



TUGAS AKHIR - ME184834

# ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN POSISI FOIL HYDROPLANE KAPAL SELAM 65 METER TERHADAP MOMENT DAN FORCE DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

IDA BAGUS KOMANG KRISNADEWANTA  
NRP 0421164000042

Dosen Pembimbing  
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT  
Achmad Baidowi, S.T., M.T

Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

2020





**TUGAS AKHIR**

**ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN POSISI  
*FOIL HYDROPLANE* KAPAL SELAM 65 METER  
TERHADAP *MOMENT* DAN *FORCE* DENGAN METODE  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)***

Ida Bagus Komang Krisnadewanta  
NRP 0421164000042

Dosen Pembimbing

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

Achmad Baidowi, S.T., M.T

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

**2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**FINAL PROJECT**

**ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF FORM AND POSITION OF HYDROPLANE OF 65 METERS SUBMARINE ON THE MOMENT AND FORCE WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) METHOD**

Ida Bagus Komang Krisnadewanta  
NRP 042116400000

Supervisors

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT

Achmad Baidowi, S.T., M.T.

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING  
FAKULTAS MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN POSISI FOIL HYDROPLANE KAPAL SELAM 65 METER TERHADAP MOMENT DAN HYDRO FORCE DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS $\rightarrow$ (CFD)

## SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik  
pada:

Bidang studi Marine Manufacturing and Design (MMD)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun oleh :

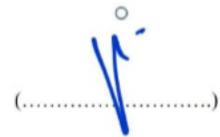
**IDA BAGUS KOMANG KRISNADEWANTA**

04211640000042

Mengetahui/menyetujui

Dosen Pembimbing

1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT  
NIP. 1969 1225 1997 02 1001



2. Achmad Baidowi S.T., M.T  
NIP



Surabaya, Juli 2020

VII

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN POSISI FOIL  
HYDROPLANE KAPAL SELAM 65 METER TERHADAP MOMENT  
DAN FORCE DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID  
DYNAMICS (CFD)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design (MMD)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:

**Ida Bagus Komang Krisnadewanta**

NRP. 0421164000042

Ditetapkan Oleh,

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



**Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D**

NIP. 197903192008011008

**SURABAYA**

**AGUSTUS, 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK DAN POSISI FOIL HYDROPLANE KAPAL SELAM 65 METER TERHADAP MOMENT DAN FORCE DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Nama Mahasiswa : Ida Bagus Komang Krisnadewanta  
NRP : 0421164000042  
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT  
Dosen Pembimbing 2 : Achmad Baidowi, S.T., M.T

## ABSTRAK

Pengembangan dan penelitian pada sektor maritim khususnya pada moda transportasi laut banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan pada kapal selam, khususnya pada kemampuan penyelaman atau *diving* dan *manouvering* kapal tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari bentuk dan posisi dari *foil hydroplane* terhadap gaya atau *force* dan *moment* yang terjadi pada suatu lambung kapal selam yang nantinya dapat mempengaruhi kemampuan dari penyelaman atau *diving* dan kemampuan *maneuvering*. Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* atau CFD dengan bantuan *software* C-Wizard, Numeca Fine Marine 8.1 pada masing-masing kapal dengan rentang kecepatan 3 knor – 5 knot berdasarkan *speed average* dalam melakukan *diving* dengan variasi 6 model yang berbeda. Penelitian ini diharapkan mengetahui bentuk maupun posisi yang terbaik dari *hydroplane* yang digunakan pada kapal selam. Hasil yang didapatkan dari simulasi yang menggunakan C-Wizard pada Numeca Fine Marine 8.1 adalah untuk nilai rata-rata tiap model, didapatkan nilai Fz terbesar adalah model 2 sebesar 20436,8N; Fy terbesar adalah model 5 sebesar 375752 N; Fz terbesar adalah model 1 sebesar 45818,6 N. Dalam gaya penunjang gerak *diving* didapatkan koefisien dari surge terbesar adalah model 6 yaitu 0,001939133 dan koefisien dari heave terbesar adalah model 2 yaitu 0,006670829 dan nilai rata-rata dari tiap model, didapatkan Mx terbesar adalah model 5 sebesar 1385236 Nm; My terbesar adalah model 2 sebesar 444461 Nm; Mz terbesar adalah model 5 sebesar 3755531 Nm. Dalam momen penunjang gerak *diving* didapatkan koefisien dari pitch atau My terbesar adalah model 5 yaitu 0,001563317.

**Kata Kunci :** C-Wizard, Diving, Force, Hydroplane, Moment

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF FORM AND POSITION OF HYDROPLANE OF 65 METER SUBMARINE ON THE MOMENT AND FORCE WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICs (CFD) METHOD**

Nama Mahasiswa : Ida Bagus Komang Krisnadewanta  
NRP : 0421164000042  
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT  
Dosen Pembimbing 2 : Achmad Baidowi, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

Development and research in the maritime sector, especially in the sea transportation mode is mostly carried out. One of them is research conducted on submarines, especially on the ability to dive or dive and maneuvering the ship. This research was conducted to find out how the influence of the shape and position of the foil hydroplane on the force or force and moment that occurs in a submarine hull which can later affect the ability of diving or diving and maneuvering ability. This study uses the Computational Fluid Dynamics or CFD method with the help of C-Wizard software, Numeca Fine Marine 8.1 on each ship with a speed range of 3 knors - 5 knots based on speed averages in diving with a variation of 6 different models. This research is expected to find out the best shape and position of the hydroplane used on submarines. The results obtained from simulations using the C-Wizard on Numeca Fine Marine 8.1 are for the average value of each model, the largest Fz value obtained is model 2 of 20436.8N; The biggest Fy is model 5 with 375752 N; The biggest Fz is model 1 for 45818,6 N. In the diving motion support force, the coefficient of the biggest surge is model 6, which is 0,001939133 and the biggest heave coefficient is model 2, which is 0,006670829 and the average value of each model is obtained Mx the biggest is model 5 of 1385236 Nm; My biggest is model 2 of 444461 Nm; The biggest Mz is model 5 of 3755531 Nm. In moments supporting the motion of diving, the greatest coefficient of pitch or My is model 5, which is 0,001563317.

***Keywords : C-Wizard, Diving, Force, Hydroplane, Moment.***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Ida Sang Hyang Widhi Wasa atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan sebaik-baiknya sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada bidang Marine Manufacturing and Design, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penyelesaian dan penyusunan tugas akhir pada masa pandemi ini banyak mengalami rintangan dan hambatan yang penulis hadapi. Tetapi, rintangan dan hambatan tersebut dapat dilalui berkat karunia Ida Sang Hyang Widhi Wasa dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis hednak menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan selama perkuliahan hingga pengambilan dan penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Irfan Syeried, S.T.,M.T selaku dosen kepala Laboratorium *Marine Manufacturing and Design*.
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.,M.Mt dan Bapak Achmad Baidowi S.T.,M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberi bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini
4. Seluruh jajaran dosen dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Narasumber dan teman-teman Laboratorium *Marine Manufacturing and Design* yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Ni Putu Bintang Indri Maharani yang selalu memberikan doa dan dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumber untuk mendorong penelitian-penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2020

Ida Bagus Komang Krisnadewanta

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
DAFTAR ISI .....	XVII
DAFTAR GAMBAR .....	XXI
DAFTAR TABEL .....	XXV
BAB I PENDAHULUAN .....	27
1.1. Latar Belakang.....	27
1.2. Rumusan Masalah.....	28
1.3. Tujuan Penelitian.....	29
1.4. Batasan Masalah .....	29
1.5. Manfaat Penelitian.....	29
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	31
2.1. State of Art.....	31
2.1.1 <i>Experimental and Numerical Study of a Generic Conventional Submarine at 100 yaw</i> .....	31
2.1.2 Analisis <i>Drag</i> dan <i>Lift</i> pada Variasi Bentuk <i>After Body</i> Kapal Selam Mini dengan Metode CFD.....	31
2.1.3 <i>Experimental Study on Hydrodynamic Coefficients for High-Incidence-Angle Maneuver of a Submarine</i> .....	32
2.2. Kapal Selam.....	32
2.2.1 Pengertian Kapal Selam .....	32
2.2.2 Prinsip Dasar Operasi Kapal Selam .....	33
2.3. Dinamika dan Stabilitas Kapal .....	36
2.4. Performa Sistem Kendali Manuver Kapal Selam.....	38
2.5. <i>Hydroplane</i> pada Kapal Selam .....	40
2.5.1 Pengertian <i>Hydroplane</i> .....	40
2.5.2 Aplikasi <i>Hydroplane</i> .....	41
2.6. <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	45
3.1 Alur Penelitian .....	45

3.2	Studi Literatur.....	46
3.3	Pengumpulan Data.....	46
3.4	Pembuatan Model.....	49
3.5	Simulasi Model.....	50
3.6	Perbandingan Hasil Simulasi.....	57
3.7	Kesimpulan.....	58
BAB IV ANALISA DATA.....		59
4.1.	Desain Model Kapal Selam .....	59
4.1.1	Pembuatan lambung atau <i>hull</i> kapal selam. ....	59
4.1.2	Pembuatan kemudi atau <i>rudder</i> kapal selam.....	60
4.1.3	Pembuatan <i>hydroplane</i> kapal selam.....	61
4.2.	Simulasi Model Kapal Selam .....	63
4.3.	Hasil Simulasi Model .....	72
4.3.1	Hasil Simulasi pada Kecepatan 3 Knot.....	72
4.3.2	Hasil Simulasi pada Kecepatan 4 Knot.....	73
4.3.3	Hasil Simulasi pada Kecepatan 5 Knot.....	74
4.4.	Analisa Hasil Simulasi Tiap Model.....	77
4.4.1	Analisa Hasil $F_x$ .....	77
4.4.2	Analisa Hasil $F_y$ .....	78
4.4.3	Analisa Hasil $F_z$ .....	79
4.4.4	Analisa Hasil $M_x$ .....	80
4.4.5	Analisa Hasil $M_y$ .....	81
4.4.6	Analisa Hasil $M_z$ .....	82
4.5	Analisa Hasil Simulasi pada Koefisien Gerak <i>Diving</i> .....	82
4.5.1	Analisa Koefisien pada $F_x$ atau <i>Surge</i> .....	83
4.5.2	Analisa Koefisien pada $F_z$ atau <i>Heave</i> .....	85
4.5.3	Analisa Koefisien pada $M_y$ atau <i>Pitch</i> .....	87
4.6	Hasil $C_f$ View pada Lambung Kapal Selam.....	90
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	91

DAFTAR PUSTAKA .....	93
LAMPIRAN .....	94
BIODATA PENULIS .....	136

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk Kapal Selam Soryu Class dan Oyashio Class .....	32
Gambar 2. 2 Pergerakan Kapal Menyelam dan Muncul ke Permukaan .....	34
Gambar 2. 3 Tangki, Ballast Utama dan Penyeimbang pada Kapal Selam .....	35
Gambar 2. 4 Tangki Minyak Diesel dan Negatif pada Kapal Selam.....	36
Gambar 2. 5 Six Degree of Freedom (DOF) Pada Kapal Selam.....	36
Gambar 2. 6 Kerangka Referenensi ECRF dan GRF.....	38
Gambar 2. 7 Tingkat Stabilitas Gerak Manuver Kapal ( <b>Sumber:</b> Martin Renilson,2018) .....	39
Gambar 2. 8 Kurva Respon dan Aspek Respon Transien .....	40
Gambar 2. 9 Gambar Kapal Selam dengan Perbedaan Panjang/Diameter Ratio	41
Gambar 3. 1 Alur Penelitian atau Flowchart.....	46
Gambar 3. 2 Gambar Kapal Selam Secara 2 Dimensi .....	50
Gambar 3. 3 Gambar Kapal Selam Secara 3 Dimensi .....	50
Gambar 3. 4 Interface Awal Fine marine .....	52
Gambar 3. 5 Interface Awal C-Wizard Fine Marine 8.1.....	53
Gambar 3. 6 Pengaturan pada Body Configuration .....	53
Gambar 3. 7 Pengaturan Pada Flow Definition.....	54
Gambar 3. 8 Setting pada Additional Input.....	54
Gambar 3. 9 Pengaturan pada Set Mesh-Up .....	55
Gambar 3. 10 Pengaturan Parameter.....	55
Gambar 3. 11 Simulasi CFD .....	56
Gambar 4. 1 Lambung Kapal Selam Tampak Atas.....	59
Gambar 4. 2 Lambung Kapal Selam Tampak Samping.....	60
Gambar 4. 3 Kemudi atau Rudder Atas .....	60
Gambar 4. 4 Kemudi atau Rudder Kanan dan Kiri .....	61
Gambar 4. 5 Kemudi atau Rudder Bawah.....	61
Gambar 4. 6 Hydroplane Asli Kapal Selam .....	62
Gambar 4. 7 Hydroplane Asli Kapal Selam .....	62

Gambar 4. 8 Pengecekan Model.....	63
Gambar 4. 9 Hasil Pengecekan “Clean” .....	64
Gambar 4. 10 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Posisi Real.....	65
Gambar 4. 11 Hasil Meshing Hydroplane Asli Posisi Real .....	65
Gambar 4. 13 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Diatas Posisi Real .....	66
Gambar 4. 12 Hasil Meshing Hydroplane Asli Diatas Posisi Real .....	66
Gambar 4. 14 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Dibawah Posisi Real .	67
Gambar 4. 15 Hasil Meshing Hydroplane Asli Dibawah Posisi Real.....	67
Gambar 4. 16 Hasil Meshing Hydroplane Variasi 0 <sup>0</sup> .....	68
Gambar 4. 17 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Variasi 0 <sup>0</sup> .....	68
Gambar 4. 18 Hasil Meshing Hydroplane Variasi 5 <sup>0</sup> .....	69
Gambar 4. 19 Hasil Meshing Hydroplane Variasi 5 <sup>0</sup> .....	69
Gambar 4. 20 Hasil Meshing Hydroplane Variasi 7 <sup>0</sup> .....	70
Gambar 4. 21 Jumlah Initial Mesh hydroplane Variasi 7 <sup>0</sup> .....	70
Gambar 4. 22 Pengecekan Mesh Quality untuk Concave Cells.....	71
Gambar 4. 23 Pengecekan Mesh Quality untuk Negative Cells .....	71
Gambar 4. 24 Pengecekan Mesh Quality untuk Concave Cells.....	71
Gambar 4. 25 Pengecekan Mesh Quality untuk Negative Cells .....	72
Gambar 4. 26 Gerak Rotasi Rolling pada Kapal .....	76
Gambar 4. 27 Gerak Rotasi Pitching pada Kapal.....	76
Gambar 4. 28 Gerak Rotasi Yawing pada Kapal .....	77
Gambar 4. 29 Grafik Rata-Rata Nilai Fx Tiap Model.....	77
Gambar 4. 30 Grafik Rata-Rata Nilai Fy Tiap Model.....	78
Gambar 4. 31 Grafik Rata-Rata Nilai Fz Tiap Model.....	79
Gambar 4. 32 Grafik Rata-Rata Nilai Mx Tiap Model .....	80
Gambar 4. 33 Grafik Rata-Rata Nilai My Tiap Model .....	81
Gambar 4. 34 Grafik Rata-Rata Nilai Mz Tiap Model .....	82
Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Fx Tiap Model.....	83
Gambar 4. 36 Tabel Normalisasi Variabel Force.....	84
Gambar 4. 37 Grafik Koefisien Surge atau Fx .....	85
Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan Fz Tiap Model.....	85

Gambar 4. 39 Grafik Koefisien Heave atau $F_z$ .....	87
Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan $M_y$ Tiap Model .....	87
Gambar 4. 41 Tabel Normalisasi Variabel Moment .....	88
Gambar 4. 42 Grafik Koefisien Pitch atau $M_y$ .....	89
Gambar 4. 44 Gambar Aliran pada Rudder Kapal Selam .....	90
Gambar 4. 43 Gambar Aliran pada Hydroplane Kapal Selam .....	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Notasi SNAME .....	37
Tabel 3. 1 Ukuran Utama Lambung Kapal Selam .....	47
Tabel 3. 2 Ukuran Utama Hydroplane Asli.....	47
Tabel 3. 3 Ukuran Utama Hydroplane Variasi .....	48
Tabel 3. 4 Ukuran Utama Rudder Atas .....	48
Tabel 3. 5 Ukuran Utama Rudder Bawah .....	48
Tabel 3. 6 Ukuran Utama Rudder Kiri dan Kanan.....	49
Tabel 3. 7 Jumlah Simulasi Foil Hydroplane Asli .....	57
Tabel 3. 8 Jumlah Simulasi Foil Hydroplane Variasi .....	57
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Gaya atau Force pada Kecepatan 3 Knot.....	73
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Moment pada Kecepatan 3 Knot .....	73
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Gaya atau Force pada Kecepatan 4 Knot.....	74
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Moment pada Kecepatan 4 Knot .....	74
Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Gaya atau Force pada Kecepatan 5 Knot.....	74
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Moment pada Kecepatan 5 Knot .....	75
Tabel 4. 7 Tabel Koefisien Surge Tiap Model.....	85
Tabel 4. 8 Tabel Koefisien Heave Tiap Model .....	87
Tabel 4. 9 Tabel Koefisien Pitch Tiap Model.....	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Negara Indonesia merupakan salah satu Negara maritime terbesar di dunia, hal ini dikarenakan Indonesia memiliki kekuasaan laut yang lebih besar daripada daratannya. Luasnya kekuasaan laut yang dimiliki, pemerintah ingin menjadikan Indonesia sebagai poros maritime dunia. Hal ini menyebabkan perkembangan sistem dan sarana transportasi laut berkembang sangat signifikan. Perkembangan transportasi terjadi pada semua sector, baik perkembangan dalam transportasi untuk angkutan penumpang, barang, kapal ikan dan juga transportasi Angkatan Laut.

Perkembangan transportasi laut dalam bidang militer berkembang signifikan, terutama perkembangan tentang kapal selam atau sub-marine yang merupakan salah satu moda transportasi militer yang sangat penting untuk digunakan untuk pertahanan wilayah teritorial laut. Studi dan penelitian sudah banyak dilakukan untuk perkembangan kapal selam atau sub-marine terutama pengembangan pada kemampuan maneuvering dari kapal selam. Kemampuan maneuvering pada kapal selam sangat dibutuhkan, karena semakin cepat kapal selam tersebut melakukan manuver maka kualitas dari kapal selam tersebut akan semakin baik.

Peningkatan kemampuan maneuvering pada kapal selam dapat dilakukan dengan melakukan inovasi atau pengembangan terhadap hydroplane yang sudah ada. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan adalah dengan memvariasi letak atau posisi dari foil hydroplane, hal ini agar mengetahui posisi foil hydroplane yang terbaik untuk sebuah bentuk lambung kapal selam. Peletakan posisi hydroplane yang berbeda ini akan mengetahui masing-masing momen yang terjadi yang nantinya akan mengetahui hydro force serta waktu yang dibutuhkan untuk sebuah bentuk lambung kapal selam melakukan gerak manuver dalam waktu tertentu. Selain itu, pengembangan yang dapat dilakukan adalah pada sistem mekanik yang sudah ada pada kapal selam. Hal ini dapat dilakukan karena perubahan posisi dari hydroplane akan menghasilkan hydro force yang berbeda, sehingga kemampuan dari sistem mekanik yang bekerja juga akan berubah. Variasi peletakan foil hydroplane

juga dapat mempengaruhi flow atau aliran yang terjadi terhadap lambung dari kapal selam, sehingga dari dua data yang didapatkan yaitu dari kondisi flow atau aliran pada lambung dan hydroforce yang akan terjadi, maka dapat diketahui posisi terbaik untuk meletakkan posisi dari foil hydroplane untuk meningkatkan kemampuan maneuvering dari kapal selam.

Variasi peletakan atau posisi hydroplane pada kapal selam menggunakan modeling dari kapal selam yang sudah ada dan akan melalui metode Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mengetahui berapa besar hydro force yang bekerja pada tiap variasi posisi yang nantinya dapat digunakan untuk menganalisa tentang pengembangan sistem mekanik yang bekerja pada hydroplane.

Namun belum ada studi maupun atau penelitian yang membahas tentang variasi posisi pada hydroplane maupun pengembangan atau modifikasi sistem mekanik pada kapal selam. Oleh karena itu penelitian tentang pengembangan design sistem mekanik pada kapal selam akan dilakukan untuk mengetahui posisi terbaik dari hydroplane untuk sebuah bentuk lambung kapal selam serta sistem mekanik yang bekerja untuk hydroplane. Seiring berkembangnya zaman semakin pesat pula perkembangan teknologi yang digunakan manusia untuk membantu berbagai aspek kehidupan. Hingga pada era Revolusi 4.0 ini berbagai sistem mengalami perkembangan guna meningkatkan efektifitas serta efisiensi dalam berbagai aspek. Perkembangan teknologi tersebut terjadi diberbagai sektor seperti industri, ekonomi dan berbagai sektor lainnya. Salah satu sektor yang terus mengalami perkembangan teknologi adalah pada sektor maritim.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam perancangan desain sistem kendali heading dan diving kapal selam ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi posisi dan bentuk foil terhadap *force* pada lambung kapal selam ?
2. Bagaimana pengaruh variasi posisi dan bentuk *foil hydroplane* terhadap *moment* pada lambung kapal selam ?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan penelitian pada desain sistem kendali heading dan diving kapal selam sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi posisi dan bentuk *foil hydroplane* pada kapal selam terhadap *force* yang terjadi pada lambung kapal selam
2. Mengetahui pengaruh variasi posisi dan bentuk *foil hydroplane* pada kapal selam terhadap *moment* yang terjadi pada lambung kapal selam.

### 1.4. Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah pada penelitian ini:

1. Pada pengerjaan penelitian ini ukuran utama dari lambung kapal selam yang digunakan adalah ukuran lambung yang sudah ada
2. Pada pengerjaan penelitian ini ukuran dari *foil hydroplane* yang digunakan adalah ukuran *hydroplane* yang sudah ada
3. Pada pengerjaan penelitian ini menggunakan 2 tipe *foil hydroplane*, yaitu bentuk *hydroplane* yang sudah tersedia dan bentuk variasi *foil hydroplane* berdasarkan *foil rudder* belakang
4. Pada pengerjaan penelitian ini ukuran utama dari *rudder* dari kapal selam yang digunakan adalah ukuran *rudder* yang sudah ada
5. Pada penelitian ini mempunyai batasan variasi kecepatan untuk penelitian adalah 3, 4 dan 5 knot
6. Pada pengerjaan penelitian untuk bentuk *foil hydroplane* asli memiliki batasan 3 variasi posisi, yaitu posisi awal, posisi diletakkan diatas dari posisi awal dan posisi diletakkan dibawah dari posisi awal *hydroplane* asli
7. Pada pengerjaan penelitian ini untuk bentuk *foil hydroplane* variasi memiliki 3 batasan sudut, yaitu  $0^0$ ,  $5^0$  dan  $10^0$
8. Pada penelitian ini tidak membahas secara luas dan khusus mengenai material *foil hydroplane* yang digunakan.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil pengerjaan penelitian ini adalah memberikan pengetahuan baru mengenai pengaruh variasi posisi dan variasi

bentuk pada *foil hydroplane* kapal selam terhadap *flow* atau aliran dan *hydro force* yang nantinya, bila memungkinkan dapat diterapkan untuk perkembangan dalam sektor perkapalan sebagai inovasi kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. State of Art**

Bagian ini akan membahas tentang penelitian-penelitian yang dapat dijadikan sebagai latar belakang serta menjadi literatur pada penelitian ini.

##### ***2.1.1 Experimental and Numerical Study of a Generic Conventional Submarine at 100 yaw***

Pada penelitian ini membahas tentang flow aliran yang ditambahkan pada generic sub-marine pada saat kondisi normal atau lurus dan pada saat kemiringan 100. Penelitian ini menggunakan computational Reynolds Averages Navier Stokes (RANS) dan Large Eddy Simulation (LES) yang sudah dilakukan untuk kepada model untuk perbandingan dari kedua hasil computational tersebut. Pada penelitian ini, computational LES membuat meshing sebanyak 340 juta cells yang menampilkan surface secara detail dan data aliran pada bodi kapal selam. Dengan metode dan kondisi kapal selam awal, didapatkan nilai Reynold Number ( $Re$ ) =  $4.5 \times 10^6$ , dan pada saat bodi atau lambung kapal selam dalam kondisi 100 yaw maka nilai dari  $Re = 2.7 \times 10^6$ . Analisa flow yang terjadi pada lambung kapal selam dilakukan pada 3 tempat, yaitu 65%, 84% dan 98% dari Panjang total bodi atau lambung kapal selam.

##### ***2.1.2 Analisis Drag dan Lift pada Variasi Bentuk After Body Kapal Selam Mini dengan Metode CFD***

Salah satu aspek yang perlu dikaji dalam mendesain kapal selam adalah aspek hidrodinamika yang berkaitan dengan kemampuan maneuver kapal selam. Penelitian ini diawali dengan melakukan perhitungan nilai drag (hambatan) dan lift (gaya angkat) pada tiga variasi bentuk after body kapal selam mini. Variasi pertama adalah sebagai desain awal yaitu rudder dan stern plane kapal selam mini tersusun saling tegak lurus atau dinamakan dengan susunan + Stern. Kemudian untuk variasi ke-dua dilakukan perubahan terhadap susunan rudder dan stern plane pada after body kapal selam mini susunan +Stern, yaitu rudder disusun saling menyilang sehingga menyerupai huruf X dan dinamakan susunan X-Stern. Selanjutnya untuk variasi ketiga, rudder bagian atas pada susunan X-Stern di ganti dengan rudder bagian atas pada susunan + Stern sehingga menyerupai huruf Y terbalik dan dinamakan susunan Y-Stern. Drag dan lift dihitung dengan cara numerik dengan menggunakan software ANSYS-CFX. Dari hasil

perhitungan CFD didapatkan bahwa kapal selam dengan after body susunan Y-Stern memiliki nilai drag dan lift terkecil.

### **2.1.3 *Experimental Study on Hydrodynamic Coefficients for High-Incidence-Angle Maneuver of a Submarine***

Pada penelitian ini membahas tentang kemampuan manuever dari sebuah kapal selam dengan kondisi sudut yang sangat besar untuk situasi emergency. Maka dari itu dibuatlah model hydrodynamics dengan menggunakan incidence flow angle yang besar untuk dapat memprediksi tentang kestabilan bodi kapal selam disaat melakukan hard turning. Pada penelitian ini model diuji coba oada towing tank dan wind tunnel, hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari hydrodynamic coefficient dari model tersebut, static test, dynamic test dan juga control surface test dari model kapal selam. Dalam pelaksanaan uji coba, terdapat dua nilai Reynolds Number yang berbeda, pada saat uji coba pada towing tank, nilai  $Re = 3.12 \times 10^6$  dan pada saat pengujian dilakukan pada wind tunnel nilai dari  $Re = 5.11 \times 10^6$ .

## **2.2. Kapal Selam**

### **2.2.1 Pengertian Kapal Selam**

Kapal selam atau *submarine* merupakan sebuah kapal atau wahana air yang beroperasi dibawah permukaan air yang dilengkapi dengan propulsi mandiri (Fossen, 2011). Kapal selam (*Submarine*) berbeda dengan wahana bawah air (*Underwater Vehicle*) meskipun keduanya dapat beroperasi dibawah permukaan air. Pada wahana bawah air biasanya berukuran lebih kecil serta lebih ditujukan untuk kebutuhan riset dan penelitian,serta kepentingan komersial. Sedangkan kapal selam lebih banyak digunakan untuk berbagai operasi militer



Gambar 2. 1 Bentuk Kapal Selam *Soryu Class* dan *Oyashio Class*

(Sumber : Hum3D,2018)

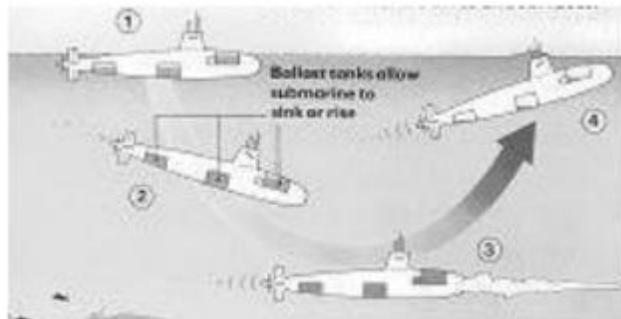
tertentu seperti pengintaian maupun penyerangan, Hal ini dikarenakan kapal selam memiliki kemampuan untuk melakukan penyerangan dan pengintaian tanpa terdeteksi oleh kapal permukaan.

Kapal selam biasanya berbentuk silindris dengan yang pada bagian tengah atau *midship* terletak sebuah struktur vertikal yang berisi peralatan navigasi seperti pasif sonar radar, Sensor *Accoustic Device Countermeasures* (ACDs), perisokop, dan berbagai peralatan navigasi lainnya. Pada bagian struktur vertikal juga dilengkapi dengan *hydroplane* atau bisa disebut juga *stern plane* yang berfungsi untuk mengatur kedalaman serta sudut selam (*diving rate*) pada kapal selam. Pada bagian belakang terdapat propeller sebagai penggerak serta *control surface* berupa *rudder* untuk mengatur sudut *heading* serta *hydroplane* untuk mengatur sudut *diving* atau selam. Pada bagian dalam kapal selam dapat dibagi menjadi beberapa ruang utama yaitu ruang mesin (*Engine Room*), ruang AIP (*Air Independent Propulsion*), ruang kontrol (*Control Room*), dan ruang awak kapal (*Living Quarter*) (Ong Li Koon, 2011).

### **2.2.2 Prinsip Dasar Operasi Kapal Selam**

Secara mudahnya kapal selam menyelam dan muncul ke permukaan laut dengan cara mengontrol masuk keluarnya air ke dalam tangki – tangki ballast hal ini diperlihatkan pada Gambar 1. Tangki – tangki yang digunakan untuk maksud ini adalah ciri khas dari kapal selam. Dimana pada kondisi 1 tangki ballast mulai terisi dengan air selanjutnya kapal selam akan menyelam dengan *hydroplane* mengarah ke bawah pada kondisi 2 sedangkan pada kondisi 3 kapal selam yang sudah beroperasi di dalam air dapat menembakkan torpedonya, untuk kembali ke permukaan tangki – tangki ballast diisi udara dan air dipompa keluar pada kondisi 4 ini *hydroplane* mengarah ke atas. Pada kapal selam modern jaman sekarang ada beberapa jenis tangki yang dipakai untuk membenamkan kapal selam dan mempertahankan kondisi trim saat menyelam. Kegunaan dari tangki – tangki ballast utama, tangki

tangki penyeimbang (compensating), tangki – tangki minyak diesel dan tangki – tangki kosong(negative) (Nugroho, 2007) .

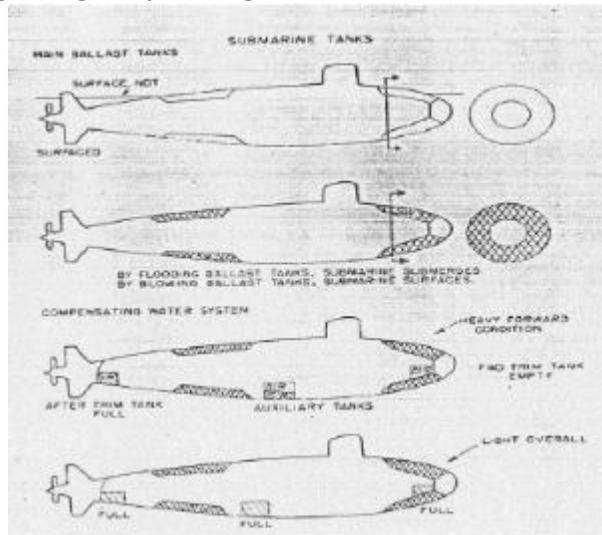


Gambar 2. 2 Pergerakan Kapal Menyelam dan Muncul ke Permukaan

(Sumber : Nugroho, 2007)

Tangki utama ballast yang membungkus – melingkar badan kapal selam dimana ditunjukkan pada Gambar 2.3 telah menjadi standar bagi semua kapal selam baru masa kini. Dibanding dengan tangki ballast yang dipakai pada masa lampau ( dimana meliputi sekitar 300 derajat dari badan bertekanan dan menyisakan daerah sekitar antara jam 10 sampai dengan jam 2 terbuka dibawah struktur dek bangunan atas) cara bungkus – melingkar mempunyai beberapa keunggulan antara lain: (1) memberikan cadangan daya apung lebih tanpa merubah ukuran badan kapal atau koefisiennya (2) memberikan peralihan struktur yang lebih baik dari struktur bertekanan badan kapal (3) mengurangi struktur yang menghasilkan kebisingan saat beroperasi (4) memperbaiki kemampuan kapal untuk menahan kerusakan dari perubahan kedalaman. Penyeimbangan dari berbagai berat dikapal dilakukan dengan mengatur muatan cairan pada tangki perubah: yakni tangki – tangki bantu dan tangki trim depan dan belakang. Tangki Bantu dibagi dua yaitu sebelah kiri dan kanan untuk mengatur kemiringan. Tangki trim dapat mempertahankan kapal dalam kondisi lunas rata depan dan belakang pada kondisi menyelam. Tangki – tangki perubah dapat digunakan secara sendiri atau berkelompok untuk membawa kapal ke kondisi daya apung netral saat menyelam. Tangki perubah berupa sejenis

kotak dimana bagian badan kapal yang bertekanan merupakan dinding sebagiannya. (Nugroho, 2007)

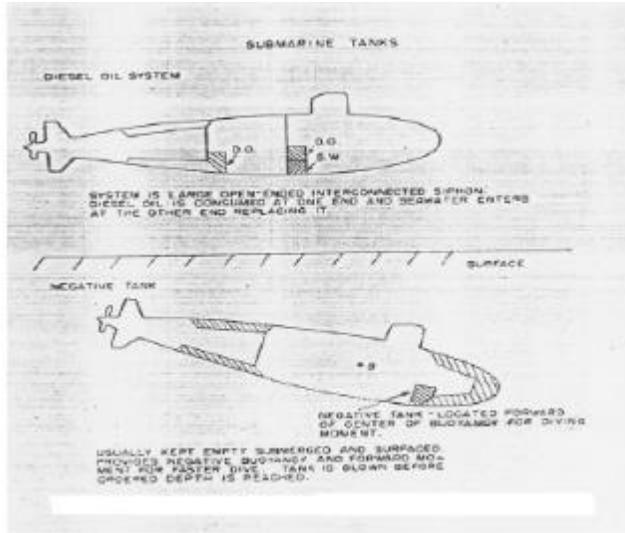


Gambar 2. 3 Tangki, Ballast Utama dan Penyeimbang pada Kapal Selam

(Sumber: Nugroho, 2007)

Tangki ini dirancang untuk mampu menahan tekanan penuh di dalam laut saat menyelam dengan kedalaman maksimum. Bahkan dengan kondisi operasi kedalaman saat ini jenis konstruksi dari tangki perubah memerlukan struktur lantai dan penguat memanjang yang berat dan lembar – lembar plat yang berukuran kecil. (Nugroho, 2007)

Tangki negatif merupakan metoda peninggalan kapal selam masa lalu, dimana dia digunakan untuk membantu menukik selam lebih cepat dan menerima aliran air masuk secara berkala saat melakukan snorkeling( persis dibawah garis permukaan laut). Pada banyak kapal selam, terutama yang telah mengalami perubahan yang besar, tangki ini sangat diperlukan sebagai tangki bantu dengan beberapa kemungkinan kondisi muatan. (Nugroho, 2007)

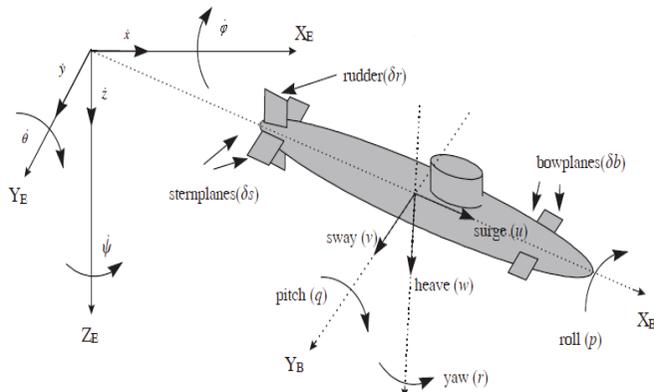


Gambar 2. 4 Tangki Minyak Diesel dan Negatip pada Kapal Selam

(Sumber: Nugroho, 2007)

### 2.3. Dinamika dan Stabilitas Kapal

Berbeda dengan kapal permukaan yang hanya dapat bergerak dua dimensi pada kapal selam dapat bergerak secara tiga dimensi. Pada kapal selam terdapat dua *control surface* yaitu *rudder* yang berfungsi untuk mengatur gerakan horizontal atau sudut *heading* dari kapal selam dan *hydroplane* yang berfungsi untuk mengatur gerakan vertikal sudut *diving* atau selam dari kapal selam (Anthony F. Molland, 2007).



Gambar 2. 5 Six Degree of Freedom (DOF) Pada Kapal Selam

(Sumber: Minghui Wang dkk, 2013)

Sama dengan kapal permukaan kapal selam juga memiliki enam derajat kebebasan atau biasa disebut *six Degree Of Freedom* (DOF) ini terdiri dari *Surge, Sway, Roll, Pitch, Heave, dan Yaw*. Pada tabel 2.1 merupakan tabel notasi enam derajat kebebasan berdasarkan SNAME (*Society of Naval Architect and Marine Engineers*). Ilustrasi enam derajat kebebasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.

No	DOF (Degree of Freedom) / Derajat Kebebasan	Momen dan Gaya	Kecepatan Linear dan Sudut	Posisi dan Sudut Euler
1	Gerakan dalam arah x ( <i>Surge</i> )	X	u	x
2	Gerakan dalam arah y ( <i>Sway</i> )	Y	v	y
3	Gerakan dalam arah z ( <i>Heave</i> )	Z	w	z
4	Rotasi terhadap sumbu x ( <i>Roll</i> )	K	p	$\phi$
5	Rotasi terhadap sumbu y ( <i>Pitch</i> )	M	q	$\theta$
6	Rotasi terhadap sumbu z ( <i>Yaw</i> )	N	R	$\psi$

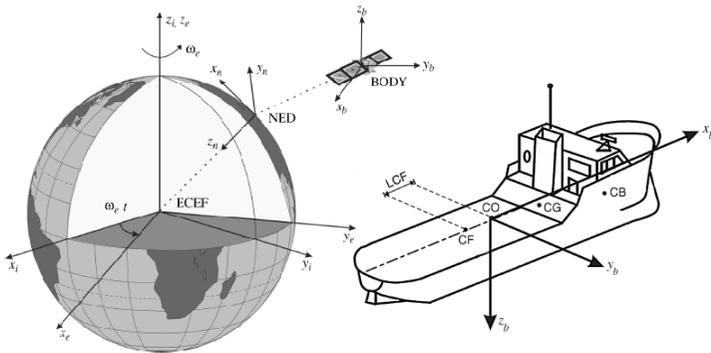
Tabel 2. 1 Notasi SNAME

(Sumber: Fossen, 2011)

Pada kapal permukaan sendiri biasanya hanya akan mengontrol dua hingga tiga derajat kebebasan yaitu *Surge, Sway, dan Yaw*. Sistem kontrol yang berfokus pada tiga derajat kebebasan tersebut biasa disebut *Horizontal Plane Model*. Sedangkan pada kapal selam juga akan mengontrol tiga derajat kebebasan yaitu *Surge* atau gerakan maju pada sumbu X, *Yaw* yaitu gerakan memutar pada sumbu horizontal, serta *Pitch* yaitu gerakan memutar pada sumbu vertikal. Sistem kontrol yang berfokus pada tiga derajat kebebasan ini biasa disebut dengan *Longitudinal Models*. (Fossen, 2011)

Pada tabel 2.1 juga menjadi aturan lambang dalam melakukan analisis dan perhitungan terhadap gerakan dan gaya yang mempengaruhi pada kapal selam maupun kapal. Selain lambang tersebut *reference frame* atau kerangka referensi juga harus diperhatikan dalam melakukan analisis gerakan pada wahana air. *Reference frame* biasanya terbagi menjadi dua yaitu *Earth Centered Reference Frame* (ECRF) dan *Geographic Reference Frame* (GRF). Pada ECRF sistem koordinat menggunakan titik pusat bumi (*Earth-Fixed*) sebagai titik referensi. Sedangkan pada GRF merupakan sistem koordinat yang menggunakan posisi atau lokasi dan badan (*Body-Fixed*) dari wahana air

sebagai titik pusat. Pada ECRF kordinat  $X_0, Y_0, Z_0$  terletak pada pusat bumi sedangkan pada GRF titik kordinat terletak di badan kapal dan disimbolkan sebagai  $x_b, y_b, z_b$ . Manuver sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai gerakan dari sistem kerangka badan relatif (*Body-Fixed*) terhadap siste kerangka bumi atau inersia (*Earth-Fixed*). Sehingga posisi serta orientasi wahana air dideskripsikan relative terhadap kerangka inersia atau *Earth Fixed* sedangkan gerakan dan kecepatan linear akan dideskripsikan relatif terhadap kerangka badan atau *Body-Fixed*. Ilustrasi *reference frame* atau kerangka referensi dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 6 Kerangka Referensi ECRF dan GRF

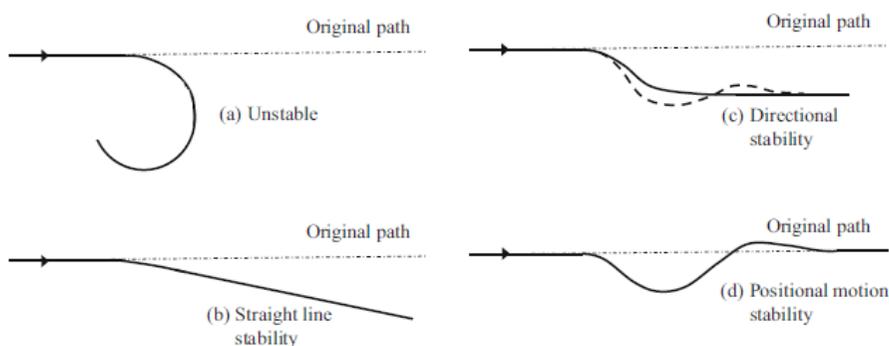
(Sumber: Fossen, 2011)

## 2.4. Performa Sistem Kendali Manuver Kapal Selam

Konsep dasar dari sistem kendali manuver pada kapal selam memiliki banyak kesamaan dengan sistem kendali manuver kapal permukaan. Perbedaan utama sistem kendali kapal selam dengan kapal permukaan adalah kapal selam dapat bermanuver pada ke enam derajat kebebasan yaitu *surge, sway, roll, Pitch, Heave*, dan *Yaw* (Renilson, 2018). Terdapat empat tingkat atau level stabilitas gerak pada saat kapal selam bermanuver, tingkat stabilitas gerak ini sangat dipengaruhi performa atau kemampuan sistem kendali manuver kapal selam. Berikut adalah empat tingkat atau level stabilitas gerak pada saat kapal selam bermanuver serta ilustrasinya pada gambar 2.7:

1. Tidak Stabil (*Unstable*) yaitu apabila kapal tidak dapat mempertahankan arah maupun *heading* yang diinginkan.

2. Stabilitas Garis Lurus (*Straight Line Stability*) yaitu apabila kapal tetap bergerak lurus namun mengalami perubahan *heading* apabila mengalami gangguan.
3. Stabilitas Direksional (*Directional Stability*) yaitu apabila kapal tetap bergerak lurus dan mempertahankan *heading* awal atau arah haluan namun pada jalur yang berbeda dari jalur awal.
4. Stabilitas Gerak Posisional (*Positional Motion Stability*) yaitu apabila kapal dapat mempertahankan baik *heading* atau arah haluan serta jalurnya meskipun mengalami gangguan.



Gambar 2. 7 Tingkat Stabilitas Gerak Manuver Kapal  
(Sumber: *Martin Renilson, 2018*)

Selain stabilitas gerak manuver suatu sistem kendali performa suatu sistem kendali juga dapat dilihat dari respon transien dari suatu plant sistem kendali yang dikontrol pada setpoint tertentu. Respon transien dapat menunjukkan osilasi sebelum mencapai setpoint. Respon transien pada suatu sistem kendali terdiri dari beberapa aspek yaitu:

Delay Time ( $t_d$ ) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk respon mencapai separuh dari nilai akhir atau setpoint pada saat pertama kalinya.

Rise Time ( $t_r$ ) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk respon untuk meningkat dari 10% hingga mencapai 90%, 5% hingga 95%, atau dari 0% hingga 100% dari nilai akhir atau setpoint.

Peak Time ( $t_p$ ) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk respon mencapai titik puncak pertama.

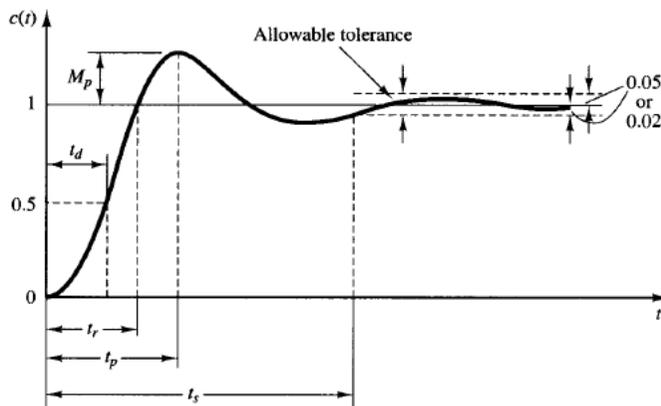
Maximum Percent Overshoot ( $M_p$ ) merupakan nilai puncak maksimum dari kurva respon yang diukur pada nilai akhir atau setpoint. Nilai ini dapat menunjukkan tingkat kestabilan dari sistem. Apabila nilai final steady-

state berbeda dengan nilai akhir atau setpoint maka dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.51)$$

Settling Time ( $t_s$ ) merupakan waktu yang dibutuhkan kurva respon untuk mencapai serta tetap pada nilai akhir atau setpoint dengan nilai toleransi tertentu yang berkisar 2 – 5%.

Aspek aspek pada respon transien tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Kurva Respon dan Aspek Respon Transien

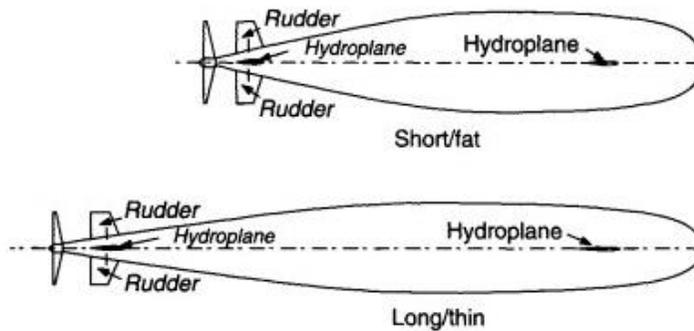
(Sumber: Katsuhiko Ogata, 2010)

## 2.5. Hydroplane pada Kapal Selam

### 2.5.1 Pengertian Hydroplane

Hydroplanes adalah permukaan kontrol horisontal yang digunakan untuk mengontrol gerakan vertikal kapal selam dan kendaraan bawah laut lainnya. Bentuk, area, dan lokasi permukaan kontrol ini akan tergantung pada ukuran, kecepatan, dan persyaratan operasional kendaraan. Karena kemungkinan kompresi lambung dengan peningkatan perendaman dan pengurangan daya apung, kapal selam tidak stabil untuk gerakan dalam arah vertikal (naik-turun) dan sulit untuk mendapatkan keseimbangan yang tepat antara berat dan daya apung, terutama ketika bahan bakar atau toko sedang dibuat dikonsumsi selama operasi. Dengan demikian permukaan kontrol harus dapat mengerahkan kekuatan ke atas atau ke bawah pada kapal selam dan untuk memberikan momen melempar. Oleh karena itu diperlukan dua pasang permukaan kontrol, yang biasanya terletak di dekat bagian depan dan belakang untuk memberikan momen terbesar.

Pengaturan seperti ini memungkinkan kontrol heave dan pitch secara mandiri. Badan bawah air mungkin pendek / gemuk atau panjang / tipis, Gambar 2.9. Mereka akan menampilkan karakteristik hidrodinamik yang berbeda, tubuh pendek / gemuk memiliki ketidakstabilan arah yang lebih besar tetapi kemampuan manuver yang baik. Tubuh yang lebih pendek membatasi lengan tuas permukaan kontrol dan permukaan kontrol yang lebih besar mungkin diperlukan (Anthony F. Molland, 2007)



Gambar 2. 9 Gambar Kapal Selam dengan Perbedaan Panjang/Diameter Ratio

(Sumber: AF. Molland, 2007)

### 2.5.2 Aplikasi *Hydroplane*

Hydroplanes biasanya dapat bergerak atau mengepak dengan bagian maju tetap sekitar 20-30% dari chord yang memberikan dukungan struktural. Dalam kasus kapal selam, dimensi mereka akan sedemikian rupa sehingga tidak melebihi diameter maksimum kapal selam. Setelah menentukan kekuatan yang diperlukan pada permukaan kontrol, dan asumsi yang dibuat untuk kecepatan aliran lokal, dimensi aktual, bentuk bagian, dan sudut operasional dapat ditentukan dari data untuk semua permukaan kontrol yang dapat digerakkan dan dikendalikan. Vertikal kekuatan yang dihasilkan oleh PLTA dapat dibandingkan dengan perpindahan kapal selam, menunjukkan kemampuan untuk mengatasi perbedaan antara berat kapal dan daya apung.

Perlu dicatat bahwa tip vortice yang ditumpahkan dari hydroplanes maju dapat mengganggu after hydroplanes, yang mengarah pada perubahan dalam insiden efektif pada after hydroplanes (Anthony F. Molland, 2007)

## 2.6. *Computational Fluid Dynamics*

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah metode analisa numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamika fluida. Sejak kemajuan besar dalam hal kinerja komputer, metode Computational Fluid Dynamic (CFD) digunakan untuk memecahkan persamaan Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) yang telah diterapkan untuk berbagai jenis propeller Subhas (2012).

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakain CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

- a. Aliran dan panas.
- b. Transfer massa.
- c. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan.
- d. Reaksi kimia seperti pembakaran.
- e. Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- f. Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- g. Gelombang electromagnet

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam metode Computational Fluid Dynamic (CFD), Adapun proses dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) ada 3 bagian, yaitu :

### 2.3.1 Pre Processor

PreProcessor merupakan tahapan awal dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan domain dan boundary condition. Pada tahapan ini juga dilakukan meshing, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu.

### 2.3.2 Processor

Tahap selanjutnya adalah tahap processor, dimana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iterative hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai error terkecil.

### 2.3.3 Post Processor

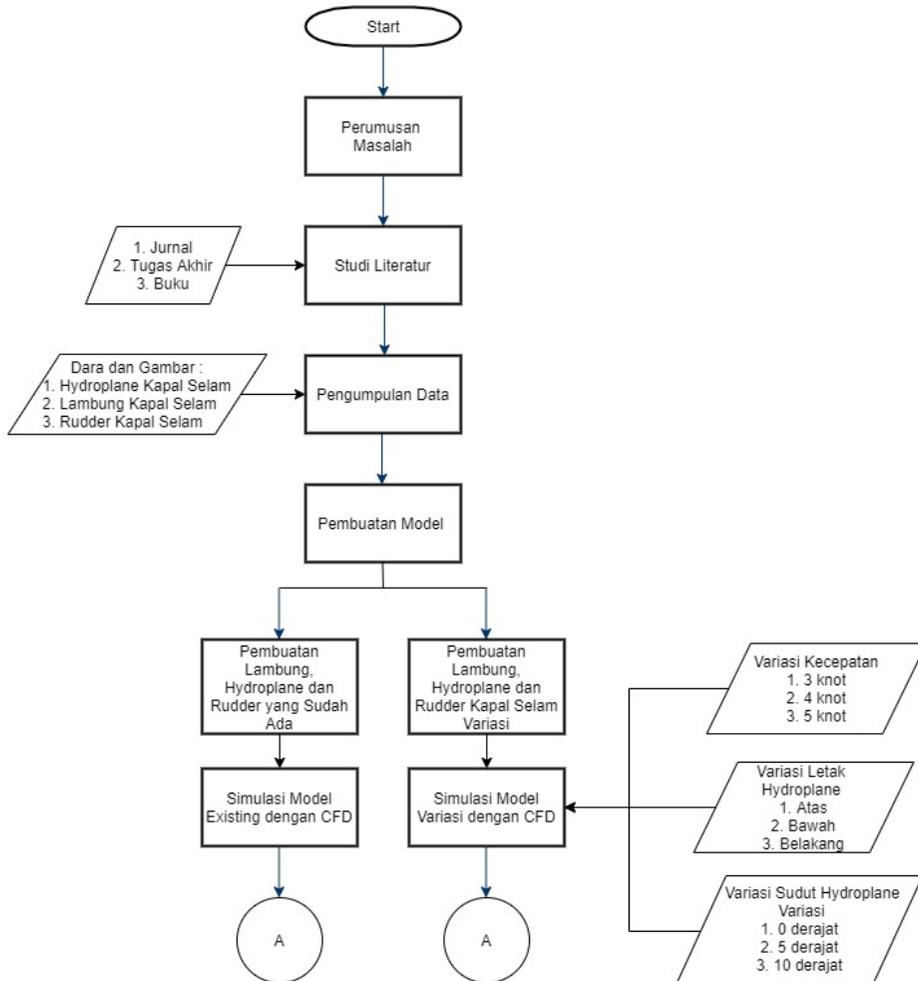
Tahap terakhir adalah tahap post processor, hasil dari perhitungan pada tahap processor akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi.

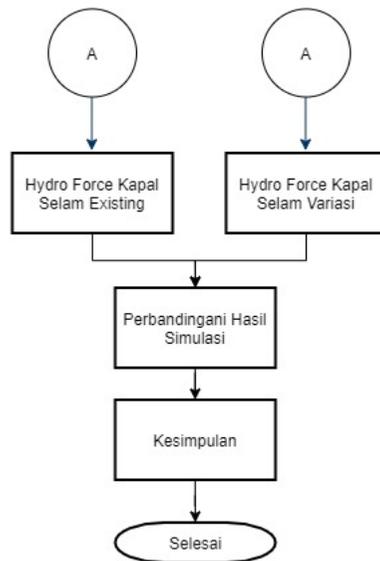
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan akan ditunjukkan melalui *flowchart* penelitian yang ada di bawah ini :





Gambar 3. 1 Alur Penelitian atau Flowchart

### 3.2 Studi Literatur

Tahap awal sebelum melakukan penelitian ini adalah melakukan studi literatur. Pada tahap ini, studi literatur diperlukan untuk menambah wawasan dengan topik terkait guna membantu jalannya penelitian yang dilakukan kedepannya. Literatur yang digunakan untuk penelitian ini adalah jurnal-jurnal terkait, buku dan juga didapatkan dari penelitian-penelitian yang sudah dijalankan sebelumnya yang berisi teori-teori pendukung yang berhubungan dengan analisa *foil hydroplane* pada kapal selam. Pada tahap ini diharapkan mampu memberikan informasi yang dapat membantu dalam pengerjaan penelitian analisa variasi posisi dan bentuk *foil hydroplane* pada kapal selam.

### 3.3 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan model yang akan diteliti. Pada tahap ini, data-data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut :

1. Ukuran utama dari lambung kapal selam

Dari pengumpulan data, didapatkan ukuran utama lambung kapal selam **DARPA Suboff AFF8**, sebagai berikut :

Spesifikasi Ukuran Utama Lambung Kapal Selam		
$L_{pp}$	67	meter
<i>Outside Diameter</i>	6.7	meter
<i>Frame Spacing</i>	3	meter
<i>Total Height</i>	15.5	meter

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Lambung Kapal Selam

2. Ukuran utama dari *foil hydroplane* asli

Dari pengumpulan data, didapatkan ukuran utama dari *foil hydroplane* asli adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Ukuran Utama <i>Foil Hydroplane</i> Asli		
Jari-jari <i>Foil</i>	3	meter
Ketebalan <i>Foil</i>	0.15	meter
Panjang (secara diagonal)	3	meter

Tabel 3. 2 Ukuran Utama Hydroplane Asli

3. Ukuran utama dari *foil hydroplane* variasi

Pada *hydroplane* variasi, data tidak didapatkan, sehingga pada permodelan *hydroplane* variasi digunakan ukuran *foil* yang sama dengan *foil* yang digunakan pada *rudder* atas bagian terluar, hal ini dimaksudkan karena ukuran utama dari *foil rudder* tersebut hampir sama dengan ukuran utama *foil hydroplane* yang asli. Dengan demikian ukuran utama dari *foil hydroplane* variasi adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Ukuran Utama <i>Foil Hydroplane</i> Asli		
Lebar <i>Hydroplane</i>	3	meter

Ketebalan <i>Foil</i>	0.4	meter
Panjang <i>Foil</i>	2	meter

Tabel 3. 3 Ukuran Utama Hydroplane Variasi

4. Ukuran utama dari *rudder* atau kemudi kapal selam

Ukuran utama dari kemudi atau *rudder* yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3, ukuran pada *rudder* atas, ukuran pada *rudder* bawah dan *rudder* kanan (ukuran *rudder* kiri dan kanan sama ). Dari data yang di dapat, maka didapatkan data sebagai berikut :

Spesifikasi Ukuran Utama <i>Rudder</i> Atas		
Panjang <i>Foil</i> Teratas	2.5	meter
Tebal <i>Foil</i> Teratas	0.4	meter
Panjang <i>Foil</i> Terbawah	3.5	meter
Tebal <i>Foil</i> Terbawah	0.6	meter

Tabel 3. 4 Ukuran Utama Rudder Atas

Spesifikasi Ukuran Utama <i>Rudder</i> Bawah		
Panjang <i>Foil</i> Tertatas	3.6	meter
Tebal <i>Foil</i> Terluar	0.7	meter
Panjang <i>Foil</i> Terbawah	3	meter
Tebal <i>Foil</i> Terbawah	0.5	meter

Tabel 3. 5 Ukuran Utama Rudder Bawah

Spesifikasi Ukuran Utama <i>Rudder</i> Kiri dan Kanan
---

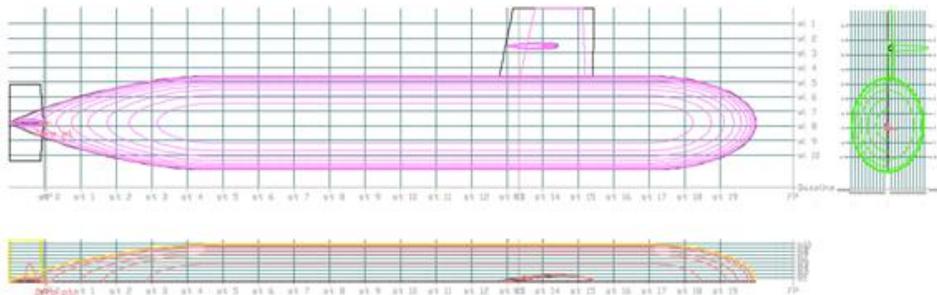
Panjang <i>Foil</i> Terluar	3.6	meter
Tebal <i>Foil</i> Terluar	0.4	meter
Panjang <i>Foil</i> Terdalam	3.9	meter
Tebal <i>Foil</i> Terdalam	0.4	meter

Tabel 3. 6 Ukuran Utama Rudder Kiri dan Kanan

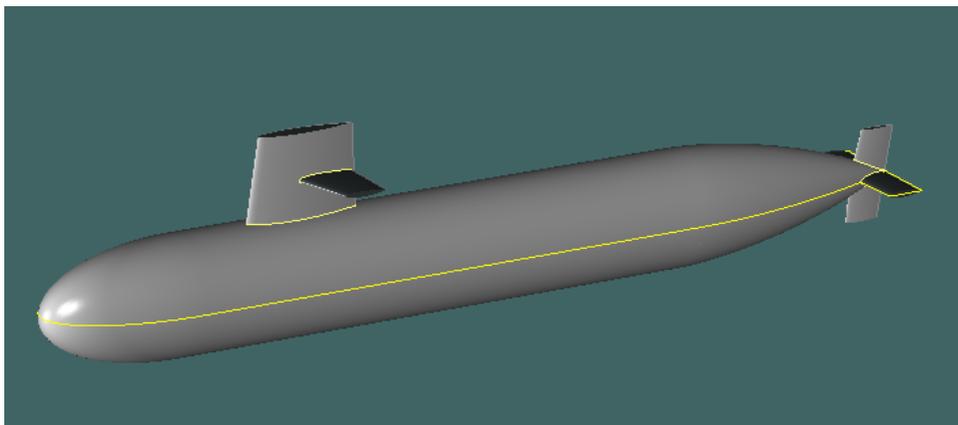
### 3.4 Pembuatan Model

Pada tahap selanjutnya adalah dilakukannya pembuatan model untuk keseluruhan kapal selam. Penggambaran atau pembuatan model berdasarkan ukuran-ukuran yang didapat pada saat tahap pengumpulan data. Pada tahap ini, pembuatan model juga dilakukan sesuai variasi yang dilakukan. Pembuatan model utama dibagi menjadi 2, yaitu, model yang pertama merupakan lambung kapal selam dengan menggunakan *foil hydroplane* yang asli dan model kedua menggunakan lambung kapal selam dengan menggunakan *foil hydroplane* variasi. Kedua model utama, masing-masing dibuat dengan 3 variasi yang berbeda berdasarkan variasi model yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Untuk gambar lambung dengan *foil hydroplane* asli dibagi menjadi 3 berdasarkan variasi posisinya, yaitu *foil hydroplane* diletakkan di tempat awal, lalu *foil* diletakkan diatas posisi *foil* awal dan yang terakhir *foil* diletakkan dibawah posisi *foil* awal. Untuk kapal selam dengan *foil hydroplane* variasi juga dibagi atau dibuat dengan 3 variasi, yang pertama, *foil hydroplane* tidak diberi sudut atau  $0^0$  terhadap sumbu x, kedua diberi sudut  $-5^0$  terhadap sumbu x dan yang terakhir diberi sudut  $-10^0$  terhadap sumbu x. Pada tahap ini, pembuatan model menggunakan *software*

*Rhinoceros*. Berikut merupakan salah satu contoh hasil model yang telah dibuat secara 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D).



Gambar 3. 2 Gambar Kapal Selam Secara 2 Dimensi



Gambar 3. 3 Gambar Kapal Selam Secara 3 Dimensi

### 3.5 Simulasi Model

Pada tahap ini, semua model yang sudah dibuat dalam tahap sebelumnya, akan dilakukan proses meshing dan simulasi. Simulasi model menggunakan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)*, yaitu *Numeca Fine Marine 8.1*. Penjabaran simulasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi Model dengan *Foil Hydroplane Asli*  
Simulasi yang dilakukan pada model ini dilakukan dengan beberapa variasi yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu :
  - a. Variasi posisi *foil hydroplane*
    - Posisi awal
    - Posisi diatas

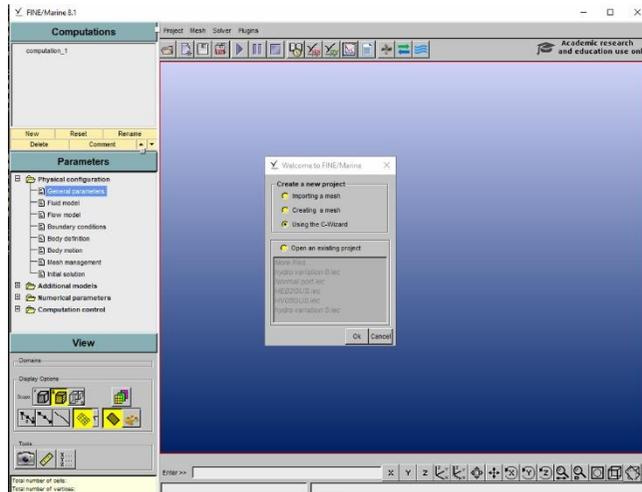
- Posisi dibawah
- b. Variasi Kecepatan
    - 3 knot
    - 4 knot
    - 5 knot
2. Simulasi Model dengan *Foil Hydroplane* Variasi
    - a. Variasi sudut *foil hydroplane*
      - Tidak membentuk sudut terhadap sumbu x ( $0^0$ )
      - Membentuk sudut  $-5^0$  terhadap sumbu x
      - Membentuk sudut  $-10^0$  terhadap sumbu x
    - b. Variasi kecepatan
      - 3 knot
      - 4 knot
      - 5 knot

Dalam proses simulasi adalah dilakukannya proses *meshing*, yaitu merupakan proses identifikasi suatu objek yang didefinisikan sebagai blok-blok kecil atau biasa dikenal dengan istilah *cell*. Pada proses ini menggunakan C-Wizard, yaitu salah satu fitur dari *software Fine Marine* yang bertujuan untuk mempersingkat waktu dalam pengaturan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk model sebagai tahap persiapan simulasi secara lengkap dengan pengaturan yang lebih sederhana dan secara otomatis. Simulasi pada penelitian tugas akhir ini menggunakan *entire body* untuk semua model lambung kapal selam yang menggunakan *hydroplane* asli dan *half body* digunakan untuk semua model lambung kapal selam yang menggunakan *hydroplane* variasi. Hal ini dilakukan karena *hydroplane* asli pada kapal selam dalam melakukan *diving* hanya beroperasi pada bagian kiri atau *port* lambung, sedangkan pada *hydroplane* variasi pada saat proses *diving*, menggunakan dua *hydroplane* secara bersamaan, jadi bentuk dari model ini simetris.

Proses awal dari penggunaan C-Wizard adalah sebagai berikut,

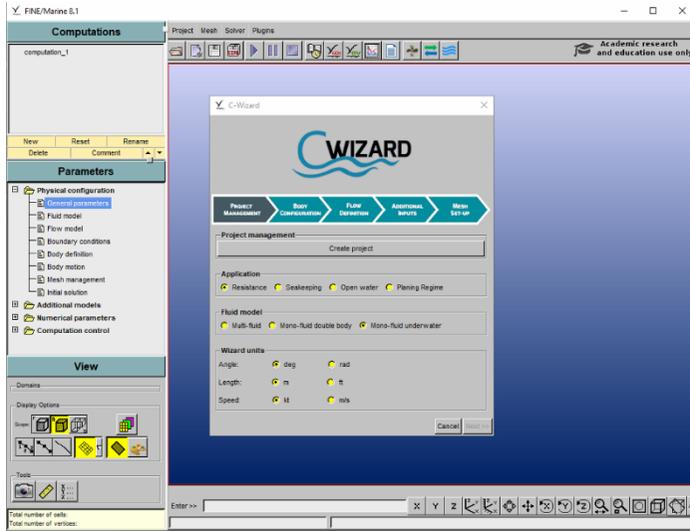
1. Proses *Mesh-Up*

Langkah awal yang dilakukan adalah membuka *software Fine Marine* dan memilih pilihan “*using C-wizard*” untuk membuat proyek baru,



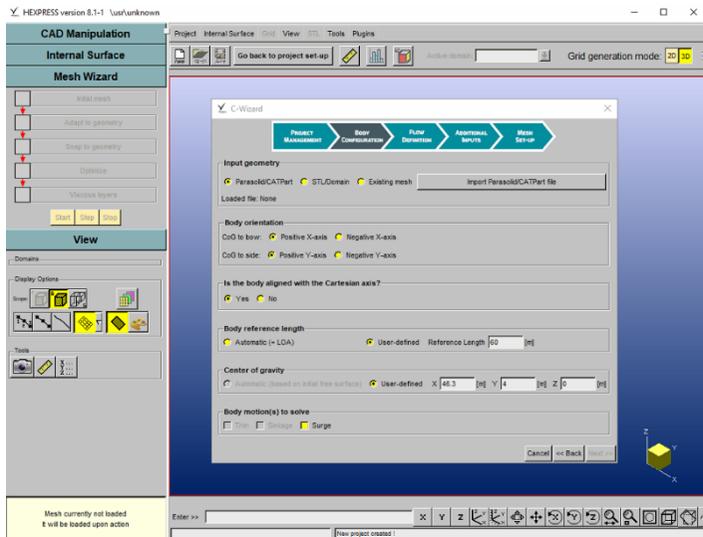
Gambar 3. 4 Interface Awal Fine marine

Selanjutnya adalah membuat lembar kerja baru dengan memilih parameter-parameter umum yang berkaitan dengan model dan proses yang akan dipilih. Dalam hal simulasi ini, digunakan *Resistance* dan karena model lambung kapal selam berada dibawah permukaan air laut, maka menggunakan *Monofluid-underwater* untuk pemilihan *Fluid Model* yang digunakan.



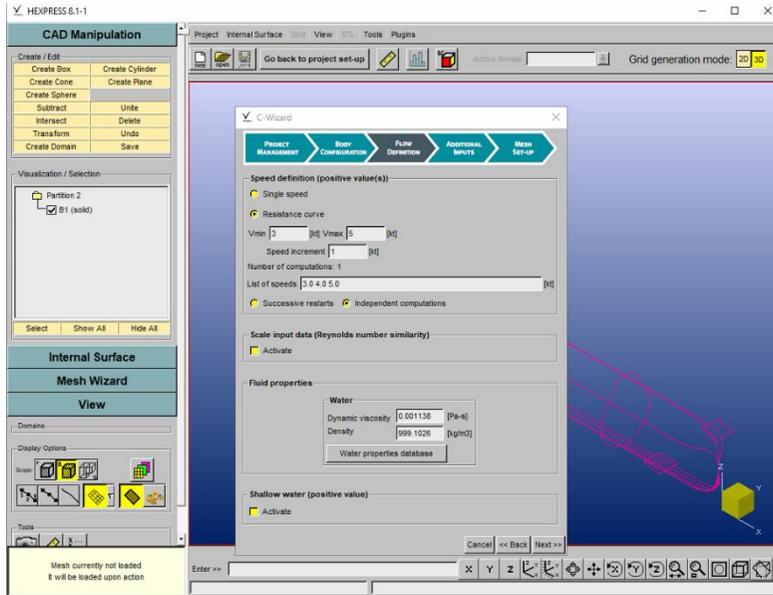
Gambar 3. 5 Interface Awal C-Wizard Fine Marine 8.1

Selanjutnya adalah melakukan *import* model dengan format file Parasolid (\*x\_t) dan melakukan pengaturan *body configuration*. Pengaturan ini disesuaikan dengan data yang didapat, yaitu Panjang atau *reference length* 60 meter dan COG atau *Center of Gravity* dalam sumbu x; 46.3 , y; 4 dan x;0.



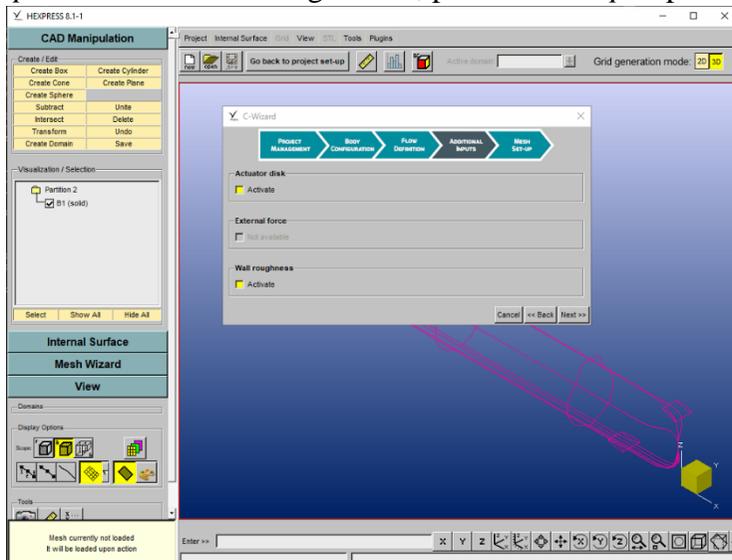
Gambar 3. 6 Pengaturan pada Body Configuration

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengaturan pada *flow definition*. *Speed definition* yang digunakan adalah *resistance curve* dengan rentang kecepatan yaitu 3 knot – 10 knot dengan pengaturan lainnya sebagai berikut,

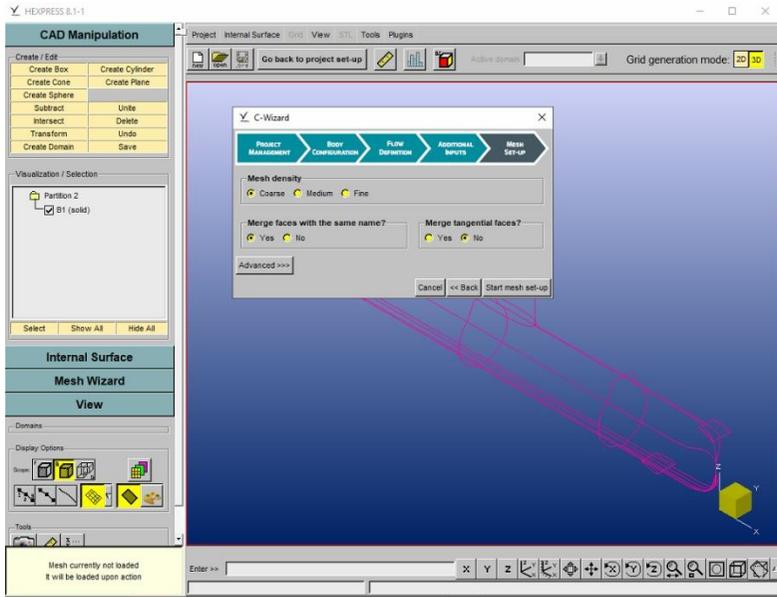


Gambar 3. 7 Pengaturan Pada Flow Definition

Setelah proses ini, maka proses *setting additional input* dan *setting* dari *mesh set-up*. Setelah semua setting selesai, proses *mesh up* dapat dilakukan.

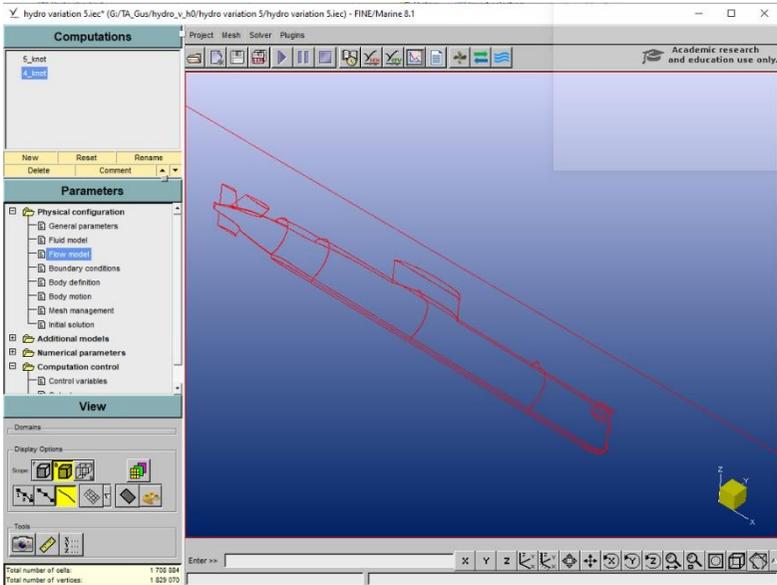


Gambar 3. 8 Setting pada Additional Input

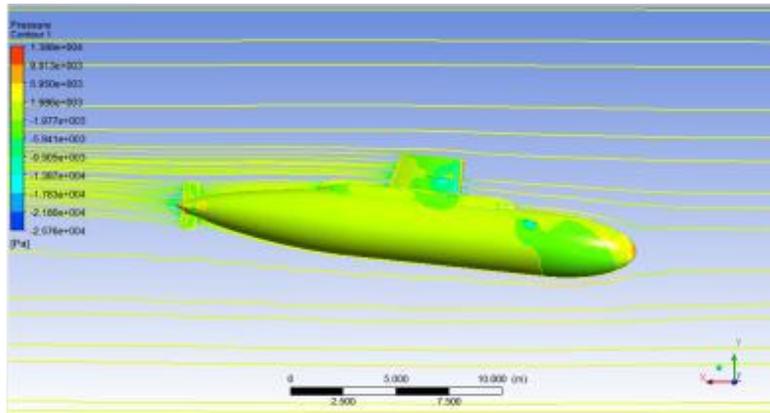


Gambar 3. 9 Pengaturan pada Set Mesh-Up

Setelah melalui proses *meshing*, selanjutnya akan masuk kedalam pengaturan parameter untuk melakukan proses simulasi atau lebih dikenal dengan istilah *running simulation* atau *computation*.



Gambar 3. 10 Pengaturan Parameter



Gambar 3. 11 Simulasi CFD

(Sumber : Sinaga,2016)

Rincian dari proses simulasi yang dilakukan pada penelitian ini, baik dari simulasi untuk model lambung dengan *foil hydroplane* asli maupun model lambung dengan *foil hydroplane* variasi dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Rincian Simulasi untuk Model *Foil Hydroplane* Asli

No.	Variasi Posisi	Kecepatan	Sudut Hydroplane
1	Posisi Awal	3 knot	-
2	Posisi Awal	4 knot	-
3	Posisi Awal	5 knot	-
4	Posisi Diatas	3 knot	-
5	Posisi Diatas	4 knot	-
6	Posisi Diatas	5 knot	-

7	Posisi Dibawah	3 knot	-
8	Posisi Dibawah	4 knot	-
9	Posisi Dibawah	5 knot	-

Tabel 3. 7 Jumlah Simulasi Foil Hydroplane Asli

## 2. Rincian Simulasi untuk Model Foil Hydroplane Variasi

No.	Variasi Posisi	Kecepatan	Sudut Hydroplane
1	-	3 knot	0 <sup>0</sup>
2	-	4 knot	0 <sup>0</sup>
3	-	5 knot	0 <sup>0</sup>
4	-	3 knot	5 <sup>0</sup>
5	-	4 knot	5 <sup>0</sup>
6	-	5 knot	5 <sup>0</sup>
7	-	3 knot	10 <sup>0</sup>
8	-	4 knot	10 <sup>0</sup>
9	-	5 knot	10 <sup>0</sup>

Tabel 3. 8 Jumlah Simulasi Foil Hydroplane Variasi

### 3.6 Perbandingan Hasil Simulasi

Pada tahap ini dilakukan perbandingan hasil simulasi, baik perbandingan hasil simulasi 1 model dengan tiap variasi yang dilakukan, maupun perbandingan antara 2 model. Pada tahap ini yang akan dibandingkan adalah nilai dari tiap *moment* dan *force* yang telah dihasilkan dari masing masing simulasi atau *computation* yang sudah dilakukan. Tujuannya agar mengetahui perbedaan

dari tiap variasi yang dilakukan untuk menunjukkan nilai yang terbaik dari tiap-tiap model

### **3.7 Kesimpulan**

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari penelitian, yang bertujuan untuk menyimpulkan hasil terbaik untuk kondisi dari *foil hydroplane*. Hasil ini akan menunjukkan bentuk dan posisi dari *foil hydroplane* yang terbaik yang nantinya dapat dilakukan pengembangan terhadap desain yang telah ada.

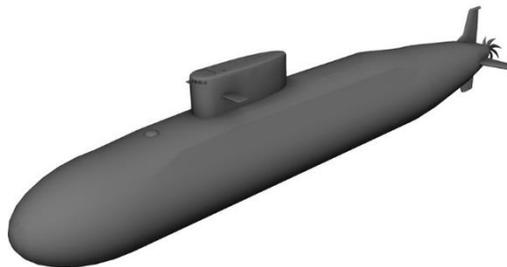
## BAB IV ANALISA DATA

### 4.1. Desain Model Kapal Selam

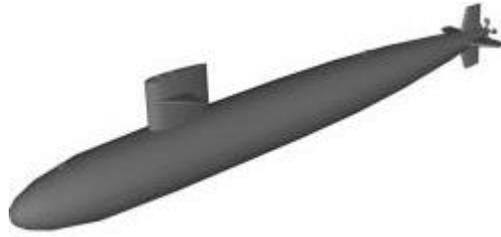
Dalam pengerjaan penelitian ini, sebelumnya tertera batasan dari pembuatan model adalah terdapat model lambung kapal selam dengan menggunakan *hydroplane* 10<sup>0</sup>, namun dikarenakan terjadi permasalahan dengan permodelan dan dalam pengerjaan simulasi, maka untuk penelitian ini mengganti model tersebut dengan menggunakan *hydroplane* variasi 7<sup>0</sup>. Proses pendesainan model kapal selam, dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

#### 4.1.1 Pembuatan lambung atau *hull* kapal selam.

Pembuatan lambung atau *hull* dimulai dari pendesainan dari lambung atau yang biasa dikenal dengan *hull* dari kapal selam. Pembuatan desain lambung merujuk pada data yang didapatkan. Pembuatan kapal selam dilakukan dengan memasukkan koordinat-koordinat dari *lines plan* yang tersedia ke dalam *excel* dengan format CSV (MS-DOS) (\*.csv). Pembuatan lambung atau *hull* kemudian dilanjutkan menggunakan *software Rhinoceros 6.0* dengan cara meng-*import* file koordinat-koordinat dalam bentuk *excel* yang sebelumnya. Selanjutnya, koordinat yang di-*import* - disesuaikan dengan ukuran utama yang sudah ada, sehingga desain yang dibuat akan persis dengan bentuk lambung atau *hull* yang asli. Berikut ini merupakan bentuk lambung atau *hull* yang telah selesai dibuat atau didesain



Gambar 4. 1 Lambung Kapal Selam Hydroplane Asli



Gambar 4. 2 Lambung Kapal Selam Hydroplane Variasi

#### 4.1.2 Pembuatan kemudi atau *rudder* kapal selam.

Proses pembuatan kemudi atau *rudder* dari kapal selam yang akan diteliti juga menggunakan *software Rhinoceros 6.0*. Pembuatan desain tiga dimensi (*3D*) berdasarkan data yang didapat sebelumnya. Berikut merupakan hasil penggambaran 3 dimensi (*3D*) dari kemudi *rudder* kapal selam yang akan diteliti.



Gambar 4. 3 Kemudi atau Rudder Atas



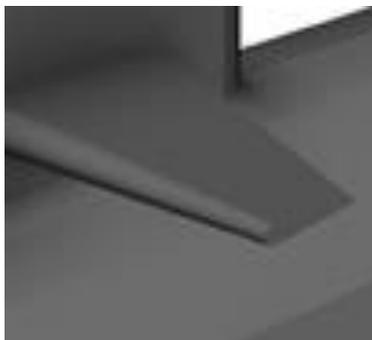
Gambar 4. 5 Kemudi atau Rudder Bawah



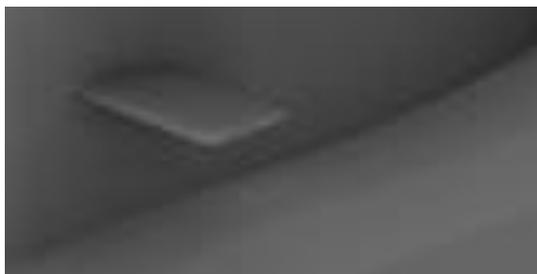
Gambar 4. 4 Kemudi atau Rudder Kanan dan Kiri

#### **4.1.3 Pembuatan *hydroplane* kapal selam**

Pembuatan *hydroplane* dilakukan 2 kali permodelan, hal ini dikarenakan diperlukan 2 tipe dari *foil hydroplane* untuk melakukan penelitian, yaitu *hydroplane* asli dan *hydroplane* variasi. Permodelan juga dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Rhinoceros 6.0*. Permodelan untuk kedua *hydroplane* ini didasarkan atas data numerik dan juga data berupa gambar 2 dimensi yang nantinya dibuat di *software Rhinoceros* secara 3 dimensi. Berikut ini merupakan kedua bentuk *foil hydroplane* yang akan digunakan.



Gambar 4. 7 Hydroplane Asli Kapal Selam



Gambar 4. 6 Hydroplane Asli Kapal Selam

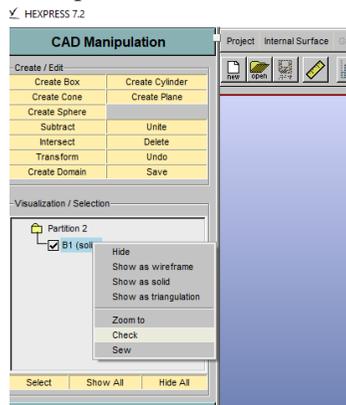
Permodelan dilanjutkan dengan menggabungkan semua komponen-komponen yang telah dibuat dalam 3 dimensi. Sesuai dengan kebutuhan penelitian, maka jumlah total dari model kapal selam yang dibutuhkan adalah 6 (enam) model, antara lain :

1. Lambung kapal selam dengan posisi *hydroplane* asli sesuai dengan posisi *real*,
2. Lambung kapal selam dengan posisi *hydroplane* asli diletakkan diatas posisi *real*,
3. Lambung kapal selam dengan posisi *hydroplane* asli diletakkan dibawah posisi *real*,
4. Lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi yang tidak diberi sudut atau  $0^0$ ,
5. Lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi diberi sudut  $5^0$  terhadap sumbu x, dan
6. Lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi diberi sudut  $7^0$

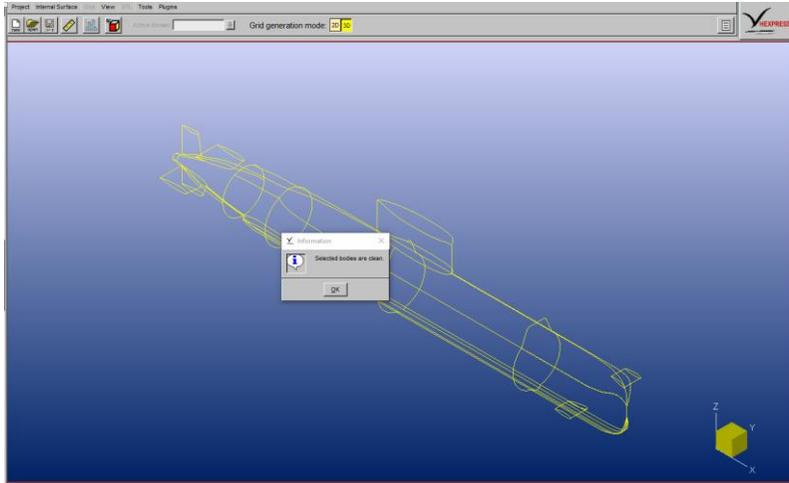
Langkah selanjutnya adalah file model yang semula dalam bentuk *Rhino 3-D Model* (.rdm) di-*export* menjadi bentuk IGES *surface* (.igs), hal ini bertujuan untuk dapat melakukan *heal surface* didalam *software Solidworks* yang bertujuan untuk memperbaiki permukaan atau *surface* yang masih bermasalah. Setelah itu file di-*export* lagi dalam bentuk file parasolid (.x\_t), karena untuk *software Fine Marine 8.1* diperlukan model dalam bentuk parasolid (.x\_t).

#### 4.2. Simulasi Model Kapal Selam

Simulasi pada model kapal selam dilakukan menggunakan bantuan dari *software Fine Marine 8.1*. Dalam proses simulasi model kapal selam, dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah memastikan bahwa model yang akan disimulasi atau dalam hal ini adalah lambung kapal selam dalam format parasolid dalam kondisi “*clean bodies*”, pengecekan ini dapat dilakukan dalam *software Hexpress*.



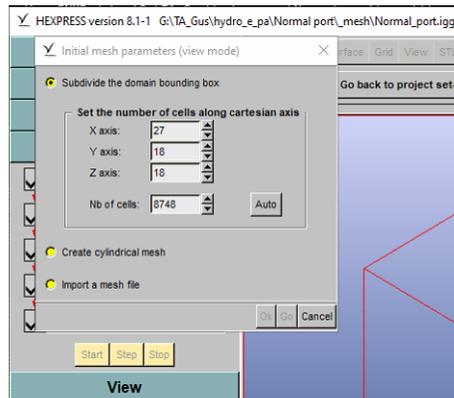
Gambar 4. 8 Pengecekan Model



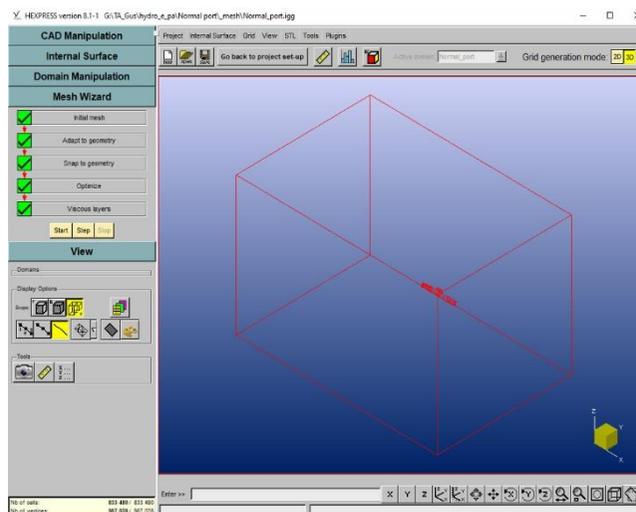
Gambar 4. 9 Hasil Pengecekan “Clean”

Setelah dipastikan bahwa model yang akan dianalisa dalam kondisi “*clean*” maka dapat dilanjutkan untuk ke tahap selanjutnya yaitu tahap *meshing*. Tahap *meshing* merupakan proses identifikasi suatu objek yang didefinisikan sebagai blok-blok kecil atau biasa dikenal dengan istilah *cell*. Pada proses ini dibantu dengan *software* Hexpress Numeca. Semakin banyak dan semakin rapat ukuran *cell* maka hasil dari simulasi akan cenderung lebih valid, akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk simulasi akan berlangsung lebih lama dibandingkan dengan jumlah *cell* yang lebih sedikit. Dalam hal ini, jumlah *cell* yang dibutuhkan dalam tahap *meshing* untuk tiap model berbeda beda. Berikut merupakan rincian dari tahap *meshing* untuk tiap model yang akan diteliti.

1. Meshing pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* asli pada posisi *real*.



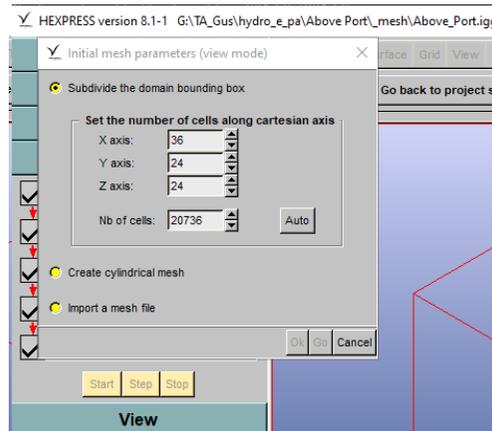
Gambar 4. 10 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Posisi Real



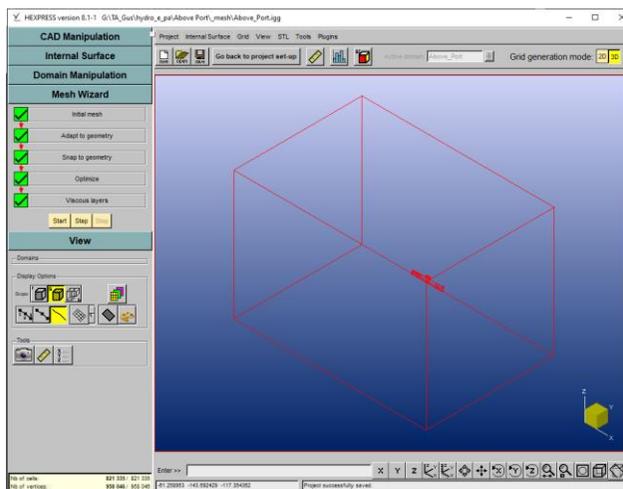
Gambar 4. 11 Hasil Meshing Hydroplane Asli Posisi Real

Dapat dilihat untuk model diatas, memerlukan *initial cell* sebanyak 8.748 *cells* dengan hasil akhir total *cells* sebanyak 833.840 *cells*.

2. *Meshing* pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* diletakkan diatas dari posisi *real*.



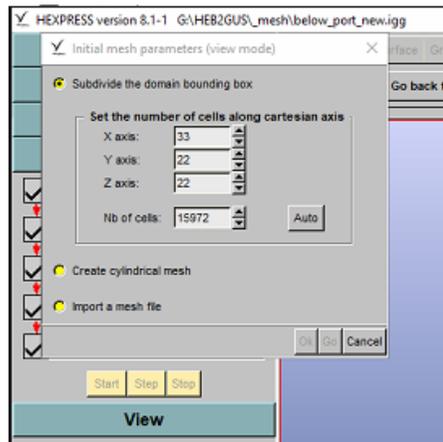
Gambar 4. 13 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Diatas Posisi Real



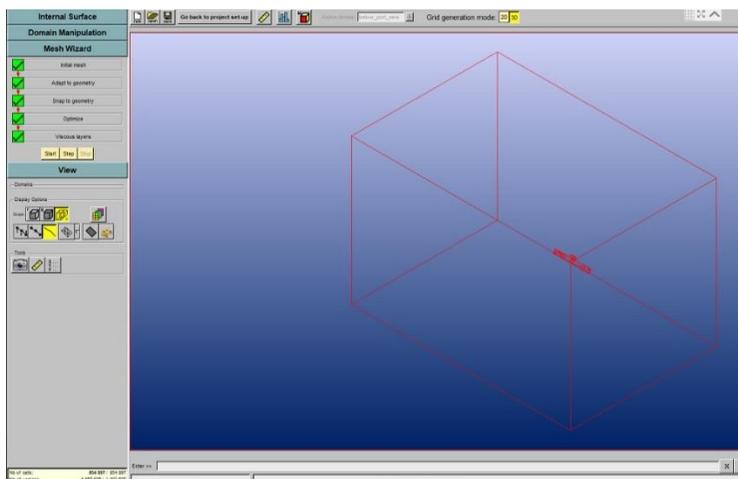
Gambar 4. 12 Hasil Meshing Hydroplane Asli Diatas Posisi Real

Dapat dilihat untuk model diatas, diperlukan *initial cell*, sebanyak 20.736 *cells* dengan hasil akhir total *cells* sebanyak 821.335 *cells*.

3. *Meshing* pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* diletakkan dibawah dari posisi *real*.



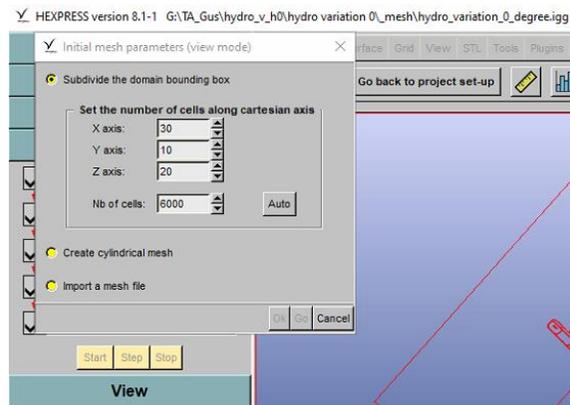
Gambar 4. 14 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Asli Dibawah Posisi Real



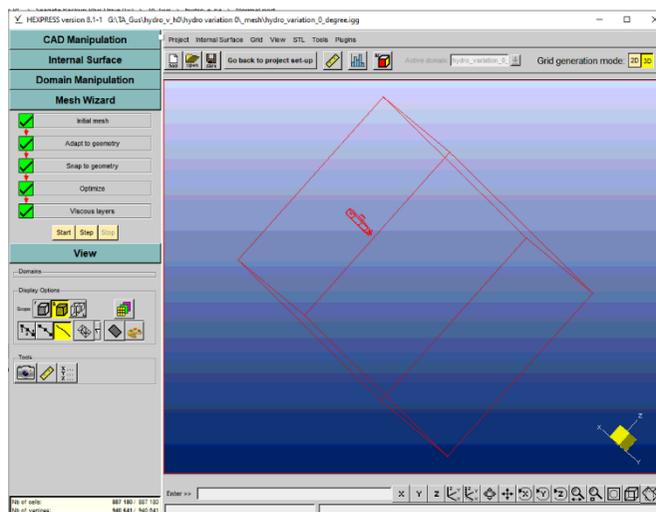
Gambar 4. 15 Hasil Meshing Hydroplane Asli Dibawah Posisi Real

Dapat dilihat untuk model diatas, diperlukan initial cell, sebanyak 15.972 cells dengan hasil akhir total cells sebanyak 821.335 cells.

4. *Meshing* pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi tidak diberi sudut ( $0^0$ ).



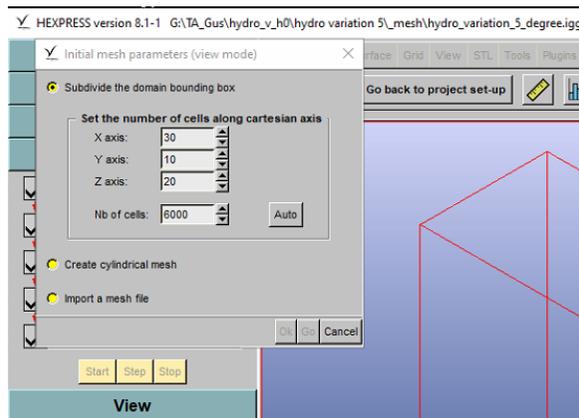
Gambar 4. 17 Jumlah Initial Mesh Hydroplane Variasi  $0^0$



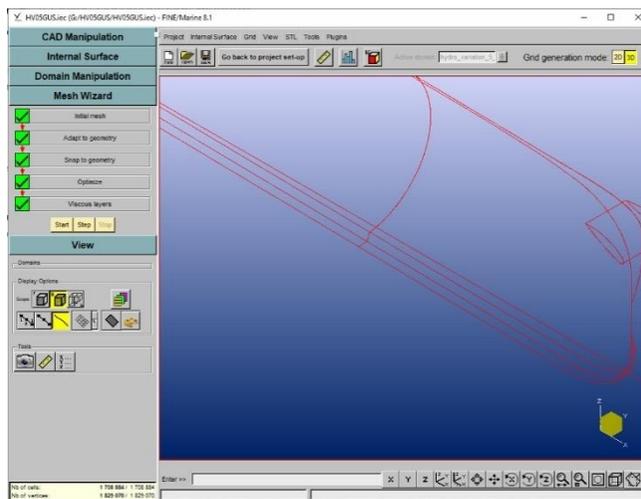
Gambar 4. 16 Hasil Meshing Hydroplane Variasi  $0^0$

Dapat dilihat untuk model diatas, diperlukan *initial cell* sebanyak 6,000 *cells* dengan hasil akhir total *cells* sebanyak 854.897 *cells*.

5. Meshing pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi diberi sudut  $5^{\circ}$ .



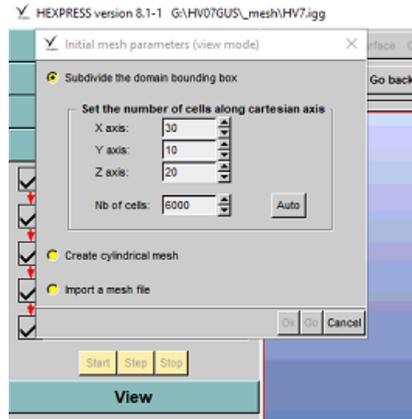
Gambar 4. 19 Hasil Meshing Hydroplane Variasi  $5^{\circ}$



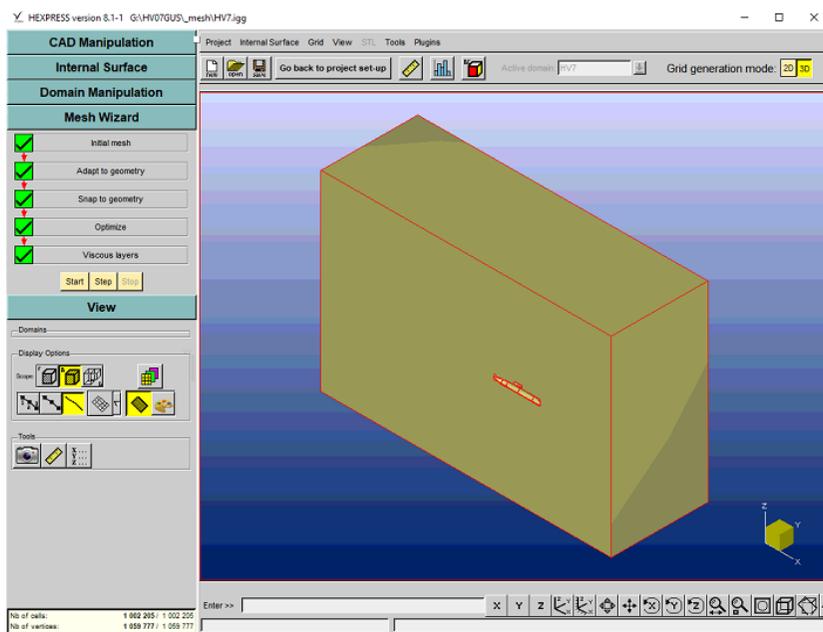
Gambar 4. 18 Hasil Meshing Hydroplane Variasi  $5^{\circ}$

Dapat dilihat untuk model diatas diperlukan *initial cell* sebanyak 6.000 *cells* dengan hasil akhir total *cells* sebanyak 1.708.884 *cells*.

6. Meshing pada model lambung kapal selam dengan *hydroplane* variasi diberi sudut  $7^0$ .



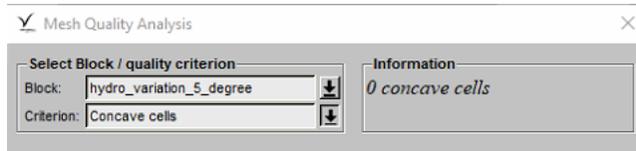
Gambar 4. 21 Jumlah Initial Mesh hydroplane Variasi  $7^0$



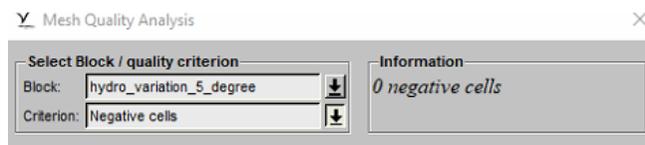
Gambar 4. 20 Hasil Meshing Hydroplane Variasi  $7^0$

Dapat dilihat untuk model diatas diperlukan initial cell sebanyak 6.000 cells dengan hasil akhir total cells sebanyak 1.002.205 cells.

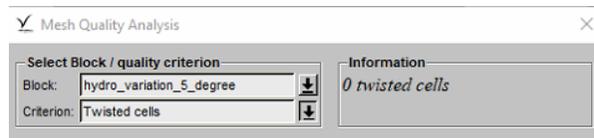
Setelah proses dari *meshing* ini selesai, selanjutnya adalah pengecekan *meshing quality*, hal ini untuk menghindari adanya *negative*, *concave* dan *twisted cell*. Pengecekan *mesh quality* dilakukan untuk semua model, dapat dilihat dalam gambar dibawah ini :



Gambar 4. 22 Pengecekan Mesh Quality untuk Concave Cells

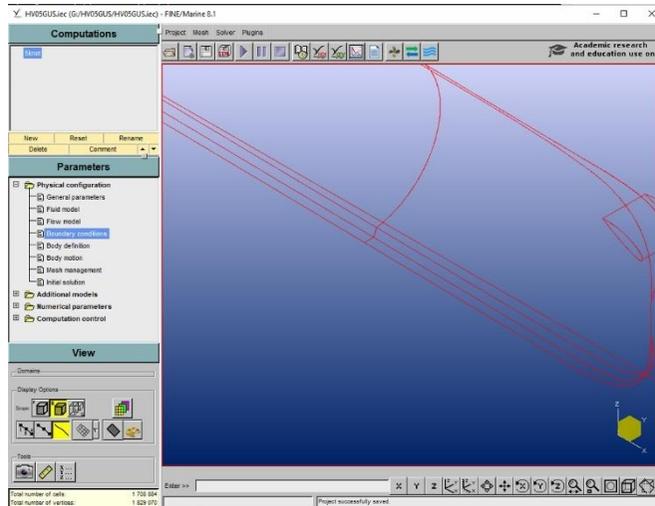


Gambar 4. 23 Pengecekan Mesh Quality untuk Negative Cells



Gambar 4. 24 Pengecekan Mesh Quality untuk Concave Cells

Setelah pengecekan *mesh quality*, tahapan selanjutnya adalah mengatur beberapa parameter untuk model yang akan disimulasi. Pada tahap ini, pengaturan parameter untuk setiap model adalah sama, hal ini dikarenakan menginginkan *output-an* yang sama untuk semua model yang akan disimulasikan.



Gambar 4. 25 Pengecekan Mesh Quality untuk Negative Cells

### 4.3. Hasil Simulasi Model

Hasil simulasi didapatkan setelah proses simulasi pada tiap model telah selesai. Hasil atau *output* yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah nilai gaya atau *force* dan momen atau *moment* pada tiap model yang telah disimulasikan dengan 3 (tiga) variasi kecepatan. Selain itu *output* atau hasil yang diharapkan adalah tampilan *flow* atau aliran dari fluida yang terjadi pada tiap model yang telah disimulasikan.

Berikut adalah penjabaran hasil simulasi untuk tiap model yang telah selesai disimulasikan menggunakan *software Fine Marine 8.1*.

#### 4.3.1 Hasil Simulasi pada Kecepatan 3 Knot

Berikut ini adalah hasil yang didapatkan setelah melakukan semua model lambung kapal selam dengan variasi kecepatan 3 knot.

Model	Fx	Fy	Fz
1	-20030,859	13034,48	9542,637
2	-20527,16	10375,5	11578,63
3	-19439,47	15774,24	8054,43

4	-15079,8182	231501	3018,802
5	-14667,5	332840,18	12815,006
6	-5515,264	67624,156	-835,248

Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Gaya atau *Force* pada Kecepatan 3 Knot

Model	Mx	My	Mz
1	-62888,578	-350539,8125	-128124,398
2	-66039,25	-441653,906	-225821
3	-61660,89	-376195,093	-102448,3125
4	-1106142,75	-76344,28	-1624875,25
5	-1241945,62	-171231,264	-3132674
6	-377763	44140,518	-552785,8

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi *Moment* pada Kecepatan 3 Knot

#### 4.3.2 Hasil Simulasi pada Kecepatan 4 Knot

Berikut ini adalah hasil yang didapatkan setelah melakukan semua model lambung kapal selam dengan variasi kecepatan 4 knot

Model	Fx	Fy	Fz
1	-14443,209	3457	11912,66
2	-20245,39	12994,309	12448,2099
3	-19404,609	15757,99	8030,597
4	-14698,192	236348,204	3036,238
5	-14664,162	384647,18	-12784,504

6	-9522,248	141076,906	-1459,666
---	-----------	------------	-----------

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Gaya atau *Force* pada Kecepatan 4 Knot

Model	Mx	My	Mz
1	-56037	-12010,48	109504
2	-726204,4	-436517,687	-297039,9
3	-61454,281	-376754,8125	-102104,796
4	-1125068	-75862,476	-1695186,375
5	-1414988	-172564,202	-3884814
6	-669831,8	81619,42	-976175,186

Tabel 4. 4 Hasil Simulasi *Moment* pada Kecepatan 4 Knot

### 4.3.3 Hasil Simulasi pada Kecepatan 5 Knot

Berikut ini adalah hasil yang didapatkan setelah melakukan semua model lambung kapal selam dengan variasi kecepatan 5 knot

Model	Fx	Fy	Fz
1	-13552,48	4944,359	116000,44
2	-20537,859	12205,53	11202
3	-19374,58	15819,28	8008,304
4	-14676,504	248497	3058,56
5	-14636,654	409768,406	-12482,1
6	-14454,078	218327,406	-2251,332

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Gaya atau *Force* pada Kecepatan 5 Knot

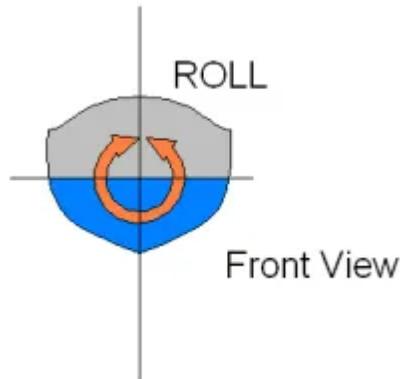
Model	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
1	-47382,371	-248061,79	260415
2	-68988,757	-455210	-272200
3	-61602,941	-377264,406	-103036,203
4	-1172450,375	-76115,14	-1871579,374
5	-1498775,374	-170045,702	-4249106
6	-1026527,374	130837,656	-149096,25

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi *Moment* pada Kecepatan 5 Knot

Data-data diatas adalah data yang didapatkan dari hasil simulasi yang dilakukan untuk semua model yang telah dibuat. Data-data diatas mewakili 6 DOF atau *Six Degree of Freedom* yang akan dianalisa dalam penelitian ini. Penjabaran dari data-data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

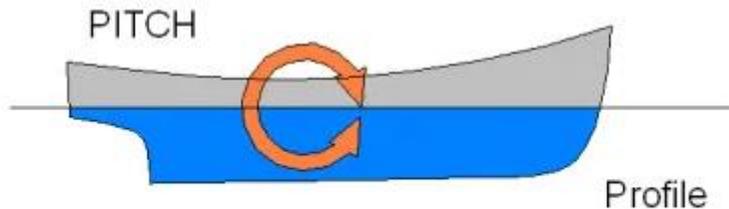
1. F<sub>x</sub> atau gaya yang bekerja pada sumbu x, merupakan perwakilan dari gerak translasi *surge*. Dari semua data yang didapatkan nilai dari F<sub>x</sub> adalah negatif, karena nilai tersebut merupakan perwakilan dari besar gaya yang bekerja berlawanan dengan model dan menandakan bahwa semua model yang disimulasikan bergerak kearah sumbu x positif atau melaju kedepan.
2. F<sub>y</sub> atau gaya yang bekerja pada sumbu y, merupakan perwakilan dari gerak translasi *sway*. Dari semua data yang didapatkan nilai positif, hal ini merupakan perwakilan besar gaya yang bekerja berlawanan model dan menandakan bahwa semua model disimulasikan bergerak kearah sumbu y negatif atau dalam hal ini model bergerak ke kanan.
3. F<sub>z</sub> atau gaya yang bekerja pada sumbu z, merupakan perwakilan dari gerak translasi *heave*. Dari semua data yang didapatkan nilai positif, hal ini merupakan perwakilan dari besar gaya yang berlawanan dengan model dan menandakan bahwa semua model yang disimulasikan bergerak kearah sumbu z negatif atau dalam hal ini, model bergerak ke bawah.

4.  $M_x$  atau *moment* yang bekerja pada sumbu x, merupakan perwakilan dari gerak rotasi *roll*, yang berarti model diputar pada sumbu x. Dari semua data yang didapatkan bernilai negatif, hal ini menandakan bahwa



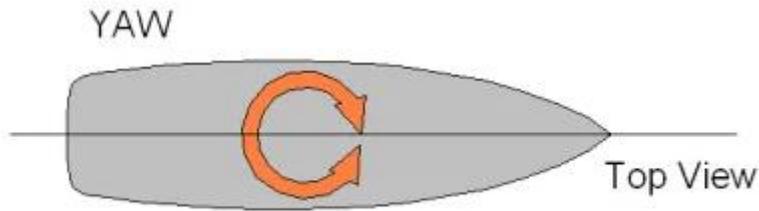
Gambar 4. 26 Gerak Rotasi *Rolling* pada Kapal

5.  $M_y$  atau *moment* yang bekerja pada sumbu y, merupakan perwakilan gerak rotasi *pitch*, yang berarti model diputar pada sumbu y. Dari semua data yang dihasilkan bernilai negative hal ini menandakan semua model diputar berlawanan dengan arah jarum jam dan hasil ini



Gambar 4. 27 Gerak Rotasi *Pitching* pada Kapal

6.  $M_z$  atau *moment* yang bekerja pada sumbu z, merupakan perwakilan dari gerak rotasi *yaw*, yang berarti model diputar pada sumbu z. Dari semua data yang dihasilkan bernilai negatif, hal ini

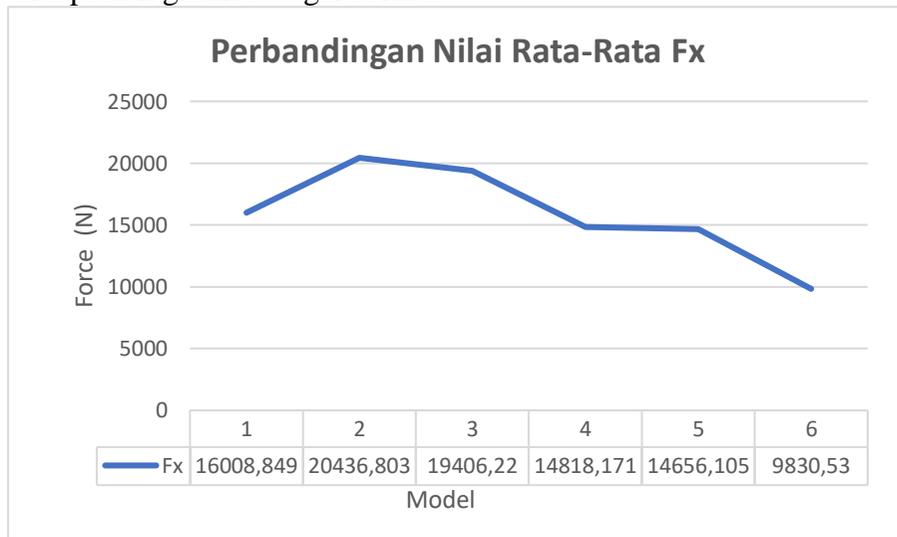


Gambar 4. 28 Gerak Rotasi *Yawing* pada Kapal

#### 4.4. Analisa Hasil Simulasi Tiap Model

##### 4.4.1 Analisa Hasil Fx

Dari data yang didapatkan untuk hasil Fx pada model knot, maka didapatkan grafik sebagai berikut



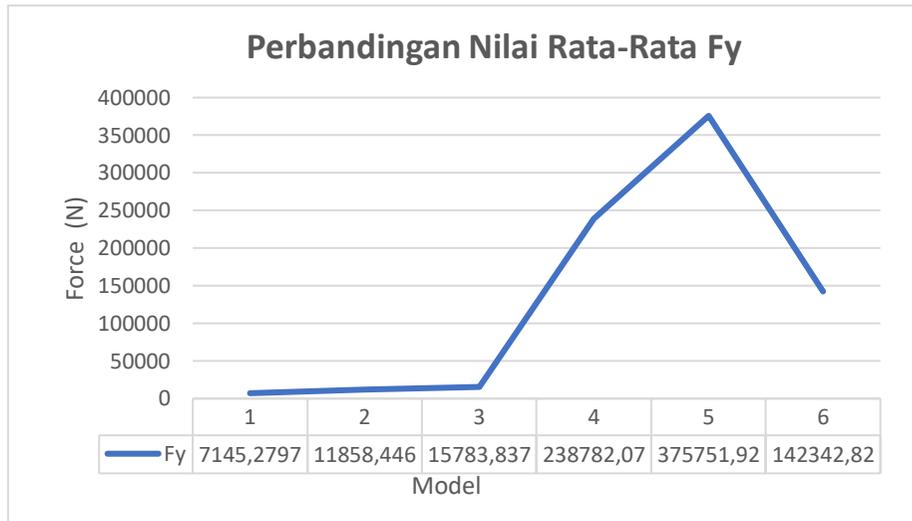
Gambar 4. 29 Grafik Rata-Rata Nilai Fx Tiap Model

Dari hasil grafik diatas menyatakan bahwa model yang mempunyai Fx terkecil adalah model ke-6 atau model dengan *hydroplane* variasi  $7^0$  yang diletakkan diatas posisi *real* yaitu sebesar - 9830,53 N dan untuk Fx terbesar adalah model ke-2 yaitu model dengan *hydroplane* asli diatas posisi *real* sebesar 20436,8 N. Hal ini menandakan bahwa hambatan yang terjadi pada model dengan *hydroplane* variasi dengan sudut  $7^0$  memiliki hambatan yang paling sedikit saat melakukan gerak *surgin*. Dalam hal ini dibutuhkan model

yang memiliki hambatan yang kecil agar lebih baik dalam melakukan gerakan *surging*.

#### 4.4.2 Analisa Hasil Fy

Dari data yang didapatkan untuk hasil Fy pada model, maka didapatkan grafik sebagai berikut

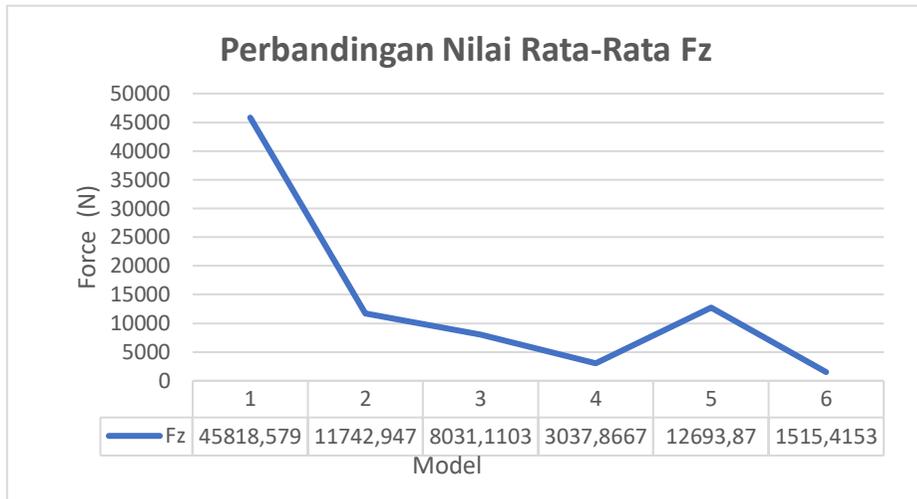


Gambar 4. 30 Grafik Rata-Rata Nilai Fy Tiap Model

Dari hasil grafik diatas menyatakan bahwa model yang mempunyai Fy terbesar adalah model ke-5 yaitu model dengan *hydroplane* variasi dengan sudut  $5^0$ , sebesar 37575,92 N dan untuk Fy terkecil adalah model ke-1 yaitu model dengan *hydroplane* asli yang diletakkan diatas possi *real* yaitu sebesar 7145,797 N. Data tersebut menandakan bahwa untuk model dengan *hydroplane* variasi dengan sudut  $5^0$  memiliki gerakan yang lebih cepat untuk melakukan gerak *swaying*. Dalam hal ini, jika model memiliki nilai Fy yang besar maka lambung pada kapal selam memiliki pengaruh yang besar untuk bergerak lurus secara bagus dikarenakan terdapat *heading* yang akan mengakibatkan kapal akan bergerak ke kiri maupun ke kanan.

### 4.4.3 Analisa Hasil Fz

Dari data yang didapatkan untuk hasil Fz pada, maka didapatkan grafik sebagai berikut

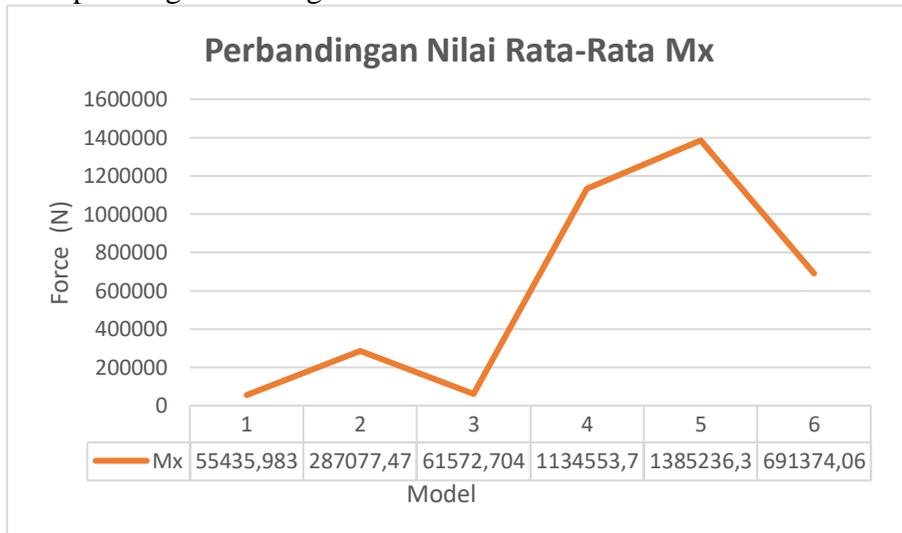


Gambar 4. 31 Grafik Rata-Rata Nilai Fz Tiap Model

Dari hasil grafik diatas menyatakan bahwa model yang mempunyai nilai Fz terbesar adalah model ke-5 yaitu model dengan *hydroplane* variasi dengan sudut  $5^0$ , sebesar 12815,006 N dan yang terkecil adalah model ke-4 yaitu model dengan *hydroplane* variasi dengan sudut  $0^0$ , sebesar 3018,802 N. Dalam hal ini, jika model memiliki nilai Fz yang besar, maka lambung kapal selam memiliki kemampuan untuk bergerak kearah bawah atau *heave* lebih baik dibandingkan lambung kapal selam yang memiliki nilai Fz yang kecil.

#### 4.4.4 Analisa Hasil Mx

Dari data yang didapatkan untuk hasil Mx pada model, maka didapatkan grafik sebagai berikut

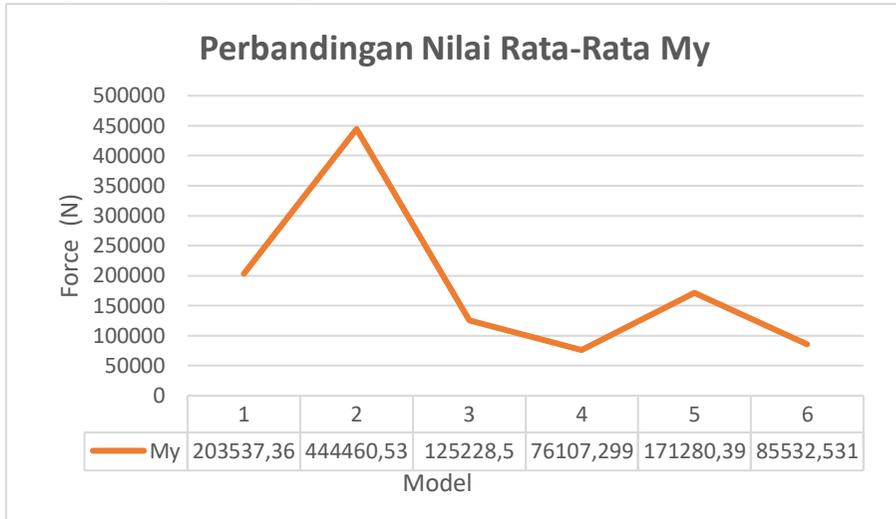


Gambar 4. 32 Grafik Rata-Rata Nilai Mx Tiap Model

Dari hasil grafik diatas maka dapat disimpulkan bahwa model lambung kapal selam yang memiliki Mx atau momen (*moment*) terhadap sumbu x terkecil adalah model ke-3 yaitu model dengan *hydroplane* asli dibawah posisi *real*, sebesar 61572,7 Nm dan yang terbesar adalah model ke-5 yaitu model dengan *hydroplane* variasi sudut  $5^0$  sebesar 1385236 Nm. Dalam hal ini, semakin kecil nilai dari Mx model kapal selam, maka akan semakin baik. Hal ini karena Mx merupakan gerakan rotasi *rolling*, sehingga semakin kecil nilai dari *rolling* suatu kapal, maka akan semakin baik dan sebaliknya jika nilai Mx semakin besar maka *rolling* yang terjadi pada kapal jua besar dan hal ini akan mengakibatkan kapal memiliki kemungkinan untuk terbalik atau memiliki kesulitan untuk kembali ke posisi awal setelah *rolling* terjadi.

#### 4.4.5 Analisa Hasil My

Dari data yang didapatkan untuk hasil My pada model, maka didapatkan grafik sebagai berikut

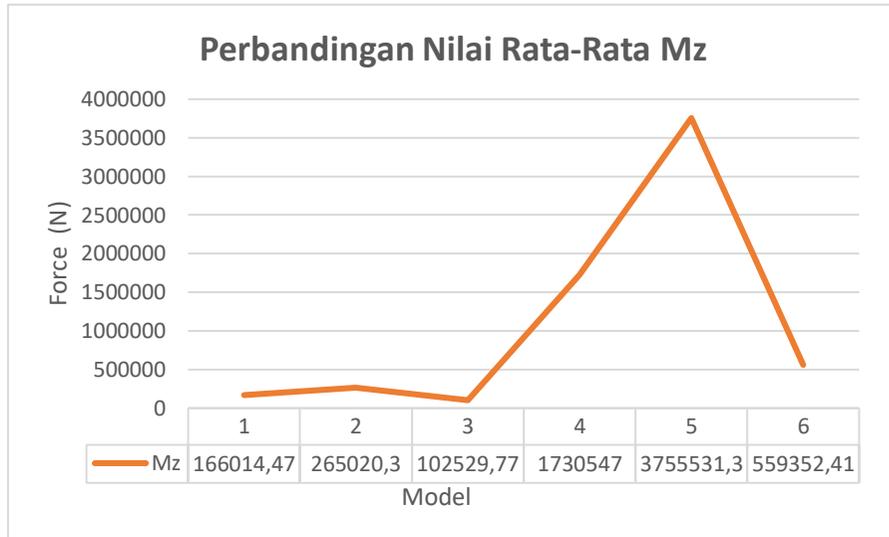


Gambar 4. 33 Grafik Rata-Rata Nilai My Tiap Model

Dari hasil grafik diatas, maka dapat disimpulkan bahwa model lambung kapal selam yang memiliki nilai My terkecil adalah model lambung kapal selam ke-5 yaitu model dengan *hydroplane* variasi sudut  $5^{\circ}$ , sebesar 171280,39 Nm dan mdel yang memiliki nilai My terbesar adalah model ke-2 yaitu model dengan *hydroplane* asli diletakkan diatas posisi *real*, sebesar 444460,5 Nm. Dalam kapal selam, semakin besar nilai My atau *pitching*, maka akan semakin bagus. Hal ini dikarenakan kapal selam dalam melakukan *diving* membutuhkan waktu yang singkat, sehingga semakin besar momen untuk melakukan gerakan rotasi *pitching* maka kemampuan penyelaman atau *diving* dari kapal selam juga akan semakin baik.

#### 4.4.6 Analisa Hasil Mz

Dari data yang didapatkan untuk hasil Mz pada model, maka didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 4. 34 Grafik Rata-Rata Nilai Mz Tiap Model

Dari hasil grafik diatas dapat disimpulkan bahwa model lambung kapal selam yang memiliki nilai Mz terkecil adalah model ke-3 yaitu model dengan *hydroplane* asli posisi *real*, sebesar 102529,77 Nm dan model lambung kapal selam yang memiliki nilai terbesar adalah model ke-5 yaitu model dengan *hydroplane* variasi sudut  $5^0$ , sebesar 3755531 Nm. Dalam hal ini semakin kecil nilai dari Mz yang dihasilkan oleh suatu lambung kapal selam, maka akan semakin baik. Hal ini dikarenakan posisi kapal akan stabil dalam kondisi melaju kedepan, karena nilai dari *swaying* dari kapal tersebut kecil dan *heading* dari gerakan kapal ke kanan maupun ke kiri akan minim

#### 4.5 Analisa Hasil Simulasi pada Koefisien Gerak *Diving*.

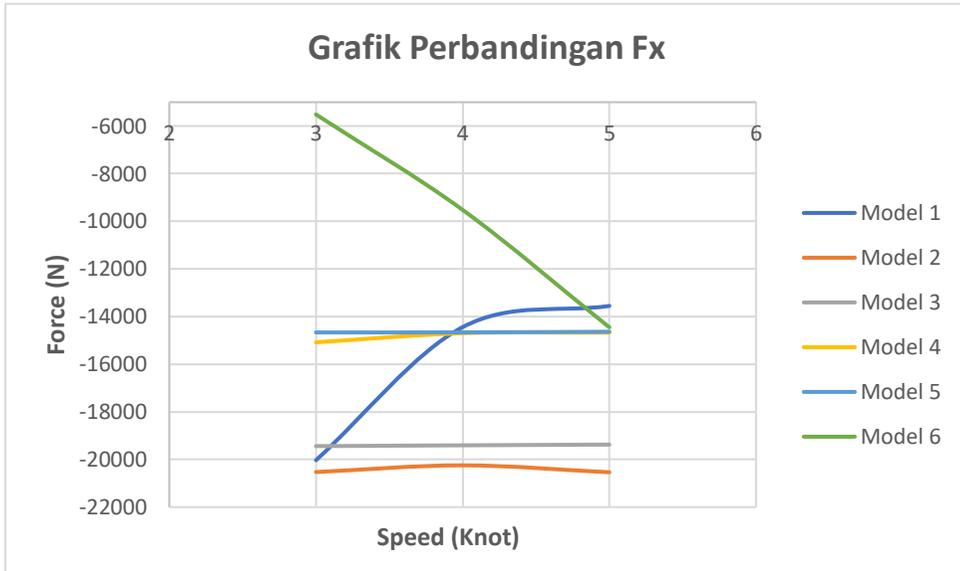
Gerak *diving* atau penyelaman merupakan salah satu gerak terpenting yang dimiliki oleh kapal selam, hal ini dikarenakan semakin cepat kapal selam mampu melakukan gerak *diving* maka kualitas dari kapal selam tersebut akan semakin baik. Gerak *diving* ini juga sangat dibutuhkan kapal selam dalam melakukan kegiatan-kegiatan patroli bawah laut.

Dari data yang sudah didapatkan, maka akan dilakukan analisa terhadap gaya dan momen yang berpengaruh pada gerakan *diving*, untuk itu

analisa yang dilakukan pada  $F_x$  atau *surge*,  $F_z$  atau *heave* dan  $M_y$  atau *pitch*. Selain data tersebut tidak dilakukan analisa, karena dalam penelitian kali ini olah gerak pada kemudi atau *rudder* dihiraukan atau *fixed*.

#### 4.5.1 Analisa Koefisien pada $F_x$ atau *Surge*

Dari data yang sudah didapatkan diatas, maka dihasilkan grafik perbandingan nilai  $F_x$  pada tiap model dengan variasi kecepatan 3 knot, 4 knot dan 5 knot sebagai berikut,



Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan  $F_x$  Tiap Model

Dari hasil grafik diatas, maka didapatkan persamaan untuk tiap model sebagai berikut.

1. Model 1 memiliki persamaan :  
 **$X_u = 3239,2x - 28966$**
2. Model 2 memiliki persamaan :  
 **$X_u = -5,3495x - 20415$**
3. Model 3 memiliki persamaan :  
 **$X_u = 32,445x - 19536$**
4. Model 4 memiliki persamaan :  
 **$X_u = 201,66x - 15625$**
5. Model 5 memiliki persamaan :  
 **$X_u = 15,423x - 14718$**
6. Model 6 memiliki persamaan :  
 **$X_u = -4469,4x + 8047,1$**

Dari persamaan yang didapatkan, selanjutnya akan dikonversikan kedalam bentuk non-dimensional. Dalam pengkonversian kedalam bentuk non-dimensional digunakan rumus seperti berikut :

$$X'u = Xu / (1/2\rho U^2 L^2)$$

Unit	Prime system I	Prime system II	Bis system
Length	$L$	$L$	$L$
Mass	$\frac{1}{2}\rho L^3$	$\frac{1}{2}\rho L^2 T$	$\mu\rho\nabla$
Inertia moment	$\frac{1}{2}\rho L^5$	$\frac{1}{2}\rho L^4 T$	$\mu\rho\nabla L^2$
Time	$\frac{L}{U}$	$\frac{L}{U}$	$\sqrt{L/g}$
Reference area	$L^2$	$LT$	$\mu \frac{2\nabla}{L}$
Position	$L$	$L$	$L$
Angle	1	1	1
Linear velocity	$U$	$U$	$\sqrt{Lg}$
Angular velocity	$\frac{U}{L}$	$\frac{U}{L}$	$\sqrt{g/L}$
Linear acceleration	$\frac{U^2}{L}$	$\frac{U^2}{L}$	$g$
Angular acceleration	$\frac{U^2}{L^2}$	$\frac{U^2}{L^2}$	$\frac{g}{L}$
Force	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^2$	$\frac{1}{2}\rho U^2 LT$	$\mu\rho g\nabla$
Moment	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^3$	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^2 T$	$\mu\rho g\nabla L$

Gambar 4. 36 Tabel Normalisasi Variabel Force

Keterangan :

$Xu$  = persamaan gaya surge terhadap kecepatan

$X'u$  = koefisien dari gaya surge

$P$  = massa jenis (1,025 kg/m<sup>3</sup>)

$U$  = kecepatan model (m/s)

$L$  = panjang kapal (m)

Contoh perhitungan untuk model 1

$$X'u = Xu / (1/2\rho U^2 L^2)$$

$$= \underline{(3239,2x - 28966)}$$

$$(0,5*1,025*U^2*(60^2))$$

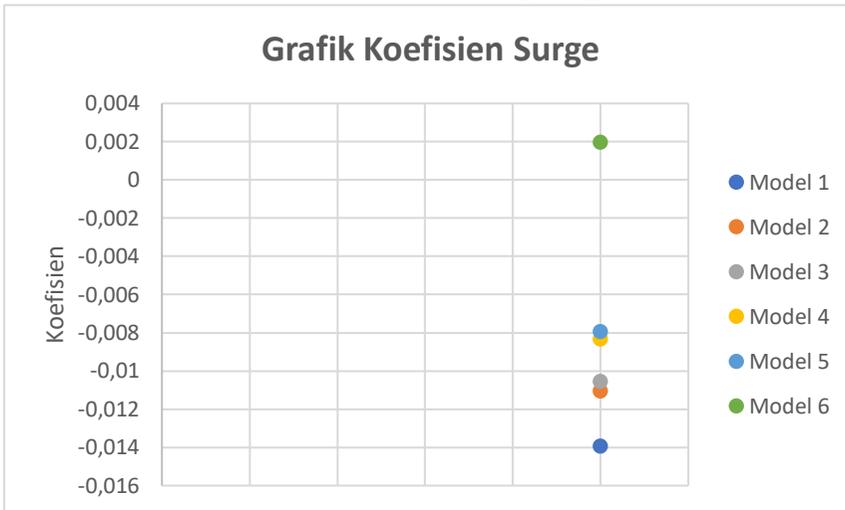
$$= -0,013944065$$

Maka, didapatkan hasil koefisien surge tiap model adalah sebagai berikut :

Model	Koefisien Surge
1	-0,013944065
2	-0,01106794

3	-0,010571033
4	-0,008359534
5	-0,007968876
6	0,001939133

Tabel 4. 7 Tabel Koefisien *Surge* Tiap Model



Gambar 4. 37 Grafik Koefisien *Surge* atau  $F_x$

#### 4.5.2 Analisa Koefisien pada $F_z$ atau *Heave*

Dari data yang sudah didapatkan diatas, maka dihasilkan grafik perbandingan nilai  $F_z$  pada tiap model dengan variasi kecepatan 3 knot, 4 knot dan 5 knot sebagai berikut,



Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan  $F_z$  Tiap Model

Dari hasil grafik diatas, maka didapatkan persamaan untuk tiap model sebagai berikut.

1. Model 1 memiliki persamaan :  
 **$Zu = 1028,9x + 6903$**
2. Model 2 memiliki persamaan :  
 **$Zu = -188,32x + 12496$**
3. Model 3 memiliki persamaan :  
 **$Zu = -23,063x + 8123,4$**
4. Model 4 memiliki persamaan :  
 **$Zu = 19,879x + 2958,4$**
5. Model 5 memiliki persamaan :  
 **$Zu = 166,45x - 13360$**
6. Model 6 memiliki persamaan :  
 **$Zu = -708,04x + 1316,8$**

Dari persamaan yang didapatkan, selanjutnya akan dikonversikan kedalam bentuk non-dimensional. Dalam pengkonversian kedalam bentuk non-dimensional digunakan rumus seperti berikut :

$$Z'u = Zu / (1/2pU^2L^2)$$

Keterangan :

$Zu$  = persamaan gaya *heave* terhadap kecepatan

$Z'u$  = koefisien dari gaya *heave*

$P$  = massa jenis ( $1,025 \text{ kg/m}^3$ )

$U$  = kecepatan model (m/s)

$L$  = panjang kapal (m)

Contoh perhitungan untuk model 1

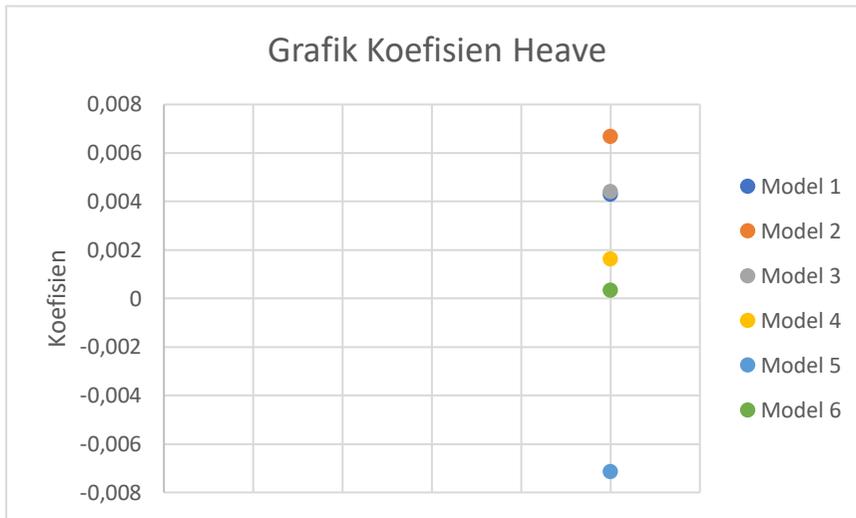
$$\begin{aligned} Z'u &= Zu / (1/2pU^2L^2) \\ &= \underline{(1028,9x + 6903)} \\ &\quad (0,5 * 1,025 * U^2 * (60^2)) \\ &= \mathbf{0,004299133} \end{aligned}$$

Maka, didapatkan hasil koefisien *heave* tiap model adalah sebagai berikut :

Model	Koefisien Heave
1	0,004299133
2	0,006670829

3	0,004390427
4	0,001614243
5	-0,007150976
6	0,000329951

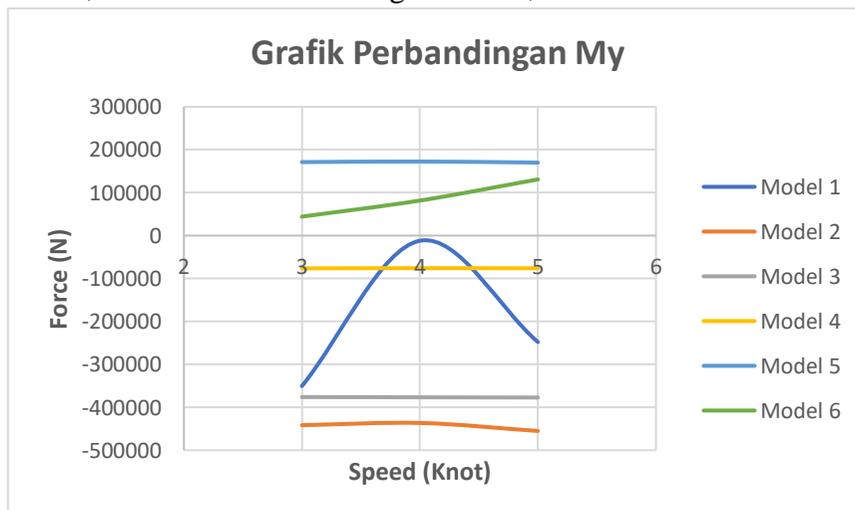
Tabel 4. 8 Tabel Koefisien *Heave* Tiap Model



Gambar 4. 39 Grafik Koefisien *Heave* atau  $F_z$

### 4.5.3 Analisa Koefisien pada $M_y$ atau *Pitch*

Dari data yang sudah didapatkan diatas, maka dihasilkan grafik perbandingan nilai  $M_y$  pada tiap model dengan variasi kecepatan 3 knot, 4 knot dan 5 knot sebagai berikut,



Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan  $M_y$  Tiap Model

Dari hasil grafik diatas, maka didapatkan persamaan untuk tiap model sebagai berikut.

1. Model 1 memiliki persamaan My:  
**Mu= 51239x - 408493**
2. Model 2 memiliki persamaan My :  
**Mu = -6778x - 417348**
3. Model 3 memiliki persamaan My :  
**Mu = -534,66x - 374599**
4. Model 4 memiliki persamaan My :  
**Mu = 114,57x - 76566**
5. Model 5 memiliki persamaan My  
**Mu = -592,78x + 173652**
6. Model 6 memiliki persamaan My  
**Mu = 43349x - 87862**

Dari persamaan yang didapatkan, selanjutnya akan dikonversikan kedalam bentuk non-dimensional. Dalam pengkonversian kedalam bentuk non-dimensional digunakan rumus seperti berikut :

$$M'u = Mu / (1/2\rho U^2 L^3)$$

Unit	Prime system I	Prime system II	Bis system
Length	L	L	L
Mass	$\frac{1}{2}\rho L^3$	$\frac{1}{2}\rho L^2 T$	$\mu\rho\nabla$
Inertia moment	$\frac{1}{2}\rho L^5$	$\frac{1}{2}\rho L^4 T$	$\mu\rho\nabla L^2$
Time	$\frac{L}{U}$	$\frac{L}{U}$	$\sqrt{L/g}$
Reference area	L <sup>2</sup>	LT	$\mu \frac{2\nabla}{L}$
Position	L	L	L
Angle	1	1	1
Linear velocity	U	U	$\sqrt{Lg}$
Angular velocity	$\frac{U}{L}$	$\frac{U}{L}$	$\sqrt{g/L}$
Linear acceleration	$\frac{U^2}{L}$	$\frac{U^2}{L}$	g
Angular acceleration	$\frac{U^2}{L^2}$	$\frac{U^2}{L^2}$	$\frac{g}{L}$
Force	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^2$	$\frac{1}{2}\rho U^2 LT$	$\mu\rho g\nabla$
Moment	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^3$	$\frac{1}{2}\rho U^2 L^2 T$	$\mu\rho g\nabla L$

Gambar 4. 41 Tabel Normalisasi Variabel *Moment*

Keterangan :

Mu = persamaan momen *pitch* terhadap kecepatan

M'u = koefisien dari momen *pitch*

P = massa jenis (1,025 kg/m<sup>3</sup>)

U = kecepatan model (m/s)

L = panjang kapal (m)

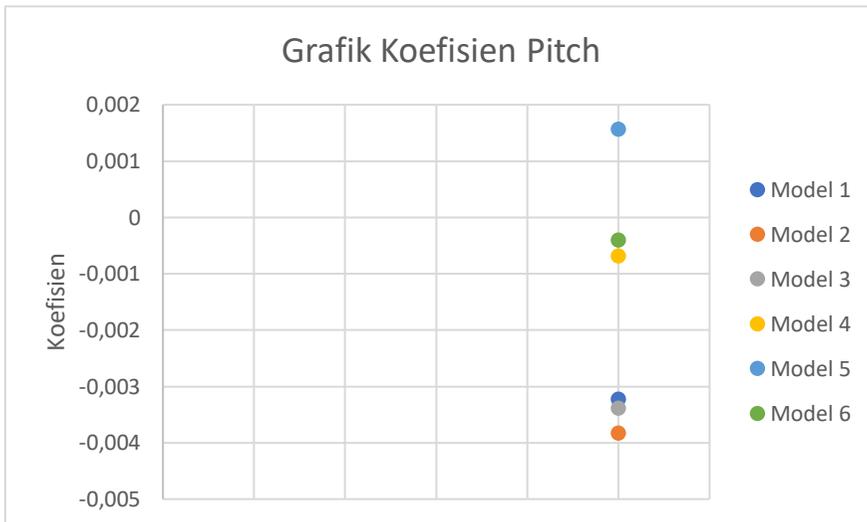
Contoh perhitungan untuk model 1

$$\begin{aligned}
 M'u &= Mu / (1/2\rho U^2 L^3) \\
 &= \frac{(51239x - 408493)}{(0,5*1,025*U^2*(60^3))} \\
 &= -0,003227227
 \end{aligned}$$

Maka, didapatkan hasil koefisien *heave* tiap model adalah sebagai berikut :

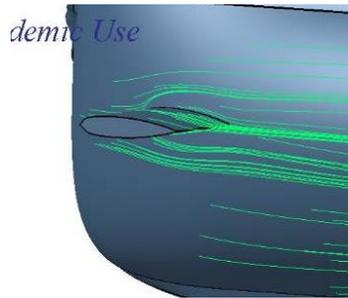
Model	Koefisien <i>Pitch</i>
1	-0,029695483
2	-0,004728202
3	-0,003386857
4	-0,000718264
5	0,00141835
6	3,97534E-05

Tabel 4. 9 Tabel Koefisien *Pitch* Tiap Model

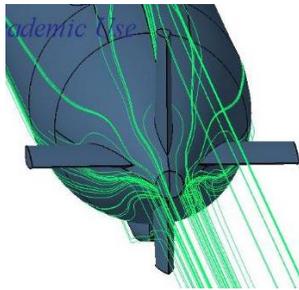


Gambar 4. 42 Grafik Koefisien *Pitch* atau My

#### 4.6 Hasil CfView pada Lambung Kapal Selam



Gambar 4. 44 Gambar Aliran pada *Hydroplane* Kapal Selam



Gambar 4. 43 Gambar Aliran pada *Rudder* Kapal Selam

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan Analisa yang telah dilakukan pada semua model yang telah dibuat, maka dapat diambil kesimpulan ringkasan sebagai berikut,

1. Dalam variasi posisi dan bentuk dari *hydroplane* kapal selam yang dibuat, memiliki pengaruh yang berbeda terhadap *force* atau gaya yang dihasilkan. Dari data yang telah dikumpulkan dan telah dianalisa, dapat disimpulkan untuk nilai rata-rata tiap model, didapatkan nilai  $F_z$  terbesar adalah model 2 sebesar 20436,8N;  $F_y$  terbesar adalah model 5 sebesar 375752 N;  $F_x$  terbesar adalah model 1 sebesar 45818,6 N. Dalam gaya penunjang gerak *diving* didapatkan koefisien dari *surge* terbesar adalah model 6 yaitu -0,001939133 dan koefisien dari *heave* terbesar adalah model 2 yaitu 0,006670829.
2. Dalam variasi posisi dan bentuk *hydroplane* kapal selam yang dibuat dan disimulasikan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap momen atau *moment* yang dihasilkan. Dari data yang telah dikumpulkan dan telah dianalisa, dapat disimpulkan untuk nilai rata-rata dari tiap model, didapatkan  $M_x$  terbesar adalah model 5 sebesar 1385236 Nm;  $M_y$  terbesar adalah model 2 sebesar 444461 Nm;  $M_z$  terbesar adalah model 5 sebesar 3755531 Nm. Dalam momen penunjang gerak *diving* didapatkan koefisien dari *pitch* atau  $M_y$  terbesar adalah model 5 yaitu 0,001563317.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan dalam proses penyelesaian masalah ini adalah sebagai berikut,

1. Perlu adanya perangkat yang memadai dan cukup untuk melakukan simulasi, sehingga simulasi dapat dilakukan secara merata untuk mahasiswa dan memungkinkan untuk meningkatkan jumlah *cell* untuk tiap modelnya agar hasil lebih akurat.
2. Perlu adanya asistensi rutin yang dilakukan selama pengerjaan terutama untuk kondisi pandemi Covid-19 yang mengakibatkan susah berkomunikasi dan menentukan waktu untuk asistensi daring.
3. Apabila diperbolehkan dan diijinkan untuk melakukan pengerjaan tugas akhir menggunakan data yang lengkap dan data yang

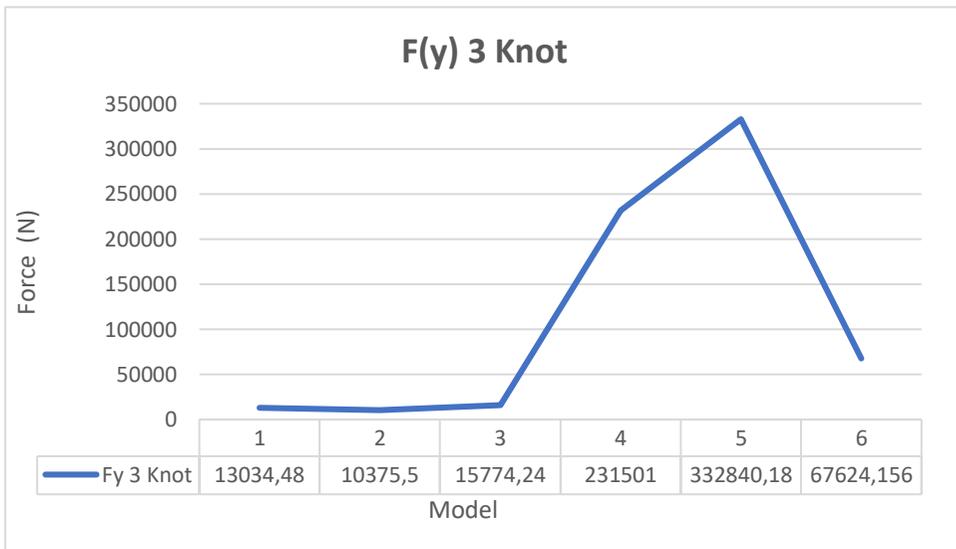
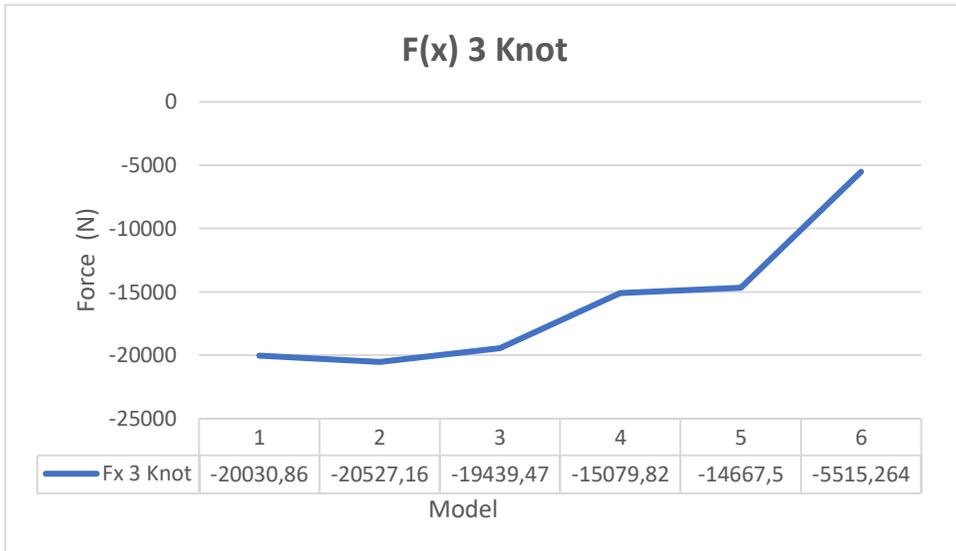
sebenarnya agar pengerjaan lebih mudah dan hasil yang didapatkan akurat dan persis dengan kondisi *real* yang sudah ada.

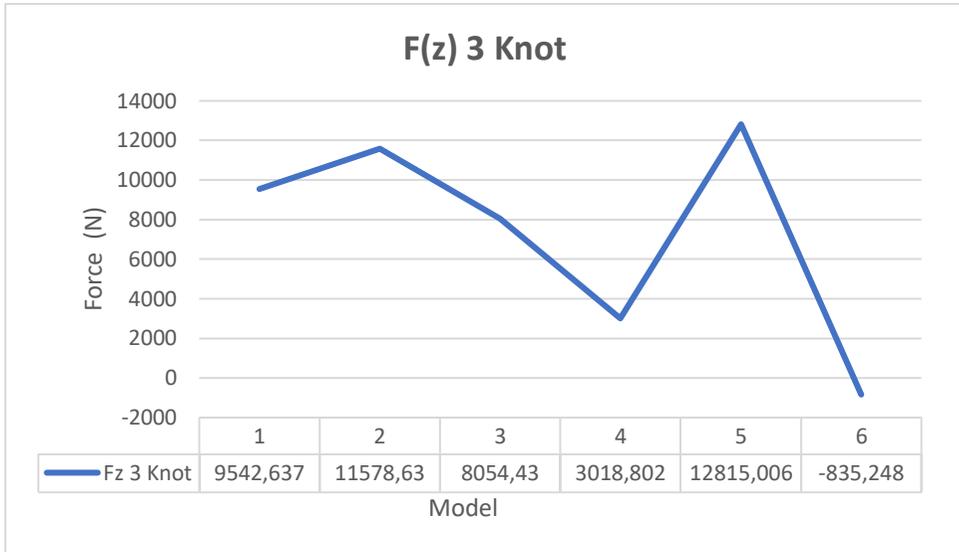
## DAFTAR PUSTAKA

- Thor I. Fossen. *Handbook of Marine Craft Hydrodynamic and Motion Control*.  
Norwegia : Trondheim, 2011.
- Richard C. Dorf and Robert H. Bishop. *Modern Control System , 12<sup>th</sup> Edition*.  
New Jersey : Upper Saddle River, 2011.
- Ong Li Koon, Liu Chee Kong, and Toh Chee Wee. *Introduction to Submarine  
Design*. Singapore, 2011.
- A.F Molland dkk. "Chapter 8: Manouvering, Maritime Engineering Reference  
Book. UK: Southampton, 2008.
- Martin Renilson. "Chapter 3 : Manouvering and Control, Submarine  
Hydrodynamic , 2<sup>nd</sup> Edition. Australia : Tasmania. 2018
- Erik Lind and Magnus Meijer. *Simulation and Control of Submarine*. Sweden  
: Lund. 2014
- Minghui Wang dkk. *Hybird Intelegent Control for Submarine Stabilizationi*,  
International Journal of Advance Robotic System. China : Guangdong. 2013
- Nugroho, W. H. (2007). *Perancangan Kapal Selam Berdasarkan Kajian  
Berat, Daya Apung dan Stabilitas Statisnya*.

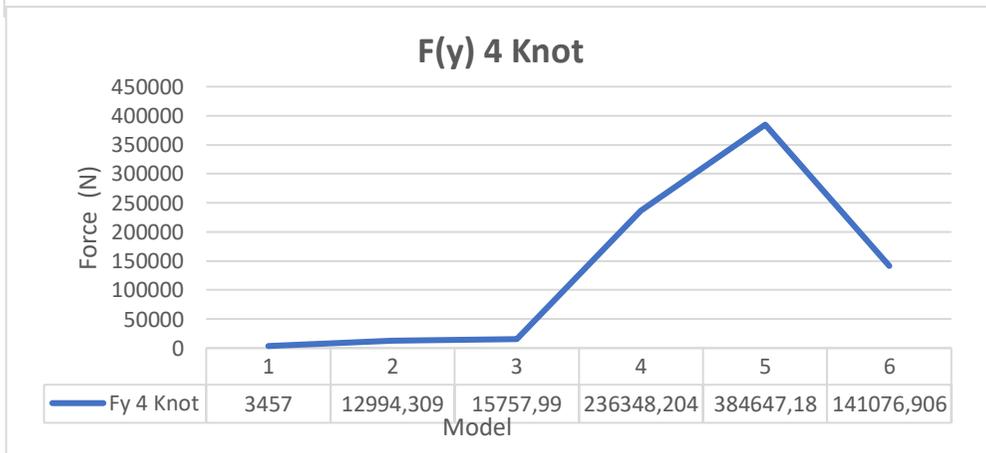
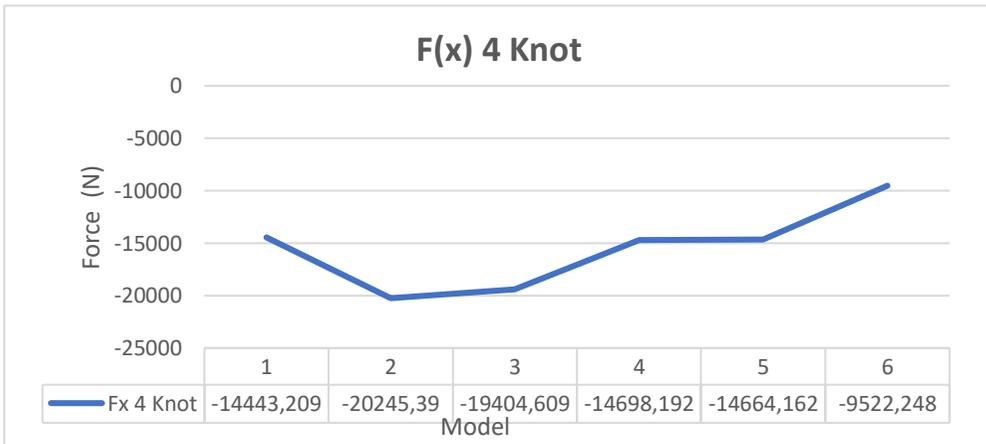
## LAMPIRAN

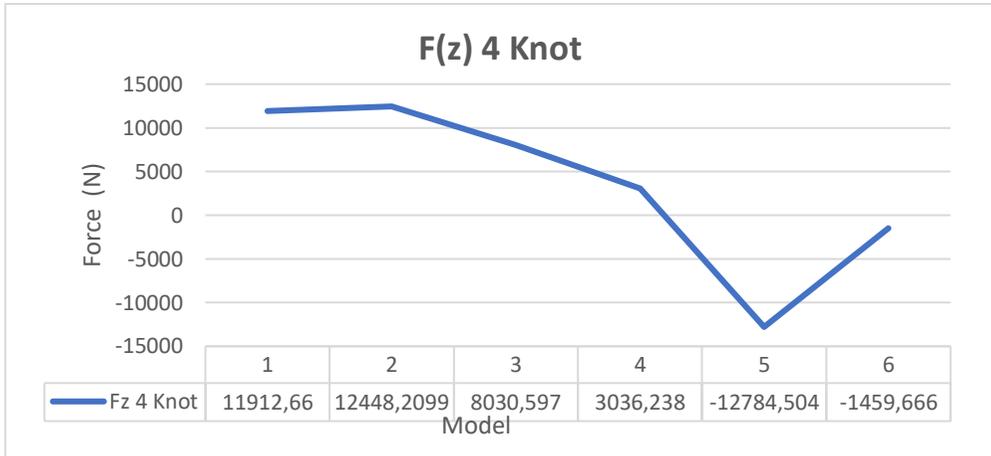
### 1. Grafik Perbandingan Fx Fy dan Fz pada kecepatan 3 Knot



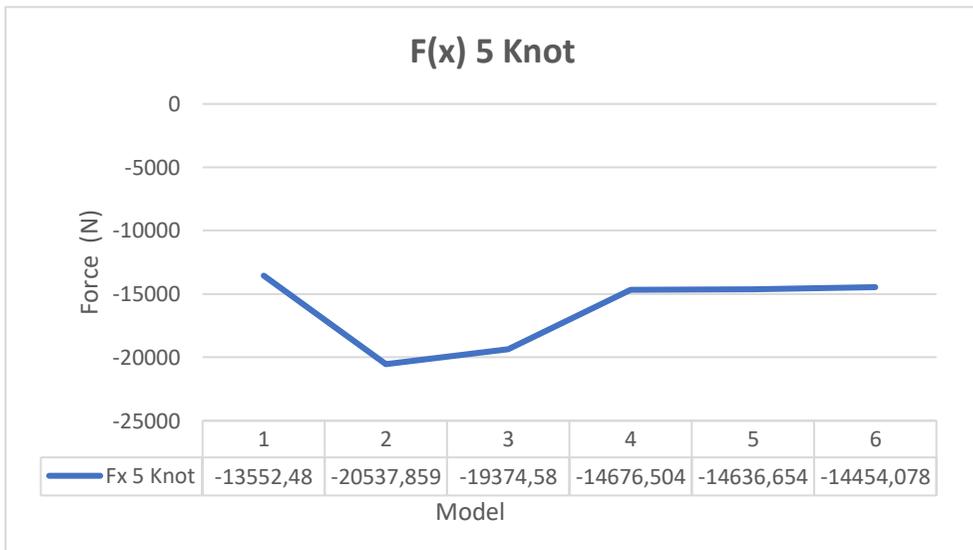


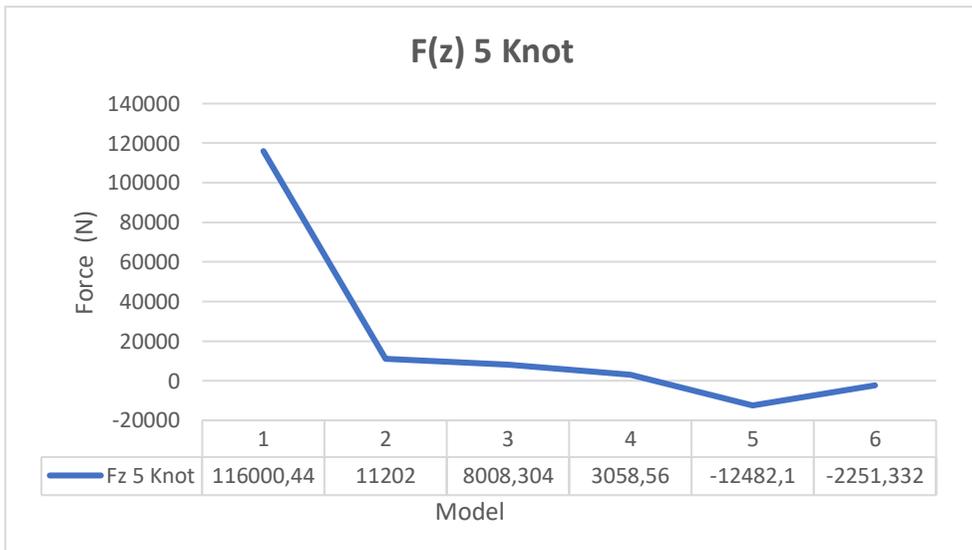
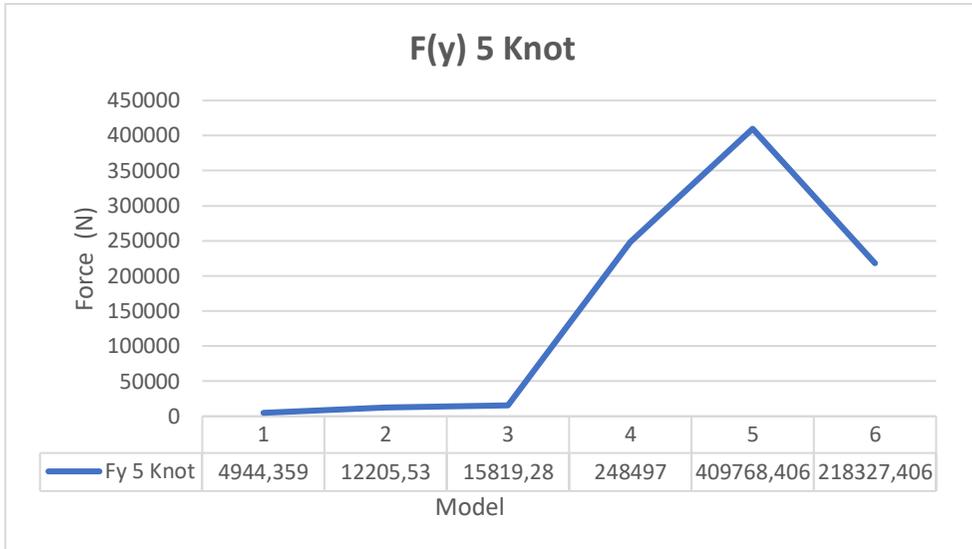
## 2. Grafik Perbandingan Fx Fy dan Fz pada kecepatan 4 Knot



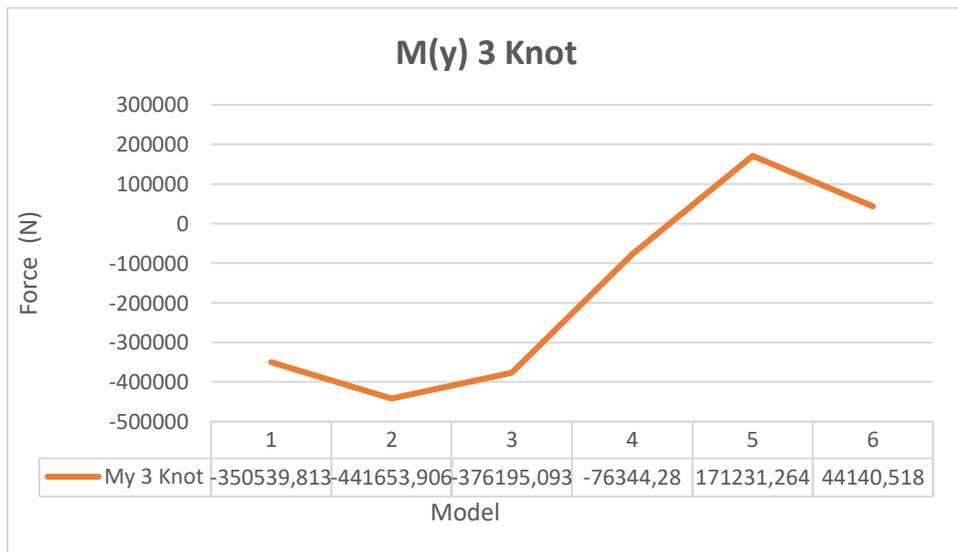
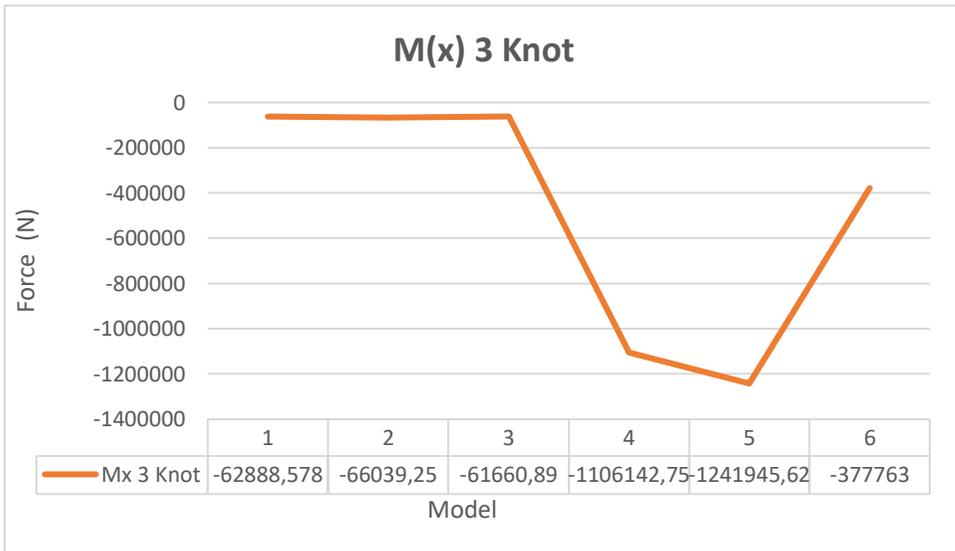


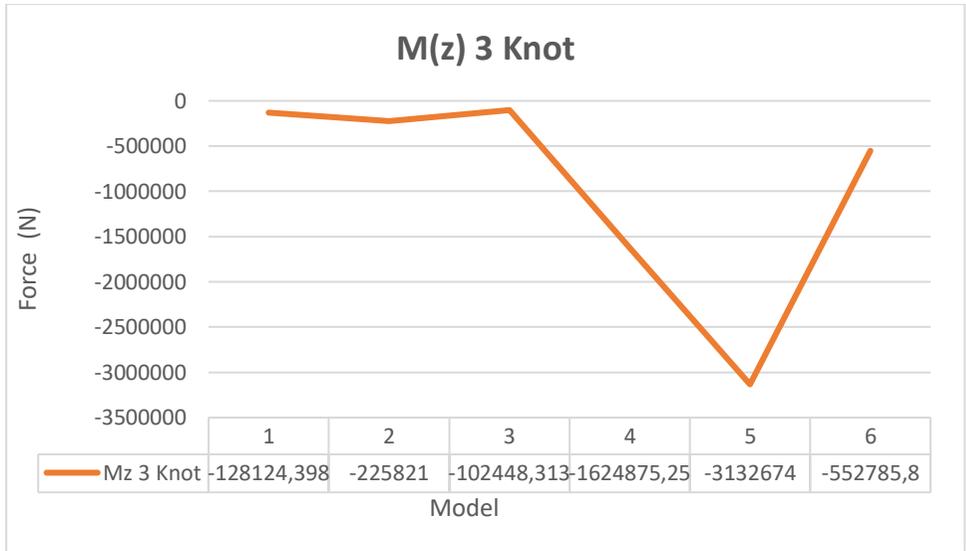
### 3. Grafik Perbandingan Fx Fy dan Fz pada kecepatan 5 Knot



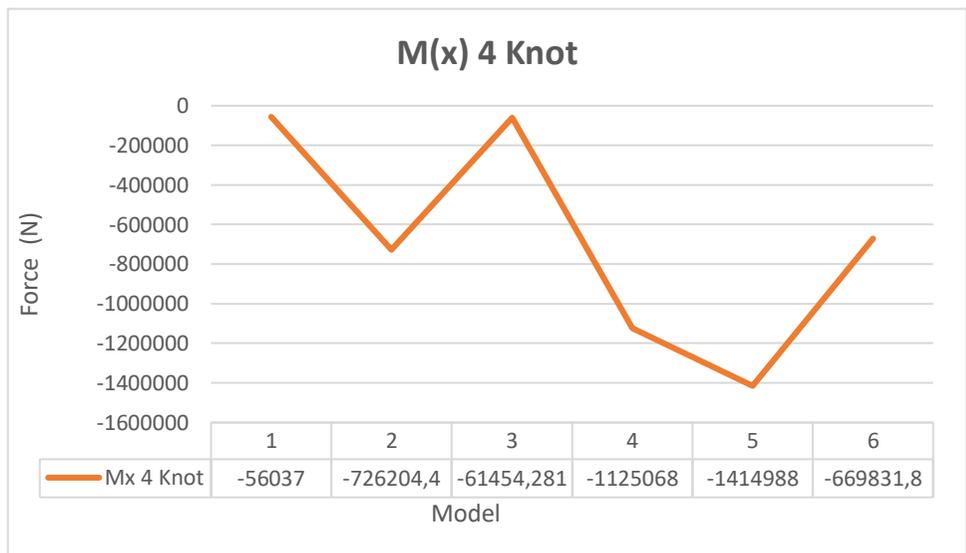


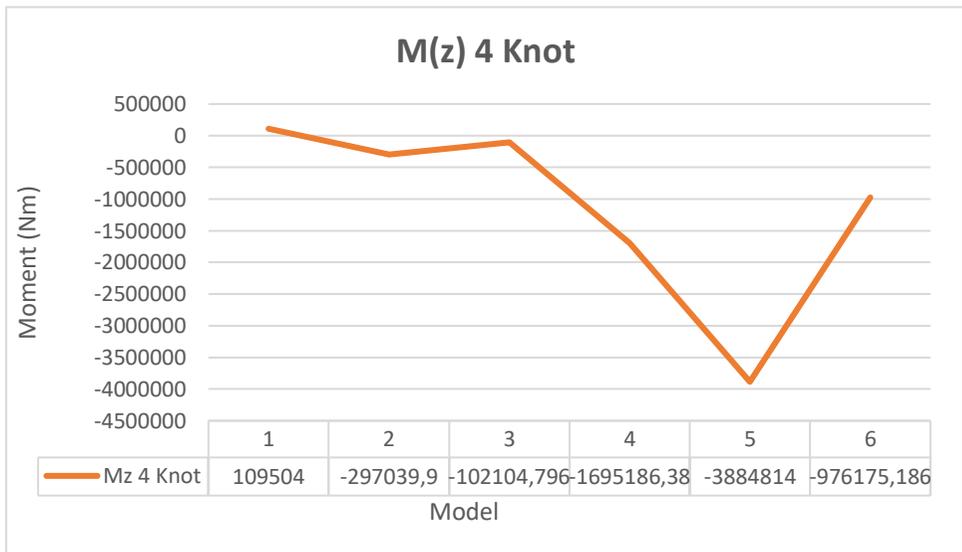
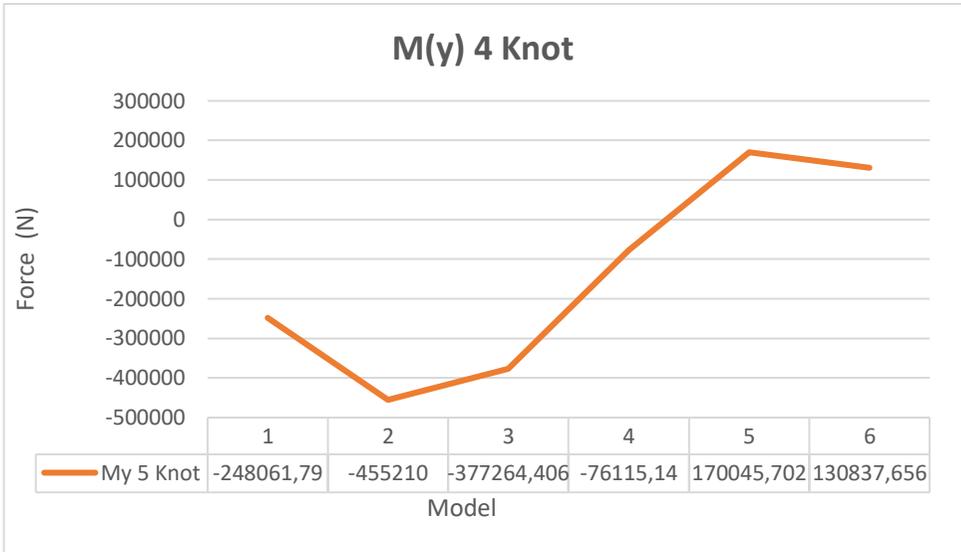
#### 4. Grafik Perbandingan Mx My dan Mz pada kecepatan 3 Knot



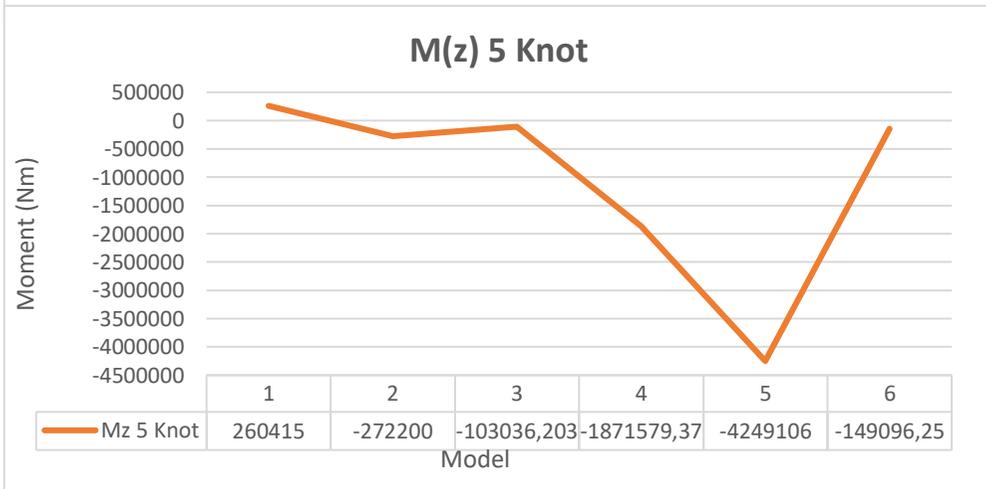
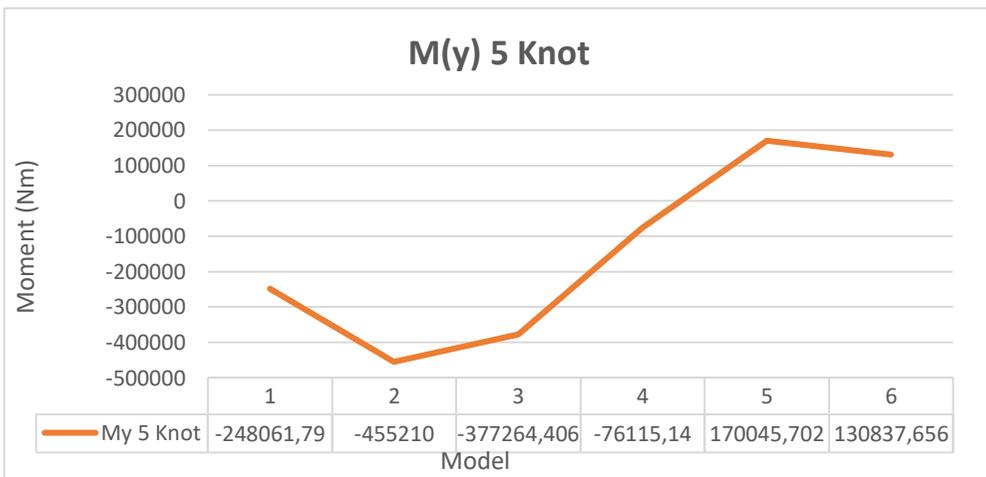
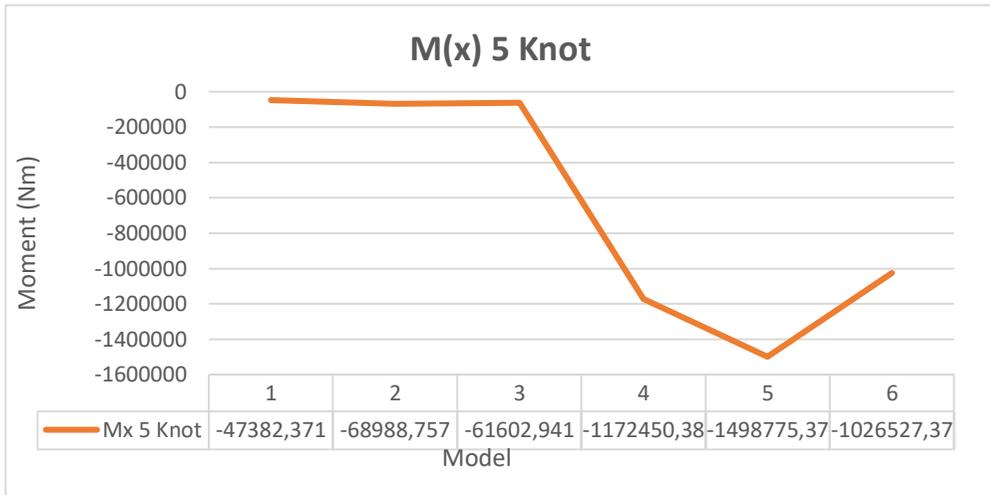


**5. Grafik Perbandingan Mx My dan Mz pada kecepatan 4 Knot**



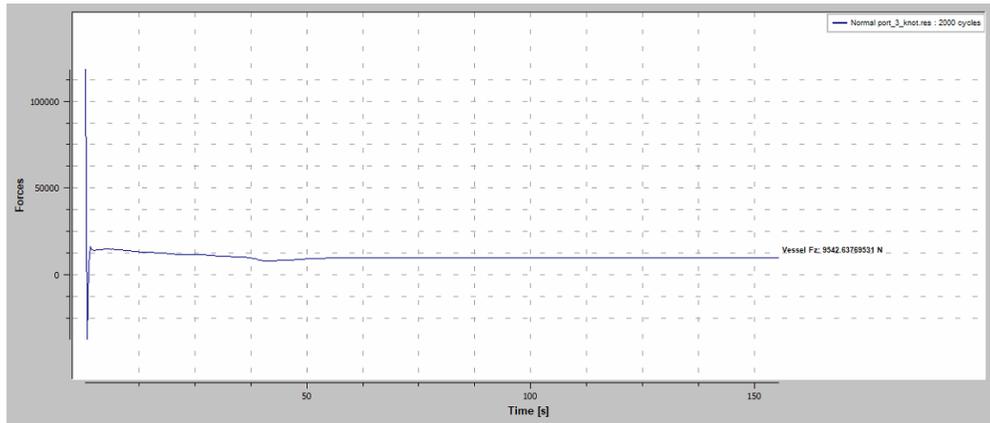
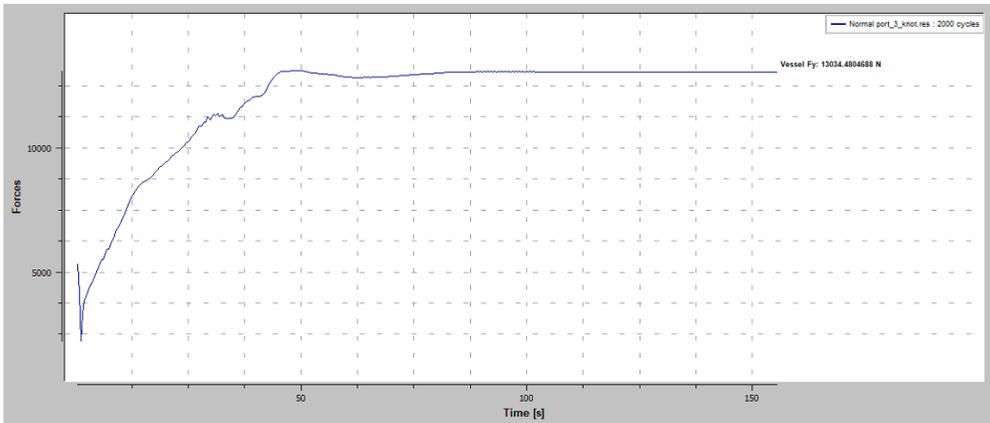
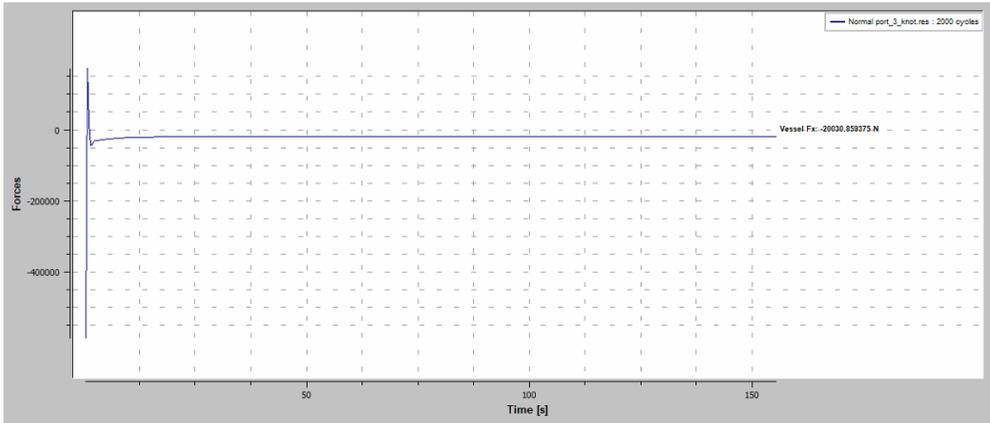


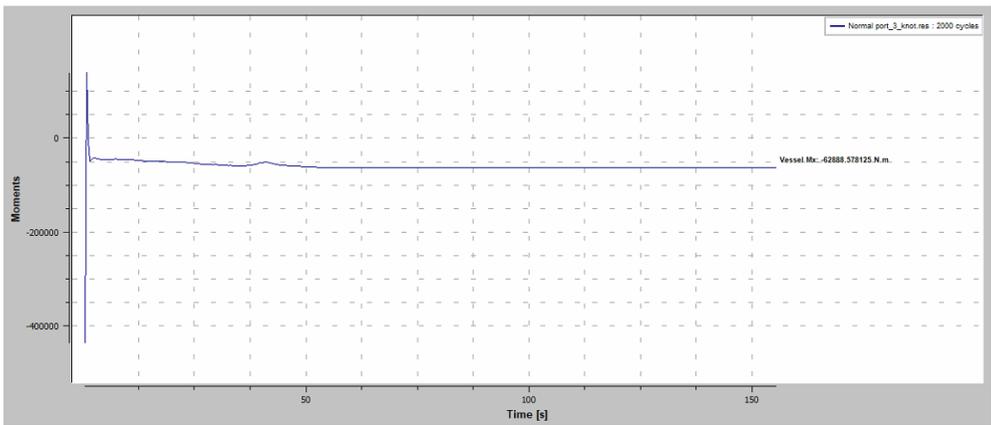
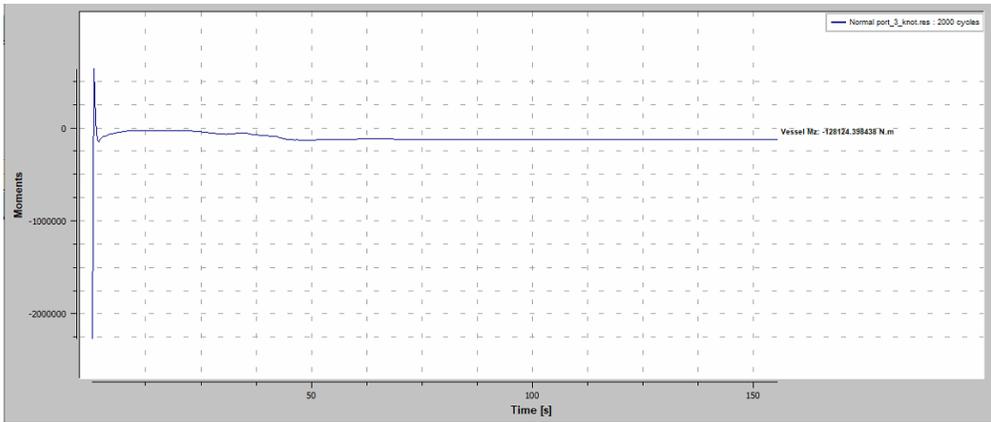
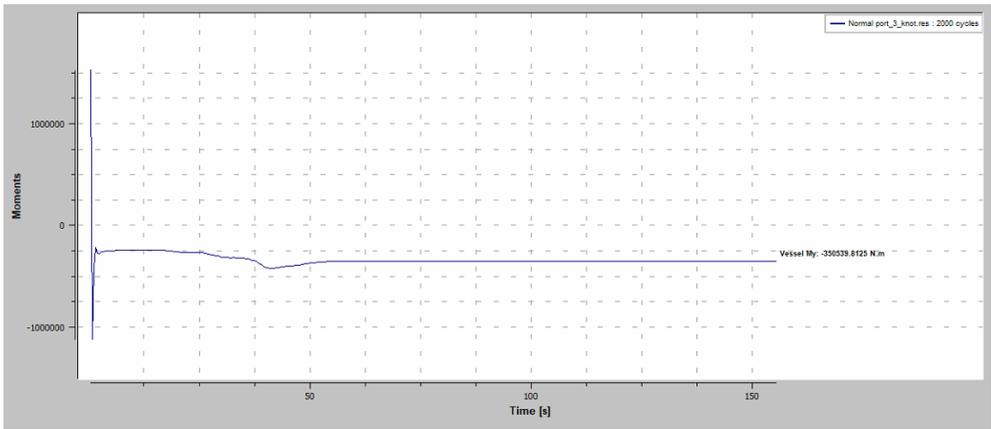
6. Grafik Perbandingan Mx My dan Mz pada kecepatan 5 Knot



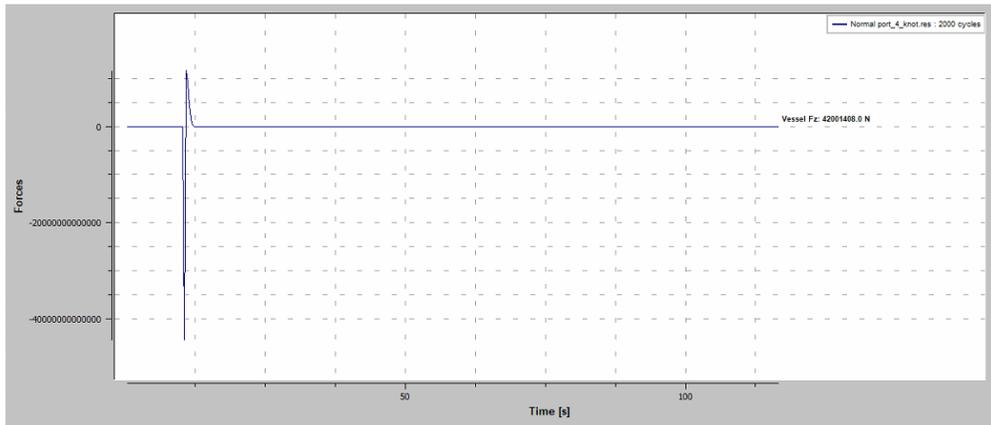
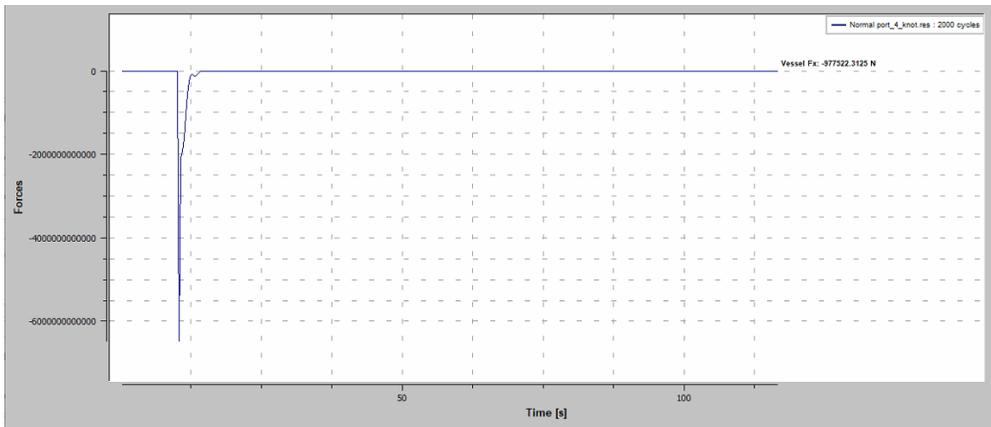
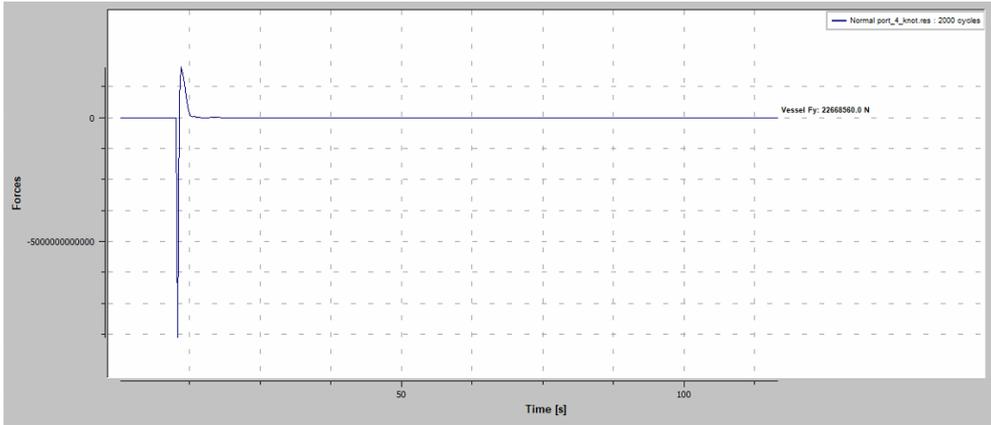
## 7. Hasil Simulasi Hydroplane Asli Posisi *Real*

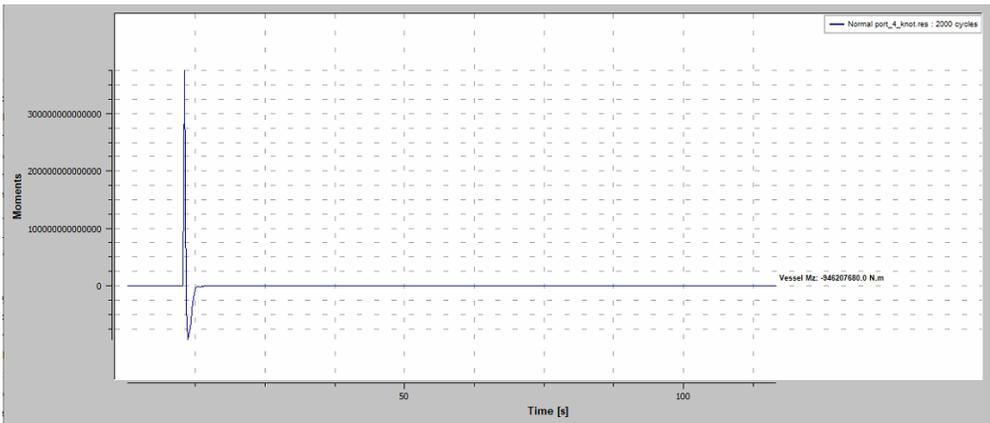
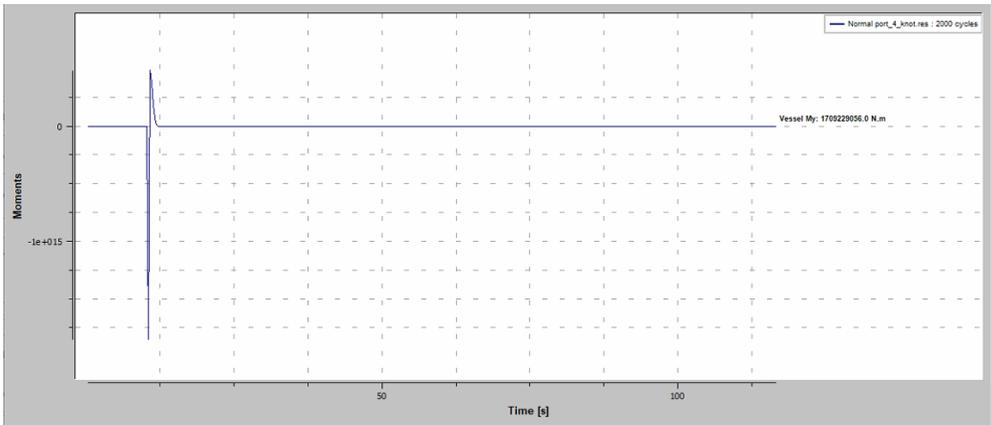
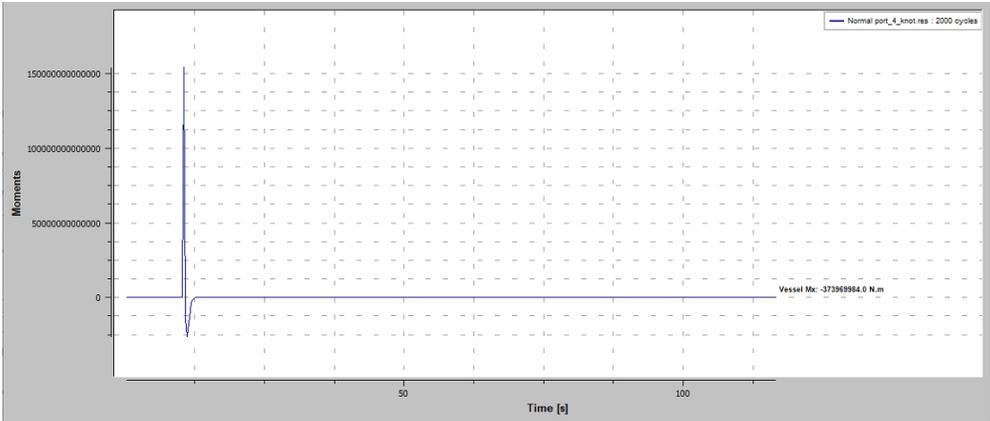
- 3 Knot



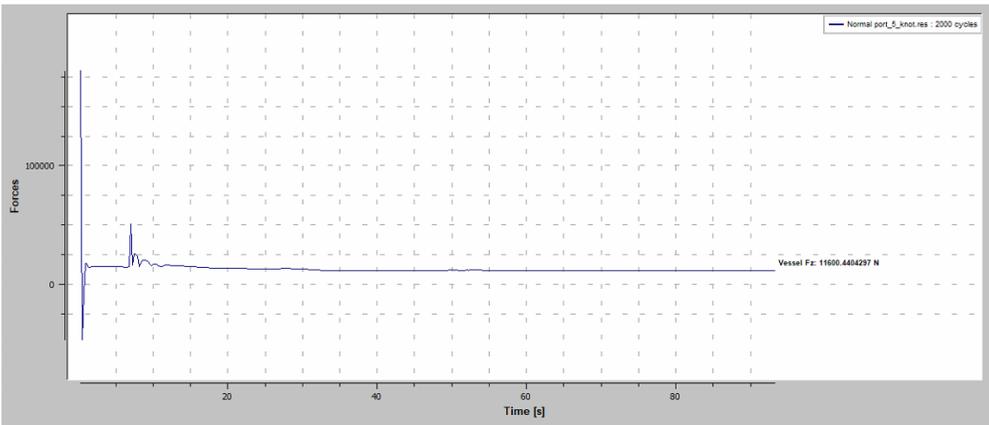
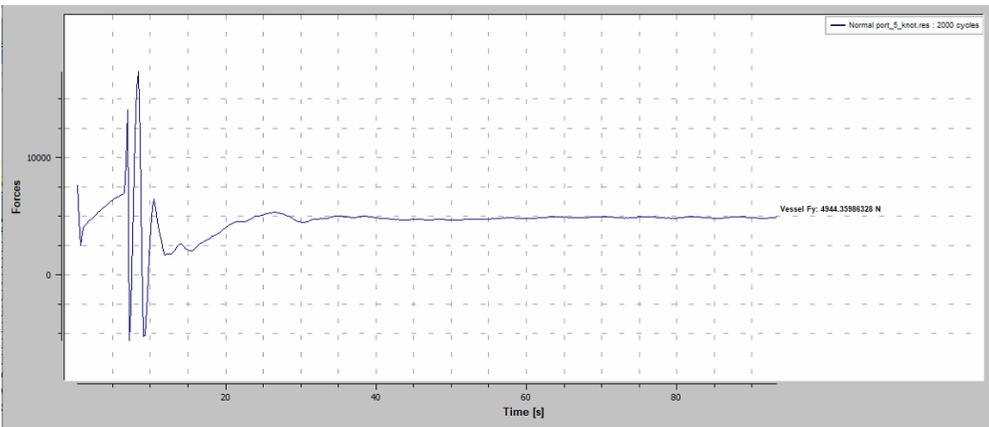
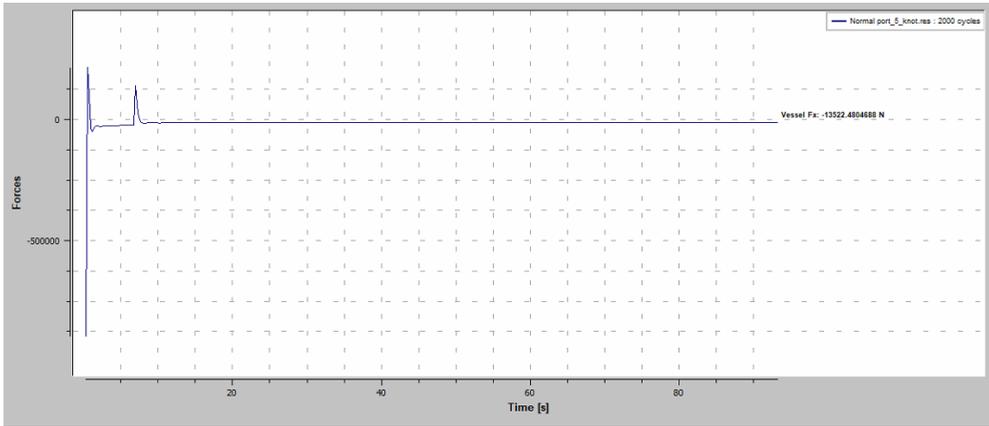


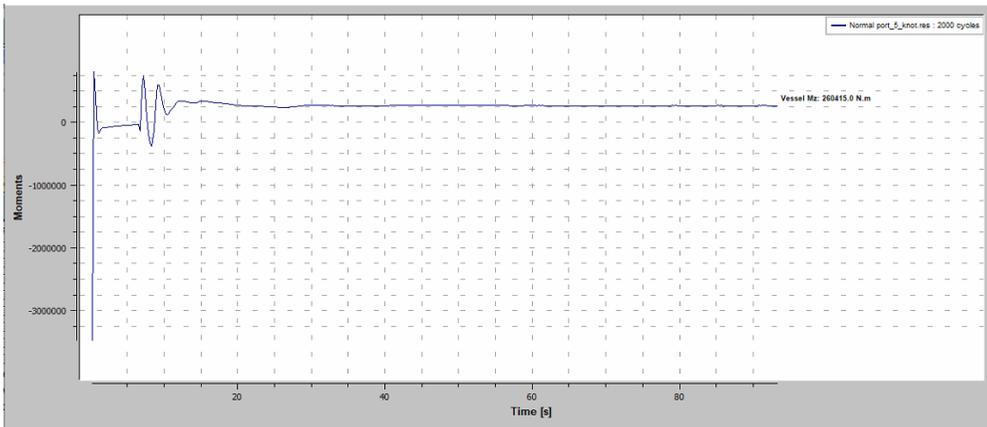
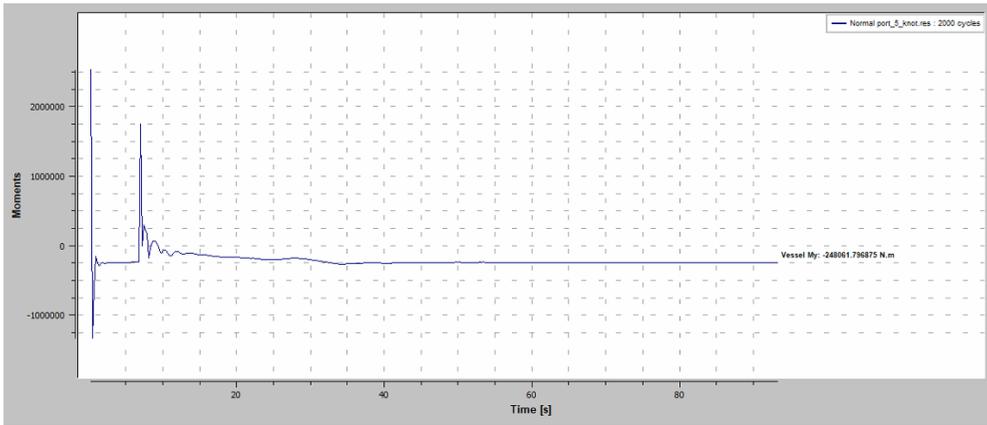
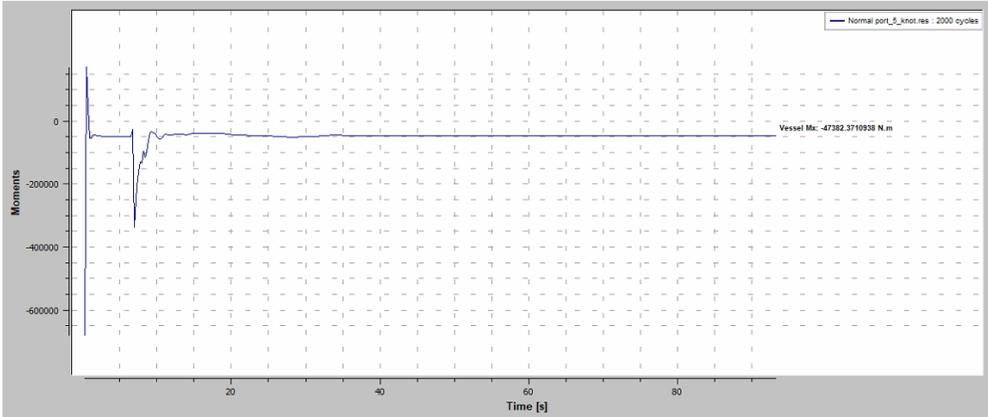
- **4 Knot**





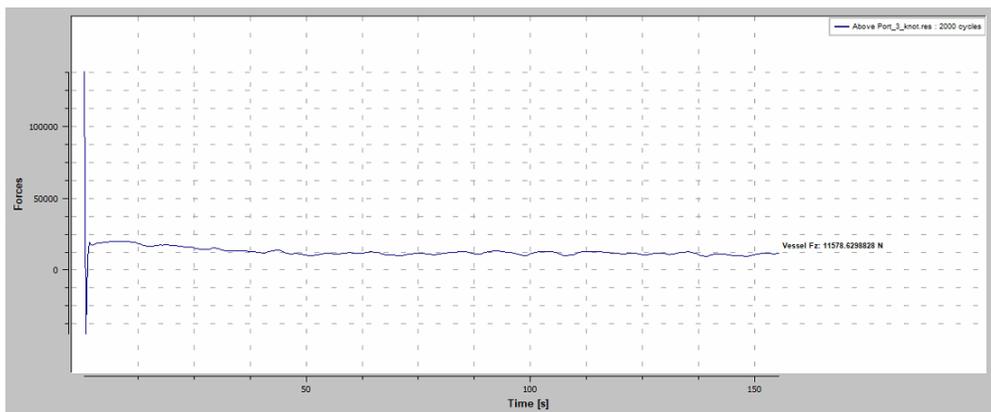
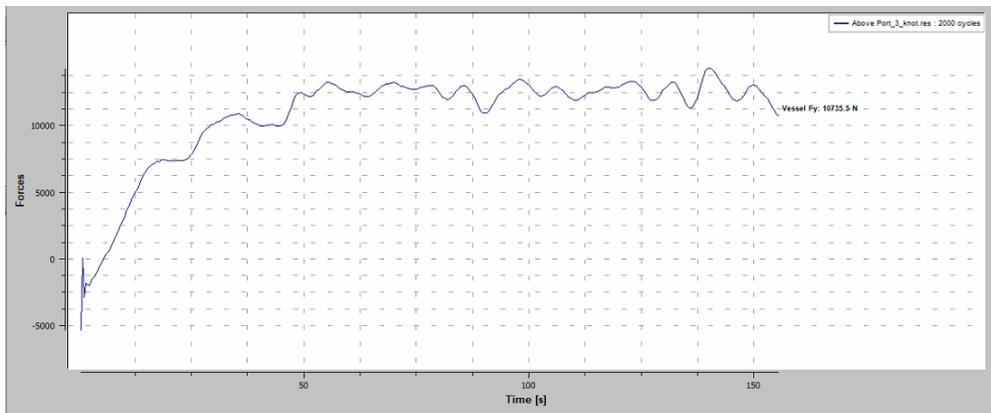
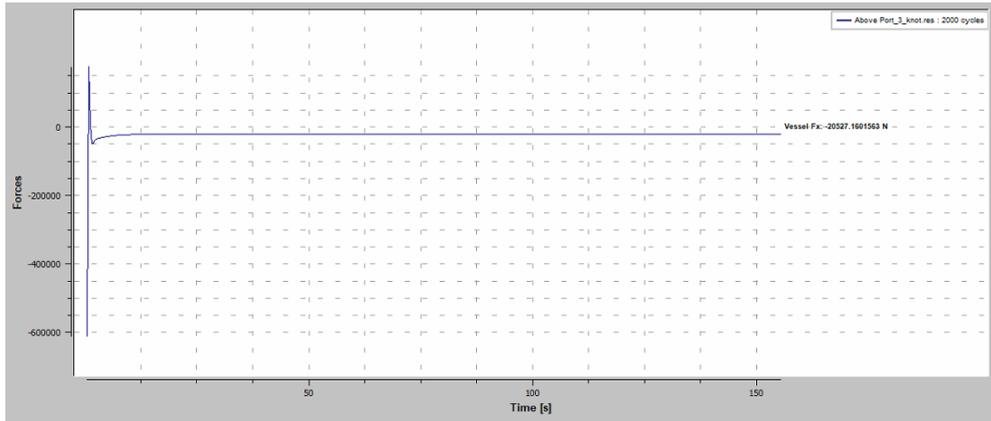
• 5 Knot

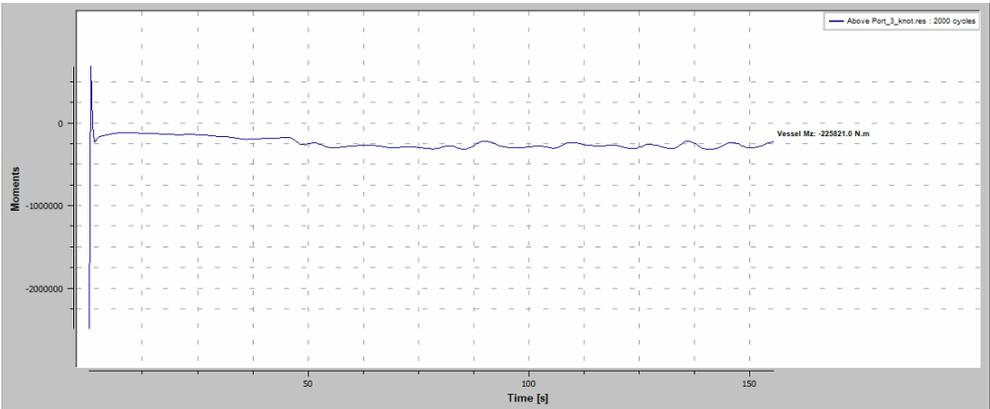
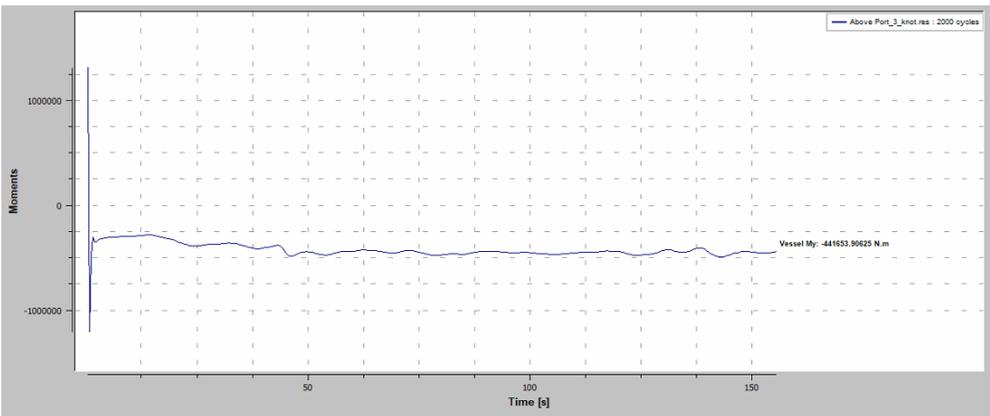
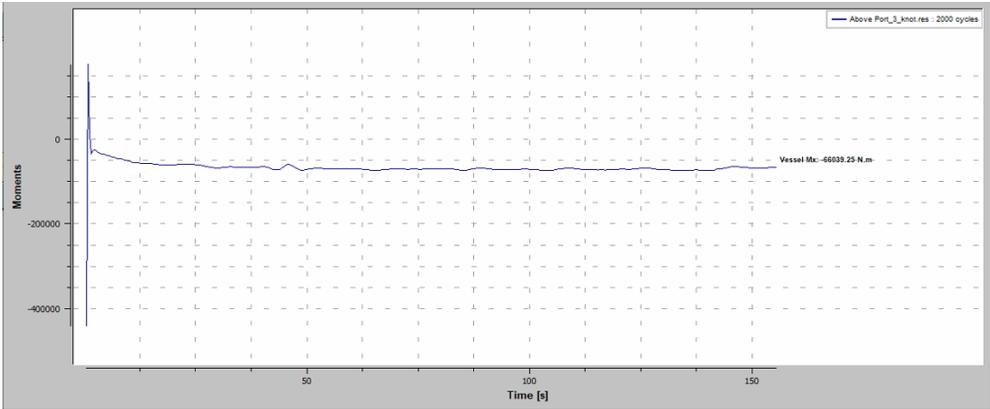




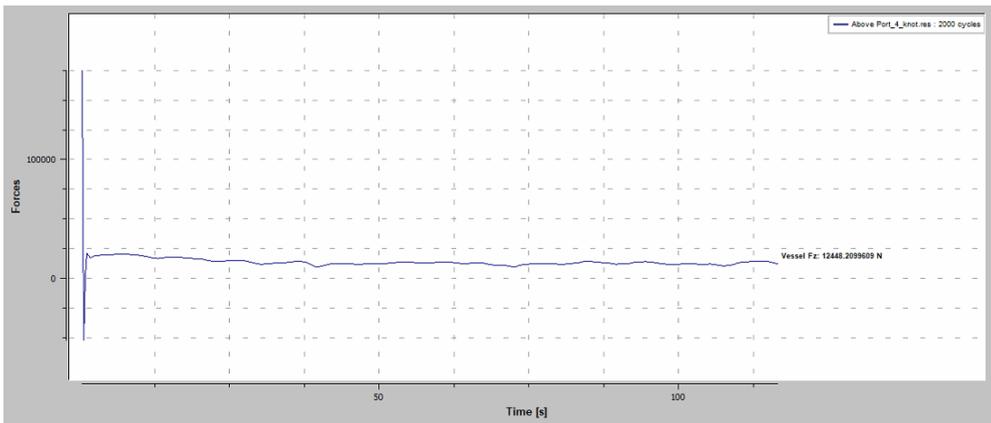
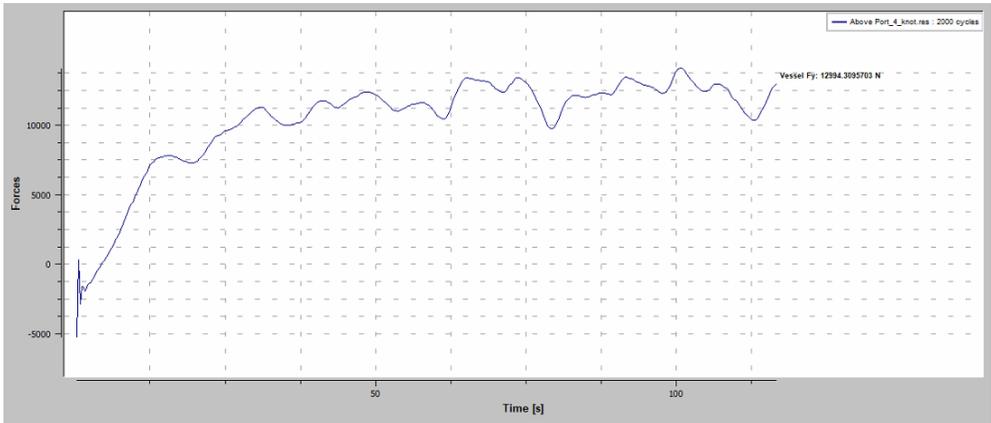
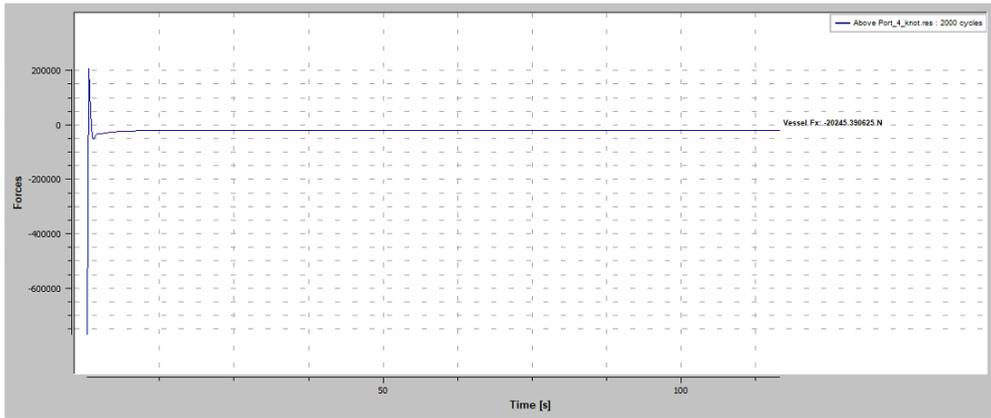
## 9. Hasil Simulasi Hydroplane Asli Diatas Posisi *Real*

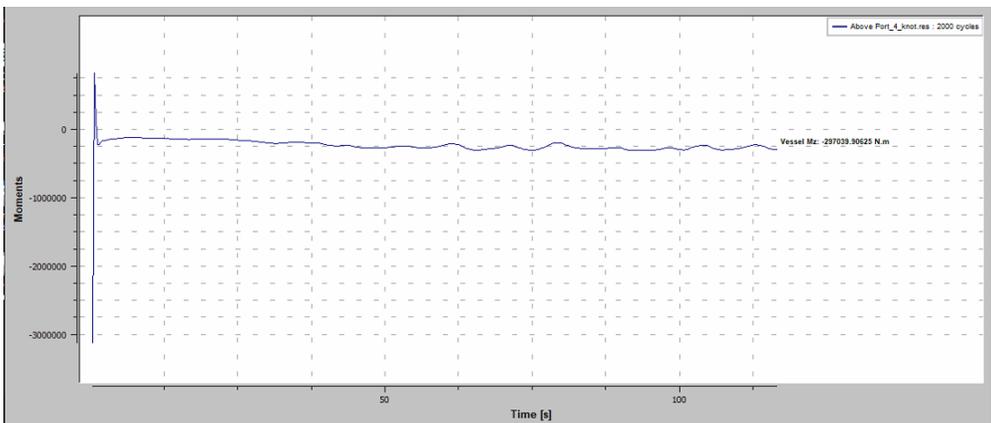
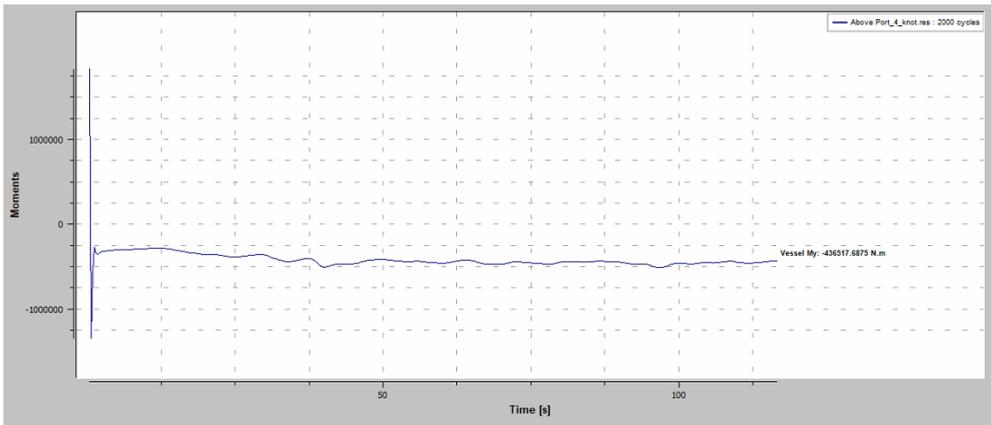
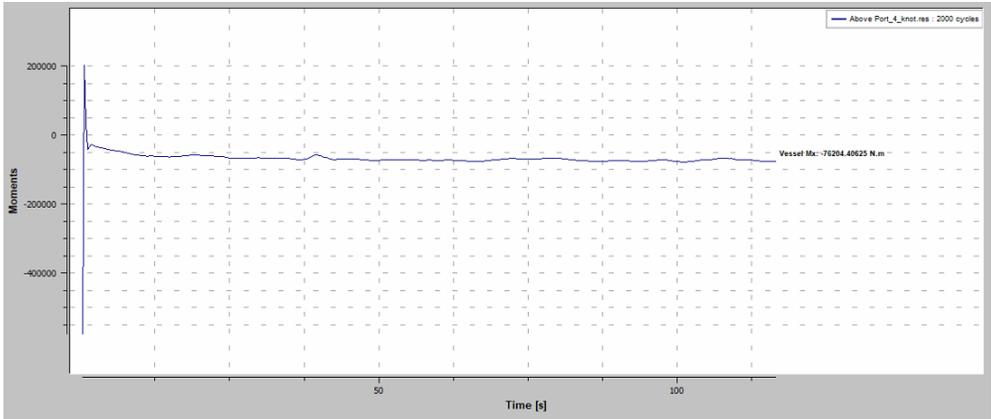
- 3 Knot



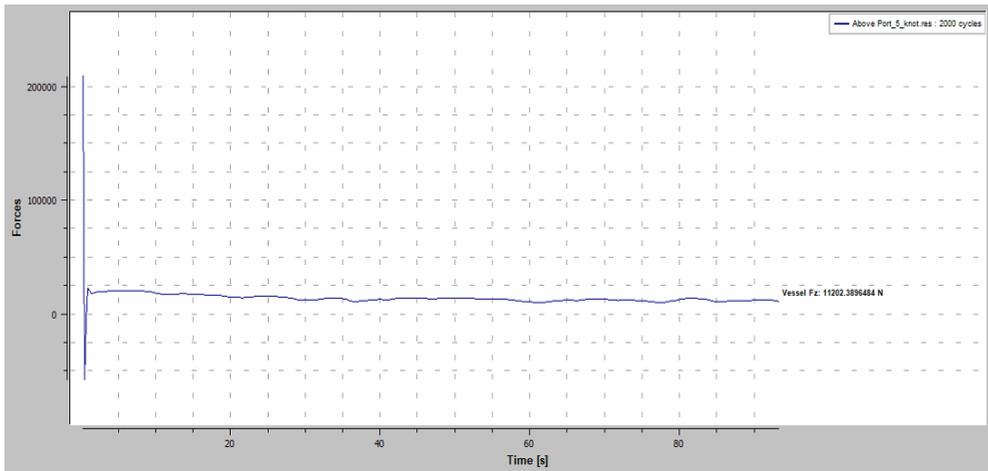
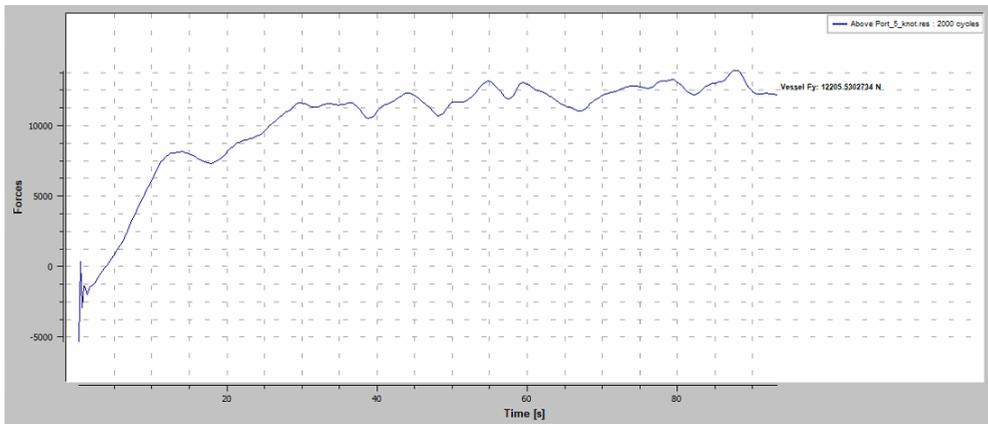
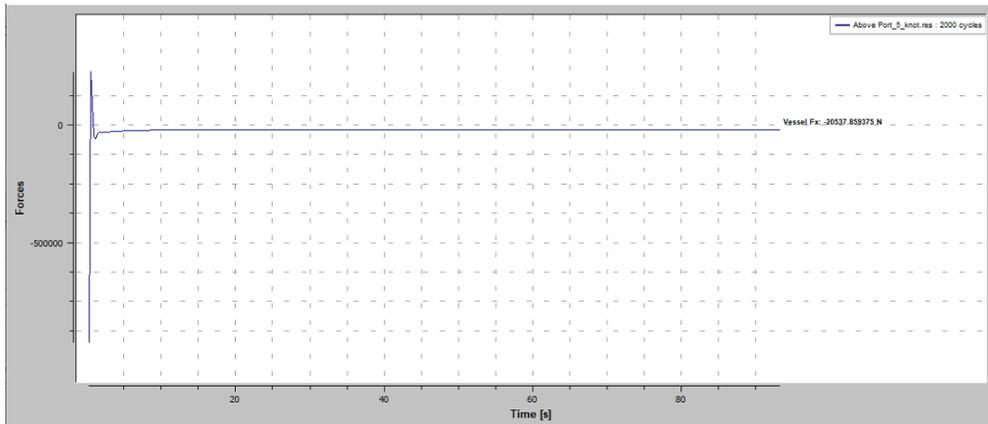


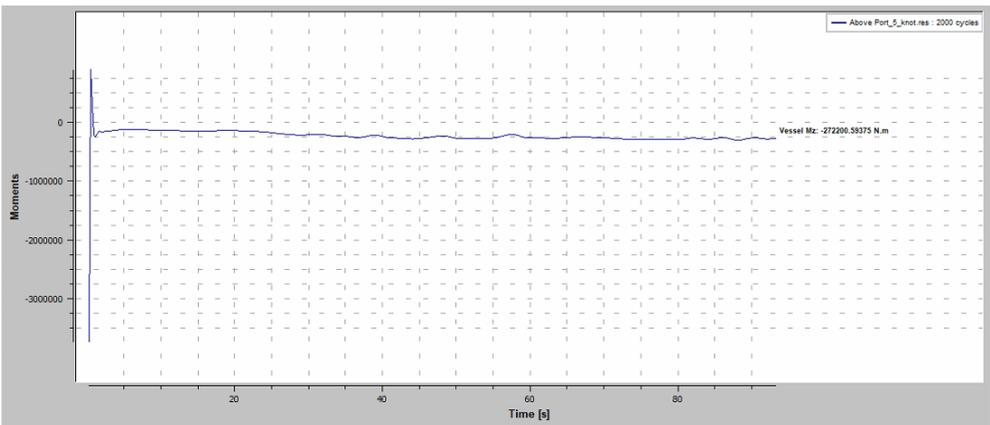
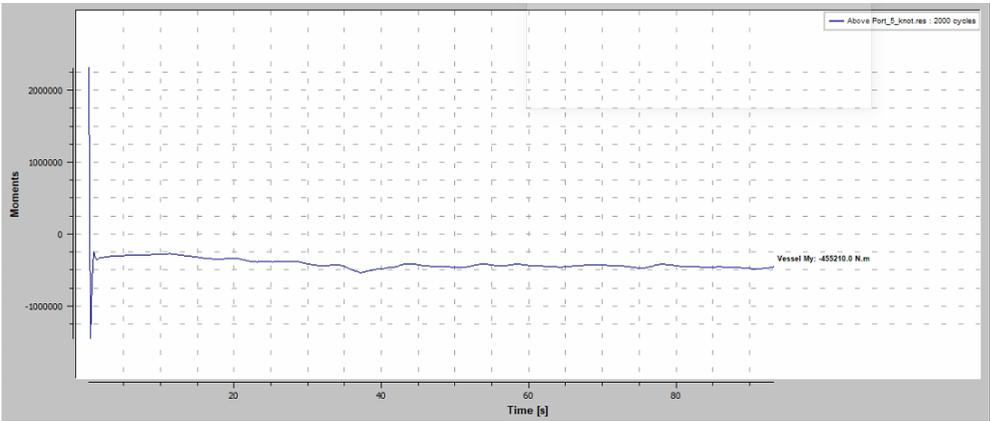
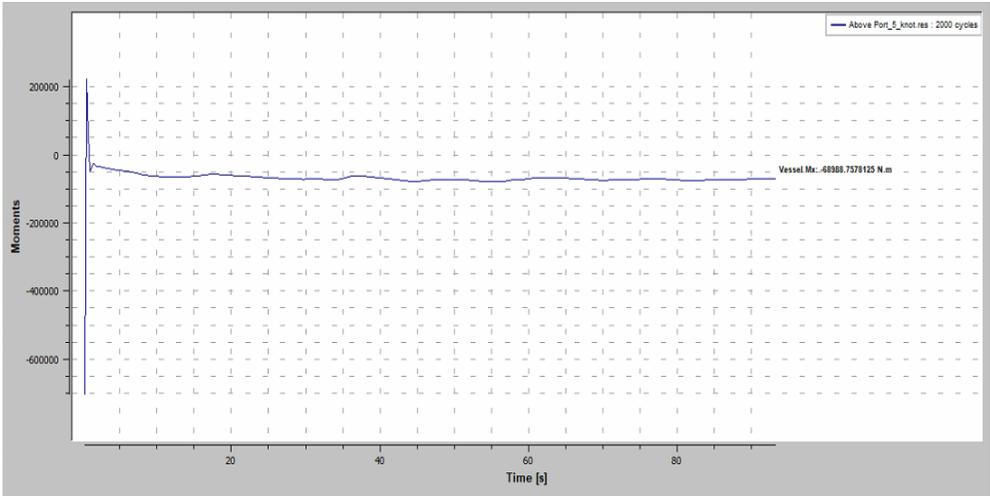
• 4 Knot





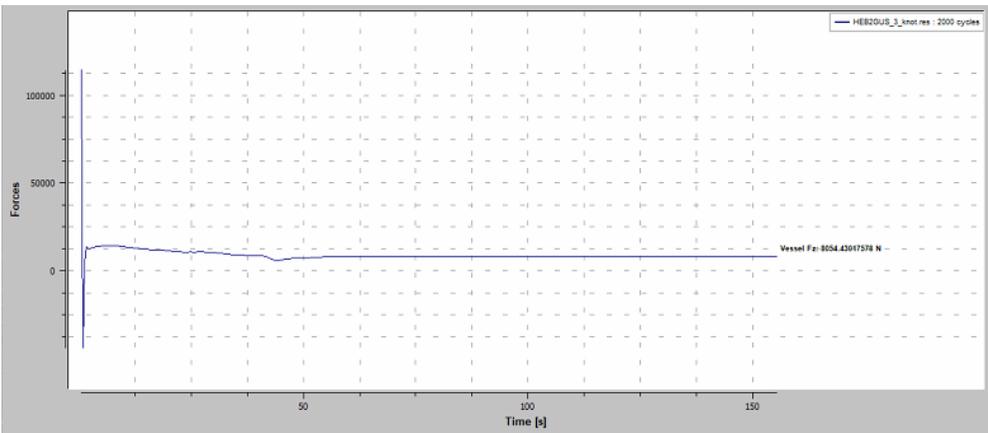
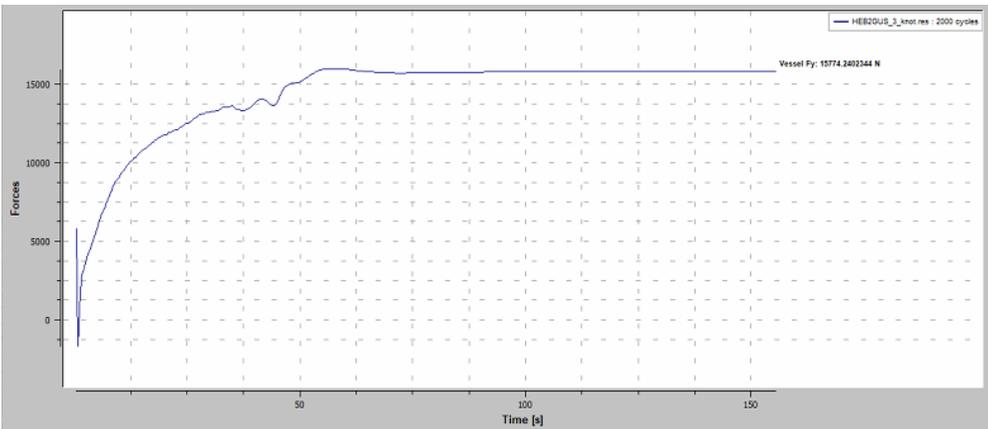
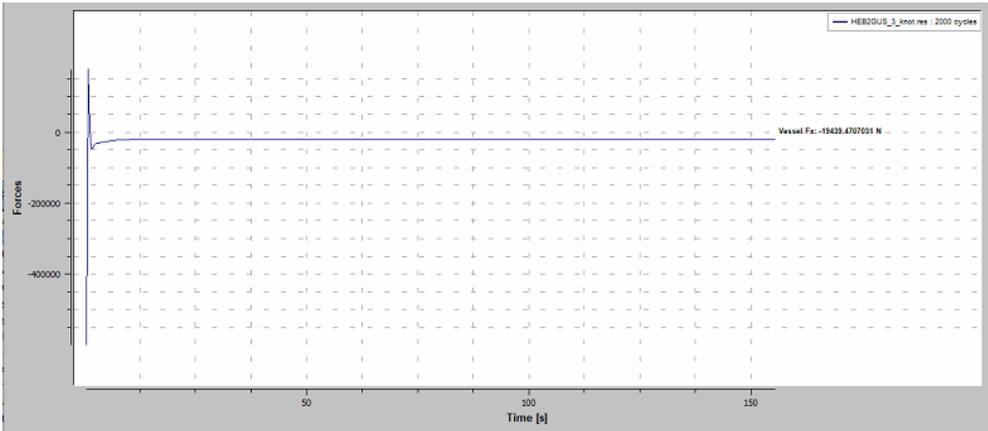
- **5 Knot**

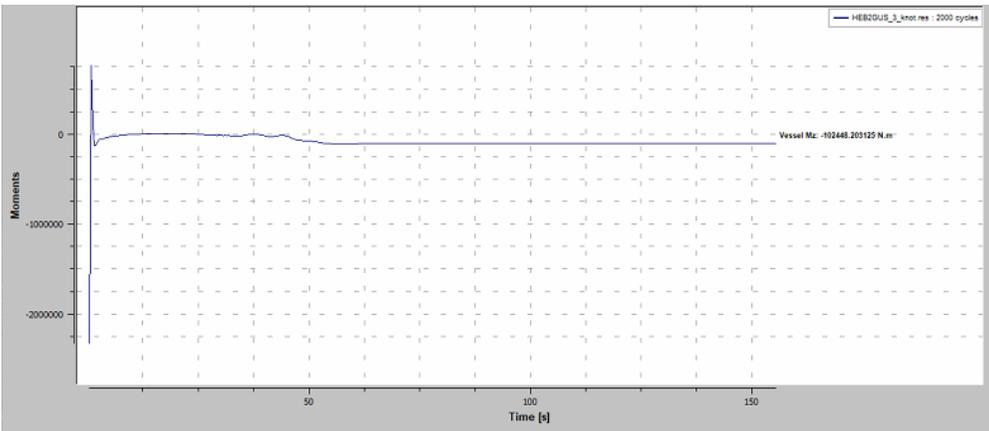
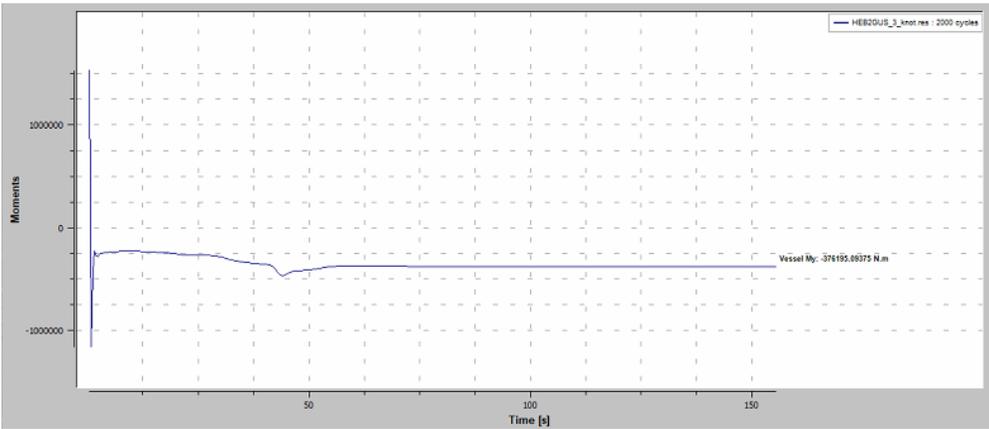
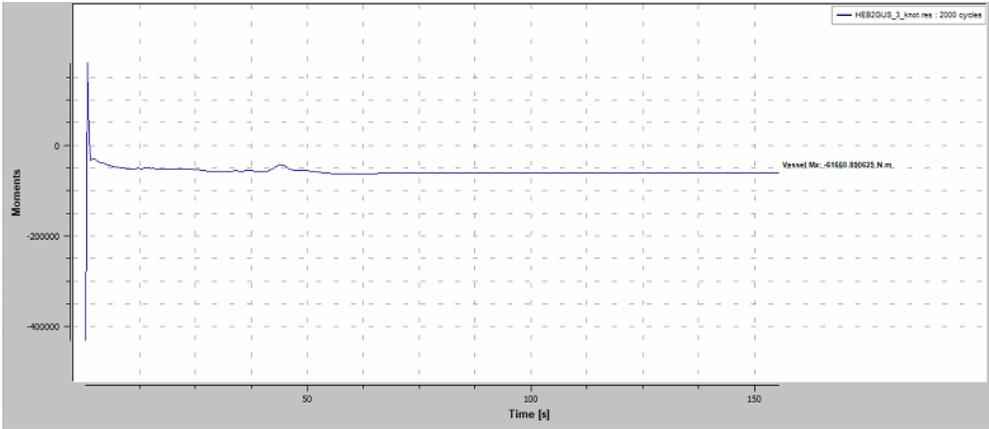




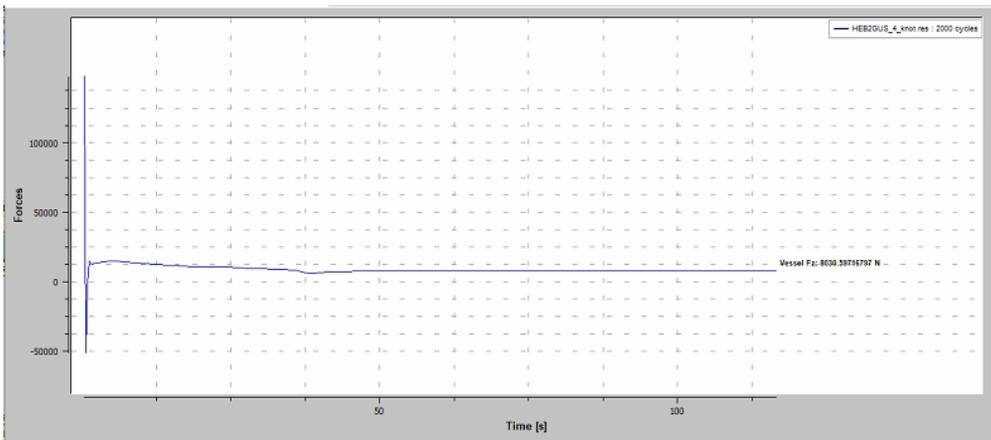
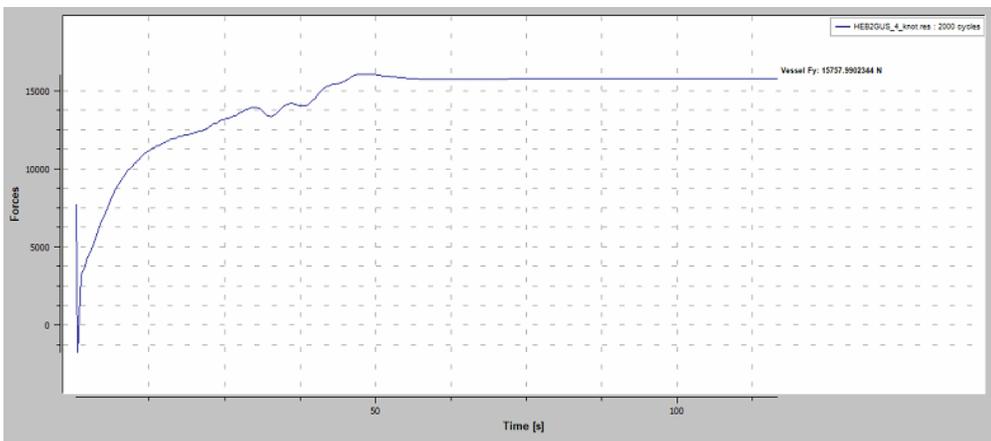
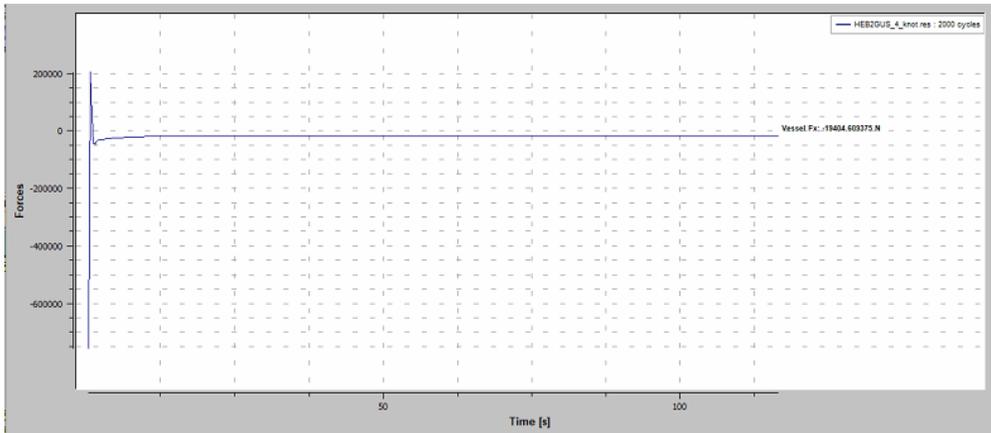
## 10. Hasil Simulasi Hydroplane Asli Diabawah Posisi *Real*

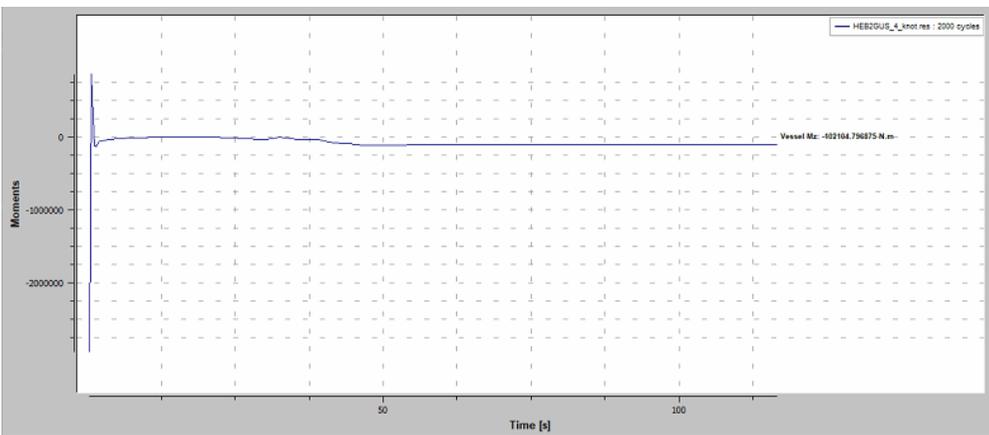
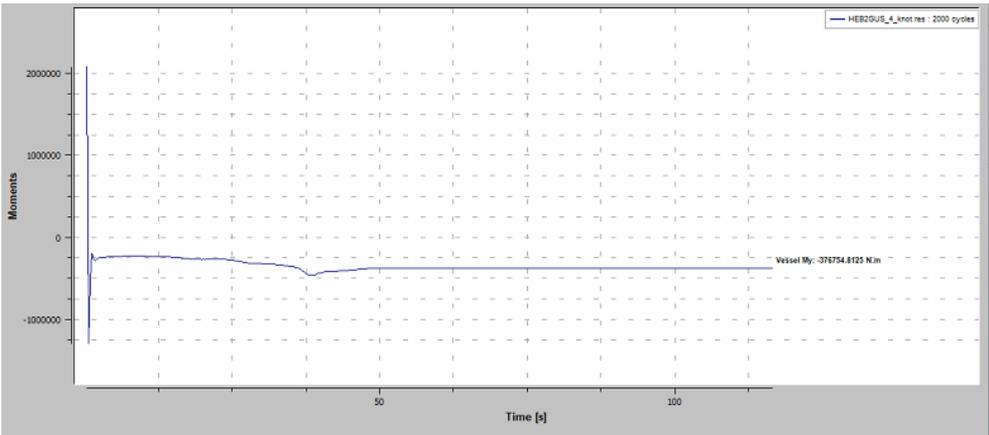
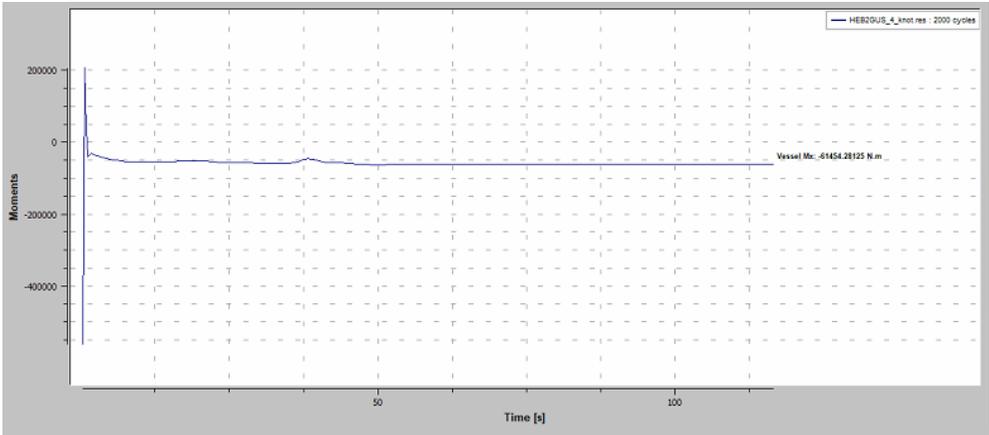
- 3 Knot



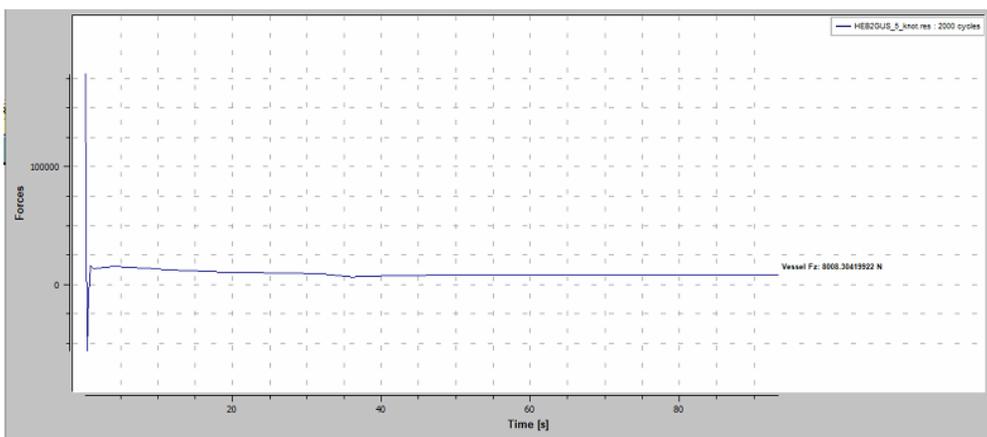
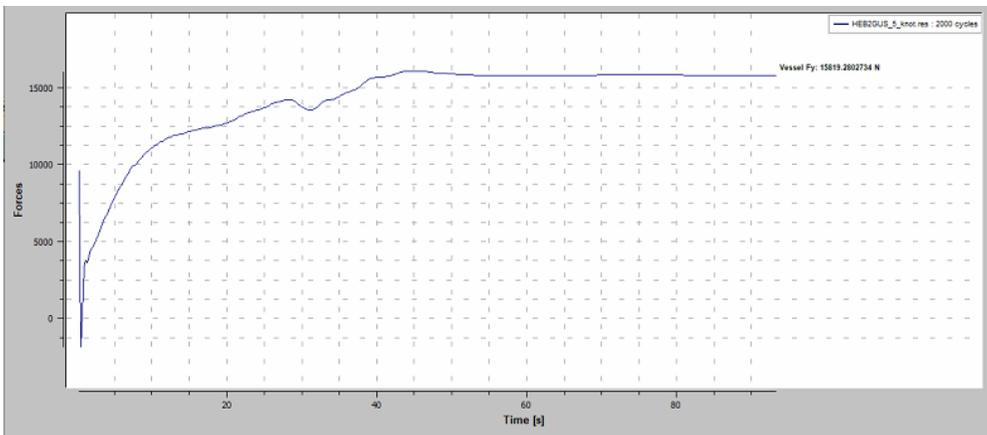
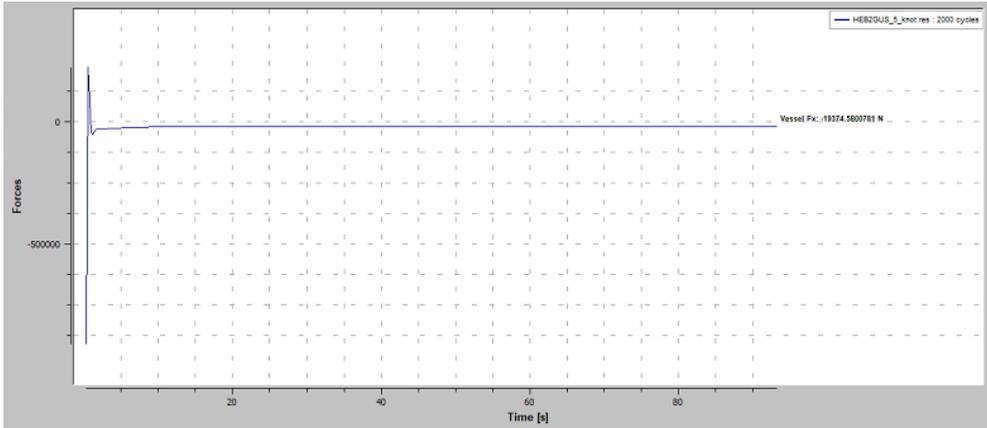


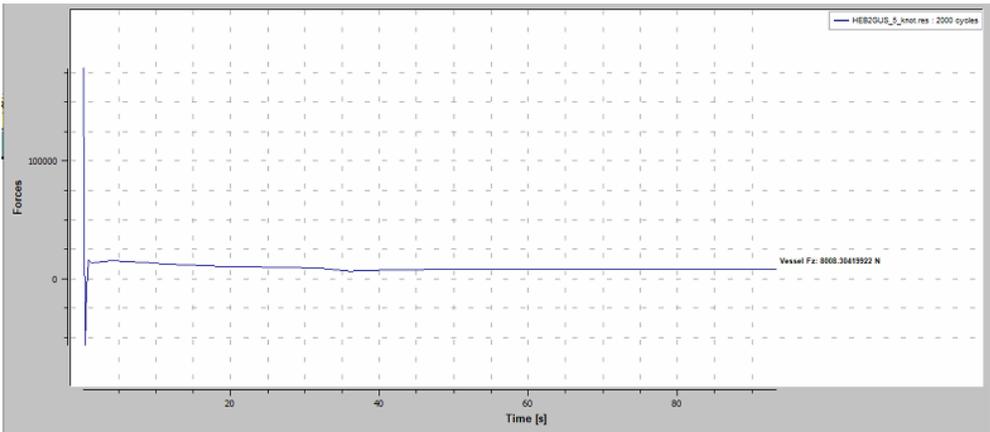
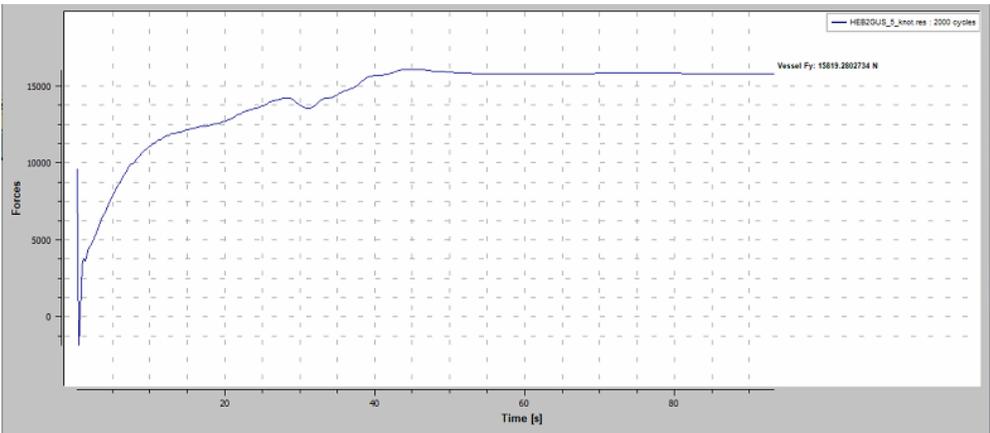
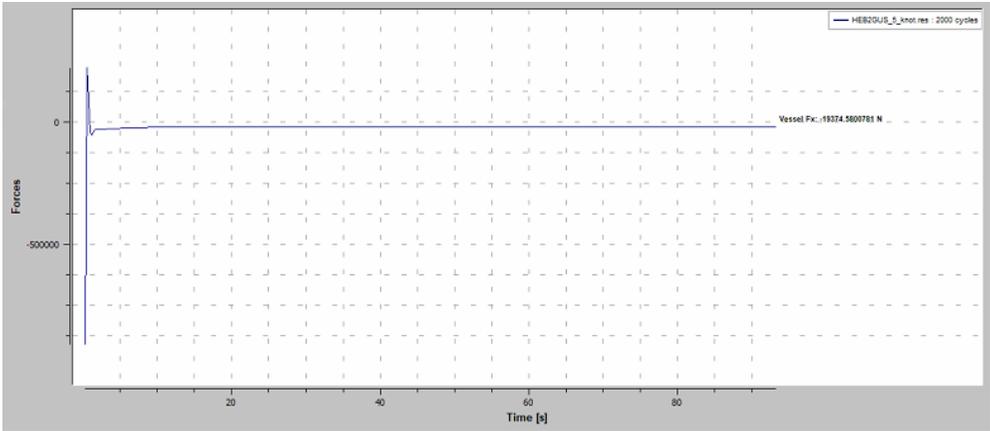
- **4 Knot**





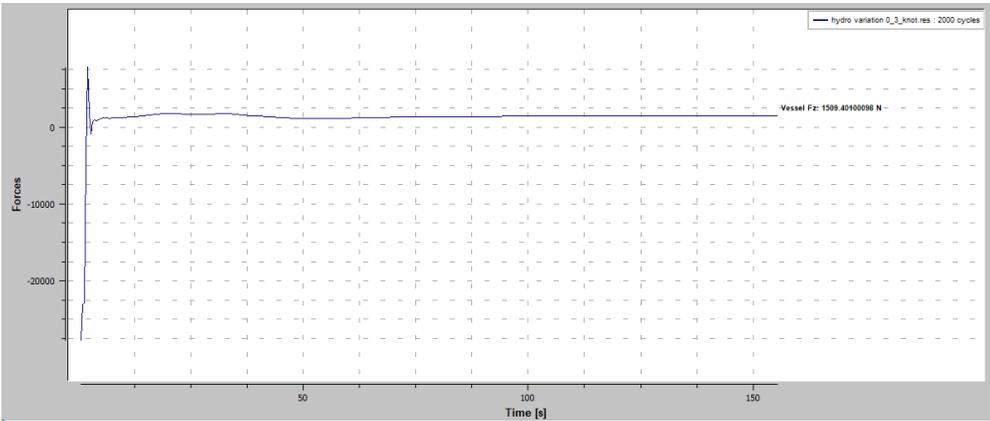
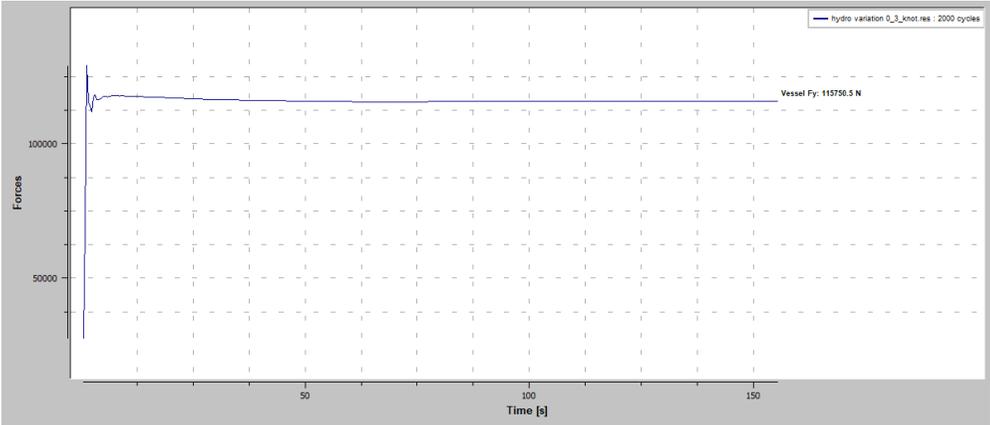
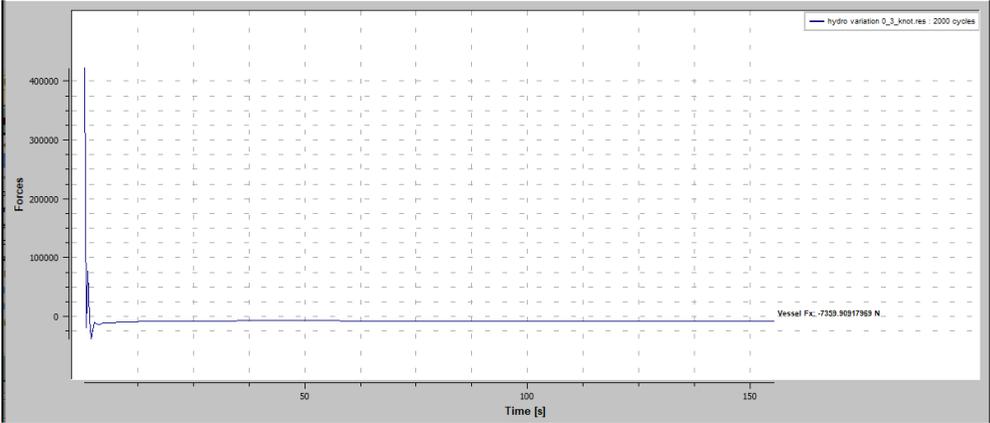
- **5 Knot**

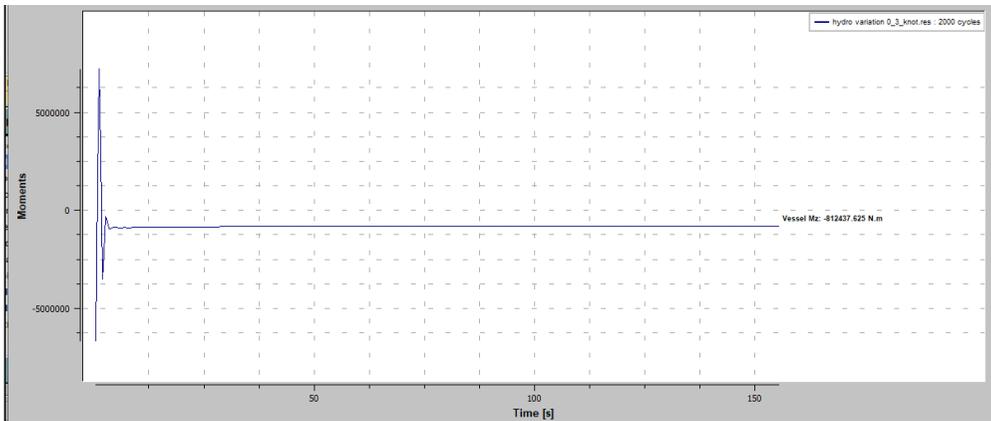
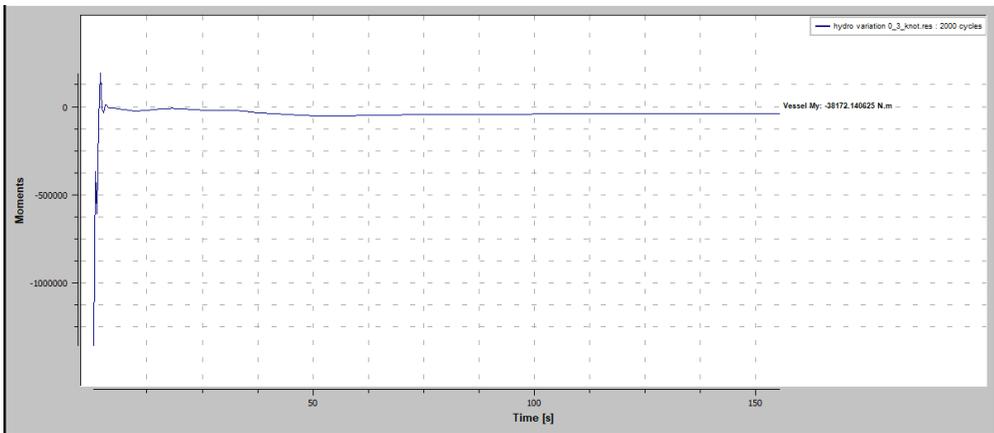
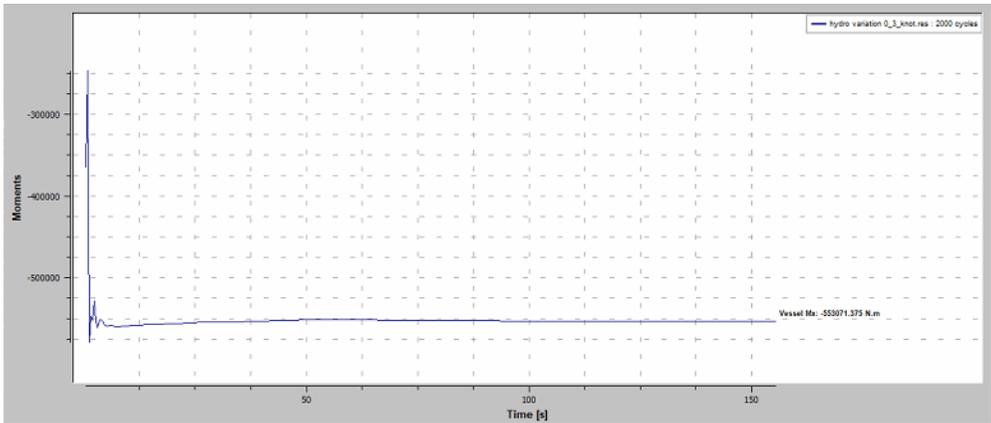




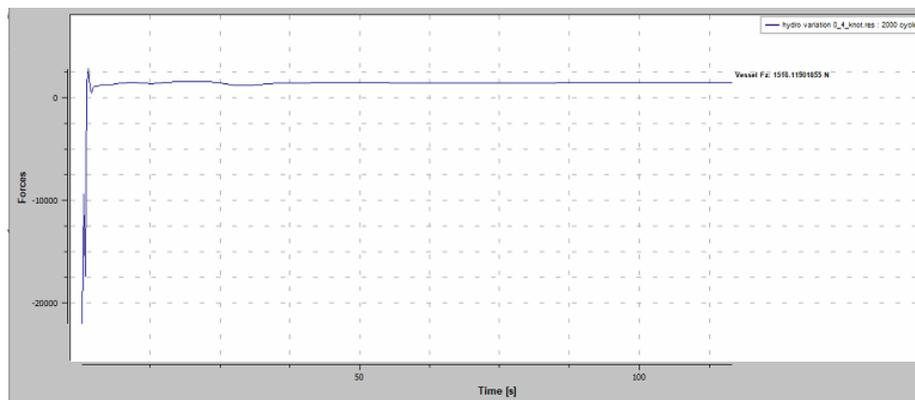
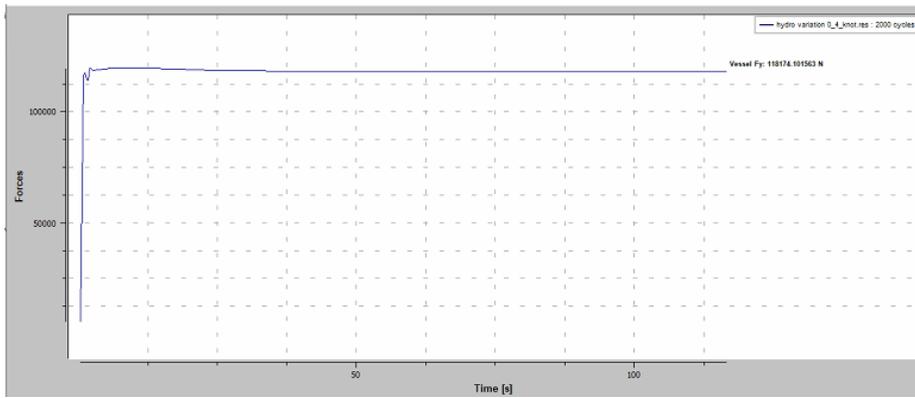
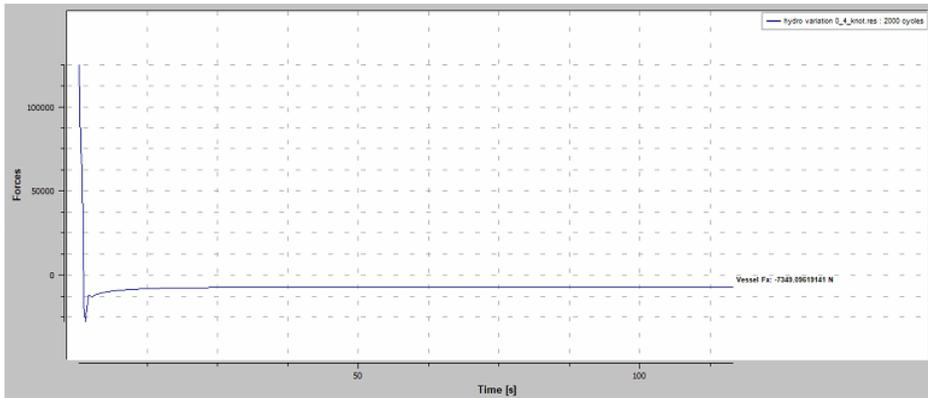
# 11. Hasil Simulasi Hydroplane Variasi Sudut 0°

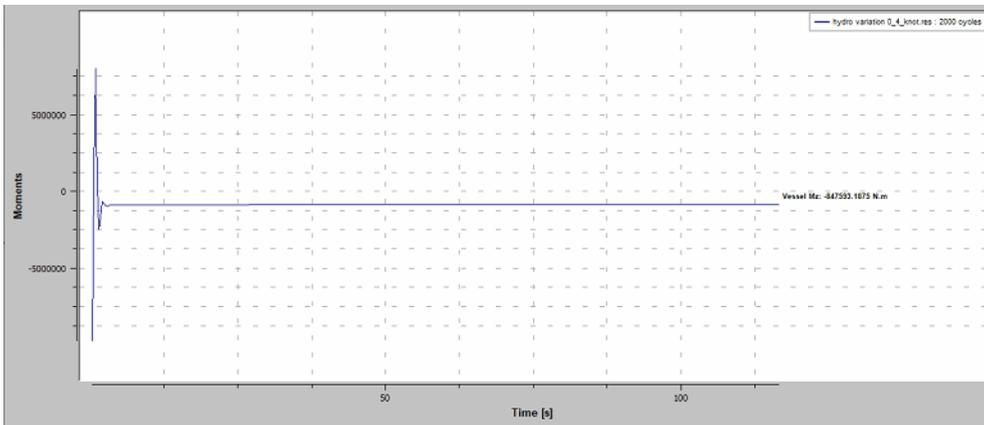
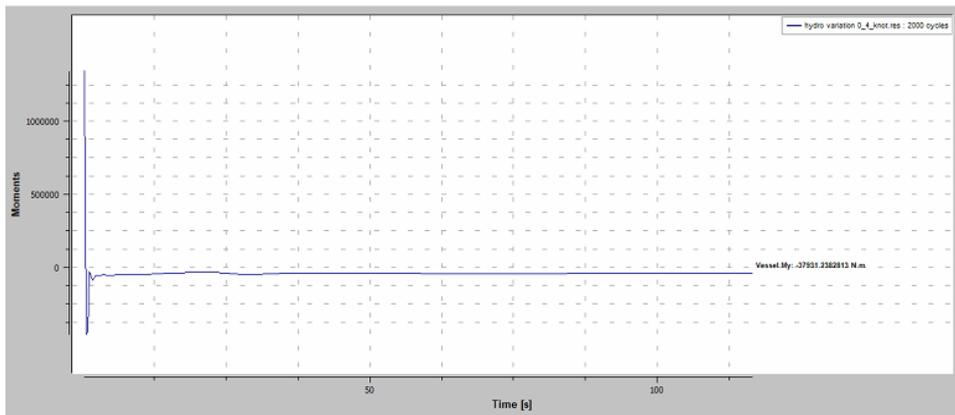
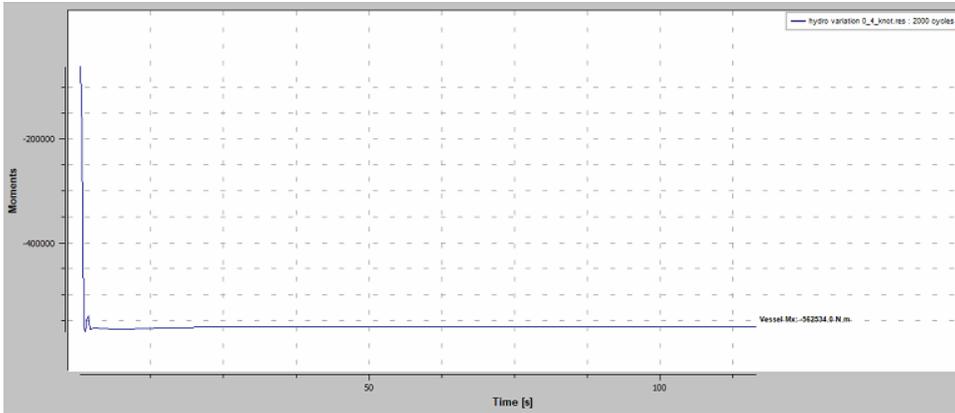
- 3 Knot



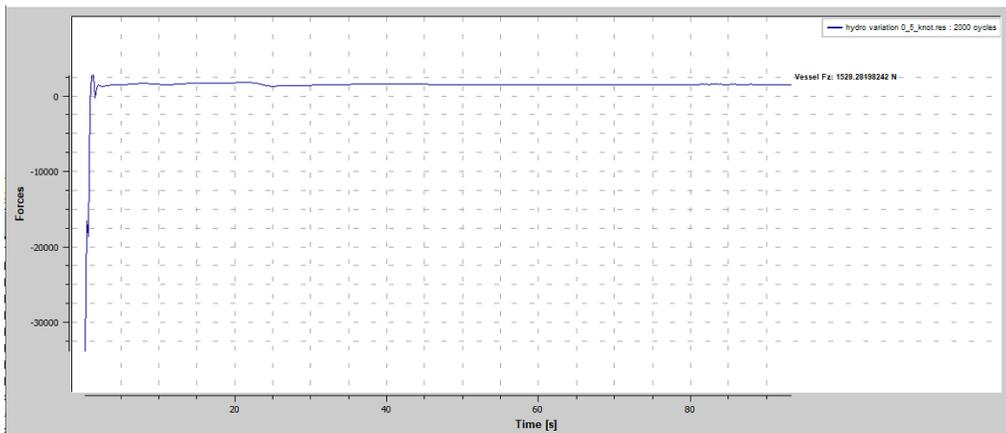
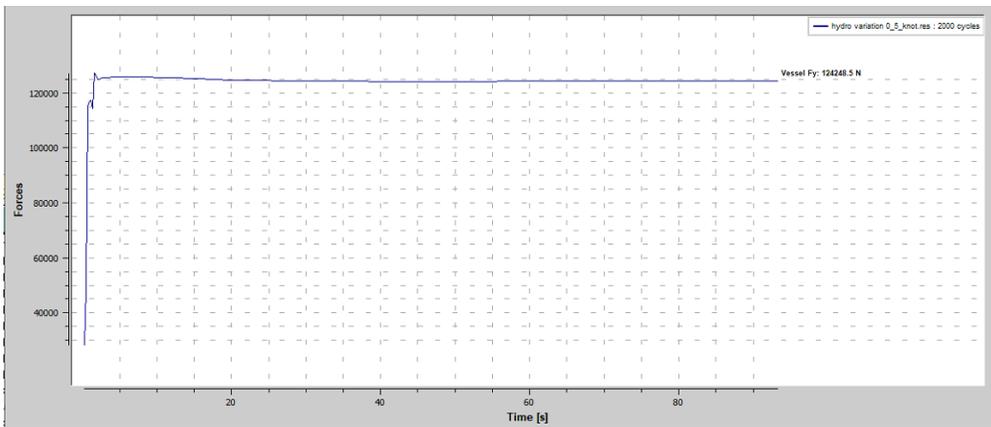
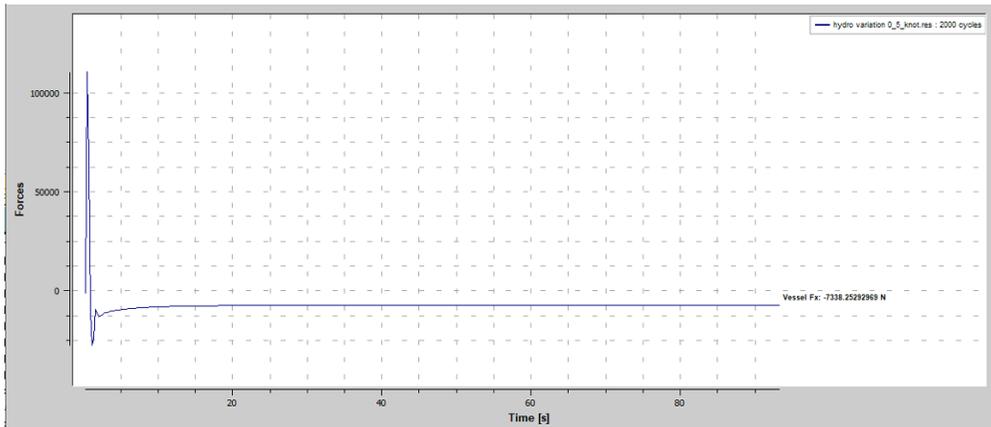


- **4 Knot**



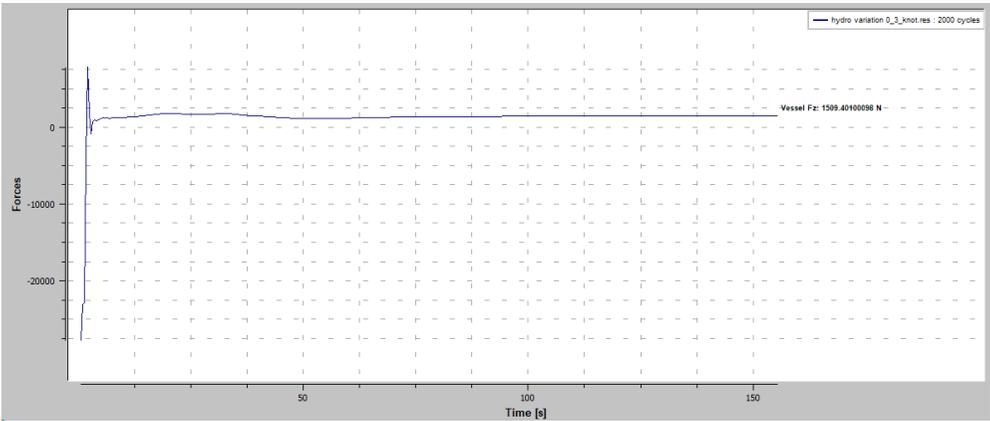
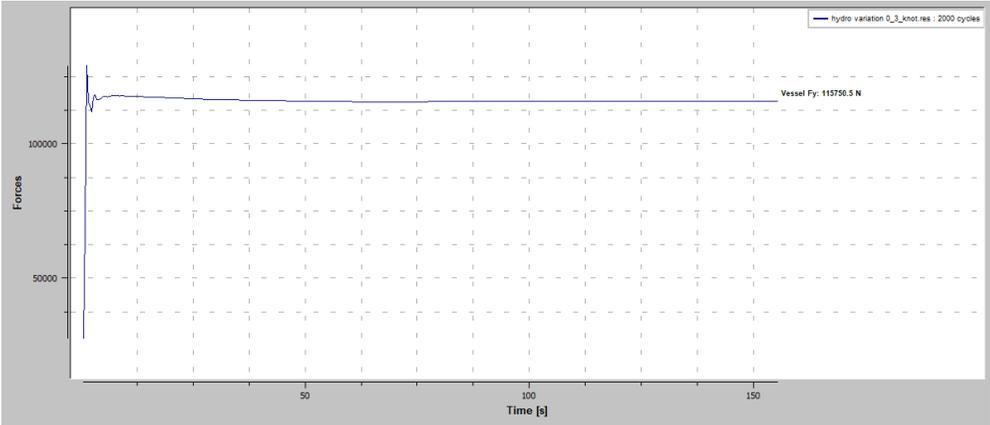
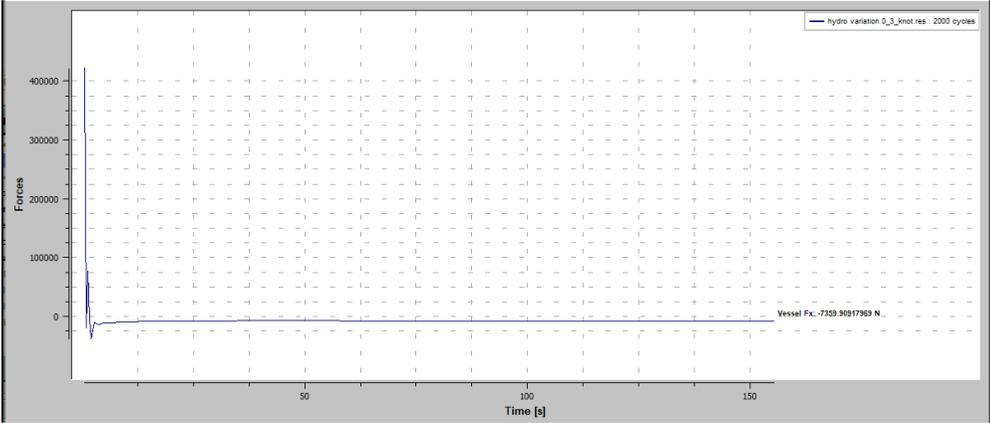


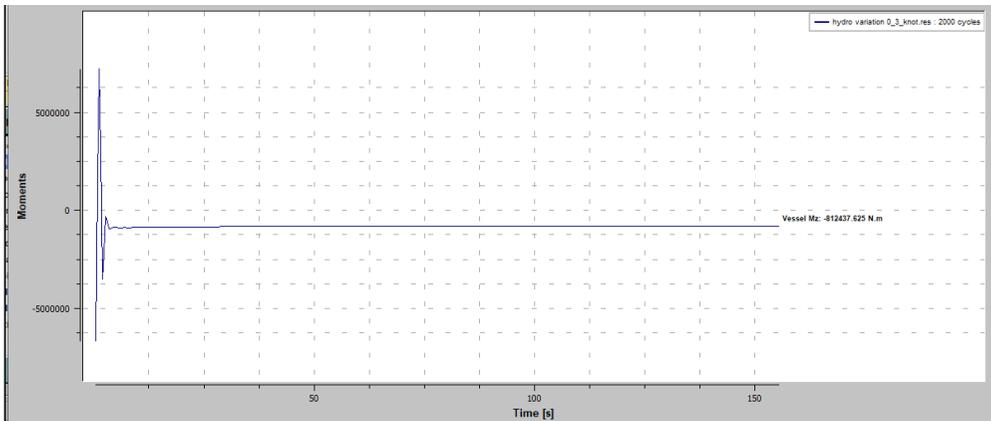
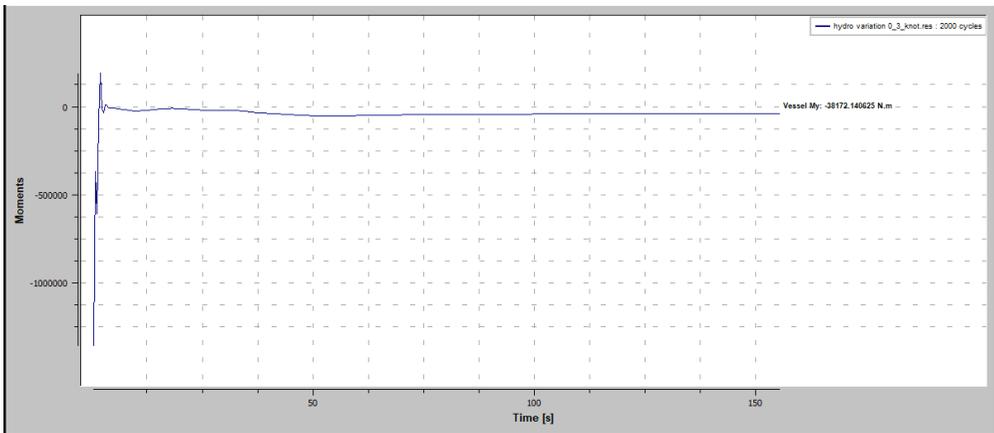
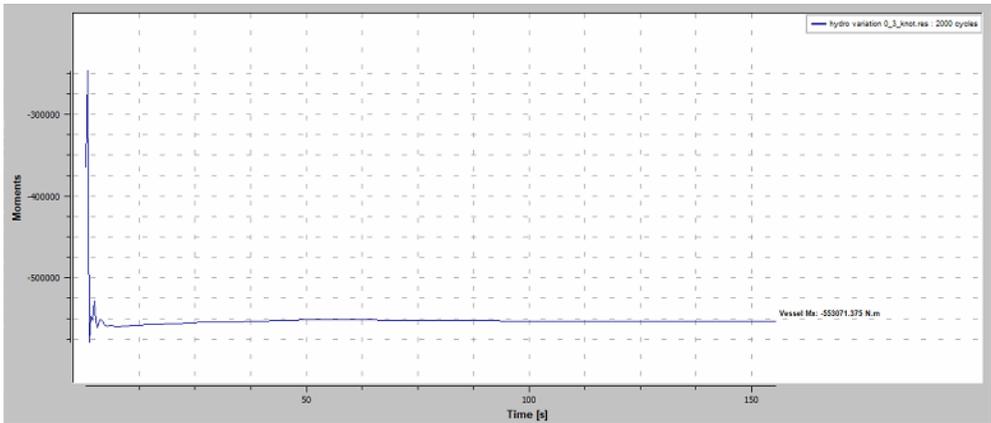
- **5 Knot**



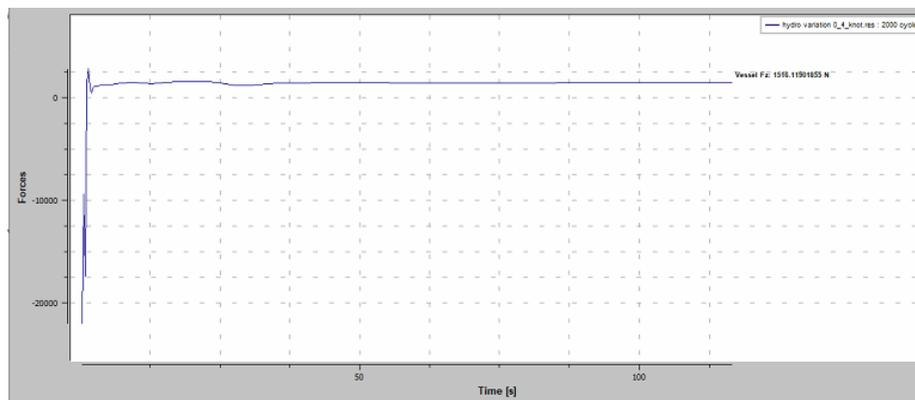
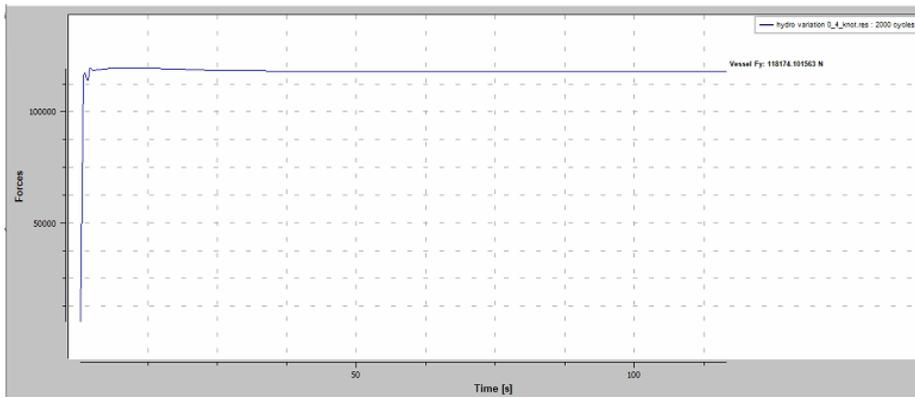
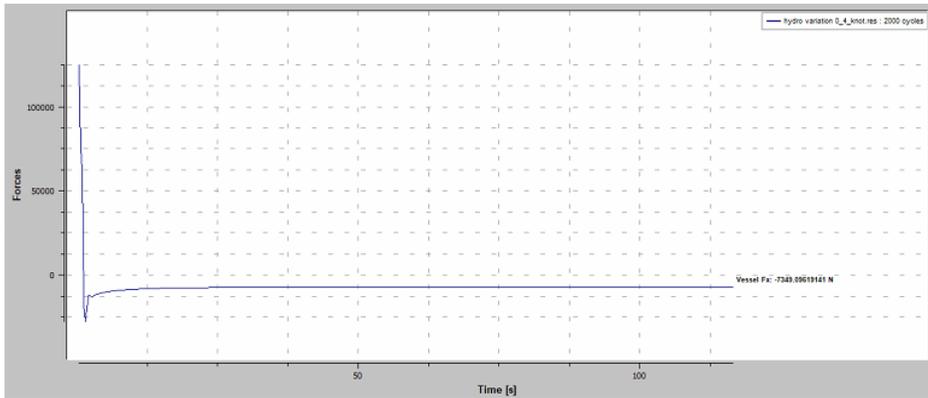
# 12. Hasil Simulasi Hydroplane Variasi Sudut 5°

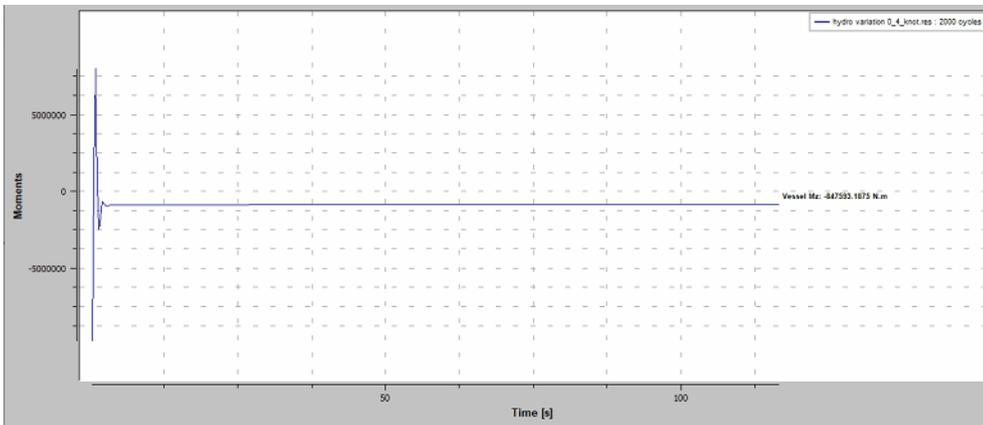
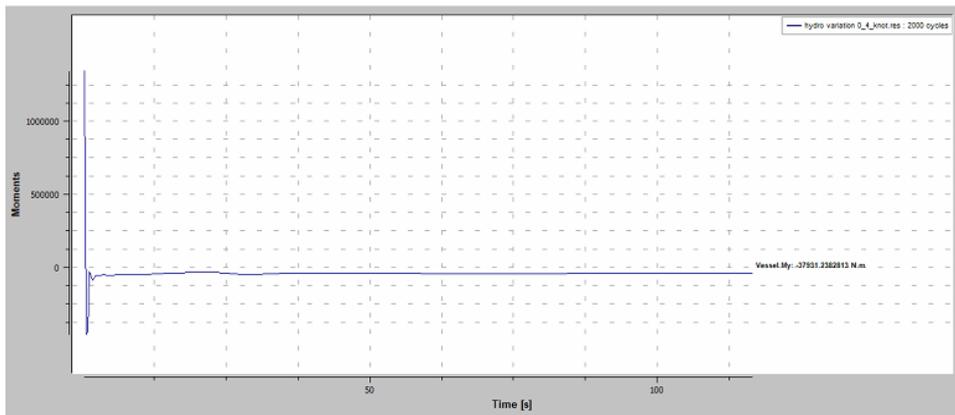
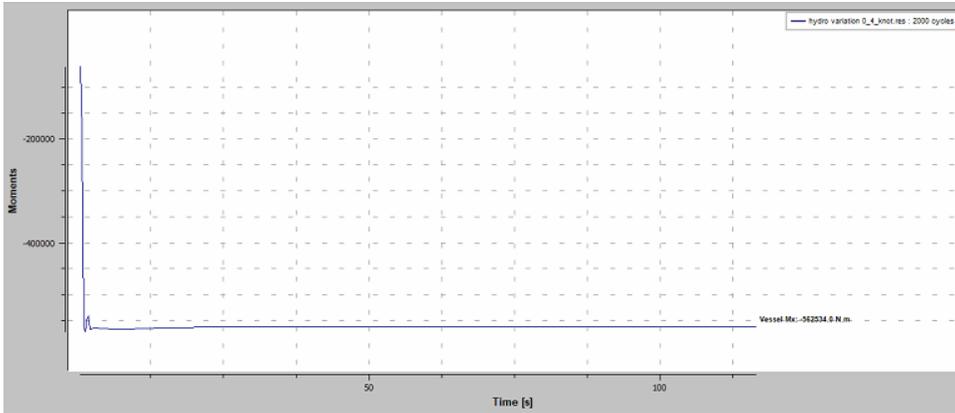
- 3 Knot



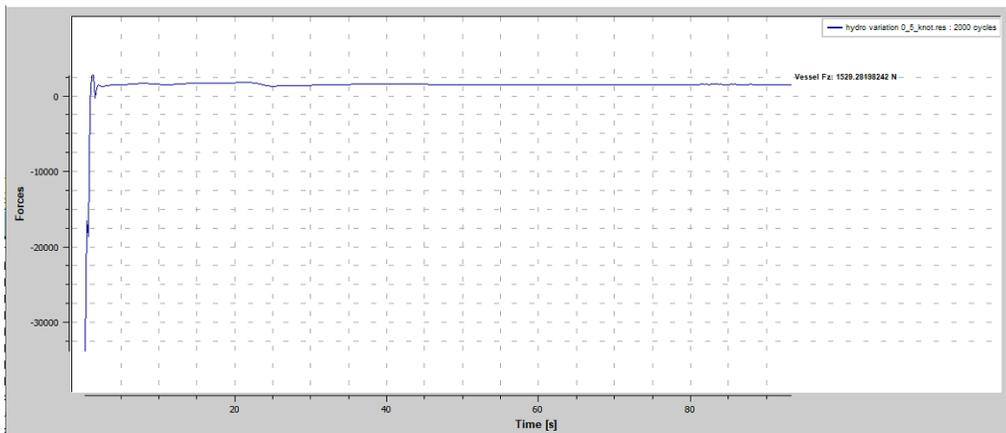
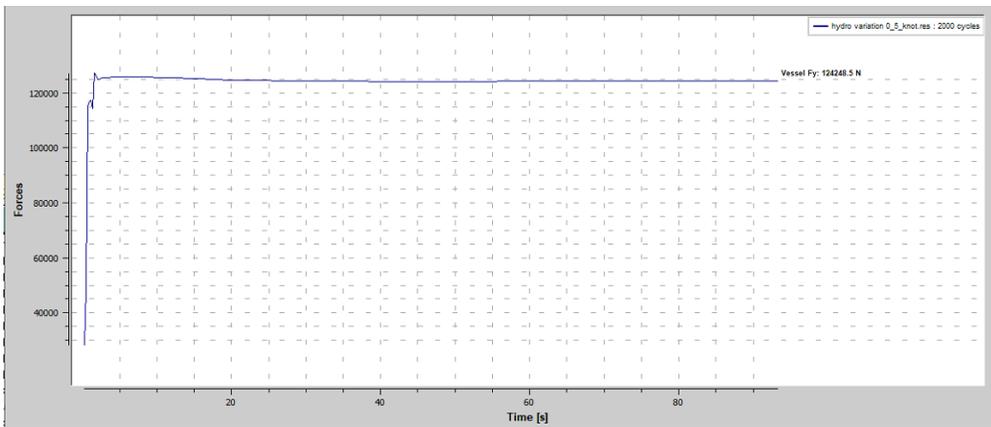
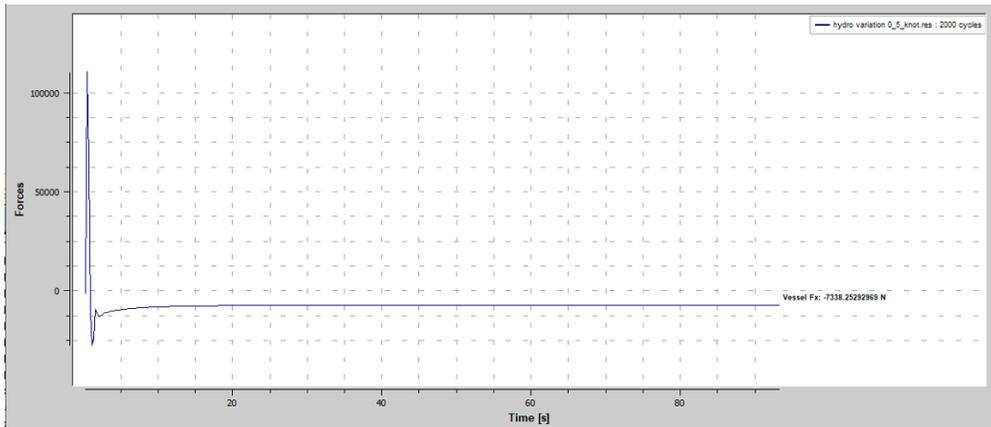


- **4 Knot**



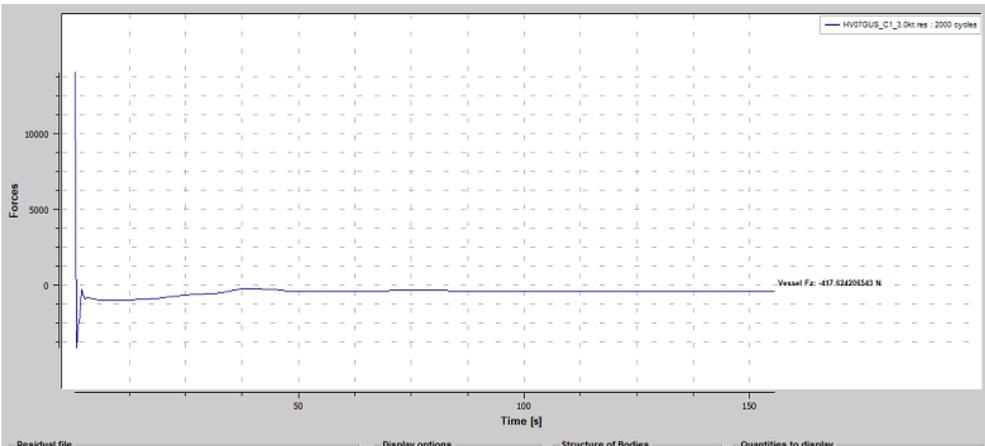
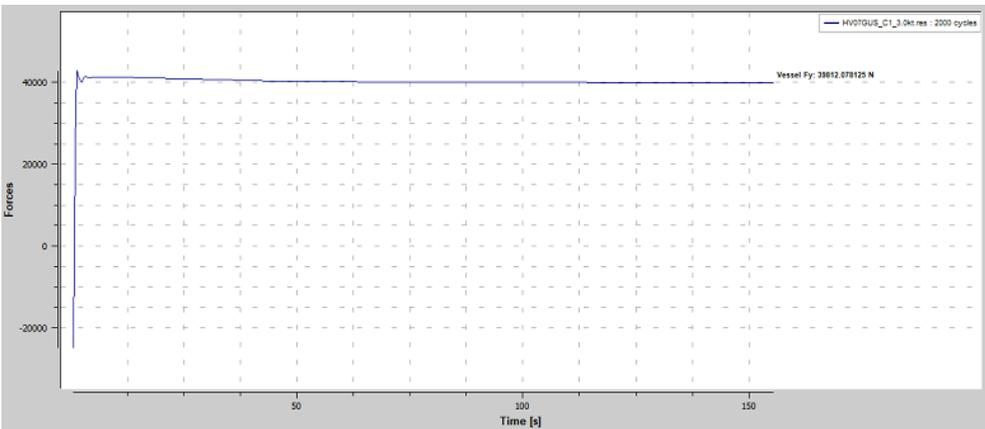
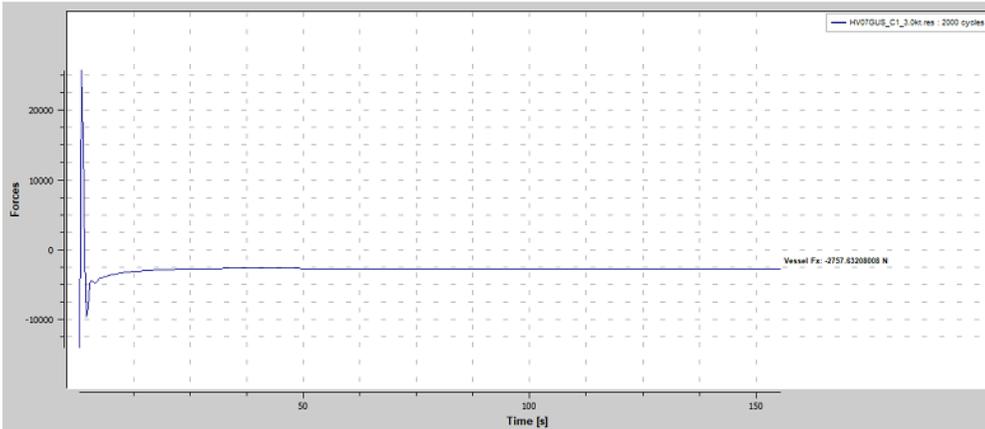


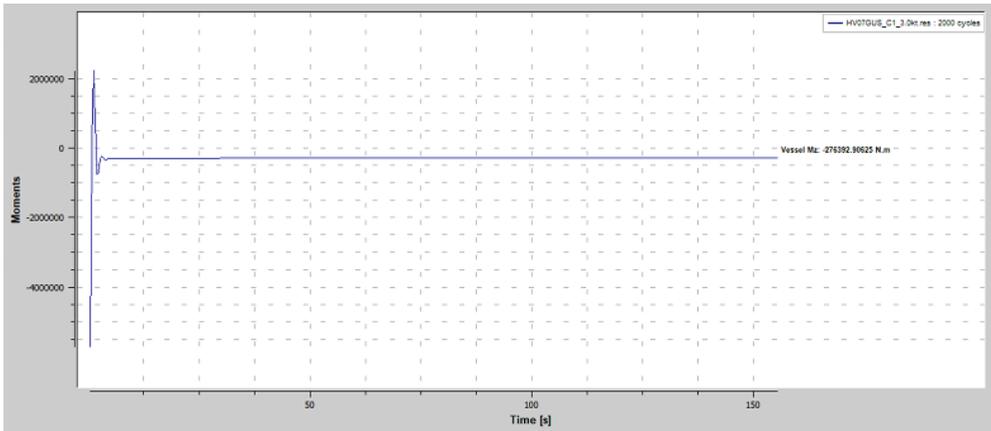
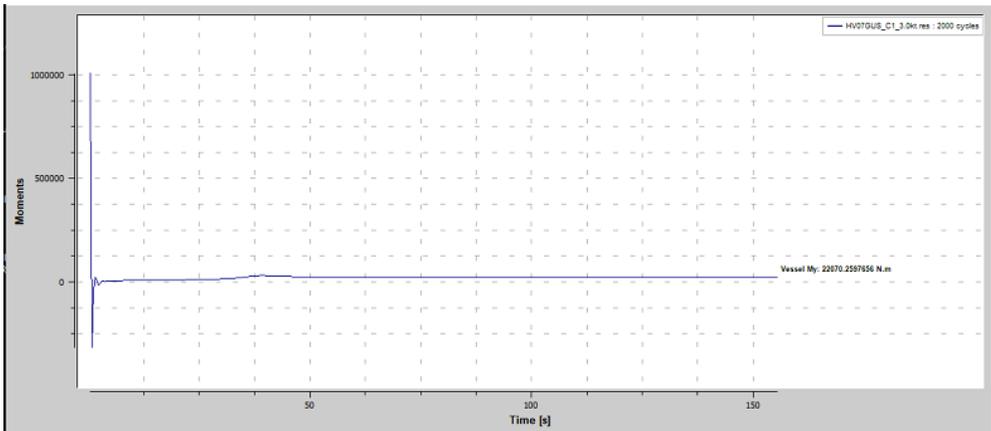
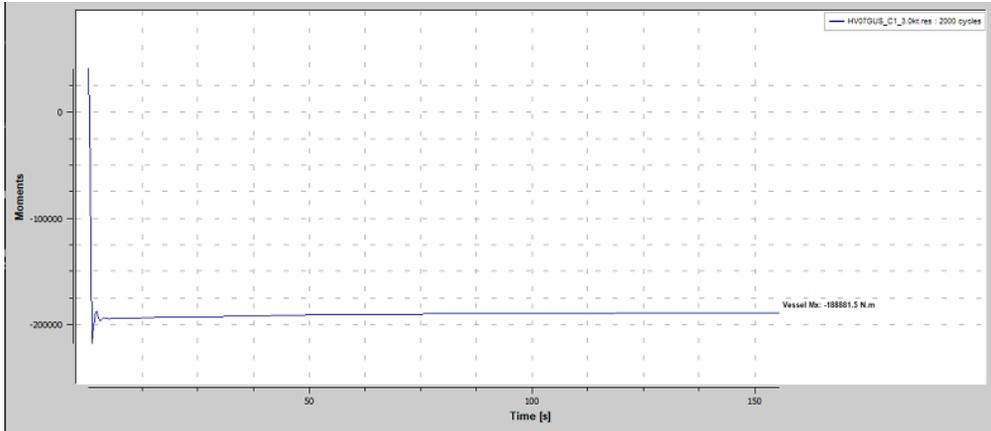
- **5 Knot**



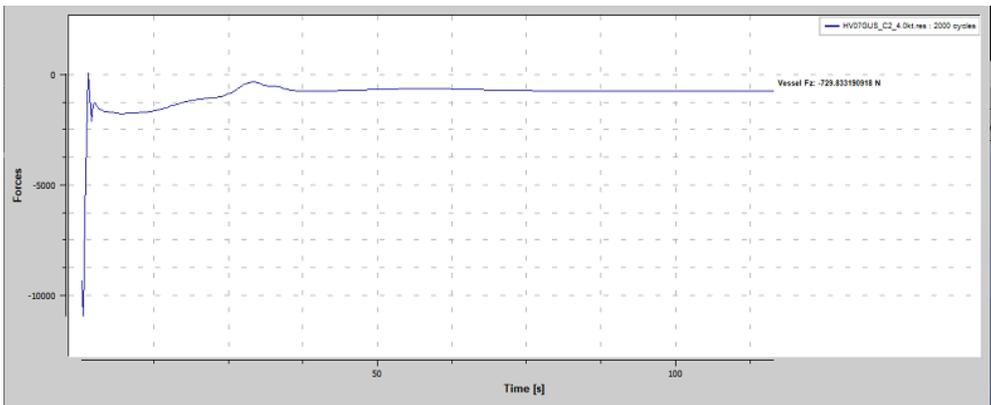
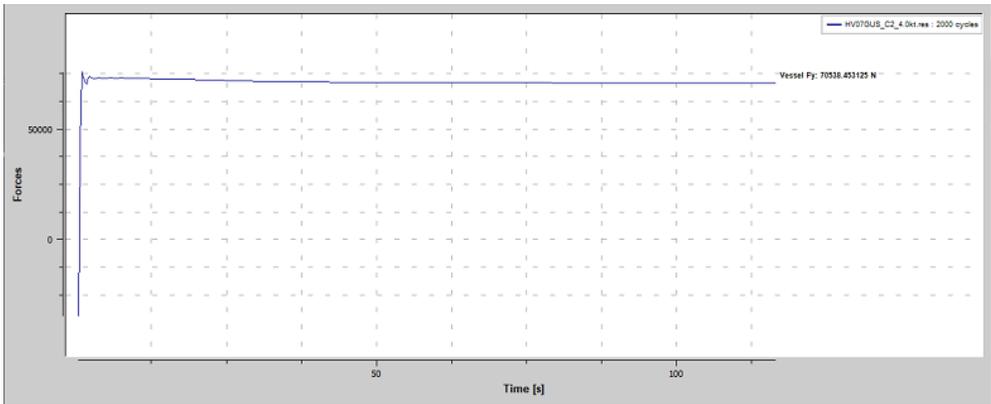
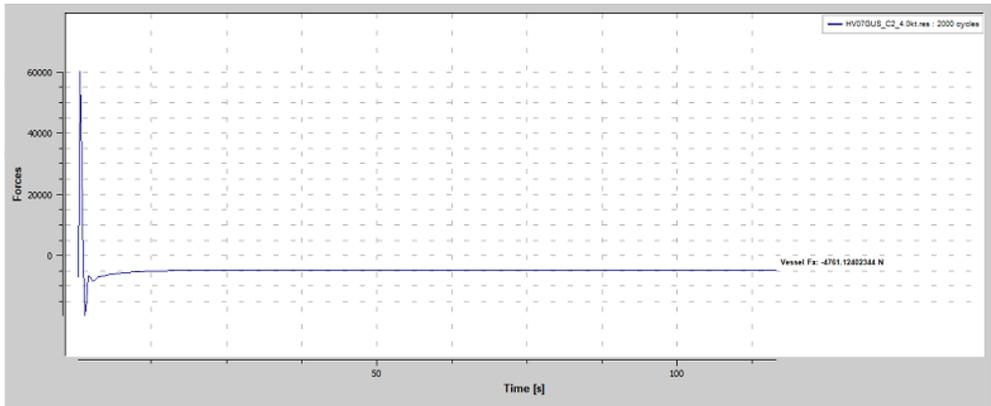
### 13. Hasil Simulasi Hydroplane Variasi Sudut 7°

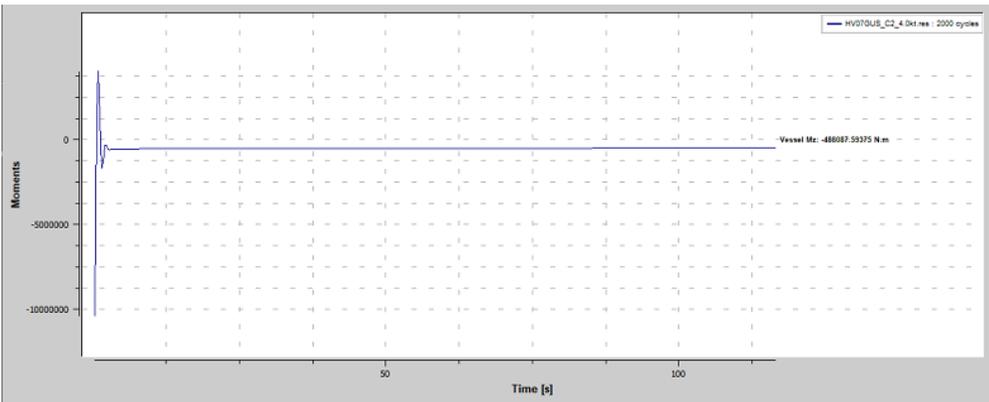
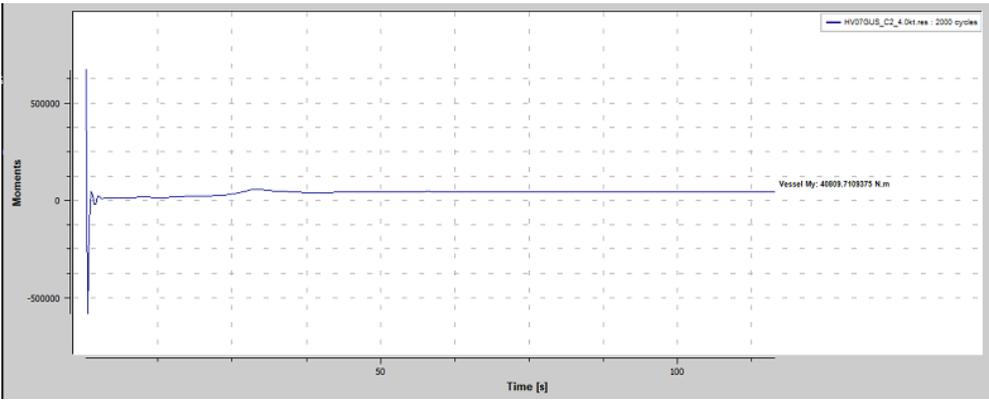
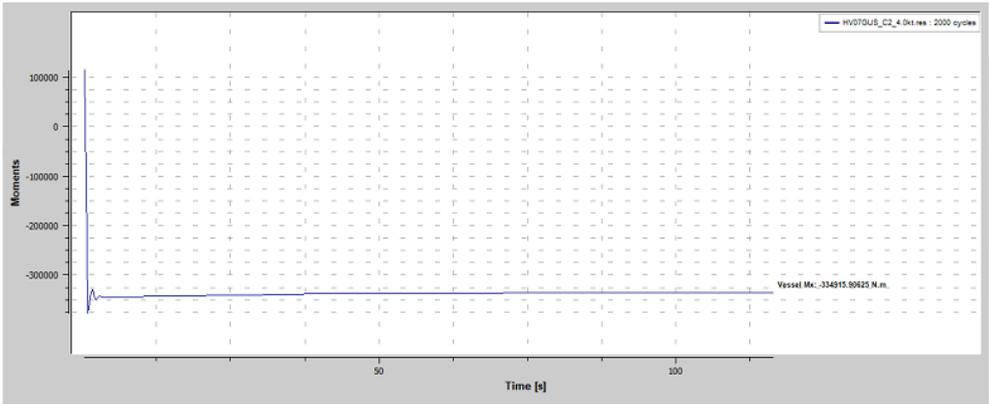
- 3 Knot



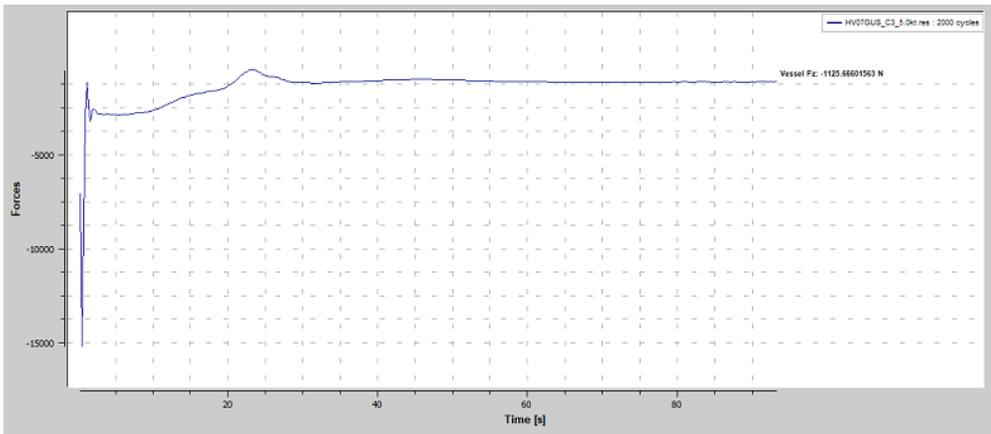
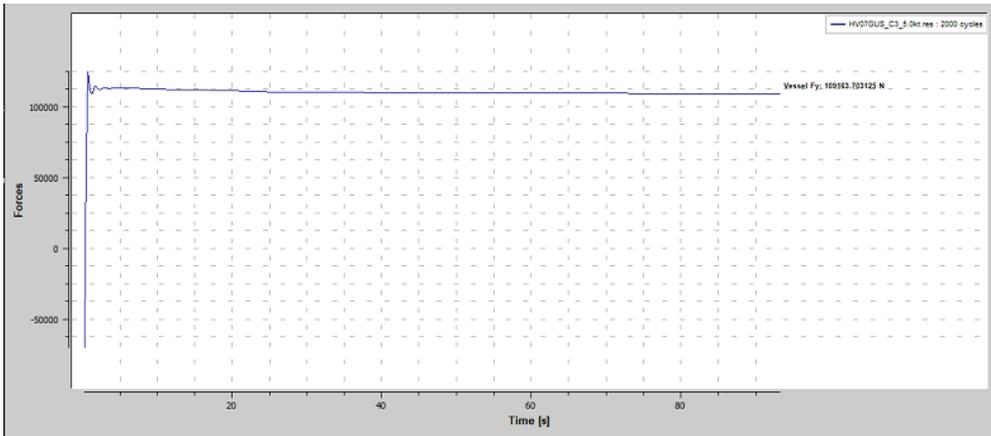
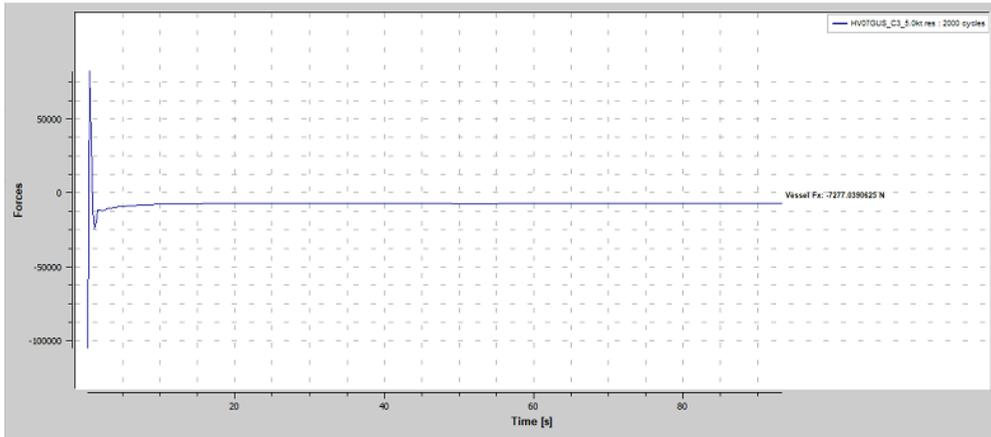


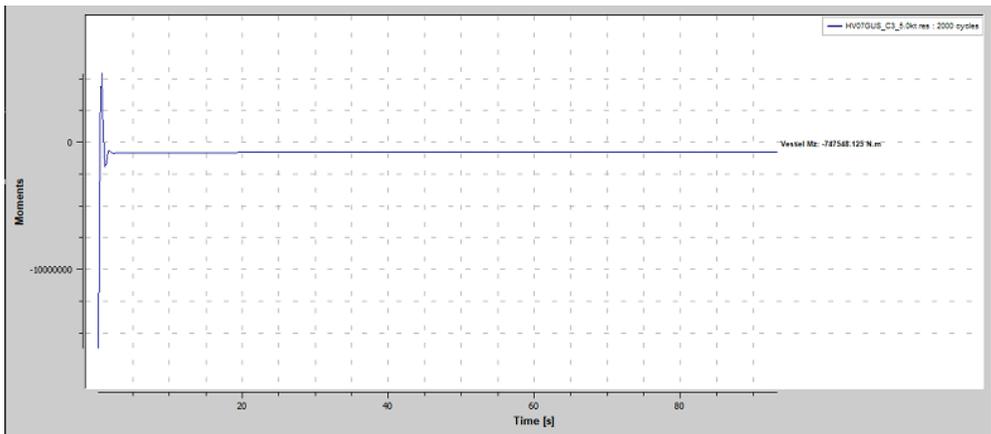
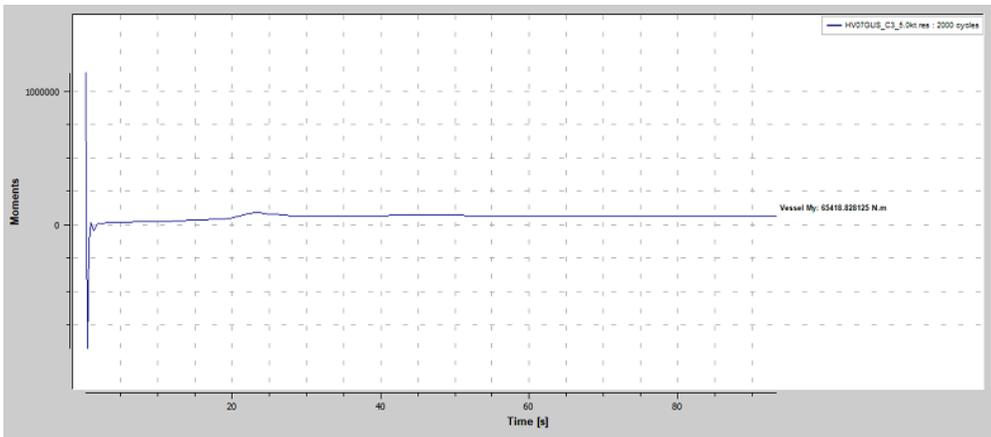
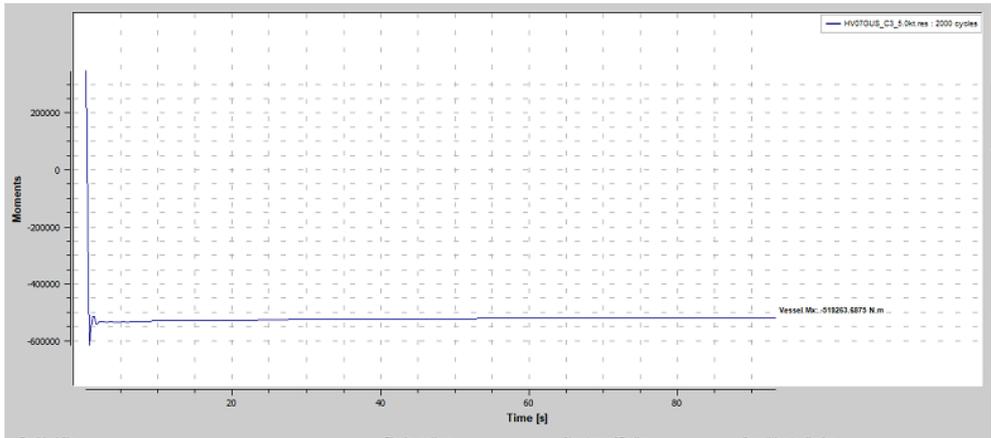
- **4 Knot**





- 5 Knot





## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ida Bagus Komang Krisnadewanta. Bertempat lahir di Surabaya pada tanggal 25 April 1998. Penulis menempuh pendidikan taman kanak-kanak di TK Menganti Permai, kemudian menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Menganti Permai. Setelah itu penulis melanjutkan di SMP Negeri 1 Kedamean Gresik dan lulus pada tahun 2013, kemdia melanjutkan ke SMA Negeri 1 Singaraja dan lulus pada tahun 2016.

Tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil bidang *Marine Manufacturing and Design (MMD)*.

Selama masa pendidikan, penulis ikut berperan aktif dalam berbagai macam organisasi dan kegiatan mahasiswa. Penulis bergabung dalam Organisasi keagamaan yaitu Tim Pembina Kerohanian Hindu Institut Teknologi Sepuluh Nopember atau yang lebih dikenal dengan sebutan TPKH-ITS. Dalam organisasi tersebut, penulis diberikan amanah untuk menjadi tim pengkader bagi mahasiswa baru beragama hindu di ITS. Pada tahun selanjutnya, penulis diberikan amanah untuk menjadi Wakil Ketua Harian I yaitu bagian Internal untuk organisasi TPKH-ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam mengikuti kepanitiaan yang sebagian besar adalah menjadi *Event Organizer* pada saat acara TPKH-Festival pada tahun 2019, SENTA 2017 dan juga SHYMPHONY yang merupakan serangkaian acara dari MARINE ICON 2019.