



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA HAMBATAN DAN *PITCHING* MOMENT
EQUILIBRIUM PADA KAPAL *PLANING* JENIS *MONOHULL*
WITH TRANVERSE STEP PADA PERAIRAN *CALM*
*WATER***

Pradipta Rahman Hakim

NRP 4113100040

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA HAMBATAN DAN *PITCHING* MOMENT
EQUILIBRIUM PADA KAPAL *PLANING* JENIS *MONOHULL*
WITH TRANVERSE STEP PADA PERAIRAN *CALM*
*WATER***

Pradipta Rahman Hakim

NRP 4113100040

Dosen Pembimbing

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

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



FINAL PROJECT - MN 141581

**RESISTANCE AND PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM
ANALYSIS OF PLANING MONOHULL WITH TRANSVERSE
STEP IN CALM WATER**

Pradipta Rahman Hakim

NRP 4113100040

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA HAMBATAN DAN *PITCHING* MOMENT *EQUILIBRIUM* PADA KAPAL *PLANING* JENIS *MONOHULL* *WITH TRANVERSE STEP* PADA PERAIRAN *CALM WATER*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Pradipta Rahman Hakim

NRP 4113100040

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I

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

NIP 19670406 199203 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19640210 198903 1 001
SURABAYA, 24 JANUARI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISA HAMBATAN DAN *PITCHING* MOMENT *EQUILIBRIUM* PADA KAPAL *PLANING* JENIS *MONOHULL* *WITH TRANVERSE STEP* PADA PERAIRAN *CALM WATER*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 4 Januari 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PRADIPTA RAHMAN HAKIM

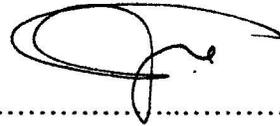
NRP 4113100040

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

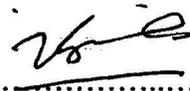
1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.



2. Dr. Aries Sulisetyono, S.T., M.ASc.



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



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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



SURABAYA, 24 JANUARI 2018

Dipersembahkan kepada ibu dan bapak atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc. Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Sri Rejeki, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Para staff Lab. Hidrodinamika Kapal Jurusan Teknik Perkapalan ITS yang banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Ibu Partini, Ibu yang selalu tenggelam dalam doa untuk kesuksesan anak-anaknya, semoga kesehatan selalu menyertai beliau. Amin. Serta seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa.
7. Seluruh anggota Submarine 2013 Teknik Perkapalan ITS, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Seluruh anggota S.G Army yang selalu mendukung proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Regina Ayu yang selalu memberikan semangat dan doa.

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

Surabaya, 24 Januari 2018

Pradipta Rahman Hakim

**ANALISA HAMBATAN DAN *PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM*
PADA KAPAL *PLANING* JENIS *MONOHULL WITH TRANVERSE STEP*
PADA PERAIRAN *CALM WATER***

Nama Mahasiswa : Pradipta Rahman Hakim
NRP : 4113100040
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Penggunaan *transverse step* pada bagian bawah lambung kapal memiliki beberapa keuntungan apabila digunakan pada kecepatan optimumnya, diantaranya mengurangi momen *pitching* yang dialami kapal dan mengurangi hambatan dalam hal ini adalah *friction resistance*. *Transverse step* diaplikasikan pada kapal *planing* dengan kecepatan tinggi. Untuk membuktikan hal tersebut, dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian dalam bentuk simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan cara membandingkan dua lambung kapal *planing* jenis lambung tunggal tanpa dan dengan *transverse step* pada kondisi air tenang dengan menggunakan *froude number* 1,5 hingga 2,5.

Hasil dari simulasi sudut trim pada kedua jenis kapal menunjukkan perbedaan yang signifikan pada tiap variasi kecepatan. Kapal dengan *transverse step* memiliki sudut trim yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step* namun memiliki perbedaan sudut trim yang lebih kecil pada variasi *froude number* 1,5 hingga 2,5 sebesar 50,62% yaitu senilai 1,51 derajat. Hambatan kapal pada kedua jenis kapal memiliki perbedaan pada simulasi yang dilakukan. Hasil yang didapatkan yaitu kapal dengan *transverse step* memiliki nilai hambatan yang lebih kecil pada *froude number* 1,75 hingga 2,5 yaitu sebesar 14,16% yaitu senilai 3001,16N namun memiliki hambatan yang lebih besar pada *froude number* 2,5.

Kata kunci: Kapal *Planing*, *Transverse Step*, *Pitching Moment Equilibrium*, Hambatan Kapal, CFD

RESISTANCE AND PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM ANALYSIS OF PLANING MONOHULL WITH TRANSVERSE STEP IN CALM WATER

Author : Pradipta Rahman Hakim
ID No. : 4113100040
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Monohull with transverse step on bottom side applied in planing-type watercraft for some purpose. In it's optimum speed, transverse step on planing watercraft may reduce pitching moment experienced by the watercraft and also to reduce it's friction resistance. In this study, performance prediction of two types of planing monohull was carried out in order to prove that statement. This was done by predicting the steady resistance and trim angle of one with transverse step and one with no transverse step in calm and unrestricted water and evaluated with computational fluid dynamic simulation with speed range in froude number 1,5 up to 2,5.

The result of the fixed sinkage and trim angle simulations of those two types planing monohull showed significant difference in each speed variation. Monohull with transverse step have the value of trim angle bigger than monohull with no transverse step in each speed, but the difference between the trim angle in those range of speed was 50,62% smaller which the value is yaitu 1,51 degree. The difference between resistance value of those two monohulls showed in the simulation, the result is that the monohull with transverse step was 14,16% smaller which the value is 3001,16N at froude numbers between 1,75 and 2,5. However, resistance of the monohull with no transverse step was smaller at froude number 1,5.

Keywords: Planing Watercraft, Transverse Step, Pitching Moment Equilibrium, Ship Resistance, CFD

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR REVISI	v
HALAMAN PERUNTUKAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	1
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	2
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori	5
II.1.1 <i>Planing Hull Theory</i>	5
II.1.2 <i>Kapal Planing dengan Transverse Step</i>	11
II.1.3 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	13
II.2. Tinjauan Pustaka	13
BAB III METODOLOGI	15
III.1. Metode	15
III.1.1 <i>Pendahuluan</i>	15
III.1.2 <i>Studi literatur</i>	15
III.1.3 <i>Permodelan Lambung Kapal</i>	16
III.1.4 <i>Simulasi CFD</i>	16

III.1.5	Perhitungan <i>Pitching Moment Equilibrium</i>	16
III.1.6	Analisa Hambatan dan Gaya Angkat	17
III.2.	Bagan Alir	17
BAB IV	SIMULASI CFD	21
IV.1.	Pendahuluan	21
IV.2.	<i>Pre Processing</i>	21
IV.2.1	Permodelan Kapal Dengan Maxsurf	22
IV.2.2	Proses Geometri Dengan Menggunakan ANSYS Design Modeller.....	24
IV.2.3	Proses Meshing Dengan Menggunakan <i>Software</i> HEXPRESS MARINE.....	28
IV.2.4	Domain Manipulation	30
IV.2.5	Mesh Wizard	32
IV.3.	Solver	38
IV.3.1	<i>Physical Configuration</i>	39
IV.3.2	<i>Control Variables</i>	43
IV.4.	<i>Post Processing</i>	46
IV.4.1	<i>Monitor</i>	46
IV.4.2	Pembuatan <i>Free Surface</i> dengan CFView	48
BAB V	DATA HASIL SIMULASI	53
V.1.	Pendahuluan	53
V.2.	Data Utama Kapal	53
V.2.1	Ukuran Utama Kapal	53
V.2.2	Letak Step	55
V.2.3	<i>Step Depth</i>	56
V.2.4	<i>Longitudinal Center of Gravity</i>	58
V.2.5	Data Ukuran Utama Kapal Dengan Step	60
V.2.6	<i>Initial Trim</i> Kapal.....	62
V.3.	<i>Grid of Independence</i>	64
V.4.	Hasil Penelitian	65
V.4.1	Analisa <i>Pitching Moment Equilibrium</i>	65
V.4.2	Analisa Sudut Trim	71
V.4.3	Analisa Hambatan Kapal	73
V.5.	CFD <i>Analysis</i>	75
V.6.	Validasi hasil penelitian	86

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	89
VI.1. Kesimpulan.....	89
VI.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A DATA UKURAN UTAMA KAPAL	
LAMPIRAN B <i>INITIAL TRIM CALCULATION</i>	
LAMPIRAN C <i>PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM</i> KAPAL TANPA STEP	
LAMPIRAN D <i>PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM</i> KAPAL DENGAN STEP	
LAMPIRAN E GRAFIK MOMEN KAPAL TANPA STEP	
LAMPIRAN F GRAFIK MOMEN KAPAL DENGAN STEP	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Teori Hambatan Pada Kapal <i>Planing</i>	8
Gambar II.2 <i>Pitching Moment Equilibrium</i>	10
Gambar II.3 Kapal Dengan <i>Transverse Step</i>	12
Gambar III.1 Diagram Alir	18
Gambar IV.1 Kapal Dengan <i>Transverse Step</i>	23
Gambar IV.2 Permodelan Kapal Dengan Step dengan <i>Software Maxsurf</i>	23
Gambar IV.3 Proses Import Model Pada Ansys Design Modeller	25
Gambar IV.4 <i>Boundary Condition</i>	25
Gambar IV.5 <i>Sketching</i>	26
Gambar IV.6 Permodelan <i>Boundary Condition</i>	26
Gambar IV.7 Proses <i>Extrude</i>	27
Gambar IV.8 <i>Boolean</i>	27
Gambar IV.9 Import Model pada <i>Software Hexpress Mariene</i>	28
Gambar IV.10 <i>CAD Manipulation</i>	29
Gambar IV.11 Pembuatan Domain	29
Gambar IV.12 <i>Domain Check</i>	30
Gambar IV.13 Pengecekan Domain	31
Gambar IV.14 <i>Boundary Condition Topology</i>	31
Gambar IV.15 <i>Internal Surface</i>	32
Gambar IV.16 <i>Internal Surface</i>	33
Gambar IV.17 <i>Mesh Refinement</i>	33
Gambar IV.18 <i>Refinement of Cells</i>	34
Gambar IV.19 <i>Surface Refinement</i> pada Boat Surface.....	35
Gambar IV.20 <i>Refinement</i> Pada <i>Internal Surface</i>	36
Gambar IV.21 <i>Viscous Layer</i>	37
Gambar IV.22 <i>Layer Thickness</i>	37
Gambar IV.23 Import <i>Meshing</i> Pada <i>Software FineMarine</i>	38
Gambar IV.24 <i>Physical Configuration</i>	39

Gambar IV.25 <i>Flow Model</i>	39
Gambar IV.26 <i>Boundary Condition Properties</i>	40
Gambar IV.27 <i>Body Definition</i>	41
Gambar IV.28 <i>Body Motion</i>	42
Gambar IV.29 <i>Initial Solution Parameter</i>	43
Gambar IV.30 <i>Control Variables</i>	44
Gambar IV.31 <i>Launching Model</i>	45
Gambar IV.32 <i>Task Manager</i>	45
Gambar IV.33 Import Pada <i>Software Monitor</i>	46
Gambar IV.34 <i>Force Monitoring</i>	47
Gambar IV.35 <i>Moment Monitoring</i>	48
Gambar IV.36 Import Pada <i>Software CFView</i>	49
Gambar IV.37 <i>Representations</i>	50
Gambar IV.38 <i>Menu Mass Fraction</i>	51
Gambar IV.39 <i>Macros</i>	51
Gambar IV.40 <i>Free Surface Inserting</i>	52
Gambar V.1 Ukuran Utama Kapal Model	54
Gambar V.2 Linesplan Kapal Hasil Permodelan	54
Gambar V.3 Perbandingan Trim dan Hambatan Kapal Terhadap Variasi Letak Step	55
Gambar V.4 Perbandingan Trim Kapal Terhadap Tinggi Step	57
Gambar V.5 Perbandingan Hambatan Kapal Terhadap Tinggi Step	58
Gambar V.6 Perbandingan Trim dan Hambatan Terhadap Letak LCG	59
Gambar V.7 <i>Linesplan</i> Kapal Dengan <i>Transverse Step</i>	61
Gambar V.8 <i>Initial Trim</i> Kapal Tanpa Step.....	63
Gambar V.9 <i>Initial Trim</i> Kapal Dengan Step	63
Gambar V.10 Perbandingan Hambatan Dengan Jumlah Elemen	65
Gambar V.11 Sudut Trim vs. Fr_{Lwl}	72
Gambar V.12 Hambatan vs. Kecepatan	74
Gambar V.13 <i>Wake</i> yang Dihasilkan Kapal	75
Gambar V.14. <i>Wave pattern</i> pada $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal dengan <i>transverse step</i> b. kapal tanpa <i>transverse step</i>	76
Gambar V.15 <i>Wave pattern</i> pada $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal dengan <i>transverse step</i> b. kapal tanpa <i>transverse step</i>	76

Gambar V.16 <i>Wave pattern</i> pada $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal dengan <i>transverse step</i> b. kapal tanpa <i>transverse step</i>	77
Gambar V.17 <i>Wave pattern</i> pada $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal dengan <i>transverse step</i> b. kapal tanpa <i>transverse step</i>	77
Gambar V.18 <i>Wave Pattern</i> pada $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal dengan <i>transverse step</i> b. kapal tanpa <i>transverse step</i>	78
Gambar V.19. <i>Volume Fraction</i> $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	78
Gambar V.20. <i>Volume Fraction</i> $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	79
Gambar V.21. <i>Volume Fraction</i> $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	79
Gambar V.22. <i>Volume Fraction</i> $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	80
Gambar V.23. <i>Volume Fraction</i> $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	80
Gambar V.24 <i>Static pressure</i> $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	81
Gambar V.25 <i>Static pressure</i> $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	81
Gambar V.26 <i>Static pressure</i> $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	82
Gambar V.27 <i>Static pressure</i> $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	82
Gambar V.28 <i>Static pressure</i> $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	83
Gambar V.29. <i>Hydrodynamic pressure</i> $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	83
Gambar V.30. <i>Hydrodynamic pressure</i> $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	84
Gambar V.31. <i>Hydrodynamic pressure</i> $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b. kapal dengan <i>transverse step</i>	84

Gambar V.32. <i>Hydrodynamic pressure</i> $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i>	
b. kapal dengan <i>transverse step</i>	85
Gambar V.33. <i>Hydrodynamic pressure</i> $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa <i>transverse step</i> b.	
kapal dengan <i>transverse step</i>	85
Gambar V.34 Sudut Trim dengan Menggunakan Dua Metode	86
Gambar V.35 Hambatan dengan Menggunakan Dua Metode	87

DAFTAR TABEL

Tabel V.1 Ukuran Utama Kapal Dengan dan Tanpa Transverse Step	60
Tabel V.2 Variasi Kecepatan Kapal	62
Tabel V.3 <i>Grid of Independence</i>	64
Tabel V.4 Tabel Momen Kapal Tanpa Step $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$	66
Tabel V.5 Momen Kapal Tanpa Step $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$	68
Tabel V.6 Momen kapal dengan step $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$	69
Tabel V.7 Momen kapal dengan step $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$	69
Tabel V.8 Momen kapal dengan step $Fr=2$ atau $FrV=1,49$	70
Tabel V.9 Momen kapal dengan step $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$	70
Tabel V.10 Momen kapal dengan step $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$	70
Tabel V.11 Sudut Trim Kapal Pada Tiap Kecepatan	71

DAFTAR SIMBOL

e	– distance below the transom/keel where the propeller shaft pass, [m]
ε	– inclination of thrust line relative to keel line, [deg (if nothing else said)]
f	– distance between T and centre of gravity (CG) measured normal to T , [m]
g	– acceleration due to gravity, = 9.81 [m/s ²]
ν	– kinematic viscosity of fluid, [m ² /s]
m	– total mass of the boat, [kg]
ρ	– density of water, [kg/m ³]
V	– horizontal velocity of planing surface, [m/s]
T	– propeller thrust, [N]
M_{tot}	– total pitching moment, [Nm]
A_w	– wet area, [m ²]
a	– distance between D_f and CG measured normal to D_f , [m]
b	– beam of planing surface, [m]
β	– angle of deadrise of planing surface, [deg (if nothing else said)]
C_f	– speed coefficient
$C_{L\beta}$	– lift coefficient, deadrise surface
C_{L0}	– lift coefficient, zero deadrise
C_f	– frictional-drag coefficient
C_p	– distance of centre of pressure measured along keel forward of transom
c	– distance between N and CG, measured normal to N , [m]
D_f	– frictional drag component along the bottom surface, [N]
D	– total horizontal hydrodynamic drag component, [N]
d	– vertical depth of trailing edge of boat, at keel, below level water surface, [m]
LCG	– longitudinal distance of CG from the transom measured along the keel, [m]
L_1	– difference between wetted keel and wetted chine lengths, [m]
L_2	– difference between keel and chine lengths wetted by level water surface, [m]
L_c	– wetted chine length, [m]
L_k	– wetted keel length, [m]
L_p	– dist. from transom along keel to where normal force, N , acts, [m]
λ	– mean wetted length-beam ratio
N	– hydrodynamic force normal to the bottom, [m]
Re	– Reynolds number
τ	– trim angle of planing area, [deg (if nothing else said)]
V_m	– mean velocity over bottom planing surface, [m/s]
VCG	– distance of CG above the keel line, [m]

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Tren desain kapal cepat di dunia saat ini menunjukkan bahwa bentuk lambung kapal bagian bawah (*wetted surface area*) sangat diperhatikan. Hal ini dibuktikan dengan desain lambung yang lebih mementingkan efisiensi dibandingkan dengan estetika. Salah satu desain lambung kapal cepat yang menjadi primadona pada saat ini adalah desain lambung dengan menggunakan *transverse steps*.

Desain lambung kapal cepat dengan menggunakan *transverse steps* sering disalahartikan sebagai desain lambung yang lebih cepat dan lebih efisien jika dibandingkan dengan lambung kapal tanpa *transverse steps* dengan mesin yang sama. Hal ini mungkin tidak salah, namun terlalu berlebihan jika dikatakan bahwa tujuan utama dibuatnya lambung dengan *transverse steps* adalah untuk mengurangi hambatan kapal (Svahn, 2009)

Kelebihan dari lambung dengan *transverse step* memang mengurangi hambatan hingga 8-12%, namun selain itu kelebihan lain adalah mengurangi *pitch* dan menambah *pitch control* ketika berjalan di laut (Campbell, 2012).

Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini akan menganalisa mengenai hambatan serta *pitching moment equilibrium* kapal dengan *transverse steps* dengan daerah operasi perairan *calm water*.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara mendapatkan perbandingan sudut trim kapal dengan dan tanpa *transverse step* pada saat kapal mengalami *pitching moment equilibrium*.

2. Bagaimana cara mendapatkan perbandingan hambatan total kapal dengan dan tanpa *transverse step*.

I.3. Tujuan

1. Mendapatkan nilai hambatan total kapal tanpa *transverse step* dan dengan *transverse step*.
2. Mendapatkan perbandingan sudut trim yang dialami kapal dengan *transverse step* dan tanpa *transverse step* pada saat kondisi *pitching moment equilibrium*

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada:

1. Analisa *pitching monohull* dengan *transverse step* dan tanpa *step* menggunakan software Numeca.
2. Trim yang dipakai adalah *fixed trim* tanpa menggunakan *dynamic mesh*.
3. Hanya menggunakan satu derajat kebebasan.
4. *Step* yang digunakan hanya berjumlah 1.
5. Lambung yang digunakan tidak memakai *chine*, *spray rails*, dan *appendages* lain yang dapat mempengaruhi performa lambung kapal.
6. Tidak membahas *pitching* yang dialami kapal pada fase transisi (fase *displacement - semi planing* dan *semi planing - planing*).
7. Tidak membahas performa kapal pada kecepatan rendah ($Fr > 1,5$).
8. Hanya membahas satu bentuk *step*, dalam hal ini adalah bentuk *step* datar.
9. Tidak menggunakan lebih dari satu variasi pada tinggi *step*, LCG, dan letak *step*.
10. Tidak membahas desain konstruksi lambung kapal.

I.5. Manfaat

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

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.

2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi desain lambung pada tipe kapal cepat guna menciptakan kapal yang kompetitif dan lebih efisien.

I.6. Hipotesis

Dalam penelitian ini diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Hambatan yang dialami kapal dengan *transverse step* lebih kecil dibanding kapal tanpa *transverse step*.
2. Kapal dengan *transverse step* memiliki pengurangan sudut pada penambahan kecepatan lebih kecil dari kapal tanpa *transverse step*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Pada bab ini, akan dibahas mengenai landasan teori untuk memahami laporan penelitian yang telah dilakukan. Pada bab ini ada beberapa pokok bahasan yaitu pengenalan dasar ilmu perkapalan yaitu mengenai kapal tipe *planing*, kapal lambung tunggal dengan *transverse step*, dan dasar metode yang digunakan dalam simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini.

II.1.1 *Planing Hull Theory*

Kapal *planing* merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisiensi yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum *hydrodynamic* (Savitsky, 1964), setiap benda yang bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat.

Prinsip dari kapal-kapal jenis *planing* ini lebih menggunakan Prinsip Bernoulli daripada Archimedes. Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa dimana kecepatan aliran fluida tinggi, tekanan fluida tersebut menjadi rendah. Sebaliknya jika kecepatan aliran fluida rendah, tekanannya menjadi tinggi (Svahn, 2009). Sesuai dengan prinsip tersebut dengan kecepatan yang semakin tinggi tekanan pada kapal semakin kecil, sehingga mengurangi hambatan pada kapal.

II.1.1.1 Karakteristik Kapal *Planing*

Bentuk *planing hull* dikonfigurasi untuk mengembangkan tekanan dinamis positif sehingga saratnya menurun dengan meningkatnya kecepatan. Gaya angkat dinamis mengurangi permukaan yang basah dan begitu pula tahanannya. Pada keadaan diam atau

pada kecepatan rendah, kapal *planing* berada pada fase *displacement*, gaya angkat kapal sepenuhnya dihasilkan dari *hydrostatic force* yaitu gaya angkat yang dihasilkan dari volume kapal yang tercelup air. Seiring bertambahnya kecepatan pada *velocity coefficient*, $C_v = v \cdot g \cdot B \tau \cong 0.5$ muncul bukti pengaruh efek hidrodinamis pada bentuk gelombang, *transom* kapal yang tidak terkena air, trim, dan parameter lainnya. Pada koefisien kecepatan kapal antara 0,5-1,5 efek hidrodinamis menghasilkan gaya angkat positif yang berpengaruh pada *transverse motion* pada kapal. Pada kecepatan tinggi yaitu pada *velocity coefficient* diatas 1,5 gaya angkat yang dihasilkan oleh efek hidrodinamis menjadi gaya angkat yang lebih kontribusinya lebih besar dibandingkan gaya angkat hidrostatis kapal (Čizmek, Deguili, 2012).

Bentuknya dapat berupa Flat-bottom, dapat berupa V-bottom dan kadang-kadang Round Bilged. Bentuk yang paling umum adalah untuk memiliki minimal satu chine, yang membuat perencanaan lebih efisien dan bisa melempar aliran air ke arah bawah. Perencanaan lambung lebih efisien pada kecepatan tinggi, meskipun mereka masih membutuhkan lebih banyak energi untuk mencapai kecepatan ini.

Pengukuran yang umum digunakan untuk mengetahui karakteristik hambatan dan bentuk gelombang pada kapal *planing* adalah *dimensionless Froude Number*, yang berhubungan dengan gaya inersia dan gaya eksternal (Frisk, Tagehall, 2015). Rumus untuk mendapatkan nilai *Froude number based on length of waterline* adalah sebagai berikut.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Lwl}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana

Lwl = panjang garis air ketika kapal kondisi statis

V = kecepatan kapal

g = grafitasi

Froude number (Fr_{Lwl}) merupakan rumus tanpa dimensi dimana semua Fr yang dipakai menggunakan panjang garis air yang diukur dari dua *perpendicular* yaitu AP dan FP kapal ketika dalam kondisi diam. Umumnya pada $Fr=1$, kapal mengalami perubahan fase transisi dari kapal semi *planing* menjadi kapal *planing* (Frisk, Tagehall, 2015). Selain menggunakan panjang garis air, *Froude Number* juga menggunakan Volume kapal yang

tercelup air dibandingkan dengan kecepatan kapal. Rumus *froude number based on Volume* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$FrV = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \sqrt[3]{V}}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

V = volume displamen kapal

u = kecepatan kapal

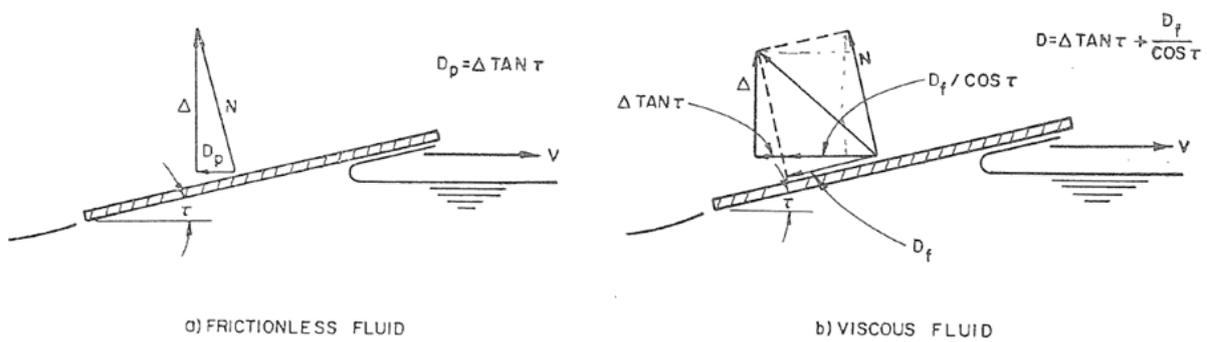
g = grafitasi

Hampir sama dengan $FrLwl$, *froude number based on volume* digunakan untuk mengetahui kapal berada pada fase displamen, *semiplaning*, atau *planing*. Umumnya, kapal mengalami perubahan fase dari *semiplaning* menjadi *planing* pada $FrV > 1-1,2$ (Gassemi, et al, 2015).

II.1.1.2 Hambatan Pada Kapal Planing

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kapal *planing* memiliki dua komponen gaya yang bekerja yaitu *hydrostatic force* dan *hydrodynamic force* sehingga metode untuk memprediksi hambatan kapal *planing* berbeda dari metode untuk memprediksi hambatan kapal displamen. Hambatan hidrodinamis total pada kapal *planing* terdiri dari hambatan akibat tekanan normal pada dasar kapal dan hambatan viskos tangensial pada dasar kapal di bagian *pressure area* maupun pada *spray area* (Savitsky, Brown, 1976). Dalam jurnal tersebut dikatakan bahwa apabila pada bagian samping kapal termasuk dalam permukaan area basah (WSA) maka komponen hambatan viskos tambahan harus dimasukkan, namun pada analisa dalam jurnal tersebut, diibaratkan bahwa bagian samping kapal tidak terkena air sama sekali.

Dalam jurnal tersebut, dapat disimpulkan bahwa ada dua komponen utama pada hambatan kapal *planing* yaitu hambatan akibat tekanan dan hambatan viskos. Pada fluida bebas gesekan, dimana gaya tangensial yang bekerja sama dengan nol, sudut trim τ , displamen Δ , gaya normal N . Hambatan viskos dan hambatan akibat tekanan dijelaskan melalui gambar sebagai berikut.



Gambar II.1 Teori Hambatan Pada Kapal *Planing* (Savitsky, 1964)

Pada Gambar II.1 a Digambarkan kapal dengan sudut trim τ pada kecepatan v berjalan pada *frictionless fluid* dimana nilai hambatan viskos sama dengan nol. Gaya [N] pada Gambar II.1a merupakan gaya normal dimana gaya tersebut tegak lurus dengan bentuk lambung kapal, $[D_p]$ merupakan *pressure drag* merupakan tekanan yang dihasilkan dari gerakan kapal, dan $[\Delta]$ merupakan gaya angkat kapal akibat badan kapal yang tercelup air ketika kapal dalam kondisi berjalan. Pada gambar tersebut, gaya yang diakibatkan gesekan antara badan kapal dan fluida tidak ada karena diibaratkan bahwa kapal berjalan pada *frictionless fluid*. Sedangkan pada Gambar II.1b ada tambahan gaya yang bekerja pada kapal yaitu $[D_f]$ dimana lambung kapal mengalami gesekan dengan fluida karena kapal berjalan pada fluida yang memiliki viskositas. Dengan kondisi demikian dihasilkan resultan gaya normal, gaya berat, dan *pressure resistance* seperti pada gambar diatas tersebut.

Maka dapat dituliskan hambatan kapal pada fluida adalah sebagai berikut.

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{C_f \rho V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta \cos \tau} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana

C_f = *turbulent friction coefficient*

V_1 = kecepatan rata-rata pada dasar lambung

ρ = massa jenis air

λ = *mean wetted length-beam ratio*

b = lebar kapal yang tercelup air

β = sudut *deadrise* kapal

II.1.1.3 Gaya Angkat Pada Kapal *Planing*

Gaya angkat atau *lift* pada kapal *planing* disebabkan oleh dua efek gaya yang berbeda. Yang pertama adalah reaksi dinamis yang dari fluida terhadap permukaan yang bergerak. Yang kedua adalah yang disebut gaya apung yang turut andil dalam memberikan gaya angkat terkait dengan tekanan statis sesuai dengan sarat dan trim yang diberikan (Savitsky, 1964).

Pada kecepatan yang sangat rendah atau pada saat keadaan diam, gaya angkat yang mendominasi adalah gaya hidrostatis, namun seiring bertambahnya kecepatan efek gaya angkat hidrodinamis mulai timbul. Pada kecepatan yang sangat tinggi, gaya hidrodinamis menjadi gaya yang dominan dalam memberikan gaya angkat pada kapal *planing*. Rumus empiris untuk mendapatkan nilai gaya angkat hidrodinamis kapal dengan sudut *deadrise* nol adalah sebagai berikut.

$$C_L = \tau^{1.1} \left[0.0120 \lambda^{1/2} + \frac{0.0055 \lambda^{5/2}}{C_V^2} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana

λ = Mean Wetted Length-Beam Ratio

τ = Sudut Trim

Untuk sudut trim dan rasio panjang-lebar luasan basah yang telah diberikan, efek yang terjadi dari penambahan sudut *deadrise* adalah pengurangan gaya angkat pada kapal *planing*. Pengurangan gaya angkat ini disebabkan oleh pengurangan luasan basah pada *stagnation pressure* di *leading edge*. Sehingga rumus untuk kapal dengan sudut *deadrise* tidak sama dengan nol adalah sebagai berikut.

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.60} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana

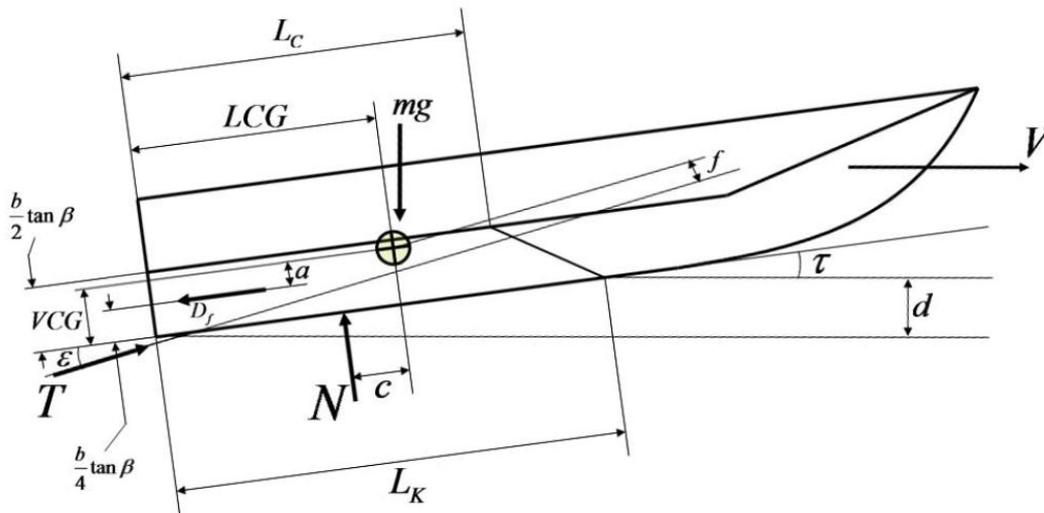
$C_{L\beta}$ = koefisien gaya angkat pada kapal dengan sudut *deadrise*

β = sudut *deadrise*

C_{L0} = koefisien gaya angkat plat datar dengan nilai τ , dan C_V yang sama

II.1.1.4 Pitching Moment Equilibrium

Pada jurnal Savitsky (1964) diberikan metode untuk memprediksi performa kapal *planing*. Perhitungan tersebut melibatkan penentuan sudut trim kapal dan hambatan kapal ketika berjalan dimana hal tersebut akan menghasilkan kondisi kesetimbangan pada badan kapal pada kecepatan, beban, dan titik berat yang diberikan. Gambaran mengenai gaya dan momen yang bekerja pada kapal digambarkan sebagai berikut.



Gambar II.2 Pitching Moment Equilibrium (Svahn, 2009)

Gambar II.2 Merupakan gambaran kondisi kesetimbangan kapal pada saat berjalan dengan kondisi kecepatan, beban, dan titik berat yang telah ditentukan. kondisi *pitching moment equilibrium* adalah kondisi dimana gaya-gaya yang bekerja pada kapal kemudian dikalikan dengan panjang lengannya berada pada titik kesetimbangan. Gaya-gaya tersebut adalah gaya angkat kapal [N], hambatan kapal [Df] dan gaya dorong *propeller* kapal [T] kemudian dikalikan dengan panjang lengannya diukur dari titik pusat gaya ke titik berat kapal. Dengan memahami kondisi *pitching moment equilibrium* yang dijelaskan pada GambarII.2, maka kesetimbangan gaya dan momen diberikan dengan rumus sebagai berikut.

Untuk kesetimbangan gaya vertikal :

$$\uparrow: N \cos \tau + T \sin(\tau + \epsilon) - mg - D_f \sin \tau = 0 \dots\dots\dots(6)$$

Untuk kesetimbangan gaya horizontal :

$$\rightarrow: T \cos(\tau + \varepsilon) - N \sin\tau - D_f \cos\tau = 0 \dots\dots\dots(7)$$

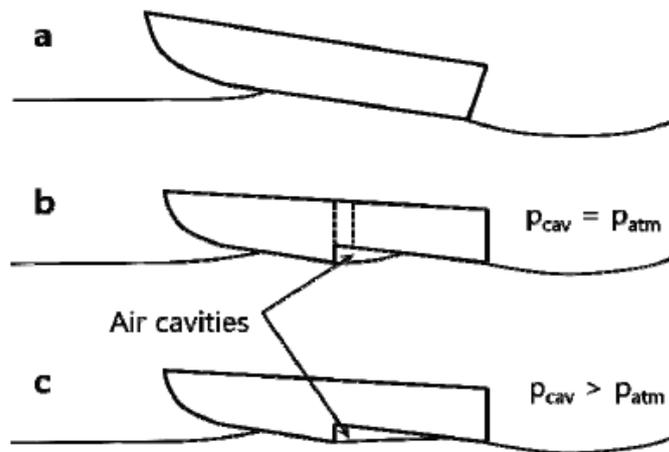
Untuk kesetimbangan *pitching moment* :

$$M = N \cdot c + D_f \cdot a - T \cdot f = 0 \dots\dots\dots(8)$$

Dengan diberikan lebar kapal, sudut *deadrise*, berat, dan titik berat, *pitching moment equilibrium* bisa didapatkan sehingga performa kapal *planing* dapat diprediksi dengan menggunakan rumus . Performa kapal yang dimaksud tersebut adalah sudut trim, sarat, dan hambatan pada saat kapal berjalan di kecepatan yang ditentukan.

II.1.2 Kapal Planing dengan Transverse Step

Planing hulls biasanya digunakan untuk transportasi kecepatan tinggi. Pada fase *planing*, lambung kapal meluncur pada permukaan air (Gambar II.3 a) dan lebih bergantung pada gaya angkat *hydrodynamic* sebagai *supporting force* dibanding *hydrostatic*. Kapal *planning* mempunyai keuntungan tambahan apabila menggunakan *transverse step* (Gambar II.b) pada dasar lambung dibandingkan dengan kapal *planing* tanpa *step*. Hal ini dikarenakan *step* tersebut mengurangi permukaan basah kapal, meningkatkan performa hidrodinamika kapal, dan juga mengurangi *trim angle* pada lambung kapal. Itulah mengapa banyak kapal kecil dan kapal balap dengan kecepatan tinggi, kapal dengan *hydrofoil*, dan kapal dengan *wing-grounded effect* dibuat dengan lambung *step hull* (Matveev, 2012).



Gambar II.3 Kapal Dengan *Transverse Step* (Matveev, 2012)

Lambung kapal dengan *transverse step* bekerja seperti pada gambar II.3b dan II.3c. Gambar II.3a merupakan kapal tanpa step, dimana aliran fluida berjalan sepanjang badan kapal, sehingga gesekan yang dialami kapal dengan fluida menjadi besar. Pada kapal dengan *transverse step* seperti pada Gambar II.3b dan II.3c aliran fluida pada kapal tidak menyentuh lambung kapal pada bagian tengah. Hal ini dikarenakan fluida memiliki viskositas sehingga ketika aliran fluida melewati *transverse step*, fluida tersebut membentuk *wake* seperti yang terjadi pada *transom* kapal pada Gambar II.3a,b dan c. *wake* tersebut menyebabkan area permukaan basah kapal dengan *transverse step* berkurang, yang berarti hambatan akibat viskositas atau *friction resistance* menjadi lebih kecil.

Banyak penelitian mengenai lambung *step hull*, dan dapat ditemukan di banyak literatur. Namun tetap saja, prediksi gerak kapal masih sulit dilakukan. Kesalahan pemahaman yang sering terjadi adalah kebanyakan orang berfikir bahwa kapal dengan *step hull* dapat bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi. Tidak sesederhana itu. Apabila sebuah kapal didesain dengan titik berat yang jauh dari *transom* dan dapat bergerak dengan performa yang bagus kemudian *transverse step* dihilangkan, kemudian titik berat kembali kebelakang, kapal tersebut membutuhkan tenaga yang lebih kecil dibanding sebelumnya. Namun kelebihan kapal dengan *transverse step* adalah ketika seorang desainer ingin memecah titik berat sepanjang *body* kapal untuk mendapatkan performa *seakeeping* yang lebih baik. Kelebihan lainnya adalah anggukan kapal ketika fase transisi dari fase *displacement* menjadi fase *planing* menjadi lebih kecil (Svahn, 2009).

II.1.3 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah pendekatan ketiga dalam studi dan pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni.

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain :

- a. Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- b. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
- c. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- d. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait, seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (numeric). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non industri. Kode CFD terstruktur atas logaritma numeric, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida.

II.2. Tinjauan Pustaka

Salah satu penelitian yang paling terkenal mengenai kapal *planing* dilakukan oleh Savitsky pada 1964, dimana untuk pertama kalinya memperkenalkan pendekatan matematika untuk memprediksi performa kapal *planing* seperti *friction resistance*, *pressure resistance*, sudut trim dan parameter hidrodinamis lainnya berdasarkan serangkaian eksperimen. Banyak penelitian yang dilakukan mengenai prediksi performa kapal *planing* setelah penelitian yang dilakukan Savitsky, namun penelitian mengenai performa kapal *planing* dengan *transverse step* masih sedikit.

Setelah melakukan pencarian terhadap referensi penelitian mengenai kapal dengan *transverse step* yang telah dilakukan, didapatkan beberapa penelitian mengenai lambung kapal dengan *transverse steps*. Penelitian yang pertama adalah penelitian yang dilakukan Svahn (2009) mengenai lambung dengan *transverse steps* dengan menggunakan permodelan matematika mengenai prediksi gerak lambung dilihat dari *pitching moment* yang dialami kapal. Mirip dengan referensi kedua yaitu penelitian yang dilakukan Matveev (2013) yang sama-sama melakukan penelitian dengan menggunakan permodelan matematika. Perbedaannya adalah tujuan penelitian yang dilakukan Matveev (2012) yaitu memprediksi hambatan pada kapal dengan *transverse steps* dengan menggunakan *two dimensional mathematical method*.

Referensi ketiga adalah penelitian yang dilakukan oleh Garland (2010) mengenai investigasi kapal dengan *transverse steps* dengan metode uji tarik untuk mengetahui hambatan kapal dengan fungsi objektif berupa tinggi *step* dihitung dari *baseline*.

Referensi keempat adalah penelitian yang dilakukan oleh Gassemi (2015) dimana penelitian ini meneliti hambatan kapal *Stepped Hull* dengan variasi LCG, L/B, dan kecepatan kapal pada *calm water*.

Penelitian ini memiliki kemiripan dengan yang dilakukan oleh David Svahn dan Hassan Gossemi dimana sama-sama meneliti performa pada *transverse step hull*. Perbedaannya terletak pada *output* dimana penelitian yang dilakukan Svahn (2009) hanya meneliti lambung dengan *step* tanpa membandingkan dengan lambung tanpa *step* dan hanya menggunakan permodelan matematika saja. sedangkan pada penelitian Gassemi (2015), penelitian dilakukan, *output* yang dituju hanya hambatan saja tanpa menghitung *pitching moment equilibrium*.

BAB III

METODOLOGI

III.1. Metode

III.1.1 Pendahuluan

Seperti yang disinggung pada pendahuluan Bab II, bahwa teori yang digunakan pada Bab tersebut digunakan sebagai dasar bagian penyusunan Bab III. Adapun Bab III ini membahas mengenai metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tujuan pada penelitian ini sebagaimana disampaikan pada Bab I, subbab 1.5. Penjelasaannya meliputi langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini serta analisa hambatan dan momen *pitching* dengan menggunakan *software* NUMECA.

III.1.2 Studi literatur

Tahap pengerjaan yang pertama dilakukan adalah mendapatkan data-data pendukung dalam penelitian ini. Data-data pendukung tersebut adalah berupa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai topik yang sama yaitu kapal dengan *transverse step*. Tahap ini berguna untuk mempersingkat waktu dalam mendapatkan data kapal yang optimal sehingga hasil dalam penelitian ini dapat membuktikan hipotesis yang telah dibuat sebelumnya. Data pendukung tersebut berupa ukuran utama kapal, kecepatan kapal, tinggi step, letak step, letak *longitudinal center of gravity*, dan data pendukung lainnya.

Selain untuk mendapatkan data pendukung dalam penelitian ini, studi literatur juga berguna dalam mencari metode yang tepat dalam penelitian ini. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi kapal dengan menggunakan CFD atau *computational fluid dynamic*. Dalam mensimulasikan kapal dalam CFD tentunya dibutuhkan input parameter yang sesuai agar simulasi yang dilakukan sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Input parameter dan pendukung lain hubungannya dengan simulasi didapatkan dari studi literatur ini.

III.1.3 Permodelan Lambung Kapal

Pemodelan lambung kapal yang akan digunakan sebagai input pada perangkat lunak Numeca dengan menggunakan bantuan software Maxsurf Modeler. Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa surface dengan fitur 3D NURB (Non-Uniform Rational B-Spline). *Database* yang akan digunakan pada tahap ini adalah *linesplan* kapal Clarion 23 Runabout dan disesuaikan dengan data kapal seperti ukuran utama dan *displacement*.

III.1.4 Simulasi CFD

Teknologi dalam dunia perkapalan semakin canggih seiring dengan perkembangan hardware dan software yang dapat mempermudah pekerjaan dalam mendesain kapal. Dengan menggunakan program-program tertentu perhitungan yang rumit dapat dipersingkat dengan menggunakan komputer sehingga mempermudah dalam melakukan iterasi dan variasi model.

Software Numeca FineMarine merupakan salah satu dari sekian banyak perangkat lunak untuk simulasi CFD dalam hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai hambatan dan *pitching moment* kapal. Salah satu kelebihan perangkat lunak ini adalah kemudahan yang diberikan mengingat perangkat lunak tersebut memang dikhususkan untuk mensimulasikan kapal. Metode yang digunakan dalam *software* ini adalah *finite volume method* yang merupakan metode numerik dimana dalam metode ini dilakukan diskretisasi, dimana diskretisasi adalah memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah kecil yang disebut dengan *mesh*, *grid*, atau *cell* (Frisk, Tagehall, 2015).

III.1.5 Perhitungan *Pitching Moment Equilibrium*

Perhitungan *pitching moment equilibrium* diperlukan dalam penelitian untuk mengoreksi sudut trim kapal dan sarat kapal. Pada penelitian ini, sudut trim kapal dibuat secara manual dalam *software* kemudian dilakukan simulasi. Nilai momen yang didapat kemudian dianalisa dan dikoreksi, kemudian dilakukan simulasi dengan sudut trim yang baru. Proses tersebut dilakukan secara berulang hingga mendapatkan kondisi *pitching moment equilibrium*.

Untuk mendapatkan nilai *pitching moment equilibrium*, nilai momen yang didapat dicari hingga mendapatkan dua nilai yang bernilai positif dan negatif. Kedua nilai tersebut

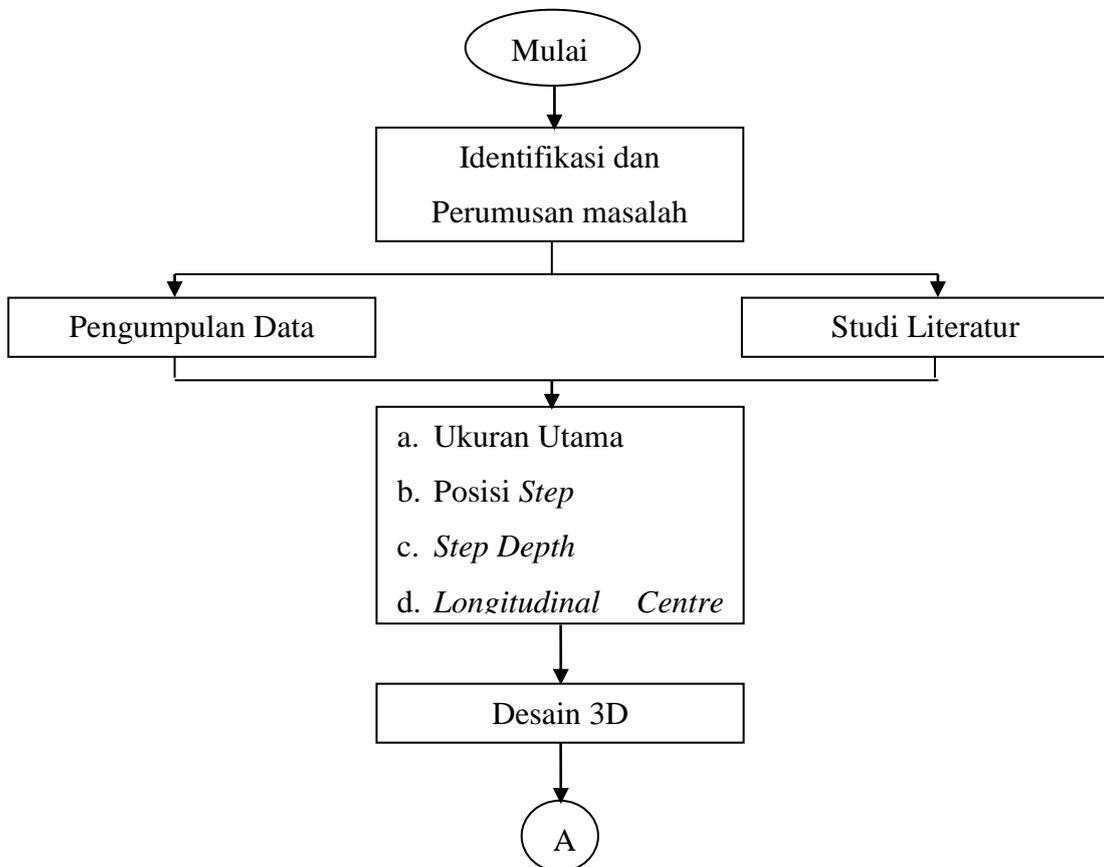
kemudian diinterpolasi linear, sehingga didapatkan nilai sudut trim yang telah diinterpolasi. Momen positif, momen negatif dan momen yang telah diinterpolasi tersebut kemudian dicari nilai kesalahannya dengan menggunakan metode standar deviasi.

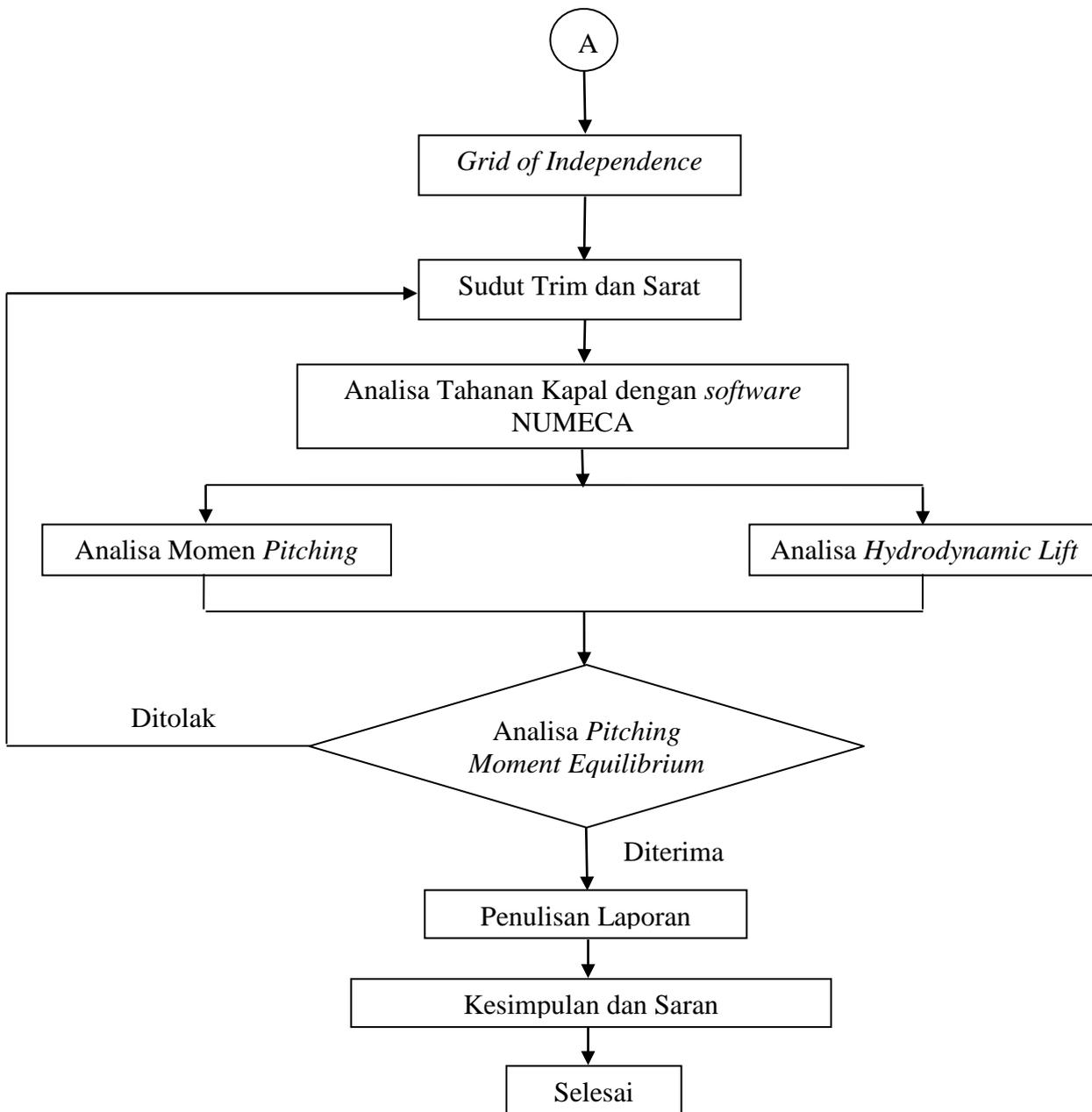
III.1.6 Analisa Hambatan dan Gaya Angkat

Setelah didapatkan performa kapal, dalam hal ini adalah sudut trim yang telah memenuhi *pitching moment equilibrium*, analisa hambatan dan gaya angkat dapat dilakukan. Dalam proses analisa tersebut, nilai hambatan dan nilai gaya angkat kapal dikoreksi dengan metode interpolasi linear. Setelah didapatkan tiga nilai hambatan dan gaya angkat pada tiga sudut trim yang nilainya mendekati nilai nol, ketiga nilai tersebut dicari nilai kesalahannya dengan menggunakan metode standar deviasi.

Setelah didapatkan nilai hambatan dengan nilai kesalahannya, nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil yang didapatkan pada kelima variasi kecepatan. Hasil yang didapatkan tersebut kemudian dianalisa dan didapatkan nilai hambatan dan nilai gaya angkat akhir.

III.2. Bagan Alir





Gambar III.1 Diagram Alir

Dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar III.1 menunjukkan proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Proses pertama yang dilakukan identifikasi dan perumusan masalah yang akan diteliti, dalam penelitian ini adalah kapal dengan *transverse step*. Setelah didapatkan identifikasi dan perumusan masalah, dilakukan studi literatur dan pengumpulan data mengenai ukuran utama, posisi step, tinggi step, dan peletakan LCG. Data tersebut diperoleh

dari data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan tujuan untuk mempersingkat waktu dalam mendapatkan ukuran yang optimal pada masing-masing poin tersebut.

Setelah data yang dibutuhkan didapatkan, dilakukan pembuatan model 3D dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeller. Selain desain 3D dari model yang akan diuji, pada proses ini juga dilakukan pembuatan *boundary condition*, *meshing*, dan *set up solver* pada *software* Numeca. Setelah dilakukan serangkaian proses tersebut, sebelum melakukan pengujian pada kapal, dilakukan studi mengenai *grid of independence* untuk mendapatkan ukuran *mesh* atau *cell* yang optimal pada pengujian yang akan dilakukan.

Pada penelitian ini, pengujian kapal dilakukan dengan menggunakan *fixed trim* dimana kapal hanya menggunakan satu *degree of freedom* sehingga kapal diatur dalam kondisi trim kemudian dianalisa dengan menggunakan *software* Numeca. Setelah analisa selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa mengenai momen dan gaya angkat hidrodinamis yang dialami kapal. proses pengerjaan dari pengaturan sudut trim kapal dilakukan secara berulang hingga mendapatkan kapal dengan kondisi *pitching moment equilibrium* yaitu kondisi dimana gaya-gaya yang bekerja pada kapal pada saat bergerak dikalikan dengan panjang lengan terhadap LCG kapal sama dengan nol. Setelah didapatkan kondisi kapal yaitu trim dan *sinkage* dengan momen sama dengan nol, maka dapat dilakukan penulisan laporan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

SIMULASI CFD

IV.1. Pendahuluan

Pada Bab III sebelumnya telah disinggung bahwa pada penelitian ini analisa hambatan kapal dan momen *pitching* dua buah lambung yaitu lambung tanpa *transverse step* dan lambung dengan menggunakan *transverse step*. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan lambung tersebut untuk kemudian dianalisa hambatan dan momen *pitching*nya. Prosedur dan tahapan dalam pemodelan lambung kapal melalui *software* Numeca dengan bantuan software Maxsurf akan dijabarkan pada Bab ini

IV.2. Pre Processing

Tahap *pre-processing* atau disebut tahap persiapan dilakukan sebelum masuk ke tahap inti yaitu solver. Tahap ini meliputi proses desain atau permodelan, proses geometri atau proses pembuatan *boundary condition*, dan proses deskretisasi atau pembuatan *meshing*. Tahap ini dikerjakan dengan menggunakan tiga perangkat lunak yaitu Maxsurf Modeller untuk pembuatan model kapal, Ansys Design Modeller untuk pembuatan *boundary condition*, dan Numeca Hexpress Marine untuk pembuatan *meshing*.

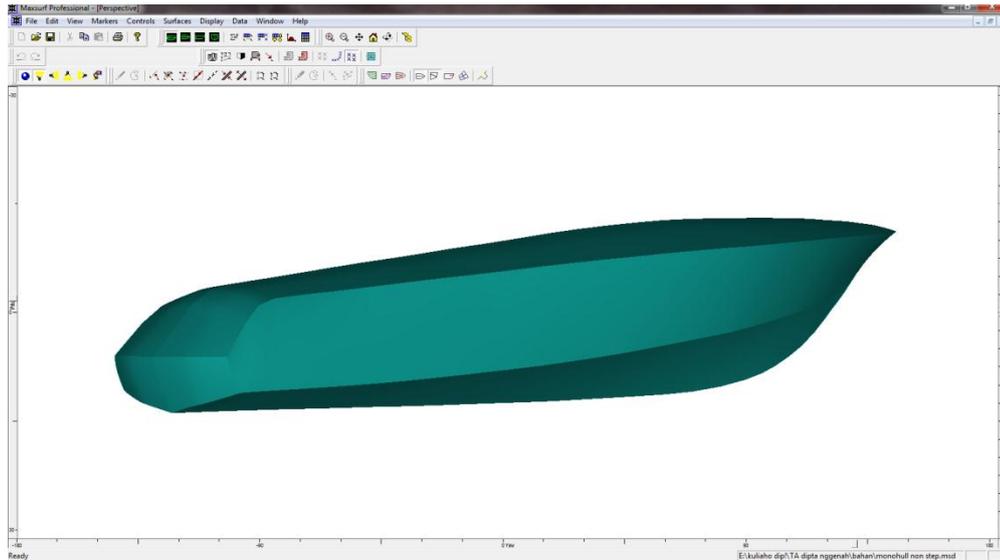
Setiap bagian yang telah dibuat dalam tahap ini harus didefinisikan terlebih dahulu agar didapatkan data sesuai dengan data percobaan sesungguhnya. Pendefinisian model dalam hal ini berupa pemberian kondisi batas dari model yang akan dilakukan simulasi. Kondisi batas dapat berupa kondisi dari aliran fluida, kondisi kekasaran badan kapal, kondisi massa jenis fluida, kondisi tekanan udara dan lain-lain. Pendefinisian model dilakukan dengan menggunakan *software* Numeca HexpressMarine. Pada proses ini, kapal diasumsikan diam sedangkan fluida diasumsikan sebagai bagian yang bergerak. Oleh karena itu data kondisi batas seperti kecepatan diterapkan pada domain yaitu fluida. Proses simulasi kapal dengan menggunakan *software* Numeca dilakukan dengan metode simulasi yaitu dengan menggunakan *free surface*. Simulasi dengan menggunakan *free surface* merupakan salah satu metode dengan menerapkan kondisi 2 fluida (air dan udara) tanpa mengabaikan luapan air hingga diatas batas sarat kapal sehingga dapat diperoleh besarnya hambatan total kapal. Hal ini memungkinkan untuk memperoleh hambatan viskos kapal dari proses simulasi kapal.

Bagian utama yang harus diterapkan dalam proses simulasi adalah penerapan kondisi batas untuk domain. Pada simulasi tanpa *free surface*, jenis fluida yang dipakai hanya air sedangkan pada simulasi dengan *free surface*, jenis fluida yang dipakai adalah air dan udara.

Bagian kedua dari model yang perlu didefinisikan adalah tempat masuknya fluida. Bagian ini disebut dengan *inflow* yaitu aliran fluida berlawanan arah dengan arah gerak kapal. Terdapat perbedaan penerapan kondisi batas *inflow* untuk kedua proses simulasi. Pada simulasi tanpa *free surface*, kondisi batas yang harus diterapkan seperti lokasi dari tempat masuknya fluida (air) dan kecepatan. Data kecepatan diambil sesuai dengan data kecepatan dari kapal. Pada metode ini, tidak terdapat penerapan kondisi batas udara sehingga kondisi batas diterapkan pada badan kapal yang tercelup didalam air. Pada simulasi dengan *free surface*, penerapan kondisi batas untuk *inflow* adalah ketinggian aliran fluida (air dan udara), tekanan udara, gaya gravitasi, suhu fluida dan model turbulen yang perlu diterapkan. Penerapan kondisi batas ini memungkinkan untuk penerapan kondisi 2 fluida pada proses simulasi sehingga analisa tidak hanya dilakukan pada badan kapal dibawah sarat tetapi juga pada badan kapal diatas sarat.

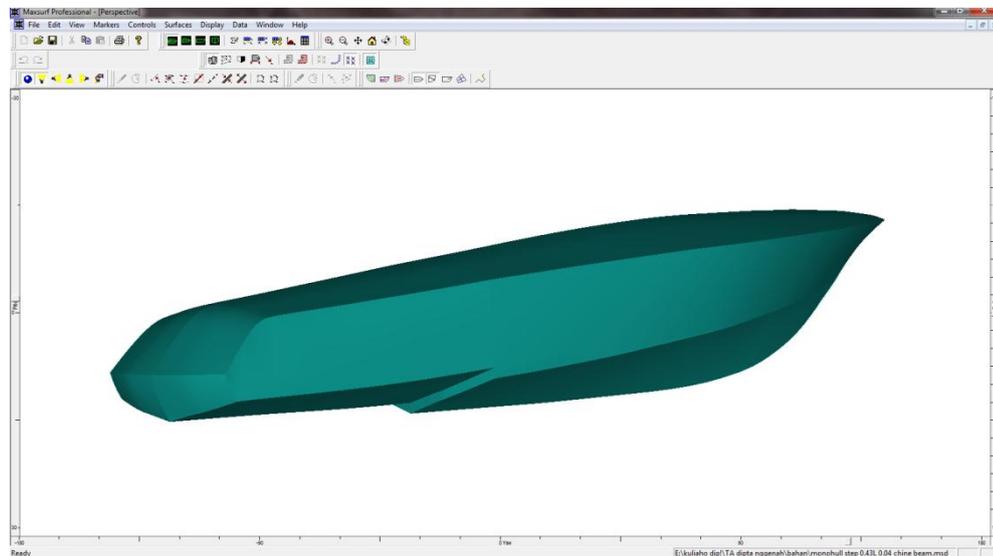
IV.2.1 Permodelan Kapal Dengan Maxsurf

Sebelum dilakukan pemodelan pada *software* NUMECA FINE/MARINE maka model terlebih dahulu dimodelkan pada *software* Maxsurf dengan skala 1:1. Koordinat model kapal di Maxsurf disesuaikan dengan koordinat yang ada berdasarkan data linesplan kapal. Dasar pembuatan modelnya adalah surface yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan menambahi, mengurangi, mengubah koordinat, dan mengubah kelenturan control point.



Gambar IV.1 Kapal Dengan *Transverse Step*

Seperti yang telah dijelaskan dalam Bab III, kapal yang digunakan dalam permodelan ini adalah kapal Clarion jenis Runabout 23. Kapal tersebut merupakan kapal tanpa *transverse step*, sehingga perlu modifikasi dengan menambahkan *transverse step* seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar IV.2 Permodelan Kapal Dengan Step dengan *Software Maxsurf*

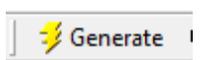
Pada Gambar IV.2 Lambung kapal telah dimodifikasi dengan ditambahkan *transverse step* pada bagian bawah lambung. Karena modifikasi tersebut tentunya ada perbedaan pada *displacment* dengan lambung aslinya. Oleh karena itu dilakukan perubahan sarat agar kapal dengan *transverse step* tersebut tetap memilii *displacement* yang sama dengan kapal tanpa *transverse step*.

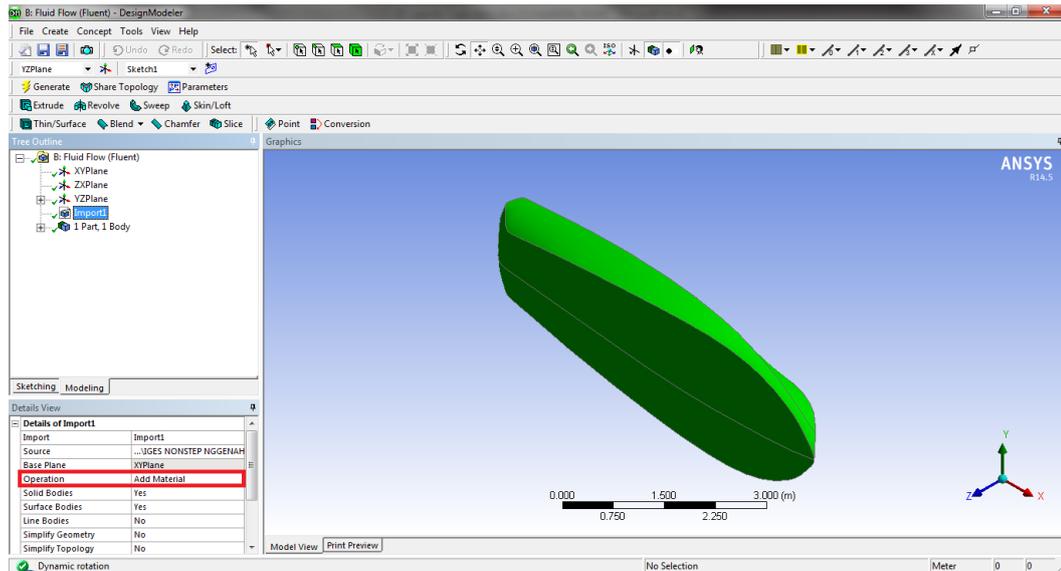
Setelah permodelan selesai, dilakukan perhitungan *hydrostatic* dengan menggunakan *software* Maxsurf. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data kapal lambung tanpa *transverse step* dan lambung dengan *transverse step*. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa untuk mendapatkan *displacement* yang sama maka dilakukan perubahan sarat pada kapal dengan *transverse step*. Perbedaan yang terjadi ditunjukkan pada Tabel IV.1 beserta selisihnya. Karena dalam kasus ini, perbedaan yang terjadi pada data kapal akibat perbedaan sarat tidak menjadi perhatian khusus karena hal tersebut bukan menjadi masalah dalam kasus ini dengan catatan ukuran utama dan karakteristik lambung seperti sudut *deadrise*, *angle of entrance*, *angle of attack* dll pada kapal tidak berubah.

IV.2.2 Proses Geometri Dengan Menggunakan ANSYS Design Modeller

Sebelum masuk pada aplikasi *software* NUMECA diperlukan permodelan dengan *software* ANSYS Design Modeller. Hal ini dikarenakan *input* geometri pada *software* NUMECA berupa file Parasolid, sedangkan *output* pada *software* Maxsurf tidak terdapat pilihan file Parasolid. Sehingga diperlukan aplikasi luar yang diperlukan untuk mengubah file IGES (*output* dari *software* Maxsurf) menjadi file Parasolid (*input* untuk *software* NUMECA). Banyak *software* yang dapat menjadi opsi untuk mengubah file IGES menjadi Parasolid, seperti RINOCHEROS, 3DS Max, Solidwork dll jadi pemilihan ANSYS Design Modeller bukanlah sesuatu yang wajib dilakukan.

Dalam *software* Design Modeller, hal yang pertama adalah *import* geometri dari *software* Maxsurf dalam bentuk file IGES atau .iges. Proses *import* dilakukan dengan memilih menu *file* kemudian klik *Import External Geometry File* lalu klik *generate* atau ikon

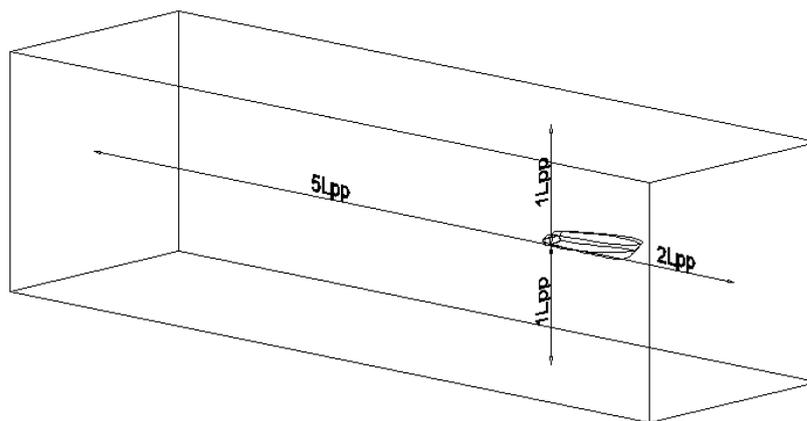




Gambar IV.3 Proses Import Model Pada Ansys Design Modeller

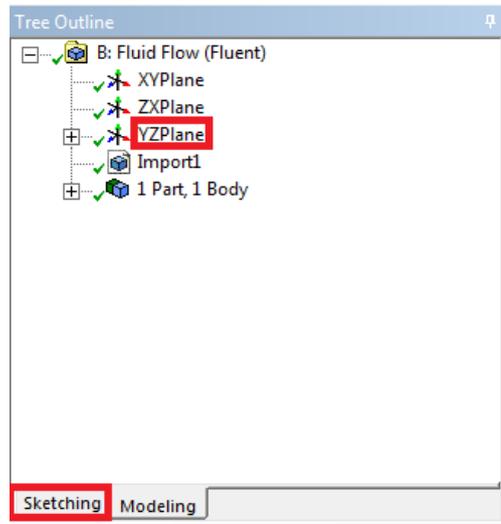
Saat proses *import* berhasil, akan muncul seperti pada Gambar IV.3 hal yang harus diperhatikan adalah *operation* seperti yang ada dalam kotak merah pada gambar diatas. Dalam *software* NUMECA sumbu z adalah sumbu yang mengarah keatas sedangkan pada *software* ANSYS Design Modeller sumbu y adalah sumbu yang menghadap ke atas. Jadi *body operation* untuk memutar kapal agar sesuai dengan *software* Design Modeller *tidak perlu dilakukan*. Proses selanjutnya adalah pembuatan *boundary condition*.

Proses pembuatan *boundary condition* dilakukan dengan membuat persegi panjang dengan ukuran yang tergantung pada ukuran kapal.



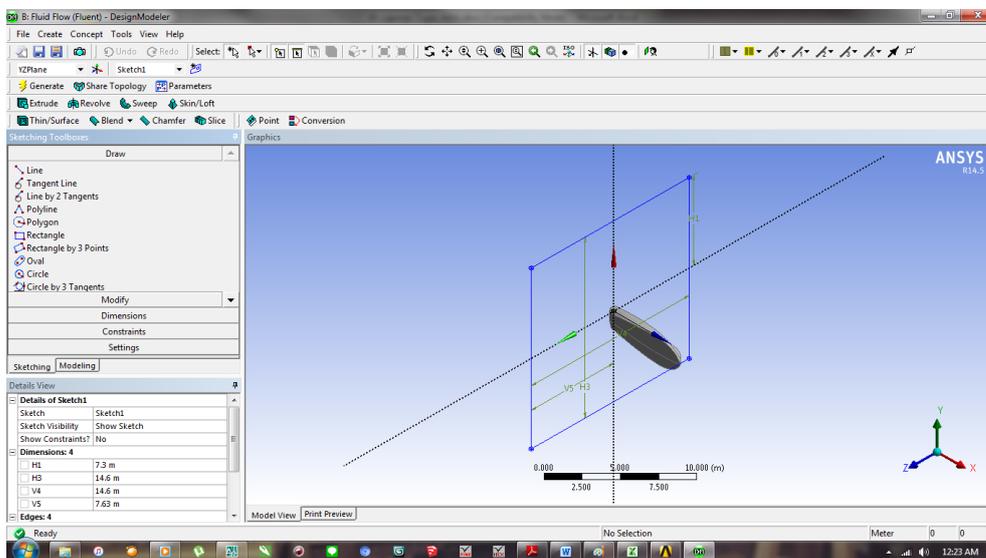
Gambar IV.4 Boundary Condition

Gambar IV. Adalah ukuran *boundary condition* yang nantinya akan dibuat. Dalam kasus ini nilai Lpp adalah 7,3 meter.

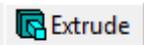


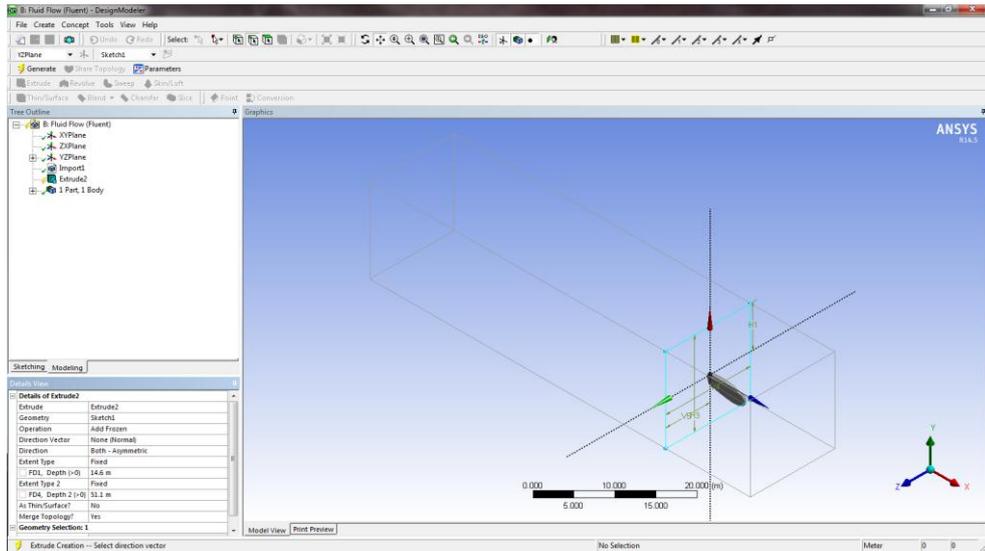
Gambar IV.5 Sketching

Proses pembuatan *boundary condition* yang pertama adalah dengan mengeklik *YZ plane* kemudian klik pada tombol *sketching* seperti pada Gambar IV. 5.



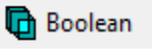
Gambar IV.6 Permodelan *Boundary Condition*

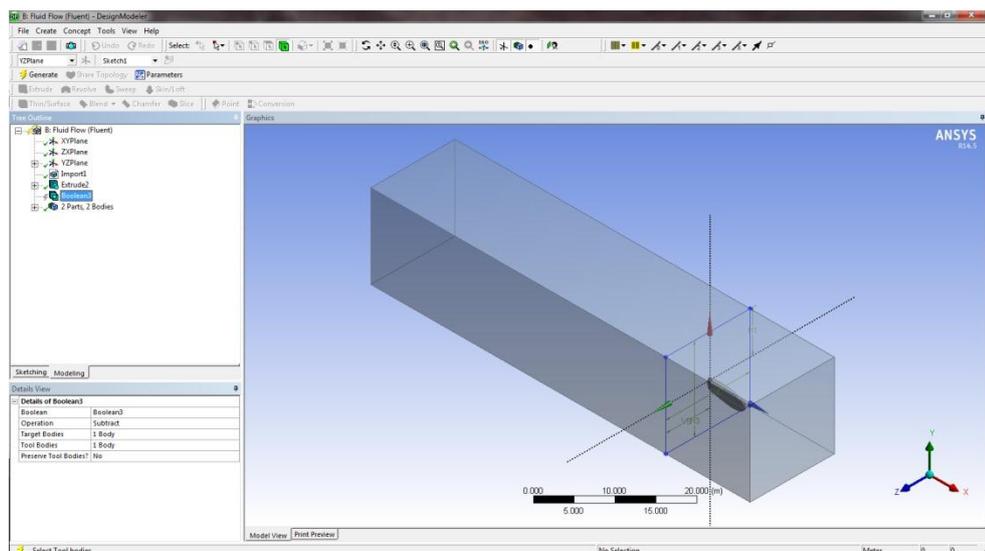
Proses selanjutnya yaitu membuat persegi dengan klik tombol *rectangle* pada kolom *modify* dan membuat mengatur ukuran pada kolom *dimensions* seperti pada Gambar IV.6. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah meng*extrude* persegi yang telah dibuat dengan klik tombol *extrude*  .



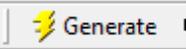
Gambar IV.7 Proses Extrude

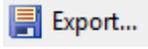
Pengaturan *extrude* yang akan dilakukan dapat dilakukan pada kolom *detail of extrude* seperti pada Gambar IV.7 dan memasukkan nilai panjang *boundary condition* yang telah diberikan diatas dan kemudian klik tombol *generate* . Proses selanjutnya adalah pembuatan *boolean*.

Pembuatan *boolean* dilakukan dengan membuka menu *create* pada bagian kiri atas layar dan mengklik tombol *boolean* .



Gambar IV.8 Boolean

Pada Gambar IV.8 yaitu proses pembuatan boolean, *target body* adalah *boundary condition* dan *tool body* adalah kapalnya. Kemudian klik generate .

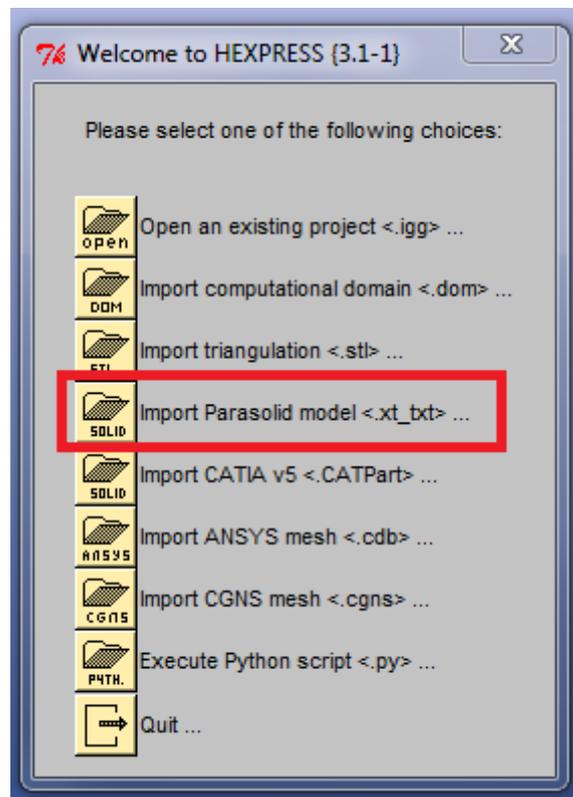
Dengan selesainya proses pembuatan *boolean* maka proses permodelan dengan menggunakan *software* ANSYS Design Modeller telah selesai. Hal yang terakhir dilakukan adalah mengekspor file dengan mengklik menu *file > export*  dan memilih jenis file Parasolid Text.

IV.2.3 Proses Meshing Dengan Menggunakan *Software* HEXPRESS MARINE

Setelah proses geometri selesai dilakukan dengan mendapatkan output berupa *file* parasolid, maka proses selanjutnya yaitu proses meshing dilakukan dengan menggunakan *software* HEXPRESS MARINE dimana perangkat lunak tersebut adalah perangkat lunak dari NUMECA.

CAD Manipulation

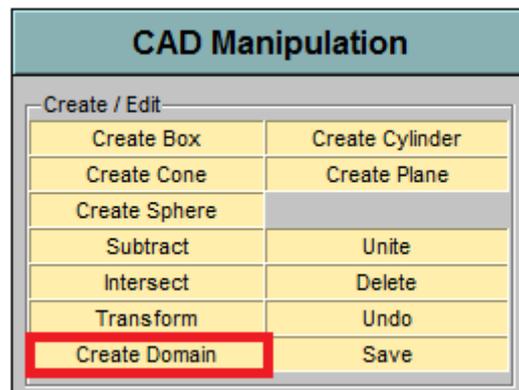
Tepat setelah masuk ke *software* HEXPRESS, hal pertama yang dilakukan adalah mengimpor file parasolid yang telah dibuat pada proses *modelling* sebelumnya. Ada beberapa pilihan impor file, parasolid adalah salah satunya.



Gambar IV.9 Import Model pada *Software* Hexpress Mariene

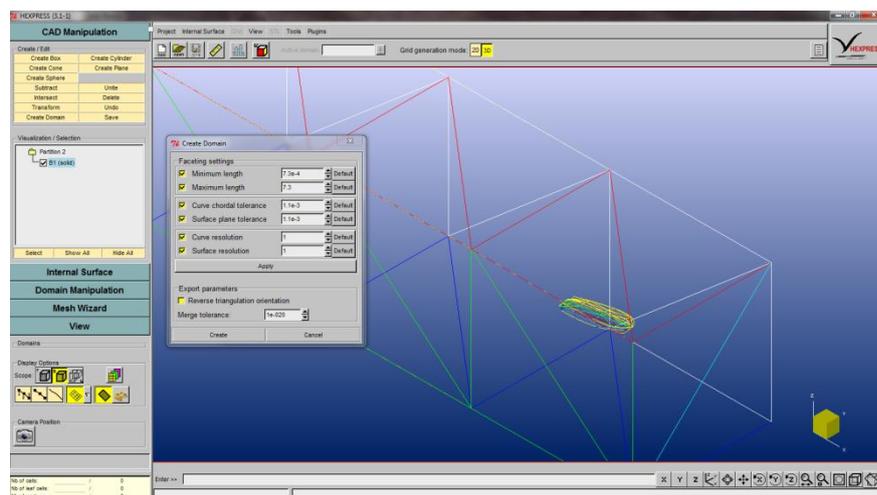
Pada Gambar IV.9 dipilih impor model pada pilihan file parasolid kemudian memilih file yang akan dipakai tersebut.

CAD *manipulation* adalah menu pertama yang harus dilakukan pada proses *meshing* di perangkat lunak ini. Karena proses pembuatan *boundary condition* telah dilakukan pada perangkat ANSYS Design Modeller, pada menu *CAD Manipulation* ini hanya perlu membuat domain saja dengan mengklik tombol domain pada menu *CAD Manipulation*.



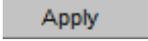
Gambar IV.10 CAD Manipulation

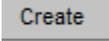
Setelah mengklik tombol *create domain* dilakukan pengisian domain berdasarkan data kapal yang akan diuji seperti pada Gambar IV.10.



Gambar IV.11 Pembuatan Domain

data yang dimasukkan pada kolom menu *create domain* seperti pada Gambar IV.11 didapat dari data kapal. Data untuk kolom *minimum length* adalah panjang kapal (LoA) x e^{-4}

dan data yang dimasukkan pada kolom *maximum lenght* adalah panjang kapal dalam satuan meter. Setelah data dimasukkan, kemudian klik tombol *apply* .

setelah tombol *apply* diklik, maka akan tampilan akan berubah. Setelah tampilan berubah, klik tombol *create*  kemudian simpan pada folder yang dituju.

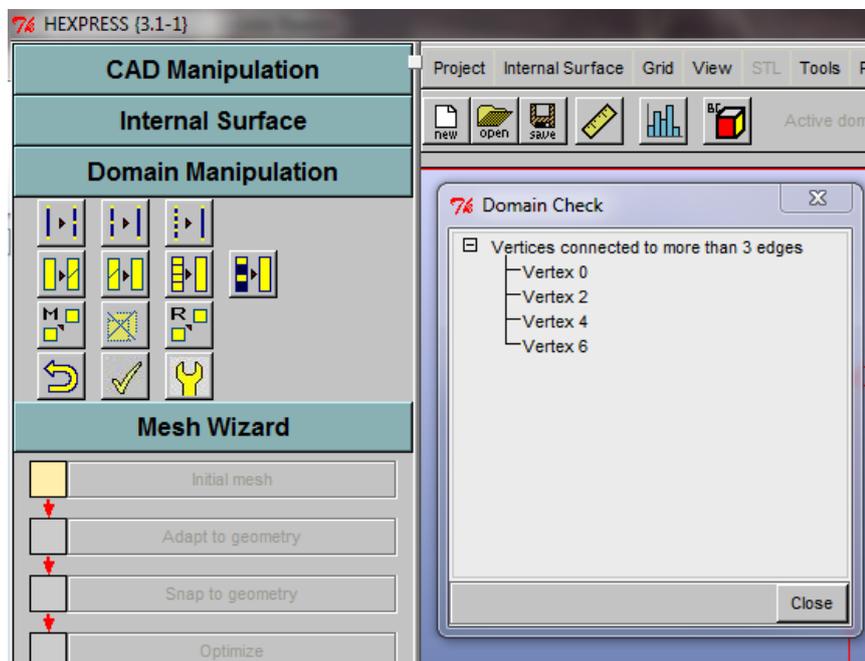
IV.2.4 Domain Manipulation

Proses selanjutnya adalah mengatur domain yang telah dibuat dengan menggunakan menu *domain manipulation*. Selain mengatur domain, hal yang dilakukan dalam proses ini adalah pembuatan *surface level* yang dimaksudkan untuk menentukan sarat kapal dan pengaturan *boundary condition*.

Proses pertama adalah mengecek domain dengan mengklik tombol *domain check*



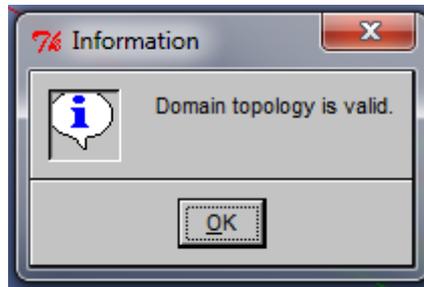
untuk mengecek *face* atau *edge* yang perlu diperbaiki.



Gambar IV.12 Domain Check

Pada Gambar IV.12 terdapat penjelasan bagian dan keterangan apa yang harus diperbaiki. Pada kasus pada gambar tersebut proses perbaikan dapat dilakukan dengan

menggunakan tombol *face merge*  atau dengan menggunakan tombol *automatic face merge* .

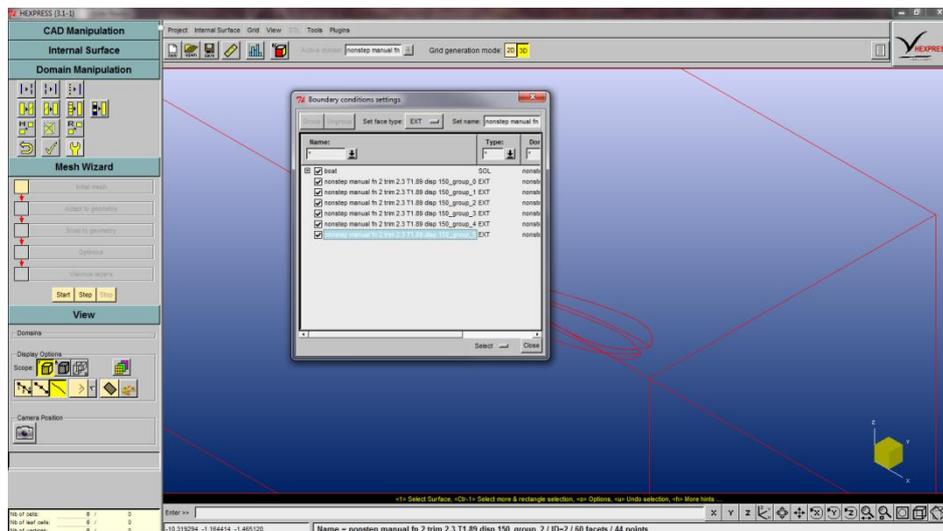


Gambar IV.13 Pengecekan Domain

Setelah proses perbaikan dengan menggunakan *face merge* selesai, klik tombol *domain check* hingga domain yang digunakan valid seperti pada Gambar IV.13.

Setelah topologi domain dinyatakan valid, proses selanjutnya yaitu proses pengaturan *boundary condition*. Proses ini dilakukan dengan mengeklik tombol *boundary condition*

 pada bagian atas *interface*.

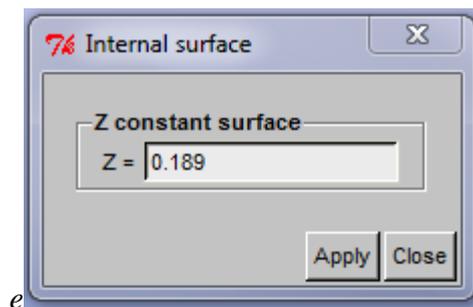


Gambar IV.14 *Boundary Condition Topology*

Setelah tombol *boundary condition* diklik akan muncul kolom pengaturan seperti pada Gambar IV.14. Pada kolom pengaturan tersebut, ada dua bagian utama yaitu *boundary*

condition itu sendiri dan kapal yang akan diuji. *Surface* kapal digabung menjadi satu grup yang sama dengan menu grup yang ada pada kolom pengaturan tersebut. Tipe yang dipilih untuk bagian kapal adalah solid (SOL) sedangkan bagian lain tipe eksternal (EXT).

Setelah pengaturan *boundary condition* selesai, proses selanjutnya adalah pembuatan *surface level* atau sarat kapal dengan mengklik tombol *plugins*  > *marine* > *z constant internal surfac*

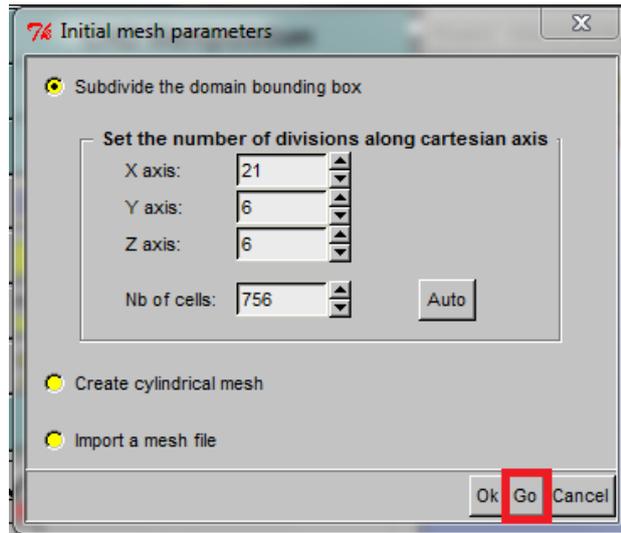


Gambar IV.15 *Internal Surface*

Pada kolom *internal surface* seperti pada Gambar IV.15 tinggi sarat dalam satuan meter dimasukkan kemudian klik tombol *apply*.

IV.2.5 Mesh Wizard

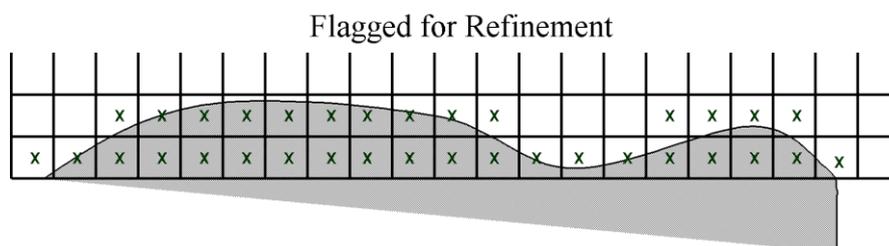
Mesh Wizard adalah menu dalam perangkat lunak HEXPRESS untuk mengatur dan membuat *mesh* model. Proses pertama adalah pembuatan *initial mesh* dengan mencentang tombol centang disamping tombol *initial mesh* kemudian mengklik tombol *intial mesh* itu sendiri lalu klik tombol *go*.



Gambar IV.16 *Internal Surface*

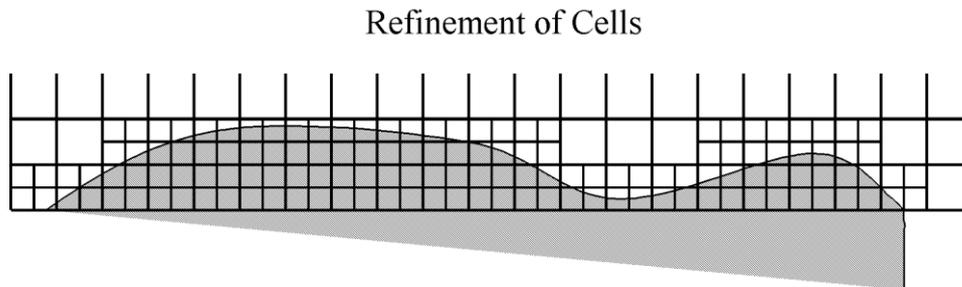
Pada Gambar IV.16 yaitu kolom *initial mesh parameters* adalah kolom yang muncul setelah mengklik tombol *initial mesh*. Kolom-kolom pengaturan dalam kolom tersebut tidak perlu dirubah atau dibiarkan dalam kondisi *auto*.

Langkah selanjutnya adalah mengklik menu *adapt to geometry*. Untuk menu Global, nilai *refinement* dapat dirubah sesuai dengan kebutuhan. Yang dimaksud dengan kebutuhan adalah proses *refinement* dilakukan untuk mendapatkan *meshing* yang sesuai dengan bentuk *surface* model yang akan diuji. Semakin banyak lekukan yang ada pada *surface*, maka nilai *refinement* yang dibutuhkan akan semakin besar. Begitu sebaliknya apabila yang diuji berupa bentuk persegi atau sejenisnya, maka *refinement* yang dibutuhkan. Pengertian tentang *refinement* dijelaskan dalam gambar dibawah ini.



Gambar IV.17 *Mesh Refinement*

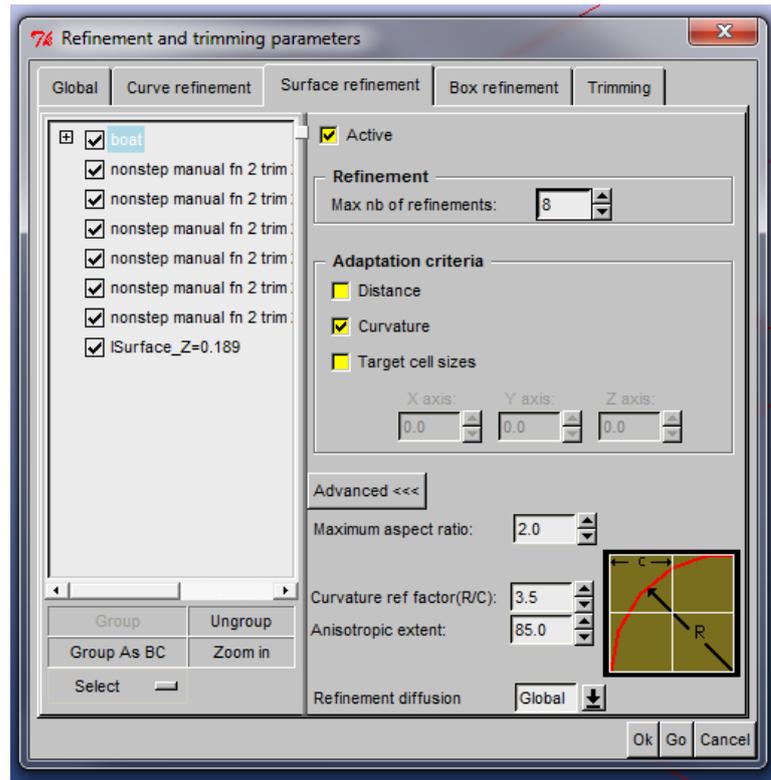
Pada Gambar IV.17 digambarkan bahwa bagian yang diarsir warna abu-abu adalah *surface* yang akan digunakan, tanda silang yang ada dalam kotak adalah bagian *meshing* yang tidak digunakan dan akan dibuang.



Gambar IV.18 Refinement of Cells

Pada Gambar IV.18 menunjukkan proses refinement, dalam gambar tersebut *refinement* yang dilakukan bernilai 2. Semakin nilai *refinement* besar, kotak dalam gambar tersebut akan dibagi lagi menjadi ukuran yang lebih kecil.

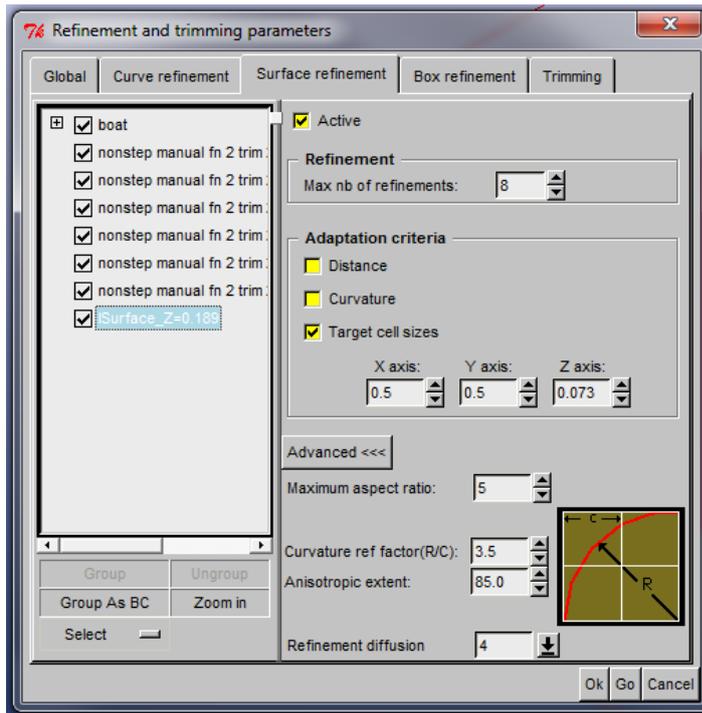
Selanjutnya, dipilih menu *surface refinement* dimana bagian yang perlu dirubah adalah pada *surface* kapal dan pada permukaan air atau dalam proses *meshing* ini disebut *internal surface* atau *iSurface*.



Gambar IV.19 *Surface Refinement* pada Boat Surface

Pada Gambar IV.19 dimana gambar tersebut menunjukkan menu *surface refinement*, ketika tulisan *boat* diklik, maka akan muncul menu seperti disamping tersebut. Yang perlu dirubah adalah nilai *refinement* dan *adaptation criteria* yaitu dengan mencentang pilihan *curvature*.

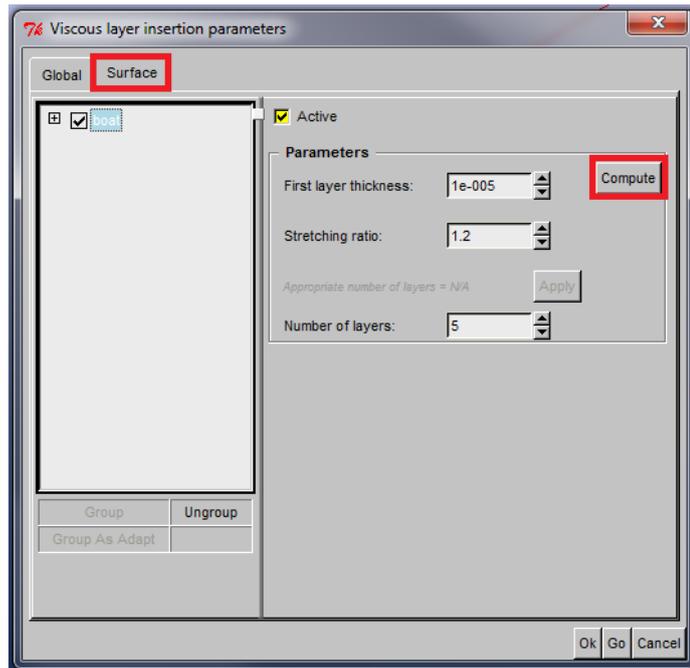
Surface yang perlu diperbaiki selanjutnya adalah *internal surface*, pilihan yang perlu dirubah adalah nilai *refinement*, *adaptation criteria* yaitu *target cell size*.



Gambar IV.20 Refinement Pada Internal Surface

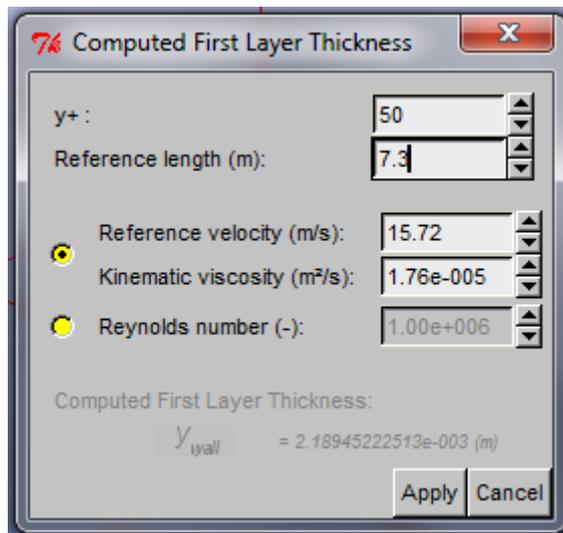
Pada Gambar IV.20 menunjukkan nilai yang dirubah dalam *surface refinement* pada *internal surface*. Nilai *z axis* didapat dari $Loa \times e^{-2}$.

Proses selanjutnya adalah mencentang menu *snap to geometri* dan menu *optimize*. Untuk kedua menu tersebut, dibiarkan dalam kondisi standar, atau tidak perlu dirubah lagi. Tahap selanjutnya adalah memasukkan nilai *visocous layers*.

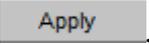


Gambar IV.21 *Viscous Layer*

Pada Gambar IV.21 menunjukkan proses memasukan nilai *viscous layer* dengan memilih menu *surface* dan mengeklik tombol *compute*.



Gambar IV.22 *Layer Thickness*

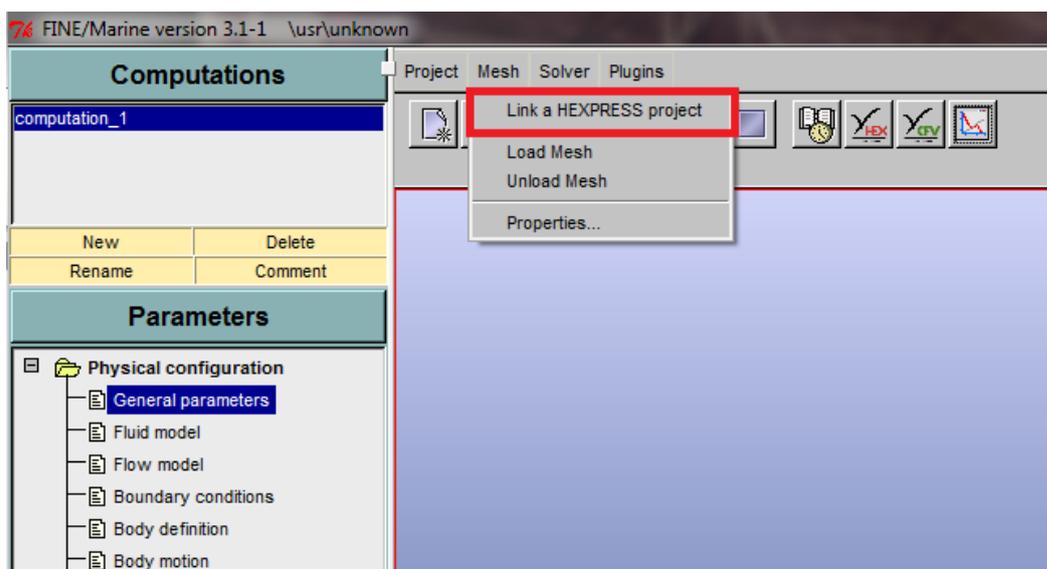
Pada Gambar IV.22 nilai yang perlu dirubah yaitu y^+ , *reference length*, dan *reference velocity*. Nilai tersebut dimasukan dengan data kapal yang akan diuji. Setelah selesai, klik tombol *apply* . Dan pada menu *Mesh Wizard* klik tombol *start* .

Proses selanjutnya adalah dengan menyimpan *meshing* yang telah dilakukan. Selanjutnya akan dilakukan proses pada *software* FineMarine.

IV.3. Solver

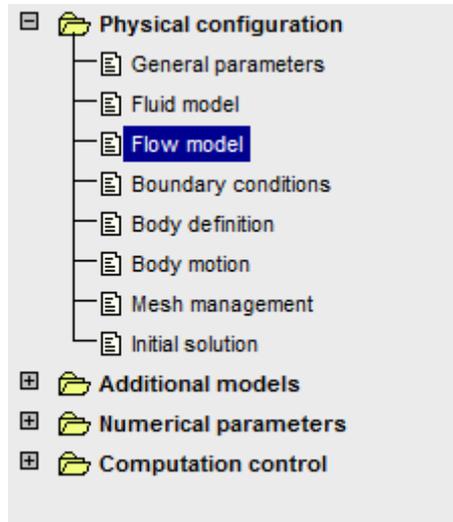
Proses *solver* dilakukan dengan menggunakan *software* FineMarine. Proses ini dilakukan setelah proses *meshing* dengan menggunakan *software* HEXPRESS selesai dilakukan. Proses yang dilakukan dalam *Solver* ini adalah mengatur kondisi model yang akan diuji agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Menu parameter yang perlu diubah dalam proses ini adalah *physical configuration* dan *computational control*. Selain dua menu tersebut, menu yang lainnya tidak perlu diubah dalam kasus ini.

Sebelum masuk ke proses *physical configuration*, hal yang perlu dilakukan adalah memasukan data *meshing* yang telah didapat dengan mengeklik menu *mesh* pada bagian pojok kiri atas, kemudian memilih tombol *Link to HEXPRESS Project*.



Gambar IV.23 Import *Meshing* Pada *Software* FineMarine

Pada Gambar IV.23 adalah proses memasukan *meshing* yang telah dilakukan ke *solver*. Setelah mengklik tombol *Link to a HEXPRESS Project*, dimasukkan file .igg yang telah disimpan.

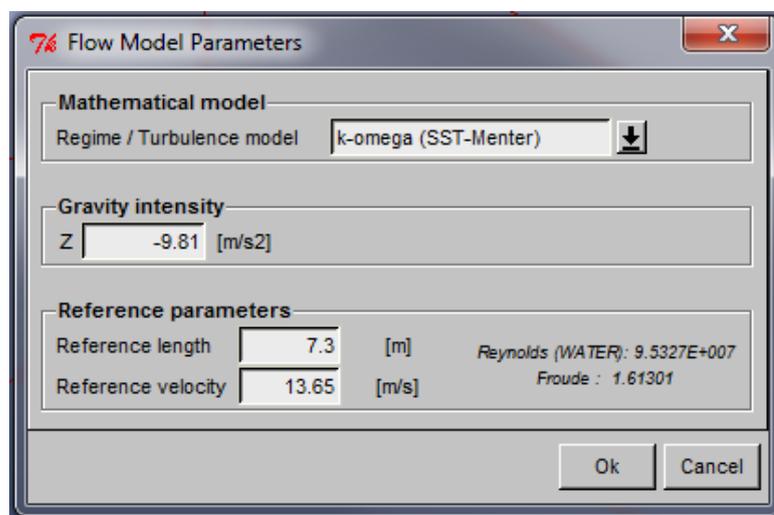


Gambar IV.24 *Physical Configuration*

Gambar IV.4 adalah menu parameter dimana didalamnya ada beberapa submenu, dimana pada submenu tersebut bagian yang perlu diatur adalah *physical configuration* dan *computational control*.

IV.3.1 *Physical Configuration*

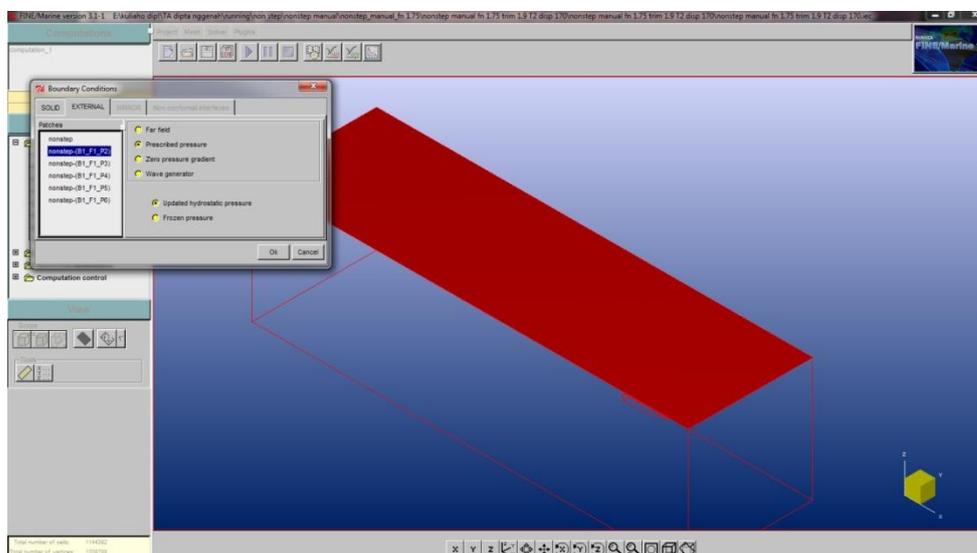
Bagian pertama dalam submenu *physical configuration* yang perlu diatur adalah *flow model*. Dalam kasus ini, *fluid model* dan *general parameter* dibiarkan dalam kondisi standar.



Gambar IV.25 *Flow Model*

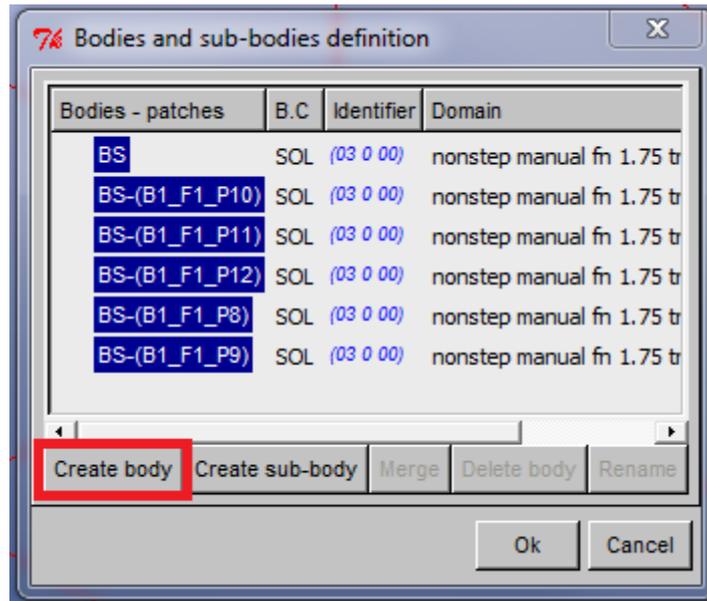
Pada Gambar IV.25 ditunjukkan pilihan di dalam menu *flow model*, bagian yang perlu dirubah dalam menu tersebut adalah *reference length* dan *reference velocity*. Bagian tersebut diisi dengan data kapal yang akan diuji yaitu untuk *reference length* bernilai 7.3 m dan untuk nilai *reference velocity* dalam contoh ini adalah 13.65 m/s.

Setelah mengisi *flow model* yang akan digunakan, menu selanjutnya yang perlu diatur adalah *boundary condition*. Ada dua kolom utama yang aktif dalam kasus ini yaitu kolom *solid* dan kolom *external*. Kolom *solid* dibiarkan dalam kondisi standar, sedangkan kolom *external* perlu diatur.



Gambar IV.26 Boundary Condition Properties

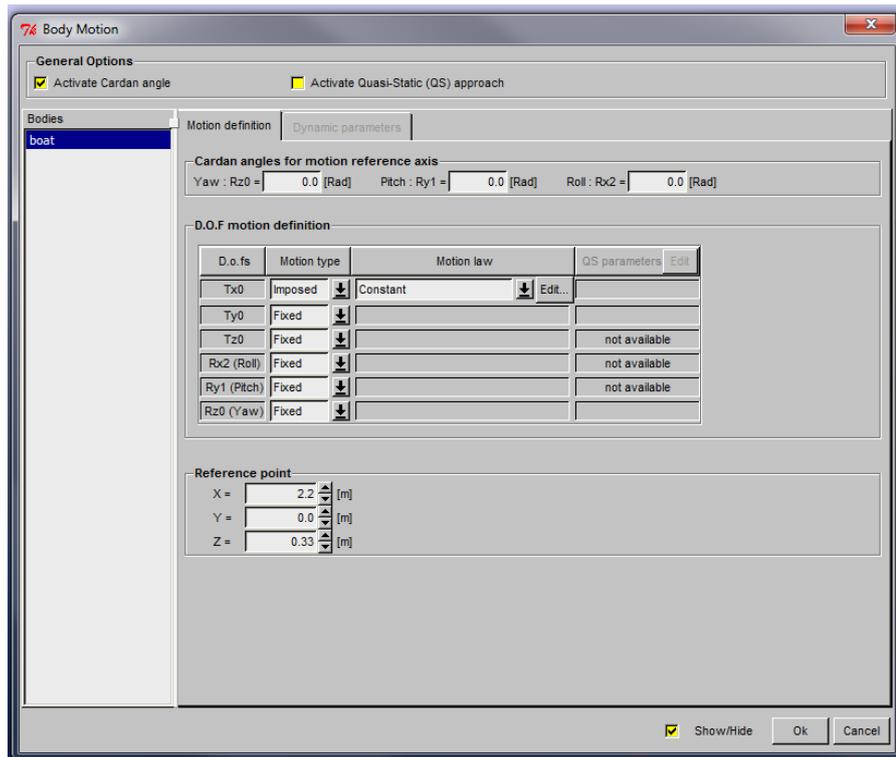
Pada Gambar IV.26 menunjukkan pilihan dalam menu *boundary condition*, ada beberapa pilihan untuk tiap *surface* yang aktif seperti *far field*, *prescribed pressure*, *zero pressure gradient* dan *wave generator*. Untuk bagian *surface* atas (seperti ditunjukkan dalam gambar) pilihan yang digunakan adalah *prescribed pressure*, begitu juga untuk *surface* bagian bawah. Untuk *surface* selain bagian tersebut, pilihan yang dipakai adalah *far field*.



Gambar IV.27 Body Definition

Pada Gambar IV.27 menunjukkan pilihan yang muncul pada menu *body definition*. Pilihan dalam kolom diatas adalah bagian *surface* dengan tipe *solid*. Sehingga dapat dikatakan bahwa *body definition* yang dimaksud adalah badan kapal yang akan diuji. Langkah yang perlu dilakukan adalah memencet tombol *shift* pada *keyboard* dan mengklik semua bagian dalam kolom tersebut lalu mengklik tombol *create body* seperti yang ditunjukkan pada kotak merah dalam gambar.

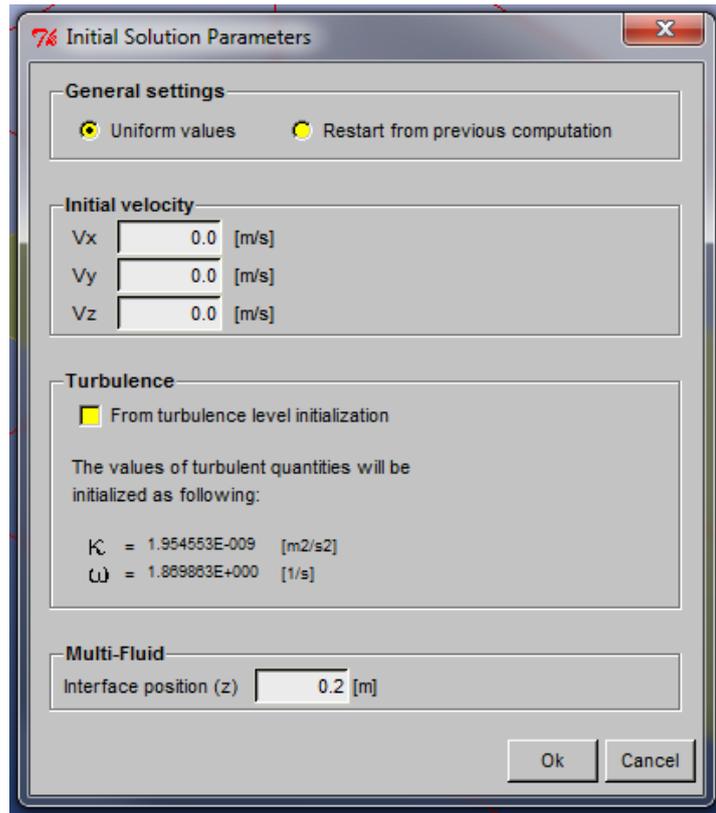
Langkah selanjutnya adalah mengatur menu *body motion*. Pada pilihan dalam *body motion* ini dapat diatur *degree of freedom* kapal apabila kapal yang akan diuji memiliki derajat kebebasan sehingga kapal dapat bergerak terhadap sumbunya akibat *hydrodynamic force* atau gaya-gaya yang lain yang diperlukan.



Gambar IV.28 *Body Motion*

Untuk kasus ini, derajat kebebasan yang aktif hanya Tx0, pada kolom *motion type* seperti ditunjukkan dalam Gambar IV.28 dirubah dari *fixed* menjadi *imposed*. Selain itu, pada kolom *reference point* diubah menurut data kapal yaitu titik berat kapal tersebut, untuk nilai X adalah nilai LCG kapal, dan untuk nilai Z yaitu VCG kapal.

Selanjutnya, hal yang perlu diatur adalah *Initial solution*. Dalam hal ini bagian yang diaitur adalah nilai sarat atau tinggi air diukur dari *baseline* kapal.

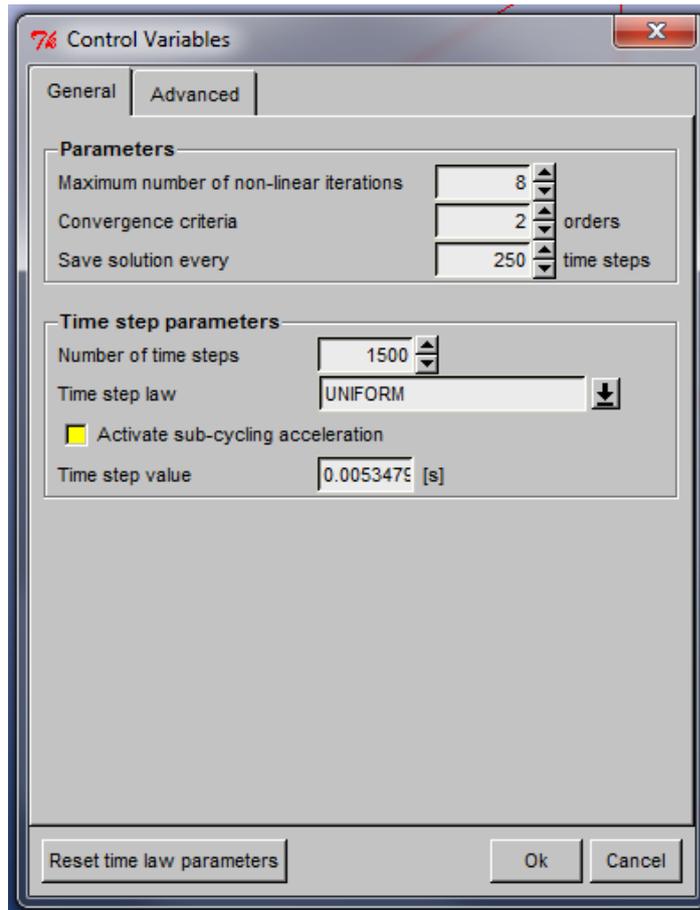


Gambar IV.29 *Initial Solution Parameter*

Pada Gambar IV.29 yaitu pilihan dalam menu *initial solution*. bagian yang dimaksud memasukan nilai tinggi sarat adalah pilihan dalam *multifluid*> *interface position*. Dalam contoh diatas, nilai tinggi sarat kapal adalah 0.2 m.

IV.3.2 Control Variables

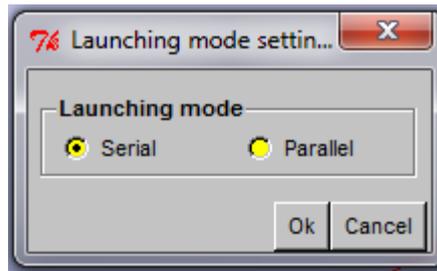
Menu selanjutnya yang perlu diatur adalah *Control Variables*. Submenu tersebut ada dalam menu *computational control* . submenu tersebut mengatur cara *solver* menyelesaikan kasus tersebut.



Gambar IV.30 Control Variables

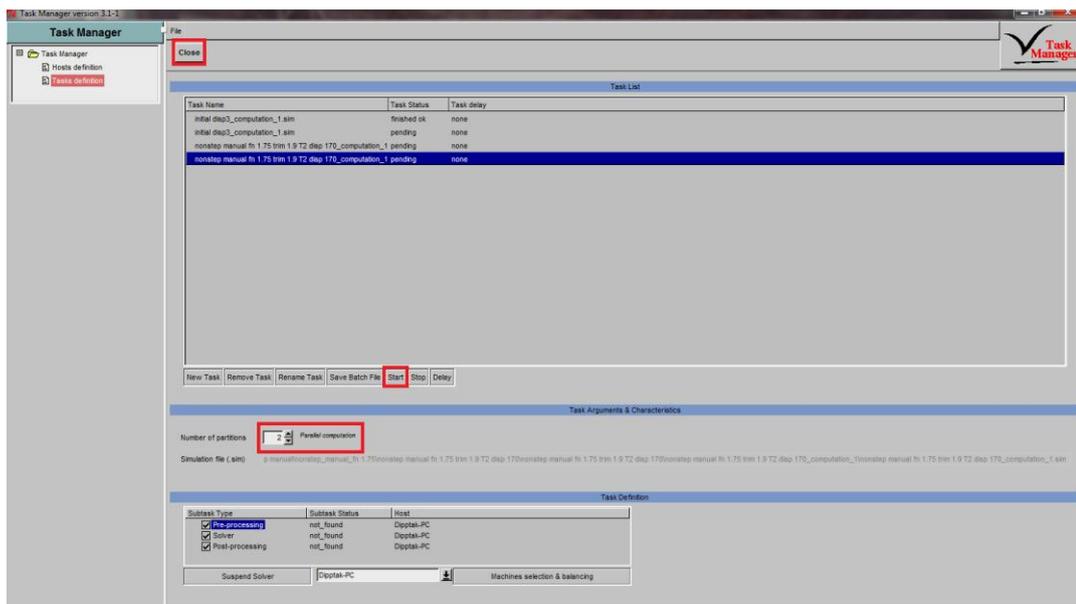
Dalam kasus ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.30 yang perlu diubah hanyalah *timestep parameter* yaitu *number of time step*. Nilai *time step* ini bergantung dari kasusnya, semakin rumit kasus yang akan diselesaikan. Salah satu contohnya apabila mengaktifkan fitur gelombang, fitur kavitasi, fitur *propeller*, dan mengaktifkan banyak *degree of freedom* maka dibutuhkan nilai *time step* yang lebih besar. Dalam kasus ini, *time step* yang digunakan berjumlah 1500.

Setelah selesai mengatur *control variables*, maka hal yang perlu dilakukan adalah *merunning* kasus tersebut. Hal yang perlu dilakukan adalah dengan mengeklik tombol  pada bagian kiri atas. Kemudian akan muncul kolom *launching mode setting*. Dalam kolom tersebut ada dua pilihan yaitu *serial* dan *parallel*.



Gambar IV.31 *Launching Model*

Pada Gambar IV.31 menunjukkan kolom *launching mode setting*. Dalam kasus ini pilihan yang dipilih adalah *parallel*. Setelah mengklik tombol OK maka akan muncul kolom *task manager*. Kolom tersebut menunjukkan beberapa pilihan seperti memilih jumlah partisi dalam melakukan *running* dll.



Gambar IV.32 *Task Manager*

Pada Gambar IV.32 menunjukkan *interface task manager*. Bagian yang perlu diatur adalah jumlah partisinya seperti yang ditunjukkan oleh kotak merah paling bawah. *Number of partition* ini bertujuan untuk memecah proses *running* dalam beberapa bagian. Semakin banyak partisi artinya proses *running* akan semakin cepat, namun perlu diperhatikan bahwa semakin banyak partisinya akan membuat komputer yang dipakai menjadi semakin berat kerjanya. Sehingga untuk menentukan jumlah partisi, perlu memperhatikan spesifikasi

komputer yang akan digunakan. Dalam kasus ini digunakan jumlah partisi sebanyak 3. Selanjutnya klik *star* , kemudian klik timbol *close*.

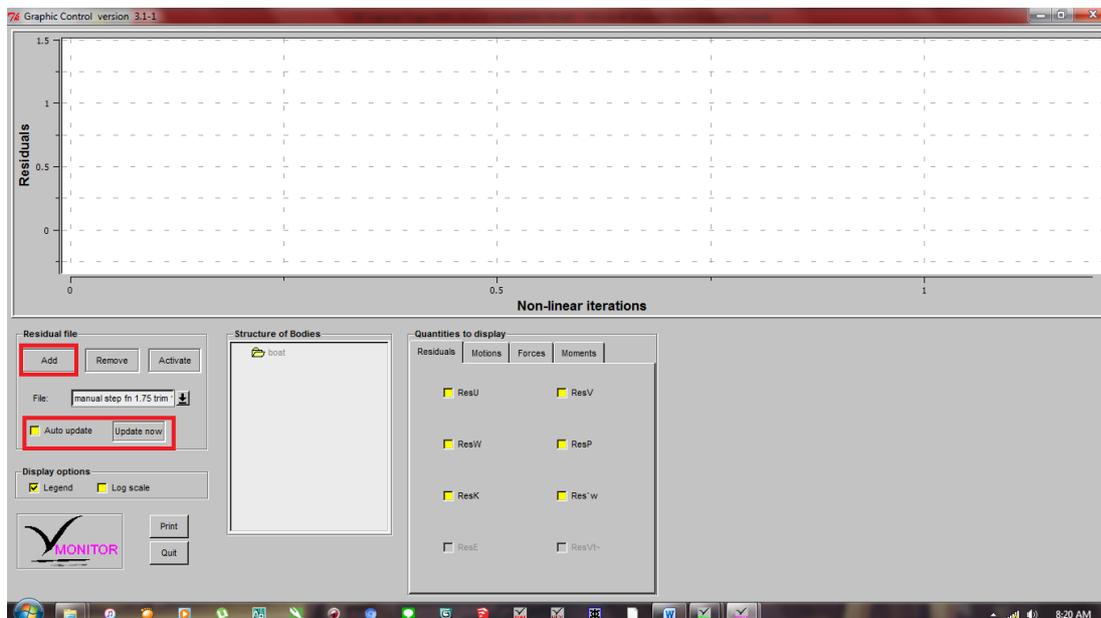
IV.4. Post Processing

Setelah sover selesai, dilakukan proses analisa data yaitu *monitoring* dan pembuatan *free surface* pada kapal. *Monitoring* merupakan proses setelah proses *solver* dilakukan untuk melihat gambar gaya yang dialami kapal selama proses *running*. Sedangkan pembuatan *free surface* dilakukan dengan menggunakan *software* CFView. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi kapal yang sedang berjalan.

Proses *monitoring* dapat dilakukan selama proses *running* berlangsung dengan menggunakan *software* Monitor. Sedangkan proses pembuatan *free surface* dilakukan setelah proses *running* selesai.

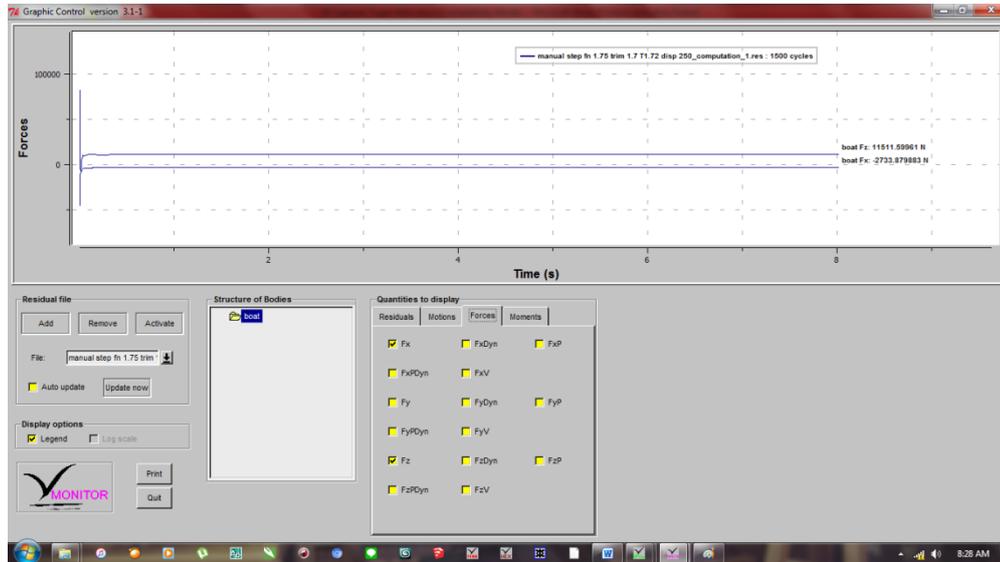
IV.4.1 Monitor

Proses *monitoring* dapat dilakukan dengan masuk ke *software* Monitor yang telah ada pada saat proses instalasi *software* Numeca. Setelah masuk ke *software* tersebut, input file *.iec* yang telah disimpan. File *.iec* adalah output file dari *solver*.



Gambar IV.33 Import Pada *Software* Monitor

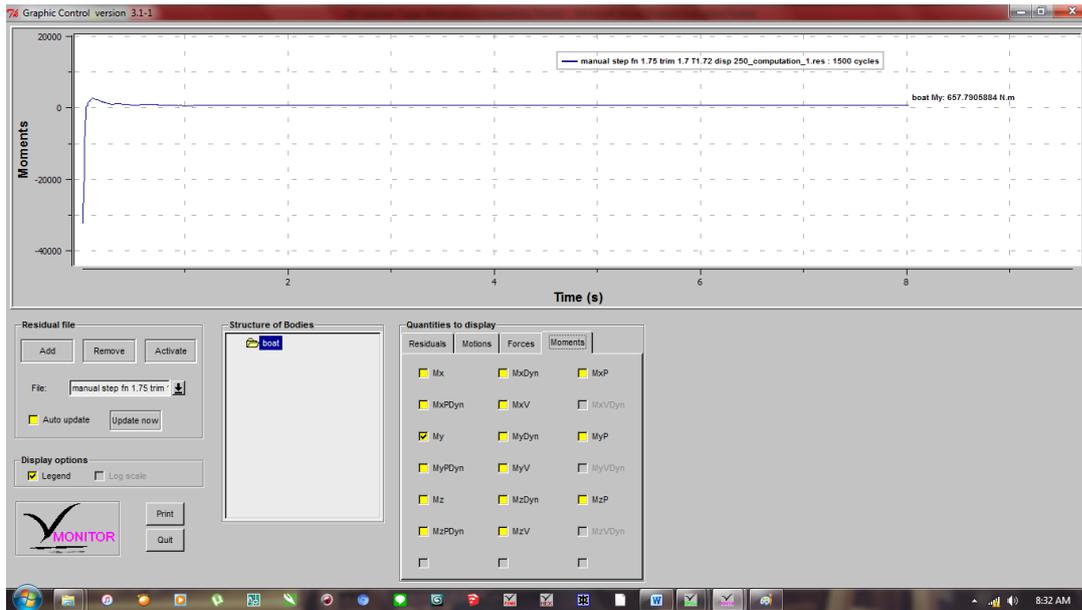
Gambar IV.33 merupakan tampilan awal ketika membuka *software* Monitor. Untuk membuka file dari *solver* yang telah disimpan, klik *add* kemudian pilih folder tempat file disimpan. Fitur *autoupdate* seperti pada gambar merupakan fitur yang perlu dicentang agar gambar terus memperbaharui setiap kali satu iterasi dilakukan.



Gambar IV.34 Force Monitoring

Untuk melihat gaya yang bekerja pada kapal, tersedia kolom *force* pada sebelah kanan bawah gambar seperti pada Gambar IV.34. Ada beberapa pilihan mengenai gambar gaya yang dapat dilihat. Pada penelitian ini, output gambar yang diinginkan adalah gaya angkat keatas atau Fz dan hambatan pada kapal atau gaya Fx.

Selanjutnya adalah melihat momen yang terjadi pada kapal. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pada penelitian ini untuk memprediksi kondisi kapal *planing* pada saat berjalan, metode yang dilakukan adalah dengan koreksi momen. Sehingga perlu dilakukan *monitoring* terhadap gaya momen yang terjadi pada kapal.



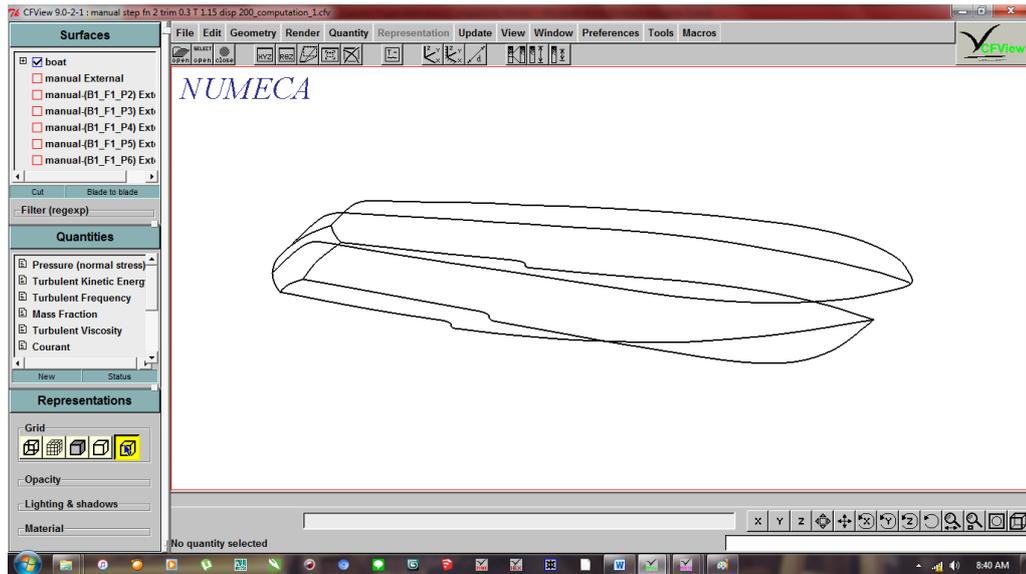
Gambar IV.35 Moment Monitoring

Seperti pada Gambar IV.35 terdapat beberapa pilihan mengenai gambar momen yang terjadi pada kapal. Pada penelitian ini, momen yang dominan adalah momen *pitching* sehingga gambar yang perlu dipilih adalah gambar momen pada sumbu Y.

IV.4.2 Pembuatan *Free Surface* dengan CFView

Seperti yang telah disebutkan diatas, proses pembuatan *free surface* dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi kapal ketika berjalan pada suatu kecepatan. Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* CFView. Proses ini dilakukan setelah proses *running* selesai dilakukan.

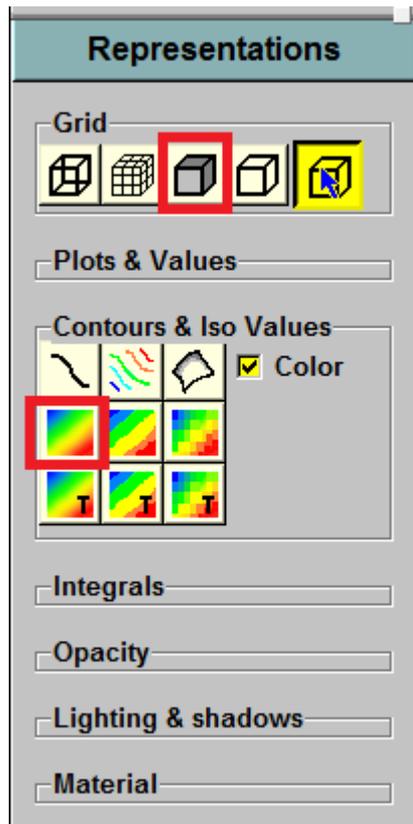
Langkah pertama yang dilakukan sama seperti pada proses *monitoring*. Setelah masuk ke dalam *software*, buka file *.cvf* pada folder yang sama dengan file hasil solver disimpan.



Gambar IV.36 Import Pada Software CFView

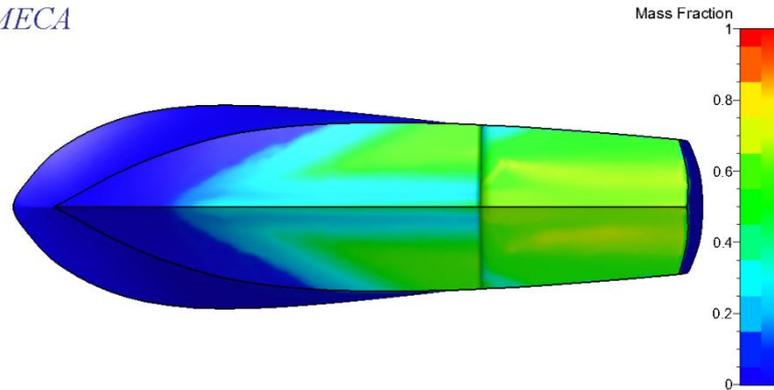
Gambar IV.36 merupakan *interface* yang muncul setelah file dibuka. Seperti yang terlihat pada gambar, terdapat beberapa kolom pilihan yang terletak di samping kiri gambar yaitu *surfaces*, *quantities*, dan *representation*.

Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah membuat *surface* kapal. Hal yang perlu dipilih dalam proses ini adalah *boat* pada kolom *surfaces* karena *surface* yang akan dibuat pertama kali adalah *surface* pada kapal. Kemudian pada kolom *quantities*, terdapat beberapa pilihan seperti *mass fraction*, *hydrodynamic pressure*, *normal pressure* dll. Pada penelitian ini, yang perlu dipilih adalah pada pilihan *mass fraction*.



Gambar IV.37 Representations

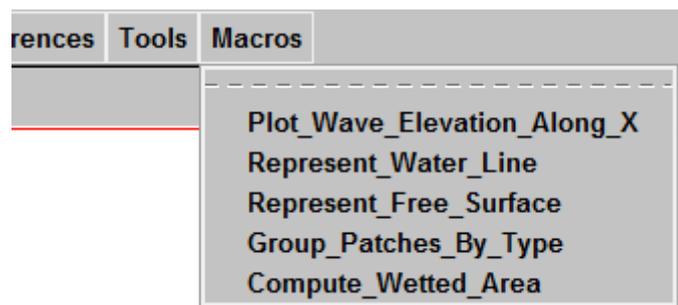
Setelah pemilihan pada kolom *quantities* selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah pengaturan pada kolom *representations*. Pada Gambar IV.37 dimana merupakan kolom *representation* pilihan yang perlu dipilih adalah bagian yang di dalam kotak merah. Kubus berwarna abu-abu merupakan pilihan untuk membuat *surface* menjadi *solid*, sedangkan kotak berwarna gradasi merupakan pilihan untuk membuat *surface* menjadi berwarna sesuai dengan pilihan pada *quantities*. Apabila dalam *quantities* yang dipilih merupakan *pressure*, maka perbedaan warna menunjukkan perbedaan tekanan pada tiap bagian *surface*.



Gambar IV.38 Menu *Mass Fraction*

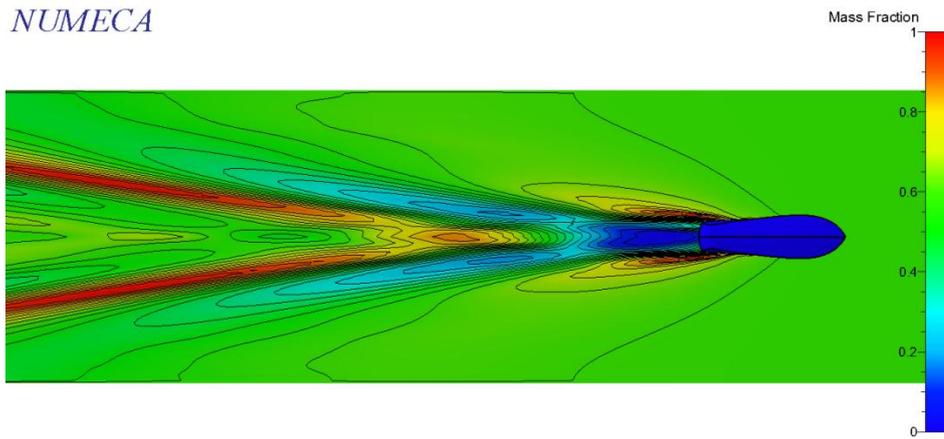
Gambar IV. 38 merupakan hasil yang diperoleh dengan memilih *boat* pada kolom *surface*, *mass fraction* pada kolom *quantities*, dan *representation* pada penjelasan tersebut diatas. Pada gambar tersebut ditunjukkan gambaran pecahan massa air pada badan kapal. Keterangan warna pada pojok kanan merupakan penjelasan perbedaan banyaknya pecahan massa air.

Proses selanjutnya adalah pembuatan permukaan bebas air. Proses ini berguna untuk mengetahui bentuk aliran dan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh kapal pada saat bergerak. Hal yang perlu dilakukan untuk melakukan proses tersebut adalah memilih *represent free surface* kolom menu *macros* pada bagian atas *interface*.



Gambar IV.39 *Macros*

Gambar IV.39 merupakan pilihan yang tersedia pada kolom menu *macros*. Pada penelitian ini, hal yang dibutuhkan adalah memunculkan permukaan bebas air untuk mengetahui aliran dan bentuk gelombang. Sehingga pilihan yang dipilih adalah *represent free surface*.



Gambar IV.40 *Free Surface Inserting*

Gambar IV.40 merupakan hasil yang didapat ketika memunculkan permukaan bebas air. Pada gambar tersebut terlihat gelombang yang dihasilkan kapal pada $Fr_{Lwl}=1,75$. Dengan mendapatkan gambaran tersebut maka performa kapal pada saat berjalan pada kecepatan tersebut dapat lebih mudah dianalisa.

BAB V

DATA DAN ANALISA HASIL SIMULASI

V.1. Pendahuluan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, perhitungan hambatan dan momen *pitching* kapal dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* NUMECA. Perhitungan tersebut dilakukan dengan mensimulasikan kapal pada berbagai posisi dengan membuat variasi *pitch* dan *heave*. Data yang didapat kemudian dievaluasi dengan memperhatikan *hydrodynamic force* dan *pitching moment equilibrium* seperti pada rumus Savitsky seperti yang telah ditulis di bab III.

Pada bab ini ada tiga hal yang akan dibahas yaitu data utama kapal, data hasil validasi data hasil *grid of independence*, dan data hasil simulasi.

V.2. Data Utama Kapal

V.2.1 Ukuran Utama Kapal

Dalam penentuan ukuran utama kapal pada penelitian ini menggunakan kapal yang telah ada. Untuk mendapatkan kapal yang sesuai dengan kondisi penelitian maka digunakan beberapa pertimbangan yaitu kecepatan, bentuk kapal, dan *appendages* kapal.

Dalam penelitian ini dibutuhkan kapal yang mampu berjalan pada *Froude number* besar yaitu 2,5 sehingga kapal yang sesuai dengan kebutuhan tersebut haruslah kapal dengan ukuran yang kecil. Kemudian bentuk kapal yang sesuai untuk penelitian ini adalah kapal dengan lambung tunggal dengan sudut *deadrise* tidak sama dengan nol.

Dan terakhir untuk *appendages*, kapal yang sesuai adalah kapal tanpa *appendages* seperti *chine*, *spray rail*, *fin* dan *appendages* yang lainnya. Hal ini dikarenakan dalam kapal *planing*, *appendages* sangat berpengaruh terhadap hambatan, gaya angkat dan momen kapal. Sehingga dalam penelitian ini, penggunaan *appendages* dihindari.

Dengan menggunakan pertimbangan yang telah disebutkan diatas, didapatkan kapal yang sesuai dengan penelitian ini, yaitu Clarion 23 Runabout. Dengan menggunakan data kapal, permodelan dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf dan dibuat semirip mungkin dengan model kapal yang digunakan. Berikut merupakan data kapal Clarion 23 Runabout.

RA 23 RUNABOUT

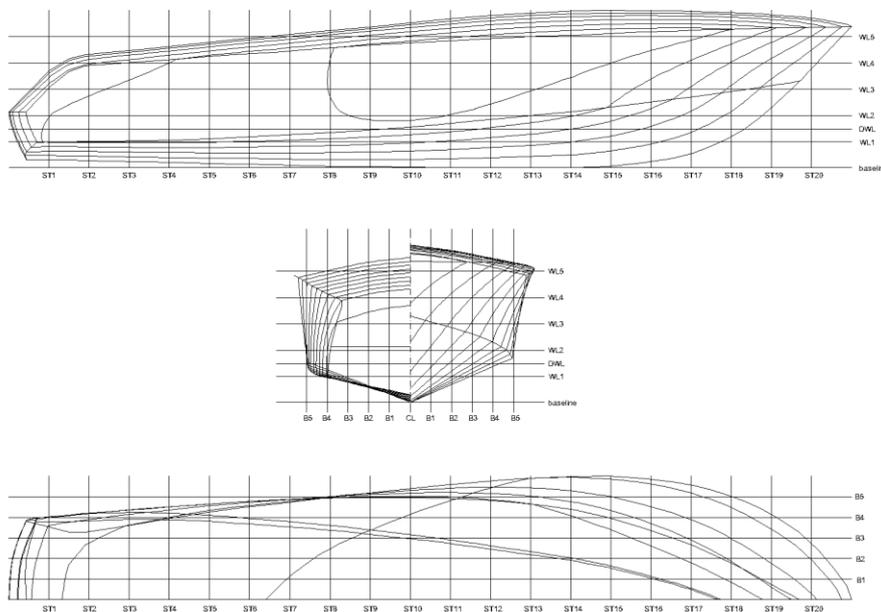
DESIGN BY STEVE KILLING

SPECIFICATIONS

LOA	23' 4" (7.3 M)
BEAM	6' 6" (2 M)
DISPLACEMENT	3,200 LB (1,451 KG)
STANDARD ENGINE	5.7 LITRE MERCRUISER EFI HORIZON, 300 HP

Gambar V.1 Ukuran Utama Kapal Model

Gambar V.1 merupakan data kapal Clarion Runabout 23 dimana kapal tersebut akan digunakan sebagai model dalam penelitian ini. Dengan mengetahui data ukuran utama kapal dan *linesplan* kapal, *linesplan* dibuat dengan *software* Maxsurf. Berikut merupakan *linesplan* kapal Clarion 23 Runabout.



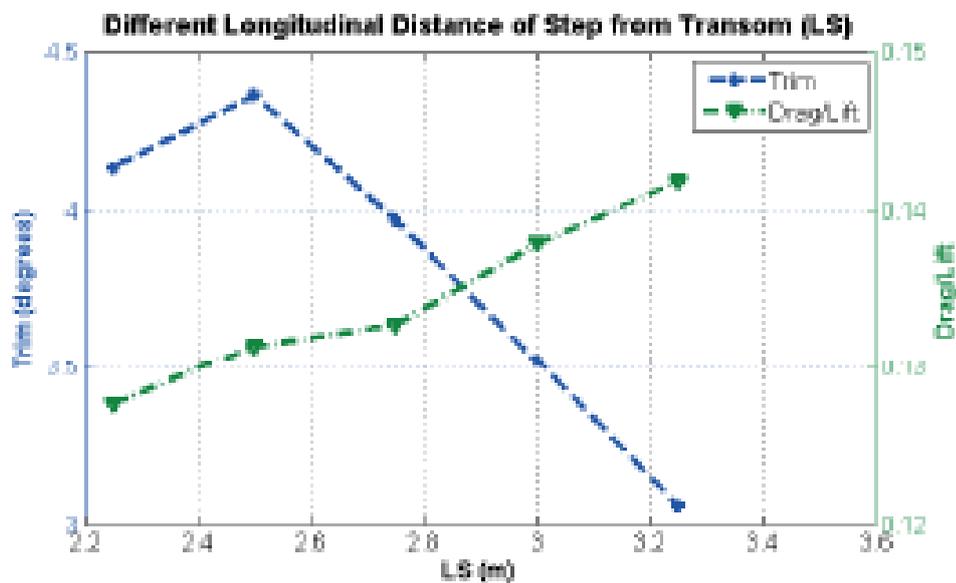
Gambar V.2 Linesplan Kapal Hasil Permodelan

Kapal yang telah dimodelkan seperti pada Gambar V.2 dibuat semirip mungkin dengan data kapal seperti *displacement* dan ukuran utama. Untuk data *hydrostatic* kapal

menyesuaikan dengan model yang dibuat. Dengan selesainya permodelan tersebut, maka model kapal tanpa step telah selesai dilakukan

V.2.2 Letak Step

Dalam mendesain kapal dengan *transverse step*, tidak ada metode khusus yang digunakan untuk menentukan letak step yang optimal. Dalam mendesain sebuah kapal dengan step, para desainer memakai *rule of thumb* yang ada atau menggunakan metode *trial and error*. *Rule of thumb* yang dimaksud adalah suatu hukum berdasarkan pengalaman dimana dalam hal ini adalah letak step harus berada di depan titik berat kapal.



Gambar V.3 Perbandingan Trim dan Hambatan Kapal Terhadap Variasi Letak Step (Gassemi, 2015)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gassemi (2015) didapatkan hasil perbandingan sudut trim dan hambatan kapal seperti yang dapat dilihat pada Gambar V.3 dimana pada gambar tersebut, gambar sudut trim menunjukkan semakin posisi step didepan maka semakin kecil sudut trim yang dialami kapal pada saat berjalan. Pada step 2,2m dari transom kapal trim yang dialami sebesar 3,4 sedangkan pada letak step paling jauh dari transom yaitu pada 3,25m didepan *transom* kapal, sudut trim senilai 4,2 derajat. Namun letak step yang berada di depan membuat hambatan kapal menjadi semakin besar juga. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan tersebut, letak step yang optimal adalah pada $\pm 2,9$ meter dihitung dari *transom* kapal atau 31% Loa.

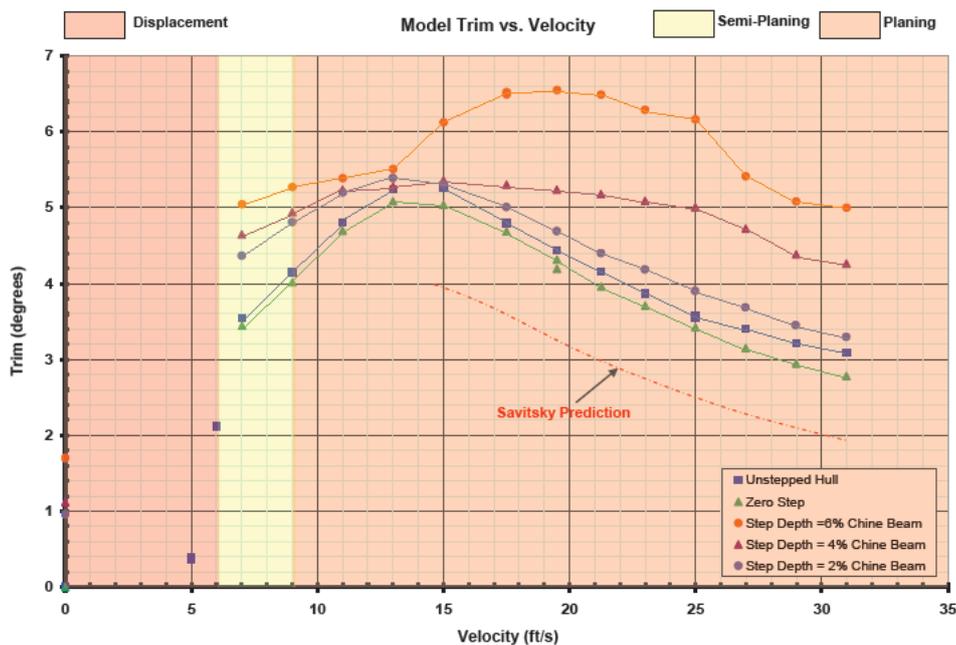
Seperti pada kebanyakan penelitian yang telah dilakukan, tidak banyak yang membuat penelitian dengan membandingkan beberapa variasi letak step. Pemilihan posisi step pun tidak dijelaskan, namun apabila dibandingkan maka hasil yang didapat tidaklah terlalu berbeda. Sebagai contoh pada penelitian yang dilakukan oleh Golah (2014) . Pada penelitian tersebut, model yang digunakan memiliki panjang total 2 meter dengan letak step pada 0,62 meter dari transom atau 31%LoA. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Svahn (2015) posisi step yang digunakan adalah 29%LoA.

Dari tiga penelitian yang telah dilakukan diatas, dapat disimpulkan bahwa meskipun pada penelitian tersebut tidak menyebutkan bagaimana letak step ditentukan namun memiliki tren yang sama yaitu pada 29% hingga 31%Loa. Sehingga pada penelitian ini, diputuskan bahwa letak step berada pada 30%Loa. Dengan memasukan panjang kapal yang digunakan pada penelitian ini, didapatkan letak step yaitu pada 2,2 meter diukur dari transom kapal.

V.2.3 Step Depth

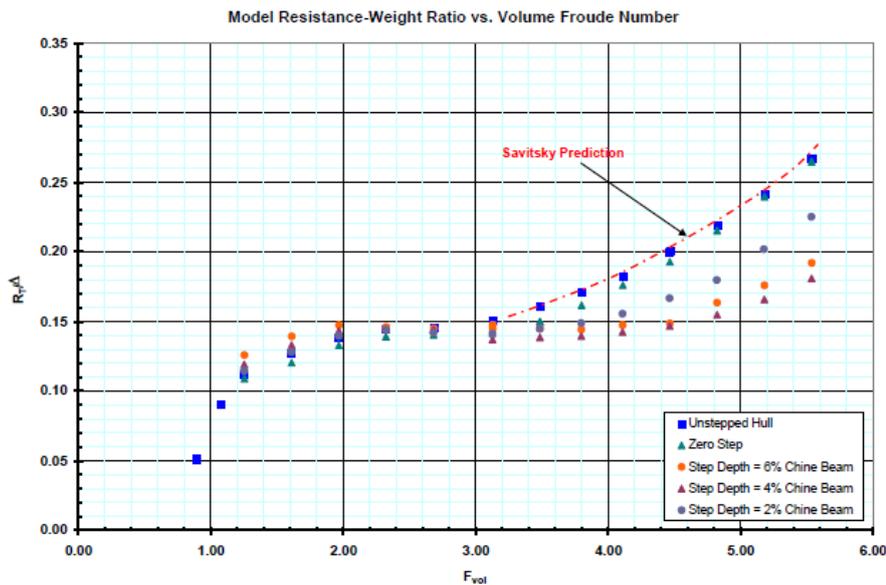
Dengan menggunakan ukuran utama kapal yang sama, dilakukan modifikasi terhadap bagian bawah kapal yaitu penambahan *transverse step*. Permasalahan yang muncul kemudian adalah bagaimana menentukan letak dan tinggi step tersebut

Dalam penelitian ini *step* yang digunakan menggunakan satu variasi letak dan tinggi, sehingga diperlukan studi literatur mengenai penelitian yang membahas variasi letak dan tinggi step. Salah satu jurnal yang membahas tinggi step adalah penelitian yang dilakukan oleh Garland (2015). Dimana dalam penelitian tersebut dilakukan percobaan dengan menggunakan tiga variasi tinggi step. berikut merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian Garland (2015).



Gambar V.4 Perbandingan Trim Kapal Terhadap Tinggi Step (Garland, 2010)

Gambar V.4 merupakan hasil perbandingan lima variasi kapal tanpa step, *zero step*, dan kapal dengan tiga variasi tinggi step yaitu 6% lebar kapal, 4% lebar kapal, dan 2% lebar kapal. Dapat dilihat dalam gambar tersebut bahwa kapal dengan *zero step* memiliki sudut trim yang paling kecil, pada sudut trim yang paling tinggi yaitu pada kecepatan 13ft/s kapal memiliki sudut trim sebesar ± 5 derajat, dan pada kecepatan 31ft/s kapal tersebut memiliki sudut trim terkecil yaitu $\pm 2,8$ derajat. Sehingga dapat diketahui bahwa kapal dengan *zero step* memiliki perbedaan sudut trim antara sudut tertinggi dan terendah senilai 2,2 derajat. Dengan melakukan perhitungan yang sama, didapatkan hasil perbedaan sudut trim kapal antara sudut tertinggi dan terendah pada kapal tanpa step senilai $\pm 2,2$ derajat; kapal dengan tinggi step 6% lebar kapal senilai $1 \pm 1,5$ derajat; kapal dengan tinggi step 4% lebar kapal senilai $\pm 1,1$ derajat; dan kapal dengan tinggi step 2% lebar kapal senilai ± 2 derajat. Dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kapal dengan nilai perbedaan sudut trim terkecil yaitu kapal dengan tinggi step 4% lebar kapal. Pada penelitian tersebut juga ditunjukkan hasil mengenai perbandingan hambatan kapal dengan variasi tinggi step. berikut merupakan hasil perbandingan variasi tinggi step.



Gambar V.5 Perbandingan Hambatan Kapal Terhadap Tinggi Step (Garland, 2010)

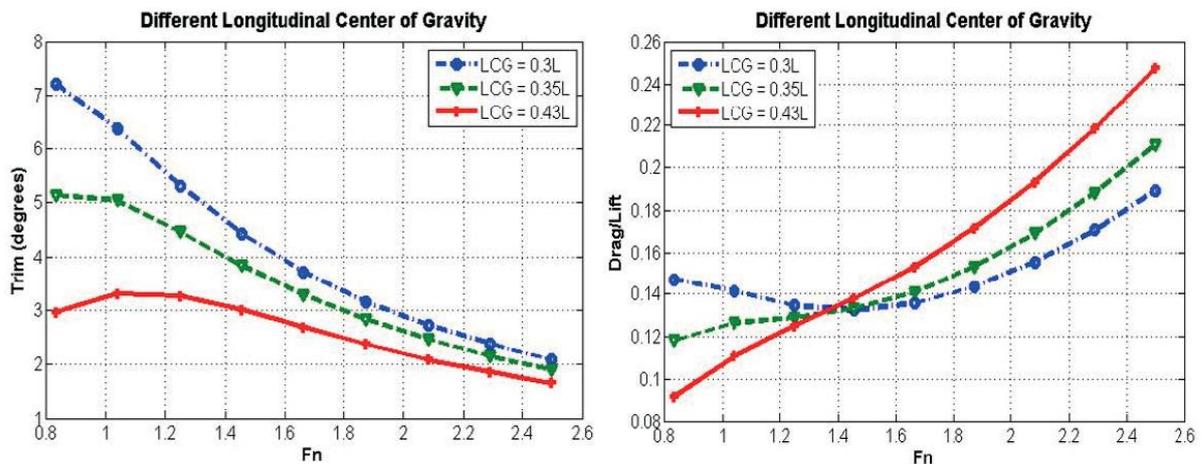
Dalam Gambar V.5 ditunjukkan perbedaan hambatan pada kapal dengan variasi tinggi step dengan konfigurasi yang sama dengan gambar sudut trim. Pada gambar hambatan diatas masing-masing memiliki hambatan yang hampir sama pada $FrV \leq 3$. Kapal tanpa step dan kapal tanpa step dengan *open hole* memiliki hambatan/ Δ yang mirip yaitu senilai $\pm 0,27$ pada $FrV=5,5$. Pada kecepatan yang sama kapal dengan tinggi step 6% lebar kapal memiliki nilai hambatan dibagi displasmen sebesar $\pm 0,225$; kapal dengan tinggi step 4% lebar kapal senilai $\pm 0,19$; dan kapal dengan tinggi step 2% lebar kapal senilai $\pm 0,18$. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kapal dengan tinggi step 2% lebar kapal memiliki hambatan yang paling besar mengingat displasmen kelima variasi kapal sama.

Setelah dilakukan analisa pada hasil penelitian tersebut, maka tinggi step yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 4% dari lebar kapal. Sehingga dengan memasukan data ukuran kapal pada penelitian ini, didapatkan tinggi step sebesar 0,08 m.

V.2.4 Longitudinal Center of Gravity

Masalah yang timbul pada saat mendesain sebuah kapal cepat adalah penentuan letak *Longitudinal Center of Gravity* atau LCG. Hal ini dikarenakan pada kecepatan tinggi, letak titik berat kapal sangat berpengaruh dalam performa kapal. Kesalahan dalam menentukan letak LCG menyebabkan gerak *porpoising* yaitu gerak osilasi *pitching* sehingga kapal akan bergerak mengangguk terus menerus (Svahn, 2009).

Pada penelitian ini, variasi LCG yang digunakan hanya berjumlah satu sehingga diperlukan studi literatur mengenai letak LCG yang optimal pada kapal dengan dengan step dan tanpa step. Penelitian yang telah dilakukan dengan melakukan variasi pada LCG kapal adalah penelitian yang dilakukan Gassemi (2015). Pada penelitian tersebut, dilakukan penelitian dengan menggunakan tiga variasi LCG yaitu 0,3L; 0,35L; dan 0,43L. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar V.6 Perbandingan Trim dan Hambatan Terhadap Letak LCG (Gassemi, 2015)

Gambar V.6a merupakan gambar yang didapat dengan membandingkan tiga variasi LCG terhadap sudut trim kapal. Terlihat bahwa kapal dengan letak LCG 0,43L memiliki sudut trim yang paling kecil diantara ketiga variasi, sedangkan pada LCG 0,3L memiliki sudut trim yang paling besar. Gambar V.6b merupakan gambar yang dihasilkan dari ketiga variasi LCG terhadap hambatan kapal. Terlihat bahwa kapal dengan posisi LCG 0,43L memiliki hambatan yang paling besar diantara ketiga variasi LCG tersebut sedangkan pada LCG 0,3L memiliki hambatan yang paling kecil.

Dengan melakukan analisa terhadap hasil yang didapat dari penelitian tersebut diatas, maka diputuskan bahwa LCG yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pada posisi 0,35L. Dengan memasukkan nilai panjang kapal yaitu 7,3 meter maka letak LCG yang didapat adalah 2,55 meter diukur dari transom kapal.

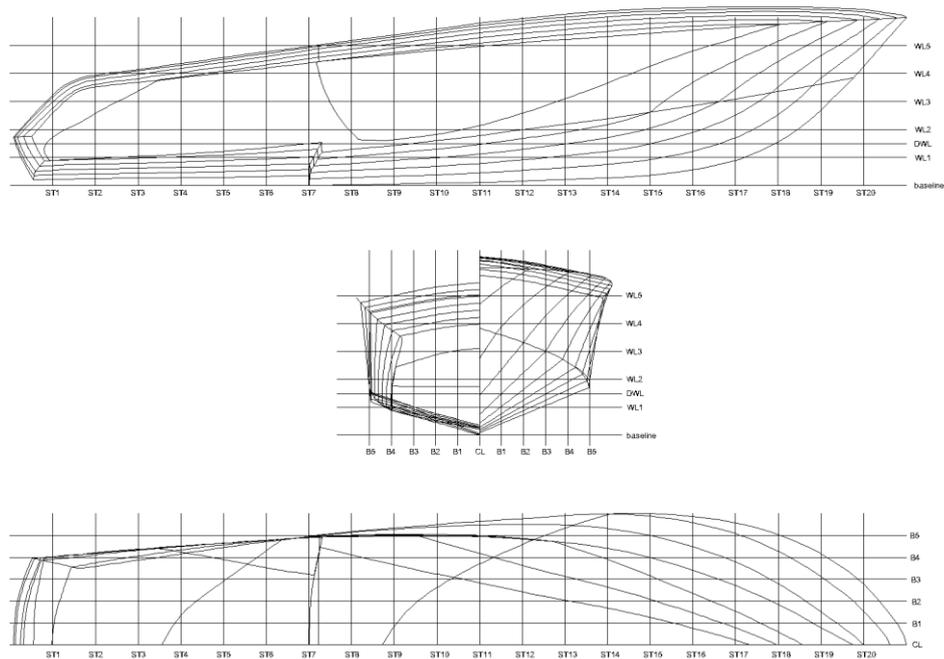
V.2.5 Data Ukuran Utama Kapal Dengan Step

Setelah dilakukan analisa mengenai posisi step, tinggi step, dan letak LCG dengan memperhatikan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pembuatan model kapal dengan step dapat dilakukan. Dengan menggunakan ukuran utama dan displasmen kapal tanpa step yang sama, maka didapatkan data kedua kapal yang siap diuji. Berikut adalah data hidrostatik dari model kapal.

Tabel V.1 Ukuran Utama Kapal Dengan dan Tanpa Transverse Step

No.	Komponen	Nilai		Unit
		Tanpa <i>transverse step</i>	Dengan <i>transverse step</i>	
1	Displacement	1452,57	1457,4	kg
2	Volume	1417136	1421854,32	cm ³
3	Draft	33,3	34,8	cm
4	Lwl	6,33	6,2012	m
5	Beam Waterline	2	2	m
6	LCG	2,55	2,55	m
7	LoA	7300	7300	cm
8	CB	0,378	0,366	-
9	LCB	273,58	265,34	-
10	Cp	0,729	0,708	-
11	Cm	0,584	0,611	-
12	Cwp	0,739	0,729	-
13	L/B	4,101584448	4,078668008	-

Data hidrostatik kapal dapat dilihat pada Tabel V.1, data tersebut didapatkan dari *software* Maxsurf. Dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa nilai sarat berbeda antara lambung yang menggunakan step dan tanpa menggunakan step. Hal itu dikarenakan modifikasi yang dilakukan pada bawah lambung mengurangi volume air yang tercelup, sehingga sarat kapal dinaikan agar mendapatkan *displacement* yang sama.



Gambar V.7 Linesplan Kapal Dengan Transverse Step

Gambar IV.7 merupakan *linesplan* kapal setelah dilakukan modifikasi dengan melakukan penambahan *transverse step* pada bagian dasar kapal. Setelah kedua *linesplan* kapal selesai dibuat, maka selanjutnya akan ditentukan kecepatan kedua kapal untuk dilakukan simulasi pada penelitian ini.

Pemilihan kecepatan kapal pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan beberapa pertimbangan yaitu kecepatan optimal kapal dengan *transverse step*. Lambung kapal jenis lambung tunggal dengan *transverse step* pada kecepatan rendah (fase displasmen dan *semi-planing*) memiliki hambatan yang lebih besar dibanding kapal tanpa *transverse step* namun memiliki hambatan yang lebih kecil pada kecepatan tinggi ($Fr \geq 1,7$) (Campbell, 2012). Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka diputuskan dalam penelitian ini, simulasi kapal dilakukan dengan memberikan kecepatan kapal $Fr=1,5$ hingga $Fr=2,5$ dengan melakukan lima variasi kecepatan.

Variasi *Froude Number* dilakukan pada 5 variasi kecepatan yaitu 1,5; 1,75; 2; 2,25; dan 2,5. Dengan menggunakan rumus Fr dari Lewis (1980). Berikut proses perhitungan untuk mendapatkan kecepatan kapal tanpa step pada $Fr = 1,5$.

Pada rumus diatas panjang kapal (L) yang dimaksudkan seperti pada landasan teori adalah panjang garis air kapal atau L_{wl} . Sehingga dari data data hidrostatis dan dimasukkan ke dalam rumus diatas didapatkan hasil kecepatan kapal tanpa step pada $Fr_{Lwl} = 1,5$ sebesar 11,82m/s.

Dengan memasukan rumus yang sama, dan dengan memasukan nilai *Froude Number* yang telah disebutkan diatas maka didapatkan nilai kecepatan pada masing-masing *Froude Number* adalah sebagai berikut.

Tabel V.2 Variasi Kecepatan Kapal

Fr V	Fr Lwl	Kecepatan		Unit
		Tanpa Step	Dengan Step	
1,12	1,50	11,82	11,70	m/s
1,30	1,75	13,79	13,65	m/s
1,49	2,00	15,77	15,60	m/s
1,68	2,25	17,74	17,55	m/s
1,86	2,50	19,71	19,50	m/s

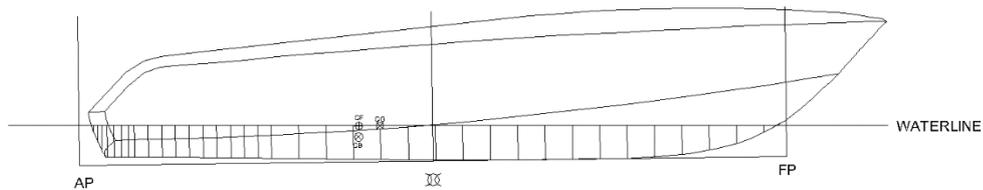
Tabel V.2 merupakan data hasil perhitungan dimana didapatkan hasil kecepatan kapal pada tiap-tiap *Froude Number*. Nilai kecepatan pada satu Fr antara kapal tanpa step dan kapal dengan step memiliki hasil yang berbeda karena nilai panjang kapal yang dimaksud dalam rumus Fr adalah nilai L_{wl} sehingga nilai kecepatan akan berbeda, hal ini dikarenakan seperti yang telah disebutkan diatas, nilai sarat kapal berbeda antara kapal tanpa step dan kapal yang menggunakan step.

V.2.6 Initial Trim Kapal

Kapal yang telah didesain dengan dan tanpa *transverse step* memiliki perbedaan titik apung. Hal ini karena titik apung kapal dipengaruhi oleh bentuk dan sarat kapal. Seperti yang telah disebutkan diatas, kedua kapal memiliki bentuk dan sarat yang berbeda. Karena perbedaan ini, meskipun kedua kapal memiliki titik berat yang sama, kapal memiliki *initial trim* yang berbeda. Pada saat kapal *planing* berada pada kondisi statis atau berhenti, kapal *planing* umumnya tidak dalam kondisi *evenkeel* atau berada pada kondisi dimana haluan dan

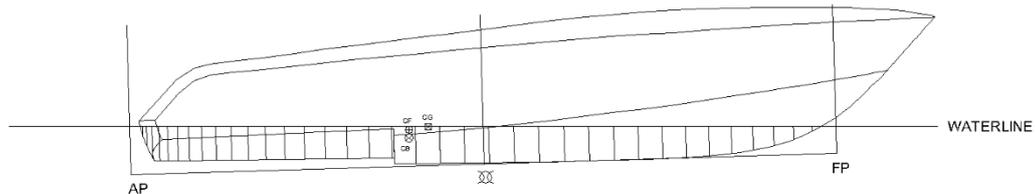
buritan memiliki ketinggian yang sama. Artinya ketika dalam kondisi berhenti, kapal berada pada kondisi trim.

Untuk mendapatkan nilai trim awal kapal, dalam penelitian ini digunakan *software* Maxsurf Stability. Dengan memasukan desain kapal dan titik berat kapal, didapatkan nilai sudut trim awal kapal tanpa step adalah sebagai berikut.



Gambar V.8 Initial Trim Kapal Tanpa Step

Pada Gambar V.8 ditunjukkan sudut trim awal kapal setelah LCG dimasukkan. Pada gambar tersebut juga dijelaskan bahwa kapal dengan letak LCG 2,55 meter dari transom kapal ketika berada pada kondisi diam tidak berada pada kondisi *evenkeel*. Nilai sudut trim kapal tersebut adalah 1,05 derajat. Dengan melakukan perhitungan yang sama juga dilakukan pada kapal dengan *transverse step*. berikut merupakan hasil perhitungan sudut trim awal kapal dengan menggunakan *software* Maxsurf Stability.



Gambar V.9 Initial Trim Kapal Dengan Step

Hasil yang didapatkan dalam perhitungan sudut trim awal kapal ditunjukkan pada Gambar V.9 pada gambar tersebut terlihat bahwa sudut trim pada kapal dengan *transverse step* lebih besar dibandingkan dengan kapal tanpa step. hal ini dikarenakan pada kapal dengan *transverse step* bagian dasar lambung kapal bagian belakang lebih tinggi dibanding kapal tanpa *transverse step* sehingga mengurangi gaya angkat pada bagian belakang kapal. Sudut trim awal kapal dengan *transverse step* sebesar 1,7 derajat.

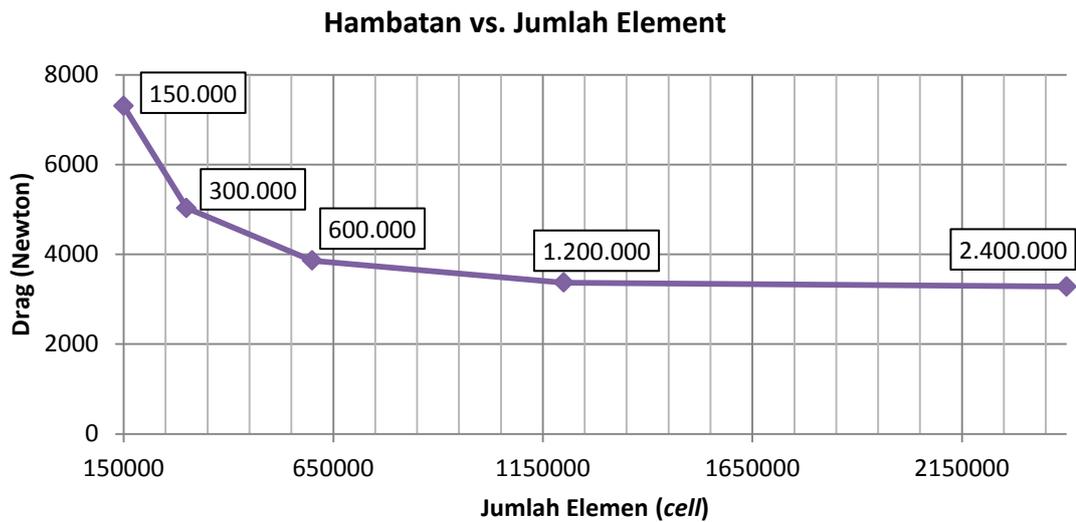
V.3. *Grid Independence*

Sebelum penelitian dilakukan, diperlukan perhitungan nilai jumlah *cell* yang akan dipakai agar hasil penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil yang akurat. Nilai jumlah *cell* terkecil adalah 0,15 juta elemen sedangkan jumlah *cell* terbanyak adalah 2,4 juta element. Percobaan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *grid of independence* dilakukan dengan menggunakan lima nilai jumlah *cell*.

Tabel V.3 *Grid Independence*

No	jumlah element [cell]	Drag [N]	Lift [N]	Moment [Nm]
1	150000	5301	28914,54	-7381,75
2	300000	4831	27948,26	-7240,08
3	600000	4361	26981,98	-7098,41
4	1200000	3268	24491,73	-6434,38
5	2400000	3279	24582,91	-6450,44

Pada Tabel V.3 dapat dilihat lima variasi jumlah *cell* yang telah dilakukan percobaan dengan menggunakan *software* NUMECA, terlihat bahwa masing-masing element memiliki nilai *drag*, *lift* dan *moment* yang berbeda-beda namun apabila diperhatikan, nilai yang didapatkan pada penelitian pada jumlah elemen 1,2 juta dan 2,4 juta, didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh.



Gambar V.10 Perbandingan Hambatan Dengan Jumlah Elemen

Pada gambar gambar 5.10 menunjukkan nilai perbedaan antara jumlah elemen dan nilai hambatan atau *drag* sebagai nilai perbandingan. Menurut penelitian yang dilakukan David Frisk (2015) nilai perbedaan yang didapatkan adalah sebesar 1,3%. Sedangkan untuk data Tabel V. Diatas, didapatkan nilai hasil perbedaan sebesar 0,34 % sehingga dapat disimpulkan bahwa pada jumlah *cell* 1,2 juta elemen bisa dipakai sebagai nilai jumlah *cell* untuk penelitian selanjutnya.

V.4. Hasil Penelitian

Setelah dilakukan analisa *grid of independence*, simulasi kedua kapal dengan variasi lima kecepatan dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Numeca. Setelah dilakukan simulasi, hasil yang didapatkan dianalisa dengan menggunakan *pitching moment equilibrium*. Setelah memenuhi, analisa yang dilakukan selanjutnya adalah analisa hambatan dan gaya angkat.

V.4.1 Analisa *Pitching Moment Equilibrium*

Dalam penelitian ini, ada tiga aspek yang akan menjadi topik utama, yaitu hambatan kapal, *hydrodynamic force*, dan *pitching moment equilibrium*. Setelah kapal dengan step dan tanpa step selesai diuji, data yang dihasilkan diolah kembali agar mendapatkan hasil yang optimal. Seperti pada *paper* yang ditulis oleh Daniel Savitsky (1964) dimana dikatakan bahwa untuk memprediksi performa kapal planing dapat dilakukan dengan menggunakan tiga

koreksi yaitu *vertical equilibrium of force*, *horizontal equilibrium of force*, dan *Equilibrium of pitching moment*.

Dalam penelitian ini, pengimplementasian rumus koreksi yang ditulis Savitsky dilakukan berdasarkan *paper* yang ditulis oleh Svahn (2009) dimana dalam *paper* tersebut dengan menggunakan variasi sudut trim kapal didapatkan momen yang bernilai negatif dan momen yang bernilai positif. Setelah didapatkan nilai kedua momen tersebut, dilakukan koreksi dengan menggunakan interpolasi linear.

Metode yang sama dilakukan pada penelitian ini, berikut adalah contoh salah satu proses pengolahan data yang didapat dari *software* NUMECA kemudian dikoreksi dengan menggunakan metode yang sama yang dilakukan oleh Svahn (2009).

Tabel V.4 Tabel Momen Kapal Tanpa Step $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$

trim [deg]	trim total [deg]	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
4	4,7	300	0,246	-1946,93	13367,59	2531,01
3,5	4,2	300	0,23	-2191,91	12811,99	1502,65
3	3,7	300	0,22	-1805,81	12022,63	801,94
2,692	3,392	336,512	0,215	-2061,04	11322,62	38,82
2,683	3,383	314,095	0,215	-2058,73	11132,11	0
2,678	3,378	301,482	0,215	-2054,91	11024,92	-21,842
2,5	3,2	300	0,205	-1918,65	10901,01	-498,77

Tabel V.4 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=1,5$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 4; 3,5; dan 3 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 2,5. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=1,5$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 3,383.

trim [deg]	trim total [deg]	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
3	3,7	250	0,195	-2623,01	14202,98	2691,71
2,5	3,2	250	0,2	-2820,15	15961,91	1583
2	2,7	250	0,204	-2594,09	12296,74	1029,85
1,730	2,430	246,775	0,211	-2399,83	11973,85	76,7
1,730	2,416	246,775	0,211	-2393,46	11464,95	0
1,711	2,411	236,450	0,211	-2391,09	11275,85	-28,5
1,5	2,2	250	0,2105	-2452,16	11430,66	-876,45

Tabel V.5 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=1,75$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 3,7; 3,2; dan 2,7 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 2,7. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=1,75$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 2,416.

trim [deg]	trim total [deg]	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
2	2,7	200	0,175	-3086,8	17416,84	3546,633
1,5	2,2	200	0,165	-3640,83	15024,93	1802,94
1	1,7	200	0,162	-2901,85	12801,81	821,02
0,712	1,412	230,930	0,153	-2698,03	12392,77	53,92
0,712	1,400	230,930	0,153	-2723,57	12001,29	0
0,694	1,394	197,737	0,153	-2735,51	11818,33	-25,2
0,5	1,2	200	0,149	-2693,46	11384,84	-602,021

Tabel V.6 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=2$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 2,7; 2,2; dan 1,7 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 0,5. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=2$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 1,40.

trim [deg]	trim total [deg]	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
1,5	2,2	250	0,154	3685,98	15243,88	3388,84
1	1,7	200	0,134	3339,11	14019,93	1503,86
0,5	1,2	200	0,129	3102,43	12842,02	1105,5
0,119	0,819	216,510	0,112	-3050,27	12621,56	60,61
0,119	0,807	216,510	0,112708	-3052,57	12240,79	0
0,101	0,801	176,913	0,113	-3053,52	12083,61	-25,02
0	0,7	200	0,102	2994,83	11901,75	-345,73

Tabel V.7 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=2,25$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 2,2; 1,7; dan 1,2 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 1,5. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=2,25$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 0,897.

Tabel V.5 Momen Kapal Tanpa Step $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$

trim [deg]	trim total [deg]	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
1	1.7	200	13.6	-4019.94	14029.92	2429.04
0.5	1.2	200	0.085	-3892.41	13760.34	1093.84
0	0.7	200	0.12	-3625.84	12844.84	319.93
-0.297	0.403	193.105	0.11	-3501.92	12722.91	21.93
-0.297	0.397	193.105	0.10707	-3496.31	12630.76	≈0
-0.316	0.384	162.171	0.1	-3482.77	12408.43	-52.91
-0.5	0.2	200	0.0994	-3202.88	12021.96	-217.91

Tabel V.8 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=2,5$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 1,7; 1,2; dan 0,7 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 0,2. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=2,5$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 0,397.

Tabel V.4 hingga Tabel V.8 merupakan hasil yang didapat dari perhitungan numeric dengan menggunakan *software* Numeca dan koreksi dengan menggunakan metode interpolasi linear sehingga didapatkan nilai sudut trim dan *sinkage* kapal dengan momen mendekati nol. Dengan diperoleh nilai momen sama dengan nol, dapat dikatakan bahwa kapal pada posisi tersebut berada pada kondisi *pitching moment equilibrium*. Dengan melakukan

metode yang sama, didapatkan perhitungan *pitching moment equilibrium* pada kapal dengan *transverse step* sebagai berikut.

Tabel V.6 Momen kapal dengan step Fr=1,5 atau FrV=1,12

trim deg	trim total deg	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
4	5.7	300	0.23	-2621	14663	2620.45
3.5	5.2	300	0.216	-2355.88	13363.25	1601.35
3	4.7	300	0.211	-2248.1	11348.17	725.21
2.628	4.328	297.148	0.208	-2175.38	11356.83	57.21
2.628	4.309	297.148	0.208	-2190.92	11343.02	≈0
2.604	4.304	295.342	0.208	-2188.6	11339.35	-15.2
2.5	4.2	300	0.206	-2140.32	11333.09	-249.93

Tabel V.9 menunjukkan kondisi kapal dengan *transverse step* pada saat berjalan pada Fr=1,5 dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 5,7; 5,2; dan 4,7 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 4,2. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada Fr=1,5 seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 4.379.

Tabel V.7 Momen kapal dengan step Fr=1,75 atau FrV=1,3

trim deg	trim total deg	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
3.5	5.2	250	2.05	-3025.54	16376.28	3201.63
3	4.7	250	1.98	2991.44	15200.41	1801.01
2.5	4.2	250	1.9	-2927.6	13085.39	772.87
2.107	3.807	203.045	1.72	-2399.87	12031.6	73.46
2.107	3.788	203.045	1.72	-2399.53	11814.32	≈0
2.079	3.779	229.323	1.72	-2399.37	11711.6	-34.73
2	3.7	250	1.66	-2540.14	12092.81	-210.43

Tabel V.10 menunjukkan kondisi kapal dengan *transverse step* pada saat berjalan pada Fr=1,75 dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 5,2; 4,7; dan 4,2 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 3,7. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada Fr=1,5 seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 3,788.

Tabel V.8 Momen kapal dengan step Fr=2 atau FrV=1,49

trim deg	trim total deg	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
3	4.7	200	0.15	-3414.83	14746.08	3811
2.5	4.2	200	0.143	-3126.55	13841.11	3126.56
2	3.7	200	0.141	-2838.27	13736.14	942.12
1.723	3.423	196.066	0.155	-2622.6	12607.33	123.75
1.723	3.398	196.066	0.155	-2578.22	12131.86	≈0
1.692	3.392	191.275	0.155	-2566.6	12007.33	-32.41
1.5	3.2	200	0.169	-3894.93	11278.52	-757.3

Tabel V.11 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada Fr=2 dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 4,7; 4,2; dan 3,7 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 3,2. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada Fr=2 seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 1,723.

Tabel V.9 Momen kapal dengan step Fr=2,25 atau FrV=1,68

trim deg	trim total deg	displacement [kg]	sinkage [m]	drag [N]	lift [N]	momen [Nm]
2.5	4.2	150	0.126	-3820.6	12189.45	5106.48
2	3.7	150	0.115	-3505.26	13832.74	5251.4
1.5	3.2	200	0.14	-3962.73	13217.33	312.88
1.379	3.079	154.345	0.135	-2831.85	12915.38	58.68
1.379	3.069	154.345	0.135	-2791.03	12598.05	≈0
1.357	3.057	149.446	0.135	-2742.97	12224.48	-69.08
1	1.7	200	0.135	-3923.21	11429.81	-974.72

Tabel V.12 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada Fr=2,25 dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 4,2; 3,7; dan 3,2 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 1,7. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada Fr=2,25 seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 3,069.

Tabel V.10 Momen kapal dengan step Fr=2,5atau FrV=1,86

trim	trim total	displacement	sinkage	drag	lift	momen
-------------	-------------------	---------------------	----------------	-------------	-------------	--------------

deg	deg	[kg]	[m]	[N]	[N]	[Nm]
2.5	4.2	100	0.09	-4310.28	13619	7912.54
2	3.7	100	0.08	-4210.23	13632.01	4010.13
1.5	3.2	200	0.115	-4234.98	13509.13	875.82
1.095	2.795	195.525	0.1	-3036.95	12797.05	25.235
1.095	2.792	195.525	0.1	-3001.16	12697.5	≈0
1.085	2.785	160.529	0.1	-2926.95	12491.05	-52.33
1	2.7	200	0.092	-4319.91	12114.02	-205.35

Tabel V.13 menunjukkan kondisi kapal pada saat berjalan pada $Fr=2,5$ dengan variasi sudut trim dan *sinkage* atau sarat kapal yang tercelup dalam air. Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa kapal memiliki nilai momen positif pada sudut 4,2; 3,7; dan 3,2 derajat, dan nilai momen negatif pada sudut trim 2,7. Sudut dengan nilai momen paling mendekati nol pada $Fr=2,5$ seperti terlihat pada tabel yaitu senilai 2,792.

Tabel V.9 hingga V.13 merupakan tabel hasil perhitungan *pitching momen equilibrium* pada kapal dengan *transverse step*. metode yang digunakan dalam perhitungan tersebut sama dengan yang dilakukan pada perhitungan momen kapal tanpa step yaitu dengan metode numerik dengan menggunakan *software* Numeca dan dikoreksi dengan menggunakan interpolasi linear. Dari perhitungan pada kedua kapal tersebut sehingga dapat dilakukan pengumpulan data kapal yaitu sudut trim, hambatan dan gaya angkat pada kedua kapal ketika dalam kondisi *pitching moment equilibrium* pada tiap variasi kecepatan.

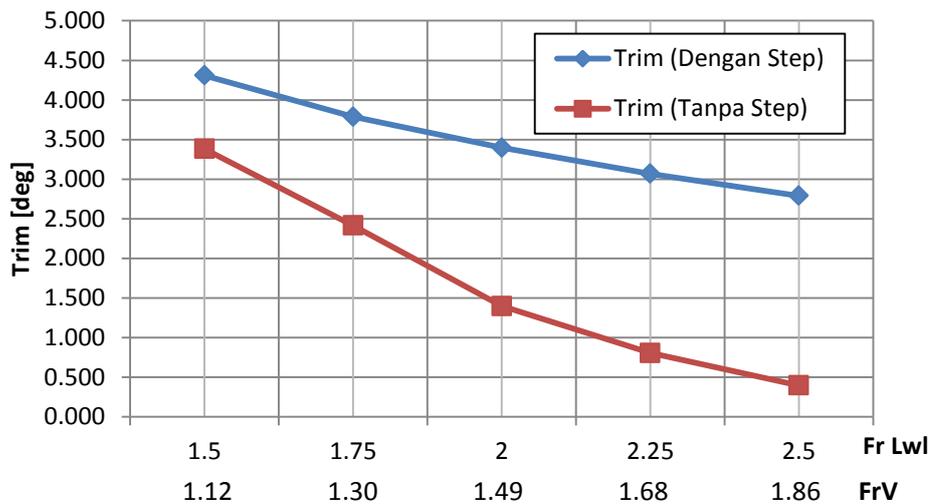
V.4.2 Analisa Sudut Trim

Sudut trim yang dialami kapal pada lima variasi kapal didapatkan dari hasil koreksi yang ditunjukkan sebelumnya. Dengan menggunakan cara yang sama, dilakukan koreksi terhadap sudut trim yang dialami kapal pada tiap-tiap variasi kecepatan. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel V.11 Sudut Trim Kapal Pada Tiap Kecepatan

Fr Lwl	1.5	1.75	2	2.25	2.5
Trim (Dengan Step)	4.309	3.788	3.398	3.0686311	2.792
Trim (Tanpa Step)	3.383	2.416	1.400	0.8065402	0.397

Setelah semua data yang diinginkan telah terkumpul seperti pada Tabel V.11, dilakukan analisa hasil penelitian yaitu dengan menunjukkan grafik sehingga analisa yang akan dilakukan menjadi lebih mudah. Gambar yang dibuat adalah gambar sudut trim pada kedua variasi kapal. Berikut adalah grafik sudut trim pada kedua variasi kapal.



Gambar V.11 Sudut Trim vs. FrLwl

Pada Gambar 5.11 terlihat bahwa nilai sudut trim pada kedua variasi kapal memiliki perbedaan. Pada gambar tersebut nilai trim kapal dengan *transverse step* memiliki nilai sudut trim yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Namun kapal dengan *transverse step* memiliki nilai perbedaan sudut trim kapal pada kecepatan $Fr=2,5$ dan sudut trim kapal pada kecepatan $Fr=1,5$ yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal tanpa step.

Pada kapal dengan *transverse step*, nilai perbedaan sudut trim sebesar 1,809 sedangkan pada kapal tanpa *transverse step* perbedaan sudut trim pada kecepatan $Fr=2,5$ dan $Fr=1,5$ sebesar 2,986. Dengan diperoleh data tersebut, maka dapat dikatakan bahwa kapal dengan *transverse step* mengalami *porpoising* lebih kecil dibanding kapal tanpa *transverse step*. *porpoising* merupakan gerak anggukan kapal pada sumbu y dimana dalam hal ini disebabkan oleh karaktersistik kapal *planing* dimana kapal *planing* mengalami perbedaan sudut serang ketika berpindah dari fase displasmen menuju fase semi *planing* dan fase *semi planing* menjadi *planing*. Perbedaan sudut serang ini dipengaruhi oleh gaya angkat hidrodinamis yang berbeda-beda pada tiap fase. Hal tersebut sama dengan apa yang dikatakan Campbell (2012) dimana dalam seminar tersebut dikatakan bahwa kapal dengan *transverse step* memiliki *pitch control* yang lebih baik. *Pitch control* yang dimaksud dalam hal ini adalah *pitch* yang dialami kapal pada saat perpindahan fase seperti yang telah dijelaskan diatas.

Salah satu penelitian yang juga membandingkan sudut trim kapal *planing* dengan *transverse step* pada variasi kecepatan adalah penelitian yang dilakukan Garland (2010). Pada penelitian tersebut, dilakukan eksperimen dengan *towing tank*, dimana pada penelitian

tersebut, dilakukan variasi kecepatan dari berhenti hingga kecepatan 31ft/s dengan menggunakan empat variasi tinggi step. Pada Gambar V.4 seperti yang telah dibahas sebelumnya yaitu perbandingan sudut trim pada kapal tanpa *transverse step* dan kapal dengan *transverse step* yang dilakukan oleh Garland (2010).

Dengan melakukan analisa pada Gambar V.4 tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil perbandingan nilai sudut trim pada penelitian yang dilakukan Garland (2010) memiliki kemiripan dengan hasil perbandingan sudut trim yang dilakukan pada penelitian ini. Dalam penelitian tersebut seperti yang dapat dilihat pada Gambar V. Dimana perbedaan sudut trim kapal dengan *transverse step* pada rentang kecepatan 15ft/s sampai dengan 31 ft/s lebih kecil dibandingkan dengan perbedaan sudut trim kapal tanpa *transverse step* pada rentang kecepatan yang sama.

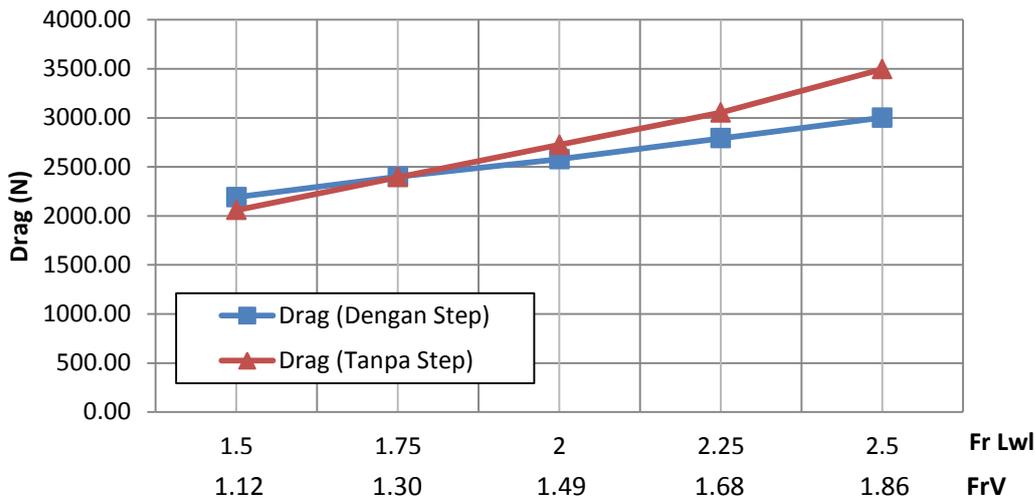
V.4.3 Analisa Hambatan Kapal

Setelah menganalisa gambar sudut trim, selanjutnya adalah menganalisa hambatan kedua variasi kapal. Campbell (2012), menyebutkan bahwa salah satu kelebihan *step hull* adalah memiliki hambatan yang lebih kecil hingga 20% pada kecepatan tinggi. Dia juga menyebutkan bahwa kapal dengan *transverse step* efektif pada kecepatan diatas $Fr=1,5$. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini, hambatan kapal menjadi salah satu poin yang penting. Berikut adalah gambar perbandingan hambatan kapal dengan dan tanpa step.

Tabel V.12 Hambatan Kapal Pada Tiap Kecepatan

Fr Lwl	1.5	1.75	2	2.25	2.5
Drag (Dengan Step)	2190.92	2399.53	2578.22	2791.03	3001.16
Drag (Tanpa Step)	2058.73	2393.46	2723.57	3052.57	3496.31

Setelah semua data yang diinginkan telah terkumpul seperti pada Tabel V.12, dilakukan analisa hasil penelitian yaitu dengan menunjukkan grafik sehingga analisa yang akan dilakukan menjadi lebih mudah. Gambar yang dibuat adalah grafik hambatan pada kedua variasi kapal,. Berikut adalah grafik hambatan pada kedua variasi kapal.



Gambar V.12 Hambatan vs. Kecepatan

Dapat dilihat dalam Gambar 5.13 bahwa besaran hambatan kapal pada $Fr=1,5$ sampai dengan $Fr=2$ memiliki perbedaan yang signifikan. Pada $Fr=1,5$ kapal tanpa step memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal dengan step. Namun semakin besar *Froude number*, kapal dengan step memiliki tren hambatan yang cenderung lebih kecil dibanding dengan kapal tanpa step. Pada $Fr=1,75$ kapal dengan step mulai memiliki hambatan yang lebih kecil dari kapal tanpa step meskipun perbedaannya kecil.

Penelitian lain yang membandingkan hambatan kapal tanpa *transverse step* dan dengan *transverse step* adalah penelitian yang dilakukan oleh Garland (2010). Pada penelitian tersebut, kapal tanpa step dan tanpa step dilakukan simulasi dengan menggunakan metode eksperimen yaitu dengan uji tarik pada rentang kecepatan 5-35ft/s atau $Fr=1$ hingga $Fr=2,9$. Berikut merupakan hasil perbandingan hambatan kapal tanpa dan dengan menggunakan step dimana step yang digunakan sama dengan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,04% *chine beam*.

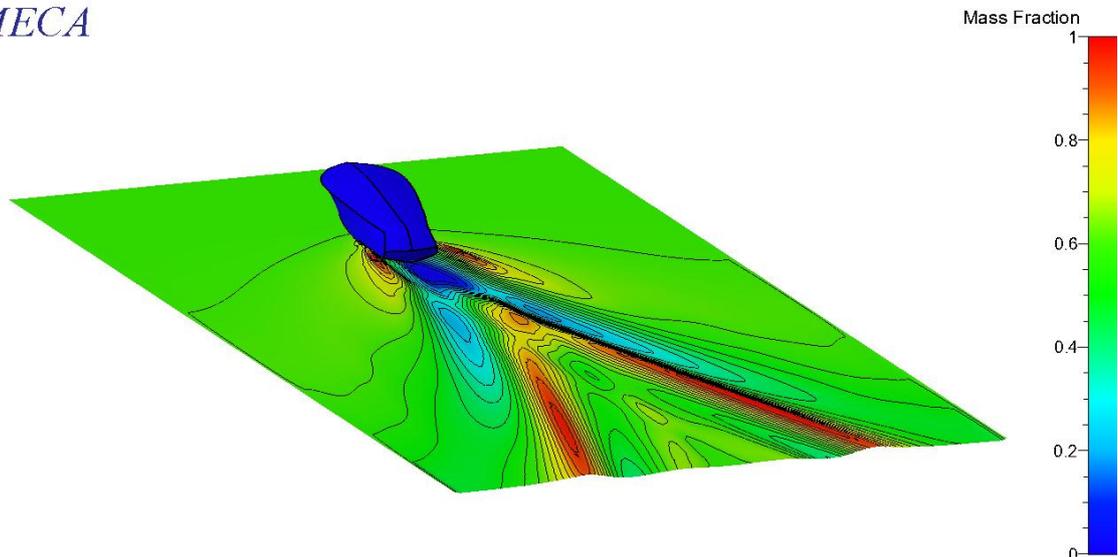
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pada Gambar V.5 yaitu penelitian yang dilakukan Garland (2010) terlihat bahwa pada kecepatan rendah yaitu pada kecepatan dibawah 15ft/s, hambatan kapal tanpa step lebih kecil dibanding kapal dengan step dengan atau tanpa ventilasi, namun memiliki hambatan yang lebih besar pada kecepatan diatas 15ft/s. Tren ini juga memiliki kemiripan dengan hasil yang didapatkan pada penelitian ini dimana pada kecepatan rendah, kapal tanpa step memiliki hambatan yang lebih besar dibanding kapal

dengan step namun memiliki hambatan kapal yang lebih besar pada kecepatan yang lebih tinggi.

V.5. CFD Analysis

Setelah dilakukan proses simulasi kapal dengan menggunakan metode CFD seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dilakukan analisa mengenai hasil yang didapatkan. Pada penelitian ini, analisa CFD dilakukan secara *cyclic* dengan mengkoreksi momen yang dihasilkan dengan metode interpolasi linear kemudian dilakukan simulasi CFD dengan koreksi sudut trim yang baru. Dengan melakukan koreksi tersebut simulasi dilakukan secara terus menerus hingga mendapatkan momen terkecil. Setelah simulasi kapal telah memenuhi *pitching moment equilibrium* maka analisa hasil CFD dapat dilakukan.

NUMECA



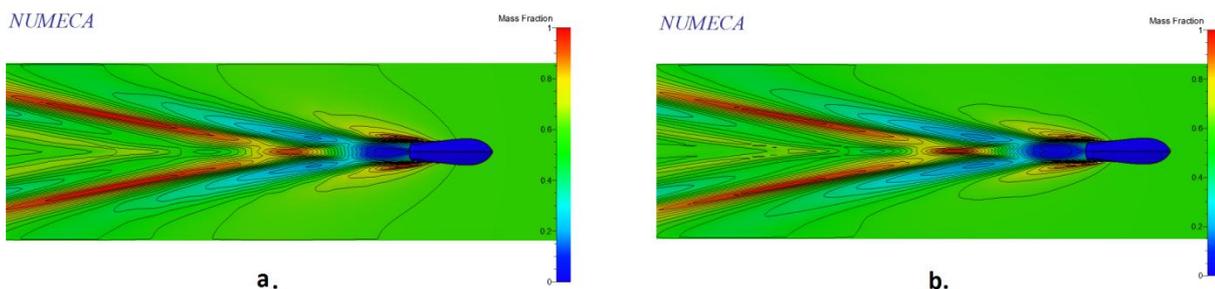
Gambar V.13 Wake yang Dihasilkan Kapal

Gambar V.15 merupakan contoh hasil simulasi CFD kapal tanpa *transverse step* pada kecepatan $Fr=1,5$. Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil yang didapat dari simulasi yang telah dilakukan pada dua varisai kapal dengan lima variasi kecepatan. Hasil yang akan dibahas mengenai simulasi yang telah dilakukan yaitu bentuk gelombang, *normal pressure*, *skin friction*, dan permukaan basah kapal.

V.5.1.1 Wave Pattern Pada Permukaan Bebas

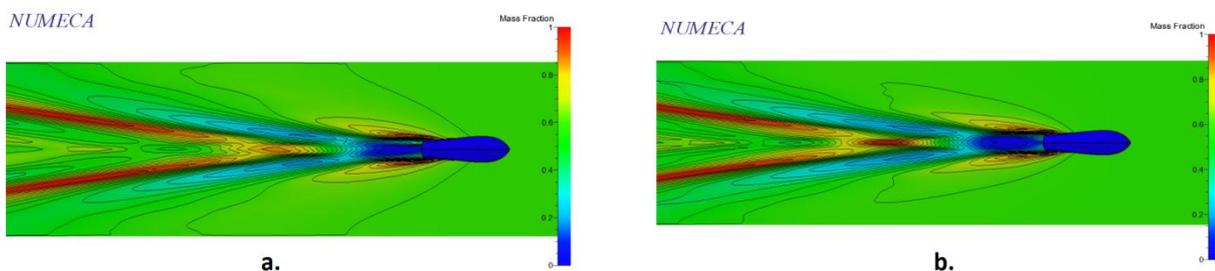
Pada Gambar V. Ditunjukkan ketinggian permukaan gelombang tiap-tiap bagian pada permukaan bebas air dengan perbedaan warna. Permukaan bebas didefinisikan sebagai

antarmuka diantara air dan udara dimana *volume fraction* bernilai 0,5 (David Frisk, Linda Tagehall, 2015). Warna biru menunjukkan ketinggian air berada dibawah permukaan air normal, dan warna merah menunjukkan ketinggian air berada diatas ketinggian air normal. Dengan melihat gradasi warna ditambah dengan garis yang menunjukkan kontur air, maka bentuk gelombang yang dihasilkan kapal baik di bagian samping maupun dibagian belakang dapat dilihat dengan jelas.



Gambar V.14. Wave pattern pada $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal dengan *transverse step* b. kapal tanpa *transverse step*

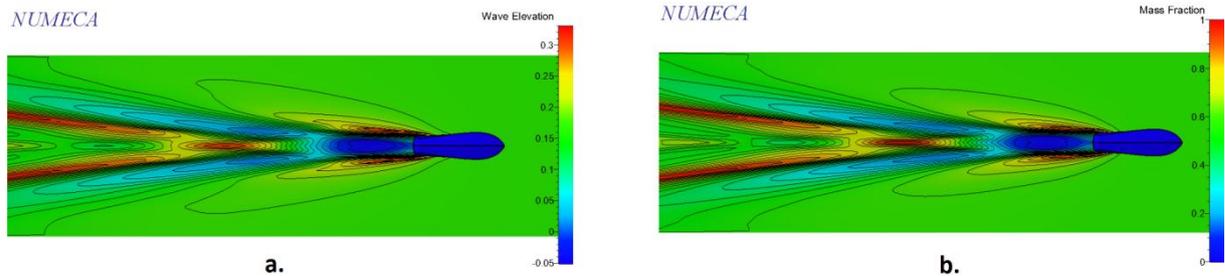
Pada gambar V.14 digambarkan mengenai bentuk gelombang pada kapal dengan $Fr=1,5$ dilihat dari sumbu Z. Pada Gambar V.14a yaitu gambar bentuk gelombang kapal dengan *transverse step* dimana bentuk *wake* pada bagian samping kapal memiliki sedikit perbedaan dibanding dengan Gambar V.14b. pada Gambar V.14a ketinggian gelombang pada bagian samping kapal cenderung lebih besar. Perbedaan tinggi *wave elevation* dijelaskan pada perbedaan kontur warna seperti dijelaskan pada gradasi warna di samping kiri gambar. Warna merah menunjukkan bahwa ketinggian gelombang berada diatas permukaan bebas air normal.



Gambar V.15 Wave pattern pada $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal dengan *transverse step* b. kapal tanpa *transverse step*

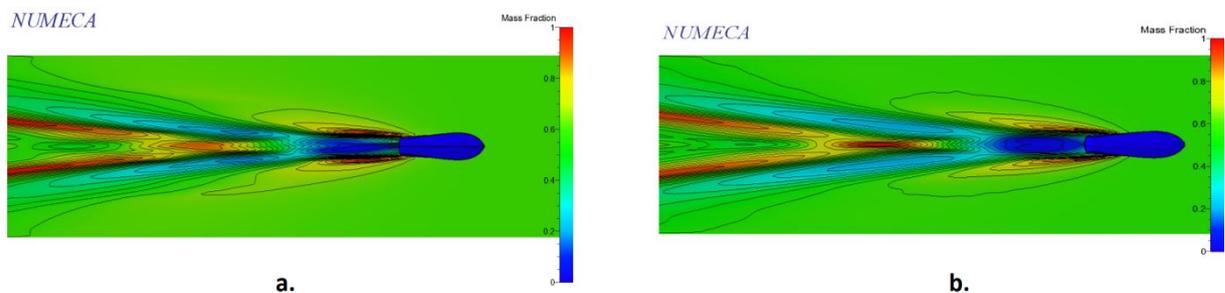
Sama seperti pada Gambar V.14, pada Gambar V.15a menunjukkan bahwa ketinggian air pada bagian samping kapal dengan *transverse step* memiliki ketinggian yang lebih besar

dibandingkan kapal tanpa *transverse step*. pada $Fr=1,75$ ini memiliki perbedaan bentuk gelombang dengan $Fr=1,5$ dimana perbedaan tersebut adalah perbedaan lebar bentuk gelombang. Pada $Fr=1,75$ seperti terlihat pada Gambar V.15 lebar gelombang lebih kecil dibandingkan dengan kapal pada kecepatan $Fr=1,5$



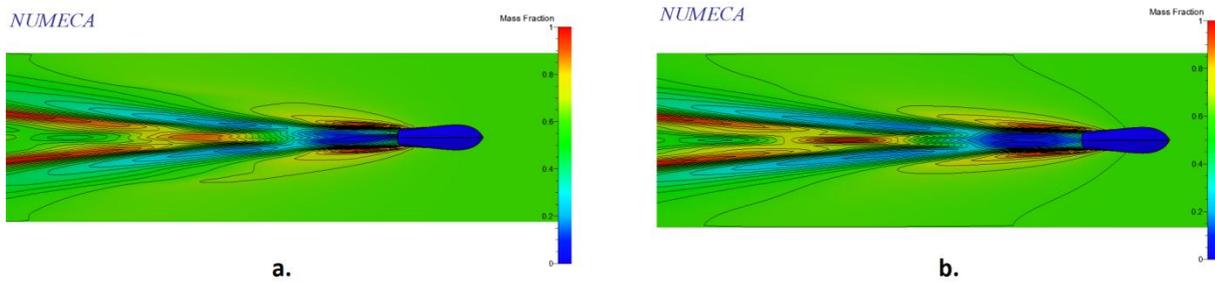
Gambar V.16 *Wave pattern* pada $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal dengan *transverse step* b. kapal tanpa *transverse step*

Pada kecepatan $Fr=2$ seperti dijelaskan pada Gambar V.16, tinggi gelombang pada bagian samping kapal dengan *transverse step* lebih kecil dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step* namun perbedaan yang timbul tidak sebesar pada $Fr=1,5$ dan $Fr=1,75$. Pada kecepatan ini lebar gelombang lebih kecil daripada kecepatan sebelumnya.



Gambar V.17 *Wave pattern* pada $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal dengan *transverse step* b. kapal tanpa *transverse step*

Berbeda dengan Gambar V.14 dan Gambar V.15, pada Gambar V.17, ketinggian gelombang kapal dengan *transverse step* lebih kecil dibandingkan kapal tanpa *transverse step* pada kecepatan yang sama. Pada kecepatan ini juga lebar gelombang juga mengecil jika dibandingkan dengan kecepatan-kecepatan sebelumnya.



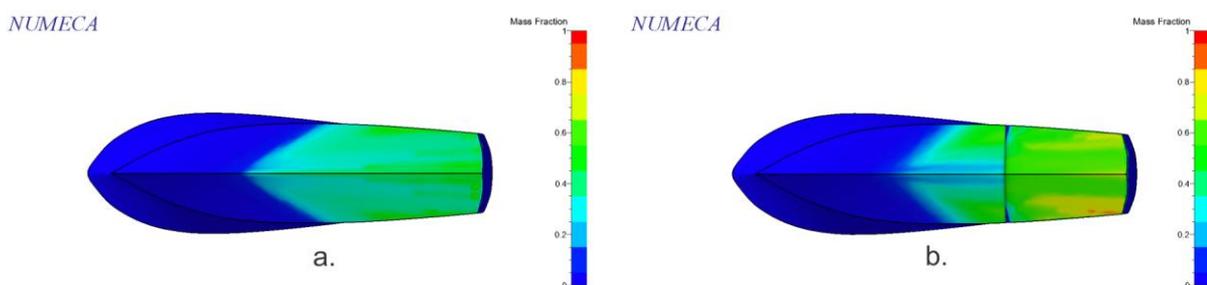
Gambar V.18 Wave Pattern pada $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal dengan *transverse step* b. kapal tanpa *transverse step*

Pada Gambar V.18 yaitu bentuk gelombang kapal pada $Fr=2,5$ terlihat bahwa gelombang pada bagian samping kapal tanpa *transverse step* memiliki tinggi gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan kapal *transverse step*. Pada kecepatan ini lebar gelombang adalah yang terkecil dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya.

Dari gambar V.14 hingga Gambar V.18 terlihat perbedaan pada bentuk gelombang kapal dengan *transverse step* dan kapal tanpa *transverse step*. Pada $Fr=1,5$ hingga $Fr=2$, tinggi gelombang pada bagian samping kapal dengan *transverse step* lebih tinggi dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Namun pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu pada $Fr=2,25$ dan $2,5$ tinggi gelombang pada bagian samping kapal dengan *transverse step* lebih kecil dibandingkan dengan kapal tanpa *transverse step*. Juga dapat dilihat dari gambar-gambar tersebut apabila lebar bentuk gelombang semakin kecil pada kecepatan yang lebih tinggi.

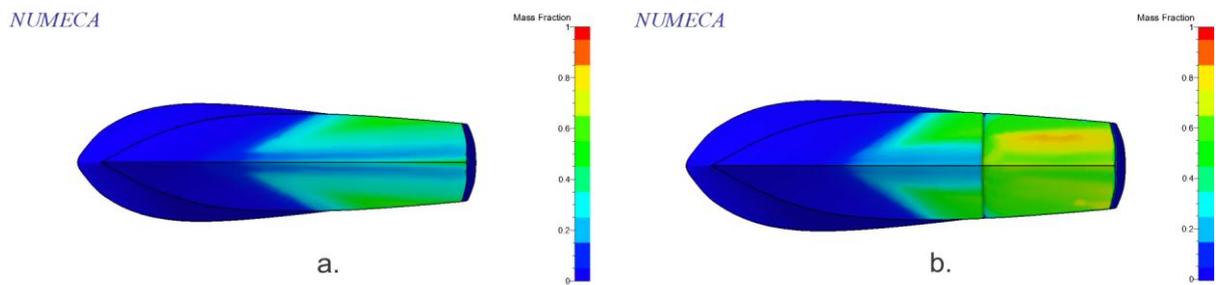
V.5.1.2 Volume Fraction Pada Bagian Dasar Kapal

Perbedaan *water volume fraction* pada kedua jenis kapal pada dua variasi kecepatan ditunjukkan pada Gambar V.18, gambar tersebut menunjukkan *volume fraction* pada bagian dasar kapal dengan air disekitarnya dimana warna merah menunjukkan *volume fraction* terbesar sedangkan warna biru menunjukkan *volume fraction* terkecil.



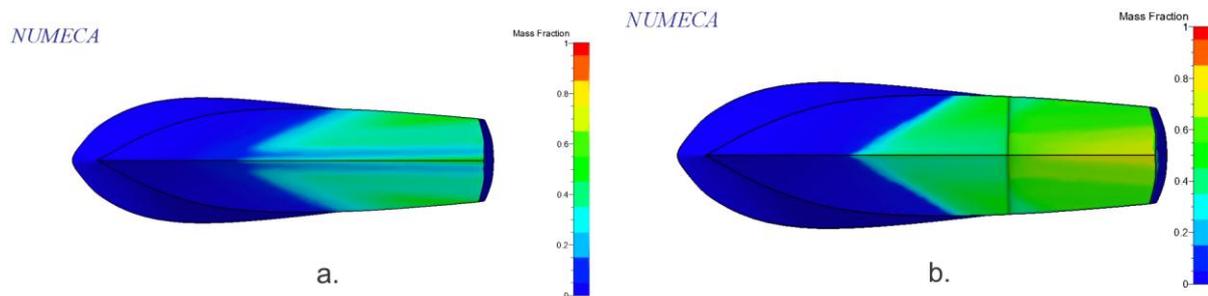
Gambar V.19. Volume Fraction $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Gambar V.19 menunjukkan *mass fraction* pada bagian bawah lambung kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar V.24a dan dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.24b. Gradasi warna dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa ada udara yang masuk dan melewati bagian bawah lambung kapal. Pada Gambar V.24b, terlihat bahwa pada bagian samping step terdapat warna biru dimana dapat disimpulkan bahwa pada bagian tersebut terisi dengan udara.



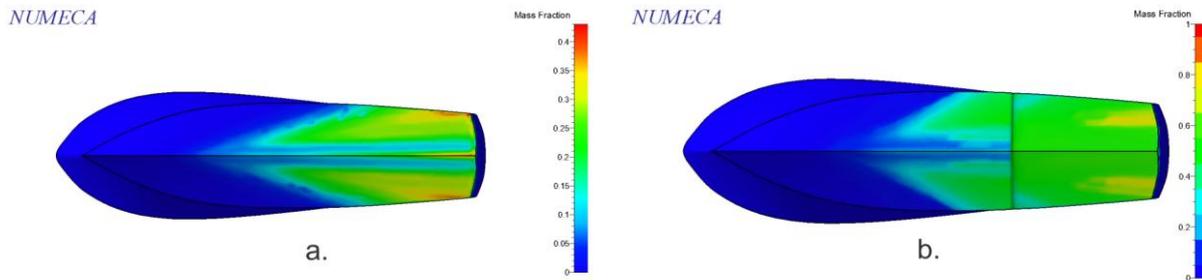
Gambar V.20. Volume Fraction $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Gambar V.20 menunjukkan *mass fraction* pada bagian bawah lambung kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar Gambar V.19a dan dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.19b. Pada Gambar V.25b terlihat bahwa bagian samping step memiliki *mass fraction* udara yang semakin besar, ditunjukkan dengan warna biru pada bagian tersebut.



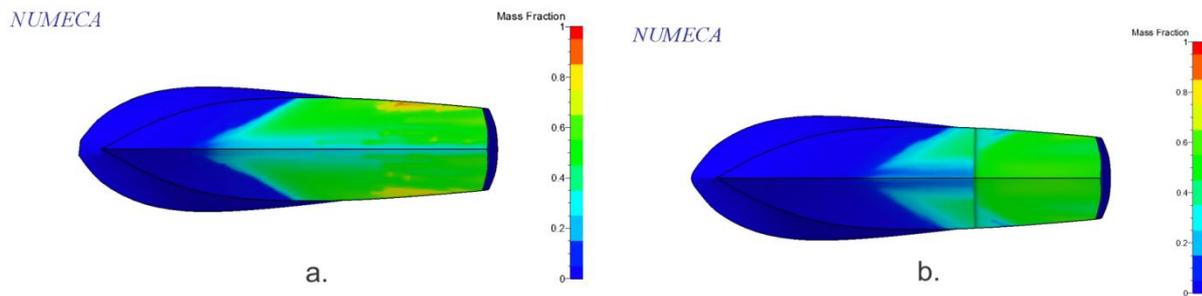
Gambar V.21. Volume Fraction $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Gambar V.21b menunjukkan *mass fraction* pada bagian bawah lambung kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar V.21a dan dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.21b. Pada Gambar V.21b terlihat bahwa bagian samping step memiliki *mass fraction* udara yang semakin besar, ditunjukkan dengan warna biru pada bagian tersebut.



Gambar V.22. Volume Fraction $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Gambar V.22a menunjukkan *mass fraction* pada bagian bawah lambung kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar Gambar V.22b dan dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.22a. Pada Gambar V.22b terlihat bahwa bagian samping step memiliki *mass fraction* udara yang semakin besar, ditunjukkan dengan warna biru pada bagian tersebut.



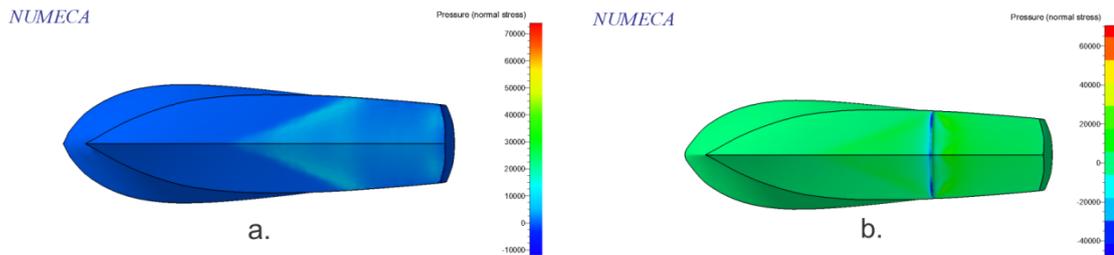
Gambar V.23. Volume Fraction $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Gambar V.23a menunjukkan *mass fraction* pada bagian bawah lambung kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar Gambar V.23a dan dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.23b. Pada Gambar V.23b terlihat bahwa bagian samping step memiliki *mass fraction* udara yang semakin besar, ditunjukkan dengan warna biru pada bagian tersebut.

Pada bagian dasar kapal bagian depan tengah kapal, seperti yang ditunjukkan Gambar V.18 *water volume fraction* memiliki nilai yang lebih kecil dibanding pada bagian belakang dan samping bawah kapal. Hal ini menunjukkan bahwa udara terbawa masuk ke bagian dasar kapal. Fenomena ini dapat diatasi dengan menghilangkan udara pada *water volume fraction* dengan nilai lebih besar dari 0,7 (Frisk, Tagehall, 2015).

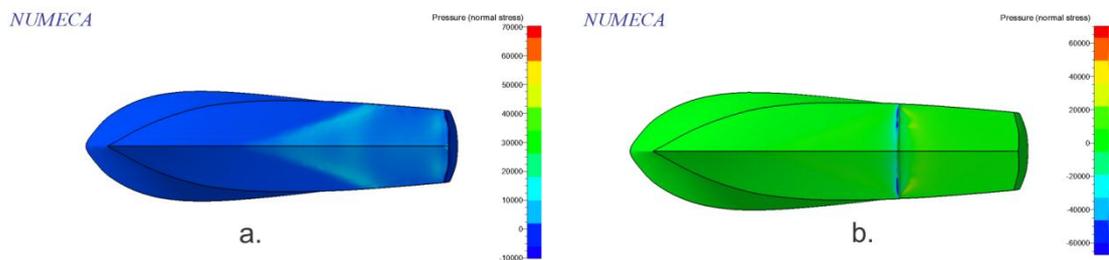
V.5.1.3 Static Pressure Pada Dasar Kapal

Tekanan statis adalah tekanan yang dialami kapal pada saat berjalan maupun diam dan tidak terpengaruh dengan kecepatan fluida yang bergerak pada lambung bagian bawah. Berikut merupakan tekanan statis yang dialami lambung bagian bawah kapal dengan dan tanpa *transverse step*.



Gambar V.24 Static pressure $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa transverse step b. kapal dengan transverse step

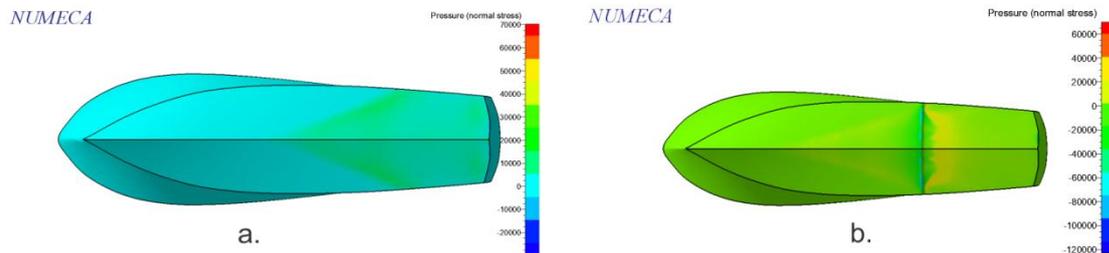
Gambar V.24 Static pressure $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa transverse step b. kapal dengan transverse step menjelaskan tekanan statis yang dialami lambung bagian bawah kapal. Pada Gambar V.24 Static pressure $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa transverse step b. kapal dengan transverse step, terlihat bahwa tekanan statis terbesar pada bagian bawah lambung kapal tanpa transverse step berada pada bagian depan kapal dan pada bagian belakang dekat transom kapal. Sedangkan pada kapal dengan transverse step seperti yang dijelaskan pada Gambar V.24 Static pressure $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa transverse step b. kapal dengan transverse step terlihat bahwa pada bagian step, tekanan statisnya memiliki nilai terkecil.



Gambar V.25 Static pressure $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa transverse step b. kapal dengan transverse step

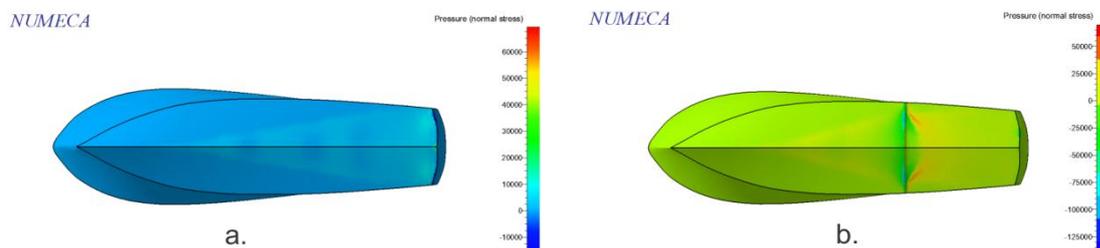
Hal yang sama juga terlihat pada kapal dengan $FrLwl=1,75$ atau $FrV=1,3$ seperti yang terlihat pada Gambar V.25a dimana tekanan statis kapal yang terbesar berada pada bagian depan dan belakang kapal. Tekanan statis yang dialami kapal dengan transverse step pada

kecepatan $Fr=1,75$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.25b hampir sama dengan pada kecepatan $FrLwl=1,5$.



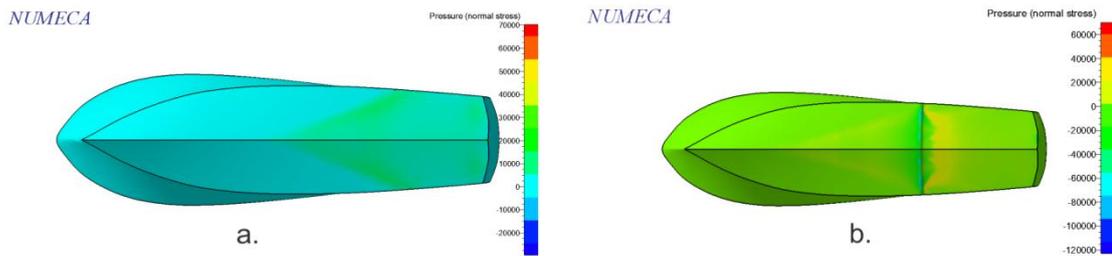
Gambar V.26 Static pressure $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Hal yang sama juga terlihat pada kapal dengan $FrLwl=2$ atau $FrV=1,49$ seperti yang terlihat pada Gambar V.26a dimana tekanan statis kapal yang terbesar berada pada bagian depan dan belakang kapal. Tekanan statis yang dialami kapal dengan *transverse step* pada kecepatan $Fr=2$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.26b hampir sama dengan pada kecepatan $FrLwl=1,75$.



Gambar V.27 Static pressure $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Hal yang sama juga terlihat pada kapal dengan $FrLwl=2,25$ atau $FrV=1,68$ seperti yang terlihat pada Gambar V.27a dimana tekanan statis kapal yang terbesar berada pada bagian depan dan belakang kapal. Tekanan statis yang dialami kapal dengan *transverse step* pada kecepatan $Fr=2,25$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.27b hampir sama dengan pada kecepatan $FrLwl=2$.

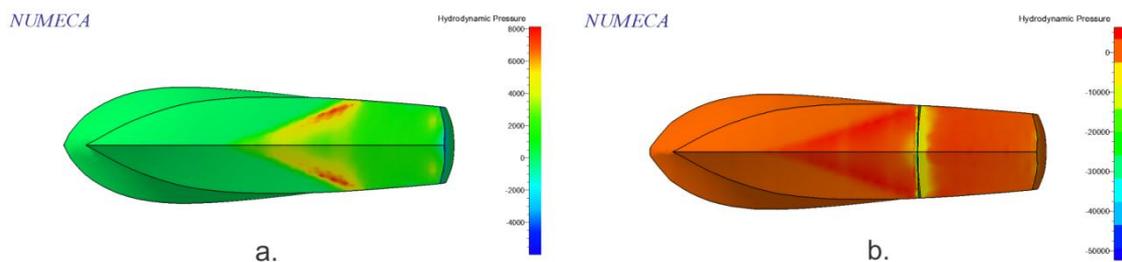


Gambar V.28 Static pressure $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Hal yang sama juga terlihat pada kapal dengan $FrLwl=2,5$ atau $FrV=1,86$ seperti yang terlihat pada Gambar V.28a dimana tekanan statis kapal yang terbesar berada pada bagian depan dan belakang kapal. Tekanan statis yang dialami kapal dengan *transverse step* pada kecepatan $Fr=2,5$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.28b hampir sama dengan pada kecepatan $FrLwl=2,25$.

V.5.1.4 Hydrodynamic Pressure Pada Dasar Kapal

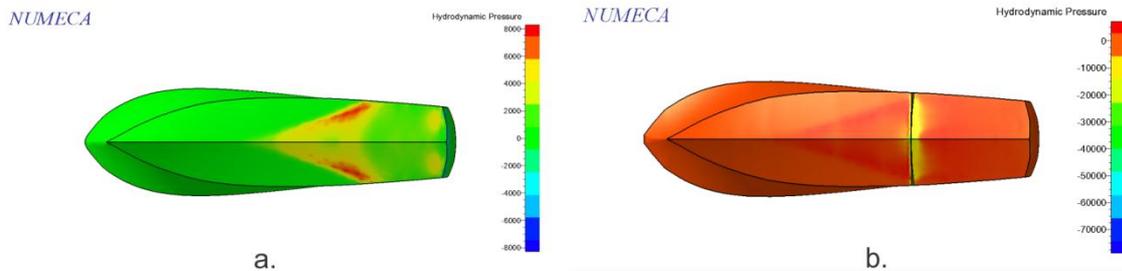
Pada Gambar V. Ditunjukkan tekanan normal hidrodinamis yang dialami lambung kapal pada bagian dasar kapal. Perbedaan gradasi warna menunjukkan perbedaan tekanan hidrodinamis yang dialami tiap-tiap bagian dasar kapal. Warna merah menunjukkan bagian kapal mengalami tekan yang terbesar sedangkan warna biru menunjukkan tekanan yang paling kecil.



Gambar V.29. Hydrodynamic pressure $Fr=1,5$ atau $FrV=1,12$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

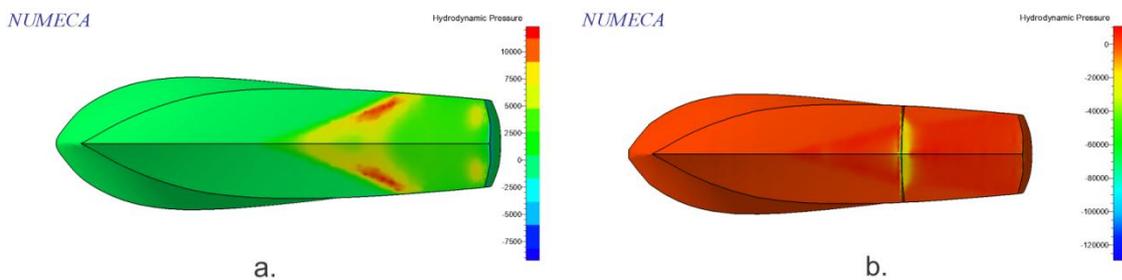
Pada Gambar V.29 ditunjukkan tekanan hidrodinamis pada lambung kapal bagian bawah dimana terlihat jauh berbeda antara kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar V.19a dengan kapal dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.29b. pada kapal dengan *transverse step*, pada bagian stepnya memiliki tekanan yang rendah dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa pada bagian tersebut aliran fluida memiliki kecepatan yang tinggi

dibandingkan dengan bagian lain pada bagian lambung bawah kapal. Hal ini ditunjukkan dengan warna biru dimana warna biru menunjukkan bagian kapal dengan tekanan rendah dan bagian merah menunjukkan bagian kapal yang memiliki tekanan tinggi. Sedangkan pada kapal tanpa step, tekanan sepanjang garis air ketika kapal berjalan pada $Fr=1,5$ terlihat merata.



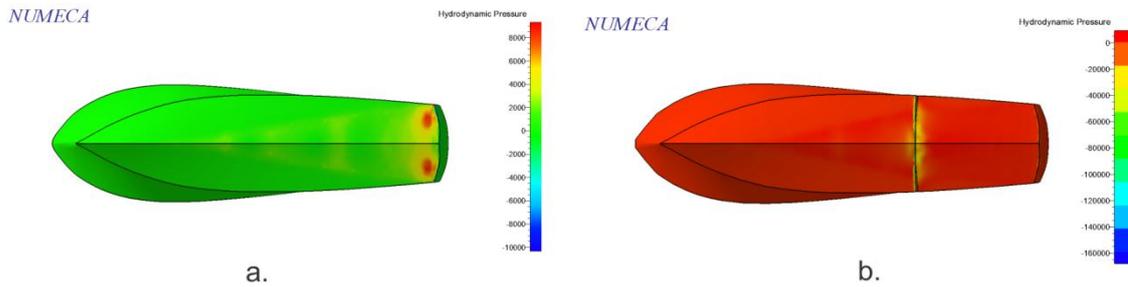
Gambar V.30. Hydrodynamic pressure $Fr=1,75$ atau $FrV=1,3$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Pada Gambar V.30b terlihat kapal dengan *transverse step* memiliki tekanan yang rendah pada bagian step seperti pada $Fr=1,5$. Namun untuk kapal tanpa *transverse step* seperti yang ditunjukkan Gambar V.30b, tekanan pada bagian bawah lambung menjadi lebih jelas dengan garis *spray* yang paling tinggi tekanannya.



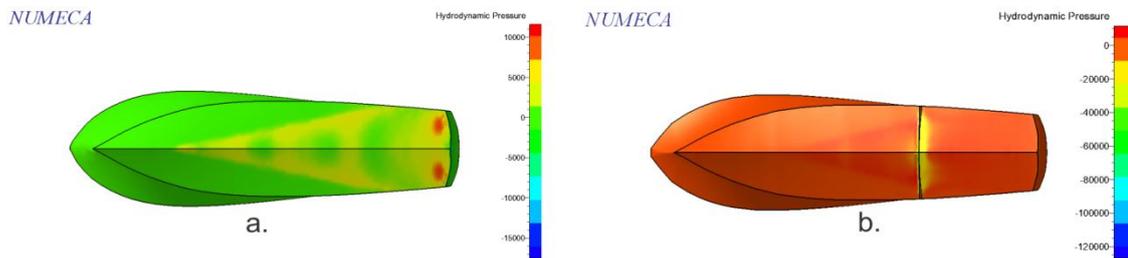
Gambar V.31. Hydrodynamic pressure $Fr=2$ atau $FrV=1,49$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Pada Gambar V.31a ditunjukkan tekanan normal pada lambung kapal bagian bawah dimana terlihat jauh berbeda antara kapal tanpa *transverse step* seperti pada Gambar V.31a dengan kapal dengan *transverse step* seperti pada Gambar V.31b. pada kapal dengan *transverse step*, pada bagian stepnya memiliki tekanan yang rendah. Hal ini ditunjukkan dengan warna biru dimana warna biru menunjukkan bagian kapal dengan tekanan rendah dan bagian merah menunjukkan bagian kapal yang memiliki tekanan tinggi. Sedangkan pada kapal tanpa step, tekanan sepanjang garis air ketika kapal berjalan pada $Fr=2$ terlihat merata.



Gambar V.32. Hydrodynamic pressure $Fr=2,25$ atau $FrV=1,68$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

Pada $Fr=2,25$, tekanan yang pada bagian bawah lambung kapal dengan *transverse step* pada posisi tepat dibelakang step mengalami tekanan yang tinggi, seperti yang ditunjukkan Gambar V.32b dimana ditunjukkan dengan warna merah. Pada kapal tanpa *transverse step*, seperti pada Gambar V.32a, garis spray gelombang terlihat samar namun terlihat bahwa lebar garis *spray* mundur kebelakang.



Gambar V.33. Hydrodynamic pressure $Fr=2,5$ atau $FrV=1,86$ a. kapal tanpa *transverse step* b. kapal dengan *transverse step*

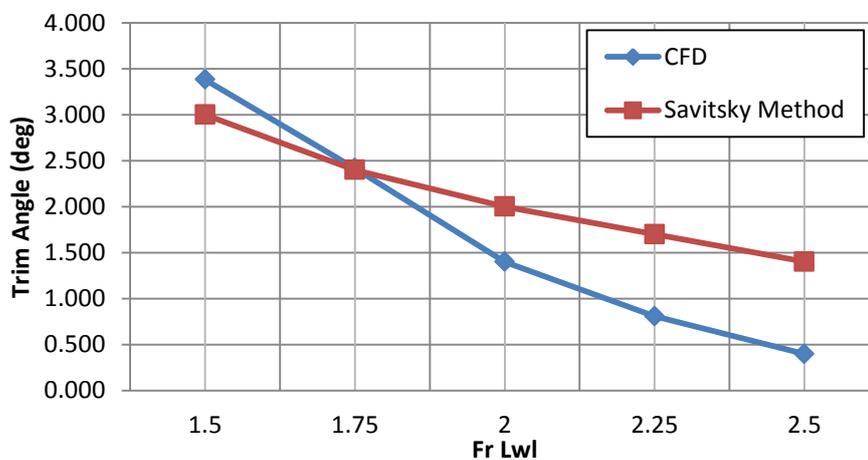
Pada Gambar V.33b terlihat kapal dengan *transverse step* memiliki tekanan yang rendah pada bagian step seperti pada $Fr=2,5$. Namun untuk kapal tanpa *transverse step* seperti yang ditunjukkan Gambar V.33a, tekanan pada bagian bawah lambung menjadi lebih samar dengan garis *spray* yang paling tinggi tekanannya.

Dari gambar yang ditunjukkan pada Gambar V.29 hingga Gambar V.33, dapat ditarik kesimpulan bahwa kapal dengan *transverse step* memiliki tekanan hidrodinamis pada bagian step yang kecil sedangkan pada bagian dibelakang step, memiliki tekanan hidrodinamis yang besar.

V.6. Validasi hasil penelitian

Proses validasi dilakukan dengan membandingkan data besarnya hambatan kapal tiap kecepatan dari *software* NUMECA yang kemudian telah dikoreksi dan data dari Maxsurf. Proses validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa *input parameter* yang dimasukkan dalam penelitian ini benar. Dalam validasi yang dilakukan ini, kapal yang digunakan adalah kapal tanpa menggunakan *step*. Hal ini dilakukan karena seperti yang diketahui, *software* Maxsurf hanya memasukkan rumus Savitsky, sehingga apabila kapal yang dipakai dalam pengujian validasi adalah kapal dengan menggunakan *step*, hasil yang didapatkan akan menjadi tidak valid. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan dengan membandingkan hambatan kapal dan sudut trim pada variasi lima kecepatan.

Validasi sudut trim dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf, dimana validasi tersebut dilakukan tanpa memasukkan nilai sudut awal kapal. hal ini dilakukan supaya kapal yang diuji memiliki kondisi yang sama. Berikut merupakan hasil validasi yang dilakukan dengan membandingkan kapal tanpa *transverse step* dengan menggunakan dua perangkat lunak yaitu Maxsurf dan Numeca.

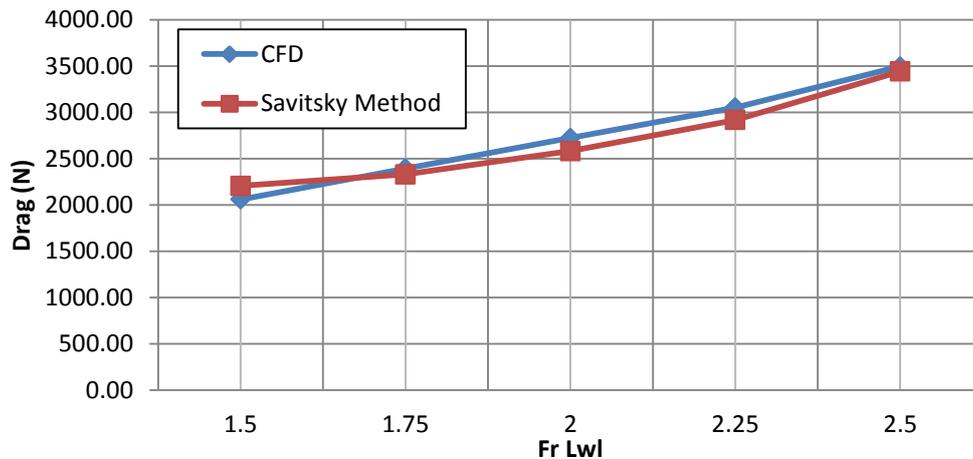


Gambar V.34 Sudut Trim dengan Menggunakan Dua Metode

Pada Gambar V.20 ditunjukkan perbandingan sudut trim kapal yang dilakukan dengan menggunakan dua metode yang telah disebutkan. Pada gambar tersebut terlihat perbedaan yang jelas besarnya sudut trim pada $Fr=2$ hingga $Fr=2,5$. Namun walaupun memiliki perbedaan yang besar pada kecepatan tersebut, tren menunjukkan hal yang sama yaitu sudut

trim kapal pada kecepatan yang lebih tinggi memiliki kecenderungan turun sehingga validasi yang dilakukan dengan membandingkan sudut trim kapal dianggap telah valid.

Hambatan pada kapal tanpa step yang didapatkan dari *software* Maxsurf seperti yang diketahui adalah hasil dari perhitungan hambatan dengan menggunakan metode Savitsky. Dengan menggunakan data kecepatan kapal dari $Fr=1,5$ sampai dengan $Fr=2,5$, didapatkan data sebagai berikut.



Gambar V.35 Hambatan dengan Menggunakan Dua Metode

Pada Gambar V.21 diperlihatkan nilai hambatan kapal dengan menggunakan dua *software* yaitu Maxsurf dan Numeca pada lima variasi kecepatan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, kapal yang dibandingkan adalah kapal tanpa step. Hasil validasi tersebut sama-sama menunjukkan tren kenaikan besarnya hambatan pada tiap kecepatan meskipun memiliki sedikit perbedaan sehingga validasi yang dilakukan dengan membandingkan hambatan kapal dengan menggunakan dua metode dianggap telah valid.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Simulasi CFD dapat memberikan data yang sulit didapatkan dengan uji eksperimental seperti aliran fluida disekitar lambung kapal dan detail gaya yang bekerja pada tiap bagian lambung kapal. Perangkat lunak Numeca FineMarine berhasil memberikan hasil yang lengkap disertai detail yang memuaskan pada permasalahan dalam penelitian ini.

Simulasi CFD yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data kapal dari penelitian yang telah ada sebelumnya. Data kapal tersebut meliputi tinggi step, letak step, dan letak LCG. Tinggi step yang digunakan adalah 4% lebar kapal yaitu senilai 0,08m; letak step 30% dari panjang LoA yaitu 2,2m diukur dari *transom* kapal dan letak LCG adalah 35% panjang LoA yaitu 2,55m diukur dari *transom* kapal. Hasil yang didapatkan dengan menggunakan konfigurasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Kapal dengan *transverse step* memiliki perbedaan sudut pada $Fr=1.5$ hingga $Fr=2,5$ lebih kecil 50,62% dengan nilai 1,5 derajat.
2. Kapal dengan *transverse step* memiliki hambatan kapal yang lebih kecil 5,33% pada $Fr=2$ dengan nilai -2578,22N; 8,56% pada $Fr=2,25$ dengan nilai 2791,03; dan 14,16% pada $Fr=2,5$ dengan nilai 3001,16.

VI.2. Saran

1. Pengujian kapal jenis *planing* akan mendapatkan hasil yang lebih akurat apabila dilakukan dengan mengaktifkan *six degrees of freedom*, namun perlu diingat pengaktifan mode tersebut dilakukan apabila menggunakan komputer dengan spesifikasi yang mumpuni.
2. Untuk mendapatkan performa kapal dengan *transverse step* yang akurat, penambahan rumus turbulensi dalam CFD sebaiknya dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akers, R. H. (n.d.). Predicted vs. Measured Vertical Plane of Planing Hull. *Ship Motion Associated, Inc*, 91-105.
- Campbell, L. (2012). Notes on Step Hull. *High Speed Boat Operations Forum*. Gothenburg.
- Čizmek Zrinka, Nastia Deguili. (2012). Evaluation of Resistance of Planing Hulls In Smooth Water. *Master Thesis*. Zagreb, Croatia: University of Zagreb.
- D. Savitsky, W. P. Brown. (1976). Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water. *Marine Technology, Vol. 13, No. 4, Oct. 1976, pp*, 381-400.
- David Frisk, Linda Tagehall. (2015). Prediction of High-Speed Planing Hull Resistance and Running Attitude. *Master Thesis*. Gothenburg, Sweden: Chalmers University Of Technology.
- Garland, W. R. (2010). *Stepped Planing Hull Investigation*. United States Naval Academy.
- Golah, S. T. (2014). Toward Numerical Modeling of the Stepped and Non-Stepped. *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2014*.
- Hassan Gassemi, et al. (2015). A Hydrodynamic Methodology and CFD Analysis for Performance Prediction of Stepped Planing Hull. *Polish Maritime Research 2(86) Vol. 22*, 23-31.
- Matveev, I. K. (2012). Two-Dimensional Modelling of Stepped Planing Hulls with Open and Pressurized Air Cavities. *Inter J Nav Archit Oc Engng (2012)*, 4:162.
- Savitsky, D. (1964). Hydrodynamic Design of Planing Hulls. *Marine Technology. Vol. 1, No. 1*, 71-95.
- Svahn, D. (2009, June). Performance Prediction of Hulls with Transverse Step. *Master Thesis*. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology.

BIODATA PENULIS



Pradipta Rahman Hakim, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Magelang pada 17 Oktober 1995 silam, Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK RAP2A, kemudian melanjutkan ke SDN 1 Salaman, SMPN 1 Salaman dan SMAN 1 Purworejo. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Dalam Negeri Himatekpal ITS 2015/2016

Email: pradipta.hakim13@mhs.na.its.ac.id/pradiptarahmanhakim@gmail.com

LAMPIRAN A
DATA UKURAN UTAMA KAPAL

1. Data Kapal Clarion 23 Runabout



WWW.CLARIONBOATS.COM

CLARION BOATS
CRAFTSMANSHIP

RA 23 RUNABOUT

DESIGN BY STEVE KILLING

SPECIFICATIONS

LOA	23' 4" (7.3 M)
BEAM	6' 6" (2 M)
DISPLACEMENT	3,200 LB (1,451 KG)
STANDARD ENGINE	5.7 LITRE MERCUISER EFI HORIZON, 300 HP

STANDARD EQUIPMENT

CUSTOM CAST CHROMED BRONZE
HARDWARE
STEWART WARNER INSTRUMENTS
BANJO STEERING WHEEL
LEATHER UPHOLSTERY
BLOWER
AUTOMATIC BILGE PUMP
CAST BRONZE CUTWATER
CUSTOM ALUMINUM FUEL TANK
AQUA-MET ALLOY SHAFT
3 BLADE NIBRAL PROP
CUSTOM CAST BRONZE RUDDER



OPTIONS

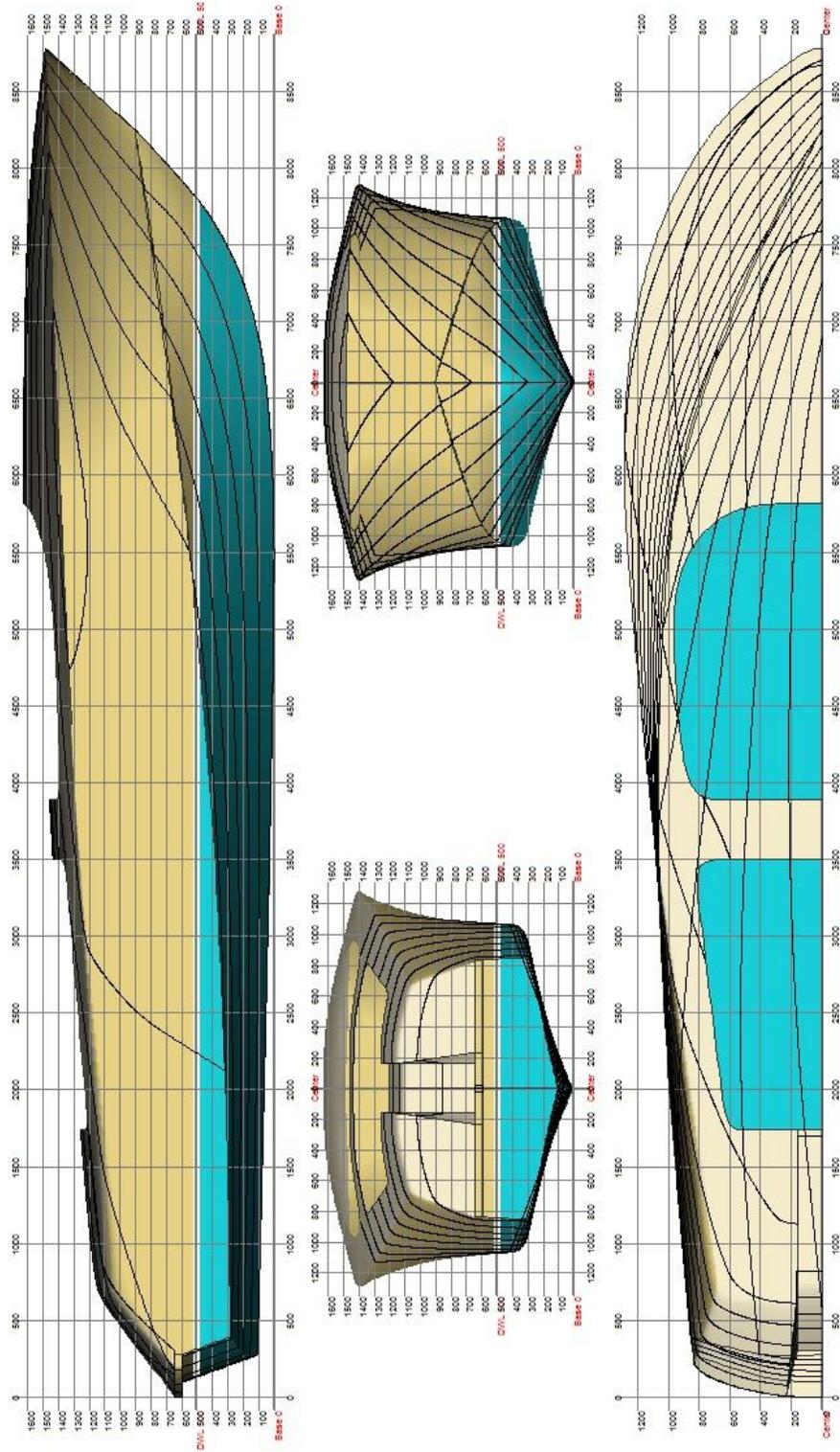
6.2 LITRE MERCUISER EFI
MAGNUM, 320 HP
CHOICE OF LEATHER COLOUR
STEP THROUGH BRIDGE DECK



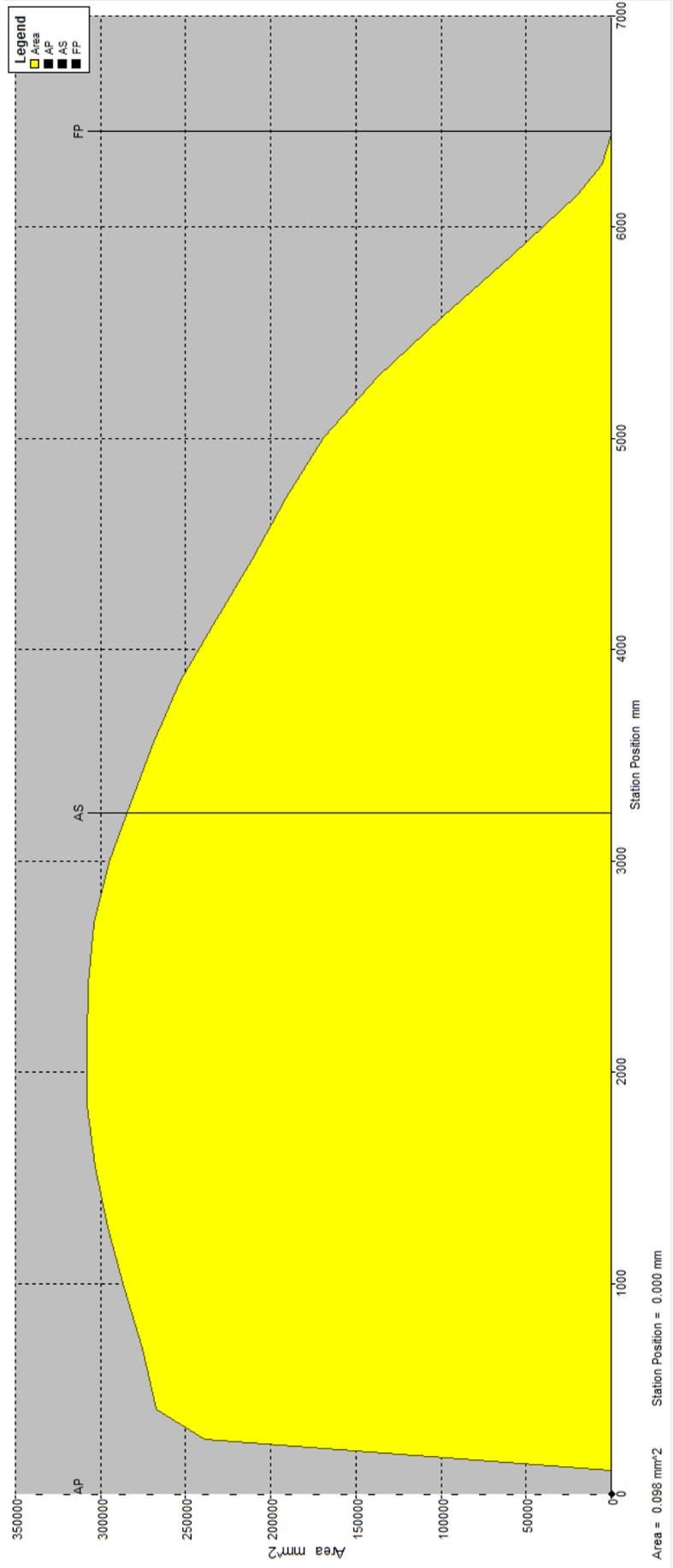
Style never goes out of fashion. Inspired and inspiring, the Clarion RA 23 design pays homage to the legendary Riva runabouts. Hand built without compromise and utilizing state of the art materials and methods, Clarion built boats deliver carefree boating at it's best. With 300 horsepower under the hood, performance is lively and spirited. Come, spend some quality time.....on the water.



2. Linesplan Kapal Clarion 23 Runabout



LAMPIRAN B
INITIAL TRIM CALCULATION

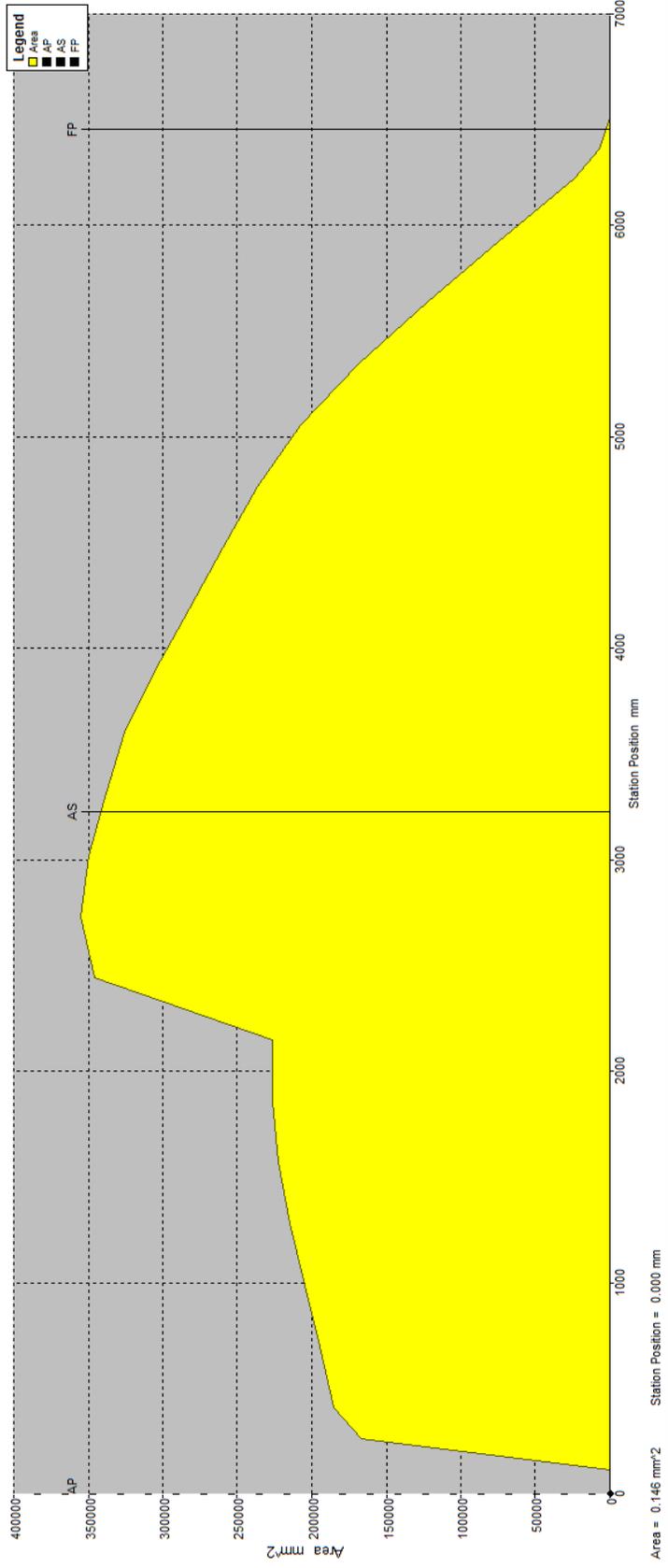


Hydrostatics at DWL



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1450	kg
2	Volume	1414597322	mm ³
3	Draft to Baseline	333	mm
4	Immersed depth	330.4	mm
5	Lwl	6325.3	mm
6	Beam wl	1779.6	mm
7	WSA	9614168.2	mm ²
8	Max cross sect area	308152.9	mm ²
9	Waterplane area	8300252.7	mm ²
10	Cp	0.726	
11	Cb	0.38	
12	Cm	0.597	
13	Cwp	0.737	
14	LCB from zero pt	2707.2	mm
15	LCF from zero pt	2820.3	mm
16	KB	229.3	mm
17	KG	0	mm
18	BMt	1138.4	mm
19	BMI	13860.1	mm
20	GMt	1367.6	mm
21	GMI	14089.4	mm
22	KMt	1367.6	mm
23	KMI	14089.4	mm
24	Immersion (TPc)	0.085	tonne/cm
25	MTc	0.032	tonne.m
26	RM at 1deg = GMt.Di	34607.8	kg.mm
27	Precision	Medium	50 station

Density VCG



Hydrostatics at DWL



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1450.3	kg
2	Volume	1414964745	mm ³
3	Draft to Baseline	350	mm
4	Immersed depth	369.9	mm
5	Lwl	6393.3	mm
6	Beam wl	1785.7	mm
7	WSA	9956412.9	mm ²
8	Max cross sect area	356587.9	mm ²
9	Waterplane area	8691439.2	mm ²
10	Cp	0.621	
11	Cb	0.335	
12	Cm	0.598	
13	Cwp	0.761	
14	LCB from zero pt	3061.5	mm
15	LCF from zero pt	2909.4	mm
16	KB	244.8	mm
17	KG	0	mm
18	BMt	1245.5	mm
19	BMI	15020	mm
20	GMt	1490.3	mm
21	GMI	15264.8	mm
22	KMt	1490.3	mm
23	KMI	15264.8	mm
24	Immersion (TPc)	0.089	tonne/cm
25	MTC	0.034	tonne.m
26	RM at 1deg = GMt.Di	37722	kg.mm
27	Precision	Medium	50 station

Density VCG

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN *PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM*
KAPAL TANPA STEP

1. Kecepatan Fn=1,5

velocity	11.82							
trim	4.5	4	3.5	3	2.6917	2.6779	2.5	2
trim total	5.77	5.27	4.77	4.27	3.96173	3.947885	3.77	-
displacement	300	300	300	300	336.512	301.482	300	-
surface level	0.24	0.246	0.23	0.22	0.215	0.215	0.205	-
drag (fx)	-1842.82	-1946.93	-2191.91	-1805.81	-2061.04	-2054.91	-1918.65	-
lift (y)	15288.98	13367.59	12811.99	12022.63	11322.62	11024.92	10901.01	-
	1558.509684	1362.649	1306.013	1225.548	1154.192	1123.845	1111.214	-
momen (My)	3297.88	2531.01	1502.65	801.94	38.82	-21.842	-498.77	-
momen (kgm)	336.1753313	258.0031	153.1753	81.7472	3.957187	-2.2265	-50.843	-
error	115.92%	88.97%	52.82%	28.19%	1.36%	-0.77%	-17.53%	-
displacement total	1858.509684	1662.649	1606.013	1525.548	1490.704	1425.327	1411.214	-
selisih disp	-405.939684	-210.079	-153.443	-72.9784	-38.1341	27.24312	41.35593	-
margin disp	-28%	-14%	-11%	-5%	-3%	2%	3%	-

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-499)) / (802 - (-499))) * (3.0 - 2.5)$$

$$= 2.692$$

interpolasi 2

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-499)) / (39 - (-))) * (2.7 - 2.0)$$

$$= 2.678$$

interpolasi 3

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-499)) / (39 - (-499))) * (2.7 - 2.5)$$

$$= 2.6829$$

nilai error

$$= (((2.692 - 2.683)^2 + (2.678 - 2.683)^2 + (2.683 - 2.683)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.007188536$$

sudut sebenarnya

$$= 3.9529$$

$$= 3.9529 \pm 0.0071885$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1111.214 + ((2.692 - (2.678)) / (2.692 - (2.678))) * (1154.192 - 1111.2141)$$

$$L = 1116.058$$

interpolasi 2

$$L = 1111.214 + ((2.678 - (2.500)) / (2.692 - (2.500))) * (1154.192 - 1111.2141)$$

$$L = 1151.088$$

interpolasi 3

$$L = 1123.845 + ((2.683 - (2.678)) / (2.692 - (2.678))) * (1154.192 - 1123.845)$$

$$L = 1134.772$$

nilai error

$$= (((1154.192 - 1134.772)^2 + (1123.845 - 1134.772)^2 + (1134.772 - 1134.772)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 15.75636717$$

nilai lift
sebenarnya

$$L = 1134.772 \pm 15.75637$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2054.910 + ((2.683 - (2.678)) / (2.692 - (2.678))) * (-2061.040 - -2054.910)$$

$$D = -2058.729$$

nilai error

$$= (((-2061.040 - (-2058.729))^2 + (-2054.910 - (-2058.729))^2 + (-2058.729 - (-2058.729))^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 3.156275186$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2058.729 \pm 3.15628$$

2. Kecepatan Fn=1,75

velocity	13.79							
trim	4	3.5	3	2.5	2	1.7299	1.7114	1.5
trim total	5.27	4.77	4.27	3.77	3.27	2.999882	2.981384	2.77
displacement	300	300	250	250	250	246.775	236.450	250
surface level	0.18	0.17	0.195	0.2	0.204	0.211	0.211	0.2105
drag (fx)	-4567.85	-2493.88	-2623.01	-2820.15	-2594.09	-2399.83	-2391.09	-2452.16
lift (y)	15772.29	12075	14202.98	15961.91	12296.74	11973.85	11275.85	11430.66
	1607.776758	1230.887	1447.806	1627.106	1253.49	1220.576	1149.424	1165.205
momen (My)	4277.66	3209.92	2691.71	1583	1029.85	76.7	-28.5	-876.45
momen (kgm)	436.0509684	327.209	274.3843	161.366	104.9796	7.818552	-2.9052	-89.3425
error	150.36%	112.83%	94.62%	55.64%	36.20%	2.70%	-1.00%	-30.81%
displacement total	1611.776758	1530.887	1697.806	1877.106	1503.49	1467.351	1385.874	1415.205
selisih disp	-159.206758	-78.3169	-245.236	-424.536	-50.9203	-14.7805	66.69618	37.36511
margin disp	-11%	-5%	-17%	-29%	-4%	-1%	5%	3%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 1.5 + ((0 - (-876)) / (1030 - (-876))) * (2.0 - 1.5)$$

$$= 1.730$$

interpolasi 2

$$\tau = 1.5 + ((0 - (-876)) / (77 - (-876))) * (1.7 - 1.5)$$

$$= 1.711$$

interpolasi 3

$$\tau = 1.7 + ((0 - (-29)) / (77 - (-29))) * (1.7 - 1.7)$$

$$= 1.7164$$

nilai error

$$= (((1.730 - 1.716)^2 + (1.711 - 1.716)^2 + (1.716 - 1.716)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.010173938$$

sudut sebenarnya

$$= 2.9864$$

$$= 2.9864 \pm 0.0101739$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1165.205 + ((1.730 - (1.500)) / (2.000 - (1.500))) * (1253.490 - 1165.2049)$$

$$L = 1205.795$$

interpolasi 2

$$L = 1165.205 + ((1.711 - (1.500)) / (1.730 - (1.500))) * (1220.576 - 1165.2049)$$

$$L = 1216.120$$

interpolasi 3

$$L = 1149.424 + \left(\frac{1.716 - (1.711)}{1.730 - (1.711)} \right) * (1220.576 - 1149.424)$$

$$L = 1168.700$$

nilai error

$$= \left(\frac{((1253.490 - 1168.700)^2 + (1220.576 - 1168.700)^2 + (1168.700 - 1168.700)^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 39.13231214$$

nilai lift
sebenarnya

$$L = 1168.700 \pm 39.13231$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2399.830 + \left(\frac{1.716 - (1.730)}{2.000 - (1.730)} \right) * (-2594.090 - -2399.830)$$

$$D = -2393.458$$

nilai error

$$= \left(\frac{((-2594.090 - (-2393.458))^2 + (-2399.830 - (-2393.458))^2 + (-2393.458 - (-2393.458))^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 4.806849518$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2393.458 \pm 4.80685$$

3. Kecepatan Fn=2

velocity 15.77

trim	3	2.5	2	1.5	1	0.7115	0.6941	0.5
trim total	4.27	3.77	3.27	2.77	2.27	1.981526	1.964138	1.77
displacement	250	250	200	200	200	230.930	197.737	200
surface level	0.2	0.2	0.175	0.165	0.162	0.153	0.153	0.149
drag (fx)	-3944.01	-3916	-3086.8	-3640.83	-2901.85	-2698.03	-2735.51	-2693.46
lift (y)	23448.91	21759	17416.84	15024.93	12801.81	12392.77	11818.33	11384.84
	2390.30683	2218.043	1775.417	1531.593	1304.976	1263.279	1204.723	1160.534
momen (My)	5052.2	4780.22	3546.633	1802.94	821.02	53.92	-25.2	-602.021
momen (kgm)	515.0050968	487.2803	361.5324	183.7859	83.69215	33.91	33.91	33.91
error	177.59%	168.03%	124.67%	63.37%	28.86%	11.69%	11.69%	11.69%
displacement total	2640.30683	2468.043	1975.417	1731.593	1504.976	1494.209	1402.459	1360.534
selisih disp	-1187.73683	-1015.47	-522.847	-279.023	-52.4055	-41.6389	50.11066	92.03585
margin disp	-82%	-70%	-36%	-19%	-4%	-3%	3%	6%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 0.5 + ((0 - (-602)) / (821 - (-602))) * (1.0 - 0.5)$$

$$= 0.712$$

interpolasi 2

$$\tau = 0.5 + ((0 - (-602)) / (54 - (-602))) * (0.7 - 0.5)$$

$$= 0.694$$

interpolasi 3

$$\tau = 0.7 + ((0 - (-25)) / (54 - (-25))) * (0.7 - 0.7)$$

$$= 0.6997$$

nilai error

$$= (((0.712 - 0.700)^2 + (0.694 - 0.700)^2 + (0.700 - 0.700)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.009249053$$

sudut sebenarnya

$$= 1.9697$$

$$= 1.9697 \pm 0.0092491$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1160.534 + ((0.712 - (0.500)) / (1.000 - (0.500))) * (1304.976 - 1160.5341)$$

$$L = 1221.640$$

interpolasi 2

$$L = 1160.534 + ((0.694 - (0.500)) / (0.712 - (0.500))) * (1263.279 - 1160.5341)$$

$$L = 1254.833$$

interpolasi 3

$$L = 1204.723 + ((0.700 - (0.694)) / (0.712 - (0.694))) * (1263.279 - 1204.7227)$$

$$L = 1223.373$$

nilai error

$$= (((1304.976 - 1223.373)^2 + (1263.279 - 1223.373)^2 + (1223.373 - 1223.373)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 31.14752777$$

nilai lift

sebenarnya

$$L = 1223.373 \pm 31.14753$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2698.030 + ((0.700 - (0.712)) / (1.000 - (0.712))) * (-2901.850 - -2698.0300)$$

$$D = -2723.572$$

nilai error

$$= (((-2901.850 - (-2723.572))^2 + (-2698.030 - (-2723.572))^2 + (-2723.572 - (-2723.572))^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 19.93643484$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2723.572 \pm 19.93643$$

4. Kecepatan Fn=2,25

velocity	17.74							
trim	2.5	2	1.5	1	0.5	0.119	0.101	0
trim total	3.77	3.27	2.77	2.27	1.77	1.389116	1.371349	1.27
displacement	480	300	250	200	200	216.510	176.913	200
surface level	0.25	0.169				0.112	0.113	
drag (fx)	-3180.66					-3050.27	-3053.52	
lift (y)	24362.08	18024.02	15243.88	14019.93	12842.02	12621.56	12083.61	11901.75
	2483.392457	1837.311	1553.912	1429.147	1309.074	1286.601	1231.765	1213.226
momen (My)	12939.063	8448.94	3388.84	1503.86	1105.5	60.61	-25.02	-345.73
momen (kgm)	1318.966667	861.2579	345.4475	153.2987	112.6911	6.178389	-2.55046	-35.2426
error	454.82%	296.99%	119.12%	52.86%	38.86%	2.13%	-0.88%	-12.15%
displacement total	2963.392457	2137.311	1803.912	1629.147	1509.074	1503.111	1408.678	1413.226
selisih disp	-1510.82246	-684.741	-351.342	-176.577	-56.5044	-50.541	43.89221	39.3437
margin disp	-104%	-47%	-24%	-12%	-4%	-3%	3%	3%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 0.0 + ((0 - (-346)) / (1106 - (-346))) * (0.5 - 0.0)$$

$$= 0.119$$

interpolasi 2

$$\tau = 0.0 + ((0 - (-346)) / (61 - (-346))) * (0.1 - 0.0)$$

$$= 0.101$$

interpolasi 3

$$\tau = 0.1 + ((0 - (-25)) / (61 - (-25))) * (0.1 - 0.1)$$

$$= 0.1065$$

nilai error

$$= (((0.119 - 0.107)^2 + (0.101 - 0.107)^2 + (0.107 - 0.107)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.009620491$$

sudut sebenarnya

$$= 1.3765$$

$$= 1.3765 \pm 0.0096205$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1213.226 + ((0.119 - (0.000)) / (0.500 - (0.000))) * (1309.074 - 1213.2263)$$

$$L = 1236.060$$

interpolasi 2

$$L = 1213.226 + ((0.101 - (0.000)) / (0.119 - (0.000))) * (1286.601 - 1213.2263)$$

$$L = 1275.657$$

interpolasi 3

$$L = 1231.765 + \left(\frac{0.107 - (0.101)}{0.119 - (0.101)} \right) * (1286.601 - 1231.7645)$$

$$L = 1247.787$$

nilai error

$$= \left(\frac{((1309.074 - 1247.787)^2 + (1286.601 - 1247.787)^2 + (1247.787 - 1247.787)^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 29.69235203$$

nilai lift
sebenarnya

$$L = 1247.787 \pm 29.69235$$

5. Kecepatan Fn=2,5

velocity	19.71							
trim	2	1.5	1	0.5	0	-0.2974	-0.3159	-0.5
trim total	3.27	2.77	2.27	1.77	1.27	0.9726	0.954056	0.77
displacement	200	200	200	200	200	193.105	162.171	200
surface level	0.13	0.25	13.6	0.085	0.12	0.11	0.1	
drag (fx)	-5317.7	-4960.27	-4019.94	-3892.41	-3625.84	-3501.92	-3482.77	-3202.88
lift (y)	16868.53	15361.26	14029.92	13760.34	12844.84	12722.91	12408.43	12021.96
	1719.523955	1565.878	1430.165	1402.685	1309.362	1296.933	1264.876	1225.48
momen (My)	7113.01	3082.29	2429.04	1093.84	319.93	21.93	-52.91	-217.91
momen (kgm)	725.077472	314.1988	247.6086	111.5025	32.61264	2.235474	-5.39348	-22.213
error	250.03%	108.34%	85.38%	38.45%	11.25%	0.77%	-1.86%	-7.66%
displacement total	1919.523955	1765.878	1630.165	1602.685	1509.362	1490.037	1427.046	1425.480
selisih disp	-466.953955	-313.308	-177.595	-150.115	-56.7919	-37.4673	25.52375	27.08988
margin disp	-32%	-22%	-12%	-10%	-4%	-3%	2%	2%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\begin{aligned}\tau &= -0.5 + ((0 - (-218)) / (320 - (-218))) * (0.0 - (-0.5)) \\ &= -0.297\end{aligned}$$

interpolasi 2

$$\begin{aligned}\tau &= -0.5 + ((0 - (-218)) / (22 - (-218))) * (-0.3 - (-0.5)) \\ &= -0.316\end{aligned}$$

interpolasi 3

$$\begin{aligned}\tau &= -0.3 + ((0 - (-53)) / (22 - (-53))) * (-0.3 - (-0.3)) \\ &= -0.3028\end{aligned}$$

nilai error

$$\begin{aligned}&= ((((-0.297 - (-0.303))^2 + (-0.316 - (-0.303))^2 + (-0.303 - (-0.303))^2) / 2)^{0.5} \\ &= 0.010023635\end{aligned}$$

sudut sebenarnya

$$\begin{aligned}&= 0.9672 \\ &= 0.9672 \pm 0.0100236\end{aligned}$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$\begin{aligned}L &= 1225.480 + ((-0.297 - (-0.500)) / (0.000 - (-0.500))) * (1309.362 - 1225.4801) \\ L &= 1259.465\end{aligned}$$

interpolasi 2

$$\begin{aligned}L &= 1225.480 + ((-0.316 - (-0.500)) / (0.297 - (-0.500))) * (1296.933 - 1225.4801) \\ L &= 1290.399\end{aligned}$$

interpolasi 3

$$L = 1264.876 + ((-0.303 - (-0.316)) / (0.297 - (-0.316))) * (1296.933 - 1264.8756)$$

$$L = 1287.539$$

nilai error

$$= (((1309.362 - 1287.539)^2 + (1296.933 - 1287.539)^2 + (1287.539 - 1287.539)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 17.34755148$$

nilai lift
sebenarnya

$$L = 1287.539 \pm 17.34755$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -3501.920 + ((-0.303 - (-0.297)) / (0.000 - (-0.297))) * (-3625.840 - -3501.9200)$$

$$D = -3496.309$$

nilai error

$$= (((-3625.840 - (-3496.309))^2 + (-3501.920 - (-3496.309))^2 + (-3496.309 - (-3496.309))^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 10.36293896$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -3496.309 \pm 10.36294$$

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN *PITCHING MOMENT EQUILIBRIUM*
KAPAL DENGAN STEP

1. Kecepatan Fn=1,5

velocity	11.70							
trim	4.5	4	3.5	3	2.628	2.604	2.5	1
trim total	6.2	5.7	5.2	4.7	4.328	4.304	4.2	-
displacement	300	300	300	300	297.148	295.342	300	-
surface level	0.245	0.23	0.216	0.211	0.208	0.208	0.206	-
drag (fx)	-2845.73	-2621	-2355.88	-2248.1	-2175.38	-2188.6	-2140.32	-
lift (y)	16424	14663	13363.25	11348.17	11356.83	11339.35	11333.09	-
	1674.20999	1494.699	1362.207	1156.796	1157.679	1155.897	1155.259	-
momen Y (Nm)	3869.85	2620.45	1601.35	725.21	57.21	-15.2	-249.93	-
momen (kgm)	394.4801223	267.1203	163.2365	73.92559	5.831804	-1.54944	-25.4771	-
error	136.03%	92.11%	56.29%	25.49%	2.01%	-0.53%	-8.79%	-
displacement total	1974.20999	1794.699	1662.207	1456.796	1454.826	1451.239	1455.259	-
selisih disp	-516.80999	-337.299	-204.807	0.603874	2.573573	6.161093	2.141081	-
margin disp	-35.46%	-23.14%	-14.05%	0.04%	0.18%	0.42%	0.15%	-

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-250)) / (725 - (-250))) * (3.0 - 2.5)$$

$$= 2.628$$

interpolasi 2

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-250)) / (57 - (-))) * (2.6 - 1.0)$$

$$= 2.604$$

interpolasi 3

$$\tau = 2.5 + ((0 - (-250)) / (57 - (-250))) * (2.6 - 2.5)$$

$$= 2.6093$$

nilai error

$$= (((2.628 - 2.609)^2 + (2.604 - 2.609)^2 + (2.609 - 2.609)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.013798345$$

sudut sebenarnya

$$= 4.3093$$

$$= 4.3093 \pm 0.0137983$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1155.259 + ((2.628 - (2.604)) / (2.628 - (2.604))) * (1157.679 - 1155.2589)$$

$$L = 1155.422$$

interpolasi 2

$$L = 1155.259 + ((2.604 - (2.500)) / (2.628 - (2.500))) * (1157.679 - 1155.2589)$$

$$L = 1157.228$$

interpolasi 3

$$L = 1155.897 + ((2.609 - (2.604)) / (2.628 - (2.604))) * (1157.679 - 1155.8970)$$

$$L = 1156.271$$

nilai error

$$= (((1157.679 - 1156.271)^2 + (1155.897 - 1156.271)^2 + (1156.271 - 1156.271)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 1.030012316$$

nilai lift sebenarnya

$$L = 1156.271 \pm 1.03001$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2188.600 + ((2.609 - (2.604)) / (2.628 - (2.604))) * (-2175.380 - -2188.6000)$$

$$D = -2190.920$$

nilai error

$$= (((-2175.380 - (-2190.920))^2 + (-2188.600 - (-2190.920))^2 + (-2190.920 - (-2190.920))^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 11.11012553$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2190.920 \pm 11.11013$$

2. Kecepatan Fn=1,75

velocity	13.65							
trim	4.5	4	3.5	3	2.5	2.107	2.079	2
trim total	6.2	5.7	5.2	4.7	4.2	3.807002	3.779314	3.7
displacement	250	250	250	250	250	203.045	229.323	250
surface level	0.216	0.21	2.05	1.98	1.9	1.72	1.72	1.66
drag (fx)	-3241.1	-3152.7	-3025.54	2991.44	-2927.6	-2399.87	-2399.37	-2540.14
lift (y)	18180	17822.5	16376.28	15200.41	13085.39	12031.6	11711.6	12092.81
	1853.211009	1816.769	1669.346	1549.481	1333.883	1226.463	1193.843	1232.702
momen (My)	4293.03	3593.98	3201.63	1801.01	772.87	73.46	-34.73	-210.43
	437.617737	366.3588	326.3639	183.5892	78.78389	7.488277	-3.54027	-21.4506
error	150.90%	126.33%	112.54%	63.31%	27.17%	2.58%	-1.22%	-7.40%
displacement total	2103.211009	2066.769	1919.346	1799.481	1583.883	1429.507	1423.166	1482.702
selisih disp	-645.811009	-609.369	-461.946	-342.081	-126.483	27.89255	34.23434	-25.3022
margin disp	-44.31%	-41.81%	-31.70%	-23.47%	-8.68%	1.91%	2.35%	-1.74%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 2.0 + ((0 - (-210)) / (773 - (-210))) * (2.5 - 2.0)$$

$$= 2.107$$

interpolasi 2

$$\tau = 2.0 + ((0 - (-210)) / (73 - (-210))) * (2.1 - 2.0)$$

$$= 2.079$$

interpolasi 3

$$\tau = 2.1 + ((0 - (-35)) / (73 - (-35))) * (2.1 - 2.1)$$

$$= 2.0882$$

nilai error

$$= (((2.107 - 2.088)^2 + (2.079 - 2.088)^2 + (2.088 - 2.088)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.014704356$$

sudut sebenarnya

$$= 3.7882$$

$$= 3.7882 \pm 0.0147044$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1232.702 + ((2.107 - (2.000)) / (2.500 - (2.000))) * (1333.883 - 1232.7022)$$

$$L = 1254.355$$

interpolasi 2

$$L = 1232.702 + ((2.079 - (2.000)) / (2.107 - (2.000))) * (1226.463 - 1232.7022)$$

$$L = 1228.077$$

interpolasi 3

$$L = 1193.843 + ((2.088 - (2.079)) / (2.107 - (2.079))) * (1226.463 - 1193.8429)$$

$$L = 1204.314$$

nilai error

$$= (((1333.883 - 1204.314)^2 + (1226.463 - 1204.314)^2 + (1204.314 - 1204.314)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 17.32345534$$

nilai lift sebenarnya

$$L = 1204.314 \pm 17.32346$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2399.870 + ((2.088 - (2.107)) / (2.500 - (2.107))) * (-2927.599 - -2399.8700)$$

$$D = -2399.531$$

nilai error

$$= (((-2927.599 - (-2399.531))^2 + (-2399.870 - (-2399.531))^2 + (-2399.531 - (-2399.531))^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.265536089$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2399.531 \pm 0.26554$$

3. Kecepatan Fn=2

velocity	15.60							
trim	4	3.5	3	2.5	2	1.723	1.692	1.5
trim total	5.7	5.2	4.7	4.2	3.7	3.422811	3.391516	3.2
displacement	200	200	200	200	200	196.066	191.275	200
surface level	0.18	0.168	0.15	0.143	0.141	0.155	0.155	0.169
drag (fx)	-3635.99	-3455.52	-3414.83	-3126.55	-2838.27	-2622.6	-2566.6	-3894.93
lift (y)	18105.98	15648.83	14746.08	13841.11	13736.14	12607.33	12007.33	11278.52
	1845.665647	1595.192	1503.168	1410.918	1400.218	1285.151	1223.989	1149.696
momen (My)	6786.18	5050.815	3811	3126.56	942.12	123.75	-32.41	-757.3
	691.7614679	514.8639	388.4811	318.7115	96.0367	12.61468	-3.30377	-77.1967
error	238.54%	177.54%	133.96%	109.90%	33.12%	4.35%	-1.14%	-26.62%
displacement total	2045.665647	1795.192	1703.168	1610.918	1600.218	1481.216	1415.264	1349.696
selisih disp	-588.265647	-337.792	-245.768	-153.518	-142.818	-23.8164	42.13647	107.7038
margin disp	-40.36%	-23.18%	-16.86%	-10.53%	-9.80%	-1.63%	2.89%	7.39%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 1.5 + ((0 - (-757)) / (942 - (-757))) * (2.0 - 1.5)$$

$$= 1.723$$

interpolasi 2

$$\tau = 1.5 + ((0 - (-757)) / (124 - (-757))) * (1.7 - 1.5)$$

$$= 1.692$$

interpolasi 3

$$\tau = 1.7 + ((0 - (-32)) / (124 - (-32))) * (1.7 - 1.7)$$

$$= 1.6980$$

nilai error

$$= (((1.723 - 1.698)^2 + (1.692 - 1.698)^2 + (1.698 - 1.698)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.018127924$$

sudut sebenarnya

$$= 3.3980$$

$$= 3.3980 \pm 0.0181279$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1149.696 + ((1.723 - (1.500)) / (2.000 - (1.500))) * (1400.218 - 1149.6962)$$

$$L = 1261.334$$

interpolasi 2

$$L = 1149.696 + ((1.692 - (1.500)) / (1.723 - (1.500))) * (1285.151 - 1149.6962)$$

$$L = 1266.125$$

interpolasi 3

$$L = 1223.989 + \left(\frac{1.698 - 1.692}{1.723 - 1.692} \right) * (1285.151 - 1223.9888)$$

$$L = 1236.683$$

nilai error

$$= \left(\frac{((1400.218 - 1236.683)^2 + (1285.151 - 1236.683)^2 + (1236.683 - 1236.683)^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 35.42814593$$

nilai lift sebenarnya

$$L = 1236.683 \pm 35.42815$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2622.600 + \left(\frac{1.698 - 1.723}{2.000 - 1.723} \right) * (-2838.270 - -2622.6000)$$

$$D = -2578.222$$

nilai error

$$= \left(\frac{((-2838.270 - (-2578.222))^2 + (-2622.600 - (-2578.222))^2 + (-2578.222 - (-2578.222))^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 32.43801042$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2578.222 \pm 32.43801$$

4. Kecepatan Fn=2,25

velocity	17.55							
trim	3.5	3	2.5	2	1.5	1.379	1.357	1
trim total	5.2	4.7	4.2	3.7	3.2	3.078503	3.05701	1.7
displacement	150	150	150	150	200	154.345	149.446	200
surface level	0.157	0.142	0.126	0.115	0.14	0.135	0.135	0.135
drag (fx)	-3926.42	-3916.91	-3820.6	-3505.26	-3962.73	-2831.85	-2742.97	-3923.21
lift (y)	19192.2	15706.91	12189.45	13832.74	13217.33	12915.38	12224.48	11429.81
	1956.391437	1601.112	1242.554	1410.065	1347.332	1316.552	1246.124	1165.118
momen (My)	9646.45	7391.303	5106.48	5251.4	312.88	58.68	-69.08	-974.72
	983.3282365	753.4458	520.5382	535.3109	31.89399	5.981651	-7.04179	-99.3598
error	339.08%	259.81%	179.50%	184.59%	11.00%	2.06%	-2.43%	-34.26%
displacement total	2106.391437	1751.112	1392.554	1560.065	1497.332	1466.552	1446.124	1365.118
selisih disp	-648.991437	-293.712	64.84648	-102.665	-39.9323	-9.1525	11.27564	92.28175
margin disp	-44.53%	-20.15%	4.45%	-7.04%	-2.74%	-0.63%	0.77%	6.33%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 1.0 + ((0 - (-975)) / (313 - (-975))) * (1.5 - 1.0)$$

$$= 1.379$$

interpolasi 2

$$\tau = 1.0 + ((0 - (-975)) / (59 - (-975))) * (1.4 - 1.0)$$

$$= 1.357$$

interpolasi 3

$$\tau = 1.4 + ((0 - (-69)) / (59 - (-69))) * (1.4 - 1.4)$$

$$= 1.3686$$

nilai error

$$= (((1.379 - 1.369)^2 + (1.357 - 1.369)^2 + (1.369 - 1.369)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.010781886$$

sudut sebenarnya

$$= 3.0686$$

$$= 3.0686 \pm 0.0107819$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1165.118 + ((1.379 - (1.000)) / (1.500 - (1.000))) * (1347.332 - 1165.1182)$$

$$L = 1303.055$$

interpolasi 2

$$L = 1165.118 + ((1.357 - (1.000)) / (1.379 - (1.000))) * (1316.552 - 1165.1182)$$

$$L = 1307.954$$

interpolasi 3

$$L = 1246.124 + \left(\frac{1.369 - (1.357)}{1.379 - (1.357)} \right) * (1316.552 - 1246.1244)$$

$$L = 1284.205$$

nilai error

$$= \left(\frac{((1347.332 - 1284.205)^2 + (1316.552 - 1284.205)^2 + (1284.205 - 1284.205)^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 35.33054568$$

nilai lift sebenarnya

$$L = 1284.205 \pm 35.33055$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -2831.850 + \left(\frac{1.369 - (1.379)}{1.500 - (1.379)} \right) * (-3962.730 - -2831.8500)$$

$$D = -2791.028$$

nilai error

$$= \left(\frac{((-3962.730 - (-2791.028))^2 + (-2831.850 - (-2791.028))^2 + (-2791.028 - (-2791.028))^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 44.58699524$$

nilai drag sebenarnya

$$D = -2791.028 \pm 44.58700$$

5. Kecepatan Fn=2,25

velocity	19.50							
trim	3	2.5	2	1.5	1.5	1.095	1.085	1
trim total	4.7	4.2	3.7	3.2	3.2	2.794967	2.784574	2.7
displacement	100	100	100	100	200	195.525	160.529	200
surface level	0.125	0.11	0.09	0.08	0.115	0.1	0.1	0.092
drag (fx)	-4236.95	-4468	-4310.28	-4210.23	-4234.98	-3036.95	-2926.95	-4319.91
lift (y)	17091	13111.34	13619	13632.01	13509.13	12797.05	12491.05	12114.02
	1742.201835	1336.528	1388.277	1389.603	1377.077	1304.49	1273.298	1234.864
momen (My)	11191.29	8868.06	7912.54	4010.13	875.82	25.235	-52.33	-205.35
	1140.804281	903.9817	806.579	408.7798	89.27829	2.572375	-5.33435	-20.9327
error	393.38%	311.72%	278.13%	140.96%	30.79%	0.89%	-1.84%	-7.22%
displacement total	1842.201835	1436.528	1488.277	1489.603	1577.077	1500.015	1433.827	1434.864
selisih disp	-384.801835	20.87197	-30.8773	-32.2035	-119.677	-42.6149	23.57287	22.53558
margin disp	-26.40%	1.43%	-2.12%	-2.21%	-8.21%	-2.92%	1.62%	1.55%

1. koreksi trim

interpolasi

$$\tau = 1.0 + ((0 - (-205)) / (876 - (-205))) * (1.5 - 1.0)$$

$$= 1.095$$

interpolasi 2

$$\tau = 1.0 + ((0 - (-205)) / (25 - (-205))) * (1.1 - 1.0)$$

$$= 1.085$$

interpolasi 3

$$\tau = 1.1 + ((0 - (-52)) / (25 - (-52))) * (1.1 - 1.1)$$

$$= 1.0916$$

nilai error

$$= (((1.095 - 1.092)^2 + (1.085 - 1.092)^2 + (1.092 - 1.092)^2) / 2)^{0.5}$$

$$= 0.005504453$$

sudut sebenarnya

$$= 2.7916$$

$$= 2.7916 \pm 0.0055045$$

2. koreksi lift

interpolasi 1

$$L = 1234.864 + ((1.095 - (1.000)) / (1.500 - (1.000))) * (1377.077 - 1234.8644)$$

$$L = 1261.875$$

interpolasi 2

$$L = 1234.864 + ((1.085 - (1.000)) / (1.095 - (1.000))) * (1304.490 - 1234.8644)$$

$$L = 1296.871$$

interpolasi 3

$$L = 1273.298 + \left(\frac{1.092 - (1.085)}{1.095 - (1.085)} \right) * (1304.490 - 1273.2977)$$

$$L = 1294.342$$

nilai error

$$= \left(\frac{((1377.077 - 1294.342)^2 + (1304.490 - 1294.342)^2 + (1294.342 - 1294.342)^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 16.52051479$$

nilai lift sebenarnya

$$L = 1294.342 \pm 16.52051$$

3. koreksi drag

interpolasi

$$D = -3036.950 + \left(\frac{1.092 - (1.095)}{1.500 - (1.095)} \right) * (-4234.980 - -3036.9500)$$

$$D = -3001.163$$

nilai error

$$= \left(\frac{(((-4234.980 - (-3001.163))^2 + (-3036.950 - (-3001.163))^2 + (-3001.163 - (-3001.163))^2)}{2} \right)^{0.5}$$

$$= 58.25910951$$

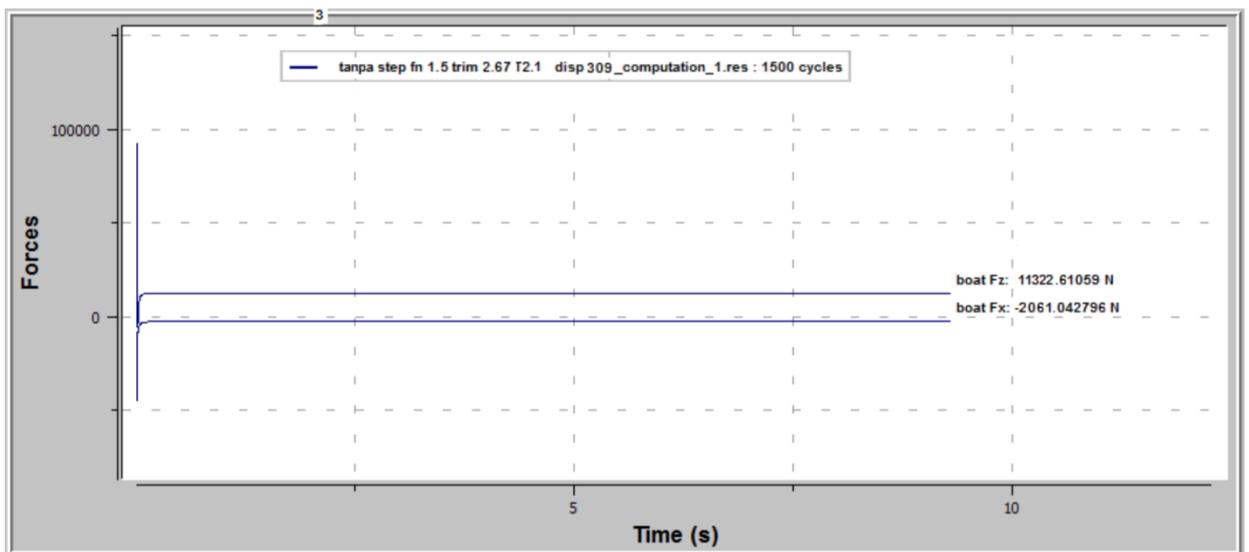
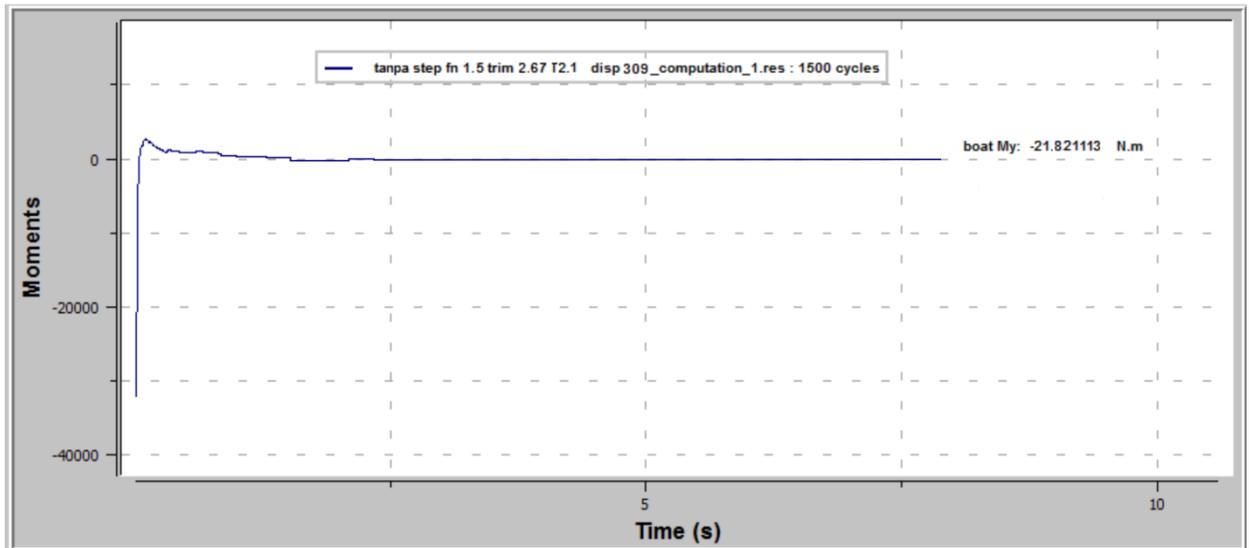
nilai drag sebenarnya

$$D = -3001.163 \pm 58.25911$$

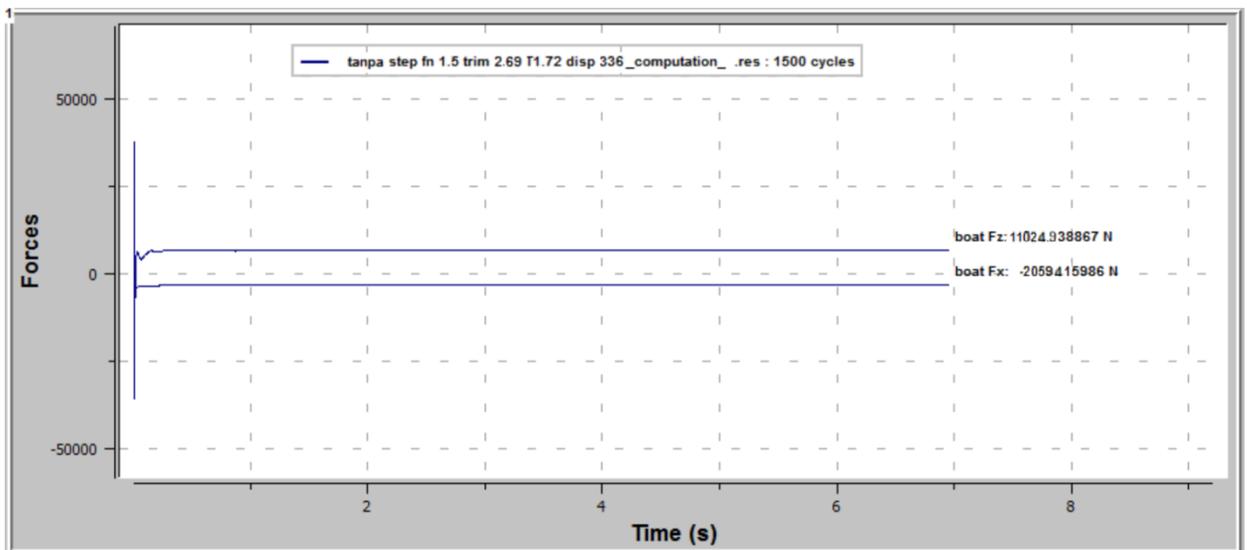
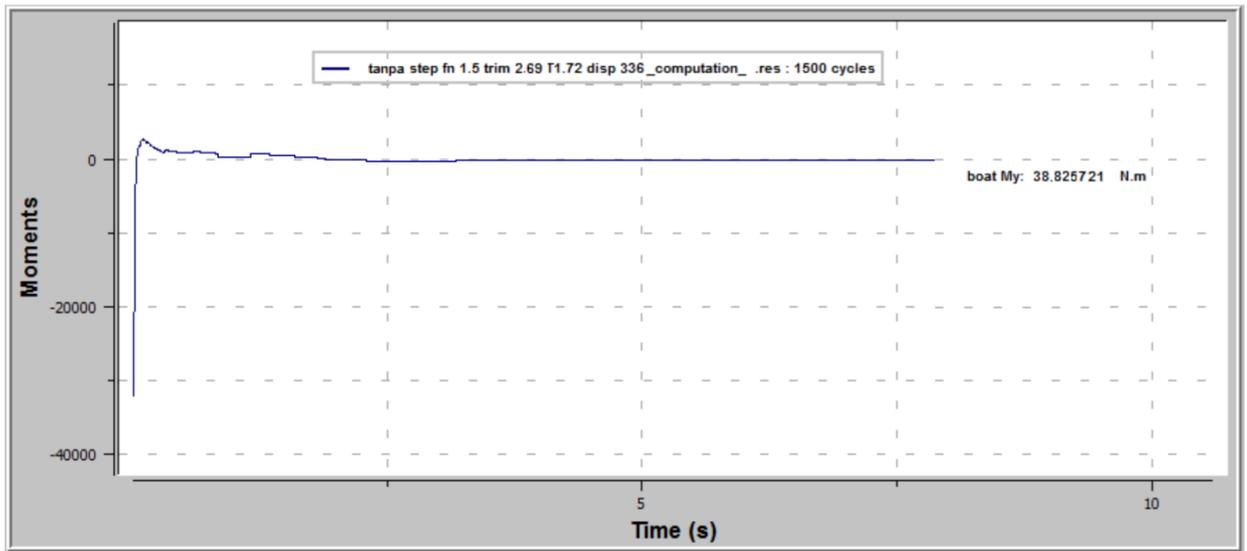
LAMPIRAN E
GRAFIK GAYA MOMEN KAPAL TANPA TRANSVERSE STEP

7. Kecepatan $F_n=1,5$

A. Sudut Trim 2,6917

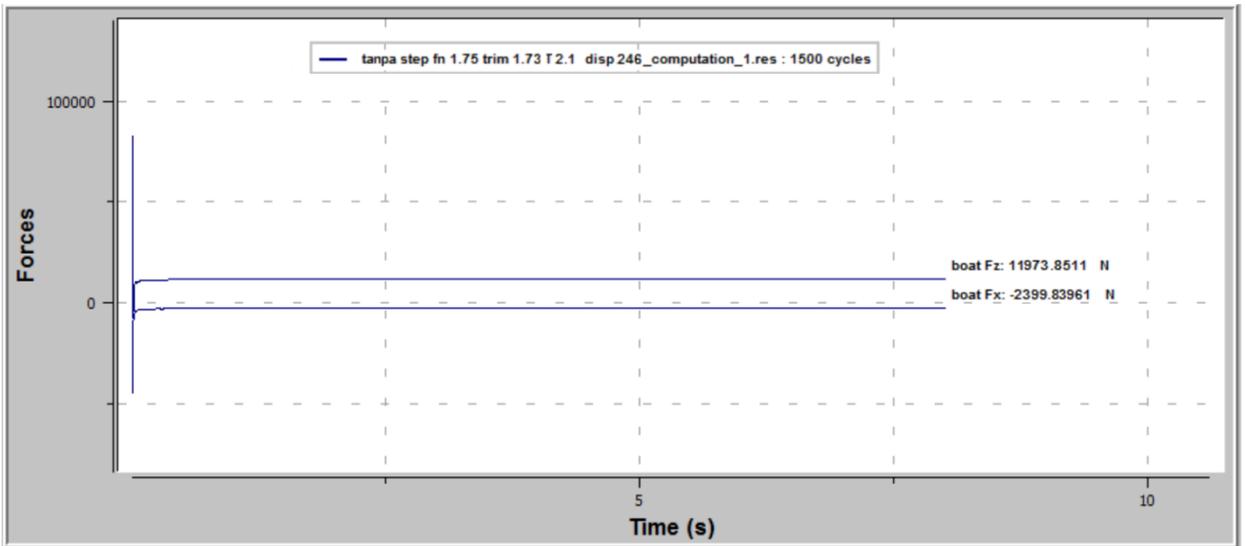
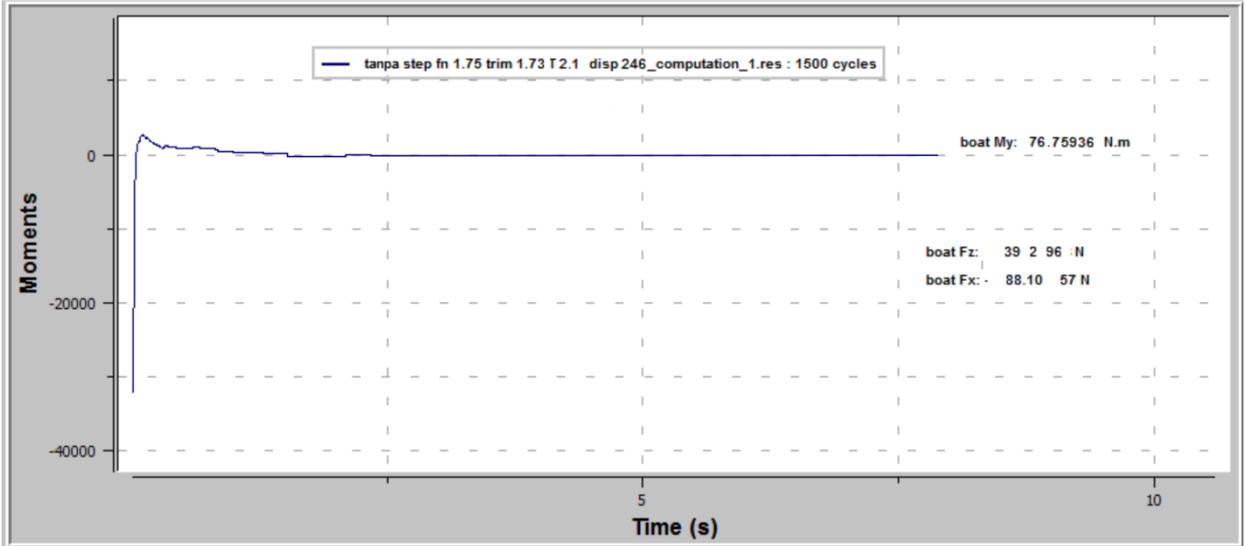


B. Sudut Trim 2,6779

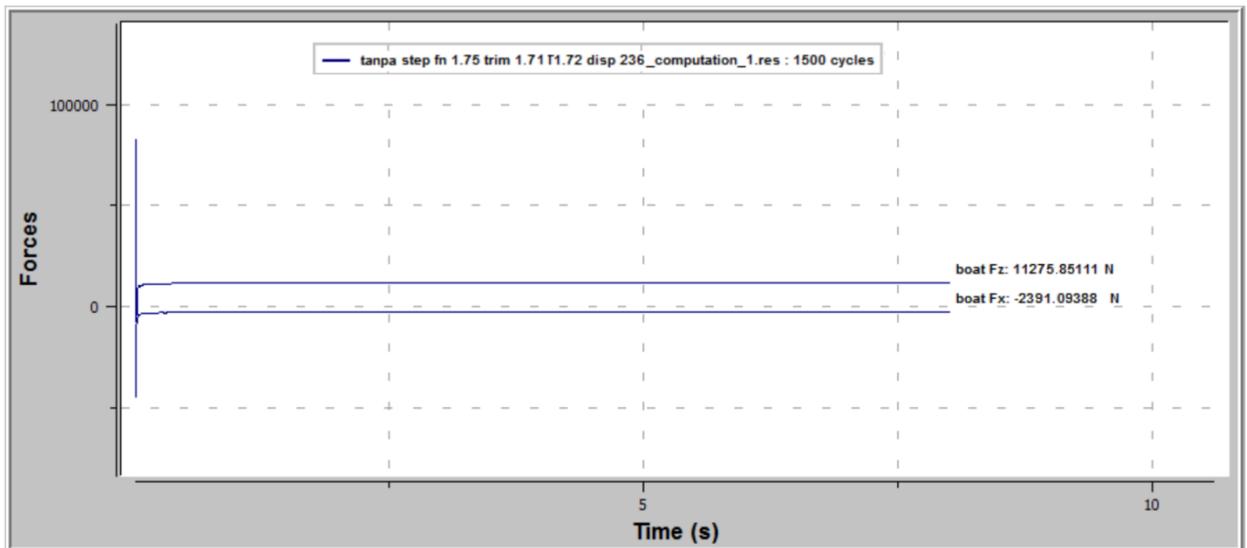
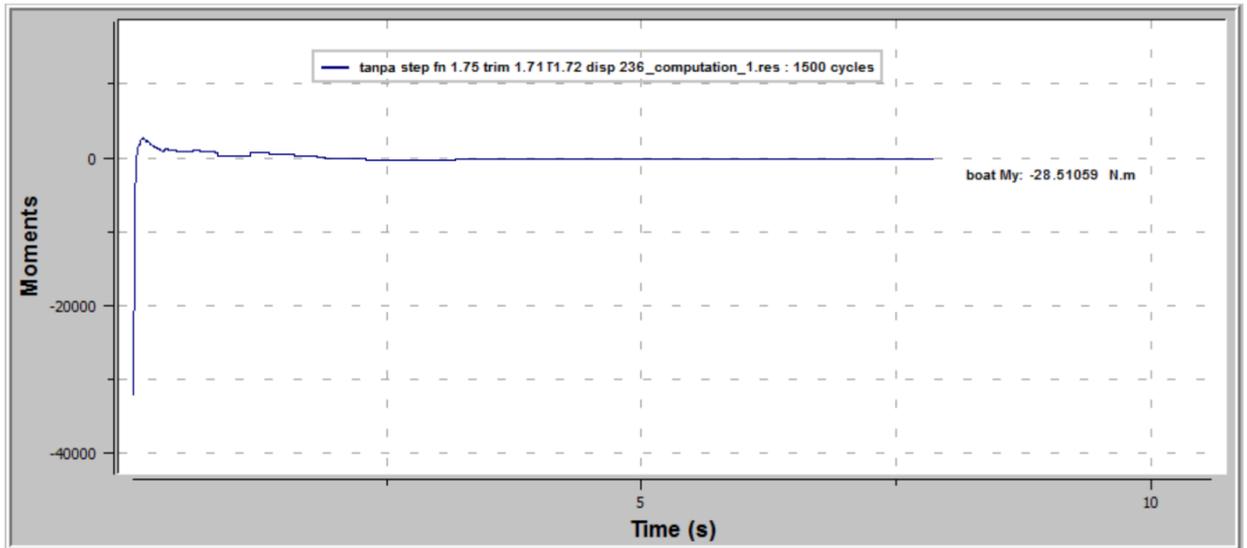


8. Kecepatan $F_n=1,75$

A. Sudut Trim 1,7299

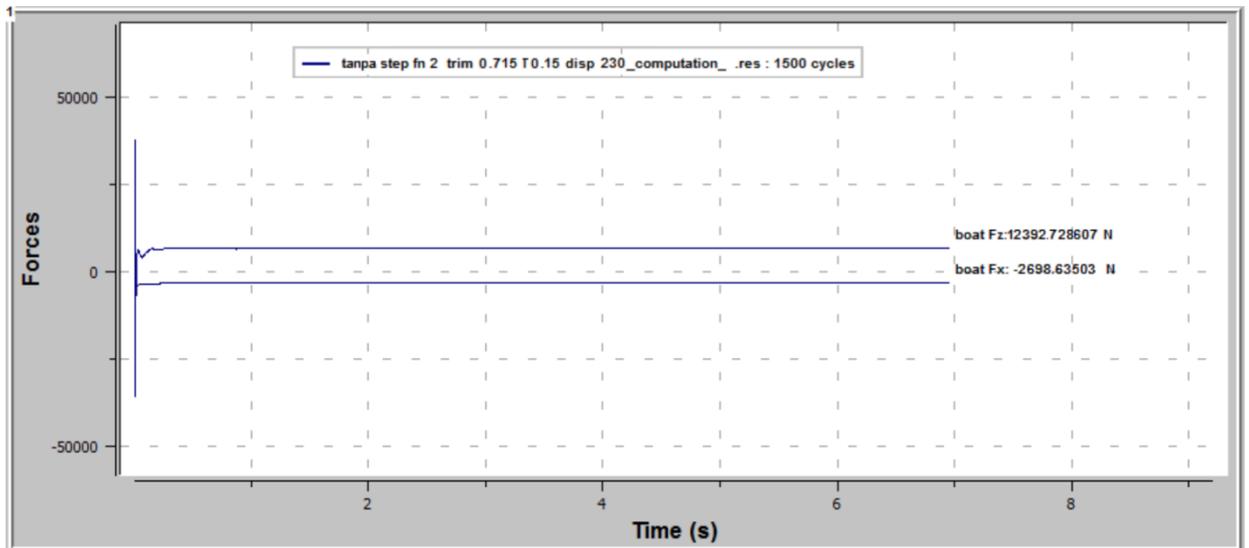
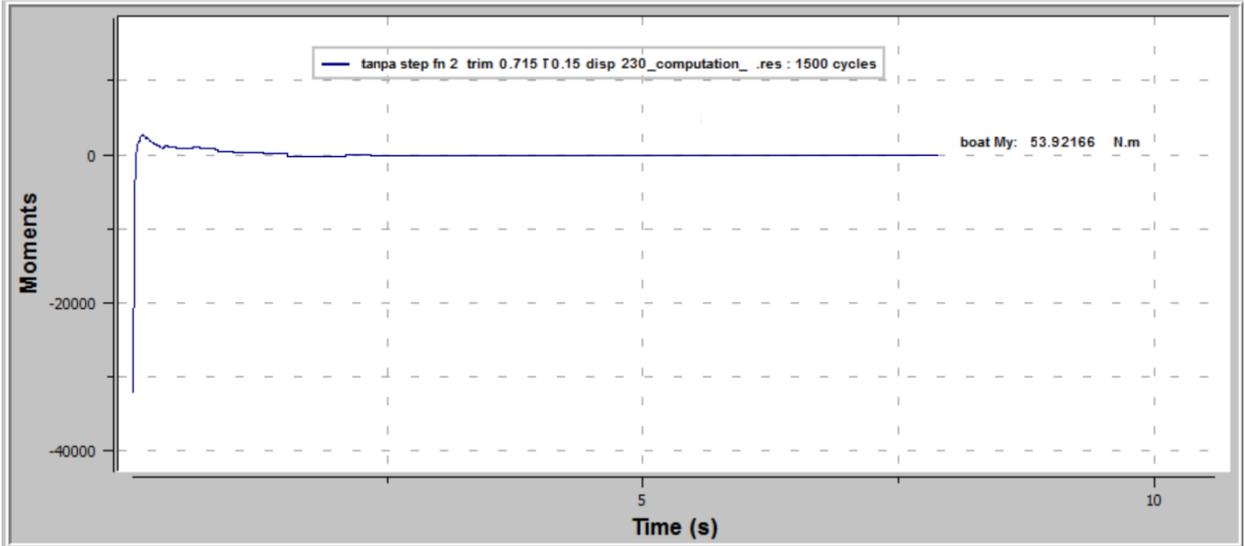


B. Sudut Trim1,7114

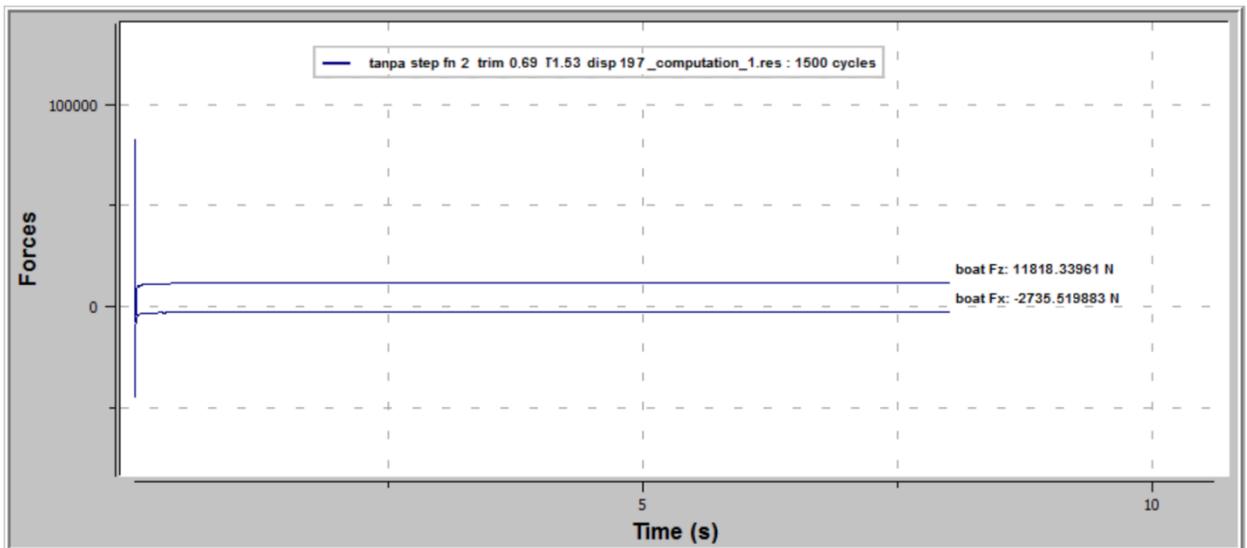
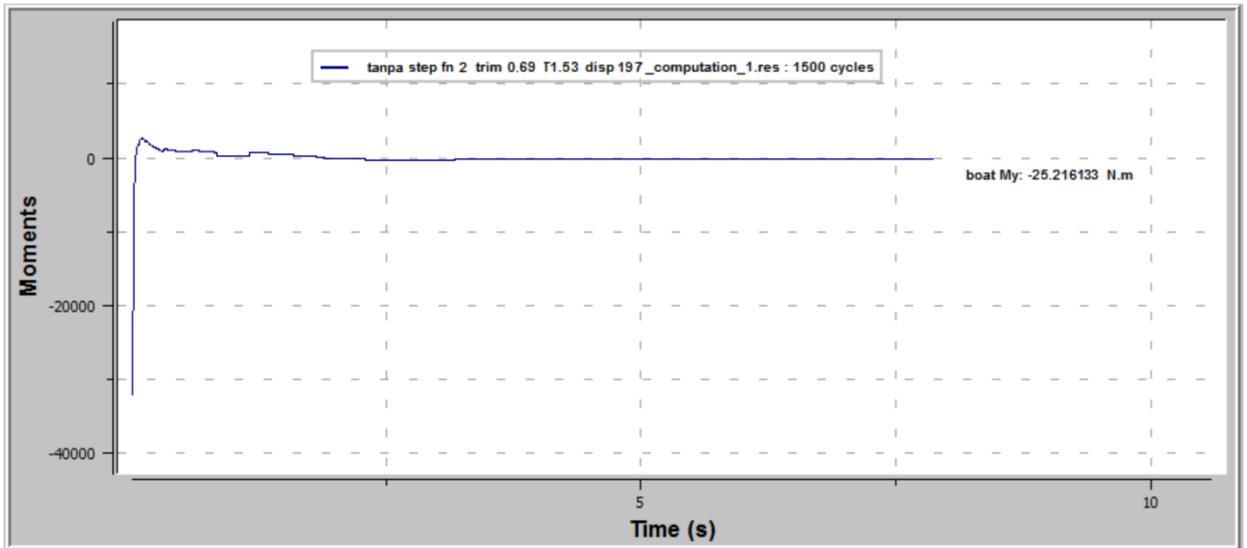


9. Kecepatan Fn=2

A. Sudut Trim 0,7115

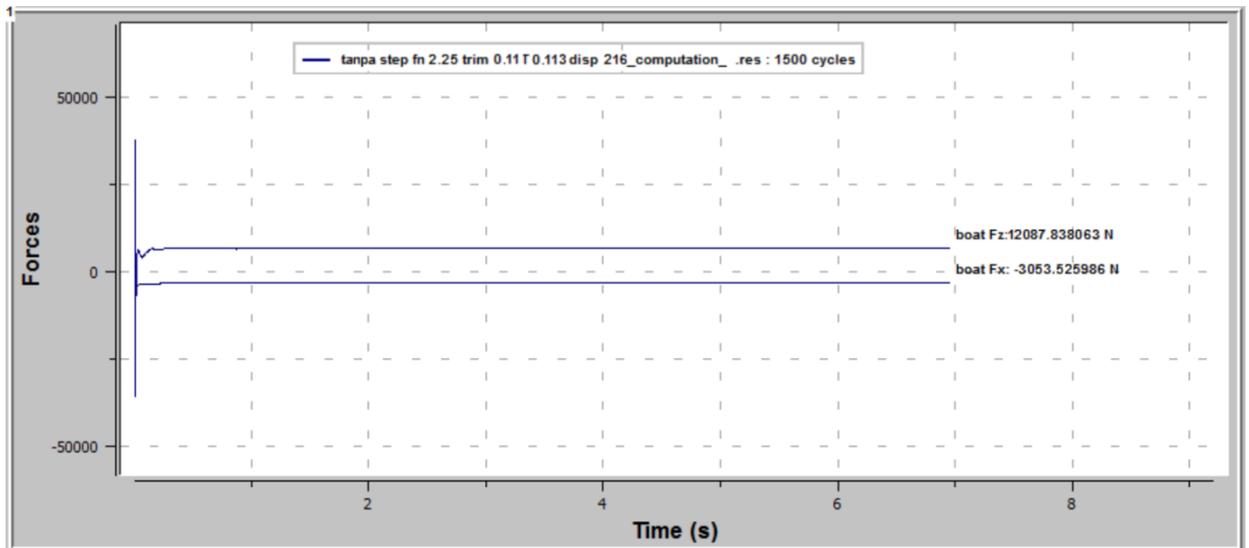
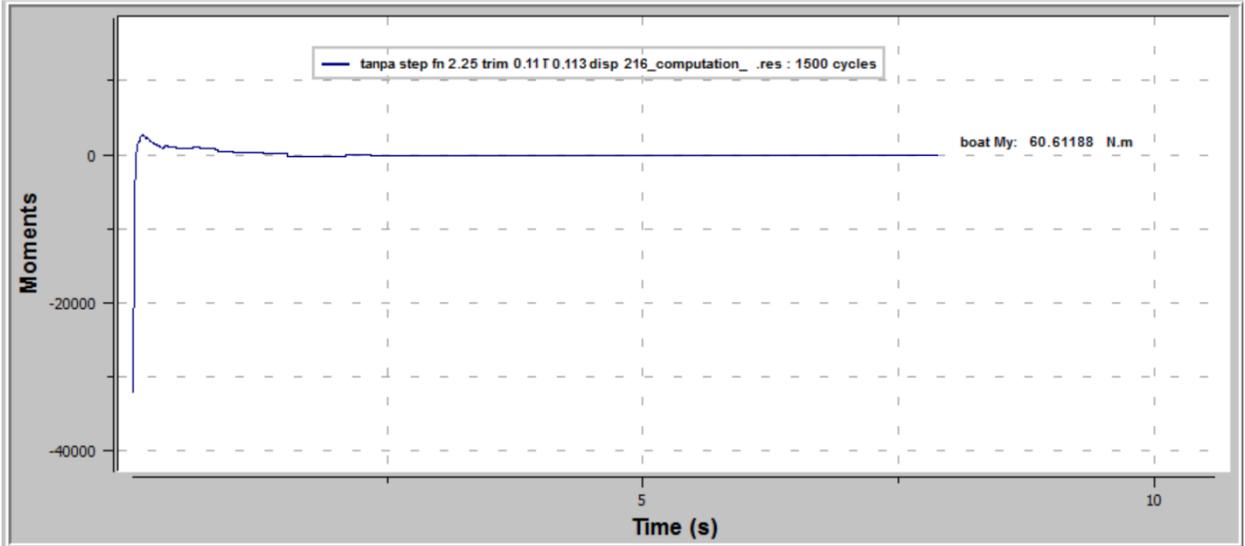


B. Sudut Trim 0,6941

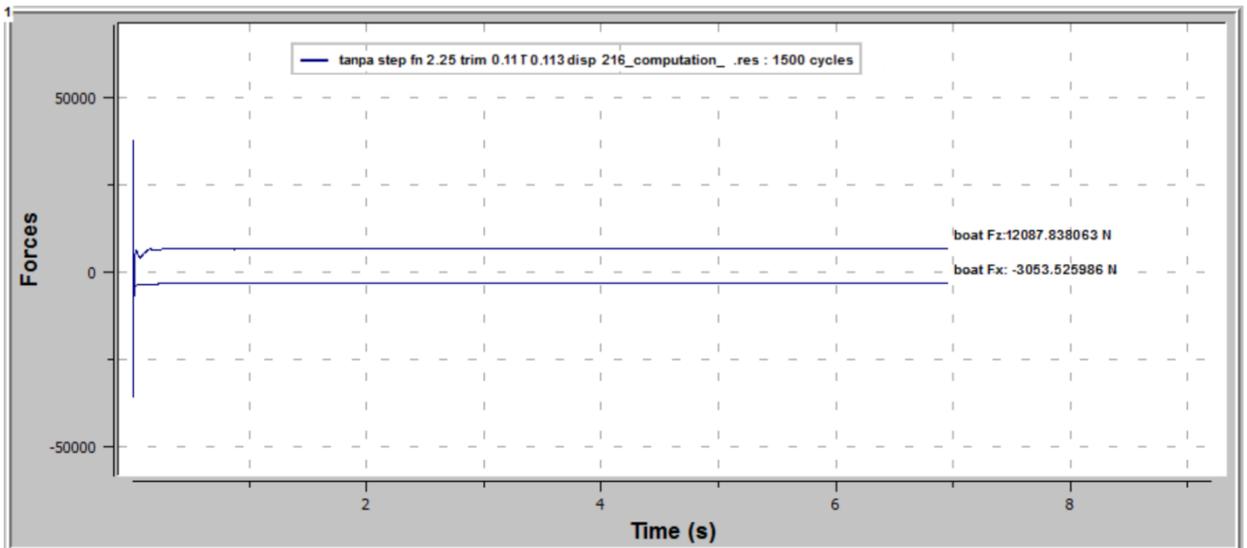
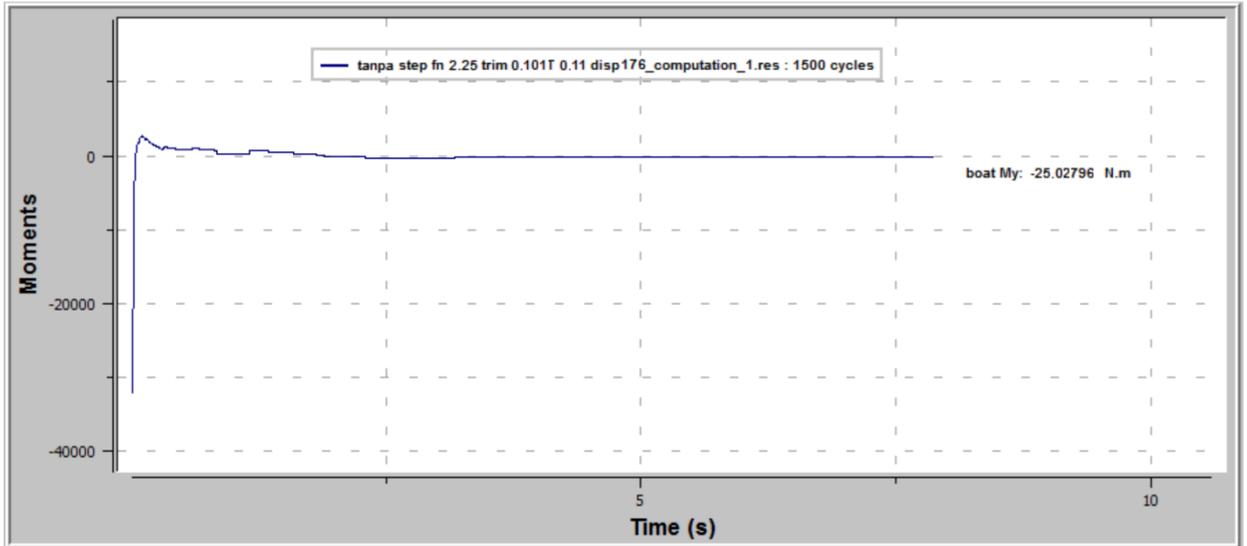


10. Kecepatan $F_n=2,25$

A. Sudut Trim 0,119

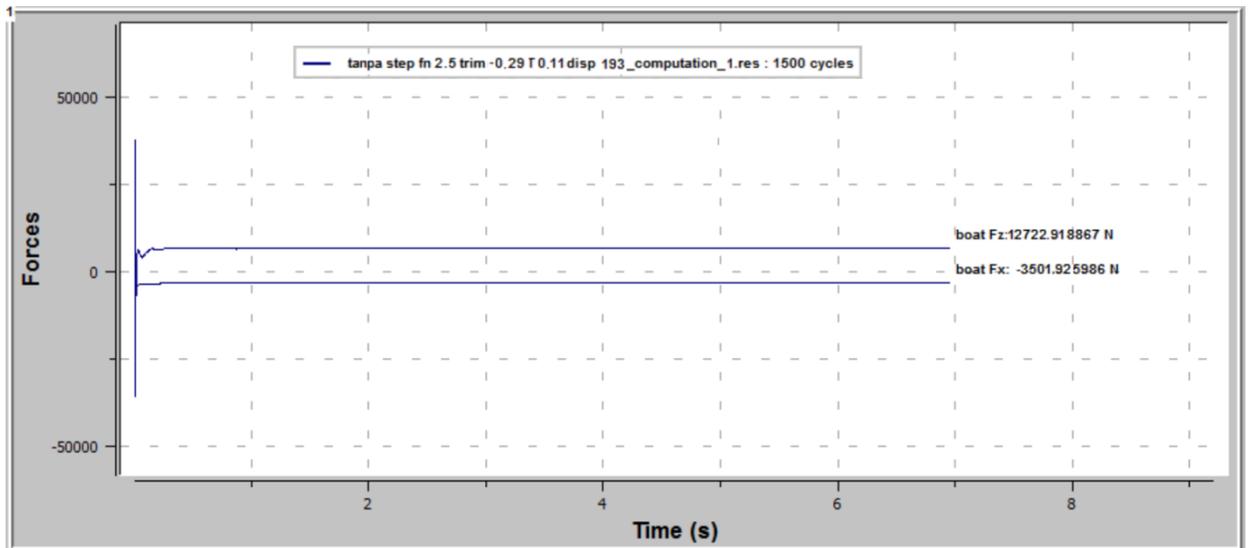
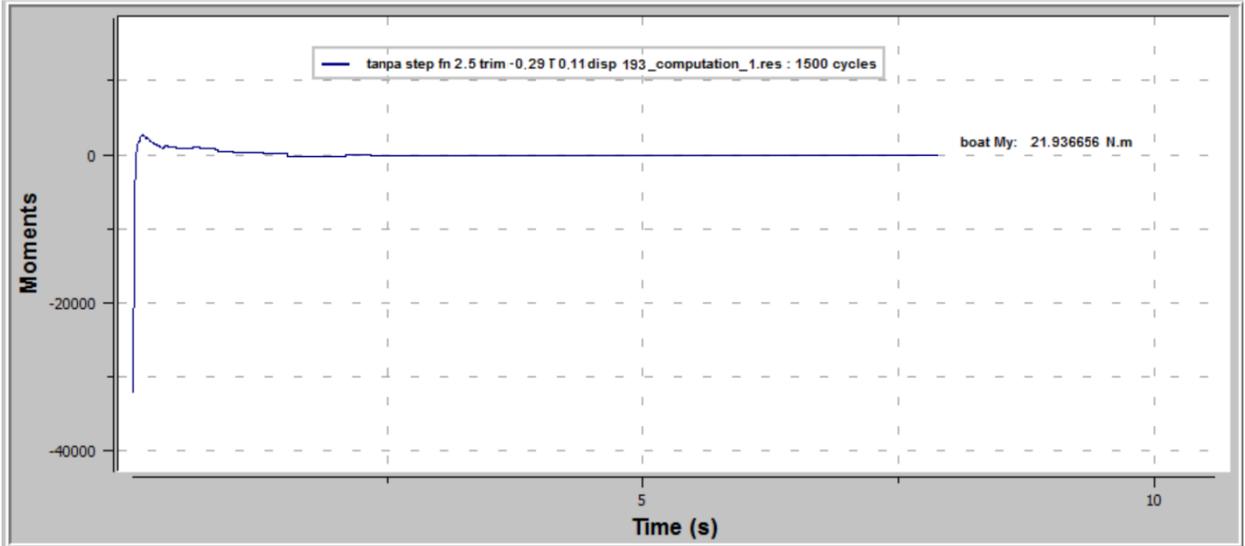


B. Sudut Trim 0,101

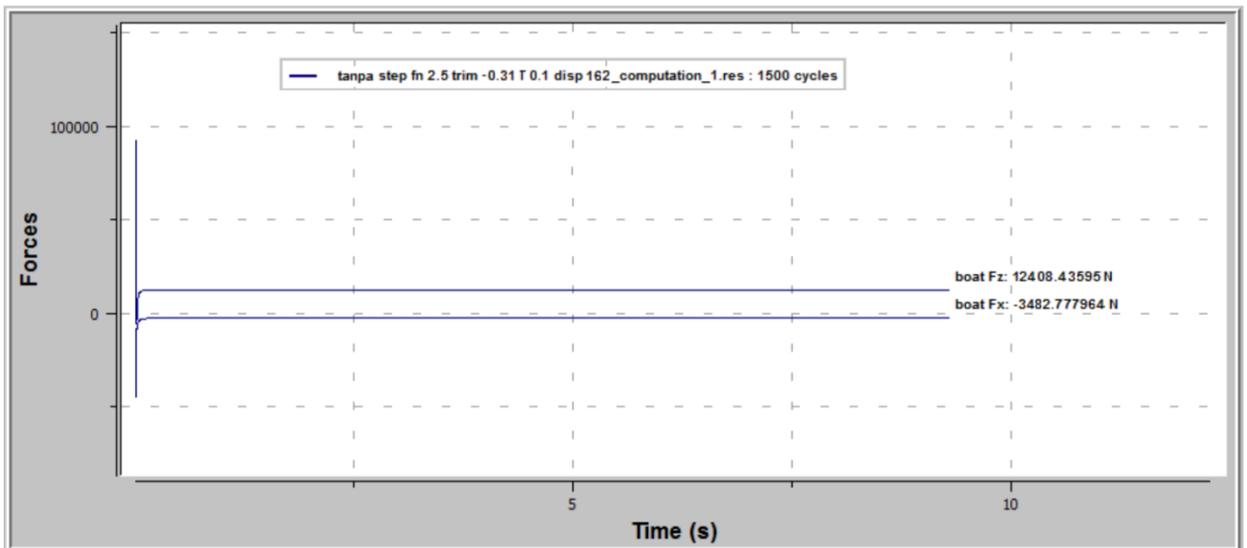
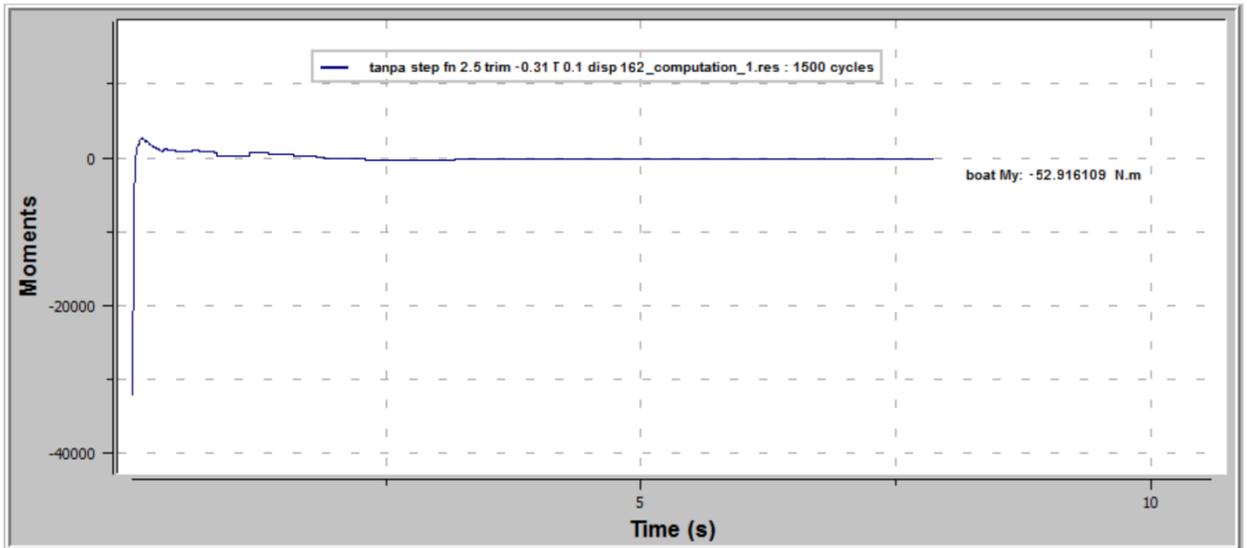


11. Kecepatan $F_n=2,5$

A. Sudut Trim $-0,2974$



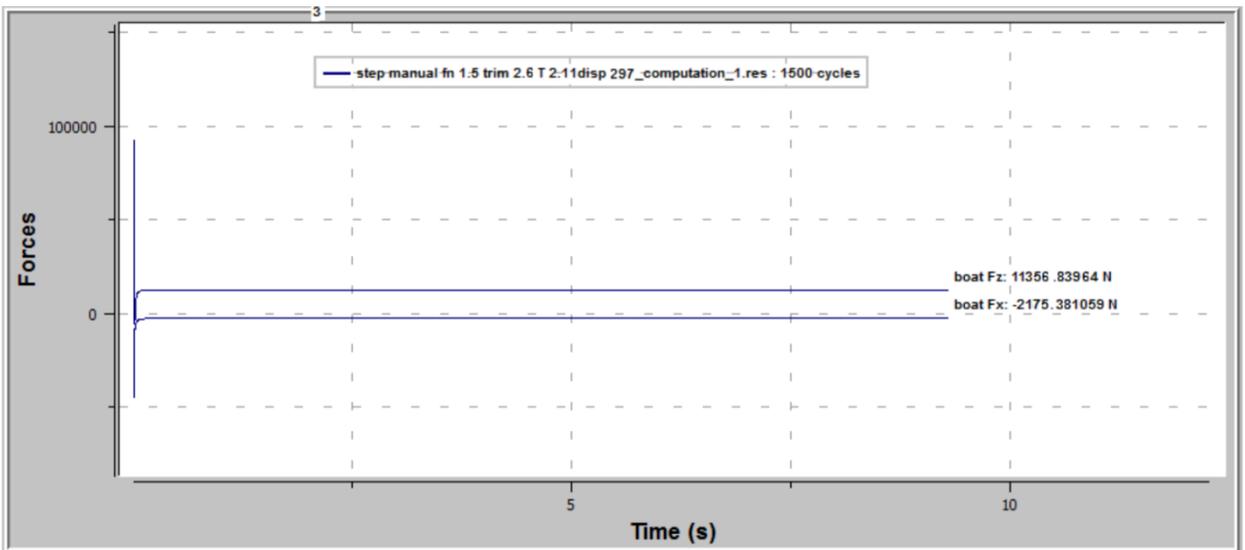
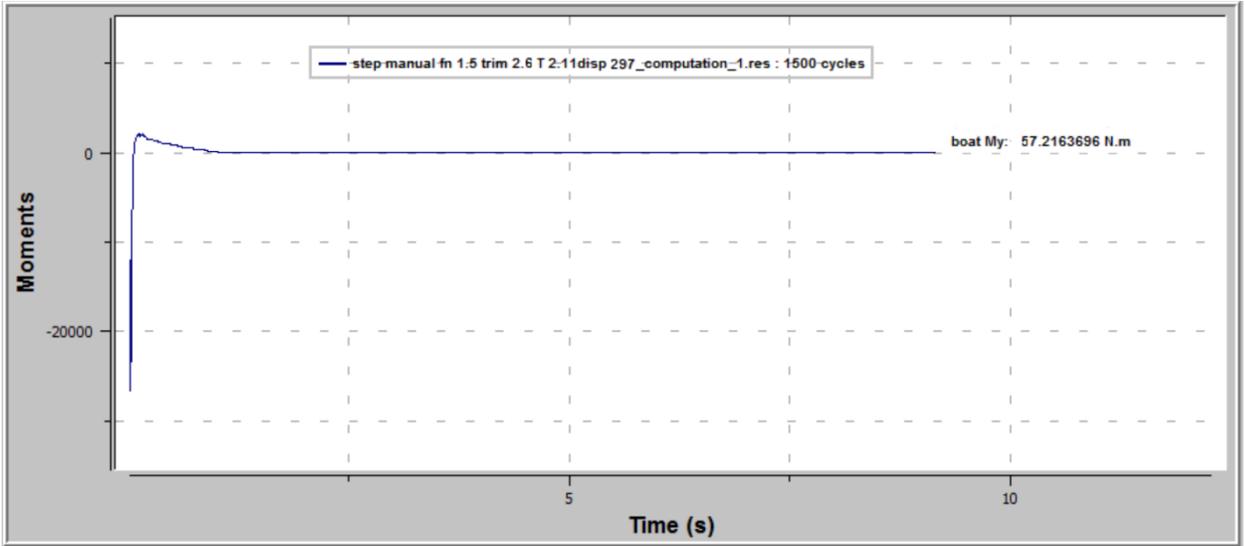
B. Sudut Trim -0,3159



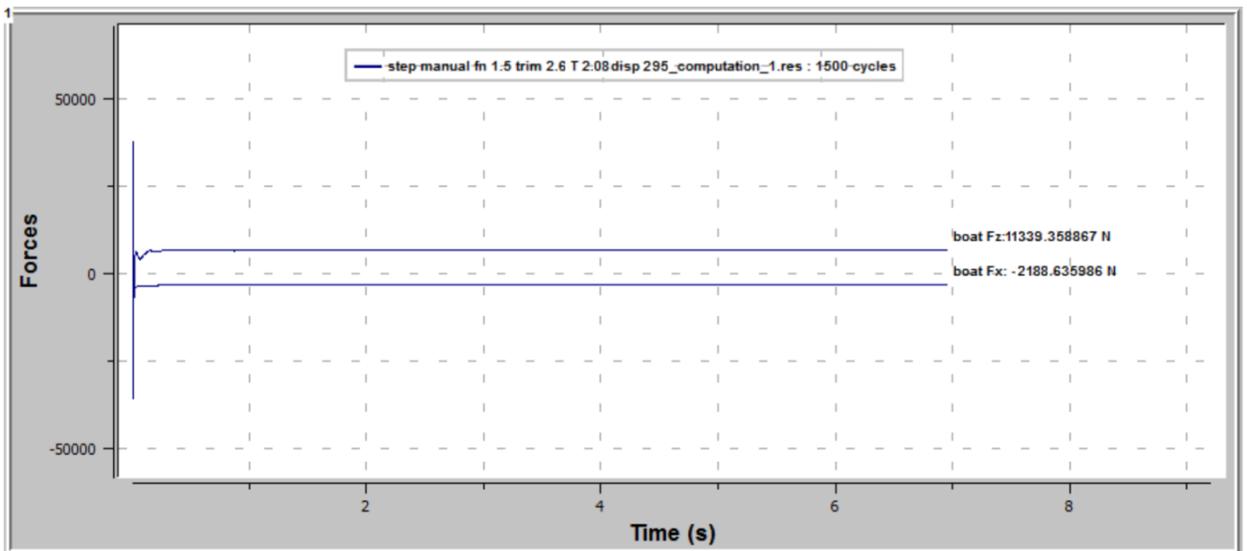
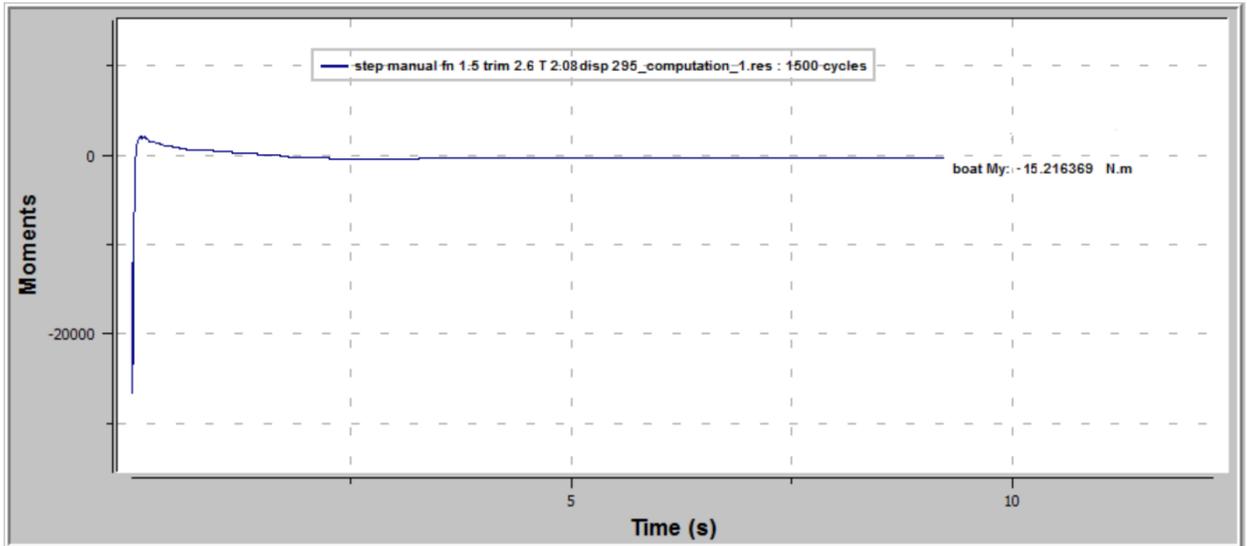
LAMPIRAN F
GRAFIK GAYA MOMEN KAPAL DENGAN TRANSVERSE STEP

1. Kecepatan $F_n=1,5$

A. Sudut Trim 2,628

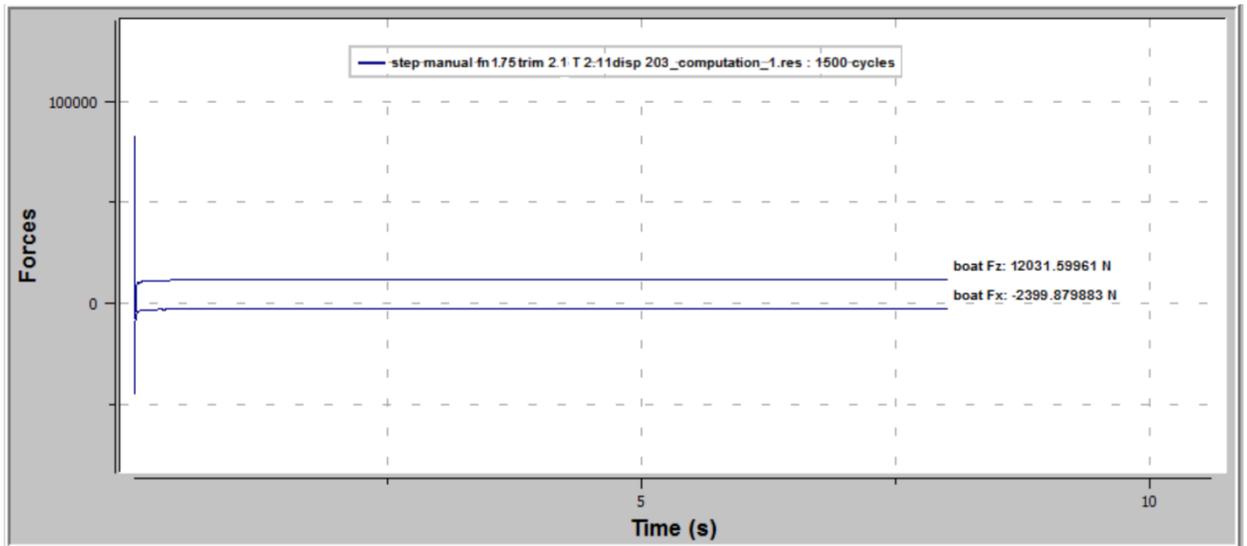
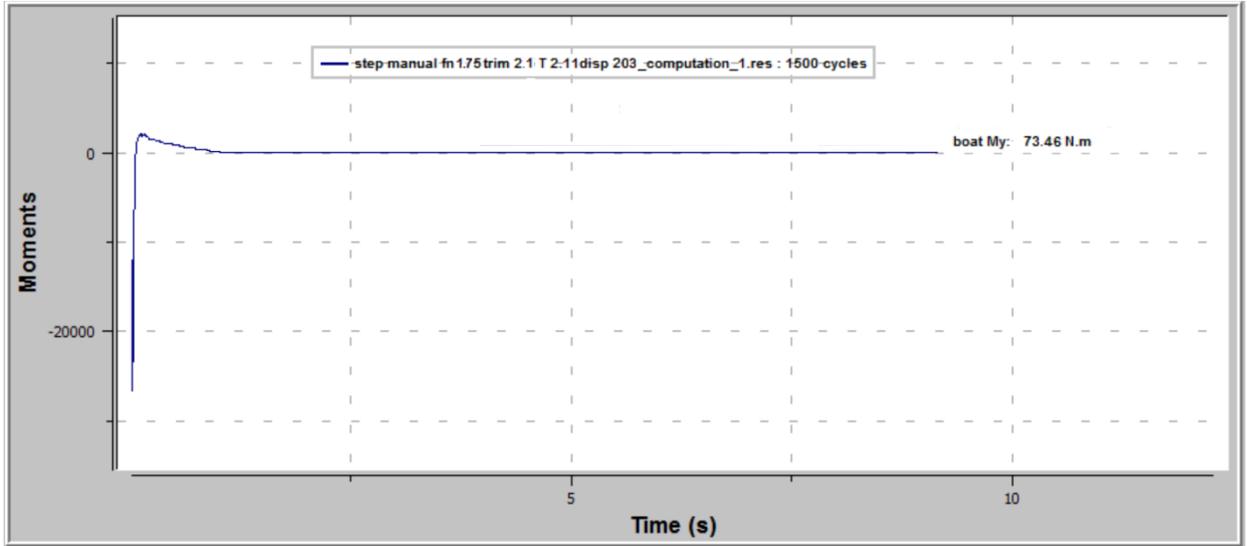


B. Sudut Trim 2,604

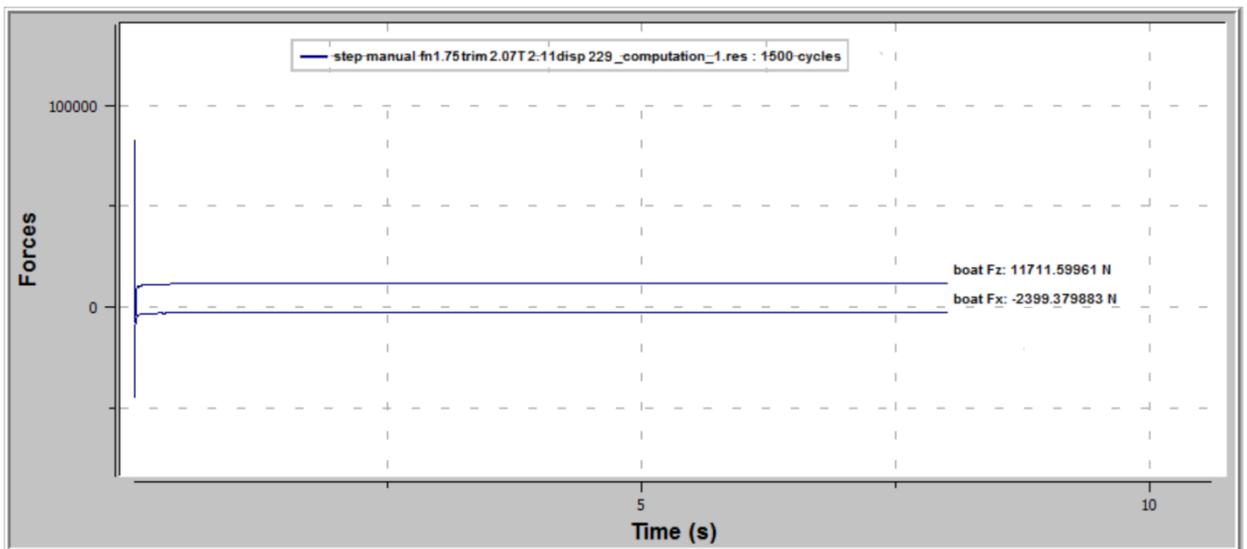
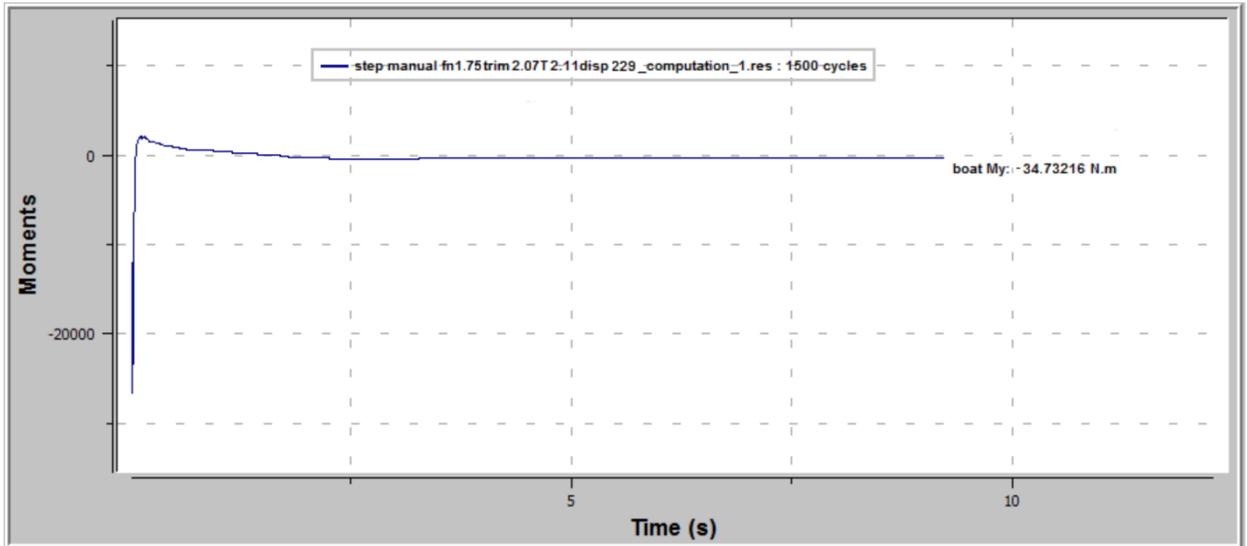


2. Kecepatan $F_n=1,75$

A. Sudut Trim 2,107

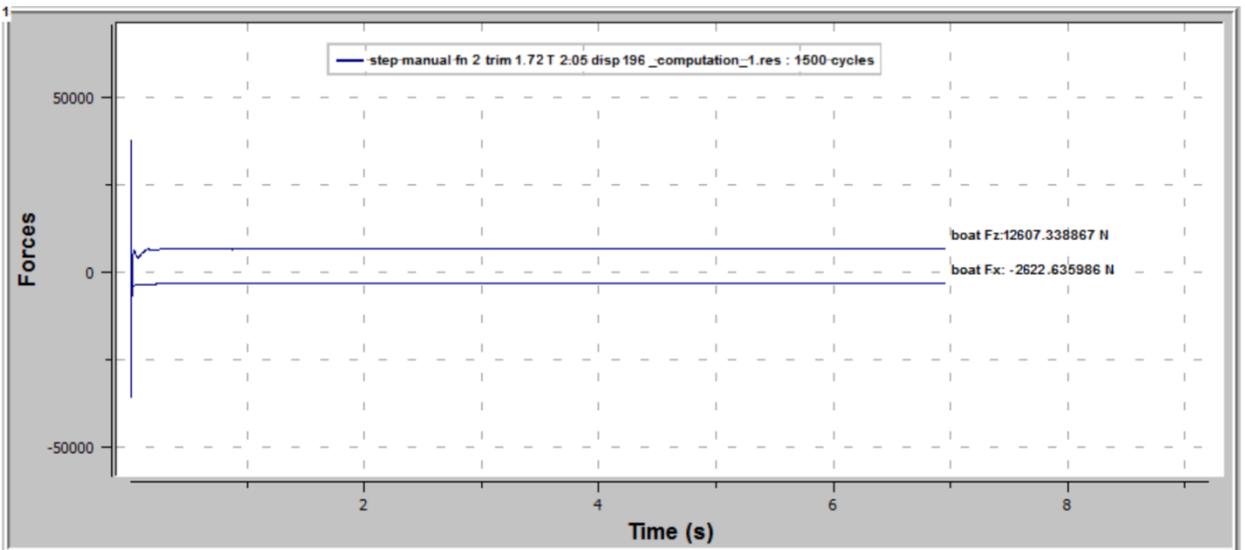
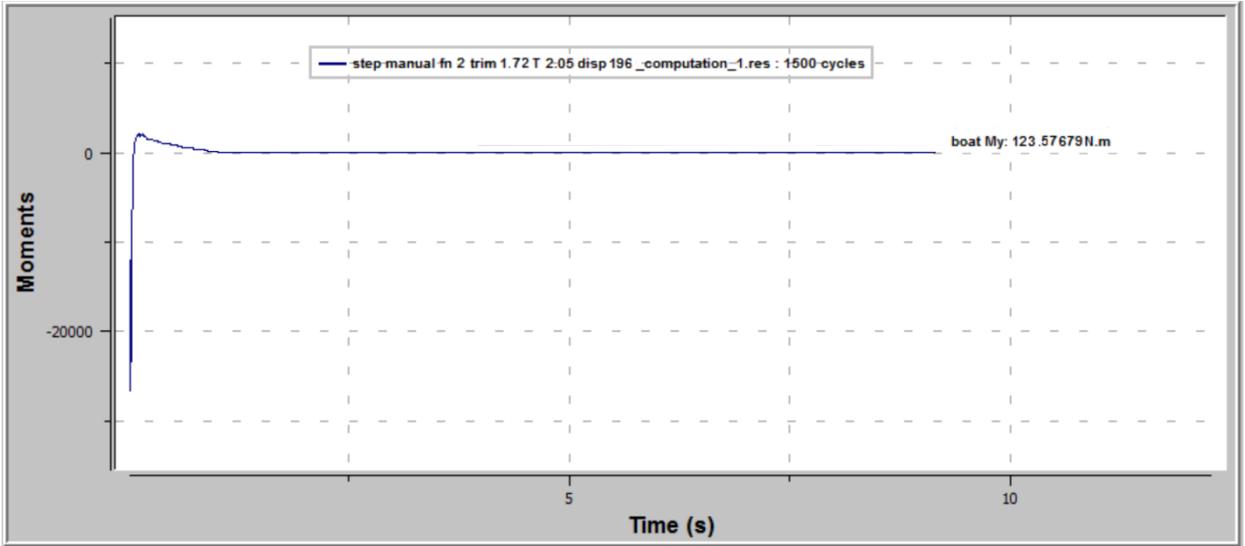


B. Sudut Trim 2,079

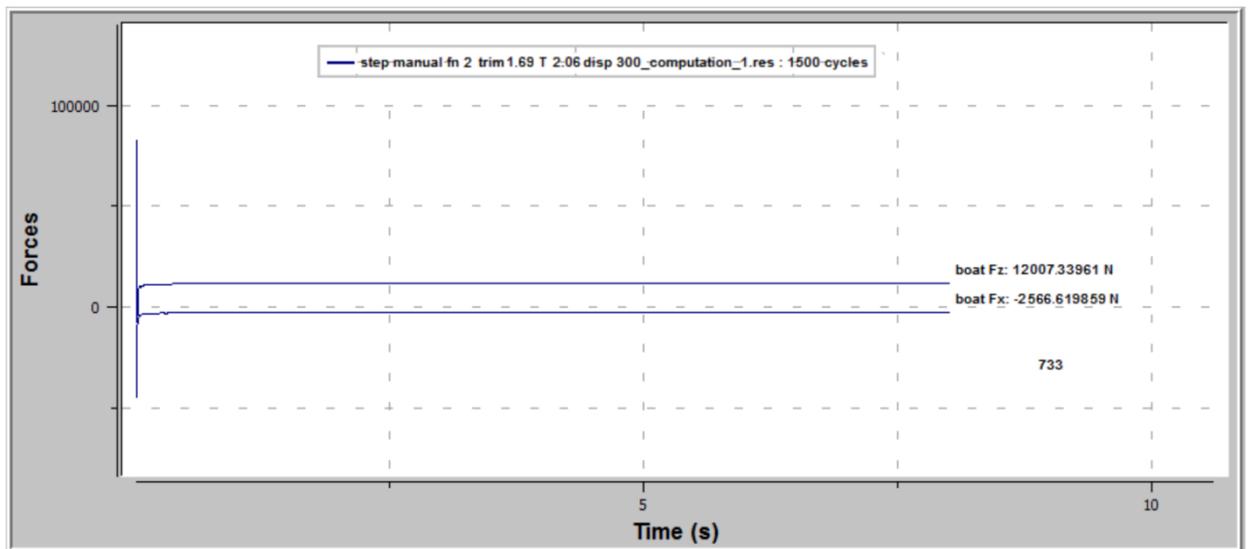
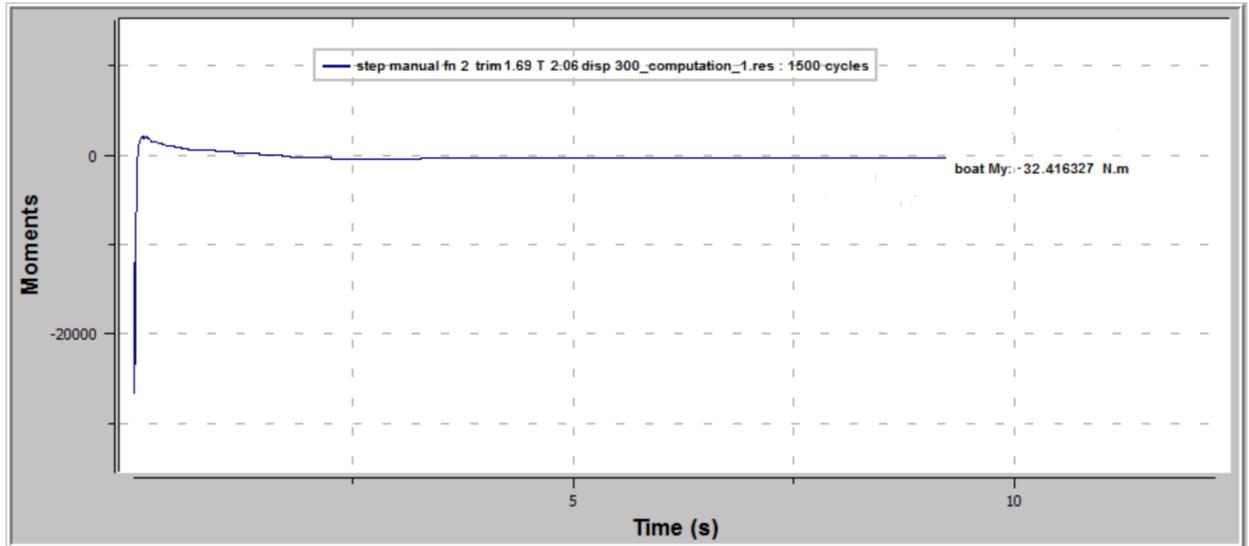


3. Kecepatan Fn=2

A. Sudut Trim 1,723

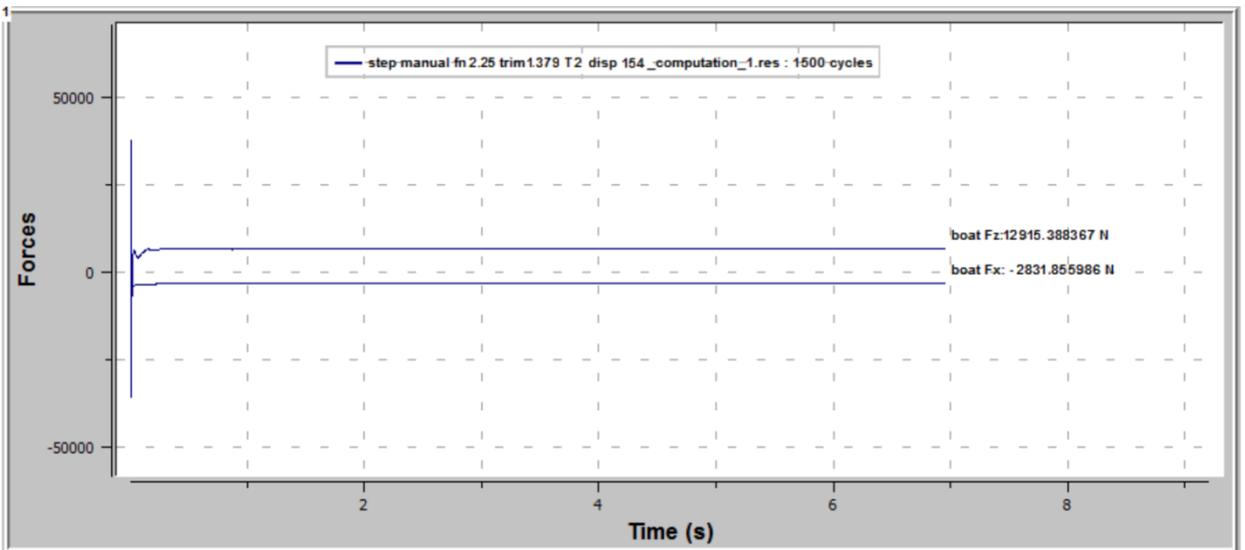
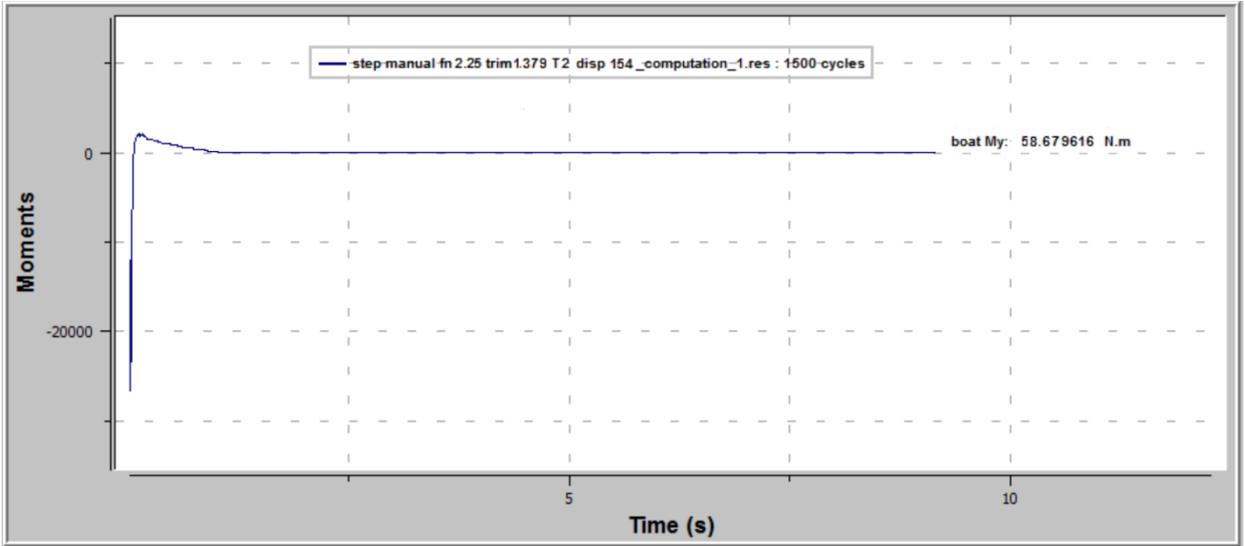


B. Sudut Trim 1,692

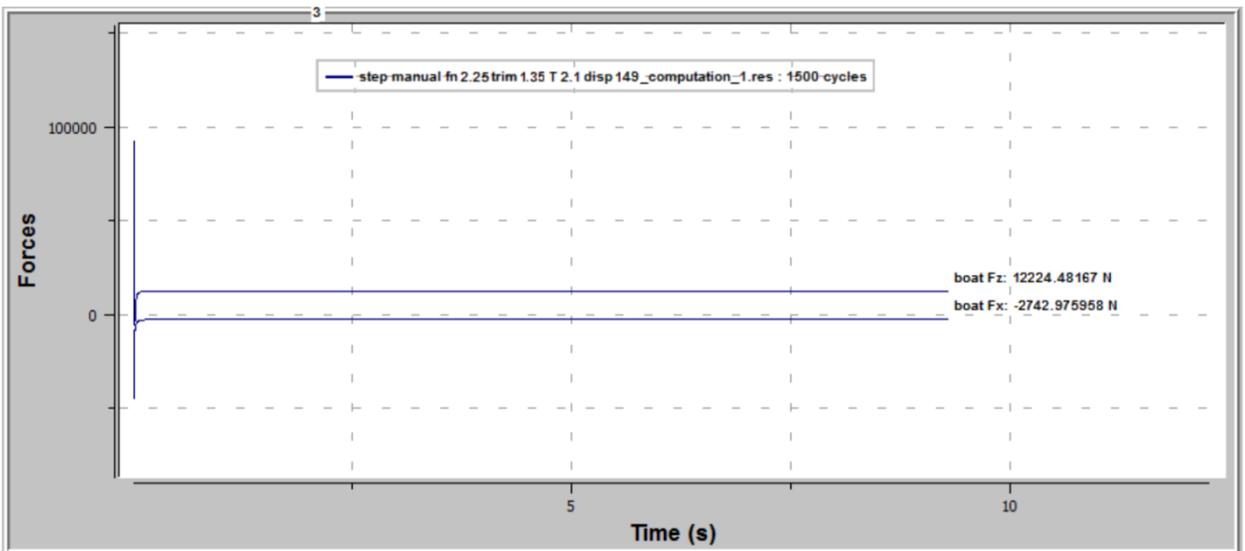
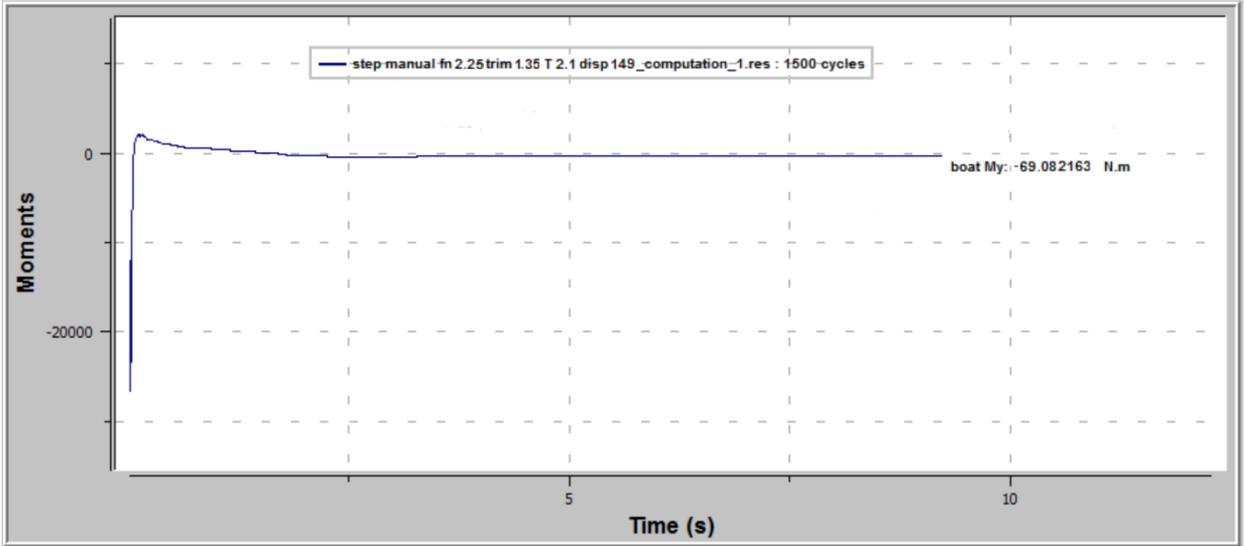


4. Kecepatan $F_n=2,25$

A. Sudut Trim 1,379

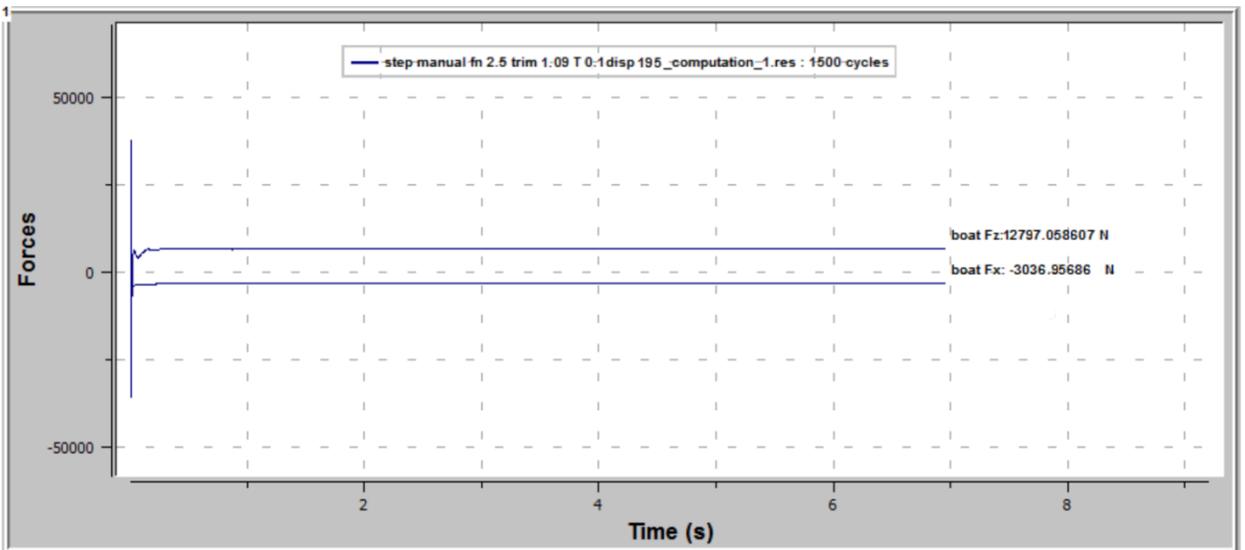
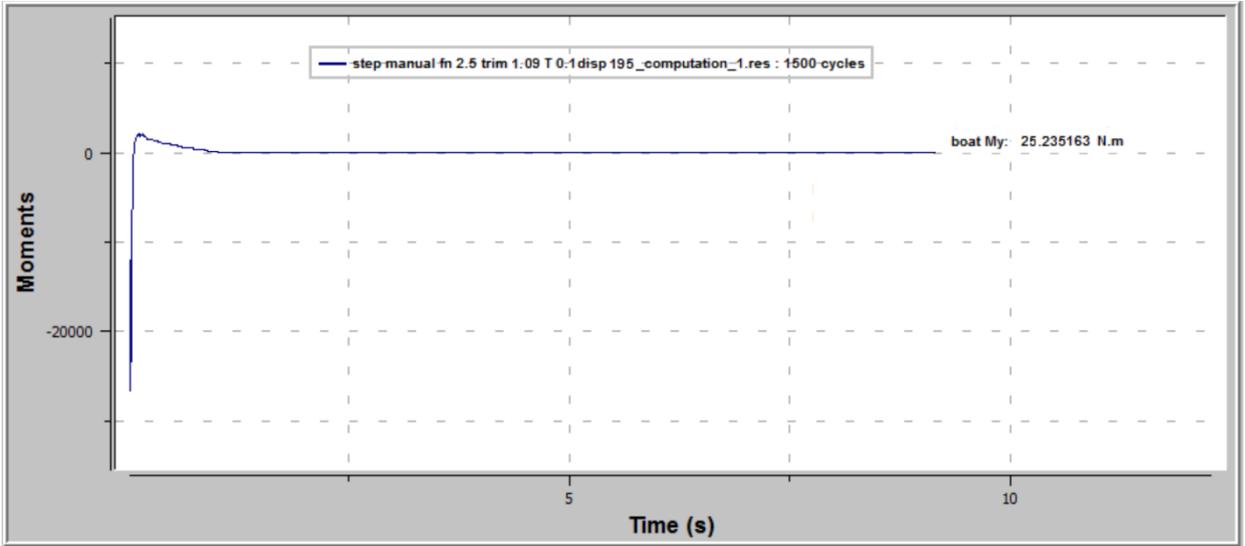


B. Sudut Trim 1,357



5. Kecepatan $F_n=2,5$

A. Sudut Trim 1,095



B. Sudut Trim 1,085

