



TESIS –SM 142501

**SIMULASI NUMERIK PENGARUH HAMBATAN VISKOS  
DAN GELOMBANG LAUT PADA KAPAL TIPE  
KATAMARAN**

ANTON HEKSO YUNianto

NRP. 1213 201 049

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc

Dr. Chairul Imron, MI.Komp.

**PROGRAM MAGISTER**

**JURUSAN MATEMATIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2015**



TESIS –SM 142501

**NUMERICAL SIMULATION OF VISCOUS RESISTANCE  
AND INFLUENCE OF OCEAN WAVES ON THE  
CATAMARAN TYPE VESSEL**

ANTON HEKSO YUNianto

NRP. 1213 201 049

Supervisor:

Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc

Dr. Chairul Imron, MI.Komp.

**MASTER'S DEGREE**

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS**

**FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES**

**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

**SURABAYA**

**2015**

# SIMULASI NUMERIK PENGARUH HAMBATAN VISKOS DAN GELOMBANG LAUT PADA KAPAL TIPE KATAMARAN

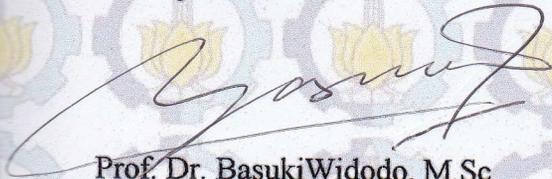
Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar  
Magister Sains (M.Si)

di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh  
ANTON HEKSO YUNianto  
NRP. 1213201049

Tanggal Ujian : 07 Juli 2015  
Periode Wisuda : September 2015

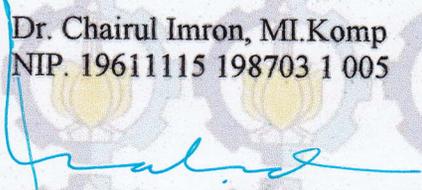
Disetujui Oleh:

  
Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc  
NIP. 19650605 198903 1 002

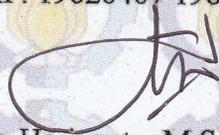
Pembimbing I

  
Dr. Chairul Imron, M.I.Komp  
NIP. 19611115 198703 1 005

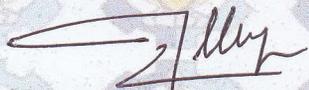
Pembimbing II

  
Dr. Mahmud Yunus, M.Si  
NIP. 19620407 198703 1 005

Penguji I

  
Dr. Hariyanto, M.Si  
NIP. 19530414 198203 1 002

Penguji II

  
Dr. Dwi Ratna Sulistyningrum, S.Si., M.T.  
NIP. 19690405 199403 2 003

Penguji III

Direktur Program Pascasarjana

  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
NIP. 19640405 199002 1 001

# **SIMULASI NUMERIK PENGARUH HAMBATAN VISKOS DAN GELOMBANG LAUT PADA KAPAL TIPE KATAMARAN**

Nama Mahasiswa : Anton Hekso Yunianto  
NRP : 1213 201 049  
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc  
2. Dr. Chairul Imron, MI.Komp

## **ABSTRAK**

Kapal katamaran (lambung ganda) sebagai moda transportasi sungai maupun laut yang terus dikembangkan secara pesat dewasa ini dan nampaknya akan terus berkembang di masa akan datang, kapal katamaran menjadi populer dan sukses diaplikasikan dalam moda transportasi karena tersedianya area geladak (*deck area*) yang lebih luas, tingkat stabilitas yang lebih nyaman dan aman bila dibandingkan dengan kapal dengan lambung tunggal (*monohull*). Kapal katamaran (lambung ganda) cenderung memiliki sarat air yang lebih rendah dibanding kapal *monohull* dengan *displacement* yang sama. Pemodelan numerik menunjukkan bahwa, aliran fluida bersifat laminar, kritis, dan turbulen. Hal ini terindikasi oleh arah medan vortisitas serta distribusi massa jenis fluida, semakin besar kecepatan aliran maka sifat aliran akan menjadi semakin acak atau turbulen. Persamaan dasar aliran fluida yang disebut persamaan *Navier-Stokes* merupakan persamaan diferensial parsial non linier yang kompleks. Untuk menyelesaikan dan memodelkan aliran fluida perlu dilakukan pendekatan numerik dengan metode beda hingga ekeplisit. Pada penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tahanan viskos dan tahanan gelombang pada kapal katamaran. Hasil penyelesaian numerik ini menggambarkan tahanan gesekan, karakteristik hambatan viskos dan hambatan gelombang. Secara keseluruhan hasil dari penelitian ini diterapkan diaplikasikan pada bidang teknik dan digunakan sebagai salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu Matematika terapan di bidang teknologi dan industri. Hasil numerik Ansys Fluent menunjukkan bahwa pengaruh komponen hambatan pada lambung kapal katamaran sangat signifikan pengaruhnya terhadap jarak Rasio antar lambung, baik secara melintang (S/L) maupun secara membujur (R/L). semakin kecil jarak lambung katamaran (S/L dan R/L ) maka semakin besar hambatan yang terjadi.

**Kata kunci:** Katamaran, hambatan viskos, hambatan gelombang, numerik dan beda hingga.

# NUMERIC STUDY OF VISCOUS RESISTANCE AND INFLUENCE OF WAVES ON THE CATAMARAN-TYPE VESSELS

Name : Anton Hekso Yunianto  
NRP : 1213201049  
Supervisor : 1. Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc  
2. Dr. Chairul Imron, MI.Komp

## ABSTRACT

Catamarans (double hull) as the river and sea transport modes that are rapidly being developed today and will likely continue to grow in the future, catamarans became popular and successfully applied in the mode of transportation because of the availability of a deck area (deck area) wider, the level of stability that is more comfortable and safe when compared to single hull vessels with (monohull). Catamarans (double hull) tend to have lower water draft than monohull vessel with the same displacement. Numerical modeling indicates that fluid flow is laminar, critical, and turbulent. This is indicated by the direction of the vorticity field and the distribution density of the fluid, the greater the flow rate, the flow properties will become increasingly random or turbulent. Basic equations of fluid flow are called the Navier-Stokes equations is a non-linear partial differential equations are complex. To complete and fluid flow modeling needs to be approached with explicit finite difference method. In this study, aims to determine how much influence the viscous prisoners and prisoners waves on catamaran. This illustrates the results of numerical solution detainees friction, viscous barrier characteristic and surge barrier. Overall the results of this study applied to the field of engineering and is used as one of the contribution in the development of science in the field of applied mathematics and industrial technology. Ansys Fluent numerical results show that the effect of component constraints on catamaran hull very significant influence on the ratio of the distance between the hull, either transverse ( $S / L$ ) and longitudinally ( $R / L$ ). The smaller the distance hull catamaran ( $S / L$  and  $R / L$ ), the greater the obstacles that occur.

**Keywords:** Catamarans, viscous barriers, barriers waves and numerical and finite difference.

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim,*

*Alhamdulillahirobbil 'alamin,* segala puji syukur ke hadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“SIMULASI NUMERIK PENGARUH HAMBATAN VISKOS DAN GELOMBANG LAUT PADA KAPAL TIPE KATAMARAN”** Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Magister (S-2) Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tesis ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan fasilitas kepada penulis selama menempuh pendidikan sehingga dapat menyelesaikan Tesis.
2. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) selaku penyandang dana yang telah memberikan beasiswa Pra S2-S2 Saintek.
3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T., selaku Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Dr. Subiono, M.S., selaku Koordinator Program Studi Pascasarjana Matematika.
6. Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan motivasi, arahan, dan bimbingannya kepada penulis sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Dr. Chairul Imron, M.I.Komp. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, nasehat, motivasi dan juga saran kepada penulis sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

8. Dr. Mahmud Yunus, M.si., selaku dosen wali dan dosen penguji, dosen Dr. Hariyanto, M.Si., selaku dosen penguji dan dosen Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si.,M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan kritik dan saran yang membantu penulis untuk memperbaiki tulisan Tesis ini.
9. Seluruh Dosen Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, terimakasih atas seluruh ilmu, nasihat, dan bimbingannya, serta seluruh Staff Administrasi, terima kasih atas segala bantuannya.
10. Ibunda Siti Asiyah, Ayahanda G. Darmono, Istriku tercinta Irmawati, Anakku tersayang Aniera Zahra Aurelia, Kakakku Dr.Tri Rusti Mei Drawati, SH.MH, Saudara-saudaraku yang di Probolinggo-Leces, Surabaya dan Jakarta yang senantiasa memberikan do'a, dukungan dan restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu.
11. Teman-teman Pra S2 angkatan 2012 dan Pascasarjana Matematika ITS angkatan 2013, yang sama-sama berjuang menuntut ilmu dan kenangan kebersamaan yang kalian berikan.
12. Teman-teman dari Pascasarjana Fakultas Teknik Kelautan ITS dan dosen Ali Munazid, S.T., M.T., beserta adik-adik junior Lab RISCUM Universitas Hang Tuah Surabaya yang senantiasa memberikan waktu dan tempat untuk belajar ANSYS FLUENT.

Semoga Allah SWT selalu memberikan anugerah dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini, Amin.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan kedepannya. Semoga Tesis ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan khususnya ilmu matematika dan terapannya, Amin.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR SIMBOL

$Demihull$	: Sebuah lambung dari lambung kapal katamaran
$Stagger$	: Lambung katamaran yang tidak sejajar
$Unstagger$	: Lambung katamaran yang sejajar
$L, L_{WL}$	: Panjang garis air
$b$	: Lebar lambung <i>demihull</i>
$B$	: Lebar lambung Katamaran
$C_b$	: <i>Block coefisien</i>
$C_F$	: Koefisien hambatan gesek
$C_R$	: Koefisien hambatan sisa
$C_T$	: Koefisien hambatan total
$C_V$	: Koefisien hambatan viscos
$C_{VP}$	: Koefisien Hambatan tekanan viscos
$C_W$	: Koefisien Hambatan Gelombang
$F_{body}$	: Gaya body
$F_{pressure}$	: Gaya tekanan
$F_{viscous}$	: Gaya viskos
$Fr$	: Bilangan Froude
$ITTC$	: <i>International Towing Tank Conference</i>
$P$	: Tekanan
$T$	: Sarat air
$\nabla$	: Volume lambung ( <i>demihull</i> )
$\Delta$	: Displasement (berat lambung di air)
$V, U$	: Kecepatan Kapal
$WSA$	: Luas bidang basah lambung ( <i>watted surface area</i> )
$Re$	: Bilangan Reynold
$R_F$	: Hambatan gesek
$R_S$	: Hambatan sisa
$R_T$	: Hambatan total
$R_V$	: Hambatan viskos
$R_{VP}$	: Hambatan tekanan viskos

$R_w$	: Hambatan gelombang
$B/T$	: Rasio antar lebar dan sarat air
$L/B$	: Rasio antar panjang dan lebar lambung
$R/L$	: Rasio jarak membujur antar lambung ( <i>watted surface area</i> )
$S/L$	: Rasio jarak melintang antar lambung, (terhadap <i>centrelines</i> )
$\beta$	: Faktor interfensi hambatan viskos
$g$	: Percepatan Gravitasi
$g_x$	: Percepatan Gravitasi terhadap sumbu- $x$
$g_y$	: Percepatan Gravitasi terhadap sumbu- $x$
$\rho$	: Densitas fluida
$\emptyset$	: Faktor perubahan tekanan antar lambung
$\sigma$	: Faktor interferensi hambatan viskos
$\tau$	: Faktor interferensi hambatan gelombang
$\tau_w$	: <i>Shear stress</i>
$\mu$	: <i>Dynamics viscosity</i>
$\nu$	: <i>kinematics viscosity</i>

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kapal Katamaran.....	7
2.1.1 Desain Lambung Kapal .....	7
2.1.1.1 Lambung Simetris ( <i>Symmetric</i> ) dan Tidak Simetris ( <i>Asymmetric</i> ) .....	8
2.1.1.2 Lambung <i>Round Bilge</i> dan <i>Hard Chin</i> .....	10
2.1.2 Konfigurasi Lambung Kapal sejajar ( <i>unstraggered</i> ) dan tidak sejajar ( <i>straggered</i> ).....	10
2.2 Komponen Hambatan Kapal.....	11
2.2.1 Hambatan Gesek .....	13
2.2.2 Hambatan Sisa .....	14
2.2.3 Hambatan Viscos.....	14

2.2.4 Hambatan Gelombang.....	15
2.2.5 Hambatan Sibakan Gelombang ( <i>Spray Resistance</i> ) dan Gelombang Pecah ( <i>Wave Breaking</i> ) .....	16
2.3 Bilangan Reynolds.....	16
2.4 Bilangan Froude .....	17
2.5 Pemodelan Numerik. ....	18
2.5.1 Metode Penyelesaian Numerik .....	18
2.5.2 Fluida Newtonian .....	20
2.6 Persamaan Navier Stokes .....	20
2.7 Persamaan Kontinuitas dan Momentum.....	22
2.7.1 Persamaan Kontinuitas .....	22
2.7.2 Persamaan Momentum .....	23
2.8 Drag Force (Gaya Hambat) .....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1 Persamaan Kontinuitas .....	30
4.2 Persamaan Momentum .....	31
4.3 Persamaan Pembangun Non Dimensional.....	34
4.4 Skema Aliran Fluida di sekitar lambung katamaran .....	36
4.5 Diskritisasi Model Matematika .....	36
4.6 Hasil Running Komponen Hambatan Kapal	
4.6.1 Komponen Hambatan Kapal Dengan Jarak Melintang Lambung Katamaran Simetris (S/L).....	42
4.6.2 Komponen Hambatan Kapal Dengan Jarak Melintang Lambung Katamaran Tidak Simetris (S/L) .....	44
4.7 Tekanan (pressure) disekitaran lambung.....	46
4.7.1 Simulasi Tekanan Pada Lambung Monohull .....	47
4.7.2 Simulasi Tekanan Pada Lambung Katamaran.....	48
4.8 Karakteristik Pola Gelombang pada Lambung.....	57
4.8.1 Pola Gelombang pada Lambung Simetris .....	58
4.8.2 Pola Gelombang pada Lambung Simetris .....	64

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	69
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	71
LAMPIRAN.....	73
BIODATA PENULIS .....	81

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	A Polynesian Katamaran .....	1
Gambar 1.2	Advance Marine Vehicle.....	3
Gambar 2.1	Tipikal Konfigurasi Katamaran.....	7
Gambar 2.2	Bentuk Lambung Simetris.....	9
Gambar 2.3	Bentuk Lambung Tidak Simetris .....	9
Gambar 2.4	Tipe Lambung <i>Round Bilge</i> .....	10
Gambar 2.5	Tipe Lambung <i>Hard Chine</i> .....	10
Gambar 2.6	Konfigurasi Lambung <i>Unstaggered</i> .....	11
Gambar 2.7	Konfigurasi Lambung <i>Staggered</i> .....	11
Gambar 2.8	Diagram Komponen Hambatan Kapal, Molland 2008.....	12
Gambar 2.9	Pola Elevasi Gelombang pada Lambung Kapal bergerak di air tenang (Molland, 2008).....	15
Gambar 2.10	Komponen Hambatan Kapal .....	16
Gambar 2.11	Metode Penyelesaian Numerik .....	18
Gambar 2.12	Titik Grid Metode Beda Hingga.....	19
Gambar 2.13	Koefisien Drag sebagai fungsi dari bilangan mach untuk aliran supersonic .....	25
Gambar 4.1	Model Konfigurasi Lambung Kapal Katamaran Simetris dan Tidak Simetris .....	36
Gambar 4.2	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Simetris <i>Unstaggered</i> ..	42
Gambar 4.3	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Simetris <i>Staggered</i> S/L = 0.2 .....	43
Gambar 4.4	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Simetris <i>Staggered</i> S/L = 0.3 .....	43
Gambar 4.5	Grafik Koefisien Drag Pada Lambung Simetris <i>Staggered</i> S/L = 0.4 .....	44

Gambar 4.6	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Tidak Simetris <i>Unstaggered</i> .....	44
Gambar 4.7	Grafik Koefisien Drag Pada Lambung Tidak Simetris <i>Staggered</i> $S/L = 0.2$ .....	45
Gambar 4.8	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Tidak Simetris <i>Staggered</i> $S/L = 0.3$ .....	45
Gambar 4.9	Grafik Koefisien Drag pada Lambung Tidak Simetris <i>Staggered</i> $S/L = 0.4$ .....	46
Gambar 4.10	Konfigurasi Posisi Pengukuran Tekanan Pada Lambung Monohull .....	47
Gambar 4.11	Konfigurasi Posisi Pengukuran Tekanan Pada Lambung Katamaran Simetris dan Tidak Simetris .....	48
Gambar 4.12	Karakteristik pola gelombang pada kecepatan $Fr = 1.4$ .....	57
Gambar 4.13	Karakteristik pola gelombang pada kecepatan $Fr = 12.8$ .....	57
Gambar 4.14	Karakteristik pola gelombang pada kecepatan $Fr = 14.19$ ....	58
Gambar 4.15(a)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.2$ pada $Fr = 1.4$ .....	59
Gambar 4.15(b)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.2$ pada $Fr = 2.8$ .....	60
Gambar 4.15(c)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.2$ pada $Fr = 4.19$ .....	60
Gambar 4.16(a)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.3$ pada $Fr = 1.4$ .....	61
Gambar 4.16(b)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.3$ pada $Fr = 2.8$ .....	61
Gambar 4.16(c)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.3$ pada $Fr = 4.19$ .....	62
Gambar 4.17(a)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.4$ pada $Fr = 1.4$ .....	62
Gambar 4.17(b)	Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> $S/L =$ $0.4$ pada $Fr = 2.9$ .....	62

Gambar 4.17(c) Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.4 pada Fr = 4.19 .....	62
Gambar 4.18(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.2 pada Fr = 1.4 .....	64
Gambar 4.18(b) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.2 pada Fr = 2.8 .....	64
Gambar 4.18(c) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.2 pada Fr = 4.19 .....	65
Gambar 4.19(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.3 pada Fr = 1.4 .....	65
Gambar 4.19(b) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.3 pada Fr = 2.8 .....	65
Gambar 4.19(c) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.3 pada Fr = 4.19 .....	66
Gambar 4.20(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.4 pada Fr = 1.4 .....	66
Gambar 4.20(b) Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.4 pada Fr = 2.9 .....	66
Gambar 4.20(c) Pola gelombang katamaran simetris <i>Unstaggered</i> S/L = 0.4 pada Fr = 4.19 .....	67
Gambar LII. Penampakan Pola aliran Gelombang dari depan, belakang, samping kanan, samping kiri dan penampakan atas. ....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai tekanan pada kapal monohull.....	47
Tabel 4.2 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung <i>Unstaggered</i> .....	49
Tabel 4.3 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris <i>Staggered</i> S/L 0.2 .....	50
Tabel 4.4 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris <i>Staggered</i> S/L 0.3 .....	51
Tabel 4.5 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris <i>Staggered</i> S/L 0.4 .....	52
Tabel 4.6 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris <i>Unstaggered</i> .....	53
Tabel 4.7 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris <i>Staggered</i> S/L 0.2 .....	54
Tabel 4.8 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris <i>Staggered</i> S/L 0.3 .....	55
Tabel 4.9 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris <i>Staggered</i> S/L 0.4 .....	56

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kata “*catamaran*” berasal dari India yaitu ‘*kattamaram*’ (sebutan dari suku Malayalam) atau ‘*Katta*’ atau ‘*kattu*’ berarti adalah suatu kesatuan (blok) yang diikat dan ‘*maran*’ berarti pohon. Kemudian seorang perantau dari Inggris *William Dampier* yang pertama kali menulis nama *catamaran* pada tahun 1696, yang dikenal hingga saat ini.



Gambar 1.1 A. *Polynesian catamaran* ([Wikipedia.org/wiki/Catamaran](https://en.wikipedia.org/wiki/Catamaran))

Aplikasi kapal katamaran (lambung ganda) sebagai moda transportasi sungai maupun laut terus dikembangkan secara pesat dewasa ini dan nampaknya akan terus berkembang di masa akan datang (Moraes dkk, 2007). Kapal katamaran sangat banyak digunakan sebagai *hydrographic ships*, *submarine rescue ships*, *oceanographic ships*, *mine countermeasure ships*, *environmental protection ships for oil spillrecovery* dan khususnya sebagai *high speed ferry* (Dubrovsky dan Matveev, 2005). Disamping itu juga pesat digunakan dan dikembangkan untuk tujuan militer sebagai kapal patroli, *combat* dan *Landing Craft Utility (LCU)* untuk angkutan pasukan dan logistic (*NATO Naval, 2004*).

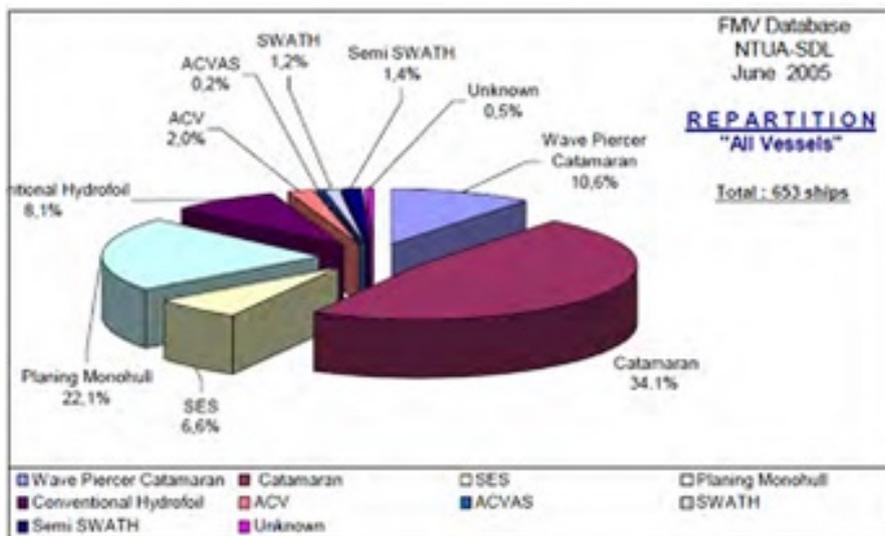
Salah satu yang membuat kapal ini populer adalah karena tersedianya geladak (*deck area*) yang lebih luas, tingkat stabilitas lebih nyaman dan aman (Seif, 2004, dan Zeuridakis, 2005). Kapal katamaran (lambung ganda) cenderung memiliki sarat air yang rendah sehingga kapal ini dapat beroperasi pada perairan dangkal dan kemudian bentuk lambung yang langsing (*slender*) dapat memperkecil timbulnya sibakan air (*wave wash*) dibandingkan dengan kapal lambung tunggal (*monohull*).

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan pada kapal katamaran adalah keakuratan estimasi hambatan pada tahapan awal proses desain, dimana besar hambatan merupakan faktor yang sangat penting diketahui dalam menghitung daya mesin suatu kapal.

Dalam proses rekayasa, kapal katamaran menimbulkan banyak tantangan teknis dibanding desain kapal konvensional. Kapal ini ditandai dengan konfigurasi yang lebih kompleks dan operasional pada kecepatan yang lebih tinggi. Dalam mendesain kapal katamaran, seorang desainer menggunakan teknik eksperimen (*model test*) dan pemodelan numerik. Pada kapal katamaran, masalah hambatan masih banyak dibahas dan didiskusikan. Hal ini dikarenakan komponen hambatannya lebih kompleks dibanding kapal lambung tunggal, yaitu rumitnya efek interaksi komponen hambatan viskos dan gelombang pada lambung kapal katamaran. Fenomena interaksi komponen hambatan tersebut masih merupakan bahasan ilmiah yang terus dikembangkan. (Doctors et al 2003) menentukan separasi optimal antara lambung dan juga memprediksi interferensi gelombang yang terjadi. Beberapa kajian tentang jarak antar lambung secara sistematis telah diteliti oleh (Insel et al 1991) dan (Molland et al 1992). Kajian tersebut berkesimpulan bahwa dengan perubahan jarak antara kedua lambung kapal katamaran memberikan pengaruh interferensi yang signifikan terhadap hambatan viskos. Disamping itu interferensi gelombang juga dapat berpengaruh terhadap laju gelombang akibat perubahan jarak antara lambung kapal katamaran.

Pada kapal *monohull*, masalah hambatan telah banyak diprosentasikan dan dipublikasikan oleh para peneliti. Namun untuk kapal katamaran, masalah hambatan banyak dibahas dan didiskusikan dalam forum ilmiah karena komponen hambatannya lebih kompleks dibanding kapal *monohull*, yang mana disebabkan

rumitnya efek interaksi dan interferensi komponen hambatan viscos dan gelombang pada lambung kapal katamaran. Fenomena interaksi dan interferensi komponen hambatan tersebut masih merupakan bahasan ilmiah yang terus berkembang, khususnya dalam rangka memperkaya dan memperkuat *data base* untuk tujuan saintifik (*scientific purposes*).



Gambar 1.2. Advance marine vehicle (*Papanikolaou dkk, 2005*)

Pengaruh interferensi dan interaksi tersebut perlu dikaji secara seksama melalui eksperim dan numerik agar nantinya hasil ini dapat memberikan kontribusi di dalam memprediksi komponen hambatan dan total hambatan kapal multi-hull, yang selanjutnya dapat memprediksi kebutuhan tenaga mesin (*propulsi*) kapal.

Tesis ini memfokuskan pada simulasi interferensi komponen hambatan viskos dan gelombang laut yang timbul diantara kedua lambung kapal katamaran (baik bentuk lambung simetris dan lambung tidak simetris) dengan perubahan konfigurasi jarak antara lambung secara melintang (*hull clearance*) dan secara membujur (*hull straggered*) melalui simulasi numerik Ansys Fluent 14.5

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penyusunan model matematika dari pengaruh hambatan viskos dan gelombang laut pada kapal tipe katamaran yang nantinya akan dihasilkan.
2. Bagaimana penyelesaian numerik dari model matematika pengaruh terhadap hambatan viskos dan gelombang laut pada kapal tipe katamaran, dengan menggunakan skema persamaan Navier Stokes
3. Apa pengaruh dari parameter viskositas dan parameter gelombang terhadap distribusi laju fluida, hambatan kapal dan hambatan gesek.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis fluida yang digunakan bersifat viskos Newtonian
2. Objek yang digunakan adalah kapal katamaran dengan jarak rasio  $S/L = 0.2$ , hingga,  $S/L = 0.4$  dan  $R/L = 0.2$  hingga  $R/L = 0.4$  dan kapal dalam keadaan diam.
3. Arah dan posisi kapal searah aliran fluida dari depan kapal (*bow*) sampai kebelakang lambung kapal (*stern*).
4. Aliran lapisan batas konveksi bebas bersifat tidak tunak (*unsteady*)
5. Penyelesaian numerik yang digunakan yaitu persamaan Navier-Stokes dengan metode beda hingga.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Menyusun model matematika pengaruh hambatan viskos dan gelombang laut pada kapal tipe katamaran.
2. Menganalisa solusi numerik dari model matematika pengaruh hambatan viskos dan gelombang laut pada kapal tipe katamaran

## **1.5 Manfaat Penelitian.**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut ::

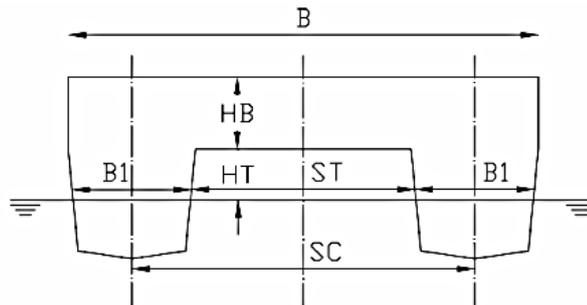
1. Sebagai salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu matematika terapan di bidang teknologi dan industri perkapalan.
2. Sebagai informasi mengenai penerapan ANSYS FLUENT di bidang hambatan viskos dan gelombang laut pada kapal tipe katamaran.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kapal Katamaran

Kapal katamaran merupakan jenis kapal multi hull dengan dua buah lambung (*demihull*) yang dihubungkan oleh suatu konstruksi sehingga menjadi sebuah kesatuan sebagai satu kapal. Kedua *demihull* ini tersusun dengan rangkaian *bridging*. Struktur *bridging* ini merupakan sebuah keuntungan katamaran karena menambah tinggi lambung timbul (*freeboard*). Sehingga memungkinkan terjadi *deck wetness* dapat dikurangi. Katamaran mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk mempertoleh hambatan yang rendah. Garis air yang ramping ini menyebabkan katamaran sensitive terhadap perubahan distribusi berat.



Gambar 2.1 Tipikal konfigurasi Katamaran (sumber : [www.boatdesign.net](http://www.boatdesign.net))

##### 2.1.1 Desain Lambung Katamaran

Diketahui bahwa kapal *displacement monohull* yang konvensional tidak ekonomis pada bilangan Froude sekitar 0.4, dimana umumnya terjadi *hump* hambatan akibat besarnya gelombang gravitasi pada permukaan air (Zouridakis,2005). Untuk memperkecil hambatan kapal *monohull* adalah suatu hal yang sulit dicapai karena dibutuhkan lebar kapal yang sangat kecil (atau rasio  $L/B$  menjadi besar) dengan *displacement* tetap dimana hal itu dapat menurunkan karakteristik stabilitas kapal *monohull*. Sehingga kapal katamaran yang terpisah dan lambung yang kecil/pipih dapat memperkecil gangguan permukaan air (*disturbance on the free surface*) maka dengan sendirinya dapat memperkecil

hambatan kapal. Disamping itu dengan konfigurasi lambung yang terpisah memberikan momen inersia yang besar sehingga menghasilkan kemampuan stabilitas yang cukup baik dengan sudut akselerasi gerakan *rolling* yang kecil

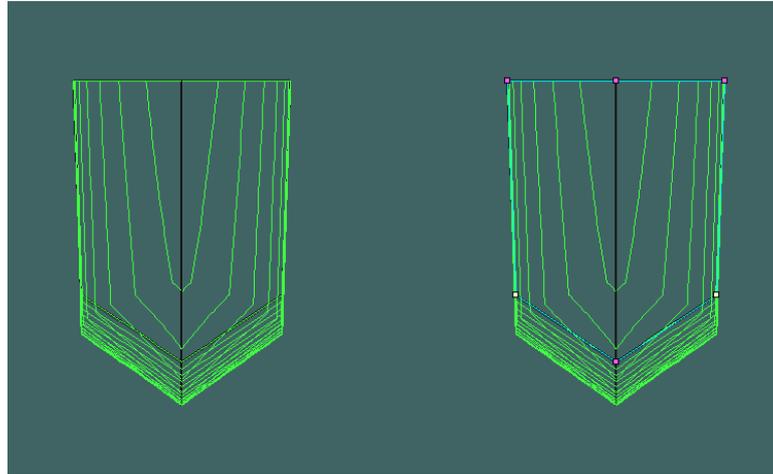
Secara umum, konsep konstruksi kapal katamaran terdiri dari tiga bagian struktur :

- a. Lambung (*hull*) sebagai daya apung (*bouyancy*) dan akomodasi system propulsinya.
- b. Struktur penghubung (*cross struktur*) sebagai penguat bidang transversal (*transversal strength*).
- c. Bangunan atas (*super struktur*) yang terletak diatas struktur penghubung sebagai geladak.

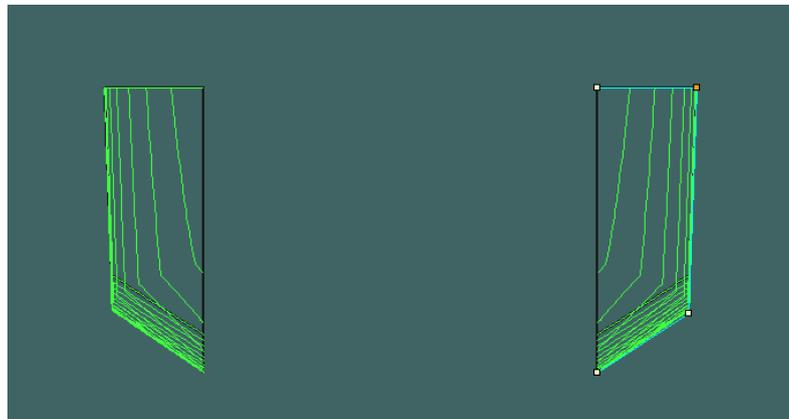
Desain lambung merupakan hal yang sangat esensi dari bagian lainnya untuk memprediksi besarnya hambatan dan kebutuhan tenaga mesin pada kapal katamaran. Saat ini, banyak dijumpai desain kapal katamaran dengan konfigurasi dan dimensi yang bervariasi, dimana karakteristik desainnya sangat tergantung pada misi dan fungsi operasionalnya.

#### **2.1.1.1. Lambung Simetris (*Symmetric*) dan Tidak Simetris (*Asymmetric*)**

Pada dasarnya, penampang lambung ganda katamaran memiliki dua bentuk lambung yaitu lambung yang simetris (*symmetrical catamaran*) dan tidak simetris (*asymmetrical catamaran*). Lambung simetris memiliki bentuk lambung (*body plan*) yang sama terhadap garis tengahnya (*centerline*) dan memiliki sudut masuk dan luar (*dead rise*) yang sama. Sedangkan lambung tidak simetris tidak memiliki karakteristik tersebut. Lambung tidak simetris ini memiliki sisi bagian dalam pada bidang vertical berbentuk datar (*flat*). tipe lambung ini dapat memperkecil efek hambatan yang terjadi diantara kedua lambung kapal katamaran.



Gambar 2.2. Bentuk lambung simetris



Gambar 2.3. Bentuk lambung tidak simetris

Jenis-jenis lambung kapal katamaran

a. Model *twinhull* yang sisinya simetris *stream line*

Diasumsikan sebagaimana dua buah kapal *monohull* yang kedua lambungnya dihubungkan dengan jarak tertentu, maka akan mempunyai sistem gelombang yang sama dengan bentuk kapal *stream line*. Pada sekeliling bagian kapal yang tercelup dalam air akan berkembang dan menghasilkan gerakan. Dan hal ini akan menimbulkan dua macam gelombang, yaitu gelombang *divergen* dan gelombang *transversal* dan keduanya secara umum terdapat di bagian dekat haluan dan buritan kapal dan bergerak ke depan bersama badan kapal.

- b. Model kapal tidak simetris yang bagian sisi luarnya *stream line*

Di ujung bagian depan merupakan titik dimana aliran fluida akan menyebar ke arah samping ( mengikuti garis *stream line*), hampir sama dengan gambar diatas, hanya saja di bagian sisi dalam lurus sehingga alirannya mengikuti bentuk badan kapal (lurus) sampai keburitan kapal. Sehingga apabila diterapkan bentuk ini akan menimbulkan gelombang ke samping cukup besar.

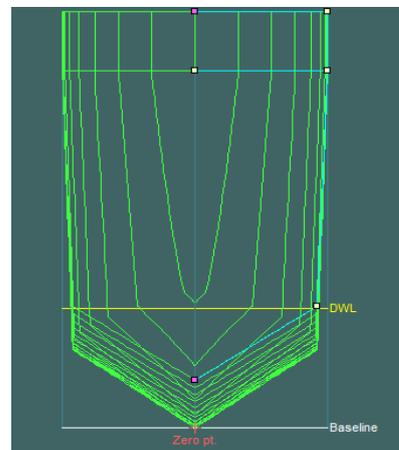
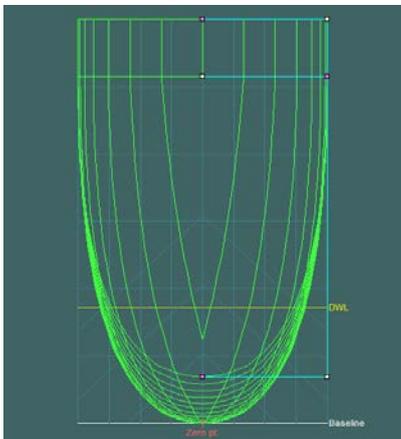
- c. Model aliran *stream line* di sisi bagian dalam

Aliran fluida yang dibentuk dari haluan kapal terkonsentrasi di tengah kapal (antara dua hull) bergerak sampai ke buritan kapal, sedangkan kearah samping arah aliran lurus mengikuti bentuk badan kapal sisi luar sampai ke buritan.

#### 2.1.1.2. Lambung *round bilge* dan *hard chine*

Penampang body plan katamaran dibedakan menjadi 2, yaitu :

- *Round bilge*
- *Hard chine*



Gambar 2.4 Tipe Lambung *Round bilge*      Gambar 2.5 Tipe Lambung *Hard chine*

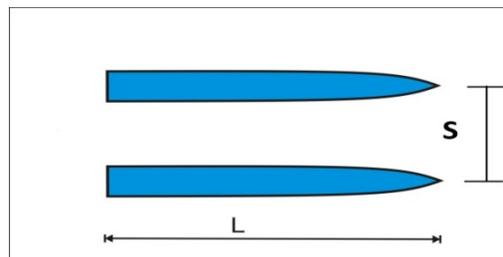
Bentuk lambung tipe *Round bilge* sangat sesuai untuk muatan yang lebih banyak (berat) dan kecamatan rendah. Lambung tipe ini memiliki gerakan yang relative kecil dan tidak mudah mengalami hempasan gelombang (*slamming*) sehingga dapat memberikan rasa nyaman pada kondisi gelombang ekstrim.

Biasanya tipe lambung ini dilengkapi dengan spray pada bagian depan (*bow*) untuk menurunkan efek sibakan air (*water spray*).

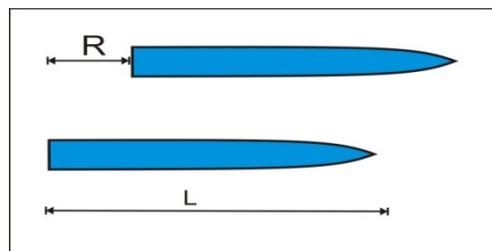
Lambung tipe *Hard chine* agak sederhana dan mudah dalam pengerjaan konstruksinya. Tipe lambung ini memiliki luas bidang basah static yang lebih besar sehingga dapat memperbesar hambatan gesek (*frictional drag*) pada kecepatan rendah. Sedangkan pada kecepatan tinggi, luas bidang basah akan berkurang dengan sendirinya akibat timbulnya gaya angkat (*dynamic lift*).

### 2.1.2 Konfigurasi Lambung Sejajar (Unstaggered) Dan Tidak Sejajar (Staggered)

Perbedaan lambung staggered dan unstaggered adalah terletak pada konfigurasi posisi lambung secara membujur. Posisi lambung yang tidak sama secara memanjang disebut *staggered hull*, sedangkan posisi lambung secara memanjang yang sama disebut *unstaggered hull*.



Gambar 2.6 Konfigurasi Lambung *Unstaggered*



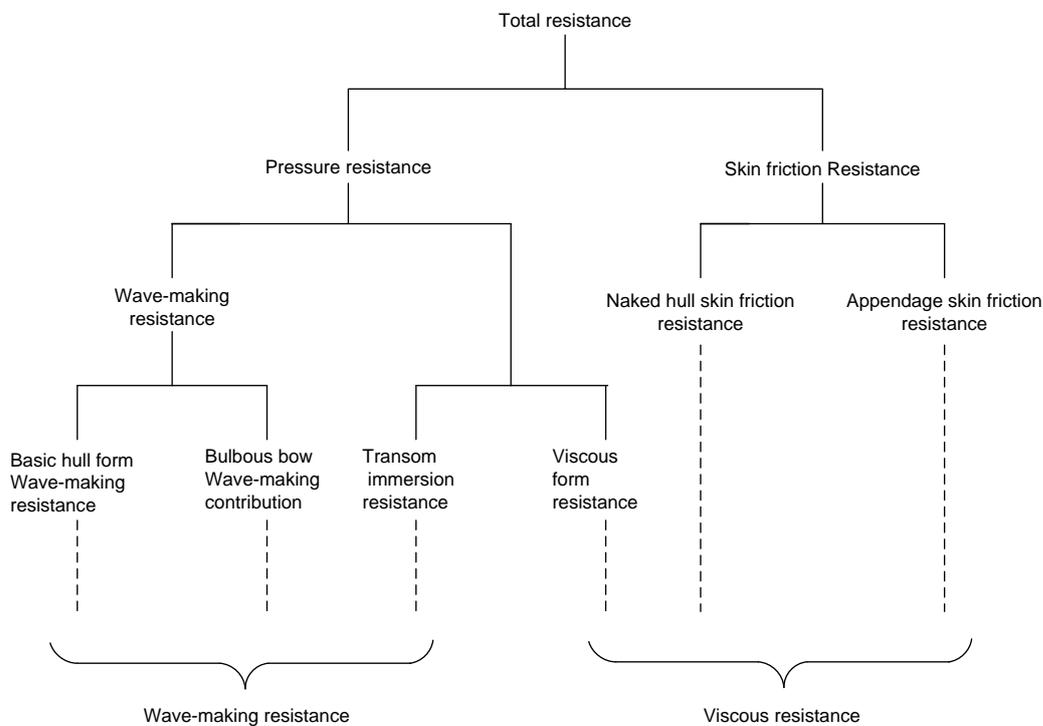
Gambar 2.7 Konfigurasi Lambung *Staggered*

## 2.2. Komponen Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan

gerak kapal ( $V_s$ ), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*).

Berdasarkan pada proses fisiknya, Couser (1997) mengemukakan bahwa hambatan pada kapal yang bergerak dipermukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang (*wave making*) dan tegangan viscos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viscositas fluida. kemudian Molland (2008) menyederhanakan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viscos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*).



Gambar 2.8 Diagram komponen Hambatan kapal, Molland 2008

Standar internasional dari ITTC mengklasifikasikan hambatan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis dalam 2 (dua) komponen hambatan utama yaitu hambatan viscos (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan *Reynolds* dan hambatan gelombang (*wave making resistance*) yang bergantung pada bilangan *Froude*, dimana korelasi komponen tersebut diperlihatkan dalam persamaan 2.1

$$R_{T(R_e, F_r)} = R_{V(R_e)} + R_{W(F_r)} = (1 + k)_{(F_r)} R_{F(R_e)} + R_{W(F_r)} \quad (2.1)$$

Hambatan gelombang ( $R_W$ ) mengandung komponen fluida ideal (*inviscid*) dan hambatan viscos atau kekentalan ( $R_V$ ) meliputi hambatan akibat tegangan geser (*friction drag*) dan komponen tekanan kekentalan (*viscous pressure*).

Total hambatan kapal dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

dengan :  $\rho$  : massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_T$  : Koefisien hambatan total

WSA : luasan bidang basah

V : kecepatan kapal (m/s)

Komponen hambatan kapal dari total hambatan dapat diuraikan sebagai berikut :

### 2..2.1 Hambatan Gesek

Hambatan gesek adalah komponen hambatan yang diperoleh dengan cara mengintegrasikan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal (Harvald, 1983). Bagi suatu benda yang bergerak ke dalam fluida, adanya viscositas akan menimbulkan gesekan. Penting tidaknya gesekan dalam situasi fisik ini tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Daerah fluia yang dekat dengan benda padat didefinisikan sebagai lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah ini gradient melintang kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesernya mempunyai makna yang sangat penting. Koefisien hambatan gesek  $C_f$  biasanya diperoleh melalui percobaan di tangki uji (*towing tank*), sehingga diperlukan suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya (prototype). Besar hambatan gesek pada dasarnya tergantung pada luas permukaan basah lambung kapal, tingkat kekasaran permukaan dan bilangan *Reynolds*, dimana bilangan ini dinyatakan dengan persamaan

$$R_e = \frac{V L}{\nu} \quad (2.3)$$

Aliran Fluida dapat 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 *viscous* yang tidak terbentuk *boundary layer*. Fluida yang kontak langsung dengan suatu batasan pada aliran *Viscous* akan mempunyai kecepatan sama dengan batasan padat itu sendiri atau tidak terjadi slip pada batasan padat tersebut. *Sheer stress* pada aliran *viscous laminar* dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan *Gradient* kecepatan yang ada dalam fluida tersebut. *Surface Shear Stress* ( $\tau_w$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan 2.4 (Molland dkk, 2011).

$$\tau_w = \mu \left[ \frac{\partial U}{\partial y} \right]_{y=0} \quad (2.4)$$

dengan :

$\mu$  = viskositas absolute fluida

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

### 2.2.2. Hambatan Sisa

Bagian besar dari hambatan sisa adalah komponen hambatan gelombang (Harvald, 1983). Hambatan lainnya adalah hambatan tekanan dan hambatan gesek tambahan sebagai akibat bentuk benda yang tiga dimensi. Dari kegiatan praktis di laboratorium, hambatan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

### 2.2.3 Hambatan Viskos

Hambatan viskos adalah penjumlahan dari beberapa komponen hambatan yakni hambatan bentuk (*viscous form resistance*), hambatan gesek lambung kapal (*naked hull skin friction*) dan hambatan tahanan lambung kapal (*appendage skin friction*). Hambatan bentuk adalah integral dari gaya normal yang bekerja pada lambung, dimana besar hambatannya tergantung bentuk lambung dibawah permukaan air.

*Viscous form resistance* dapat juga disebut sebagai hambatan tekanan akibat viskos dimana komponen hambatannya dapat dihitung dengan cara

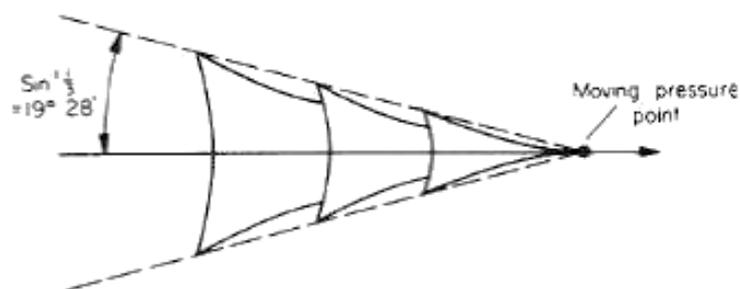
mengintegrasikan tegangan normal akibat viskositas dan turbulensi. Kuantitas ini tidak dapat langsung diukur kecuali pada benda yang terbenam seluruhnya, dalam hal ini sama dengan hambatan tekanan yang diperoleh dengan cara mengintegrasikan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerakan benda.

#### 2.2.4 Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang adalah komponen hambatan yang berkaitan dengan penggunaan energi untuk pembentukan gelombang gravitasi atau bekerjanya gaya normal fluida pada seluruh badan kapal. Komponen ini dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu hambatan pola gelombang ( $R_{WP}$ ) dan hambatan gelombang pecah ( $R_{WB}$ ) (Hogben dan Standing, 1975). Pada umumnya, yang diartikan sebagai hambatan gelombang adalah dengan mengabaikan hambatan gelombang pecah karena besarnya relative kecil dan terjadi pada kecepatan tinggi (*high speed condition*). Hambatan gelombang terjadi disebabkan oleh tekanan fluida yang bekerja dalam arah normal terhadap lambung kapal

Pola gelombang (*wave pattern*) oleh Lord Kelvin (1904) memberikan persamaan sudut gelombang yang ditimbulkan oleh lambung kapal :

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{1}{3} \right) = 19.471 \quad (2.5)$$



Gambar 2.9 Pola elevasi gelombang pada lambung kapal bergerak di air tenang (Molland, 2008)

Interferensi antara sistem gelombang divergen dan transversal memberikan bentuk karakteristik gelombang yang dapat diamati karena kedua

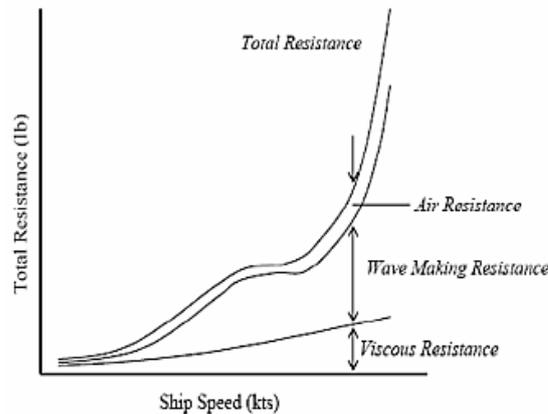
sistem gelombang bergerak pada kecepatan yang sama. Hubungan kecepatan kapal ( $V$ ), panjang gelombang ( $\lambda$ ) antar dua puncak gelombang adalah :

$$\lambda = \frac{2\pi}{g} V^2 \quad (2.6)$$

### 2.2.5 Hambatan Sibakan Gelombang (*spray Resistance*) dan Gelombang Pecah (*Wave Breaking*)

Geometri kapal dengan kecepatan tertentu berpotensi menghasilkan gelombang samping yang cukup besar. Gelombang ini populer dengan sebutan sibakan gelombang (*ship wave wash*), yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya ketika insentitasnya cukup tinggi. Hambatan sibakan air (*Sprey Resistnce*) tersebut merupakan komponen hambatan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan sehingga menimbulkan sempotan.

Kapal-kapal cepat yang agak gemuk (*bluffer*) cenderung menghasilkan sibakan gelombang yang besar dan kapal-kapal yang langsing menyebabkan massa air terdorong kearah haluan menghasilkan gelombang pecah (*wave breaking*). Hambatan pecah tersebut merupakan komponen hambatan yang terkait dengan pecahan gelombang yang berada di buritan kapal.



Gambar 2.10 Komponen Hambata Kapal

### 2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan parameter yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen. Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak

berdimensi yang menyatakan perbandingan antar gaya inersia dan gaya viscos di dalam fluida.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.7)$$

$$Re = \frac{V L}{\nu} \quad (2.8)$$

dengan :

Re : Bilangan Reynolds

V : Kecepatan Kapal (m/s)

L : Panjang Kapal (m)

$\nu$  : Viscositas kinematic (m<sup>2</sup>/s)

Re adalah Reynolds number dengan menggunakan referensi panjang garis air.

#### 2.4 Bilangan Froude

Tahanan menurut Froude merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas. Untuk menyatakan besarnya tahanan gesek maka berhubungan dengan viskositas dan bilangan reynoldsnya. Sedangkan untuk menyatakan besarnya gelombang yang terbentuk berhubungan dengan gaya gravitasi yang terjadi akibat dari bentuk lambung kapal. Maka untuk menyatakan besarnya tahanan bentuk atau tahanan sisa dapat menggunakan Froude's Number (Fn)

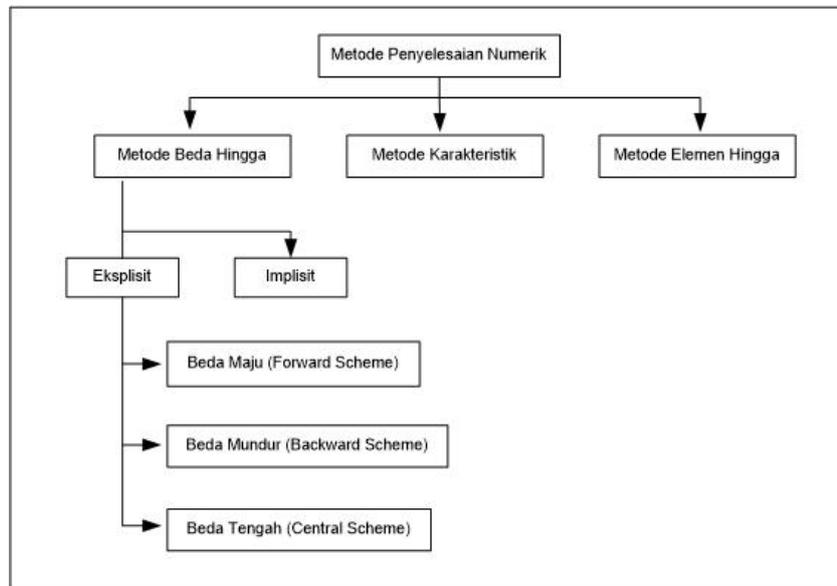
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.9)$$

Dimana Fn dipengaruhi oleh kecepatan ( $v$ ), gaya grafitasi ( $g$ ) dan panjang garis air kapal ( $Lwl$ ).

## 2.5 Pemodelan Numerik

### 2.5.1 Metode Penyelesaian Numerik

Dalam Metode Numerik dikenal beberapa metode salah satu diantaranya yaitu Metode Beda Hingga (*Finite Difertensial Method*). Adapun metode-metode dalam penyelesaian numerik dapat dikelompokkan seperti pada gambar dibawah



Gambar 2.11 Metode Penyelesaian Numerik

Penyelesaian dengan Metode Beda Hingga (*Finite Difertensial Method*) dapat dibagi menjadi:

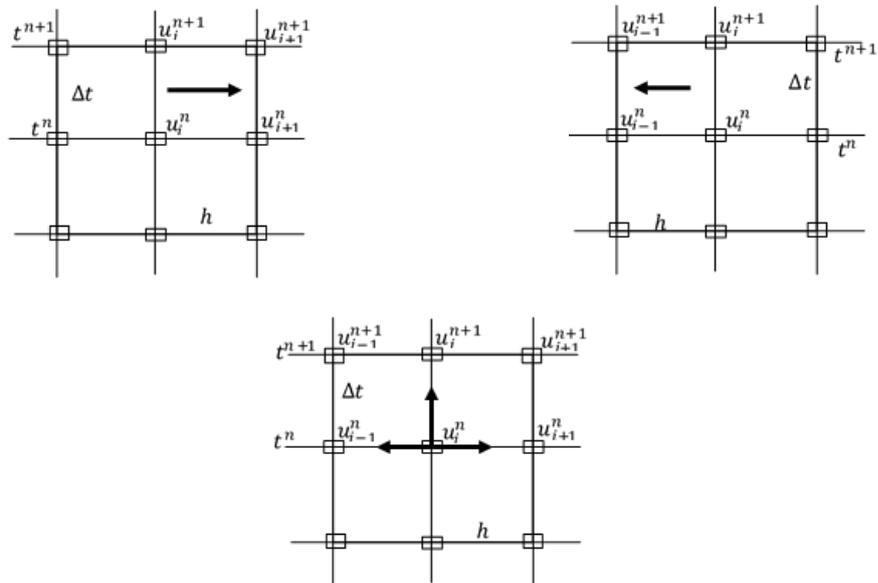
1. Metode Eksplisit

Konsep dasar dari Metode Eksplisit adalah harga variabel pada satu titik level waktu  $n + 1$  dapat langsung dihitung dari harga pada beberapa titik pada level  $n$

2. Metode Implisit

Konsep dasar dari metode Implisit yaitu diskritisasi ruang dilakukan pada level waktu  $n + 1$  yang akan dicari harganya. Diskritisasi waktu dihitung dengan ekstrapolasi kebelakang. Dengan cara ini untuk setiap langkah waktu akan diperoleh persamaan aljabar simultan.

Dalam metode beda hingga menggunakan ekspansi Taylor, terdapat tiga skema yang bisa digunakan untuk menjadikan persamaan differensial menjadi bentuk numerik yaitu



Gambar 2.12 Titik grid metode beda hingga

a) Beda Maju (Forward Scheme)

Pada beda maju, titik  $u_i$  dihubungkan dengan titik depannya yaitu  $u_{i+1}$ .

Sehingga dengan deret Taylor diperoleh beda maju sebagai berikut :

Beda maju ruang :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{h} \quad (2.10)$$

Beda maju waktu :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t}$$

b) Beda Mundur (Backward Scheme)

Pada beda mundur, titik  $u_i$  dihubungkan dengan titik belakangnya yaitu  $u_{i-1}$ .

Sehingga dengan deret Taylor diperoleh beda mundur sebagai berikut :

Beda mundur ruang :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{h} \quad (2.11)$$

Beda mundur waktu :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{n-1} - u_i^n}{\Delta t}$$

c) Beda Tengah (Central Scheme)

Dengan mengkombinasikan dua pendekatan pada beda maju dan beda mundur diperoleh beda tengah yaitu sebagai berikut : :

Beda tengah ruang :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2h} \quad (2.12)$$

Beda tengah waktu :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{n+1} - u_i^{n-1}}{\Delta t}$$

### 2.5.2 Fluida Newtonia

Fluida *Newtonian* (Istilah dari nama Isaac Newton) adalah suatu fluida yang memiliki kurva tegangan/regangan dan gradien kecepatan yang linier. Contoh dari fluida yang berkarakteristik *Newtonian* antara lain: air, udara, ethanol, benzena, dan lain sebagainya. Fluida *Newtonian* akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida karena viskositas dari fluida ini tidak berubah (konstan) ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut melainkan viskositas akan berubah jika terjadi perubahan temperatur. Secara matematis persamaan dari fluida *Newtonian* mengikuti hukum Newton tentang aliran dan dapat ditulis sebagai berikut :.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial x}; \text{ (linier)} \quad (2.13)$$

dengan :

- $\tau$  : Tegangan geser pada fluida
- $\mu$  : Viskositas fluida
- $\frac{\partial u}{\partial x}$  : Gradient kecepatan fluida

### 2.6 Persamaan Navier-Stoke.

Persamaan Navier-Stokes diperkenalkan oleh dua orang ilmuwan yang bernama Claude-Lois Navier dan George Gabriel Stokes. Persamaan ini timbul dari penerapan hukum kedua Newton untuk gerakan fluida, dengan asumsi bahwa stres dalam suatu fluida adalah jumlah dari penyebaran viskos (sebanding dengan gradien kecepatan) dan kondisi tekanan-sehingga menggambarkan *aliran viskos*. Persamaan Navier-Stokes berguna karena dapat menggambarkan secara fisika dari

banyak hal seperti untuk kepentingan akademik dan ekonomi. Persamaan Navier-Stokes dalam bentuk penuh maupun sederhana dapat membantu dalam pembuatan desain pesawat, mobil, studi aliran darah, dsain pembangkit listrik, analisis pencemaran dan berbagai kasus lain. Persamaan Navier-Stokes dikembangkan pada persamaan diferensial yang menjelaskan aliran fluida yang tak termampatkan (*incompressible*). Pada keadaan fluida yang tak termampatkan laju tegangan dan laju tensor regangan, secara matematis komponen  $F_j$  dari suatu gaya viskos  $\mathbf{F}$  dituliskan sebagai berikut .:

$$\frac{F_i}{V} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \delta_{ij} \nabla \cdot \mathbf{u} \right] \quad (2.14)$$

dengan :

$\mu$  = Viskositas Dinamik

$\lambda$  = Koefisien Viskositas Kedua

$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$  = Divergensi; Akibat dari fluida yang tak termampatkan

Pada fluida terdapat tiga buah gaya yang bekerja, yaitu gaya tekan ( $\mathbf{F}_{pressure}$ ), gaya viskos ( $\mathbf{F}_{viscous}$ ), dan gaya samping ( $\mathbf{F}_{body}$ ) sebagai berikut .:

1. Gaya Tekan

$$\frac{\mathbf{F}_{pressure}}{V} = -\nabla P \quad (2.15)$$

2. Gaya Viskos

$$\frac{\mathbf{F}_{viscous}}{V} = \mu \nabla^2 \cdot \mathbf{u} \quad (2.16)$$

dengan  $\nabla^2 \cdot \mathbf{u}$  merupakan vektor Laplace.

3. Gaya Samping

$$\frac{\mathbf{F}_{body}}{V} = f \quad (2.17)$$

Pengabungan dari ketiga Persamaan (2.15), (2.16), (2.17), dan berdasarkan prinsip hukum Newton fluida, maka diperoleh persamaan Navier-Stokes sebagai berikut .:

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \cdot \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \cdot \mathbf{u} + f \quad (2.18)$$

Persamaan tersebut juga sering ditulis dengan menggunakan turunan  $\frac{Du}{Dt}$  sehingga lebih jelas bahwa pernyataan tersebut diambil dari pernyataan hukum kedua Newton.

Pada umumnya dinyatakan dalam bentuk:

$$\rho \left( \frac{Du}{Dt} \right) = -\nabla P + \nabla T + f \quad (2.19)$$

dengan :

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \cdot \mathbf{u}$$

$$\nabla T = \mu \nabla^2 \cdot u \text{ (Tritton, 1988).}$$

$$f = \rho \cdot g$$

Persamaan Navier-Stokes dibangun dari persamaan momentum dan massa. Berikut : ini adalah bentuk persamaan Navier-Stokes untuk fluida *incompressible*, *unsteady* dan *viscous* yaitu

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot uu + \nabla P = \frac{1}{Re} \nabla^2 u \quad (2.20)$$

$$\nabla u = 0 \quad (2.21)$$

dengan :

$u$  adalah vektor kecepatan berupa (x, y)

$P$  adalah tekanan

$Re$  adalah bilangan Reynolds

## 2.7 Persamaan Kontinuitas dan Momentum

### 2.7.1 Persamaan Kontinuitas

Kekekalan massa mensyaratkan agar massa, sebuah sistem tetap konstan selagi sistem tersebut bergerak melalui medan aliran. Dalam bentuk persamaan prinsip ini dinyatakan sebagai

$$\frac{DM_{sys}}{Dt} = 0 \quad (2.22)$$

*Laju perubahan terhadap waktu dari massa sistem yang berimpit = Laju perubahan terhadap waktu dari massa dari kandungan volume atur + Laju aliran netto dari massa melalui permukaan atur = 0.*

Secara matematis volume atur dari kekekalan massa yang ditulis sebagai

$$\frac{D}{Dt} \int_{sys} \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho \mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA = 0 \quad (2.23)$$

Integran  $\mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$ , dalam integral kecepatan aliran massa menyatakan perkalian dari komponen kecepatan  $V$  yang tegak lurus terhadap suatu bagian kecil permukaan kontrol dan bidang diferensial  $dA$ . Dalam hal ini integran  $\mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$  adalah kecepatan aliran volume melalui  $dA$ , sedangkan integran  $\rho \mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$  adalah kecepatan aliran massa melalui  $dA$ . Tanda perkalian titik  $\mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}}$  adalah “+” untuk aliran keluar dari volume kendali dan “-“ untuk aliran kedalam volume kendali. Jumlah seluruh kuantitas diferensial  $\rho \mathbf{V} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$  pada seluruh permukaan kontrol dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho V + \rho V A|_{out} - \rho V A|_{in} = 0 \quad (2.24)$$

### 2.7.2 Persamaan Momentum

Hukum kekekalan momentum dikenal sebagai hukum kedua Newton. Hukum tersebut mengatakan bahwa gaya resultan yang bereaksi pada objek sama dengan percepatan dikalikan dengan massa objek tersebut

Hukum kedua Newton dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum F_{sys} = ma \quad (2.25)$$

$F_{sys}$  dan  $a$  adalah gaya-gaya resultan dan percepatan. dengan mensubstitusikan semua gaya-gaya dengan menggunakan definisi dari percepatan  $a = \frac{Du}{Dt}$ ,

$$\sum F_{sys} = m \frac{Du}{Dt} \quad (2.26)$$

$$\sum F = \sum F_{Body} + \sum F_{surface} = m \frac{Du}{Dt} \quad (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan gaya-gaya ini kedalam definisi dari hukum kedua Newton maka akan menghasilkan persamaan momentum sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} V \rho dV + \int_{CS} V \rho V \cdot \hat{n} dA = \sum F_{sys} \quad (2.27)$$

## 2.8 Drag Force (Gaya Hambat)

Setiap benda yang bergerak melalui suatu fluida akan mengalami *drag*, suatu gaya netto dalam arah aliran karena tekanan dan gaya geser pada permukaan benda.

Koefisien *drag* ( $C_D$ ) didefinisikan sebagai berikut :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2.28)$$

*Drag* gesekan pada plat datar dengan lebar  $b$  dan panjang  $\ell$  yang sejajar dengan aliran hulu dapat dihitung dengan

$$\mathcal{D}_f = \frac{1}{2} \rho U^2 b \ell C_{Df} \quad (2.29)$$

Koefisien drag gesekan ( $C_{Df}$ ) :

$$C_{Df} = \frac{\mathcal{D}_f}{\frac{1}{2} \rho U^2 b \ell} \quad (2.30)$$

*Drag* tekanan,  $\mathcal{D}_p$ , adalah bagian dari *drag* yang langsung disebabkan oleh tekanan,  $p$ , pada sebuah benda. *Drag* ini sering disebut sebagai *drag* bentuk karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk dari benda. *Drag* tekanan adalah fungsi dari besarnya tekanan dan orientasi arah elemen permukaan dimana gaya tekanan tersebut bekerja.

*Drag* tekanan ( $\mathcal{D}_p$ )

$$C_{Dp} = \frac{\mathcal{D}_p}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2.31)$$

Perubahan tekanan disekitar lambung diukur melalui *pressure tape* yang terletak disepanjang permukaan model monohull / katamaran. Distribusi tekanan

pada setiap *pressure tape* di permukaan model akan diubah ke dalam koefisien tekanan ( $C_p$ ) dengan persamaan :

$$C_p = \frac{P_1 - P_2}{\frac{1}{2} \rho U^2} = \frac{\Delta p}{q} \quad (2.32)$$

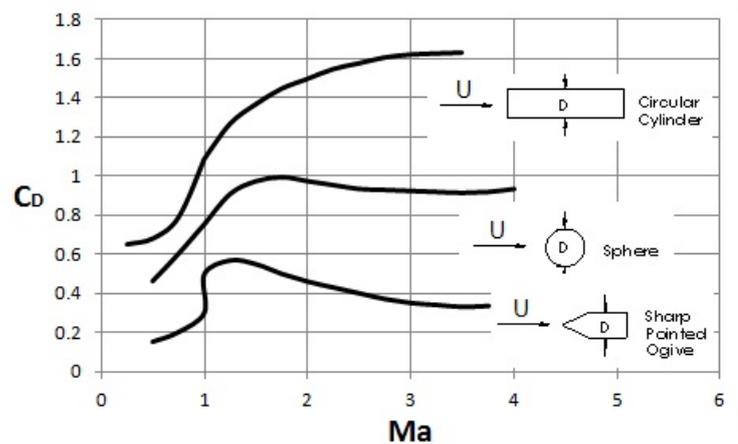
*Pressure coefficient* merupakan perbedaan antar tekanan lokal ( $P_1$ ) pada suatu titik dipermukaan model dan permukaan *freestream* ( $P_o$ ) dibagi dengan tekanan dinamis *free stream* ( $q$ ). nilai  $C_p$  dapat dijabarkan melalui persamaan Bernoulli untuk aliran *incompressible* :

$$C_p = \left( 1 - \left( \frac{U_1}{U_o} \right)^2 \right) \quad (2.33)$$

dengan :

$U_o$  adalah kecepatan lokal model

$U_1$  adalah kecepatan pada setiap titik *pressure tape* dipermukaan model.



Gambar 2.13 Koefisien drag sebagai fungsi dari bilangan mach untuk aliran supersonik. (Sumber : Mekanika Fluida edisi keempat jilid 2)

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menjelaskan tentang simulasi numerik pengaruh hambatan viskos dan gelombang laut pada aliran fluida pada kapal tipe katamaran. Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan persamaan kontinuitas, momentum, dari kasus yang terkait yang dimaksud adalah Mekanika Fluida, tahanan viskos, tahanan gelombang, metode beda hingga dan persamaan Navier-Stokes.

2. Membangun model matematika

Pada bagian ini dikaji model matematika pada aliran fluida yang melewati permukaan lambung kapal. Setiap bentuk lambung kapal katamaran mempengaruhi karakteristik dari suatu aliran fluida. Sehingga untuk mengembangkan model perlu mengkaji terlebih dahulu untuk mendapatkan model yang sesuai dengan yang diharapkan. Persamaan kontinuitas dan momentum akan dirubah kedalam bentuk non-dimensional. Setelah didapatkan model dalam bentuk non-dimensional, selanjutnya adalah pendiskritan.

3. Diskritisasi model matematika

Model matematika yang diperoleh kemudian didiskritisasi dengan metode beda hingga. Persamaan yang akan didiskritisasi adalah persamaan kontinuitas dan momentum. Selanjutnya hasil distritisasi disimulasikan dengan *software* Ansys Fluent.

4. Membuat program

Pada tahap ini dilakukan implementasi dari algoritma yang telah dibuat sebelumnya kedalam bentuk program dengan menggunakan program Matlab dan Ansys Fluent.

5. Verifikasi Tahap pembangunan model matematika aliran fluida viskolastik melewati lambung sampai pada hasil output program dan apabila hasil output belum sesuai maka diverifikasi kembali.

## 6. Simulasi

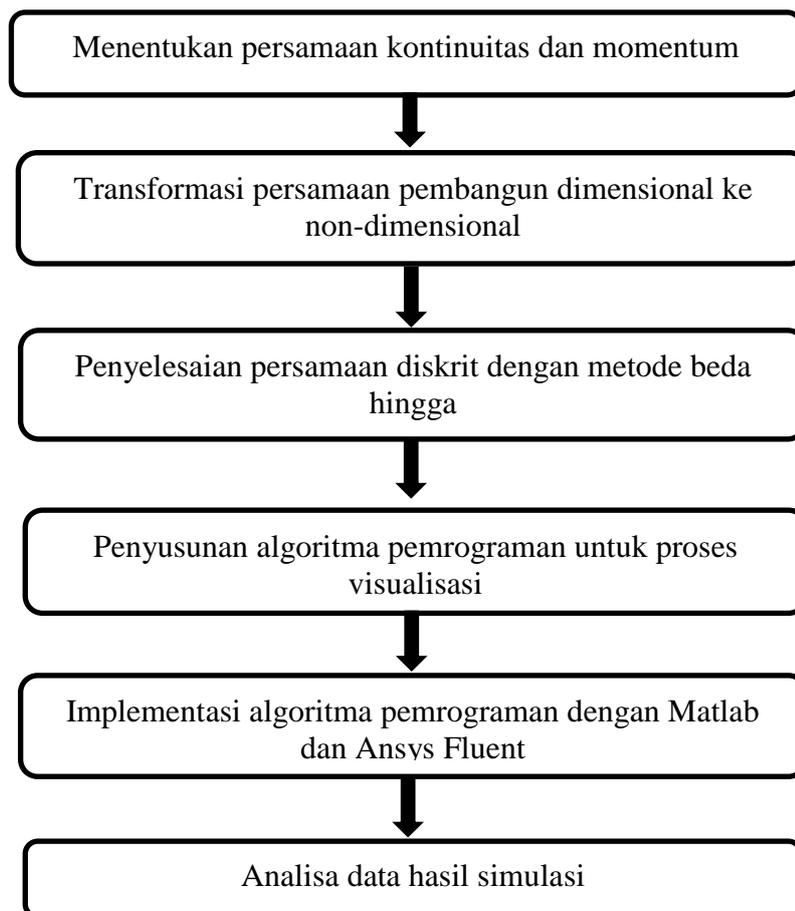
Dengan menggunakan program yang telah dibuat, dilakukan simulasi dengan menggunakan beberapa nilai pada parameter atau variabel inputan.

## 7. Analisa hasil dan pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa hasil dan pembahasan untuk kemudian dicari solusi numerik terbaik dari model matematika yang diperoleh dan membuat kesimpulannya.

Adapun tempat penelitian ini dilakukan di laboratorium Pemodelan Matematika dan Simulasi, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Adapun penjelasan diatas akan dijelaskan ke bagan alir sebagai berikut : :



Gambar 3.1 Bagan alir penyelesaian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran turbulen merupakan aliran yang sangat kompleks karena didominasi oleh struktur dengan fluktuasi yang sangat tinggi. Persamaan aliran ini dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas dan momentum yang akan menghasilkan persamaan Navier-Stokes. Penurunan persamaan Navier-Stokes untuk aliran turbulen.

Pada bab ini dibahas secara detail mengenai skema aliran fluida di sekitar lambung kapal monohull dan kapal katamaran, diskritisasi persamaan Navier-Stokes dalam bentuk persamaan differensial dengan menggunakan metode beda hingga, pembentukan sistem persamaan linier, pemecahan sistem persamaan linier, penyelesaian numerik dan simulasi dengan *software* Ansys Fluent. Pada simulasi akan diketahui besarnya komponen hambatan yang bekerja pada lambung monohull / katamaran untuk aliran laminar dan turbulen dengan jarak dengan rasio  $S/L$  0.2 sampai  $S/L$  0.4.

Pembuatan model dan *meshing* dilakukan pada Ansys Fluent, kemudian menyelidiki secara numeric (CFX) dimulai dengan *Pre-processing* yang meliputi inisialisasi *boundary condition*, pemilihan model, pemilihan fluida dan struktur. Langkah berikutnya adalah tahap pemilihan *solver*. Tujuan yang ingin didapatkan dalam simulasi numeric ini adalah mendapatkan gaya/ hambatan pada lambung kapal dan fenomena hambatan viskos dan hambatan gelombang dengan mengetahui kecepatan aliran disekitar lambung perubahan tekanan diantara lambungnya dengan meng-variasikan jarak antara lambung melintang ( $S/L$ ) dan lambung membujur ( $R/L$ ).

Pada simulasi akan diketahui besarnya komponen hambatan yang bekerja pada lambung *monohull/catamaran*. Simulasi *free-surface modeling* (pada media air dan udara) digunakan untuk menghitung besar hambatan total pada lambung. Dinding (*wall*) untuk domain fluida pada kondisi *free slip* yaitu *shear stress* pada dinding bernilai nol dan kecepatan didekat dinding tidak mengalami perlambatan

akibat efek gesekan dinding. Pada simulasi ini, model dibuat dengan kondisi *no slip* (yaitu terjadi gesekan dipermukaan model). Sedangkan untuk menghitung hambatan viskos, lambung kapal dicelupkan dibenamkan (pada media air) hingga pada sarat air dengan mengasumsikan kondisi batas atas (*top boundary condition*) adalah *solid wall* dan *free slip*. Kemudian hambatan gelombang dapat dihitung dari selisih nilai hambatan total dan hambatan viskos.

#### 4.1 Persamaan Kontinuitas

Pada *control volume* pada persamaan (2.24) digambarkan arah fluks massanya, persamaan (2.24) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \nabla + \rho \mathbf{V} A|_{out} - \rho \mathbf{V} A|_{in} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \Delta x \Delta y \Delta z + \rho(u_e - u_w) \Delta y \Delta z + \rho(v_n - v_s) \Delta x \Delta z + \rho(w_b - w_t) \Delta x \Delta y = 0$$

Kedua ruas dibagi dengan  $\Delta x \Delta y \Delta z$ , maka diperoleh persamaan sebagai berikut .:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\rho(u_e - u_w)}{\Delta x} + \frac{\rho(v_n - v_s)}{\Delta y} + \frac{\rho(w_b - w_t)}{\Delta z} = 0$$

Karena dalam kasus ini adalah aliran *incompressible* (tak mampu mampat), maka densitas partikel fluida ( $\rho$ ) adalah konstan akibatnya

$$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

Sehingga dapat ditulis

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{atau} \quad \nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (4.2)$$

Dalam penelitian ini hanya arah lateral ( $x$ ) dan arah vertikal ( $y$ ) yang akan dikaji, maka persamaan (4.2) dapat ditulis sebagai berikut .:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4.3)$$

## 4.2 Persamaan momentum

Berdasarkan persamaan (2.27) dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho \nabla + \mathbf{V} \rho \mathbf{V} A|_{out} - \mathbf{V} \rho \mathbf{V} A|_{in} \mathbf{V} &= \Sigma F \\ \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho \Delta x \Delta y \Delta z + \mathbf{V} \rho (u_e - u_w) \Delta y \Delta z + \mathbf{V} \rho (v_n - v_s) \Delta x \Delta z + \mathbf{V} \rho (w_b - \\ w_t) \Delta x \Delta y &= \Sigma F \end{aligned} \quad (4.4)$$

Kedua ruas dibagi dengan  $\Delta x \Delta y \Delta z$ , maka diperoleh persamaan sebagai berikut .:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho + \mathbf{V} \frac{\rho(u_e - u_w)}{\Delta x} + \mathbf{V} \frac{\rho(v_n - v_s)}{\Delta y} + \mathbf{V} \frac{\rho(w_b - w_t)}{\Delta z} = \frac{\Sigma F}{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (4.5)$$

Karena dalam kasus ini  $\rho$  adalah aliran *incompressible* (tak mampu mampat), maka persamaan (4.5) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho + \mathbf{V} \frac{\rho(u_e - u_w)}{\partial x} + \mathbf{V} \frac{\rho(v_n - v_s)}{\partial y} + \mathbf{V} \frac{\rho(w_b - w_t)}{\partial z} = \frac{\Sigma F}{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (4.6)$$

Selanjutnya dalam penelitian ini terdapat tiga jenis gaya yang terlibat, yaitu gaya viskositas, gaya tekan, dan gaya gravitasi bumi. Sehingga persamaan (4.6) dapat dituliskan sebagai berikut .:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho + \mathbf{V} \frac{\rho(u_e - u_w)}{\partial x} + \mathbf{V} \frac{\rho(v_n - v_s)}{\partial y} &= \frac{F_{viscous} + F_{press} + F_{gravitasi}}{\Delta x \Delta y \Delta z} \\ \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho + \rho \nabla \cdot \mathbf{V} \mathbf{V} &= \frac{F_{viscous} + F_{press} + F_{gravitasi}}{\Delta x \Delta y \Delta z} \end{aligned} \quad (4.7)$$

dengan  $\nabla \cdot \mathbf{V} \mathbf{V} = \mathbf{V} \cdot (\nabla \mathbf{V}) + \mathbf{V} (\nabla \cdot \mathbf{V})$  berdasarkan persamaan (4.2)  $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$  maka  $\nabla \cdot \mathbf{V} \mathbf{V} = \mathbf{V} \cdot (\nabla \mathbf{V}) + \mathbf{V} (\nabla \cdot \mathbf{V}) = \mathbf{V} \cdot (\nabla \mathbf{V}) + \mathbf{0} = \mathbf{V} \cdot (\nabla \mathbf{V})$  sehingga persamaan (4.7) dapat ditulis sebagai berikut .:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} \rho + \rho \mathbf{V} \cdot (\nabla \mathbf{V}) = \frac{F_{viscous} + F_{press} + F_{gravitasi}}{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (4.8)$$

Dengan menggunakan persamaan (4.8) maka persamaan momentum arah x dan arah y dapat dituliskan sebagai berikut .:

Momentum arah sumbu x

$$\begin{aligned} \rho \delta x \delta y \delta z \frac{Du}{Dt} &= \left[ \sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \delta x - \sigma_{xx} \right] \delta y \delta z + \left[ \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta y - \tau_{yx} \right] \delta x \delta z \\ &+ g_x \rho \delta x \delta y \delta z \end{aligned}$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \rho g_x \quad (4.9)$$

Momentum arah sumbu y

$$\begin{aligned} \rho \delta x \delta y \delta z \frac{Dv}{Dt} &= \left[ \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} \delta x - \tau_{yx} \right] \delta y \delta z + \left[ \sigma_{yy} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \delta y - \sigma_{yy} \right] \delta x \delta z \\ &+ g_y \rho \delta x \delta y \delta z \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \rho g_y \end{aligned} \quad (4.10)$$

Fluida-fluida yang didalamnya tidak terdapat tegangan geser, tegangan normal pada sebuah titik tidak tergantung pada arahnya artinya,  $\sigma_{xx} = \sigma_{yy}$ . Dalam hal ini mendefinisikan tekanan (p), sebagai negatif dari tegangan normal sehingga

$$-p = \sigma_{xx} = \sigma_{yy} \quad (4.11)$$

Ketika menganggap  $\sum F_{surface}$  dapat memisahkan komponen x dari gaya tekan dan gaya viskos maka

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}, & \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} &= \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \\ \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}, & \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} &= \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}, \end{aligned}$$

Tegangan pada fluida statis memiliki bentuk persamaan :

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= -p \delta_{ij} + \tau_{ij} \\ \tau_{ij} &= \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \frac{u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \end{aligned} \quad (4.12)$$

dengan :

$$\begin{aligned} \delta_{ij} &= 0 \quad \text{jika } i = j \\ &= 1 \quad \text{jika } i \neq j \end{aligned}$$

Dalam tesis ini hanya mempertimbangkan fluida Newtonian. Untuk fluida ini, tegangan normal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u) \\
\tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u) \\
\tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\
\tau_{yz} &= \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\
\tau_{zx} &= \tau_{xz} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Persamaan (4.13) disubstitusikan dengan persamaan (4.9) dan (4.10) maka akan diperoleh

Persamaan momentum arah x

$$\begin{aligned}
\rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \rho g_x \\
&= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \rho g_x \\
&= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla \cdot u) \right) + \rho g_x \\
&= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla \cdot u) + \rho g_x \\
&= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \rho g_x
\end{aligned} \tag{4.14}$$

Persamaan momentum arah y

$$\begin{aligned}
\rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \rho g_y \\
&= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u) \right) + \rho g_y
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla \cdot u) \right) + \rho g_y \\
&= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla \cdot u) + \rho g_y \\
&= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \mu \frac{\partial}{\partial y} (\nabla \cdot u) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla \cdot u) + \rho g_y \\
&= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \rho g_y \tag{4.15}
\end{aligned}$$

### 4.3 Persamaan Pembangun Non Dimensional

Persamaan pembangun dimensional yang telah didapat untuk aliran fluida sebelumnya, maka persamaan kontinuitas dan momentum adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{4.16}$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \right) + \rho g_x \tag{4.17}$$

Dengan kondisi isial dan kondisi batas sebagai berikut :

Kondisai inisial

$$u(x, y, t_0) = f_1(x, y)$$

$$v(x, y, t_0) = f_2(x, y)$$

$$\varphi(x, y, t_0) = f_3(x, y)$$

Kondisi batas  $u = c_1 \quad \frac{\partial u}{\partial x} = c_2 \quad au + b \frac{\partial u}{\partial x} = c_3 \tag{4.18}$

Pada tahap non-dimensional untuk persamaan berdimensi kontinuitas, momentum, akan diberikan variabel-variabel non-dimensional sebagai berikut ::

$$x^* = \frac{x}{L} \quad y^* = \frac{y}{L} \quad t^* = \frac{t}{L/V_\infty}$$

$$u^* = \frac{u}{V_\infty} \quad v^* = \frac{v}{V_\infty} \quad \mu^* = \frac{\mu}{\mu_\infty}$$

$$\rho^* = \frac{\rho}{\rho_\infty} \quad p^* = \frac{p}{\rho_\infty V_\infty^2} \quad g_x = g_x^* \frac{V_\infty^2}{L} \quad (4.19)$$

Berdasarkan persamaan (4.19) maka persamaan (4.16) dan (4.17) dapat dituliskan sebagai berikut :

Kontinuitas

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^* V_\infty}{\partial x^* L} + \frac{\partial v^* V_\infty}{\partial y^* L} &= 0 \\ \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} &= 0 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Momentum arah x

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho g_x \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g_x \\ \frac{\partial u^* V_\infty}{\frac{\partial t^* L}{V}} + u^* V_\infty \frac{\partial u^* V_\infty}{\partial x^* L} + v^* V_\infty \frac{\partial u^* V_\infty}{\partial y^* L} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^* V^2 \rho}{\partial x^* L} + \nu \left( \frac{\partial^2 u^* V_\infty}{\partial x^{*2} L^2} + \frac{\partial^2 u^* V_\infty}{\partial y^{*2} L^2} \right) + g_x^* \frac{V_\infty^2}{L} \\ \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} &= -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \nu \frac{1}{V_\infty L} \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right) + g_x^* \\ \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} &= -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right) + g_x^* \end{aligned} \quad (4.21)$$

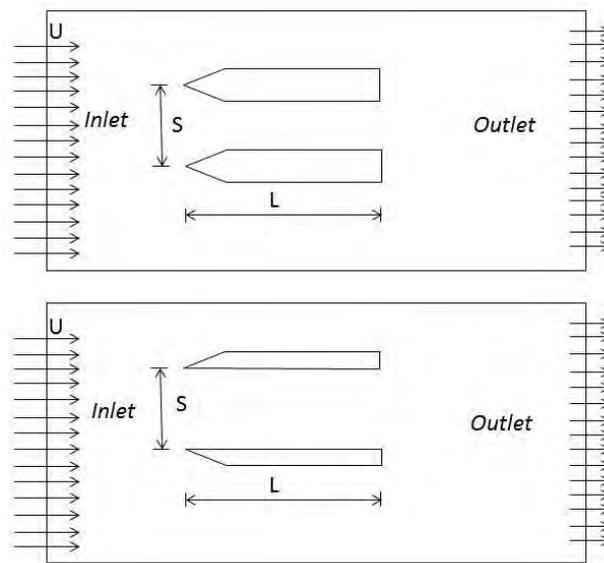
Momentum arah y

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho g_y \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g_y \\ \frac{\partial v^* V_\infty}{\frac{\partial t^* L}{V}} + u^* V_\infty \frac{\partial v^* V_\infty}{\partial x^* L} + v^* V_\infty \frac{\partial v^* V_\infty}{\partial y^* L} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p^* V^2 \rho}{\partial y^* L} + \nu \left( \frac{\partial^2 v^* V_\infty}{\partial x^{*2} L^2} + \frac{\partial^2 v^* V_\infty}{\partial y^{*2} L^2} \right) + g_y^* \frac{V_\infty^2}{L} \\ \frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} &= -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \nu \frac{1}{V_\infty L} \left( \frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) + g_y^* \end{aligned}$$

$$\frac{\partial v^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = - \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) + g_y^* \quad (4.22)$$

#### 4.4 Skema Aliran fluida di sekitar lambung katamaran.

Untuk mempermudah dalam menyelesaikan permasalahan aliran fluida di sekitar lambung katamaran maka dibuat skema dari permasalahan tersebut. Sehingga, bisa membantu untuk menggambarkan bagaimana permasalahan tersebut.



Gambar 4.1 Model konfigurasi lambung kapal katamaran simetris dan tidak simetris

Pada gambar 4.1 menjelaskan bahwa sebuah domain bentuk persegi panjang yang digunakan untuk meletakkan konfigurasi jarak secara melintang ( $S/L$ ). Dimana  $S$  adalah konfigurasi jarak melintang antara lambung,  $L$  adalah panjang kapal. Anak panah sebelah kiri menunjukkan bahwa aliran masuk (*inlet*) dari depan lambung kapal dengan kecepatan  $u$  yang sejajar dengan sumbu-x. Selain itu, terdapat kecepatan  $v$  yang sejajar dengan sumbu-y.

#### 4.5 Diskritisasi Model Matematika

Diskritisasi adalah proses yang digunakan untuk mendapatkan suatu penyelesaian pendekatan dari persamaan differensial dengan cara membagi keseluruhan objek menjadi bagian-bagian kecil yang disebut dengan *Grid (Mesh)*. Besarnya jumlah *cell* atau *grid* yang digunakan dalam perhitungan akan

menentukan keakuratan hasil yang diperoleh. *Grid (mesh)* di bagian depan lambung berjarak hingga 1.5 panjang model lambung, dibagian belakang lambung berjarak 4 kali panjang lambung. Kemudian kesamping berjarak 1.5 kali panjang model. Tipe *grid* yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan Navier-Stokes pada permasalahan ini adalah tipe *staggered grid* karena sesuai dengan komponen yang digunakan pada persamaan Navier-Stokes yaitu menggunakan komponen dengan variabel primitif.

Diberikan Persamaan Navier-Stokes untuk fluida *incompressible, unsteady* dan *viscous* dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{u}\mathbf{u} + \nabla P = \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (4.23)$$

dengan :

$\mathbf{u}$  adalah vektor kecepatan berupa  $(x, y)$

$P$  adalah tekanan

$Re$  adalah bilangan Reynolds

Untuk menyelesaikan Persamaan Navier-Stokes dengan skema numerik, maka persamaan ditulis ulang menjadi persamaan differensial yaitu :

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

2. Persamaan Momentum

Momentum-x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{1}{Re} \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (4.24)$$

Momentum-y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{1}{Re} \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (4.25)$$

Inisial untuk setiap komponen

Diberikan kondisi awal untuk komponen kecepatan dan komponen tekanan. Terdapat dua komponen kecepatan yaitu komponen kecepatan-u yaitu sejajar dengan sumbu-x dan komponen kecepatan-v yaitu sejajar dengan sumbu-y.

Jumlah kedua komponen kecepatan tersebut sama dengan satu dengan rincian sebagai berikut :

$$(u^*)^n = 1$$

$$(v^*)^n = 0$$

sedangkan untuk komponen tekanan diasumsikan  $(p^*)^n = 0$ , karena pada kondisi awal belum ada aliran fluida yang bergerak dan memberikan tekanan pada jarak lambung kapal.

Menghitung nilai  $(u^*)^{n+1}$ ,  $(v^*)^{n+1}$  dengan mengabaikan nilai  $(p^*)^n$

Menggunakan persamaan momentum untuk memperoleh nilai  $(u^*)^{n+1}$ ,  $(v^*)^{n+1}$  dimana persamaan momentum-x untuk penyelesaian  $(u^*)^{n+1}$ , dan persamaan momentum-y untuk penyelesaian  $(v^*)^{n+1}$

Dengan mengabaikan nilai  $(p^*)$ , sehingga persamaan (4.24) dapat ditulis menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + u \underbrace{\left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)}_0 + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \end{aligned} \quad (4.26)$$

Persamaan (4.26) disubstitusikan kedalam persamaan differensial sehingga mendapatkan sistem persamaan linier sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} &= -u_{i,j}^n \left( \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) - v_{i,j}^n \left( \frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) \\ &+ \frac{1}{\text{Re}} \left[ \left( \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) \right] \\ u_{i,j}^{n+1} &= u_{i,j}^n + \Delta t \left\{ -u_{i,j}^n \left( \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) - v_{i,j}^n \left( \frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) \right. \\ &\left. + \frac{1}{\text{Re}} \left[ \left( \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Momentum-y

Dengan mengabaikan nilai ( $p^*$ ), sehingga persamaan (4.25) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \\
\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \\
\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + \underbrace{v \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)}_0 + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \\
\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{1}{\text{Re}} \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \tag{4.28}
\end{aligned}$$

Persamaan (4.28) disubstitusikan kedalam persamaan differensial sehingga mendapatkan sistem persamaan linier sebagai berikut .:

$$\begin{aligned}
\frac{v_{ij}^{n+1} - v_{ij}^n}{\Delta t} &= -u_{ij}^n \left( \frac{v_{i+1,j}^n - v_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) - v_{ij}^n \left( \frac{v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) \\
&+ \frac{1}{\text{Re}} \left[ \left( \frac{v_{i+1,j}^n - 2v_{ij}^n + v_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{v_{i,j+1}^n - 2v_{ij}^n + v_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) \right] \\
v_{ij}^{n+1} &= v_{ij}^n + \Delta t \left\{ -u_{ij}^n \left( \frac{v_{i+1,j}^n - v_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) - v_{ij}^n \left( \frac{v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) \right. \\
&\left. + \frac{1}{\text{Re}} \left[ \left( \frac{v_{i+1,j}^n - 2v_{ij}^n + v_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{v_{i,j+1}^n - 2v_{ij}^n + v_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) \right] \right\} \tag{4.29}
\end{aligned}$$

Selanjutnya mencari nilai tekanan dengan menggunakan persamaan Poisson dan kecepatan sementara. Persamaan dapat diperoleh dengan memperhatikan kembali persamaan momentum dan persamaan kontinuitas.

Persamaan kontinuitas

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0 \\
\left( \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) + \left( \frac{v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) &= 0 \\
\left( \frac{u_{i+1,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^{n+1}}{2\Delta x} \right) + \left( \frac{v_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j-1}^{n+1}}{2\Delta y} \right) &= 0 \\
(u_{i+1,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^{n+1}) + (v_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j-1}^{n+1}) &= 0
\end{aligned}$$

Kemudian tulis kembali menjadi persamaan satu vektor dengan waktu  $n + 1$ , sehingga diperoleh :

$$\nabla U^{n+1} = 0$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \underbrace{\left(-\frac{\partial uu}{\partial x} - \frac{\partial uv}{\partial y}\right)}_A - \frac{\partial P}{\partial x} + \underbrace{\frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right]}_F$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \underbrace{\left(-\frac{\partial uv}{\partial x} - \frac{\partial vv}{\partial y}\right)}_A - \frac{\partial P}{\partial y} + \underbrace{\frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right]}_F$$

Persamaan momentum-x dan momentum-y dapat dinyatakan dalam bentuk satu persamaan vektor yaitu  $u_t = A - \nabla P + F$ . Kemudian persamaan vektor tersebut dipisah menjadi dua persamaan yaitu

$$u_t = A + F$$

$$u_t = -\nabla P$$

Ambil persamaan yang kedua yaitu  $u_t = -\nabla P$

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} = -\nabla P \quad (4.30)$$

Persamaan (4.30) diberikan operator  $\nabla$ , sehingga diperoleh

$$\frac{\nabla u_{i,j}^{n+1} - \nabla u_{i,j}^n}{\Delta t} = -\nabla^2 P \quad (4.31)$$

Karena pada persamaan kontinuitas waktu ke  $n + 1$  adalah  $\nabla u^{n+1} = 0$  maka persamaan (4.31) menjadi

$$\frac{-\nabla u_{i,j}^n}{\Delta t} = -\nabla^2 P \quad \text{atau} \quad \nabla^2 P = \frac{1}{\Delta t} \nabla u_{i,j}^n \quad (4.32)$$

Menyelesaikan persamaan poisson :

$$\nabla u_{i,j}^n = \nabla U_{i,j}^n = \left(\frac{U_{i+1,j}^n - U_{i-1,j}^n}{2\Delta x}\right) + \left(\frac{V_{i,j+1}^n - V_{i,j-1}^n}{2\Delta y}\right)$$

$$\nabla^2 P = \left(\frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2}\right) + \left(\frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2}\right)$$

$$\frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n = \left(\frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2}\right) + \left(\frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2}\right)$$

$$\frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n = \left(\frac{P_{i+1,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2}\right) + \left(\frac{P_{i,j+1}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2}\right) + \left(\frac{-2P_{i,j}^n}{(\Delta x)^2}\right) + \left(\frac{-2P_{i,j}^n}{(\Delta y)^2}\right)$$

$$\frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n = \left(\frac{P_{i+1,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2}\right) + \left(\frac{P_{i,j+1}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2}\right) + \left(\frac{-2(\Delta y)^2 P_{i,j}^n - 2(\Delta x)^2 P_{i,j}^n}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2}\right)$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n &= \left( \frac{P_{i+1,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{P_{i,j+1}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) - \left( \frac{2P_{i,j}^n ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2} \right) \\
P_{i,j}^n \left( \frac{2((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2} \right) &= \left( \frac{P_{i+1,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{P_{i,j+1}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) - \frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n \\
P_{i,j}^n &= \left[ \left( \frac{P_{i+1,j}^n + P_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} \right) + \left( \frac{P_{i,j+1}^n + P_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} \right) - \frac{1}{\Delta t} \nabla U_{i,j}^n \right] \left[ \frac{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2}{2((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)} \right] \quad (4.33)
\end{aligned}$$

Selanjutnya, agar penyelesaian persamaan Poisson bisa lebih cepat mencapai konvergensi maka dapat dilakukan dengan metode SOR (*Successive Over Relaxation*).

$$p_{i,j}^n = (1 - \omega)(p_{i,j}^{n-1}) + \omega P_{i,j}^n \quad (4.34)$$

Dimana  $\omega$  adalah parameter relaksasi. Karena menggunakan over relaksasi Koreksi komponen kecepatan dengan menggunakan komponen tekanan sementara yang telah dicapai konvergensi. Untuk memperoleh hubungan antara komponen kecepatan dengan komponen tekanan maka dapat dilakukan pada langkah sebelumnya yaitu dengan melakukan pemisahan pada persamaan momentum.

Momentum x

$$\begin{aligned}
u_t &= -\nabla P_x \\
\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} &= -\frac{P_{i+1,j}^n - P_{i-1,j}^n}{2\Delta x}
\end{aligned}$$

Dimana pada waktu sebelumnya diasumsikan nol. Sehingga, diperoleh koreksi nilai kecepatan

$$u_{i,j}^{n+1} = -\Delta t \left( \frac{P_{i+1,j}^n - P_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \right) \quad (4.35)$$

Momentum-y

$$\begin{aligned}
v_t &= -\nabla P_y \\
\frac{v_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^n}{\Delta t} &= -\frac{P_{i,j+1}^n - P_{i,j-1}^n}{2\Delta y}
\end{aligned}$$

Dimana pada waktu sebelumnya diasumsikan nol. Sehingga, diperoleh koreksi nilai kecepatan

$$v_{i,j}^{n+1} = -\Delta t \left( \frac{P_{i,j+1}^n - P_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \right) \quad (4.36)$$

Memperbarui semua nilai komponen.

Komponen Tekanan

$$P_{ij}^{n+1} = (p_{ij}^*)^n + P_{ij}^n \quad (4.37)$$

Komponen Kecepatan

$$U_{ij}^{n+1} = (u_{ij}^*)^n + u_{ij}^{n+1} \quad (4.38)$$

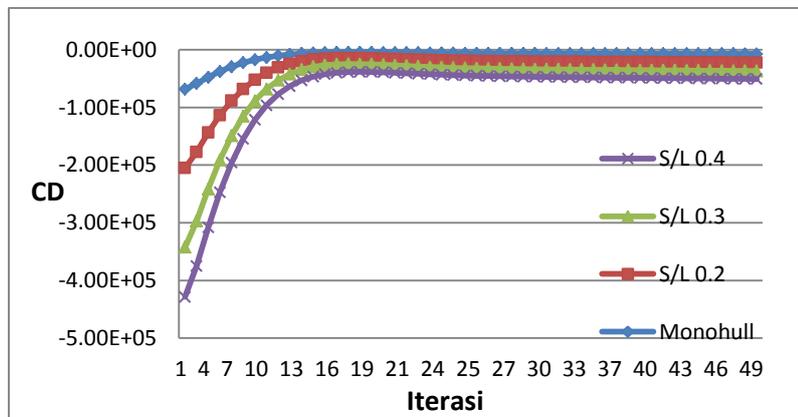
$$V_{ij}^{n+1} = (v_{ij}^*)^n + v_{ij}^{n+1} \quad (4.39)$$

#### 4.6 Hasil Running Komponen Hambatan Kapal

##### 4.6.1 Komponen Hambatan Kapal Dengan Jarak Melintang Lambung Katamaran Simetris (S/L)

Hasil running menunjukkan bahwa komponen hambatan kapal pada koefisien drag terhadap lambung kapal *monohull* dan *catamaran* adalah sebagai berikut :

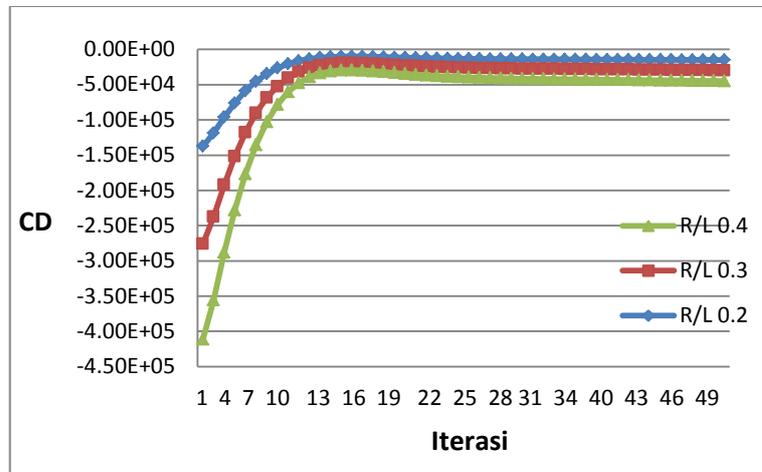
Lambung Simetris *Unstaggered*



Gambar 4.2 Grafik Koefisien drag pada lambung simetris *unstaggered*

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kapal dengan jenis lambung monohull nilai drag lebih besar dari pada nilai lambung jenis katamaran lambung simetris *unstaggered*. Untuk lambung simetris *unstaggered* dengan jarak rasio (S/L) semakin jauh maka nilai drag akan semakin kecil

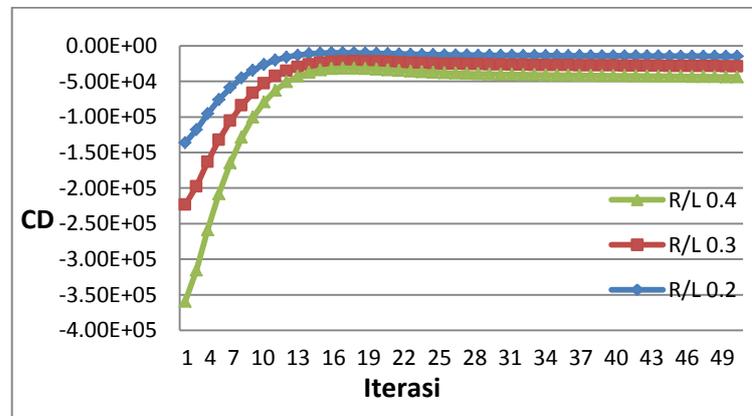
### Lambung Simetris *Staggered* S/L = 0.2



Gambar 4.3 Grafik Koefisien *drag* pada lambung simetris *Staggered* S/L = 0.2

Pada Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa lambung simetris sejajar dengan rasio S/L = 0.2 Untuk lambung simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

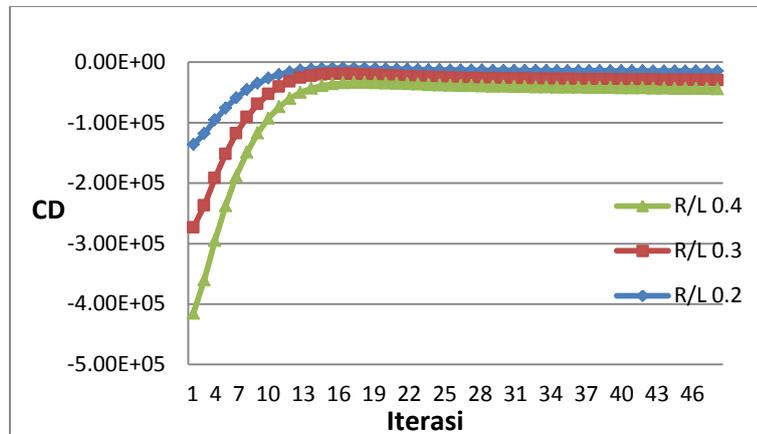
### Lambung Simetris *Staggered* S/L = 0.3



Gambar 4.4 Grafik Koefisien *drag* pada lambung simetris *Staggered* S/L 0.3

Pada Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa lambung simetris *staggered* dengan rasio S/L = 0.3 Untuk lambung simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

### Lambung Simetris *Staggered* S/L = 0.4

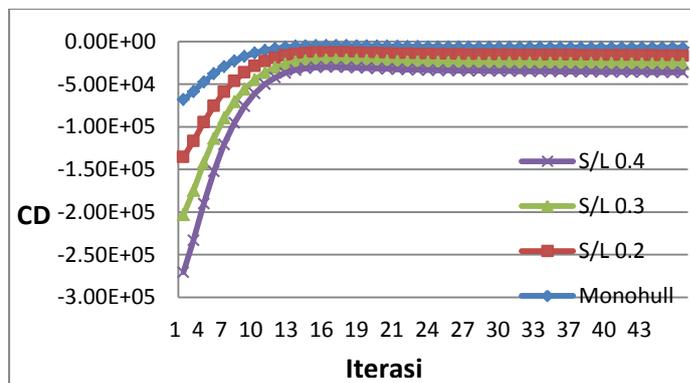


Gambar 4.5 Grafik Koefisien *drag* pada lambung simetris *staggered* S/L 0.4

Pada Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa lambung simetris *staggered* dengan rasio S/L = 0.4 Untuk lambung simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

### 4.6.2 Komponen Hambatan Dengan Jarak Melintang Lambung Katamaran Tidak Simetris (S/L)

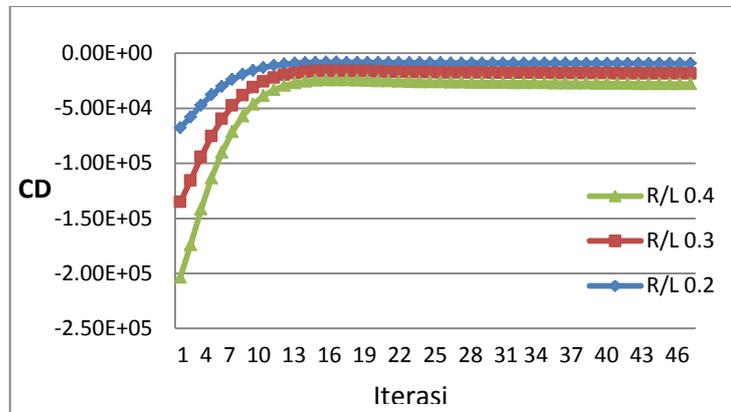
#### Lambung Tidak Simetris *Unstaggered*



Gambar 4.6 Grafik Koefisien *drag* pada lambung tidak simetris *unstaggered*

Untuk kapal katamaran dengan bentuk lambung tidak simetris pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kapal dengan jenis lambung monohull nilai *drag* lebih besar dari pada nilai lambung jenis katamaran lambung tidak simetris *unstaggered*. Untuk lambung tidak simetris dengan jarak rasio (S/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil.

Lambung Tidak Simetris *Staggered*  $S/L = 0.2$

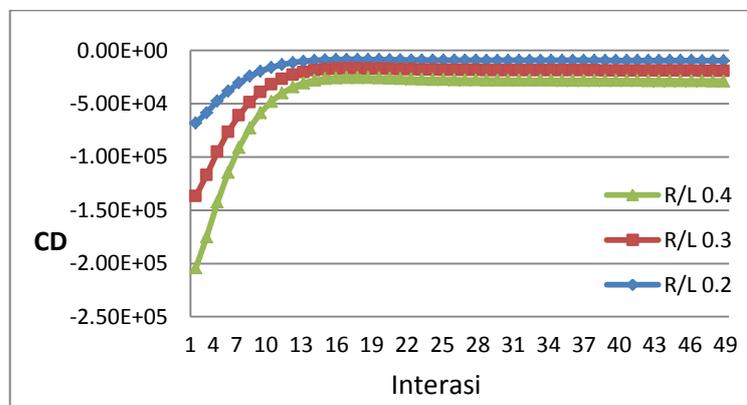


Gambar 4.7 Grafik Koefisien *drag* pada lambung tidak simetris

*Staggered*  $S/L = 0.2$

Pada Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa lambung tidak simetris *Staggered* dengan rasio  $S/L = 0.2$  Untuk lambung simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

Lambung Tidak Simetris *Staggered*  $S/L = 0.3$

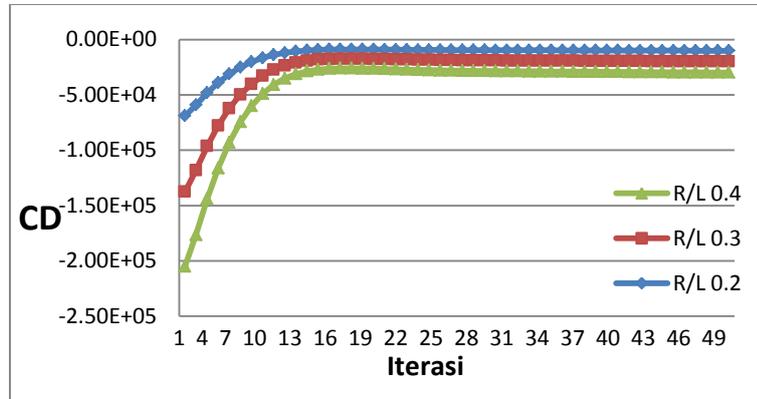


Gambar 4.8 Grafik Koefisien *drag* pada lambung tidak simetris

*Staggered*  $S/L = 0.3$

Pada Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa lambung tidak simetris *Staggered* dengan rasio  $S/L = 0.3$  Untuk lambung tidak simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

### Lambung Tidak Simetris *Staggered* $S/L = 0.4$



Gambar 4.9 Grafik Koefisien drag pada lambung tidak simetris

#### *Staggered* $S/L 0.4$

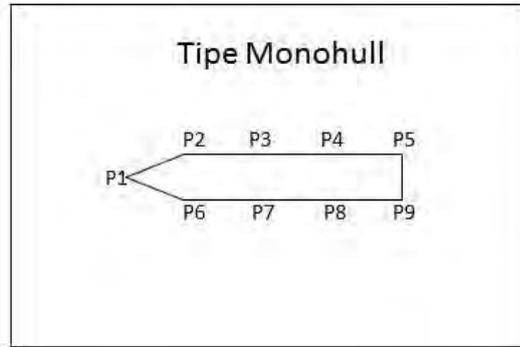
Pada Gambar 4.9 memperlihatkan bahwa lambung tidak simetris *Staggered* dengan rasio  $S/L = 0.4$  Untuk lambung simetris dengan jarak rasio (R/L) semakin jauh maka nilai *drag* akan semakin kecil

#### 4.7 Tekanan (*pressure*) di sekitaran lambung

Tekanan diantara lambung monohull / katamaran dengan variasi jarak rasio lambung dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan 4.11. Tekanan di sekitaran lambung katamaran untuk rasio jarak lambung  $S/L 0.2$ , hingga,  $S/L 0.4$  dan  $R/L = 0.2$  hingga  $R/L = 0.4$ .

Tekanan pada permukaan model lambung kapal yang diukur dengan beberapa *pressure* dengan posisi pada sarat air (*draft*) disepanjang lambung untuk mengetahui distribusi tekanan disekitar (diantara) lambung kapal. Tekanan pada permukaan model lambung kapal digunakan untuk menentukan distribusi tekanan disekitar lambung kapal.

#### 4.7.1 Simulasi tekanan pada lambung monohull



Gambar 4.10 Konfigurasi posisi pengukuran tekanan pada lambung monohull

Tabel 4.1 Nilai tekanan pada kapal monohull

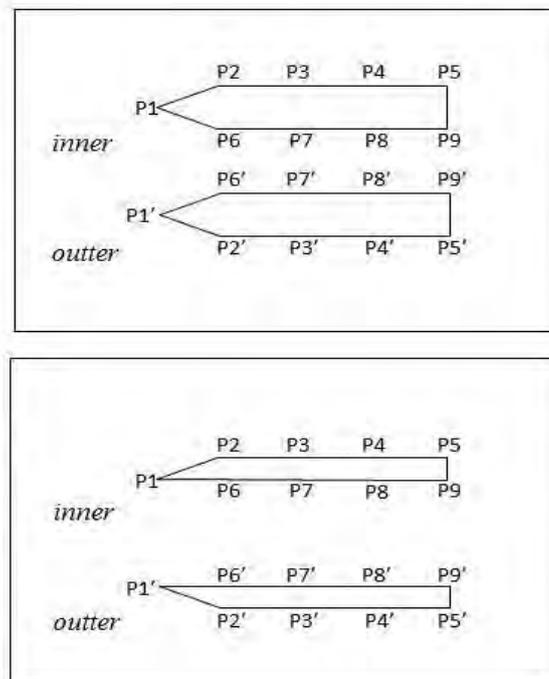
Posisi	Nilai (P)
P1	2078.45
P2	353.82
P3	464.91
P4	869.66
P5	-279.48
P6	327.87
P7	417.22
P8	869.66
P9	-364.59

Pada tabel 4.1 untuk kapal monohull nilai tekanan pada posisi depan kapal *bow* P1 mengalami tekanan yang lebih besar kemudian akan menurun nilai tekanan pada posisi P2,P6 kemudian nilai tekanan akan meningkat pada P3,P4,P7,P8 dan pada bagian belakang lambung kapal *stern* P5,P9 akan mengalami penurunan tekanan.

#### 4.7.2 Simulasi tekanan pada lambung katamaran

Tekanan diantara lambung berpengaruh terhadap jarak antar lambung (S/L), dimana tekanan semakin besar dengan mengecilnya jarak antara lambung (S/L). Semakin besar kecepatan kapal maka semakin besar pula tekanan yang terjadi di sekitaran lambung.

Gambar 4.11. Memperlihatkan konfigurasi posisi pengamatan untuk mengetahui tekanan si sekitar kedua lambung kapal (*inner*) dan aliran diluar lambung kapal (*outter*).



Gambar 4.11 Konfigurasi posisi pengukuran tekanan pada lambung katamaran simetris dan tidak simetris

Tabel 4.2 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris *Unstaggered*

Posisi	S/L = 0.2	S/L = 0.3	S/L = 0.4
P1	2010.68	2596.02	2390.87
P2	278.32	351.05	299.72
P3	294.51	533.38	575.88
P4	923.77	938.18	931.71
P5	-440.17	-354.82	223.69
P6	522.85	477.90	353.60
P7	365.45	400.50	541.79
P8	1603.95	1408.29	825.55
P9	261.49	-362.08	323.74
P1'	2006.66	4323.29	2285.36
P2'	273.40	355.16	306.24
P3'	278.83	307.095	553.42
P4'	932.13	935.77	974.21
P5'	-451.97	-366.34	198.65
P6'	507.85	472.39	365.38
P7'	269.97	344.84	542.09
P8'	1608.84	1413.88	839.92
P9'	253.22	-262.08	282.70

Tabel 4.2 memperlihatkan kapal katamaran simetris *unstaggered* tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih besar dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) menurun dengan membesarnya rasio jarak antara lambung dari S/L = 0.2 hingga S/L = 0.4

Tabel 4.3 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris *Staggered*  $S/L = 0.2$

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	2342.4	2281.66	2764.78
P2	393.65	391.19	529.76
P3	389.88	463.04	641.79
P4	639.76	627.44	688.00
P5	-25.95	-69.12	49.01
P6	550.24	460.38	446.47
P7	540.08	832.18	697.67
P8	628.89	333.77	621.48
P9	-312.71	-139.76	-254.25
P1'	2330.55	1700.72	2197.84
P2'	221.54	240.34	306.38
P3'	368.96	444.96	609.85
P4'	705.25	713.83	752.44
P5'	-256.81	-214.42	-147.59
P6'	115.74	210.75	250.97
P7'	668.22	507.76	524.31
P8'	756.49	706.30	727.42
P9'	-357.64	-270.56	-336.51

Tabel 4.3 memperlihatkan kapal katamaran simetris *Staggered*  $S/L = 0.2$  tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih besar dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan P1 lebih besar dari pada P1' dikarenakan pengaruh dari jarak membujur antar lambung (R/L) tekanan diantara lambung (*inner*) meningkat dengan membesarnya rasio jarak antara lambung dari  $R/L = 0.2$  hingga  $R/L = 0.4$

Tabel 4.4 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris *Staggered*  
 $S/L = 0.3$

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	2109.75	1788.05	1940.63
P2	439.58	292.378	465.50
P3	596.692	710.025	613.03
P4	619.217	645.228	711.40
P5	-1090.68	-190.014	-116.96
P6	503.725	373.631	1509.67
P7	645.979	633.367	678.15
P8	375.991	866.503	702.69
P9	-547.182	-285.662	-167.35
P1'	2285.53	2401.05	1628.42
P2'	247.324	233.292	221.55
P3'	335.575	573.595	403.23
P4'	686.502	959.925	715.98
P5'	-727.053	55.0813	-335.49
P6'	246.978	183.401	231.62
P7'	437.041	848.221	641.98
P8'	781.389	612.458	668.77
P9'	-199.037	55.8089	-274.86

Tabel 4.4 memperlihatkan kapal katamaran simetris *Staggered*  $S/L = 0.3$  tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih besar dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) penurunan dengan rasio jarak antara lambung dari  $R/L = 0.3$  serta meningkat dengan rasio jarak lambung  $R/L = 0.2, R/L = 0.4$

Tabel 4.5 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung simetris *Staggered*  
 $S/L = 0.4$

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	2041.68	2041.68	2370.14
P2	287.70	287.70	393.94
P3	572.13	572.13	619.27
P4	771.27	771.27	741.05
P5	-431.38	-431.38	-682.39
P6	345.99	345.99	389.77
P7	581.31	581.31	639.13
P8	660.57	660.57	723.60
P9	-439.59	-439.59	-123.26
P1'	1729.98	1729.98	2161.66
P2'	333.74	333.74	220.86
P3'	584.67	584.67	591.37
P4'	882.12	882.12	784.34
P5'	-552.60	-552.60	-409.91
P6'	307.57	307.57	107.32
P7'	455.15	455.15	588.78
P8'	1174.81	1174.81	767.21
P9'	-745.80	-745.80	-436.74

Tabel 4.5 Memperlihatkan kapal katamaran simetris *Staggered*  $S/L = 0.4$  tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih besar dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) penurunan dengan rasio jarak antara lambung dari  $R/L = 0.2$  hingga  $R/L = 0.4$

Tabel 4.6 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris *Unstaggered*

posisi	S/L = 0.2	S/L = 0.3	S/L = 0.4
P1	1119.28	1760.02	1741.52
P2	507.80	416.13	489.19
P3	479.07	535.52	620.33
P4	761.39	794.09	811.65
P5	-424.92	-237.99	-351.77
P6	806.78	776.03	768.36
P7	620.20	483.15	472.27
P8	691.16	787.04	826.35
P9	-169.04	-203.28	-508.68
P1'	1256.96	1884.84	1447.62
P2'	518.62	430.08	465.35
P3'	452.21	320.29	631.46
P4'	709.42	840.20	631.46
P5'	-416.47	-182.59	-371.05
P6'	807.88	776.03	772.38
P7'	616.16	498.99	531.83
P8'	695.12	770.95	819.91
P9'	-169.04	-240.51	-363.70

Tabel 4.6 memperlihatkan kapal katamaran tidak simetris *unstaggered* tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih kecil dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' tekanan diantara lambung (*inner*) menurun dengan rasio jarak antara lambung dari S/L = 0.2 , S/L 0.3 dan pada Rasio S/L = 0.4 mengalami kenaikan.

Tabel 4.7 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris  
*Staggered* S/L = 0.2

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	1084.04	1389.43	1071.54
P2	464.58	506.86	473.50
P3	458.51	486.92	471.34
P4	753.55	775.16	801.01
P5	-105.06	-207.85	-239.26
P6	827.15	821.06	825.31
P7	709.72	734.92	742.96
P8	623.13	661.94	770.05
P9	-377.65	-232.06	-125.28
P1'	1249.62	553.69	834.36
P2'	393.68	410.63	424.55
P3'	396.88	407.69	420.00
P4'	742.32	755.74	769.52
P5'	-129.45	-424.82	-344.58
P6'	653.38	598.24	643.02
P7'	639.13	688.94	686.92
P8'	727.54	720.14	742.23
P9'	-184.14	-221.27	-422.68

Tabel 4.7 Memperlihatkan kapal katamaran lambung tidak simetris *Staggered* S/L = 0.2 tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih besar dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) penurunan dengan rasio jarak antara lambung dari R/L = 0.2 ,R/L = 0.3 serta meningkat dengan rasio jarak lambung R/L = 0.4

Tabel 4.8 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris  
*Staggered* S/L = 0.3

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	1410.69	1332.74	1055.69
P2	1227.68	463.83	516.90
P3	426.87	600.68	591.54
P4	793.86	849.57	804.81
P5	-198.35	-332.27	-100.30
P6	934.02	798.59	832.77
P7	697.29	555.08	608.43
P8	554.61	876.71	829.16
P9	-304.66	-615.71	-129.72
P1'	938.82	1369.91	1247.36
P2'	444.94	410.54	418.83
P3'	391.60	379.73	416.13
P4'	716.14	863.63	755.77
P5'	-577.45	-462.72	-293.05
P6'	785.17	670.06	681.10
P7'	465.91	557.37	596.87
P8'	715.66	1124.15	769.34
P9'	-491.75	-483.75	-417.05

Tabel 4.8 memperlihatkan kapal katamaran lambung tidak simetris *Staggered* S/L = 0.3 tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih kecil dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) meningkat dengan membesarnya rasio jarak antara lambung dari R/L = 0.2 hingga R/L = 0.4

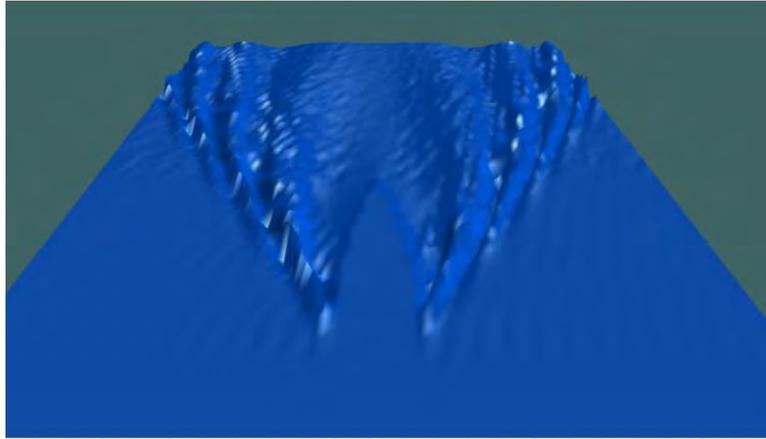
Tabel 4.9 Nilai tekanan pada kapal katamaran lambung tidak simetris  
*Staggered* S/L = 0.4

Posisi	R/L = 0.2	R/L = 0.3	R/L = 0.4
P1	1528.60	1911.29	-1882.00
P2	606.38	545.37	886.16
P3	643.58	663.24	755.89
P4	758.65	770.43	806.45
P5	-152.27	-146.73	-295.62
P6	824.90	817.93	4447.14
P7	522.92	585.34	1121.62
P8	747.84	802.83	948.72
P9	-468.15	-445.34	-160.48
P1'	1691.94	1716.28	1224.80
P2'	467.08	448.48	920.93
P3'	677.23	662.43	815.37
P4'	769.02	782.39	824.60
P5'	-161.43	-262.49	-153.41
P6'	781.73	737.59	1055.94
P7'	567.98	568.66	872.39
P8'	754.49	808.28	856.90
P9'	-494.52	-576.16	-228.17

Tabel 4.9 memperlihatkan kapal katamaran lambung tidak simetris *Staggered* S/L = 0.4 tekanan diantara lambung (*inner*) P6,P7,P8,P9, P6',P7',P8',P9' lebih kecil dari pada diluar lambung (*outer*) P2,P3,P4,P5, P2',P3',P4',P5' dan tekanan diantara lambung (*inner*) meningkat dengan membesarnya rasio jarak antara lambung dari R/L = 0.2 hingga R/L = 0.4

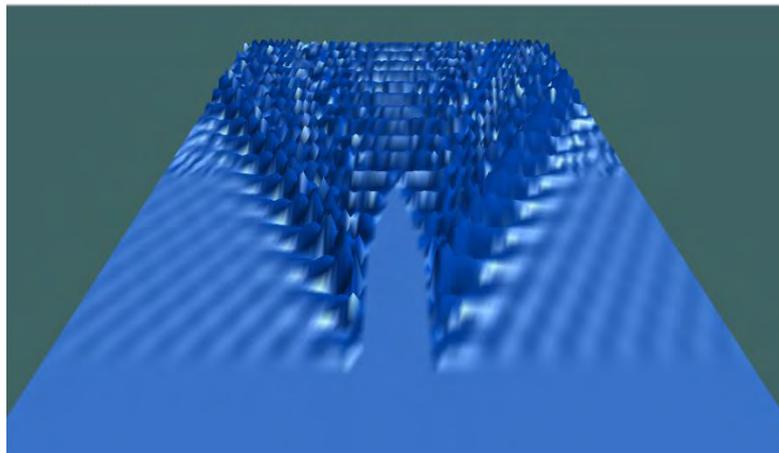
#### 4.8 Karakteristik Pola Gelombang pada Lambung

Observasi lambung kapal yang bergerak dipermukaan air menimbulkan 2 pola aliran, yaitu pola gelombang (*wave pattern*) yang bergerak dengan lambung dan aliran turbulen yang terbentuk disepanjang lambung kapal yang kemudian membentuk suatu aliran dibelakang kapal yang disebut (*wake*).



Gambar 4.12 Karakteristik pola gelombang pada kecepatan,  $Fr = 1.4$

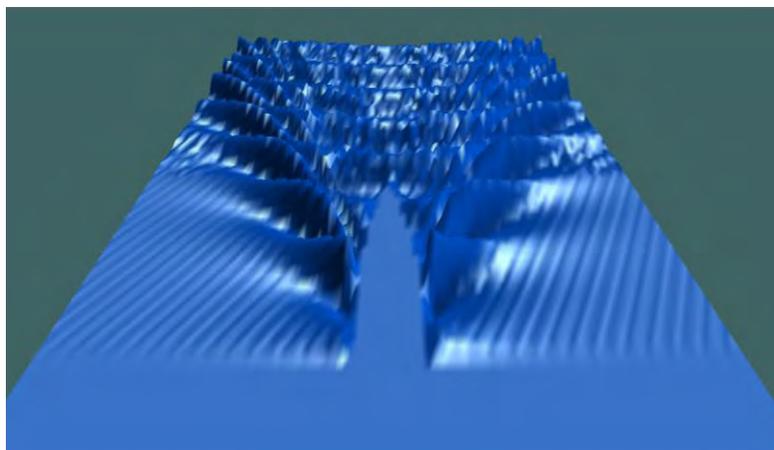
Pada Gambar 4.12 memperlihatkan karakteristik gelombang yang terjadi dan pengaruhnya terhadap kecepatan lambung kapal. Pada kecepatan rendah terjadi beberapa gelombang transversal dan jumlah gelombang tersebut semakin kecil dengan membesarnya kecepatan lambung kapal.



Gambar 4.13 Karakteristik pola gelombang pada kecepatan rendah,  $Fr = 2.8$

Pada  $Fr = 2.8$  panjang gelombang transversal adalah sama dengan lambung kapal, dimana ulekan air (*wake*) dibagian depan dan belakang lambung saling

menguat. Fenomene ini dikenalkan dengan *hull speed* sebab memberikan kecepatan yang lebih optimal (*top Speed*) seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4.14 Karakteristik pola gelombang pada kecepatan rendah,  $Fr = 4.19$

Pada Gambar 4.14 dengan kecepatan  $Fr = 4.19$ , gelombang transversal lebih panjang dari pada panjang lambung kapal. Dalam kondisi ini, terjadi perubahan *trim* dimana pada daerah pada bagian depan lambung lebih terbenam akibat timbulnya lembah gelombang dibagian belakang tersebut. Gelombang panjang tersebut secara alami merambat lebih cepat dari lambung dan gaya perambatannya menurun dengan semakin dominannya gelombang *divergen*.

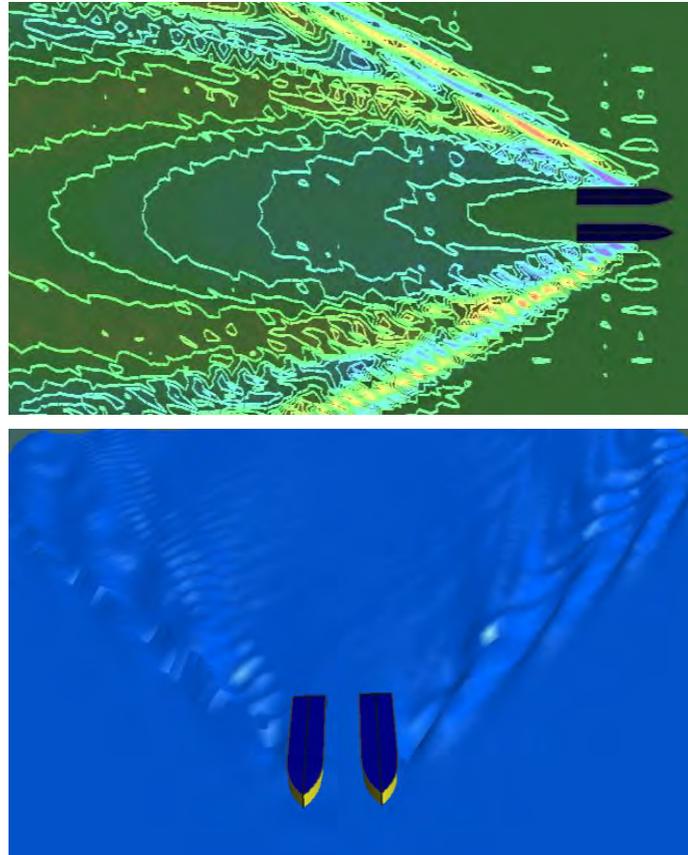
#### 4.8.1 Pola Gelombang pada Lambung Simetris

Hasil simulasi pola gelombang memperlihatkan terjadinya perubahan tekanan (*pressure*) elevasi gelombang (*wave making*) antara monohull dan katamaran. Aliran air disekitar lambung yang simetris dan tidak simetris yang disebabkan timbulnya interaksi aliran diantara lambung tersebut yaitu besar tekanan yang timbul disekitar lambung adalah relative tidak simetri terhadap garis tengah (*centerline*) lambung.

Perubahan pola (karakteristik) gelombang juga dipengaruhi oleh perubahan jarak antara lambung ( $S/L$ ) Semakin besar jarak antara lambung maka semakin kecil tekanan dan elevasi lambung yang terjadi diantara kedua lambung.

Hasil simulasi pola gelombang (*wave pattern*) untuk lambung simetris dengan variasi jarak antara lambung ( $S/L = 0.2, 0.3, \text{ dan } 0.4$ ) pada bilangan Froude 1.4, 2.4 dan 4.19 dapat dilihat pada Gambar 4.16 – 4.18.

### Pola Gelombang Lambung Simetris *Unstaggered* $S/L = 0.2$

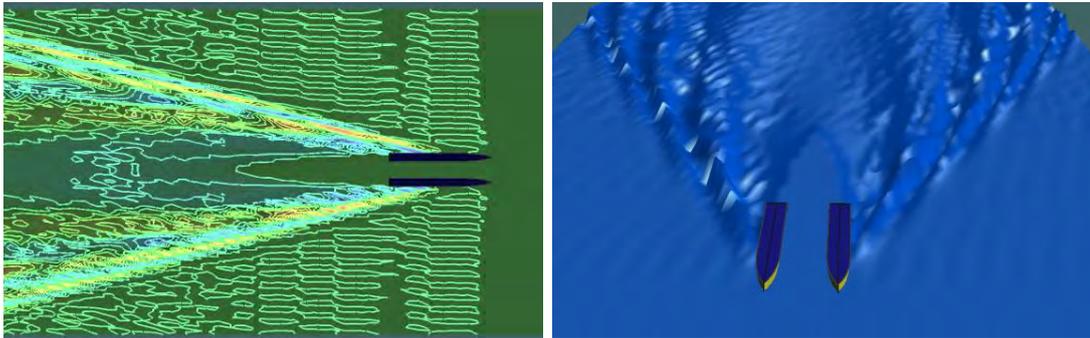


Gambar 4.15(a) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.2$  pada  $Fr = 1.4$

Pada Gambar 4.15(a) menunjukkan bahwa lambung simetris *unstaggered* dengan jarak rasio  $S/L = 0.2$  pada  $Fr = 1.4$  memperlihatkan karakteristik pola gelombang yang terjadi adalah relative lebih rendah karena dipengaruhi dengan kecepatan.

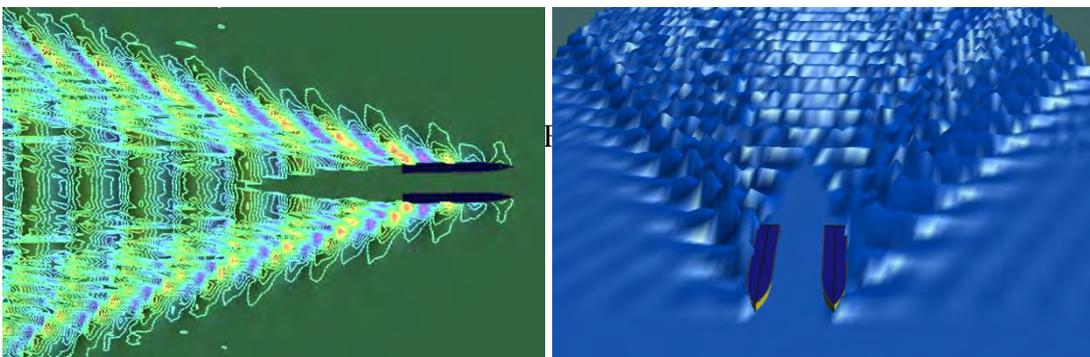


### Pola Gelombang Lambung Simetris *Unstaggered* $S/L = 0.3$



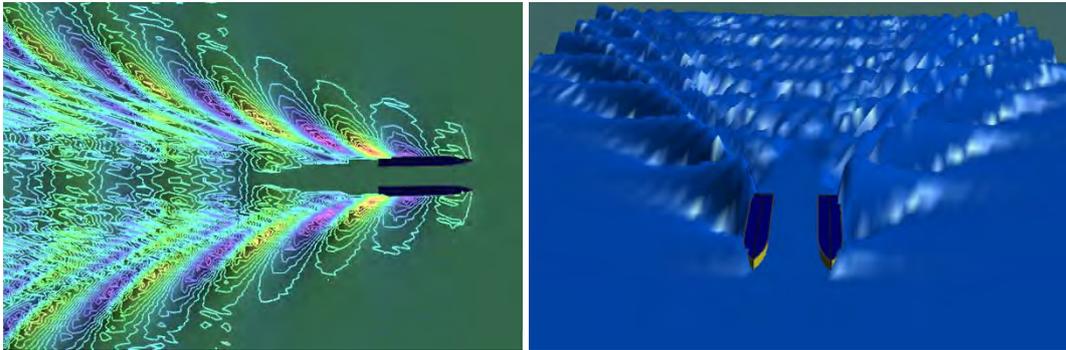
Gambar 4.16(a) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.3$  pada  $Fr = 1.4$

Pada Gambar 4.16(a) menunjukkan bahwa lambung simetris *unstaggered* dengan jarak rasio  $S/L = 0.3$  pada  $Fr = 1.4$  memperlihatkan karakteristik pola gelombang yang terjadi adalah relative lebih rendah karena dipengaruhi dengan kecepatan.



Gambar 4.16(b) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.3$  pada  $Fr = 2.8$

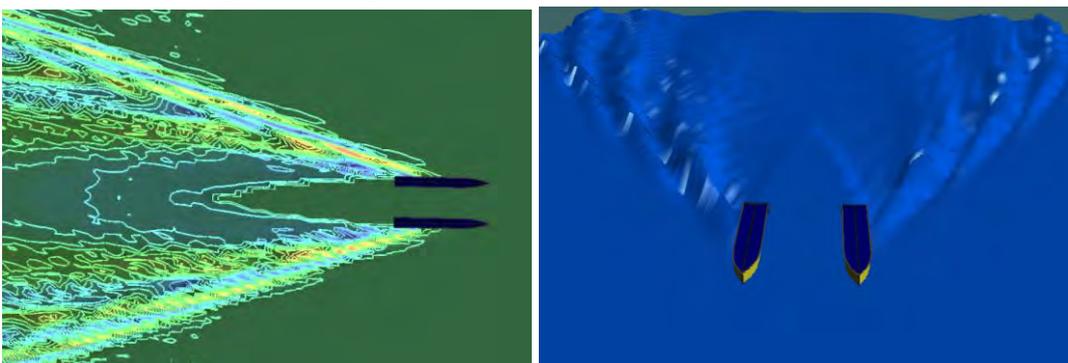
Pada Gambar 4.16(b) menunjukkan bahwa pola gelombang terlihat bahwa tinggi elevasi gelombang diantara kedua lambung. Pada  $Fr = 2.8$  tinggi gelombang mencapai ketidak stabilan dan mulai pecah dengan semakin bertambahnya kecepatan dan pola gelombang juga dipengaruhi perubahan jarak antar lambung ( $S/L$ ).



Gambar 4.16(c) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.3$   
pada  $Fr = 4.19$

Pada Gambar 4.16(c) memperlihatkan bahwa pola gelombang timbul akibat distorsi dua system gelombang dipermukaan yang berasal dari depan kapal. Bila kecepatan bertambah gelombang depan pada lambung katamaran yang membentuk dua atau tiga bukit (cusps) gelombang yang bergerak kearah belakang dengan semakin meningkatnya kecepatan pola gelombang juga dipengaruhi perubahan jarak antar lambung ( $S/L$ ).

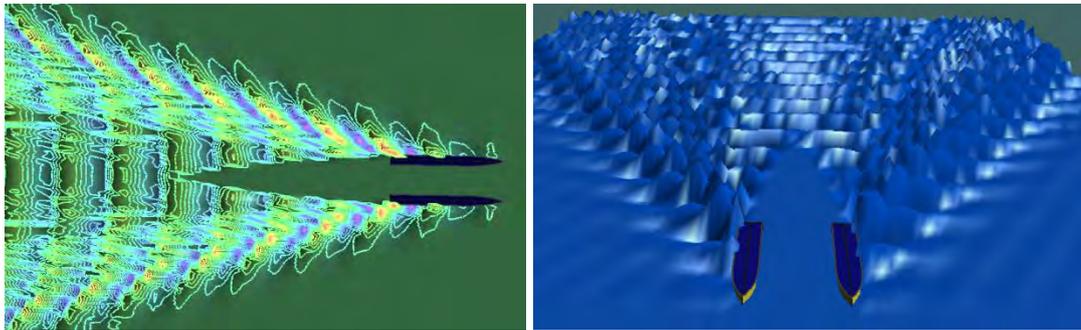
**Pola Gelombang Lambung Simetris *Unstaggered*  $S/L = 0.4$**



Gambar 4.17(a) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.4$   
pada  $Fr = 1.4$

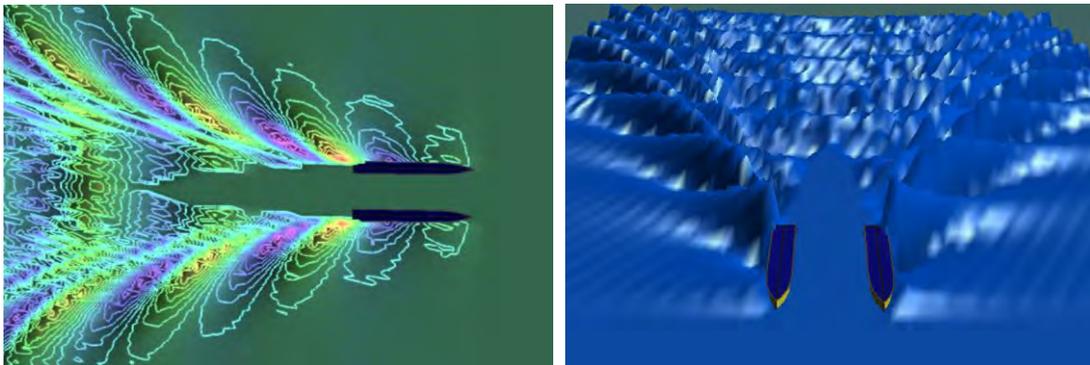
Pada Gambar 4.17(a) menunjukkan bahwa lambung simetris *unstaggered* dengan jarak rasio  $S/L = 0.4$  pada  $Fr = 1.4$  memperlihatkan karakteristik pola gelombang yang terjadi adalah relative lebih rendah karena dipengaruhi dengan

kecepatan dengan jarak lambung ( $S/L$ ). Semakin besar jarak antar lambung maka semakin kecil tekanan dan elevasi gelombang yang terjadi diantara kedua lambung.



Gambar 4.17(b) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.4$  pada  $Fr = 2.8$

Pada Gambar 4.17(b) menunjukkan bahwa pola gelombang terlihat bahwa tinggi elevasi gelombang diantara kedua lambung. Pada  $Fr = 2.8$  tinggi gelombang mencapai ketidak stabilan dan mulai pecah dengan semakin bertambahnya kecepatan dan pola gelombang juga dipengaruhi perubahan jarak antar lambung ( $S/L$ ).



Gambar 4.17(c) Pola gelombang katamaran simetris *Unstaggered*  $S/L=0.4$  pada  $Fr = 4.19$

Pada Gambar 4.17(c) memperlihatkan bahwa pola gelombang timbul akibat distorsi dua system gelombang dipermukaan yang berasal dari depan kapal. Bila kecepatan bertambah gelombang depan pada lambung katamaran yang membentuk dua atau tiga bukit (cusps) gelombang yang bergerak kearah

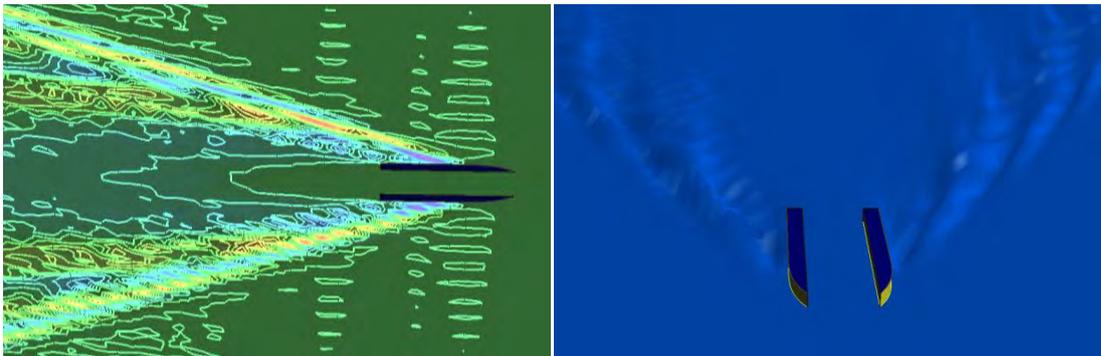
belakang dengan semakin meningkatnya kecepatan pola gelombang juga dipengaruhi perubahan jarak antar lambung ( $S/L$ ).

Gambar 4.15– 4.17 memperlihatkan bahwa pola aliran tidak simetris dibelakang lambung menimbulkan *viscous wake* yang berbeda pada setiap kecepatan dan hal yang sama juga dikemukakan oleh Insel dan Molland (1991) dari hasil penelitian.

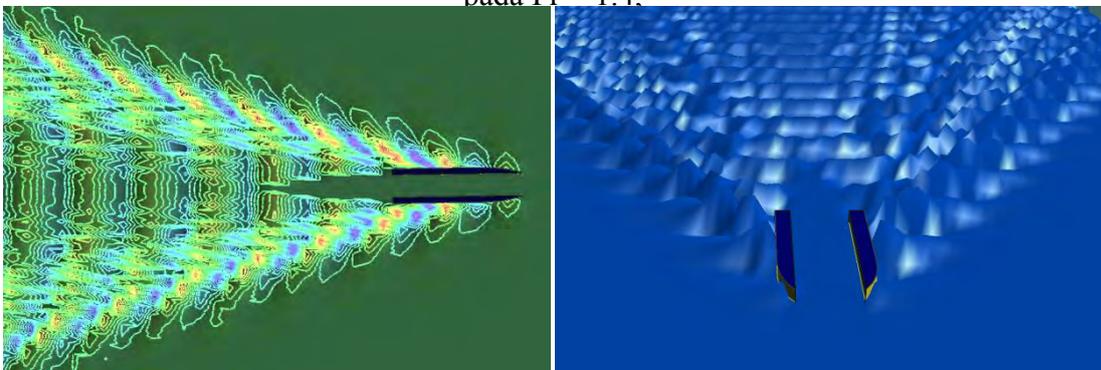
#### 4.8.2 Pola Gelombang pada Lambung Tidak Simetris

Hasil simulasi pola gelombang (*wave pattern*) untuk lambung tidak simetris dengan variasi jarak antara lambung ( $S/L = 0.2, 0.3, \text{ dan } 0.4$ ) pada bilangan Froude 1.4, 2.4 dan 4.19 dapat dilihat pada Gambar 4.18 – 4.20. Semakin besar jarak antara lambung maka semakin kecil elevasi interaksi gelombang yang terjadi diantara kedua lambungnya.

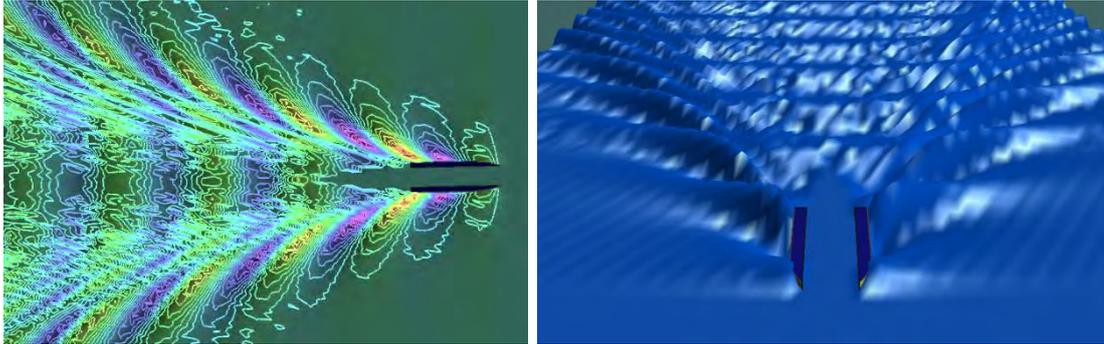
##### Pola Gelombang Lambung Tidak Simetris *Unstaggered* $S/L = 0.2$



Gambar 4.18(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  $S/L=0.2$  pada  $Fr = 1.4$ .

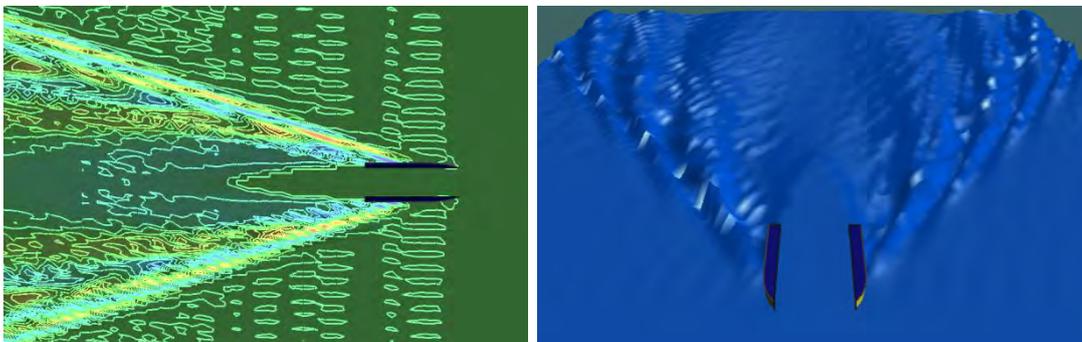


Gambar 4.18(b) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  $S/L=0.2$  pada  $Fr = 2.8$ ,

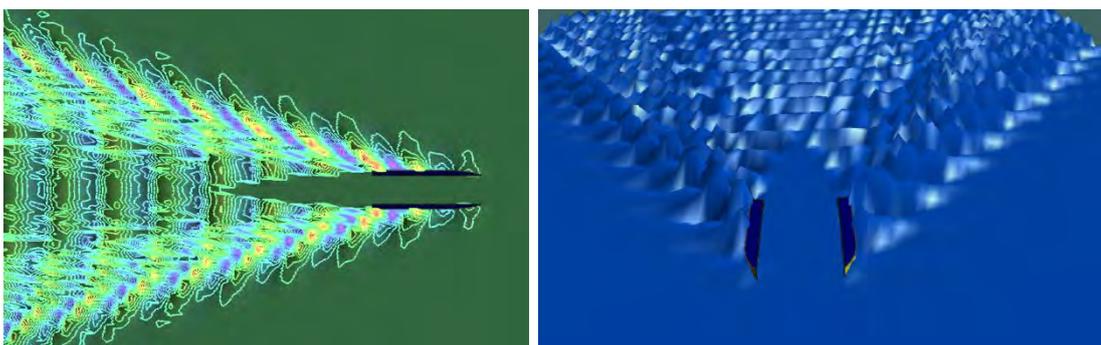


Gambar 4.18(c) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  $S/L=0.2$  pada  $Fr = 4.19$

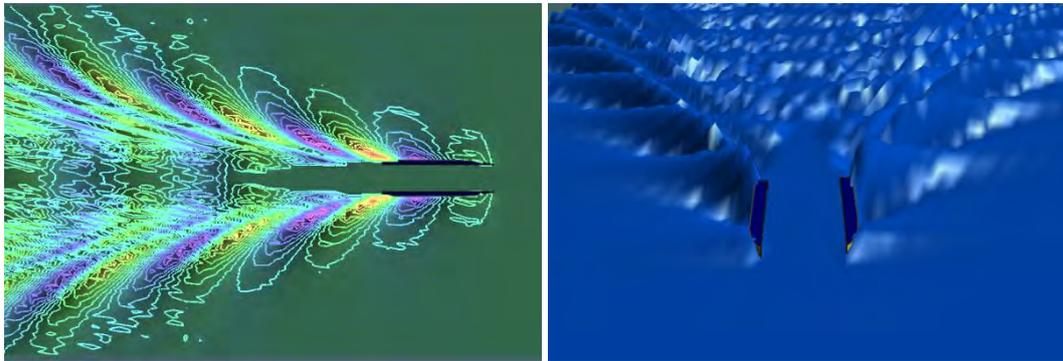
**Pola Gelombang Lambung Tidak Simetris *Unstaggered*  $S/L = 0.3$**



Gambar 4.19(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  $S/L=0.3$  pada  $Fr = 1.4$ ,

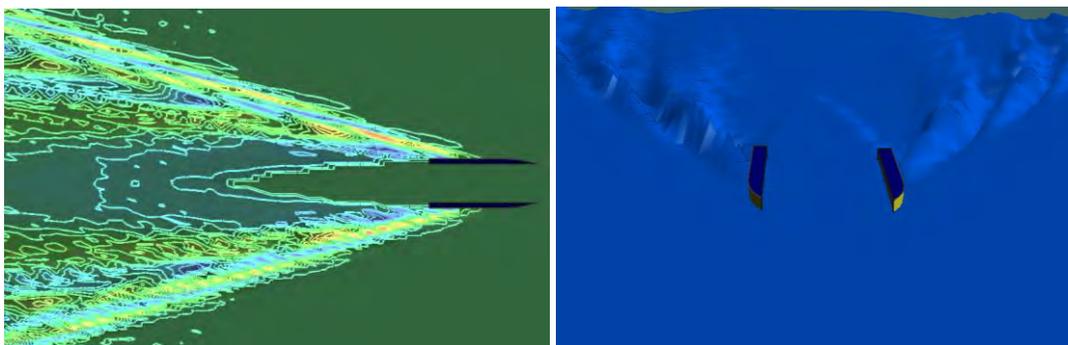


Gambar 4.19(b) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  $S/L=0.3$  pada  $Fr = 2.8$ ,

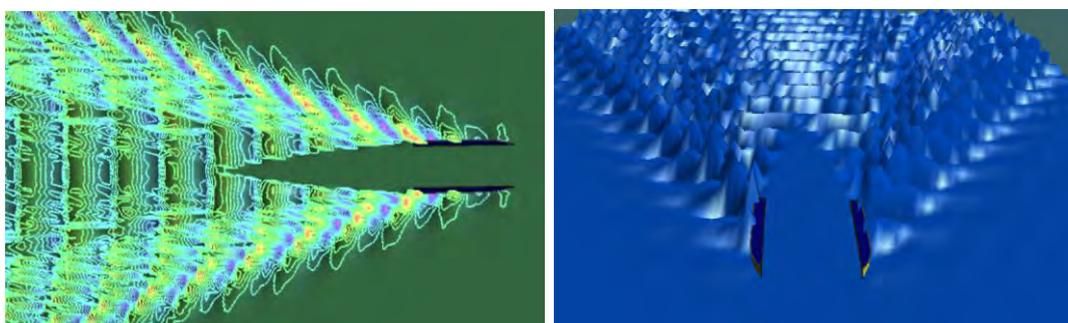


Gambar 4.19(c) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  
 $S/L=0.3$  pada  $Fr = 4.19$

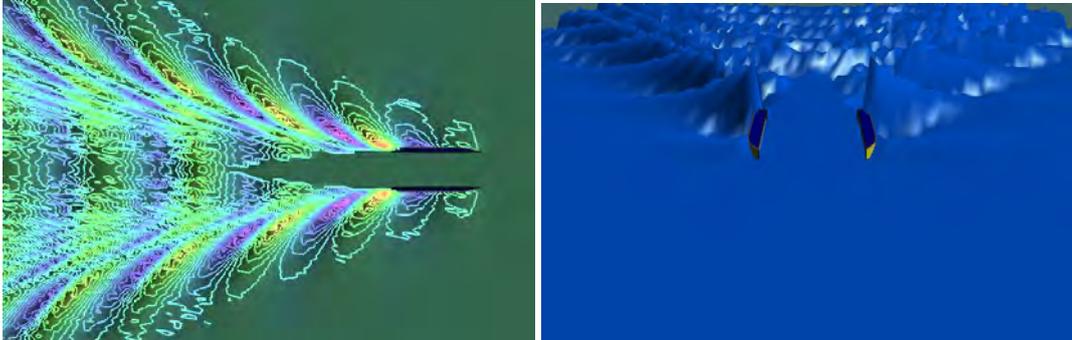
**Pola Gelombang Lambung Tidak Simetris *Unstaggered*  $S/L = 0.4$**



Gambar 4.20(a) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  
 $S/L=0.4$  pada  $Fr = 1.4$



Gambar 4.20(b) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  
 $S/L=0.4$  pada  $Fr = 2.8$



Gambar 4.20(c) Pola gelombang katamaran tidak simetris *Unstaggered*  
 $S/L=0.4$  pada  $Fr = 4.19$

Pada kecepatan rendah ( $Fr = 1.2$ ), perubahan elevasi interaksi gelombang diantara kedua lambung adalah cukup kecil dan konstan. Sedangkan pada kecepatan ( $Fr = 2.8$ ) terjadi perubahan ketinggian elevasi gelombang yang lebih besar dan pada kecepatan yang lebih tinggi ( $FR = 4.19$ ), besar fluktuasi gelombang yang ditimbulkan sangat signifikan (untuk lambung simetris dan tidak simetris).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa aliran fluida yang melewati lambung kapal adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh interaksi gelombang sebagai akibat pertemuan dua sistim gelombang dari depan lambung menimbulkan perubahan tekanan sekitar lambung bagian dalam. Pola sistim gelombang dari depan (*bow*) dari kedua lambung bertemu di garis tengah (antara lambung) dan superposisi dari dua system gelombang tersebut akan menimbulkan ketinggian elevasi gelombang tidak stabil, yang kemudian menimbulkan gelombang pecah pada kecepatan tertentu.

2. Pengaruh bentuk konfigurasi Lambung simtris dan tidak simetris

Perubahan jarak antara lambung sangat signifikan, baik dalam bentuk lambung katamaran simetris maupun yang tidak simetris. Konfigurasi jarak secara melintang ( $S/L$ ) koefisien hambatan total untuk lambung simetris lebih besar, karena adanya efek interaksi viskos dan gelombang diantara kedua lambung tersebut. Namun dengan jarak dan kecepatan tertentu. Konfigurasi secara membujur ( $R/L$ ) menunjukkan bahwa lambung katamaran yang tidak sejajar memberikan hambatan yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi *unstaggered*, karena adanya interferensi gelombang yang lebih besar akibat formasi pertemuan dua gelombang yang saling menguatkan dari depan pada kasus konfigurasi lambung katamaran yang *Unstaggered*.

#### 5.2 Saran

Adapun saran untuk peneliti berikut :nya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tekanan yang terjadi diantara lambung dengan rasio jarak lambung lebih dari  $S/L = 0.5$
2. Bagaimana karakteristik kecepatan aliran pada lambung jika kecepatan berbeda-beda dan bentuk aliran turbulen yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

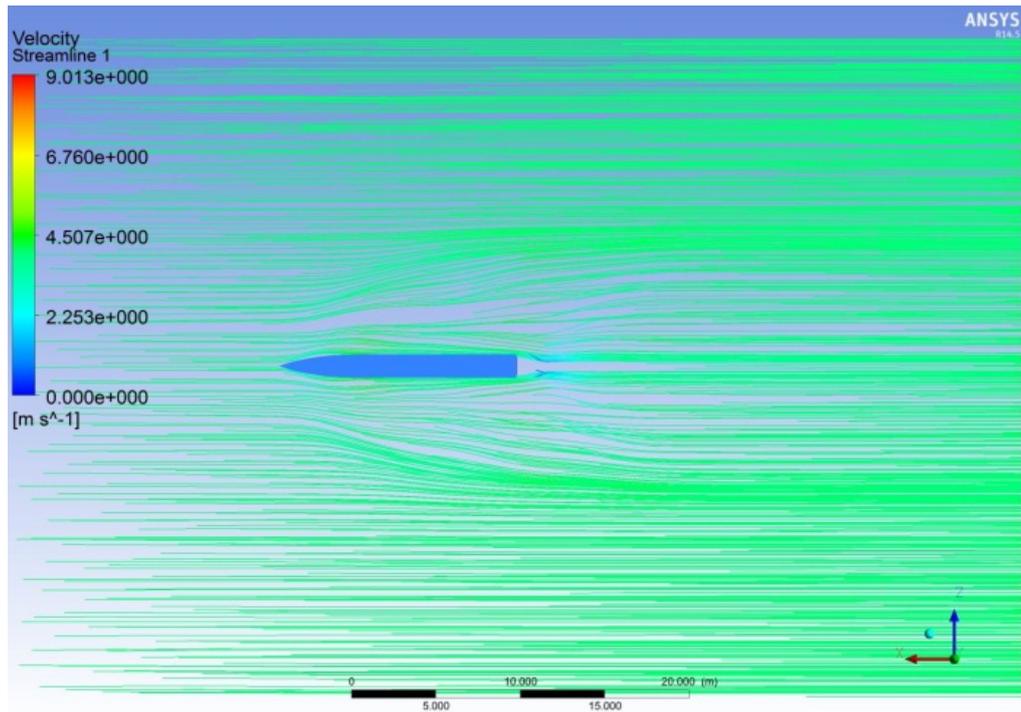
- Bruce R. Munson, dkk.,(2002), *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat Jilid 1 dan Jilid 2. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Couser, P R (1996), *An Investigation into the performance of High-Speed Catamarans in Calm Water and Waves*, PhD Thesis, Departement of Ship Science, University of Southampton, UK.
- Doctors, L.J. and Scrace, R.J. (2003). "Optimisation of Trimaran Sidehull for Minimum Resistance", *Proceedings of Seventh Internasional Conference on Fast Sea Transportation*, FAST' 2003, Ischia- Italy, October.
- Dubrovsky, V., and Matvee, K., (2005), *Passenger Vessel for the New Millenium : New Types of Sea-Going Multi-Hull Ships with Superior Comfort Level and Safety*, Join Meeting of the Pacific Region Sections, California Maritime Academy, California, May 13 and 14.
- Firman Tuakia (2008) " *Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT*". Informatika. Bandung.
- Hogben, N and Standing, R (1975), *Wave Pattern Resistance Fnom Routine Model Test*, Trans. RINA, Vol 117.
- Insel, M and Molland, A F (1991). *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*. Meeting of the Royal Institution of Naval architects.
- Insel, M and Molland, A F (1992). "An Investigation into the resistance Components of High Speed Displacement Catamarans", *Trans RINA Vol. 134*.
- Jamaludin, A, Utama, I.K.A.P & Hamdani, M. Arief. (2010), " *Kajian Interferensi Koefisien Hambatan Pada Lambung Kapal Katamaran Melalui Komputasi Slendernbody Method*". Majalah Ilmiah Pengkajian Industri. Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun & Rekayasa Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta

- Jamaludin, A, Utama, I.K.A.P., Widodo, B., Molland, A.F.,(2012), *Experimental and Numeric Study of the Resistance Component Interaction of Catamaran*, Journal Engineering for the Maritime Environment, Trans. The Institution of Mechanical Engineers Part M, ISSN 1475-0902.
- Molland, A. F. (2008), *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth – Heinemann, Elsevier
- Molland, A. F., Turnock, S.R., dan Hudson, D.A. (2011), *Ships Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, Cambridge University Press, New York, USA.
- Moraes, H.B., Vasconcellos, J.M., dan Almeida, P.M. (2007), *Multiple Criteria Optimization Applied to High speed Catamaran Preliminary Design*, Ocean Engineering, Volume 34,,pp. 133 – 147.
- Widodo, B, (2012), “*Pemodelan Matematika*”, itspress, Surabaya.
- Zouridakis, F. (2005), *A Preliminary Design Tools For Resistance and Powering Prediction Of Catamaran Vessels*, Master of Sciens Thesis in Ocean Systems Management, Dept. of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

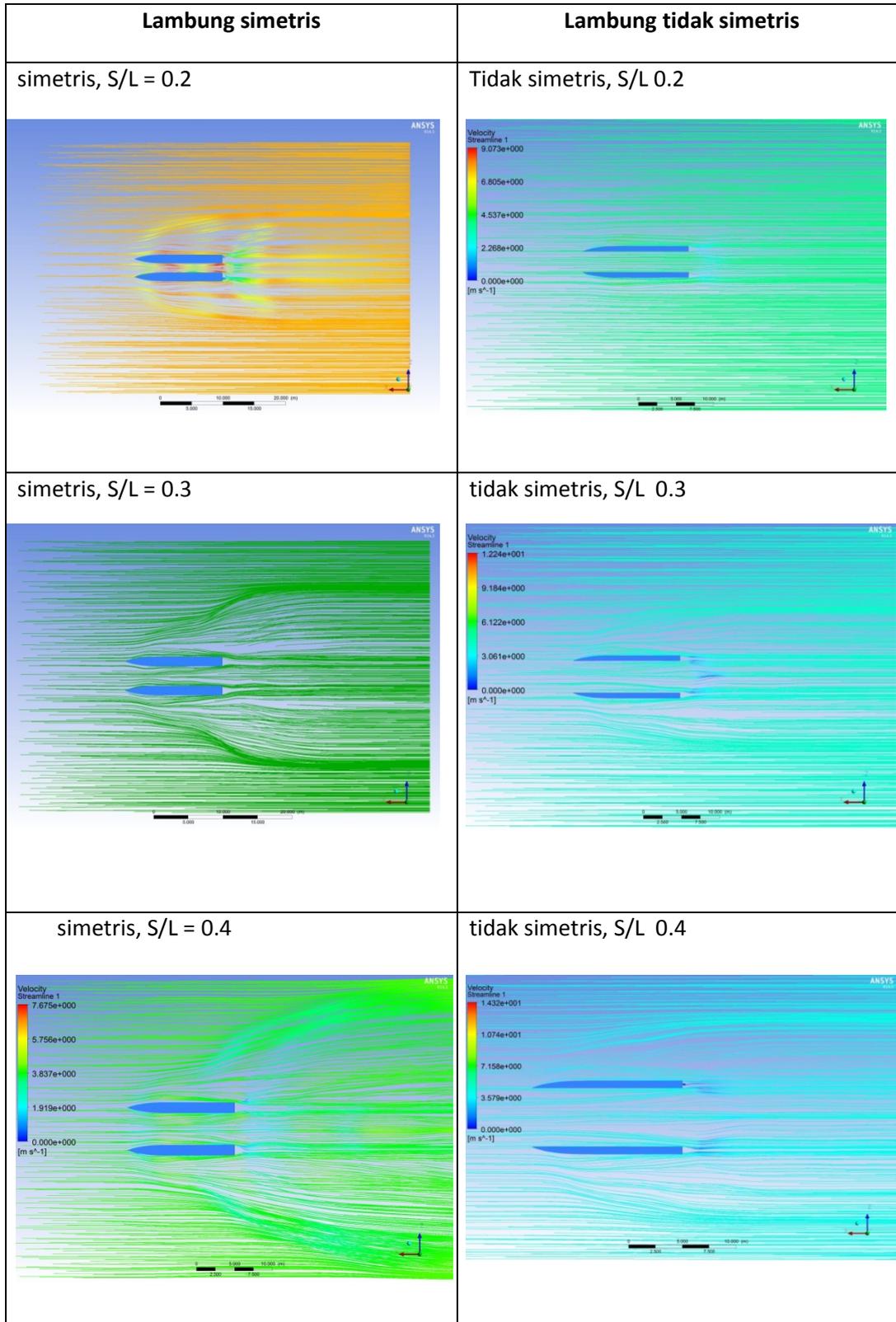
# LAMPIRAN I

## BENTUK ALIRAN STREAMLINE PADA LAMBUNG KAPAL

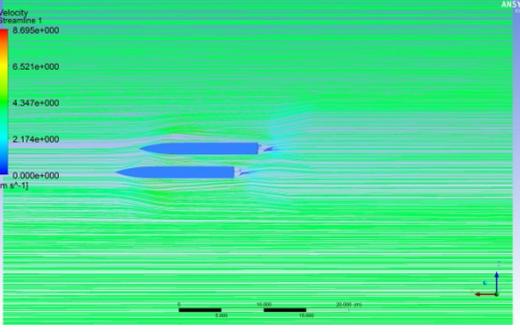
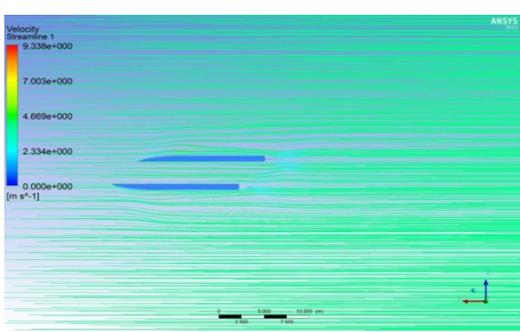
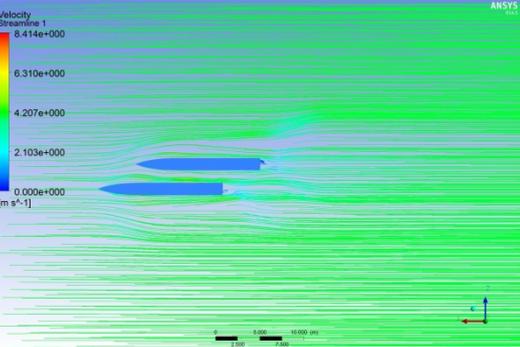
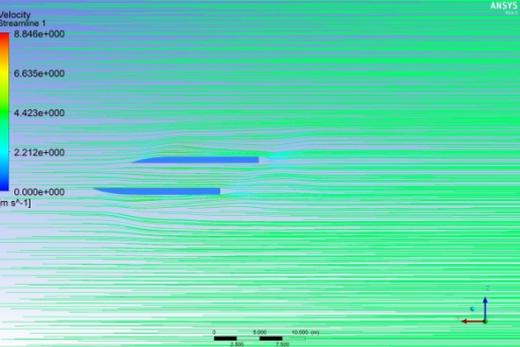
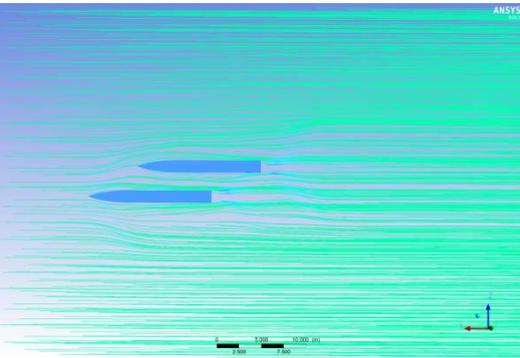
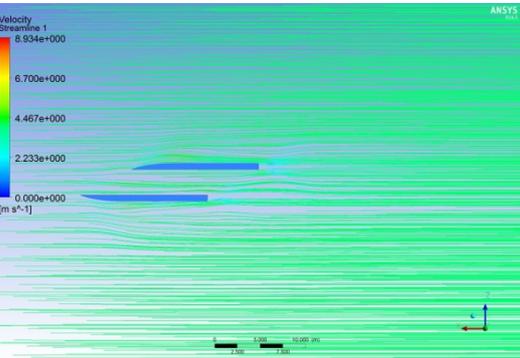
### I.1 Monohull



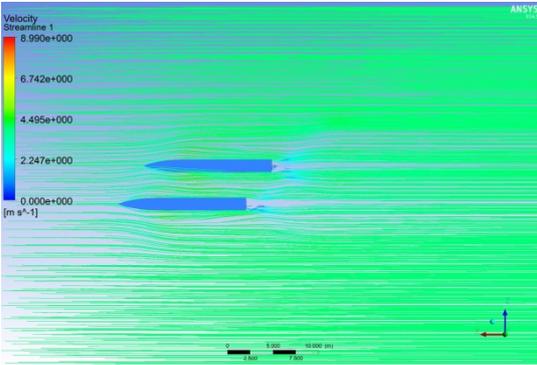
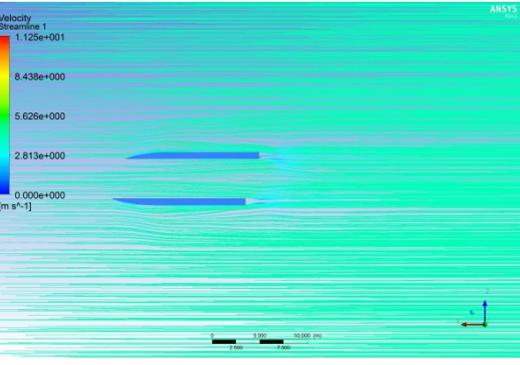
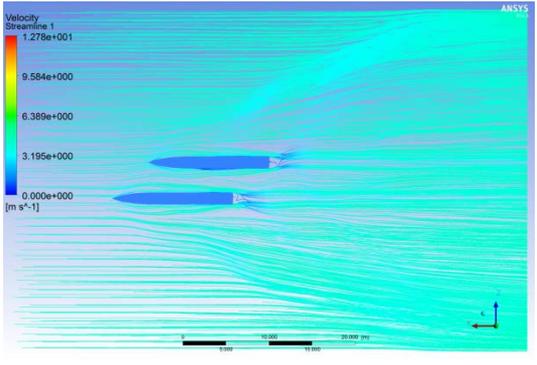
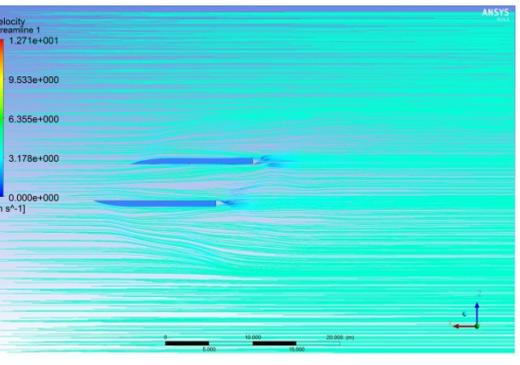
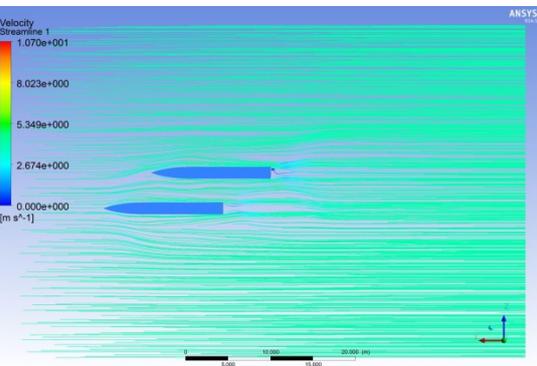
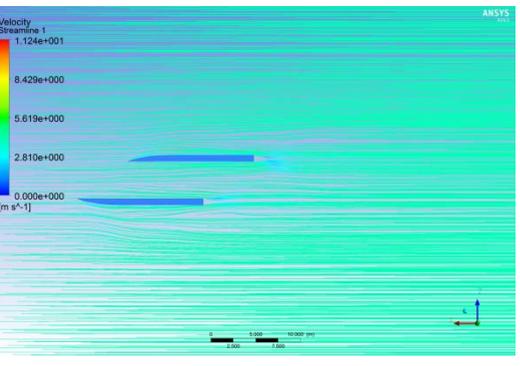
## I.2 Lambung Katamaran



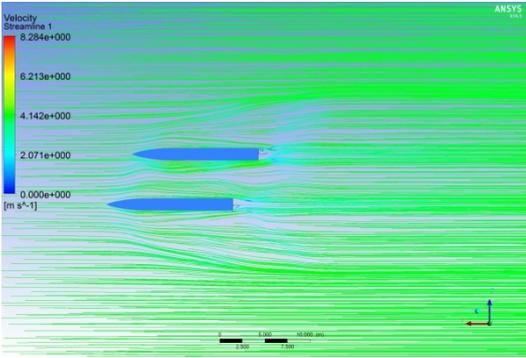
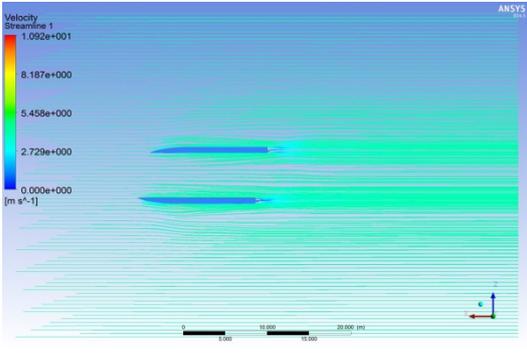
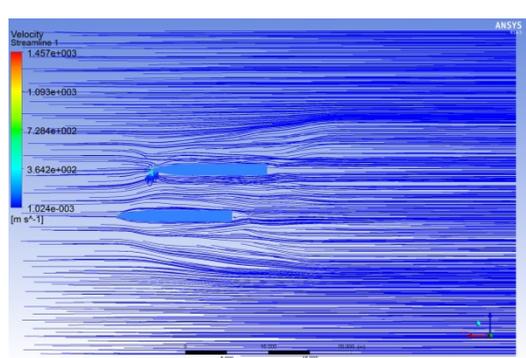
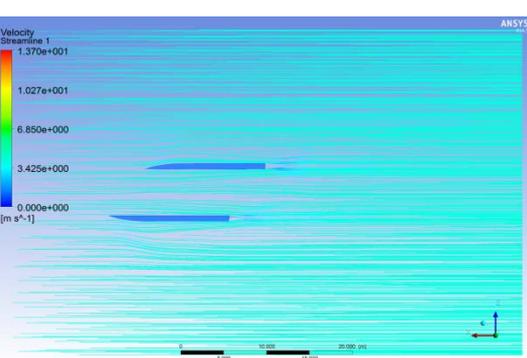
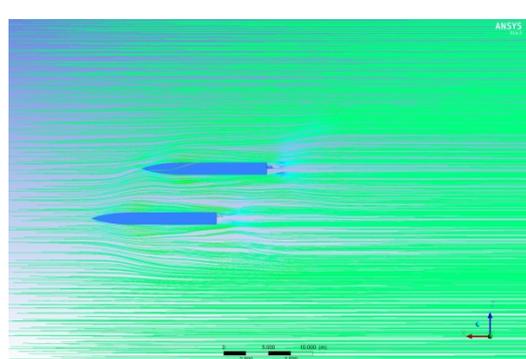
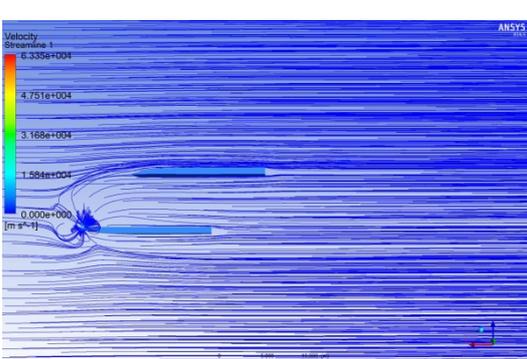
Lambung tidak sejajar S/L 0.2

Simetris	Tidak Simetris
<p data-bbox="347 407 560 439"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.2</b></p> 	<p data-bbox="850 407 1062 439"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.2</b></p> 
<p data-bbox="300 846 512 878"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.3</b></p> 	<p data-bbox="850 846 1062 878"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.3</b></p> 
<p data-bbox="300 1375 512 1406"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.4</b></p> 	<p data-bbox="850 1375 1062 1406"><b>S/L = 0.2, R/L = 0.4</b></p> 

Lambung tidak sejajar S/L 0.3

Simetris	Tidak Simetris
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.2</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.2</b></p> 
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.3</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.3</b></p> 
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.4</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.4</b></p> 

Lambung tidak sejajar S/L 0.4

Simetris	Tidak Simetris
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.2</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.2</b></p> 
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.3</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.3</b></p> 
<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.4</b></p> 	<p><b>S/L = 0.3, R/L = 0.4</b></p> 

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Anton Hekso Yuniarto, lahir di Madiun, 11 Juni 1979, merupakan anak keenam dari 7 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 1 Pagotan (1987-1993), SMP Korperi Uteran (1993-1996), SMAN 1 Dagangan (1996-1999). Setelah lulus dari jenjang Sekolah Menengah Atas, penulis bekerja di salah satu perusahaan di Jakarta kemudian hijrah ke Surabaya untuk melanjutkan studi di Universitas Hang Tuah Surabaya (2003-2008) Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Jurusan Sistem Perkapalan. Setelah lulus dari Universitas Hang Tuah Surabaya penulis langsung bekerja di perusahaan swasta Pelayaran dan Jasa Docking di Gresik Jawa Timur. Kemudian penulis melanjutkan studi magister di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menempuh studi magister dengan menerima Beasiswa Pra S-S2 Saintek tahun 2012 perwakilan dari daerah Tanjung Pinang Kepulauan Riau. Penulis menerima kritik dan saran yang berhubungan dengan Tesis ini dapat menghubungi melalui e-mail: [antonhexos@gmail.com](mailto:antonhexos@gmail.com)