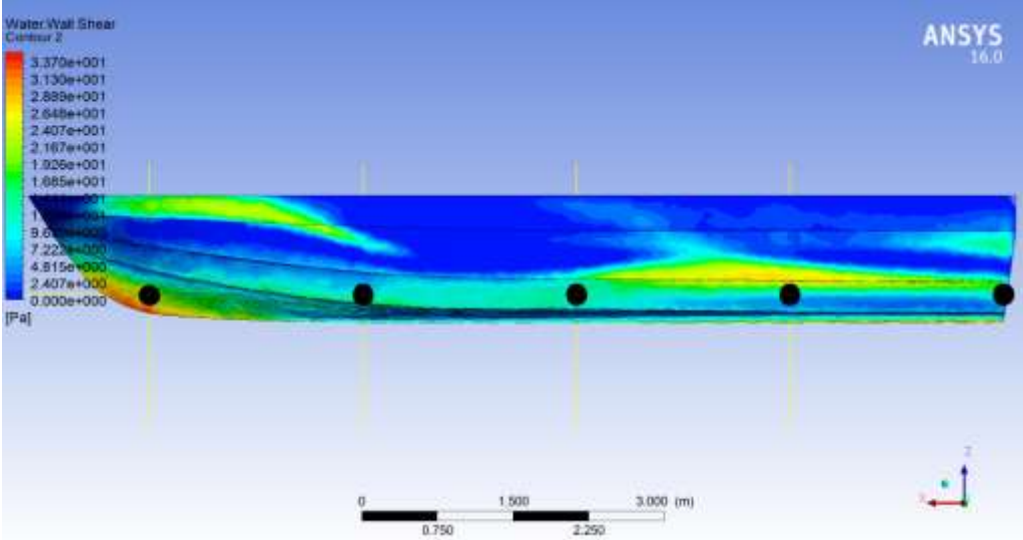
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian luar pada $S/L = 0.2$



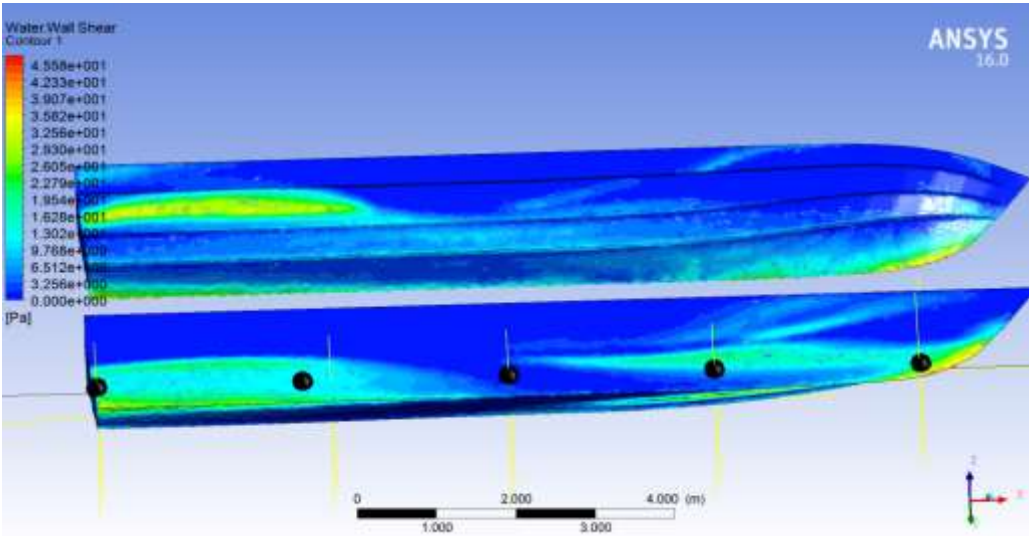
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian luar pada S/L = 0.3



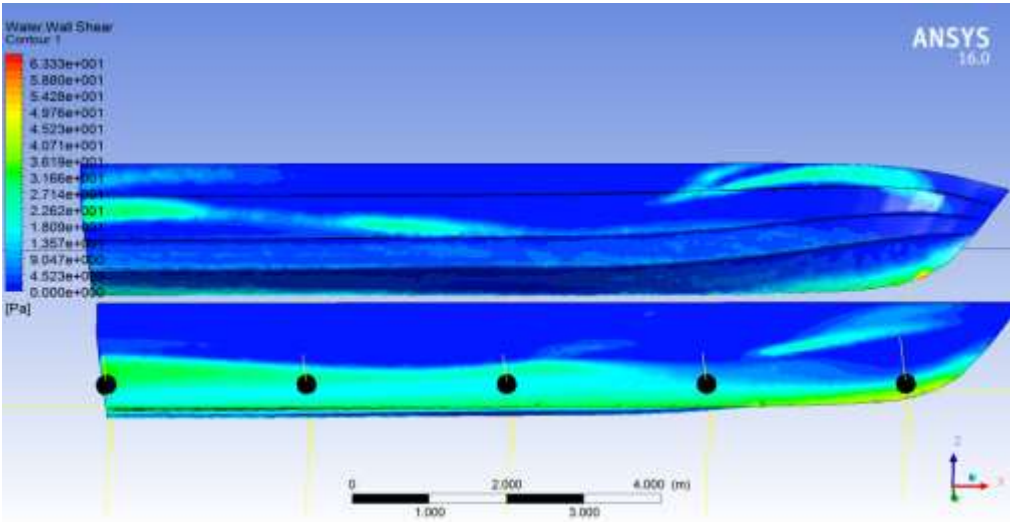
Kontur wall shear stress katamaran simetris bagian luar pada S/L = 0.4



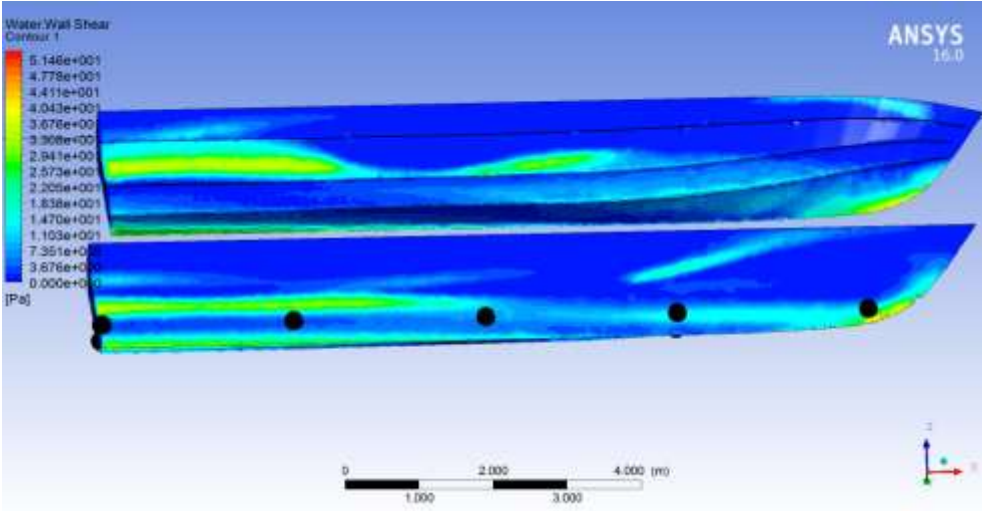
Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian dalam pada $S/L = 0.2$



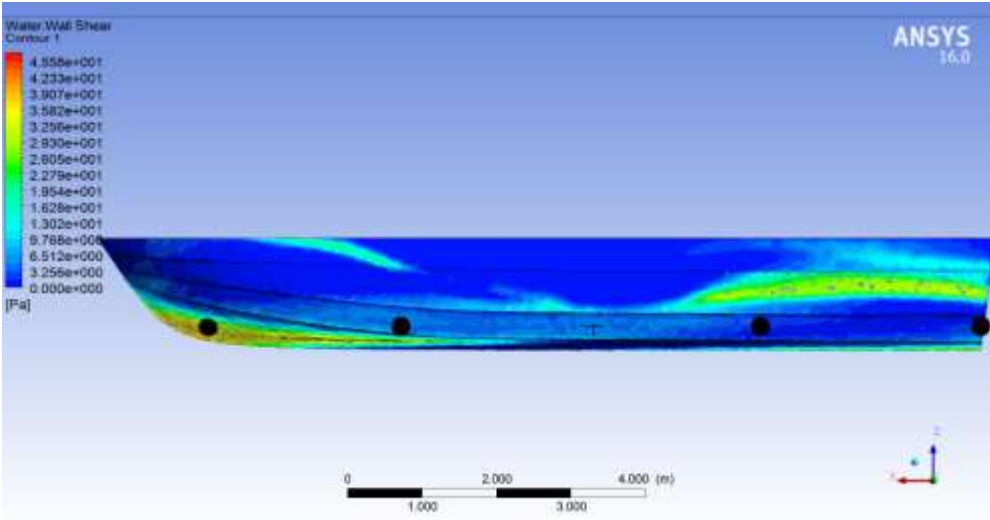
Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian dalam pada $S/L = 0.3$



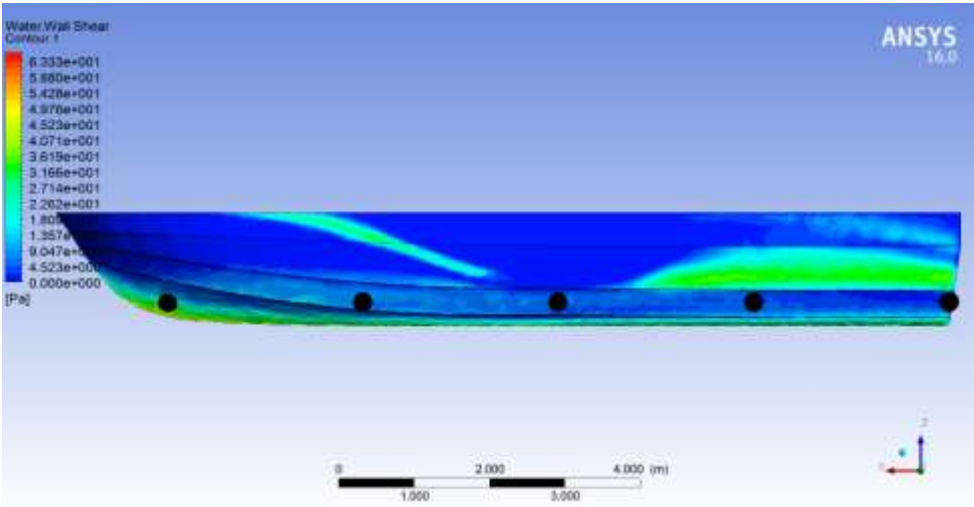
Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian dalam pada S/L = 0.4



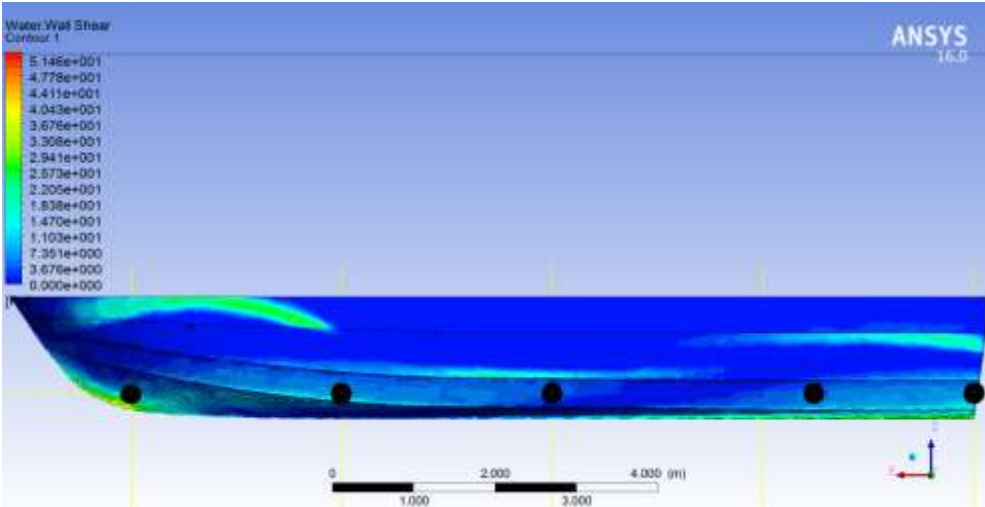
Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian luar pada S/L = 0.2



Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian luar pada S/L = 0.3



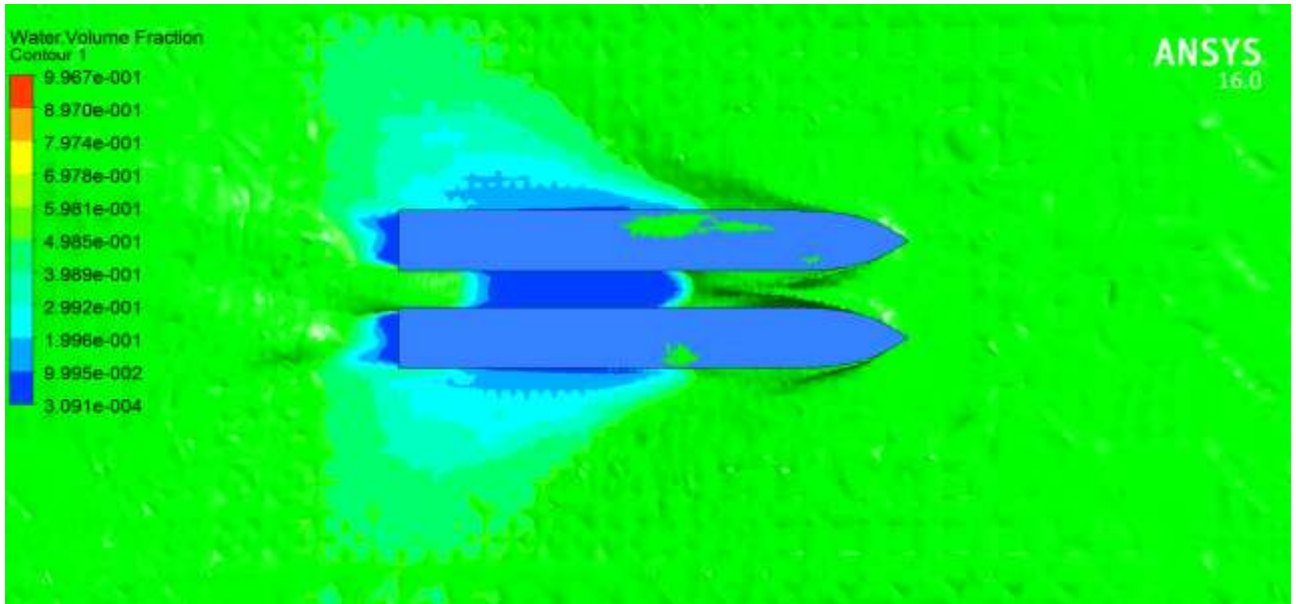
Kontur wall shear stress katamaran Asimetris bagian luar pada S/L = 0.4



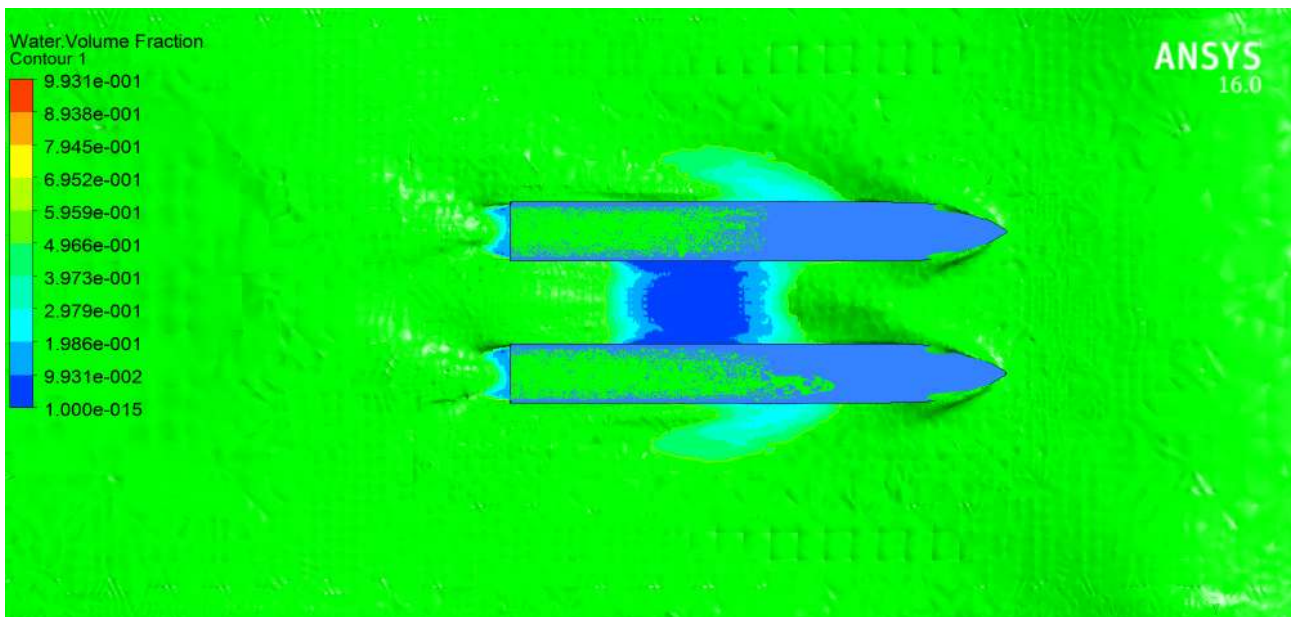
LAMPIRAN C

INTERFERENSI GELOMBANG ANTAR DEMIHULL PADA Fr 0.55

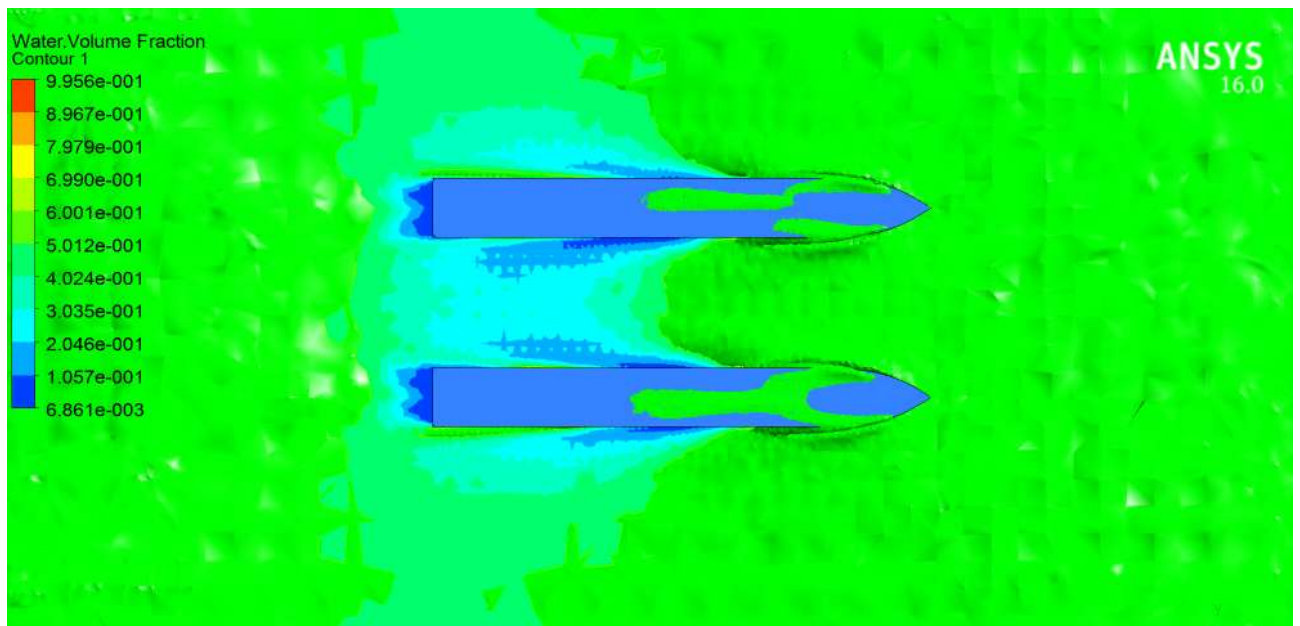
Interferensi gelombang pada katamaran simetris $S/L = 0.2$



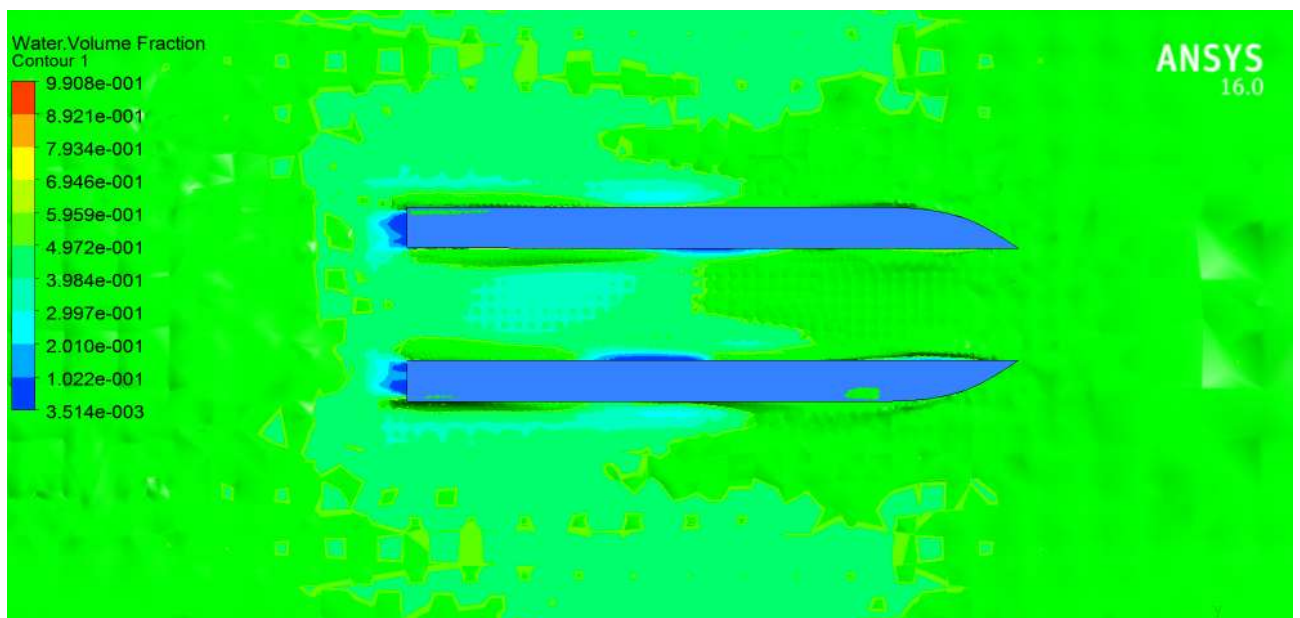
Interferensi gelombang pada katamaran simetris $S/L = 0.3$



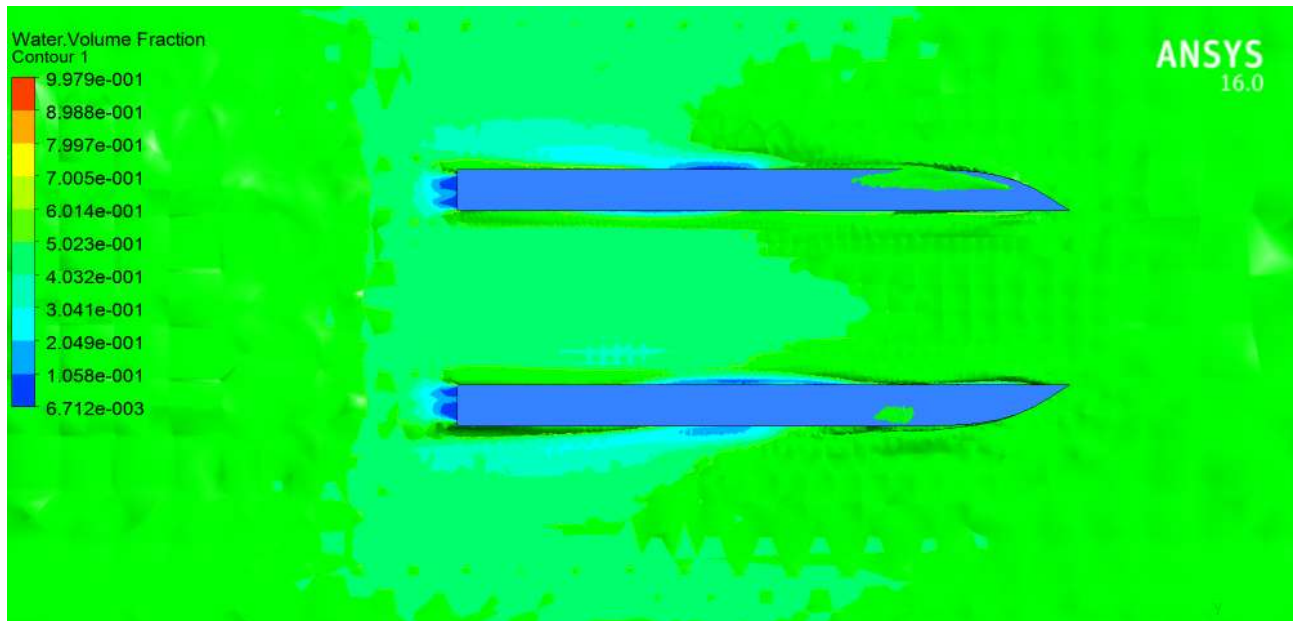
Interferensi gelombang pada katamaran simetris $S/L = 0.4$



Interferensi gelombang pada katamaran Asimetris $S/L = 0.2$



Interferensi gelombang pada katamaran Asimetris S/L = 0.3



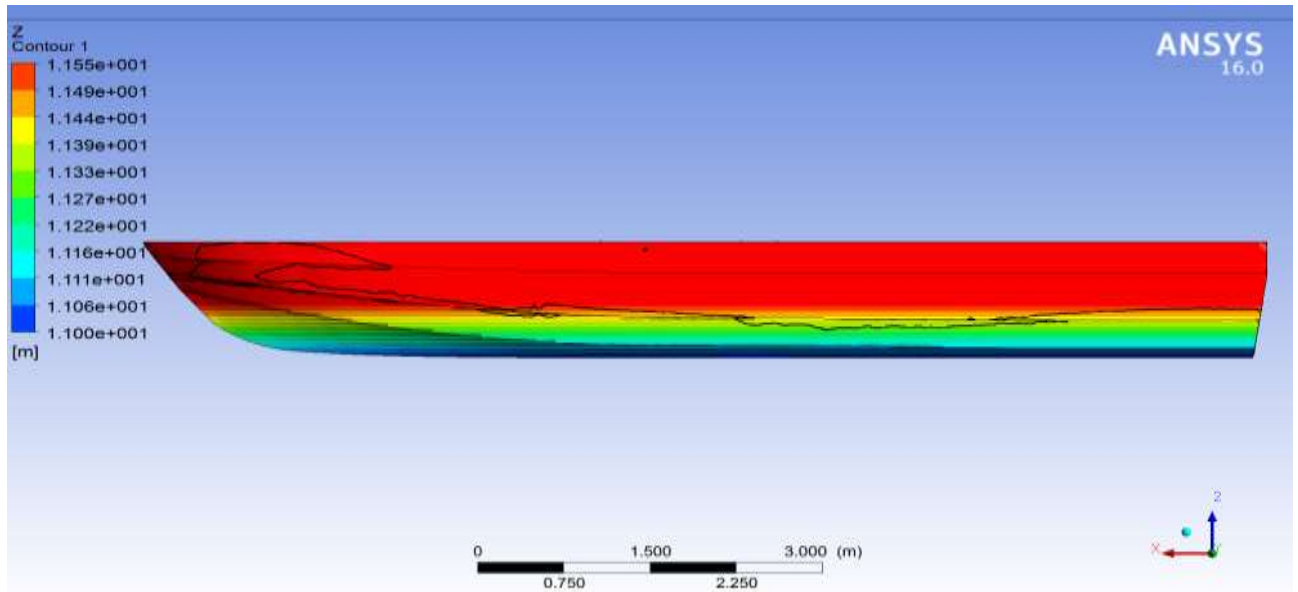
Interferensi gelombang pada katamaran Asimetris S/L = 0.4



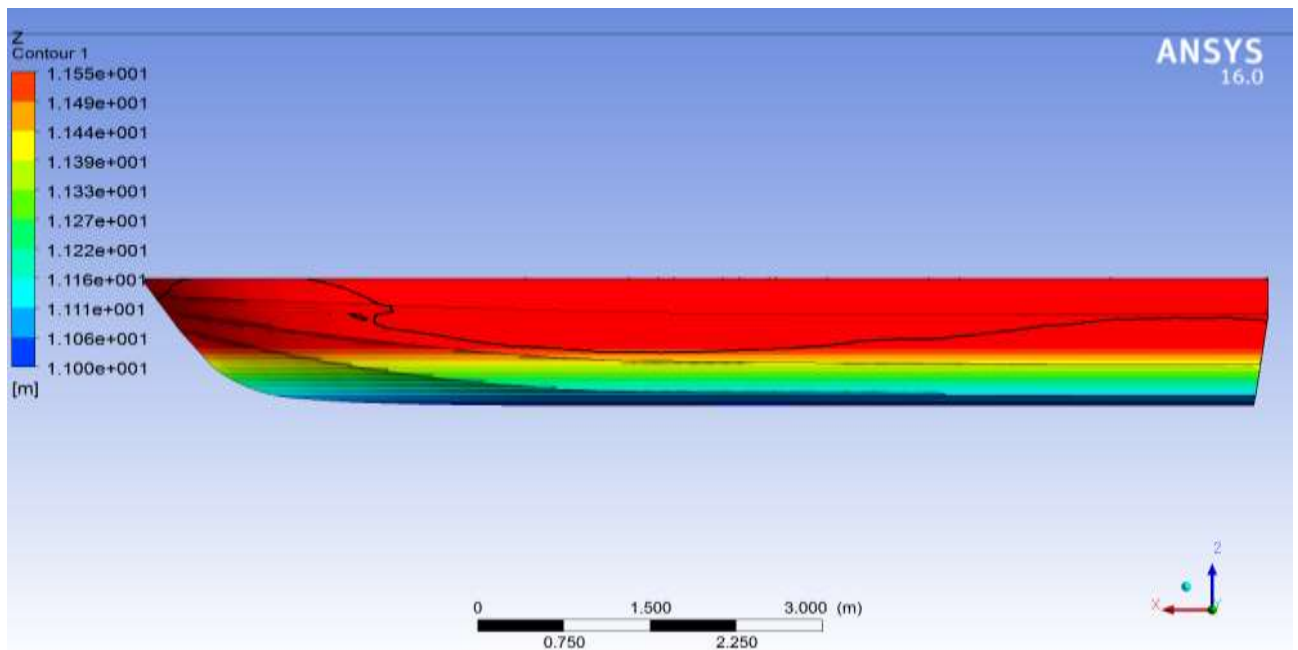
LAMPIRAN D

TINGGI GELOMBANG KAPAL KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS PADA Fr 0.55

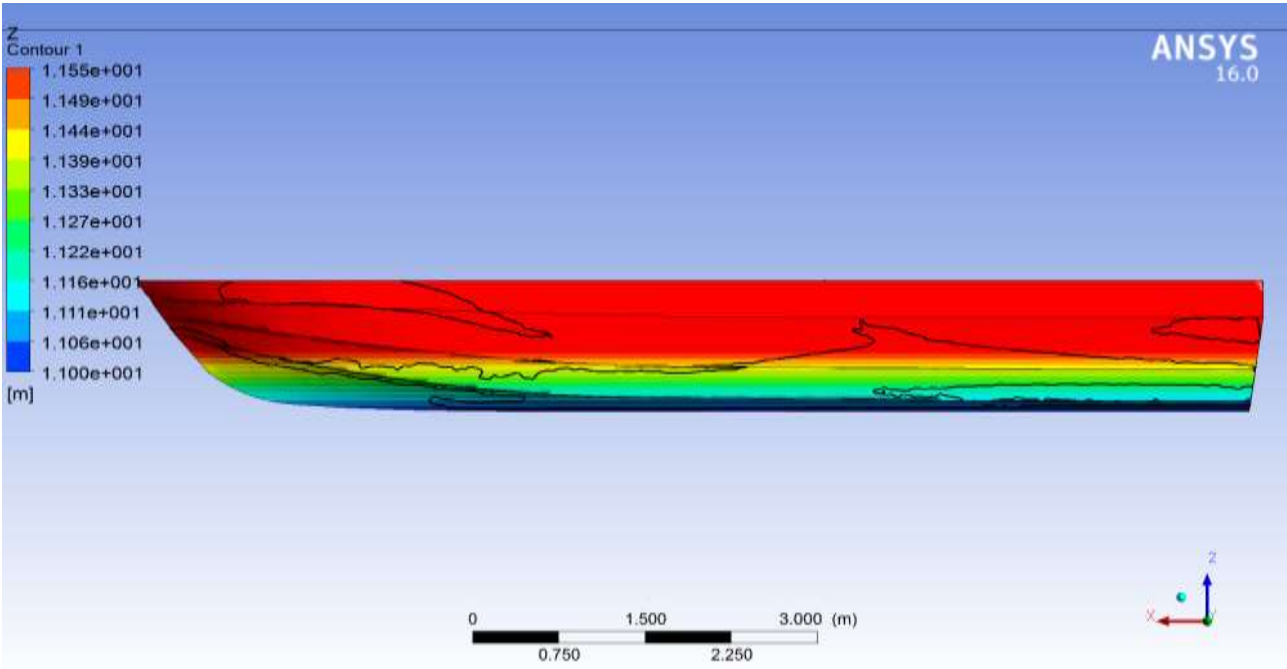
Tinggi gelombang pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.2$



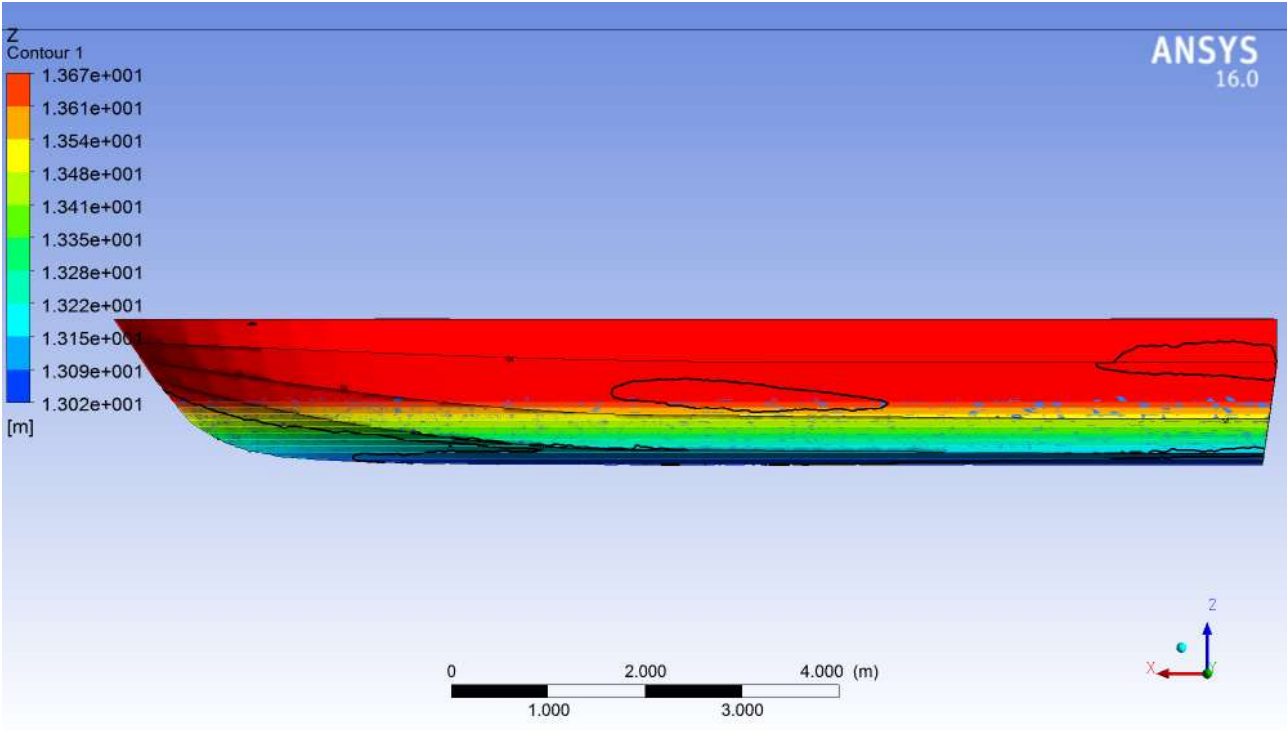
Tinggi gelombang pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.3$



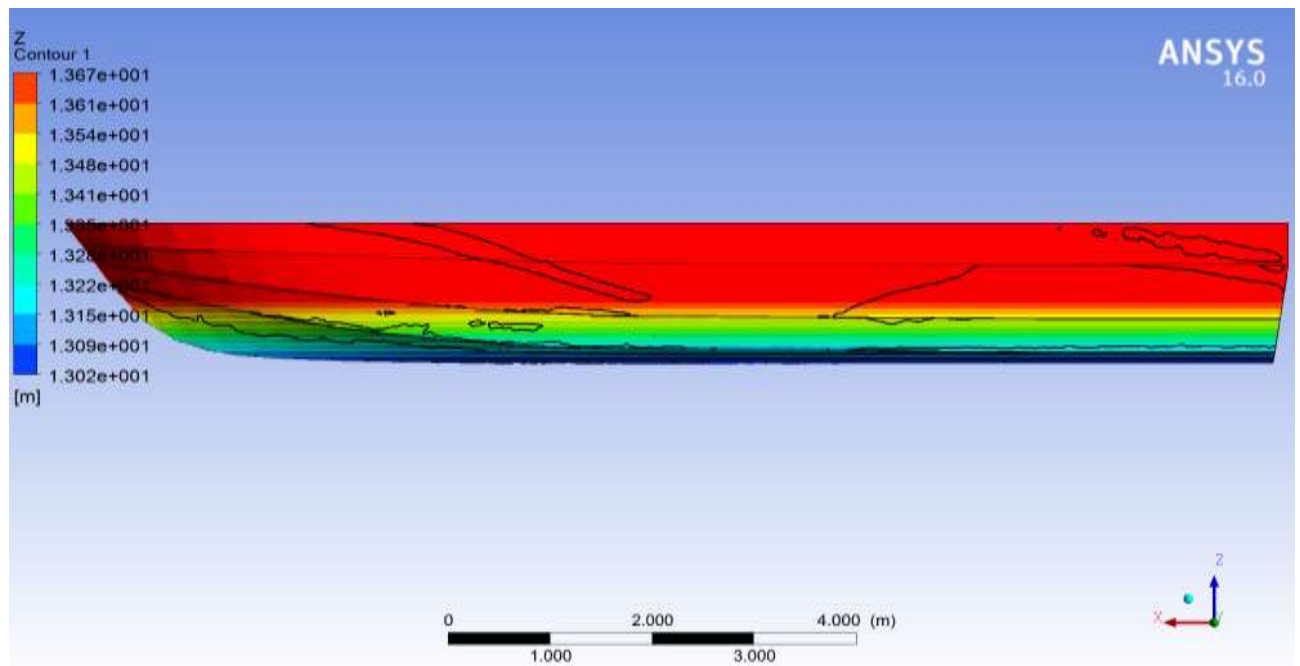
Tinggi gelombang pada katamaran simetris dengan $S/L = 0.4$



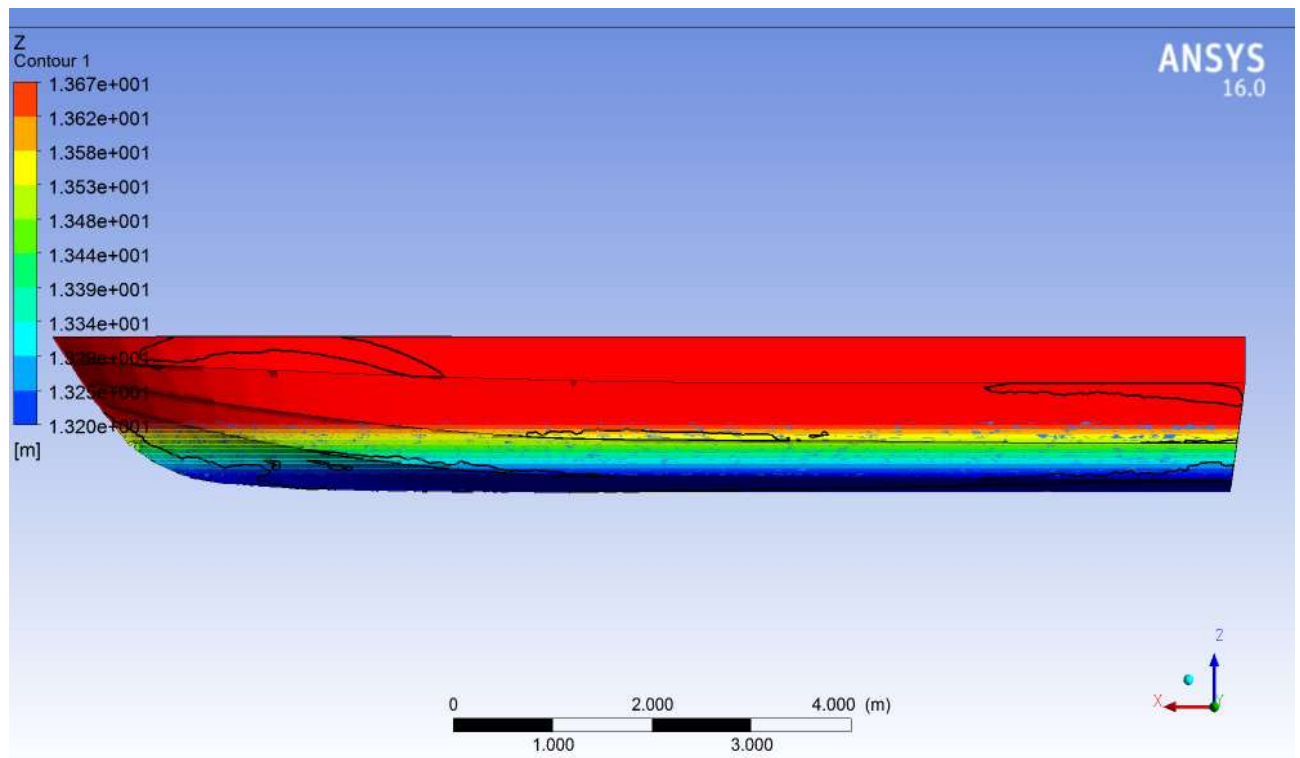
Tinggi gelombang pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.2$



Tinggi gelombang pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.3$



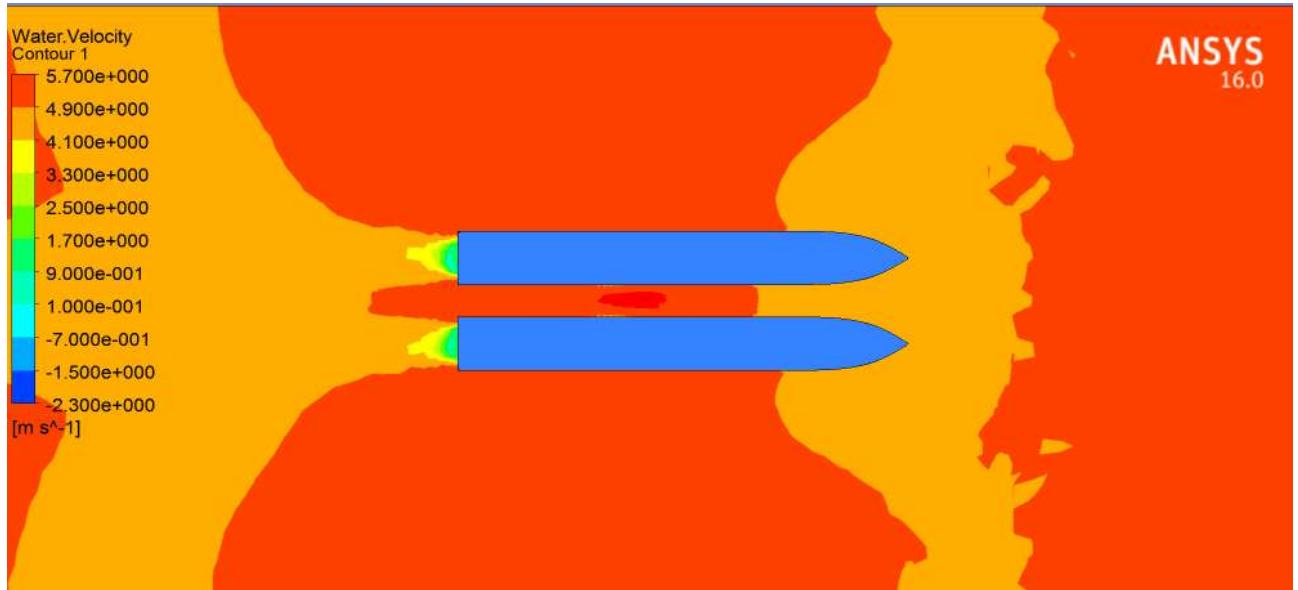
Tinggi gelombang pada katamaran Asimetris dengan $S/L = 0.4$



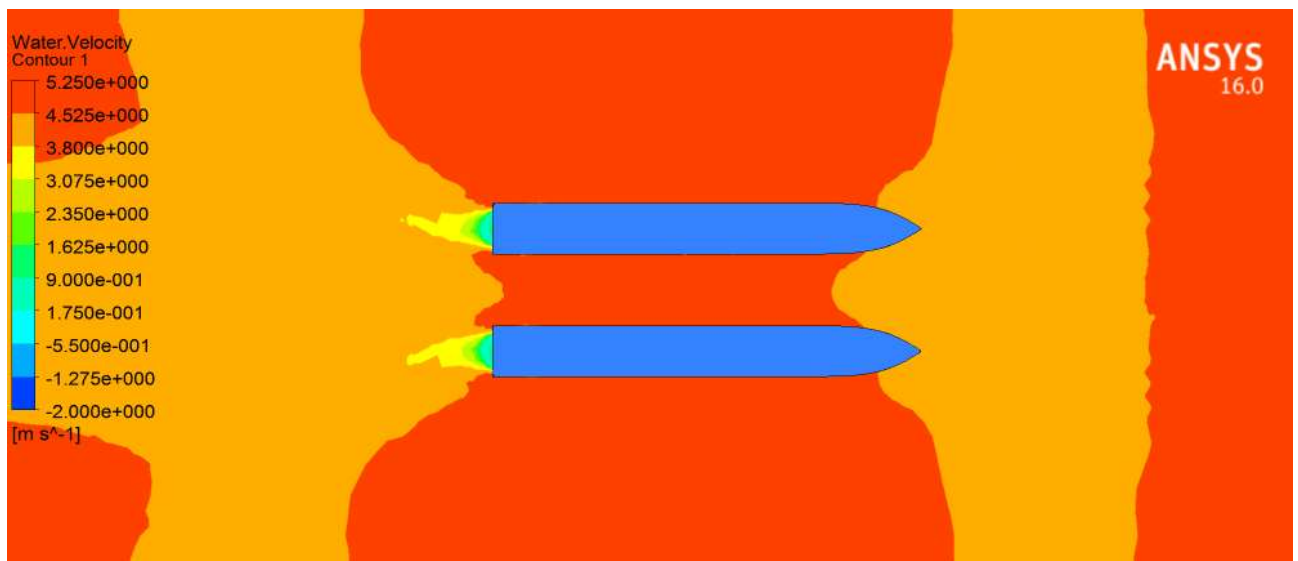
LAMPIRAN E

KECEPATAN ALIRAN FLUIDA KAPAL KATAMARAN SIMETRIS DAN ASIMETRIS PADA Fr 0.55

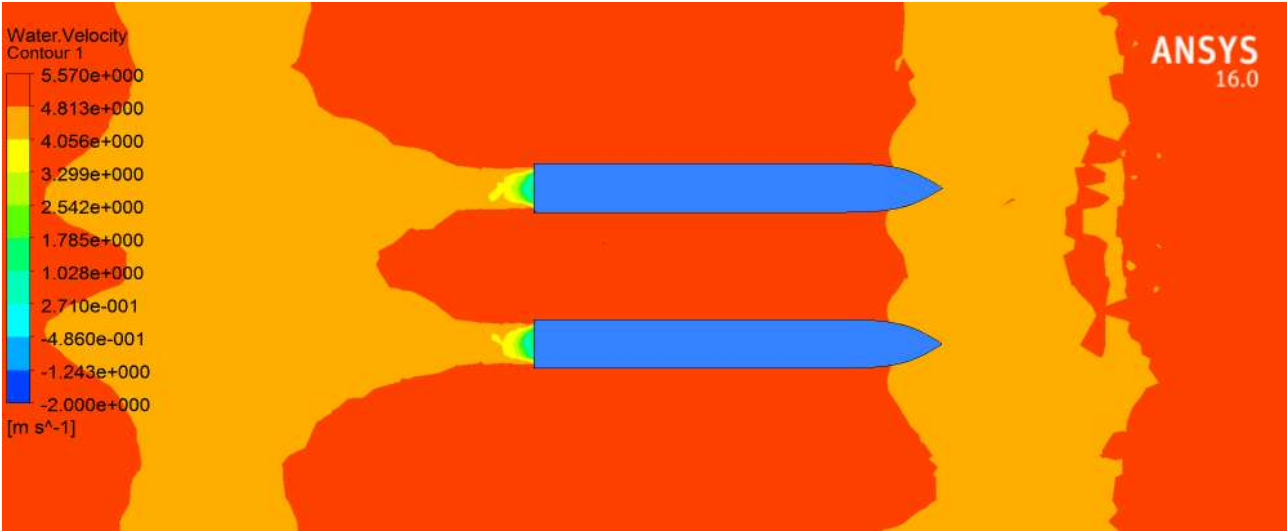
Kecepatan aliran fluida katamaran simetris pada $S/L = 0.2$



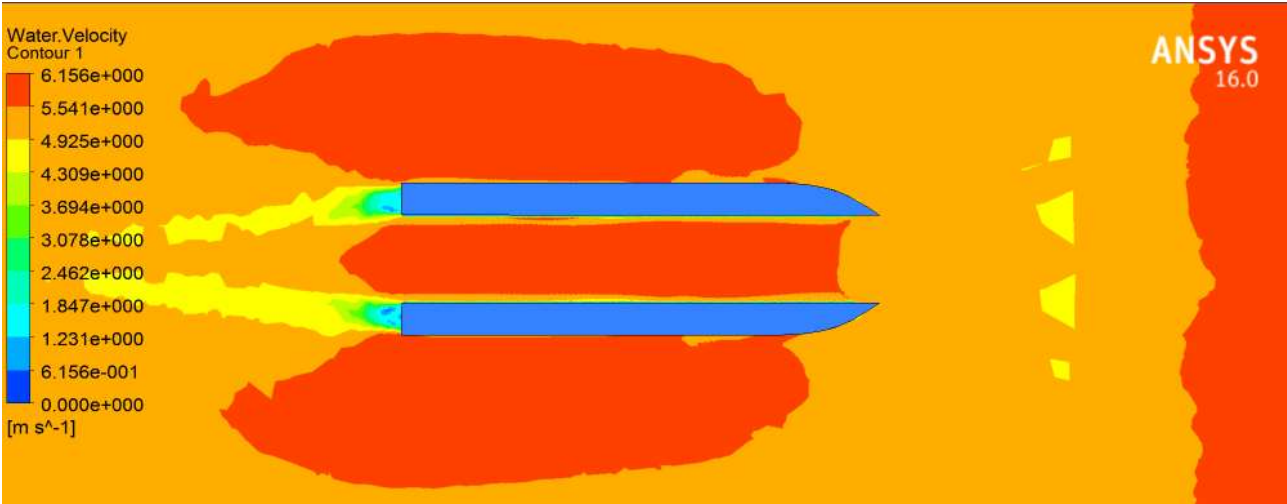
Kecepatan aliran fluida katamaran simetris pada $S/L = 0.3$



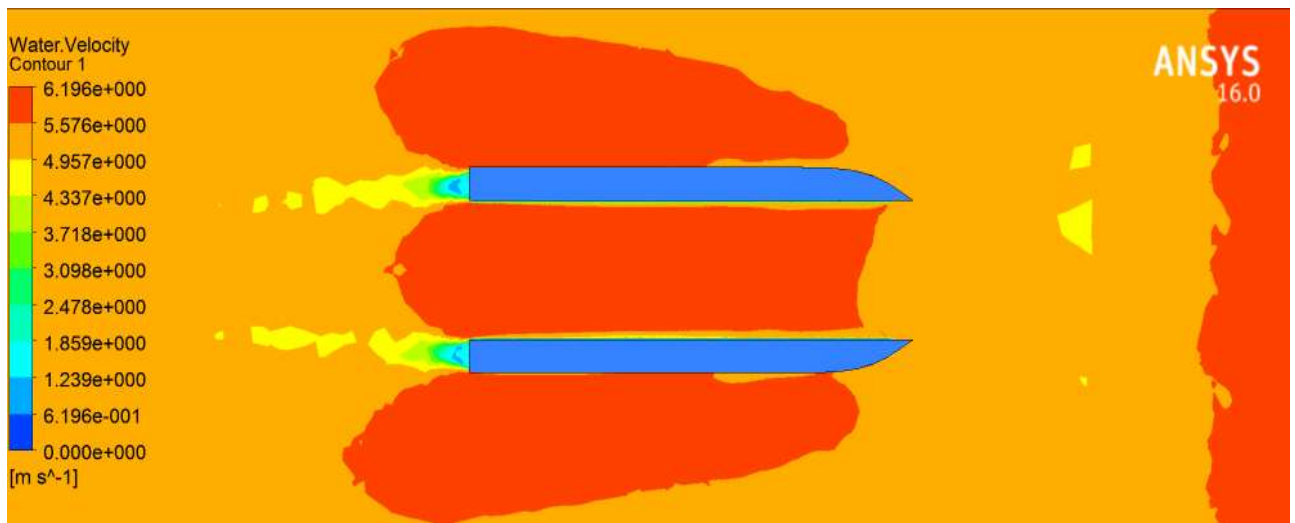
Kecepatan aliran fluida katamaran simetris pada $S/L = 0.4$



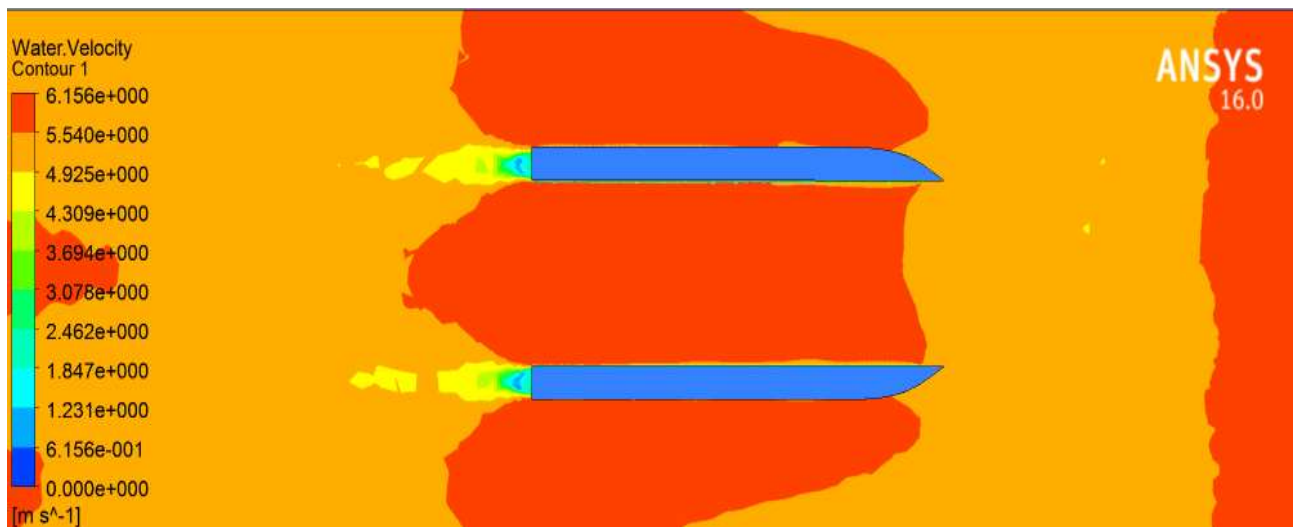
Kecepatan aliran fluida katamaran Asimetris pada $S/L = 0.2$



Kecepatan aliran fluida katamaran Asimetris pada $S/L = 0.3$



Kecepatan aliran fluida katamaran Asimetris pada $S/L = 0.4$



BIODATA PENULIS



More Rise Tambunan, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di pada 18 mei 1995 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal mulai dari TK Tunas Baru, kemudian melanjutkan ke SDS Tunas Baru (lulus tahun 2007), SMPN 11 Batam (lulus tahun 2010) dan melanjutkan di SMAN 1 Batam. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN Undangan

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kemahasiswaa Himatekpal ITS 2015/2016, menjadi *staff* divisi persekutuan PMK ITS 2015/2016. Penulis tercatat pernah menjadi *grader* Auto-Cad untuk mata kuliah menggambar teknik.

Email: moristambunan1@gmail.com