



TUGAS AKHIR - ME184834

**ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI
SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA
KAPAL**

**NGIZUDDIN MASRO'I
NRP. 0421154000056**

**Dosen Pembimbing
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - ME184834

**ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI
SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA
KAPAL**

**NGIZUDDIN MASRO'I
NRP. 0421154000056**

**Dosen Pembimbing
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - ME184834

**ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI
SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA
KAPAL**

**NGIZUDDIN MASRO'I
NRP. 0421154000056**

**Dosen Pembimbing
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

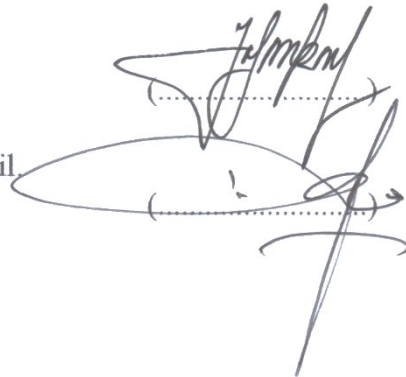
Oleh :

NGIZUDDIN MASRO'I

NRP. 04211540000056

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
NIP. 19691225 199702 1 001
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.
NIP. 19680928 199102 1 001



Surabaya, Januari 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NGIZUDDIN MASRO'I

NRP. 04211540000056

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Surabaya, Januari 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS PENGARUH PELETAKAN MAIN ENGINE DAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN POROS PROPELLER TERHADAP PERFORMA KAPAL

Nama Mahasiswa : Ngizuddin Masro'i
NRP : 0421154000056
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.

ABSTRAK

Umumnya pada tahap perhitungan tahanan dan propulsi kapal hanya memperhitungkan desain lambung kapal tanpa memperhitungkan peletakan dari komponen sistem propulsi kapal. Padahal peletakan komponen sistem propulsi kapal tersebut kemungkinan juga dapat mempengaruhi nilai tahanan dan *thrust* kapal. Termasuk dalam peletakan komponen sistem propulsi kapal tersebut adalah peletakan *main engine* dan kemiringan poros *propeller*. Perubahan peletakan *main engine* akan mempengaruhi letak titik pusat gravitasi kapal yang berpengaruh terhadap trim dan besarnya tahanan kapal. Sementara kemiringan poros *propeller* akan berpengaruh terhadap arah *thrust* yang dihasilkan *propeller*. Arah *thrust* tersebut akan sejajar dengan poros *propeller* sehingga akan memiliki dua komponen gaya yaitu gaya horizontal yang akan menggerakkan kapal dan gaya vertikal yang memberikan gaya angkat pada bagian tertentu pada kapal. Gaya angkat tersebut akan mempengaruhi trim dari kapal yang akan berdampak terhadap tahanan yang terjadi pada kapal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap seberapa besar pengaruh peletakan *main engine* dan sudut kemiringan poros *propeller* pada beberapa variasi sudut kemiringan untuk kapal ikan 60 GT terhadap performa kapal dengan menggunakan simulasi. Simulasi dilakukan dengan *software Numeca Fine Marine* dengan metode *Actuator Disk Propeller*. Variasi sudut kemiringan poros *propeller* adalah 1° , 2° , 3° , dan 4° . Pada setiap sudut kemiringan poros *propeller* terdapat dua variasi peletakan *main engine* yaitu pada jarak 4m-6.5m dari AP dan 5.5m-8m dari AP. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, semakin besar sudut kemiringan poros *propeller* maka nilai tahanan akan menjadi semakin kecil, dan gaya dorong yang dihasilkan juga semakin kecil. Ketika *main engine* digeser ke arah FP, maka nilai tahanan akan menjadi semakin besar, dan gaya dorong yang dihasilkan juga semakin besar. Kondisi paling optimal adalah pada kemiringan poros *propeller* 4° dan posisi *main engine* 4m-6.5m dari AP, di mana nilai tahanan total kapal = 9648.97 N dan gaya dorong = 16520.66, torsi = 1867.46, $KT = 0.1569$, $KQ=0.0177$, $J=0.2827$ dan efisiensi propulsi = 0.3991. Konfigurasi tersebut dipilih karena untuk membuat kapal bergerak pada kecepatan yang sama, konfigurasi tersebut membutuhkan daya yang lebih kecil.

Kata Kunci: Kemiringan Poros *Propeller*, Peletakan *Main Engine*, Tahanan, *Thrust*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF THE EFFECT OF MAIN ENGINE PLACEMENT AND PROPELLER SHAFT INCLINATION TO SHIP PERFORMANCE

Student's Name : Ngizuddin Masro'i
NRP : 0421154000056
Department : Marine Engineering
Supervisors : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil.

ABSTRACT

Generally, in the phase of the ship resistance and propulsion calculation only takes into account the design of the hull without taking into account the placement of the ship propulsion system components. Even though the placement of the ship propulsion system components might also affect the value of the ship's resistance and thrust. Included in the placement of the ship's propulsion system components are the placement of the main engine and propeller shaft inclination. Changes in the placement of the main engine will affect the location of the center of gravity of the ship which affects the trim and the amount of resistance of the ship. While the slope of the propeller shaft will affect the direction of thrust produced by the propeller. The direction of the thrust will be parallel to the propeller shaft so that it will have two force components namely the horizontal force that will move the ship and the vertical force that gives lift to certain parts of the ship. The lift will affect the trim of the ship which will have an impact on the resistance that occur on the ship. In this study, an analysis of how big the effect of the placement of the main engine and the propeller shaft inclination on various inclination angles for the fishing vessel 60 GT on the ship's performance by using simulation. Simulations were performed with Numeca Fine Marine software using the Actuator Disk Propeller method. Propeller shaft inclination variations are 1°, 2°, 3°, and 4°. At each propeller shaft inclination there are two variations of the placement of the main engine at a distance of 4m-6.5m from the AP and 5.5m-8m from the AP. Based on the results of the simulation that has been done, the greater the angle of the propeller shaft inclination, the resistance value will be even smaller, and the thrust produced is also smaller. When the main engine is shifted towards FP, the resistance value will be greater, and the thrust generated is also greater. The most optimal conditions are on the rake of the propeller shaft 4° and the main engine position 4m-6.5m from the AP, the total resistance value of the ship = 9648.97 N and the thrust = 16520.66, torque = 1867.46, $KT = 0.1569$, $KQ = 0.0177$, $J = 0.2827$ and propulsion efficiency = 0.3991. This configuration was chosen because to make the ship move at the same speed, the configuration requires less power.

Keywords: Propeller Shaft Inclination, Main Engine Pacement, Resistance, Thrust

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb. Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji hanya bagi Allah tuhan seluruh alam. Ucapan Allahumma sholli 'ala sayyidina Muhammad semoga tetap tersampaikan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW sang juru selamat umat manusia. Atas berkah Allah SWT yang maha kuasa dan dengan keinginan luhur Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Pengaruh Peletakan Main Engine dan Variasi Sudut Kemiringan Poros Propeller Terhadap Performa Kapal" dapat saya selesaikan dengan penuh perjuangan dan doa.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak. Sebagai bentuk rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Kedua orang tua saya di rumah, Bapak Sakur dan Ibu Siti Ngaliyah yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan memanjatkan doa untuk saya agar diberikan kemudahan dalam menuntut ilmu di kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D, selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
3. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T., selaku Dosen Wali sekaligus Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan baik dalam pengerjaan Tugas Akhir ini maupun selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
4. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil., selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu, membagikan ilmu, dan memberikan arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Kakak penulis: Binti Masroka atas doa dan dukungannya kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
6. Para penghuni dan mantan penghuni kamar NF3 : Farros, Zaki, Toni, Ali, Zulqur, Mbok, Fahmi, Abdul, Ma'i, Mbah Yahya, Azmi, Saiful, Fattah, Angger
7. Ma Ulfi Mirza Ghifani yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga pengerjaan skripsi ini berjalan dengan lancar.
8. Seluruh Santri Pondok Pesantren Darussalam Keputih, Sukolilo, Srabaya.
9. Penghuni Komisariat PMII Sepuluh Nopember.
10. Sahabat PMII Sepuluh Nopember Surabaya.
11. Sahabat seperjuangan ITS-120 di lab MMD yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Sahabat SALVAGE '15 atas dukungan dan semangatnya.
13. Sahabat di UKM Penalaran dan UKM Cinta Rebana ITS
14. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini saya yakin masih jauh dari kata sempurna. Sehingga saya sangat membutuhkan kritik dan saran dari seluruh pihak yang berkenan membaca dan meneliti laporan ini. Akan tetapi saya sangat berharap pengerjaan tugas akhir yang telah saya kerjakan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Meskipun kemungkinan hanya akan bermanfaat sebagai bahan referensi untuk adik-adik saya nantinya.

Sebaik-baiknya orang adalah orang yang dapat memberikan manfaat kepada orang lain. Demikian yang dapat saya sampaikan, semoga kita dapat terus belajar dan suatu saat nanti bisa memberikan kontribusi nyata ke masyarakat. Terima kasih dan salam atas nama Tuhan.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR - ME184834.....	i
TUGAS AKHIR - ME184834.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRAK	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Tugas Akhir	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Sistem Propulsi	3
2.2. Sistem Transmisi.....	3
2.3. Sistem Perporosan.....	5
2.4. Titik Pusat Gravitasi	6
2.5. Kemiringan Poros	7
2.6. Tahanan Kapal	8
2.7. Distribusi Daya di Kapal.....	9
2.7.1. BHP (<i>Brake Horse Power</i>).....	9
2.7.2. SHP (<i>Shaft Horse Power</i>).....	9
2.7.3. DHP (<i>Delivery Horse Power</i>)	9
2.7.4. THP (<i>Thrust Horse Power</i>)	10
2.7.5. EHP (<i>Effective Horse Power</i>).....	10
2.7.6. Efisiensi Sistem Penggerak Kapal.....	10
2.8. Trim	12
2.9. Metode <i>Actuator Disk Propeller</i> (Teori Momentum Propeller)	13

2.10.	Metode Computational Fluid Dynamics-Actuator Disc Propeller (CFD-ADP)	13
2.11.	Aplikasi Modeling dan Analisis	15
BAB III METODOLOGI		17
3.1.	Diagram Alir	17
3.2.	Tahap Pengerjaan	18
3.2.1	Studi Literatur	18
3.2.2	Pengumpulan Data	18
3.2.3	Pembuatan Model	18
3.2.4	Penentuan Variasi Sudut Kemiringan Poros <i>Propeller</i>	18
3.2.5	Simulasi <i>Software</i>	19
3.2.6	Analisis Data dan Pembahasan	19
3.2.7	Kesimpulan dan Saran	19
3.3.	Jadwal Pelaksanaan	20
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		21
4.1.	Data Spesifikasi Kapal	21
4.2.	Pembuatan Model Kapal	23
4.3.	Perhitungan <i>Actuator Disk Propeller</i>	24
4.4.	Pengaturan Variasi Sudut Kemiringan Poros <i>Propeller</i>	26
4.5.	Tahapan Simulasi	27
4.5.1.	Tahapan Meshing atau Pre Processor	27
4.5.2.	Tahapan Flow Setting dan Solver dengan Actuator Disk Propeller	36
4.6.	Pembahasan dan Analisis Data Hasil Simulasi	43
4.6.1.	Data Hasil Simulasi	43
4.6.2.	Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Maxsurf</i> , Simulasi, dan Pengujian	44
4.6.3.	Analisis Tahanan Kapal	44
4.6.4.	Analisis Gaya Dorong Propeller	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Propulsi Kapal	3
Gambar 2. 2 Direct Drive Transmission System.....	4
Gambar 2. 3 Geared Drive Transmission System	4
Gambar 2. 4 Electric Drive Transmission System	5
Gambar 2. 5 Sistem Perporosan pada Kapal dengan Strut Bearing dan tanpa Strut Bearing.....	6
Gambar 2. 6 Pergeseran Titik Pusat Gravitasi Akibat Massa yang Dihilangkan (a), Massa yang Ditambahkan (b), dan Massa yang Dipindahkan (c).....	6
Gambar 2. 7 Clearance Propeller.....	7
Gambar 2. 8 Trim pada Kapal.....	12
Gambar 2. 9 Actuator Disk Propeller Theory	13
Gambar 2. 10 Actuator Disk Modelling dengan CFD.....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir pengerjaan	17
Gambar 3. 2 Skema Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros Propeller dan Peletakan Main Engine	19
Gambar 4. 1 <i>Linesplan</i> Kapal Ikan 60 GT	22
Gambar 4. 2 Pandangan Samping GA Kapal Ikan 60 GT.....	22
Gambar 4. 3 Hasil Permodelan Kapal Ikan 60 GT Menggunakan Maxurf Modeller	23
Gambar 4. 4 Hasil Permodelan Kapal Ikan 60 GT Dalam Bentuk <i>Solid</i> Menggunakan <i>Rhinoceros</i>	23
Gambar 4. 5 Karakteristik <i>Propeller</i> Kapal	25
Gambar 4. 6 Konfigurasi 1	26
Gambar 4. 7 Konfigurasi 2	26
Gambar 4. 8 Konfigurasi 3	26
Gambar 4. 9 Konfigurasi 4.....	27
Gambar 4. 10 Konfigurasi 5.....	27
Gambar 4. 11 Konfigurasi 6.....	27
Gambar 4. 12 Konfigurasi 7.....	27
Gambar 4. 13 Konfigurasi 8.....	27
Gambar 4. 14 Standar Ukuran <i>Boundary Condition</i>	28
Gambar 4. 15 Model Kapal Yang Telah Diimport ke Fine Marine	29
Gambar 4. 16 <i>Report C-Wizard</i>	31
Gambar 4. 17 Hasil Pembuatan Domain <i>C-Wizard</i>	31
Gambar 4. 18 Hasil <i>Intial Mesh</i>	32
Gambar 4. 19 Hasil <i>Adapt to Geometry</i>	33
Gambar 4. 20 Hasil <i>Snap to Geometry</i>	34
Gambar 4. 21 Hasil <i>Optimize</i>	35
Gambar 4. 22 Hasil <i>Viscous Layers</i>	36
Gambar 4. 23 Permodelan Actuator Disk untuk Sudut Kemiringan Poros Propeller 1 ^o	41

Gambar 4. 24 Permodelan Actuator Disk untuk Sudut Kemiringan Poros Propeller 2°	41
Gambar 4. 25 Permodelan Actuator Disk untuk Sudut Kemiringan Poros Propeller 3°	42
Gambar 4. 26 Permodelan Actuator Disk untuk Sudut Kemiringan Poros Propeller 4°	42
Gambar 4. 27 Nilai Tahanan Total dari Setiap Konfigurasi.....	45
Gambar 4. 28 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 1.....	46
Gambar 4. 29 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 2.....	46
Gambar 4. 30 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 3.....	47
Gambar 4. 31 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 4.....	47
Gambar 4. 32 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 5.....	47
Gambar 4. 33 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 6.....	48
Gambar 4. 34 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 7.....	48
Gambar 4. 35 Free Surface Tampak Atas Pada Konfigurasi 8.....	48
Gambar 4. 36 Nilai Thrust dari Setiap Konfigurasi.....	49
Gambar 4. 37 Nilai Torsi dari Setiap Konfigurasi	49
Gambar 4. 38 Grafik Hasil Analisa Efisiensi Propeller dari Tiap Konfigurasi	50
Gambar 4. 39 Nilai Efisiensi Propulsi dari Setiap Konfigurasi.....	51
Gambar 4. 40 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 1	51
Gambar 4. 41 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 1	52
Gambar 4. 42 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 2.....	52
Gambar 4. 43 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 2	52
Gambar 4. 44 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 3	53
Gambar 4. 45 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 3	53
Gambar 4. 46 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 4.....	53
Gambar 4. 47 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 4	54
Gambar 4. 48 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 5	54
Gambar 4. 49 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 5	54
Gambar 4. 50 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 6.....	55
Gambar 4. 51 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 6	55
Gambar 4. 52 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 7	55
Gambar 4. 53 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 7	56
Gambar 4. 54 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 8.....	56
Gambar 4. 55 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 8	56
Gambar 4. 56 wake flow pada jarak 0m, 1m, 2m, dan 5m dari propeller pada konfigurasi 1.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros <i>Propeller</i> dan Peletakan <i>Main Engine</i>	18
Tabel 3. 2 Jadwal Pelaksanaan Pengerjaan Tugas Akhir	20
Tabel 4. 1 Ukuran Utama Kapal.....	21
Tabel 4. 2 Ukuran <i>Propeller</i>	22
Tabel 4. 3 Spesifikasi <i>Propeller</i> yang Digunakan dalam Simulasi <i>Actuator Disk</i> <i>Propeller</i>	25
Tabel 4. 4 Karakteristik <i>Propeller</i> (KT, KQ dan η)	25
Tabel 4. 5 Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros <i>Propeller</i> dan Peletakan <i>Main Engine</i>	26
Tabel 4. 6 Parameter Project Management.....	28
Tabel 4. 7 Parameter Body Configuration.....	29
Tabel 4. 8 Parameter <i>Flow Definition</i>	29
Tabel 4. 9 Parameter Additional Input pada Konfigurasi 2.....	30
Tabel 4. 10 Parameter Mesh Setup.....	30
Tabel 4. 11 Parameter Intial Mesh	31
Tabel 4. 12 Parameter Adapt to Geometry	32
Tabel 4. 13 Parameter Snap to Geometry.....	33
Tabel 4. 14 Parameter Optimize.....	34
Tabel 4. 15 Parameter Viscous Layers	35
Tabel 4. 16 Jumlah Cell Hasil Meshing Model Kapal	36
Tabel 4. 17 Konfigurasi General Parameter	37
Tabel 4. 18 Parameter Fluid Model.....	37
Tabel 4. 19 Parameter Flow Model	37
Tabel 4. 20 Parameter Boundary Condition	38
Tabel 4. 21 Konfigurasi Body Definition.....	38
Tabel 4. 22 Parameter Body Motion pada Konfigurasi 2.....	39
Tabel 4. 23 Nilai Center of Gravity untuk Masing-Masing Konfigurasi	39
Tabel 4. 24 Parameter Mesh Management	40
Tabel 4. 25 Parameter Initial solutions.....	40
Tabel 4. 26 Parameter Actuator Disk Definition Konfigurasi 2.....	40
Tabel 4. 27 Nilai Shaft Direction untuk Masing-Masing Konfigurasi	41
Tabel 4. 28 Parameter Control Variabel dan Outputs	42
Tabel 4. 29 Nilai Tahanan Total Kapal, Thrust, Torsi, dan Putaran Propeller Hasil Simulasi dengan menggunakan Software Numeca Fine Marine.....	43
Tabel 4. 30 Nilai Luasan Lambung Kapal yang Tercelup dan Sudut Trim Kapal Hasil Simulasi dengan menggunakan Software Numeca Fine Marine.....	43
Tabel 4. 31 Nilai KT, KQ, J dan Efisiensi Propeller Hasil Simulasi dengan menggunakan Software Numeca Fine Marine	44

Tabel 4. 32 Perbandingan Nilai Tahanan Total dari Perhitungan Maxsurf Resistance, Pengujian , dan Simulasi dengan CFD	44
Tabel 4. 33 Nilai Advance Velocity pada Tiap Konfigurasi	57

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem propulsi kapal adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menggerakkan kapal pada suatu kecepatan tertentu. Secara umum sistem propulsi terdiri dari tiga komponen yaitu mesin penggerak utama, sistem transmisi dan alat penggerak kapal (*propulsor*). Perancangan ketiga bagian ini sangat tergantung dari tipe kapal, ukuran utama, kecepatan kapal, model lambung, serta model buritan kapal.

Idealnya dalam proses perencanaan sistem propulsi kapal dimulai dengan perhitungan tahanan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan daya mesin dan pemilihan *propeller*. Meskipun pada praktiknya di lapangan kadang *propeller* sudah ditentukan oleh *owner* sebelum perhitungan tahanan dan daya mesin dilakukan sehingga perencanaan sistem propulsi kapal menjadi kurang optimal. Perhitungan yang dilakukan pada tahap ini umumnya hanya memperhitungkan desain lambung kapal tanpa memperhitungkan peletakan dari komponen sistem propulsi kapal. Padahal peletakan komponen sistem propulsi kapal tersebut kemungkinan juga dapat mempengaruhi nilai tahanan dan *thrust* kapal. Termasuk dalam peletakan komponen sistem propulsi kapal tersebut adalah peletakan *main engine* dan kemiringan poros *propeller*.

Pada tahap perhitungan tahanan dan propulsi kapal, peletakan *main engine* masih belum ditentukan. Padahal peletakan *main engine* memiliki pengaruh terhadap letak titik pusat gravitasi kapal. Letak titik pusat gravitasi tersebut berpengaruh terhadap stabilitas kapal termasuk trim dari kapal. Trim tersebut akan mempengaruhi performa kapal.

Untuk beberapa alasan seperti untuk memenuhi persyaratan *clearance*, kapal di desain dengan poros *propeller* yang memiliki sudut kemiringan terhadap garis air. Desain tersebut tentu memiliki pengaruh salah satunya terhadap kondisi performa dari kapal. Desain poros *propeller* yang memiliki sudut kemiringan terhadap garis air akan berpengaruh terhadap arah *thrust* yang dihasilkan propeller. Arah *thrust* tersebut akan sejajar dengan poros *propeller* sehingga akan menghasilkan dua komponen gaya selama pengoperasiannya yaitu gaya horizontal yang akan menggerakkan kapal dan gaya vertikal yang memberikan gaya angkat pada bagian tertentu pada kapal. Gaya angkat tersebut akan mempengaruhi trim dari kapal yang juga akan berdampak terhadap performa kapal.

Informasi tentang seberapa besar pengaruh peletakan *main engine* dan sudut kemiringan poros *propeller* tentu cukup penting untuk menghasilkan desain kapal yang lebih baik. Karena itu, pada penelitian ini akan dianalisis mengenai pengaruh peletakan *main engine* dan sudut kemiringan poros *propeller* terhadap performa kapal ikan 60 GT.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh peletakan *main engine* dan sudut kemiringan poros *propeller* terhadap performa kapal. Studi dilakukan pada kapal ikan 60 GT.

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh peletakan *main engine* dan sudut kemiringan poros *propeller* terhadap performa kapal. Studi dilakukan pada kapal ikan 60 GT.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Analisis hanya dilakukan terhadap kemiringan poros *propeller* dalam arah vertikal.
2. Analisis dilakukan dengan bantuan *software* Numeca Fine Marine menggunakan metode *actuator disc propeller*.
3. Analisis hanya dilakukan pada kapal ikan 60 GT.

1.5. Manfaat Penelitian

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

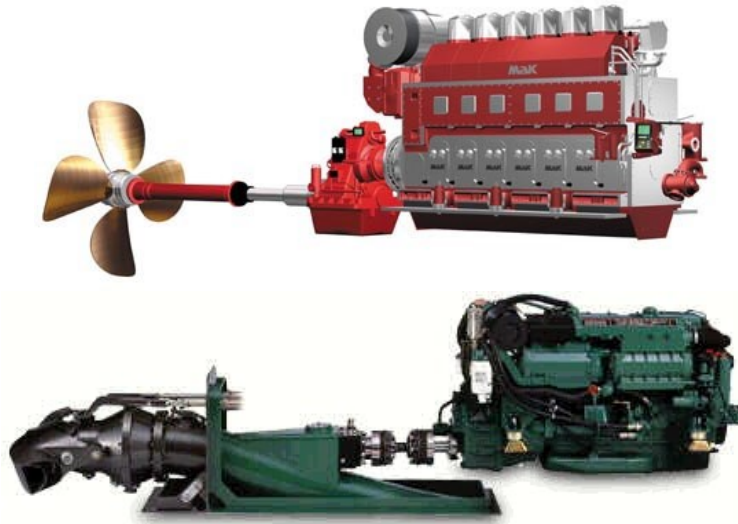
1. Mendapatkan informasi yang cukup tentang kemiringan poros *propeller* yang memiliki pengaruh signifikan terhadap performa kapal.
2. Menjadi pertimbangan bagi desainer kapal untuk mendapatkan desain kapal yang lebih baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Propulsi

Pada saat beroperasi di laut, suatu kapal harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan kecepatan dinas (V_s) seperti yang direncanakan. Hal ini mempunyai arti bahwa, kapal haruslah mempunyai rancangan sistem propulsi (penggerak) yang dapat mengatasi keseluruhan gaya-gaya hambat (*total resistance*) yang terjadi agar memenuhi standar kecepatan dinasnya. Dasar perancangan sistem penggerak utama adalah merupakan koordinasi antara *prime mover* dengan sistem transmisi dan *propulsor*. Untuk menentukan pilihan seorang *marine engineer* harus mempertimbangkan beberapa kemungkinan kombinasi permesinan (Prasetya, et al., 2016).

Secara umum, sistem propulsi kapal terdiri dari tiga komponen utama, antara lain: motor penggerak utama (*prime mover*), sistem transmisi (*transmission*), alat gerak (*propulsor*). Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang didalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. Kesalahan didalam perancangan, akan membawa konsekuensi yang sangat besar terhadap kondisi-kondisi sebagai berikut: tidak tercapainya kecepatan dinas kapal yang direncanakan, *Fuel oil consumption* yang tidak efisien, turunnya nilai ekonomis dari operasional kapal tersebut, pengaruh pada tingkat vibrasi yang terjadi pada badan kapal, dsb. (Prasetya, et al., 2016).



Gambar 2. 1 Sistem Propulsi Kapal

Sumber : Santoso, 2016

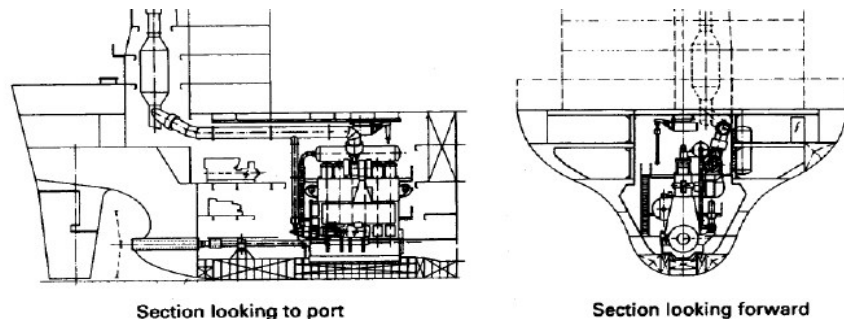
2.2. Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan subsistem dari sistem propulsi. Komponen dari sistem ini terdiri dari poros, *gearbox*, dan *bearing*. Sistem ini memiliki dua fungsi yaitu:

- a. Meneruskan daya dari motor penggerak utama (*prime mover*) ke alat gerak (*propulsor*).
- b. Meneruskan *thrust* dari alat gerak (*propulsor*) ke lambung kapal (Santoso, 2016).
Ada tiga jenis sistem transmisi yang biasa digunakan di kapal. Tiga jenis sistem transmisi tersebut adalah :

- a. *Direct Drive*

Sistem transmisi dimana motor penggerak utama (*prime mover*) dihubungkan langsung dengan *propulsor* dengan poros. Biasanya sistem ini digunakan pada kapal dengan motor penggerak utama (*prime mover*) berupa mesin diesel kecepatan rendah (*low speed diesel engine*).

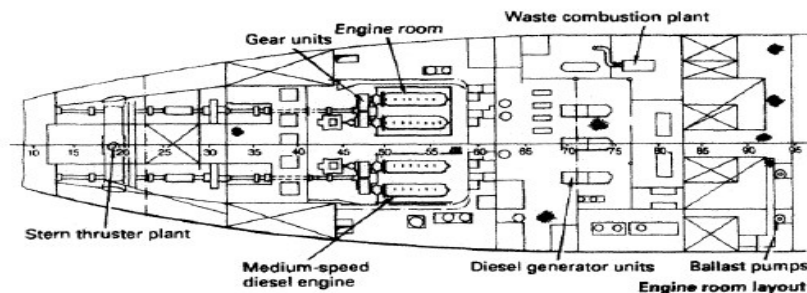


Gambar 2. 2 *Direct Drive Transmission System*

Sumber : Santoso, 2016

- b. *Geared Drive*

Sistem transmisi dimana motor penggerak utama (*prime mover*) dihubungkan dengan propulsor menggunakan *gearbox* dan poros. Fungsi dari *gearbox* adalah untuk menurunkan putaran agar sesuai dengan *rotational speed propulsor*.



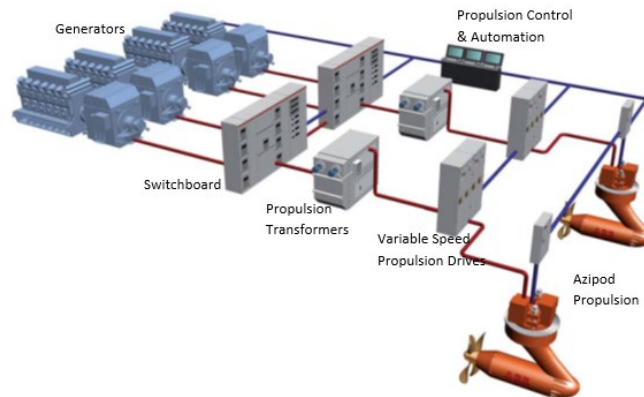
Gambar 2. 3 *Geared Drive Transmission System*

Sumber : Santoso, 2016

- c. *Electric Drive*

Sistem transmisi dimana untuk meneruskan daya dari motor penggerak utama (*prime mover*) ke *propulsor* menggunakan komponen elektrik. Sistem ini menggunakan generator set sebagai mesin penggerak, dimana dalam hal ini generator dihubungkan ke *switchboard*, dan selanjutnya energi atau aliran listrik

diteruskan ke transformer, kemudian dikonversi dengan menggunakan konverter ke motor elektrik yang menggerakkan baling-baling kapal.



Gambar 2. 4 *Electric Drive Transmission System*

Sumber : Windyandari, 2014

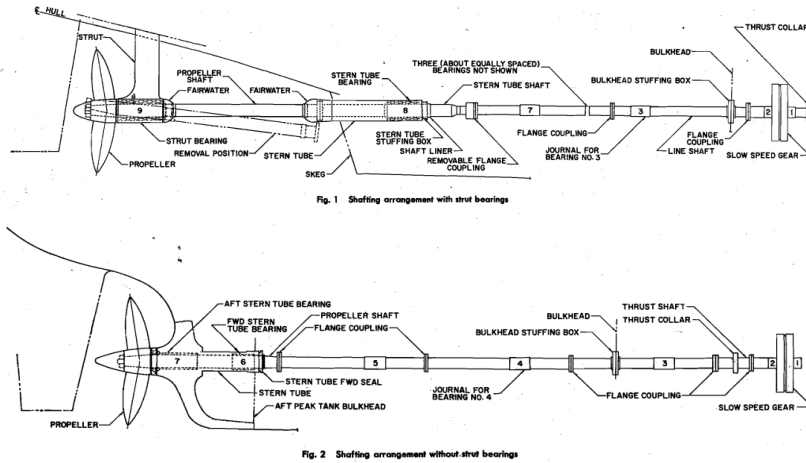
2.3. Sistem Perporosan

Poros propeller berfungsi untuk mengubah daya dalam bentuk putaran dari mesin penggerak utama menjadi gaya dorong untuk menggerakkan kapal dan pada saat yang sama juga meneruskan gaya dorong yang dihasilkan propulsor ke struktur lambung kapal. Sistem perporosan harus mampu memenuhi tugas-tugas berikut :

- Mentransmisikan daya output dari mesin penggerak utama ke *propulsor*
- Mendukung (*support*) *propulsor*.
- Mentransmisikan thrust yang dihasilkan propulsor ke lambung kapal.
- Menahan beban penoperasian (misalnya manuver kapal pada kecepatan tinggi atau pembalikan putataran *propeller* dengan cepat).
- Bebas dari getaran yang merusak.
- Menyediakan operasi yang handal selama dalam rentang pengoperasiannya.
- Sedikit membutuhkan perawatan (Harrington, 1992).

Pada sistem perporosan kapal terdapat empat jenis poros yang masing-masing dihubungkan dengan kopling dan disangga dengan bearing. Empat jenis poros tersebut adalah :

- Thrust Shaft*
Berfungsi meneruskn thrust ke lambung kapal.
- Line Shaft/ Intermediate Shaft*
Menghubungkan tern-tube shaft atau tail shaft dengan thrust shaft.
- Stern-tube Shaft*
Poros yang menembus lambung kapal. Biasanya terdapat pada kapal yang porosnya keluar dari lambung.
- Tail Shaft/ Propeller Shaft*
Berfungsi menghubungkan dengan *propulsor* sekaligus sebagai tempat pemasangan propeller



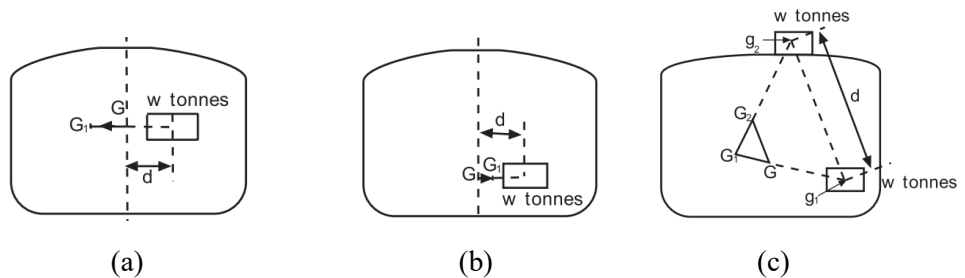
Gambar 2. 5 Sistem Perporosan pada Kapal dengan *Strut Bearing* dan tanpa *Strut Bearing*

Sumber : Harrington, 1992

Secara umum poros dibuat dari *forged* (baja ringan). Terkadang juga dibuat dari baja tarik tinggi (*high tensile steel*), atau paduan seperti *stainless steel* dan mungkin juga dari bahan komposit. Poros biasanya berupa *solid*, tetapi juga bisa dibuat berlubang misalnya untuk poros untuk propeller tipe *Controllable Pitch Propeller* (CPP) (Santoso, 2016).

2.4. Titik Pusat Gravitasi

Titik pusat gravitasi (berat) suatu benda adalah suatu titik di mana seluruh massa dari benda tersebut diasumsikan terkonsentrasi pada titik tersebut. Pada titik tersebut gaya gravitasi dianggap bekerja secara vertikal ke bawah, dengan gaya yang sama dengan berat benda tersebut. Di kapal, titik pusat gravitasi dapat berpindah akibat adanya massa yang ditambahkan, massa yang dihilangkan, dan massa yang dipindahkan (Derrett & Barrass, 1999).



Gambar 2. 6 Pergeseran Titik Pusat Gravitasi Akibat Massa yang Dihilangkan (a), Massa yang Ditambahkan (b), dan Massa yang Dipindahkan (c)

Sumber : Derrett & Barrass, 1999

Titik pusat gravitasi kapal akan berpindah ke arah titik pusat gravitasi dari massa yang ditambahkan. Titik pusat gravitasi kapal akan menjauh dari arah titik pusat gravitasi dari massa yang dihilangkan. Titik pusat gravitasi kapal akan berpindah paralel dengan perpindahan titik pusat gravitasi dari massa yang dipindahkan. Perpindahan dari titik pusat gravitasi untuk setiap kasus diberikan dengan perumusan sebagai berikut (Derrett & Barrass, 1999)

$$GG_1 = \frac{w \times d}{W} \quad (1)$$

Di mana

GG_1 : Perpindahan titik pusat gravitasi

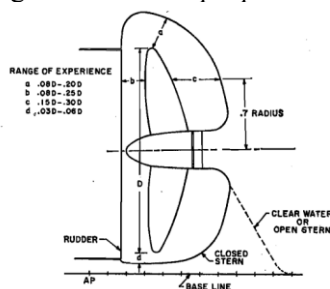
d : Perpindahan benda

w : Massa benda

W : *Displacement* kapal

2.5. Kemiringan Poros

Pemasangan poros *propeller* dipengaruhi oleh letak *output flange* dari *main engine* dan *propeller*. Lokasi *main engine* biasanya sudah ditentukan pada tahap *preliminary design*. Lokasi *propeller* ditentukan berdasarkan diameter *propeller* dan *clearance* antara *propeller* dan lambung kapal. Letak *propeller* biasanya berada di antara *propeller tip* dan *base line*. Ukuran *propeller* juga diusahakan berada pada rentang tersebut dan masih berada di bawah air ketika sarat kosong. Namun dalam praktiknya, diameter *propeller* yang di dapat lebih besar dari rentang tersebut khususnya untuk kapal-kapal cepat dengan *draft* yang kecil dan *ballast* yang sedikit atau bahkan tidak menggunakan *ballast*. Untuk kondisi tersebut biasanya *propeller* diposisikan dibawah *base line* agar *propeller* tidak keluar dari air ketika sarat kosong dan *clearance propeller* terpenuhi (Harrington, 1992).



Gambar 2. 7 Clearance Propeller

Sumber : Harrington, 1992

Untuk mengakomodasi peletakan *main engine* dan *propeller*, poros di desain memiliki kemiringan. Biasanya poros dibuat miring dengan bagian belakang lebih rendah. Pada kapal *multiscrew* poros dibuat miring dalam dua arah yaitu miring ke bawah dan ke samping menjauhi *centerline* pada bagian belakang. Sudut kemiringan yang besar akan memberikan pengaruh berupa pengurangan *propulsive efficiency*. Pengurangan *propulsive efficiency* tersebut adalah sebesar

$$e = (1 - \cos\theta \cos\phi)100 \quad (2)$$

Di mana θ adalah sudut kemiringan dalam arah vertikal dan φ sudut kemiringan dalam arah horizontal diukur dari *centerline* kapal (Harrington, 1992).

2.6. Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa hingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu kapal. Desain lambung adalah sebuah bentuk yang paling berpengaruh terhadap besarnya tahanan kapal. Dengan adanya besaran tahanan akan mempengaruhi kecepatan serta kebutuhan daya penggerak kapal.

Tahanan total dari suatu kapal dibagi menjadi beberapa komponen tahanan sebagai berikut (Holtrop & Mennen, 1982)

$$R_T = R_F(1 + K) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (2)$$

Di mana

R_F : Frictional resistance according to the ITTC 1957 formula.

$1 + k$: Form faktor of the hull.

R_{APP} : Appendage resistance.

R_W : Wave resistance.

R_B : Additional pressure resistance of bulbous bow near the water surface.

R_{TR} : Additional pressure resistance due to transom immersion.

R_A : Model-ship corelation resistance.

Tahanan kapal sesuai dengan standar ITTC, dijelaskan dengan rumus sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_T \quad (3)$$

Dalam persamaan tersebut massa jenis air (ρ) dan kecepatan (V) bernilai konstan. Jadi perubahan hambatan adalah fungsi dari luas permukaan basah (S) dan koefisien tahanan total kapal (C_T). Untuk memperoleh keuntungan salah satu atau keduanya harus dikurangi (Larsen dalam Margono, 2017).

Luas permukaan basah dihitung pada saat kapal dalam kondisi diam. Ketika kapal tersebut trim luas permukaan basah kapal akan berubah. Karena bentuk badan kapal yang lebih gemuk pada bagian buritan, luas permukaan basah kapal pada saat trim buritan cenderung lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan basah pada saat kapal dalam kondisi *even keel*. Sebaliknya luas permukaan basah pada saat trim haluan lebih kecil dibandingkan dengan luas permukaan basah pada saat kapal dalam kondisi *even keel*. Koefisien tahanan total dapat digambarkan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_T = C_R + (1 + k)C_F + C_A \quad (4)$$

Koefisien *Allowance* kapal (C_A) pada umumnya dijaga dalam kondisi tetap konstan kecuali untuk kapal dengan variasi sarat yang sangat besar, misalnya VLCC pada kondisi bongkar muat.

Perubahan koefisien hambatan gesek (C_F) menurut standar ITTC sebanding dengan besarnya angka reynold di sepanjang lambung:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(Re)-2)^2} \quad (5)$$

Di mana besarnya Reynold number (Re) adalah sebagai berikut

$$Re = \frac{V \cdot Lwl}{\nu} \quad (6)$$

Viskositas kinematik air laut (ν) bernilai konstan untuk suhu yang sama. Dari persamaan sebelumnya dapat diketahui bahwa koefisien tahanan gesek kapal merupakan fungsi dari Lwl dan keduanya berbanding terbalik.

Sementara *residual resistance coefficient* (C_R) dipengaruhi oleh letak LCB, bentuk lambung kapal, lebar kapal, sarat kapal dan bentuk serta ukuran *bulbous bow*.

2.7. Distribusi Daya di Kapal

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan (DHP) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (SHP), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem (BHP) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal (Sahid, 2019). Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan di dalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain :

2.7.1. BHP (*Brake Horse Power*)

BHP atau daya rem adalah daya yang diukur pada kopling poros engkol dengan menggunakan rem mekanis, hidrolis, atau listrik. Tes ini dilakukan oleh *engine maker* dan dihitung dengan formula berikut (Lewis, 1988)

$$BHP = 2\pi Qn \quad (7)$$

Di mana

Q : Torsi rem (kNm)

n : Putaran kopling poros engkol (rpm)

2.7.2. SHP (*Shaft Horse Power*)

SHP (*Shaft Horse Power*) adalah daya yang ditransmisikan melalui poros ke baling-baling. Biasanya diukur di atas kapal sedekat mungkin dengan *propeller* (Lewis, 1988).

$$SHP = BHP \times \eta_g \quad (8)$$

Di mana

η_g : Efisiensi transmisi poros

2.7.3. DHP (*Delivery Horse Power*)

Daya yang disalurkan (DHP) adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan daya dorong sebesar PT, atau dengan kata lain, DHP merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (*propeller*) yang kemudian diubahnya menjadi daya dorong kapal (THP). Variabel yang berpengaruh pada daya ini adalah torsi yang disalurkan dan putaran baling-baling (Sahid, 2019).

$$DHP = SHP \times \eta_s \quad (9)$$

Di mana

η_s : Efisiensi reduction gear

$$DHP = 2\pi Qn \quad (10)$$

Di mana

Q : Torsi baling-baling (kNm)

n : Putaran baling-baling (rps)

2.7.4. THP (*Thrust Horse Power*)

THP (*Thrust Horse Power*) adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (*propulsor*) untuk mendorong badan kapal. Daya dorong merupakan fungsi dari gaya dorong dan laju aliran fluida yang terjadi saat alat gerak kapal bekerja. THP lebih kecil daripada DHP karena adanya kehilangan daya yang terjadi saat mengubah gaya rotasi *propeller* ke dalam gaya dorong menggerakkan kapal (Sahid, 2019).

$$THP = DHP \times \eta_b \quad (11)$$

Di mana

η_b : Efisiensi *propeller behind the ship*

$$THP = T \times Va \quad (12)$$

T : Gaya dorong (kN)

: $\frac{R_T}{1-t}$

Va : Kecepatan advance aliran fluida di bagian buritan kapal (m/s)

: $Vs(1-w)$

2.7.5. EHP (*Effective Horse Power*)

EHP (*Effective Horse Power*) adalah besarnya daya yang diperlukan untuk mengatasi tahanan kapal untuk bergerak sesuai dengan kecepatan servis yang diinginkan.

$$EHP = DHP \times PC \quad (13)$$

Di mana

PC : *Propulsive Coefficient*

$$EHP = R_T \times Vs \quad (14)$$

Di mana

R_T : Tahanan total kapal (kN)

Va : Kecepatan kapal (m/s)

2.7.6. Efisiensi Sistem Penggerak Kapal

Tidak semua daya dari *main engine* sampai ke *propeller* dan diubah menjadi gaya dorong oleh *propeller*. Ada *losses* yang terjadi selama proses transmisi daya dari *main engine* ke *propeller*. *Losses* dari daya-daya tersebut sering dinyatakan dengan istilah efisiensi, meskipun untuk beberapa hal sesungguhnya bukanlah suatu nilai konversi daya secara langsung.

- a. Efisiensi lambung (η_h)

Efisiensi lambung adalah rasio antara daya efektif (EHP) dan daya dorong (THP). Efisiensi Lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung (*stern*) terhadap *propulsor arrangement*-nya, sehingga efisiensi ini bukanlah bentuk *power conversion* yang sebenarnya (Sahid, 2019).

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w} \quad (15)$$

Di mana t merupakan *thrust deduction fraction* yang dapat dicari dengan persamaan berikut

$$t = 1 - \frac{R_T}{T} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} t \text{ standar} &= 0,5 \times C_p - 0,12 \text{ (single screw)} \\ &= 0,5 \times C_p - 0,19 \text{ (twin screw)} \end{aligned}$$

Sedangkan w adalah *wake fraction* yang dapat dicari dengan persamaan berikut

$$w = 1 - \frac{V_a}{V_s} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} w \text{ standar} &= 0,7 \times C_p \text{ (single screw with normal stern)} \\ &= 0,5 \times C_p \text{ (single screw with stern-bulb)} \\ &= 0,7 \times C_p - 0,3 + 0,3 \times (0,4 - a/b) \text{ (twin screw)} \end{aligned}$$

Di mana

C_p : Koefisien prismatik
 a : Jarak antara dua poros
 b : Lebar kapal

b. Efisiensi *propeller*

Efisiensi baling-baling merupakan perbandingan antara daya dorong (THP) dengan daya yang disalurkan (DHP). Efisiensi ini merupakan *power conversion* dan perbedaan nilai yang terjadi adalah terletak pada dimana pengukuran torsi propeller dilakukan, yakni apakah pada kondisi *open water* (η_o) atau pada kondisi *behind the ship* (η_b) seperti ditunjukkan persamaan berikut (Sahid, 2019)

Efisiensi *propeller* (*open water test*)

$$\eta_o = \frac{T \times V_a}{2 \times \pi \times n \times Q_o} \quad (18)$$

Efisiensi *propeller* (*behind the ship*)

$$\eta_b = \frac{T \times V_a}{2 \times \pi \times n \times Q_b} \quad (19)$$

Di mana

T : gaya dorong kapal (kN)
 V_a : *speed of advance* (m/s)
 Q_o : torsi *propeller* pada kondisi *open water* (kNm)
 n : putaran *propeller* (rps)
 Q_b : torsi *propeller* pada kondisi *behind the ship* (kNm)

c. Efisiensi *relative rotative* (η_{rr})

Merupakan perbandingan antara efisiensi baling-baling pada kondisi di belakang kapal dengan efisiensi baling-baling pada kondisi di air terbuka atau *open water test*, sebagai berikut

$$\eta_{rr} = \frac{\eta_b}{\eta_o} \quad (20)$$

Sehingga η_{rr} sesungguhnya bukanlah merupakan suatu sifat besaran efisiensi yang sebenarnya (bukan merupakan *power conversion*). Efisiensi ini hanya perbandingan dari besaran nilai efisiensi yang berbeda. Maka besarnya efisiensi *relative rotative* dapat pula lebih besar dari satu.

d. Propulsive coefficient (PC)

Merupakan gabungan dari efisiensi lambung, efisiensi propeller, dan efisiensi *relative rotative*.

$$PC = \eta_h \times \eta_o \times \eta_{rr} \quad (21)$$

$$PC = \eta_h \times \eta_b \quad (22)$$

- e. Efisiensi transmisi poros (η_s)
Kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami *losses* sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah *midship* akan mengalami *losses* sebesar 3% (Lewis, 1988).
- f. Efisiensi *reduction gear* (η_g)
Efisiensi *reduction gear* mencakup efisiensi *reduction gear*, *reversing gear* dan *thrust bearing*. Besarnya efisiensi tersebut dapat dihitung dengan formula berikut (Santoso, 2017)

$$\eta_g = \prod(1 - l_i) \quad (23)$$

l_i merupakan besarnya *losses*, dengan *reduction gear loss* sebesar 1%, *reversing gear loss* sebesar 1% dan *thrust bearing loss* sebesar 0,5%.

2.8. Trim

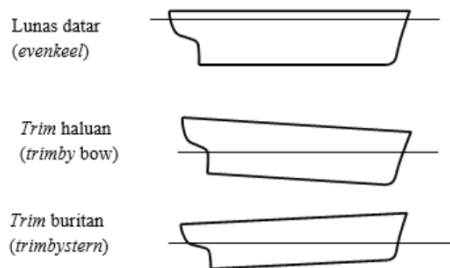
Trim didefinisikan sebagai perbedaan antara sarat di AP (T_A) dan sarat di FP (T_F) kapal.

$$Trim = T_A - T_F \quad (24)$$

Hasil positif menunjukkan terjadi Trim Buritan. Pada saat kapal dalam kondisi trim, displasemen dan kecepatan kapal tetap konstan, tidak ada penambahan *ballast* dan kapal tidak mengalami penambahan kecepatan meskipun hambatan berubah ketika kondisi trim (Santoso, 2017).

Secara umum terdapat tiga kondisi Trim yang dapat dialami kapal, yaitu:

- Evenkeel* yaitu *draft* depan kapal sama dengan *draft* belakang kapal.
- Trim haluan yaitu *draft* belakang lebih kecil dari *draft* depan.
- Trim buritan yaitu *draft* belakang lebih besar dari *draft* depan.



Gambar 2. 8 Trim pada Kapal

Sumber : Santoso, 2017

Kondisi trim dapat menyebabkan perubahan parameter pada kapal. Parameter-parameter yang berubah di antaranya adalah sebagai berikut:

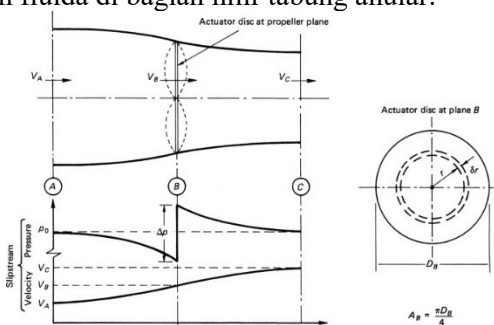
- Wetted surface area* (WSA)
- Water line length* (LWL)
- Residual resistance coefficient*
- Thrust deduction*
- Wake fraction*
- Propeller efficiency*

2.9. Metode *Actuator Disk Propeller* (Teori Momentum Propeller)

Teori ini mengasumsikan bahwa *propeller* berupa piringan/*disk* dengan gerakan yang stabil yang mampu memberikan peningkatan tekanan tiba-tiba pada fluida yang melewatinya. Teori ini mengabaikan efek rotasi *propeller* dan pusaran air yang terjadi pada ujung *propeller blade* serta *frictional loss*. *Propeller* memberikan percepatan yang seragam untuk semua fluida yang melewatinya, sehingga daya dorong yang dihasilkan terdistribusi secara merata ke *disk*. Aliran fluida yang melewati *propeller* diasumsikan tanpa gesekan dan ada aliran air yang tidak terbatas ke *propeller* (Lewis, 1988).

Metode ini dapat berguna untuk perhitungan efisiensi maksimum serta perkiraan kecepatan baling-baling. Namun, teori momentum tidak menyediakan informasi tentang dorongan baling-baling difrensial dan torsi pada bagian *blade* serta kekuatan dan momen lentur *propeller*. Demikian itu dianggap terlalu sederhana untuk analisis desain baling-baling. Jadi teori momentum dianggap jauh dari tingkat akurasi yang diinginkan untuk model simulasi (Sahid, 2019).

Gambar 2.7 mengilustrasikan perubahan aliran pada tabung anular saat melewati piringan *actuator* dan terdapat peningkatan tekanan akibat timbulnya aliran fluida yang melewati piringan. Pertimbangan aliran sepanjang radius anular r dan ketebalan δr pada *disk propeller*. Dorongan dan torsi dapat diperoleh dari perubahan momentum yang terjadi di sebagai aliran fluida di bagian hilir tabung anular.



Gambar 2. 9 *Actuator Disk Propeller Theory*

Sumber : Sahid, 2019

CFD-ADM adalah metode analisis yang umum digunakan yang memberikan solusi dari persamaan Navier-Stokes atau Euler dalam domain yang terdiri dari baling-baling yang diwakili melalui distribusi gaya tubuh yang bekerja pada area *disk*. Dari sudut pandang komputasi, distribusi ini diperoleh dengan mengejar beberapa pendekatan, seperti pendekatan iteratif dan interaktif dengan metode pengangkatan permukaan, elemen-elemen *blade* (Bontempo & Manna, 2017).

2.10. Metode Computational Fluid Dynamics-Actuator Disk Propeller (CFD-ADP)

Proses perhitungan *actuator disk propeller* menggunakan persamaan teori momentum propeller yang digunakan untuk memodelkan efek baling-baling tanpa memodelkan baling-baling nyata. Pendekatan dalam menghitung f_b (tangential) termasuk distribusi sederhana yang ditentukan, yang digunakan dalam menentukan total dorong T dan torsi Q , interaksi antara propeller dengan lambung kapal. Dimana perhitungan menggunakan kode kinerja baling-baling secara interaktif dengan teori

pemecah RANS untuk menangkap interaksi baling-baling dengan lambung kapal dan untuk mendistribusikan fb sesuai dengan blade yang sebenarnya. Namun ISIS-CFD termasuk *body strength* yang ditentukan dengan komponen aksial dan tangensial (NUMECA, 2019).

$$f_{bx} = A_x r^* \sqrt{1 - r^*}, f_{b\theta} = A_\theta \frac{r^* \sqrt{1 - r^*}}{r^*(1 - r_h')} \quad (25)$$

Actuator disk propeller mewakili *body strength* per satuan volume yang dinormalisasikan dengan $\rho U^2/L$ dimana U adalah kecepatan referensi, L adalah panjang referensi dan ρ adalah densitas fluida. Koefisien dinyatakan sebagai berikut (NUMECA, 2019).

$$r^* = \frac{r' - r_h'}{1 - r_h'}, \quad r_h' = \frac{R_H}{R_P}, \quad r' = \frac{r}{R_P} \quad (26)$$

$$r = \sqrt{(y - Y_{pc})^2 + (z - Z_{pc})^2} \quad (27)$$

$$A_x = \frac{C_T}{\Delta} \times \frac{105}{16(4 + 3r_h')(1 - r_h')} \quad (28)$$

$$A_\theta = \frac{K_Q}{\Delta J^2} \times \frac{105}{\pi(4 + 3r_h')(1 - r_h')} \quad (29)$$

$$J = \frac{2\pi U}{\Omega D_P} = \frac{U}{\Omega D_P}, \quad J = 2R_P, \quad n = \frac{\Omega}{2\pi} \quad (30)$$

$$C_T = \frac{2T}{\rho U^2 \pi R_P^2}, \quad K_T = \frac{T}{\rho n^2 D_P^4}, \quad K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D_P^5} \quad (31)$$

Di mana CT dan KQ adalah gaya dorong dan koefisien torsi, J adalah koefisien kecepatan *advance*, n adalah putaran tiap detik (rps), Ω adalah kecepatan rotasi, Rp adalah radius propeller, RH adalah radius *hub propeller*, Δ adalah ketebalan *actuator disk propeller*, dan Ypc dan Zpc definisi dari koordinat tengah propeller. Variable r adalah jarak normal baling-baling di bidang baling-baling (jari-jari). Sebagai diturunkan, gaya-gaya ini didefinisikan diatas *actuator disk propeller* dengan volume yang ditentukan oleh Rp, Rh dan Δ . Integrasi gaya pada *actuator disk propeller* dianalisis pada gaya dorong T dan torsi Q yang sudah ditentukan (NUMECA, 2019).

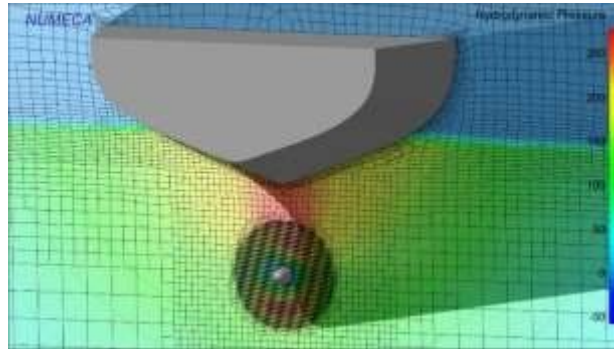
$$T = \rho L^2 U^2 \int \int \int f_{bx} dA \quad (32)$$

$$Q = \rho L^3 U^2 \int \int \int r f_{b\theta} dA \quad (33)$$

$$dA = 2\pi r \Delta dr \quad (34)$$

Dalam ISIS-CFD, tidak perlu menentukan spesifik CT, KQ dan J tetapi T dan Q ditentukan. Koefisien Ax dan A θ adalah perhitungan menggunakan hubungan diatas. Jika tidak diketahui, tetapi KQ diperoleh dari kurva kinerja dan torsi baling-baling Q dapat disimpulkan dari baling-baling dorong T sebagai berikut (NUMECA, 2019)

$$Q = T D_P \frac{K_Q}{K_T} \quad (35)$$



Gambar 2. 10 Actuator Disk Modelling dengan CFD

Sumber : NUMECA, 2019

2.11. Aplikasi Modeling dan Analisis

a. Maxsurf

Menurut Maxsurf pada situsnya <http://www.maxsurf.net> menyatakan maxsurf adalah suatu perangkat lunak berbasis *computer aided drawing* (CAD) yang biasanya digunakan oleh para *Naval Architect* dan *Marine Engineer* untuk keperluan permodelan, pengujian, dan analisis.

b. Rhinoceros

Rhinoceros, Rhino atau Rhino 3D adalah *software* komputer grafis 3D dan *software* aplikasi CAD (*Computer Aided Design*) yang dikembangkan oleh Robert McNeel & Associates, sebuah perusahaan Amerika yang didirikan sejak tahun 1980. Geometri Rhinoceros berbasis model matematika NURBS (*Non-Uniform Rational Base Splines*) yang fokus menciptakan representasi kurva dan permukaan bebas yang presisi pada komputer grafis yang berlawanan dari aplikasi berbasis *Poligon-mesh*. Dalam tugas ini *rhino* digunakan untuk mensolidkan model dari kapal.

c. CFD NUMECA Fine Marine

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang terjadi pada aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- *Preprocessor*

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 dianalisis dibagi dalam jumlah *grid* tertentu (Jadmiko, et al., 2018).

- *Processor*

Tahap selanjutnya adalah tahap *processor*, di mana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan

terkait secara iteratif hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai eror terkecil (Jadmiko, et al., 2018).

- *Post processor*

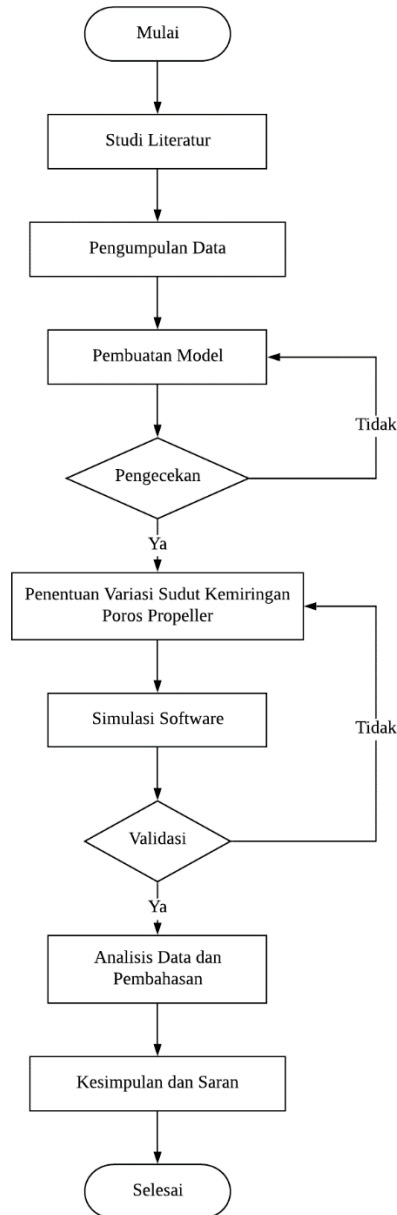
Tahap terakhir adalah tahap *post processor*, hasil dari perhitungan pada tahap *processor* akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi (Jadmiko, et al., 2018).

NUMECA merupakan merek dagang dari perusahaan internasional penyedia perangkat lunak pengolah CFD, NUMECA International. NUMECA mempunyai produk untuk pengolah desain dan *meshing* serta *solver* untuk perangkat lunak pengolah CFD. Beberapa perangkat lunak tersebut akan digunakan pada skripsi ini. Peneliti menggunakan NUMECA Versi 8.1 dengan lisensi *student*. Lisensi ini Khusus untuk para peneliti dan civitas akademis. Data yang dihasilkan dari NUMECA *student version* tidak dapat digunakan untuk tujuan komersial namun hanya untuk tujuan penelitian dan pengembangan. NUMECA yang berlisensi ini akan ada tanda khusus dalam GUI begitu pula pada hasil simulasi akan ada tanda yang menampilkan bahwa hasil tersebut menggunakan NUMECA.

BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Diagram alir (flowchart) metodologi penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir pengerjaan

3.2. Tahap Pengerjaan

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah proses pengumpulan informasi berupa teori penunjang yang berfungsi membantu proses pengerjaan tugas akhir. Informasi tersebut berasal dari buku, jurnal, *e-book*, *paper*, tugas akhir sebelumnya yang masih berkaitan, dan berbagai sumber dari internet. Studi literatur bertujuan untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dan juga menjadi dasar dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dengan melakukan studi literatur ini diharapkan solusi dari permasalahan yang diambil dapat terpecahkan dengan baik.

3.2.2 Pengumpulan Data

Sebelum dilakukan analisis pengaruh sudut kemiringan poros *propeller* terhadap trim terlebih dahulu harus didapatkan data-data yang dibutuhkan. Data yang dimaksud adalah data yang relevan dan mencakup segala aspek yang berhubungan dengan pengerjaan tugas akhir. Data awal yang dikumpulkan antara lain

- a. Ukuran utama kapal (spesifikasi mesin dan *propeller*)
- b. Rencana Garis
- c. Rencana Umum
- d. Data-data lain yang dapat digunakan untuk membantu proses pengerjaan tugas akhir ini.

3.2.3 Pembuatan Model

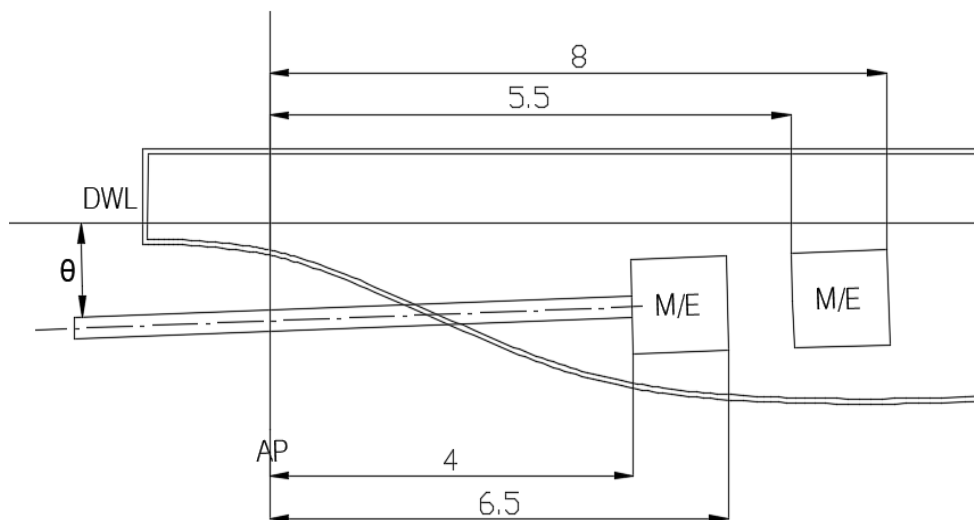
Pembuatan model dilakukan sesuai dengan data yang diperoleh. Model yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah model kapal ikan 60 GT. Dalam pendesainan kapal ini menggunakan *software* Maxurf dan Rhinoceros. Hasil akhir dari permodelan ini adalah dalam bentuk solid.

3.2.4 Penentuan Variasi Sudut Kemiringan Poros *Propeller*

Pada tugas akhir ini percobaan dilakukan pada beberapa variasi peletakan main engine dan sudut kemiringan poros *propeller*. Ada 4 variasi sudut kemiringan poros *propeller* dengan 2 variasi peletakan main engine yang akan dianalisis pada penelitian dengan konfigurasi seperti yang terdapat pada tabel 3.1 berikut

Tabel 3. 1 Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros *Propeller* dan Peletakan *Main Engine*

No.	Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros (°)	Posisi Main Engine (m)
1	1	1	4 - 6.5
2	2	2	4 - 6.5
3	3	3	4 - 6.5
4	4	4	4 - 6.5
5	5	1	5.5 - 8
6	6	2	5.5 - 8
7	7	3	5.5 - 8
8	8	4	5.5 - 8



Gambar 3. 2 Skema Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros *Propeller* dan Peletakan *Main Engine*

3.2.5 Simulasi Software

Simulasi dilakukan dengan *software Numeca Fine Marine* dengan menggunakan konsep *actuator disk propeller*. Simulasi dilakukan pada beberapa variasi sudut kemiringan poros *propeller* seperti yang telah ditentukan sebelumnya. Proses simulasi dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu penentuan batasan atau domain, tahap *meshing*, kemudian dilakukan proses *running* untuk mendapatkan data hasil simulasi.

3.2.6 Analisis Data dan Pembahasan

Tahap ini akan membahas hasil dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software Numeca Fine Marine*. Data yang didapatkan dari hasil simulasi akan dilakukan pengolahan baik secara langsung maupun diolah kembali menggunakan analisis guna mendapatkan nilai dan variabel yang diinginkan. Variabel yang digunakan adalah sudut kemiringan poros *propeller*. Kemudian hasil perhitungan tersebut dilakukan analisis untuk mendapatkan tujuan dari tugas akhir ini.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Dengan memperhatikan beberapa pertimbangan dari analisis data penelitian yang telah dilakukan, maka selanjutnya yaitu menarik kesimpulan. Kesimpulan yang didapat merupakan jawaban atas permasalahan dalam penelitian. Selain itu, pada tahapan ini juga dirumuskan usulan atau saran yang dapat dijadikan referensi bagi pembaca dan calon peneliti selanjutnya.

3.3. Jadwal Pelaksanaan

Tabel 3. 2 Jadwal Pelaksanaan Pengerjaan Tugas Akhir

No.	Rencana Kegiatan	Bulan ke-			
		1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal	■			
2	Studi Literatur	■	■		
3	Pengumpulan Data		■		
4	Pembuatan Model		■	■	
5	Simulasi Software			■	■
6	Analisis Data dan Pembahasan				■
7	Penyusunan Laporan			■	■

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

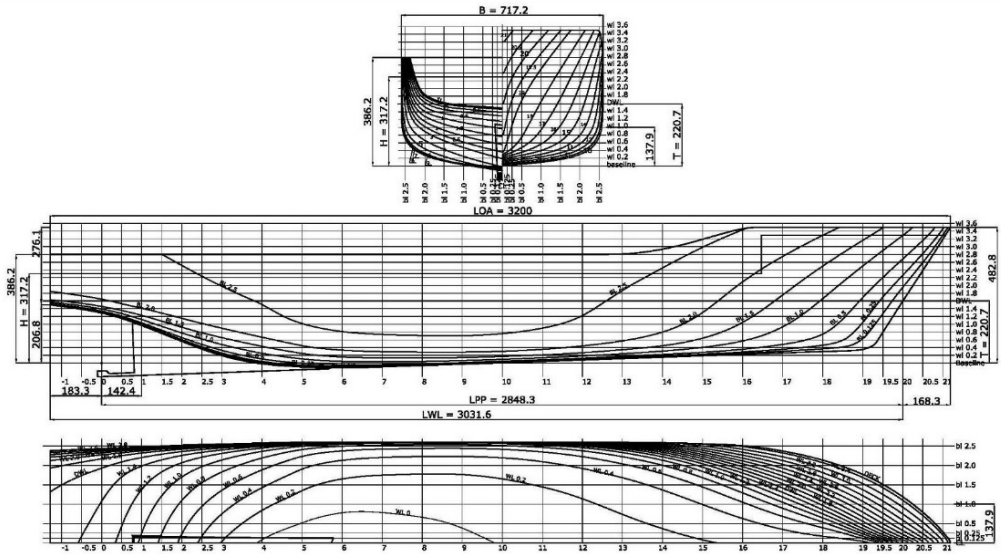
4.1. Data Spesifikasi Kapal

Data spesifikasi kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari kapal ikan 60 GT. Berikut keterangan data spesifikasi pada kapal ikan 60 GT

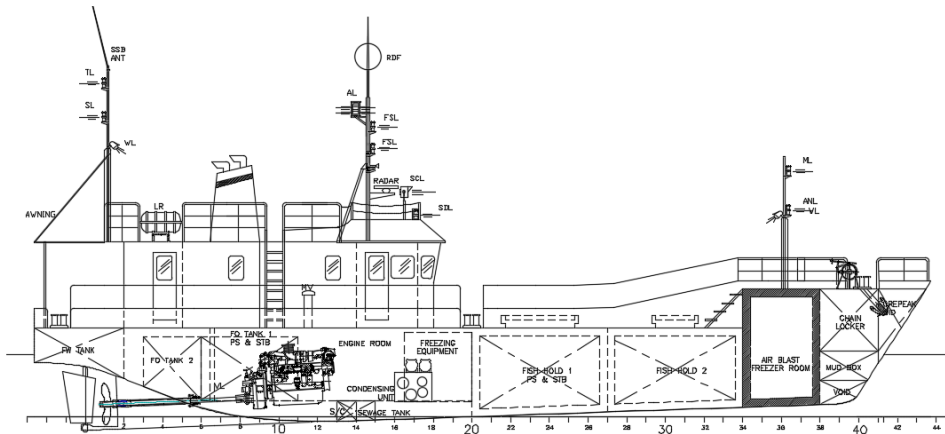
a. Ukuran Utama Kapal

Tabel 4. 1 Ukuran Utama Kapal

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Length on waterline</i>	L _{wl}	21.980	m
<i>Breadth moulded on WL</i>	B	5.200	m
<i>Depth moulded</i>	D	2.300	m
<i>Draught moulded on FP</i>	T _F	1.600	m
<i>Draught moulded on AP</i>	T _A	1.600	m
<i>Displacement volume moulded</i>	Δ	101.756	m ³
<i>Mass density of seawater</i>		1.025	ton/m ³
<i>Wetted surface area bare hull</i>	S	128.235	m ²
<i>LCB position from AP</i>		9.266	m
<i>Block coefficient</i>	C _B	0.455	
<i>Midship section coefficient</i>	C _M	0.854	
<i>Prismatic coefficient</i>	C _P	0.621	
<i>Length-Breadth ratio</i>	L/B	4.227	
<i>Breadth-Draught ratio</i>	B/T	3.250	
<i>Service Speed</i>	V _s	9	knot



Gambar 4. 1 Linesplan Kapal Ikan 60 GT



Gambar 4. 2 Pandangan Samping GA Kapal Ikan 60 GT

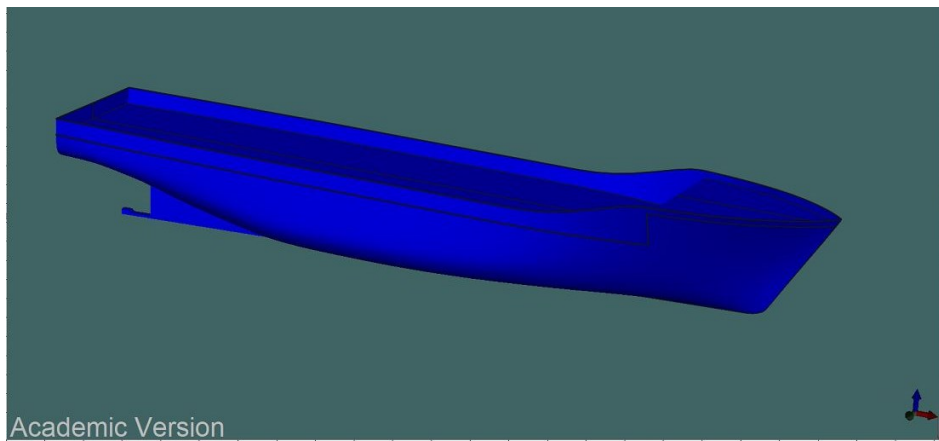
b. Ukuran Propeller

Tabel 4. 2 Ukuran Propeller

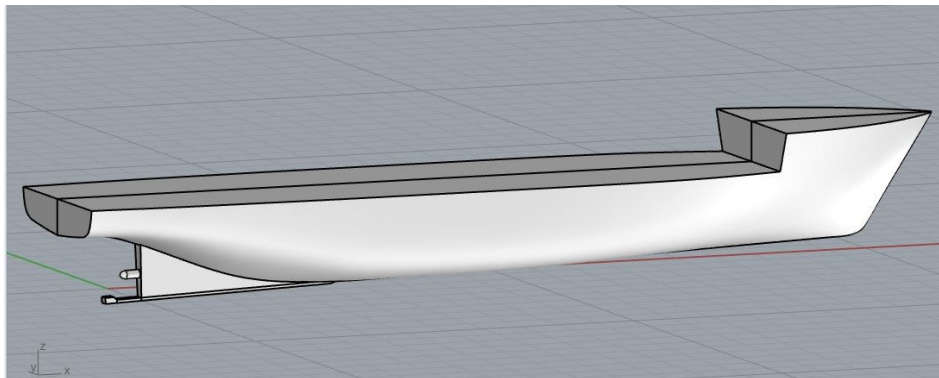
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter	D	1.000	m
Pitch at Diameter Ratio	-	0.603	
Expanded blade area ratio	A_E / A_0	0.712	
Numbers of blade	Z	4	daun

4.2. Pembuatan Model Kapal

Dari data kapal yang diperoleh, dapat dibuat model kapal yang akan digunakan pada proses simulasi dengan *software Numeca Fine Marine*. Pembuatan model dilakukan dengan *software Maxurf Modeller* berdasarkan *lines plan* kapal yang telah didapatkan. Kemudian model yang telah dibuat diexport ke dalam format IGES (.igs) untuk mengubah model kapal menjadi bentuk solid. Model kapal yang terdiri dari kumpulan *surface* diubah menjadi benda pejal (solid). Kemudian pembuatan model dilanjutkan dengan *software Rhinoceros*. Model dalam format IGES (.igs) diimport ke Rhinoceros untuk kemudian digunakan mengubah model dalam bentuk solid menjadi bentuk *parasolid* (.x_t). Model dalam bentuk parasolid tersebut yang akan digunakan untuk proses simulasi dengan *software Numeca Fine Marine*. Selain untuk mengubah dari bentuk solid ke bentuk parasolid, *software Rhinoceros* juga digunakan untuk mengatur variasi sudut kemiringan poros *propeller*.



Gambar 4. 3 Hasil Permodelan Kapal Ikan 60 GT Menggunakan *Maxurf Modeller*



Gambar 4. 4 Hasil Permodelan Kapal Ikan 60 GT Dalam Bentuk *Solid* Menggunakan *Rhinoceros*

4.3. Perhitungan *Actuator Disk Propeller*

Proses perhitungan *actuator disk propeller* menggunakan persamaan teori momentum *propeller* yang digunakan untuk memodelkan efek *propeller* tanpa memodelkan *propeller* yang sebenarnya. Di mana perhitungan menggunakan *software* CFD dengan kode kinerja *propeller* secara interaktif dengan teori pemecah RANS untuk menangkap interaksi *propeller* dengan lambung kapal dan untuk mendistribusikan gaya sesuai dengan *blade* yang sebenarnya. Berikut parameter-parameter yang harus ditentukan pada *software Numeca Fine Marine*.

Ada beberapa parameter yang perlu ditentukan sebelum melakukan simulasi dengan metode *actuator disk propeller*. Parameter tersebut adalah *outer radius*, *inner radius*, *thickness*, *center coordinates*, dan *open water data*. Berikut penentuan nilai dari masing-masing parameter

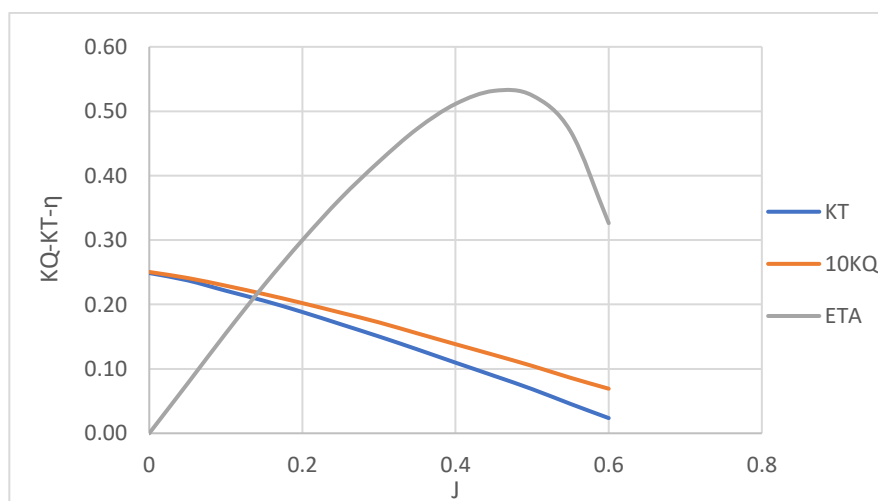
- a. Perencanaan dari diameter *actuator disk propeller*
 Penentuan diameter *actuator disk propeller* mengacu pada diameter propeller kapal yang sebenarnya yaitu sebesar 1 meter.
Outer radius = 0,5 m
- b. Perencanaan dari *radius hub actuator disk propeller*
 Penentuan radius *hub actuator disk propeller* mengacu pada diameter *hub propeller* kapal yang sebenarnya yaitu sebesar 0,2 meter.
Inner radius = 0,1 m
- c. Perencanaan dari *thickness actuator disk propeller*
 Ketebalan *actuator disk propeller* adalah ketebalan virtual *blade* sepanjang poros atau yang diproyeksikan ke bidang x-z. Ketebalan rata-rata *blade* sepanjang *chord length* (*Sr*) dari *propeller* yang digunakan adalah 0.2 m.
Thickness = 0.2 m
- d. Perencanaan dari koordinat *actuator disk propeller*
 Perencanaan dari koordinat *actuator disk propeller* berdasarkan posisi dari *propeller existing* kapal dengan titik acuan sumbu *x* pada poros kemudi, titik acuan sumbu *y* pada posisi kapal di *towing tank* atau *boundary condition* dan titik acuan sumbu *z* pada *keel* kapal. Berikut hasil dari data spesifik koordinat *existing* kapal
 Sumbu *x* = 0,56 m
 Sumbu *y* = 46,4 m
 Sumbu *z* = 0,32 m
- e. Pemilihan karakteristik *Open Water Data*
Open water data yang digunakan disesuaikan dengan *open water data propeller* yang terpasang pada kapal. Data karakteristik propeller yang dibutuhkan berupa *KT*, *KQ* dan *J*. Berikut karakteristik dari *open water data propeller* yang digunakan
 :

Tabel 4. 3 Spesifikasi *Propeller* yang Digunakan dalam Simulasi *Actuator Disk Propeller*

No.	Nama	Spesifikasi
1	Propeller type	B-series
2	Number of blade	4
3	Diameter	1 m
4	Pitch at diameter rasio (P/D)	0,603
5	Expanded area rasio (AE/A0)	0,712
6	Rotation	Clockwise

Tabel 4. 4 Karakteristik *Propeller* (KT, KQ dan η)

J	KT	10KQ	ETAO
0.00	0.25	0.25	0.00
0.05	0.24	0.24	0.08
0.10	0.22	0.23	0.16
0.15	0.21	0.22	0.23
0.20	0.19	0.20	0.30
0.25	0.17	0.19	0.36
0.30	0.15	0.17	0.42
0.35	0.13	0.16	0.47
0.40	0.11	0.14	0.51
0.45	0.09	0.12	0.53
0.50	0.07	0.10	0.52
0.55	0.05	0.09	0.47
0.60	0.02	0.07	0.33

Gambar 4. 5 Karakteristik *Propeller* Kapal

4.4. Pengaturan Variasi Sudut Kemiringan Poros *Propeller*

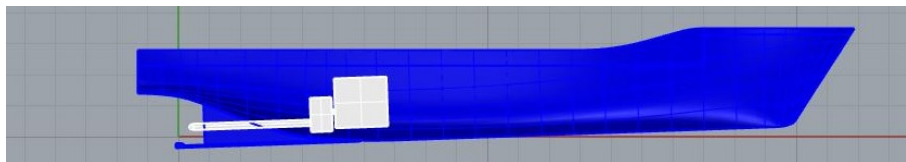
Pada tugas akhir ini percobaan dilakukan pada beberapa variasi sudut kemiringan poros *propeller*. Ada 2 variasi peletakan main engine dan 4 variasi sudut kemiringan poros *propeller* yang akan di analisis pada penelitian ini. Variasi sudut kemiringan poros *propeller* tersebut berada pada rentang 1° - 4° . Sementara posisi *main engine* berada pada jarak 4m-6,5m dan 5,5m-8m dari AP. Konfigurasi sudut kemiringan poros *propeller* dan peletakan *main engine* adalah sebagai berikut

Tabel 4. 5 Konfigurasi Sudut Kemiringan Poros *Propeller* dan Peletakan *Main Engine*

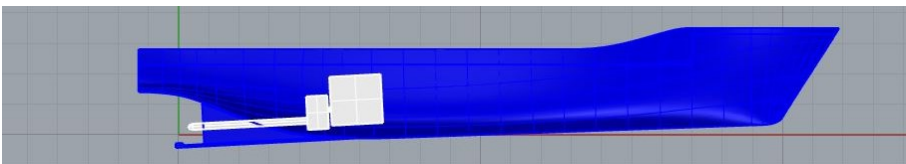
No.	Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros ($^{\circ}$)	Posisi Main Engine (m)
1	1	1	4 - 6.5
2	2	2	4 - 6.5
3	3	3	4 - 6.5
4	4	4	4 - 6.5
5	5	1	5.5 - 8
6	6	2	5.5 - 8
7	7	3	5.5 - 8
8	8	4	5.5 - 8



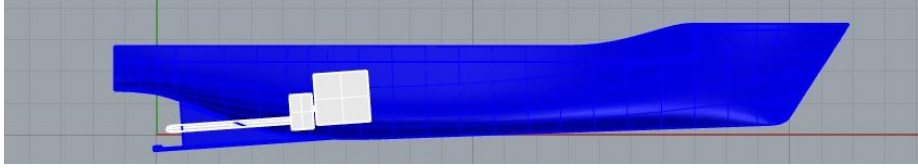
Gambar 4. 6 Konfigurasi 1



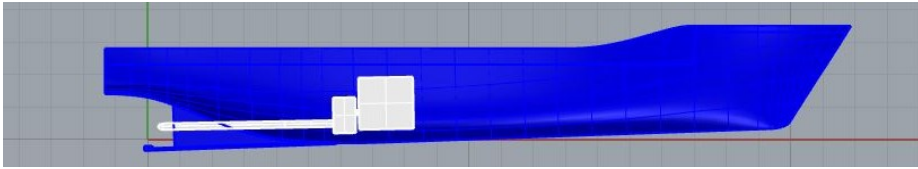
Gambar 4. 7 Konfigurasi 2



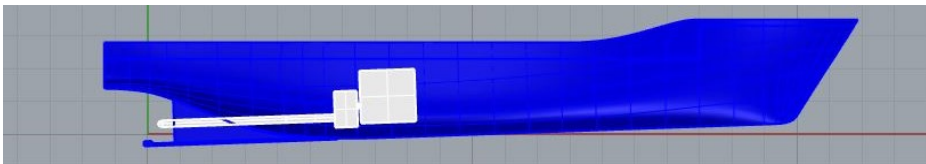
Gambar 4. 8 Konfigurasi 3



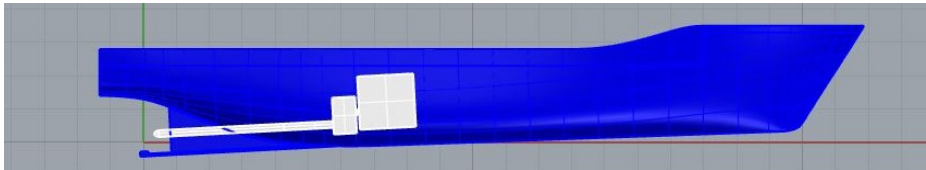
Gambar 4. 9 Konfigurasi 4



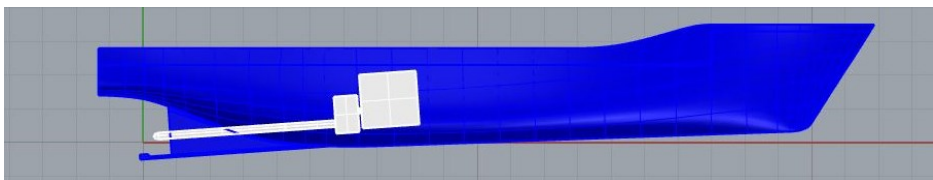
Gambar 4. 10 Konfigurasi 5



Gambar 4. 11 Konfigurasi 6



Gambar 4. 12 Konfigurasi 7

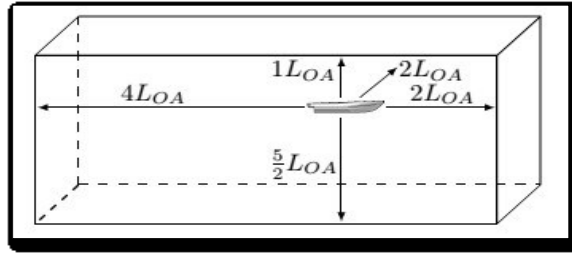


Gambar 4. 13 Konfigurasi 8

4.5. Tahapan Simulasi

4.5.1. Tahapan Meshing atau Pre Processor

Setelah pembuatan model selesai, langkah selanjutnya adalah proses simulasi. Tahap pertama dari proses simulasi adalah tahapan *meshing* atau *pre processor* pada tahap ini model diubah dari bentuk geometri menjadi elemen-elemen dengan node-node yang lebih kecil dan spesifik. Jaring atau *meshing* yang membagi domain menjadi sub domain dengan ukuran yang lebih kecil. Domain bisa berarti batas ruang analisa fluida yang akan dilakukan komputerisasi,. Pada proses pengujian model , setiap elemen-elemen tersebut akan dilakukan perhitungan oleh *software Numeca Fine Marine*.



Gambar 4. 14 Standar Ukuran *Boundary Condition*

Dalam *NUMECA Hexpress*, untuk memulai pengaturan yang pertama yaitu menentukan ukuran domain. Ukuran domain mempunyai standar boundary berdasarkan standar yang sudah ditentukan agar hasil analisa bisa sesuai dengan keadaan lingkungan sebenarnya. Tahapan *meshing* pada *Numeca Fine Marine* dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *C-Wizard*. Pada *C-wizard* akan memberikan kemudahan dalam melakukan pengaturan domain, di mana domain yang biasa digunakan untuk melakukan pengujian tahanan dari penggunaan *C-Wizard* secara otomatis akan membentuk *box* domain yang berdasarkan standar ITTC.

4.5.1.1. Tahapan Membuat Domain

Pada simulasi ini pembuatan domain dilakukan secara otomatis menggunakan *C-Wizard*.

a. *Create Project Management*

Pertama ubah parameter satuan seperti kecepatan dengan knot, panjang kapal dengan m, dan sudut dengan deg. Kemudian pilih *application resistance* dan model fluida *multi fluid*. Selanjutnya pilih create project untuk membuat folder penyimpanan pengaturan proyek dan pembuatan domain.

Tabel 4. 6 Parameter Project Management

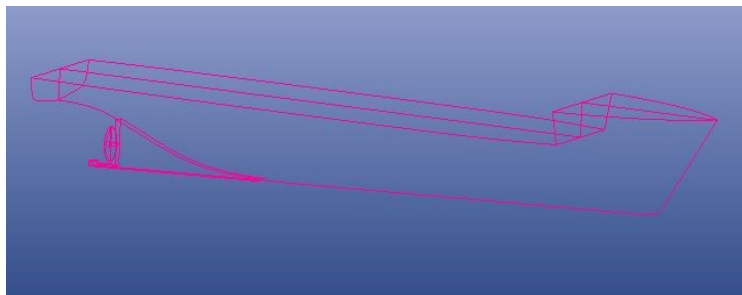
Menu	Submenu	Parameters
Project Management	Application	Resistance
	Fluid model	Multi fluid
	Wizard unit	Angle : deg
		Length : m
Speed : kt		

b. *Body Configuration*

Pada tahap ini model kapal dalam bentuk parasolid dimasukkan kemudian dilakukan penentuan ukuran utama kapal.

Tabel 4. 7 Parameter *Body Configuration*

Menu	Submenu	Parameters
Body Configuration	Input geometry	Parasolid/CATPart
	Body orientation	Positive x-axis
	Body configuration	Keep entire body
	Is the body aligned with the cartesian axis	yes
	body reference length	Automatic
	initial free surface position	User difined
	body mass	Automatic
	center of gravity	Automatic
	body motion(s) to solve	Trim, sinkage

Gambar 4. 15 Model Kapal Yang Telah Diimport ke *Fine Marine*c. *Flow Definition*

Pada tahap ini dimasukkan nilai kecepatan model yang akan dianalisa, untuk kecepatan model ini adalah 9 knot. Kemudian memasukkan nilai parameter masajenis air dan udara.

Tabel 4. 8 Parameter *Flow Definition*

Menu	Submenu	Parameters
Flow Definition	Speed definition	Single speed : 9 knot
	Fluid properties	Water Density : 1025.07
		Density : 1.2

d. *Additional Input*

Pada tahap ini parameter *actuator disk* dimasukkan. Parameter yang dimasukkan adalah sebagai berikut

- *Thickness of actuator disk* (0.02 m)
- *Inner radius of actuator disk* (0.1 m)
- *Outer radius of actuator disk* (0.5 m)
- *Center coordinate of actuator disk* ($x = 0,58, y = 46,4, z = 0.32$)
- *Seting arah putaran pada “revolution rate”*

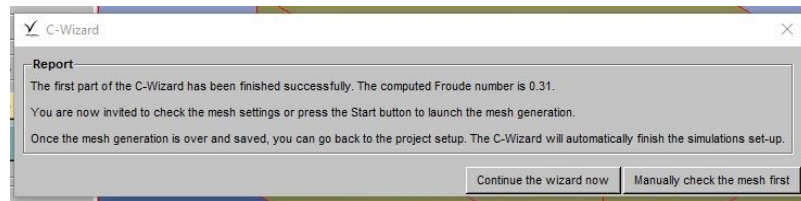
Tabel 4. 9 Parameter *Additional Input* pada Konfigurasi 2

Menu	Submenu	Parameters
Additional Input	Actuator disk	Inner radius: 0.1
		Outer radius: 0.5
		Thickness: 0.2
		Center coordinates: (0.5702, 0, 0.3276)
		Shaft direction: (-1, 0, -0.034921)

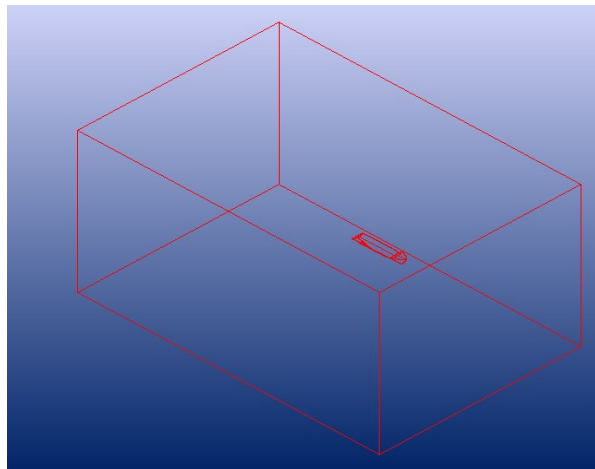
e. *Mesh Setup*Tabel 4. 10 Parameter *Mesh Setup*

Menu	Submenu	Parameters
Mesh Setup	Mesh density	Medium
	Extra refinement of wave field	No.
	Merge face with the same name	No.
	merge tangential force	No.
	Y+ value	Automatic
	domain size	Fine
	refinement dictionary file	Default

Setelah semua proses di *C-Wizard* selesai akan muncul *dialog box* seperti gambar 4.17. Kemudian pilih “*manually check the mesh first*” untuk melanjutkan ke tahap *meshing*.



Gambar 4. 16 Report *C-Wizard*



Gambar 4. 17 Hasil Pembuatan Domain *C-Wizard*

4.5.1.2. Tahapan Meshing

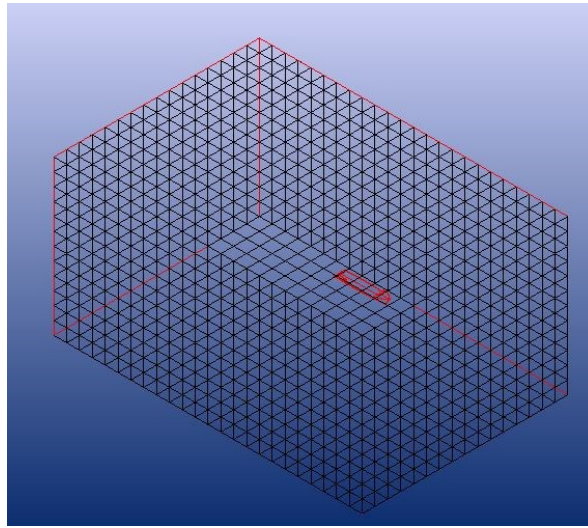
Setelah membuat domain, langkah selanjutnya yaitu proses meshing. Pada tahapan meshing ini, model diubah dari bentuk geometri menjadi elemen-elemen dan node-node yang lebih kecil dan spesifik, setiap elemen-elemen tersebut akan dilakukan perhitungan oleh software CFD. Berikut langkahlangkah pada tahapan meshing :

a. *Initial Mesh*

Dalam *Initial Mesh*, dilakukan pembagian geometri seluruh domain. Domain dibagi menjadi *cell-cell* dalam bentuk kotak sesuai dengan domain yang didefinisikan.

Tabel 4. 11 Parameter *Intial Mesh*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Intial Mesh			X axis : 24 Y axis : 16 Z axis : 12 Number of cell : 4608

Gambar 4. 18 Hasil *Intial Mesh*b. *Adapt to Geometry*

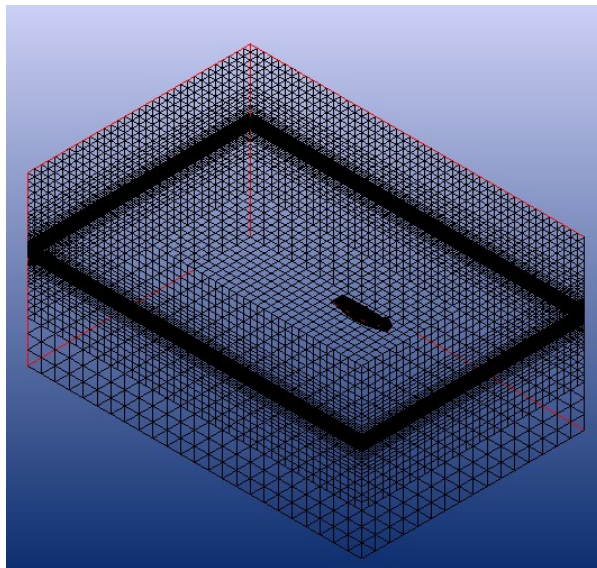
Dalam tahap *Adapt to Geometry*, perlu dilakukan langkah *Refinement* terhadap *cell-cell* yang telah terbagi sesuai dengan bentuk geometri. Fungsi dari menu ini selain untuk penghalusan, dilakukan juga proses *trimming* yaitu menghapus *cell-cell* kecil yang saling menyalang antar bagian atau *cell-cell* yang berada di luar geometri. Berikut parameter-parameter yang harus diperhatikan pada tahap *Adapt to Geometry*

Tabel 4. 12 Parameter *Adapt to Geometry*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Adapt to Geometry	Global		Maximum number of refinements : 8
	Curve refinement	Curve 8, curve 49, curve 50	Max nb of refinements: 10
			Target cell sizes: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
Adapt to Geometry	Surface refinement	All of Body Surface	Max nb of refinements: 6
			Target cell sizes: (0,0,0) Refinement diffusion: Global
		Global	Max nb of refinements: 8 Target cell sizes: (3.55983, 3.55983, 0.0278112) Refinement diffusion: 4
	Box Refinement	Sector#0	Max nb of refinements: 9
			Target cell sizes: (0.012, 0.012, 0.012)

Tabel 4. 12 Parameter *Adapt to Geometry* (lanjutan)

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Adapt to Geometry	Box Refinement	Box#1	Max nb of refinements: 8
			Target cell sizes: (0.0278112, 0.0278112, 0.0278112)
	Triming		zmax, ymin, xmin, ymax, zmin, xmax not used for trimming

Gambar 4. 19 Hasil *Adapt to Geometry*c. *Snap to Geometry*

Tujuan dari langkah *Snap to Geometry* adalah untuk memproyeksikan *mesh* yang didapat dari hasil pada proses *Adapt to Geometry* terhadap bentuk geometri sehingga menghasilkan bentuk geometri baru yang lebih halus.

Tabel 4. 13 Parameter *Snap to Geometry*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
<i>Snap to Geometry</i>	Curve snapping		All curve must be captured
	Buffer Insertion		Type I is result from body of ship
			Type II is result domain

Gambar 4. 20 Hasil *Snap to Geometry*d. *Optimize*

Dalam menu pilihan *Optimize*, memiliki fungsi untuk mengoptimalkan terhadap hasil *mesh* yang memiliki kondisi atau kualitas buruk seperti *negative cells*, *concave cells*, *twisted cells*. sedangkan untuk mengetahui kualitas kondisi dari *cell* dapat dilihat dengan memilih menu *mesh quality*.

Tabel 4. 14 Parameter *Optimize*

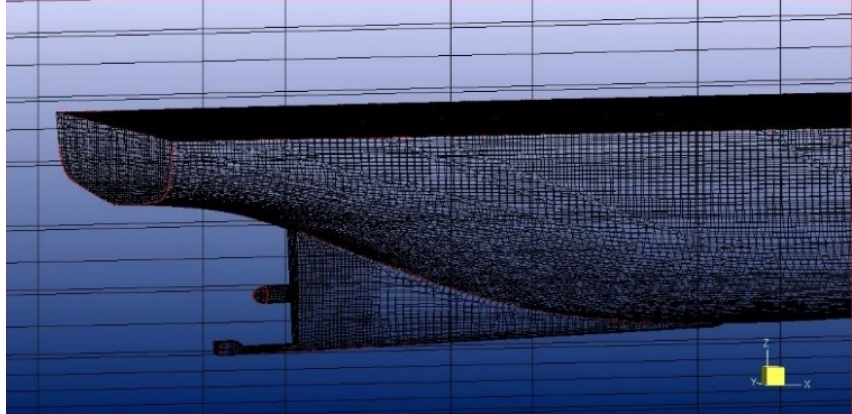
Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Optimize			Activate relax geometry to eliminate invalid cells
			Max nb of external optimization loops: 4
			Max nb of invalid cells: 100
			Max nb of final optimization iterations: 7
			Percentage of vertices to optimize during final optimization: 3
			Max nb of orthogonality optimization iterations: 5
			Minimal orthogonality threshold: 5

Gambar 4. 21 Hasil *Optimize*e. *Viscous Layers*

Dalam *Viscous Layers*, dilakukan beberapa langkah pendekatan yang lebih spesifik dalam penyisipan lapisan *viscous* fluida berdasarkan kecepatan sehingga dapat menghasilkan bilangan *Reynolds Number* dan bilangan *Froud Number* yang dipengaruhi oleh kecepatan dan ukuran dari kapal tersebut. Di mana parameter yang ditentukan adalah *reference lenght* dan *reference velocity*.

Tabel 4. 15 Parameter *Viscous Layers*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Viscous Layer	Global		First layer thickness: 1e-005
			Stretching ratio: 1.2
			Minimum nuber of layer: 17
			Maximum number of layers: 21
	Surface	All of Body Surface	First layer thickness : 0.000722474
			Stretching ratio: 1.2
			Number of layer: 19

Gambar 4. 22 Hasil *Viscous Layers*

Dari hasil semua tahap *meshing* tersebut, akan didapatkan jumlah *cell* yang nantinya akan digunakan perhitungan dalam tahap *running* atau *solver*, semakin besar jumlah *cell* yang dihasilkan akan semakin lama waktu *running*. Dari hasil *meshing* didapatkan jumlah *cell*, adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Jumlah *Cell* Hasil *Meshing* Model Kapal

No.	Konfigurasi	Number of cells	Number of verticals
1	1	3019720	3167409
2	2	3256981	3439675
3	3	3009280	3156798
4	4	3182818	3242135
5	5	1812370	1896370
6	6	1956196	2053327
7	7	1778192	1862591
8	8	1797758	1887983

4.5.2. Tahapan Flow Setting dan Solver dengan Actuator Disk Propeller

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah proses *meshing* adalah melakukan konfigurasi terhadap simulasi aliran (*flow setting*) termasuk konfigurasi terhadap parameter *actuator disk propeller*. Berikut merupakan parameter-parameter yang perlu didefinisikan

a. General Parameter

Dalam *General Parameter*, khusus untuk konfigurasi waktu pada hasil dari simulasi saat *time step* yang telah ditentukan, terdapat 2 jenis pilihan yaitu *Steady* dan *Unsteady*. *Steady* digunakan ketika ingin mendapatkan hasil *running* pada saat *time step* yang terakhir. Sedangkan *Unsteady* digunakan jika ingin mendapatkan hasil simulasi pada saat *time step* tertentu. Dalam penelitian ini menggunakan konfigurasi menu *Steady*.

Tabel 4. 17 Konfigurasi *General Parameter*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
General Parameter			Time configuration: Steady

b. *Fluid Model*

Dalam proses konfigurasi *Fluid Model*, akan ditentukan *properties* dari fluida yang digunakan dalam simulasi ini. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan konfigurasi *Multi Fluid* yaitu fluida cair dan udara.

Tabel 4. 18 Parameter *Fluid Model*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Fluid Model			Fluid-1 properties:
			Name: water
			Dynamic viscosity: 0.001103 Pa.s
			Density: 1025.0700 kg/m ³
			Fluid-2 properties:
			Name: air
			Dynamic viscosity: 1.85e-005 Pa.s
			Density: 1.2 kg/m ³

c. *Flow Model*

Dalam *setting Flow Model* digunakan untuk menentukan karakteristik atau sifat dari aliran yang akan digunakan. Terdapat 2 pilihan yaitu aliran laminar dan aliran turbulen serta intensitas dari gaya gravitasi. Pada tipe aliran menggunakan ESAM (*Explicit Algebraic Stress Model*), yaitu menghitung komponen dari tegangan *Reynolds* menggunakan persamaan aljabar dengan istilah non linear dalam laju regangan rata-rata dan laju rotasi. Pada bagian *Reference parameters* untuk mendefinisikan perhitungan dari *Froude Number* dan *Reynold Number* yang tertuju pada menu pengaturan *Fluid Model*. Pada *reference length*, *input* panjang dari kapal dan *reference velocity*, *input* kecepatan kapal.

Tabel 4. 19 Parameter *Flow Model*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Flow Model			Regime/turbulence model: ESAM
			Reference length (m): 23.0843
			Reference velocity (m/s): 4.63

d. *Boundary Condition*

Boundary Condition merupakan pendefinisian dari kondisi batasan-batasan yang akan disimulasikan. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mendefinisikan body kapal sebagai *solid wall-function*, pada kondisi eksternal dibuat kondisi perairan tenang. Dimana ada beberapa parameter pada *boundary condition* yaitu sebagai *solid*, *external*, *mirror*, dan *Non-conformal interfaces*.

Tabel 4. 20 Parameter *Boundary Condition*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Boundary Conditions	Solid	All body of the ship	Wall-fuction
	External	Zmax	Prescribed pressure
		Ymin	Far field
		Xmin	Far field
		Ymax	Far field
		Zmin	Prescribed pressure
		Xmax	Far field

e. *Body Definition*

Body Definition dilakukan untuk menentukan bagian-bagian yang akan dijadikan sebuah *body* yang akan diuji. Pada *Body Definition* juga menjelaskan tipe *Boundary Condition* dan nama domain yang digunakan.

Tabel 4. 21 Konfigurasi *Body Definition*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Body definition			Vessel

f. *Body Motion*

Body Motion merupakan bagian yang dapat menentukan olah gerak badan kapal yang akan dilakukan pengujian. Badan kapal dapat bergerak dengan 6 derajat kebebasan. Pengaturan 6 derajat kebebasan dalam Tugas Akhir ini menggunakan menu *Imposed* terhadap Tx (*Surge*), *Fixed* terhadap Ty (*Sway*), *Solved* terhadap Tz (*Heave*), *Fixed* terhadap Rx (*Roll*), *Solved* terhadap Ry (*Pitch*), dan *Fixed* terhadap Rz (*Yaw*). Pengaturan variasi peletakan *main engine* juga dilakukan pada tahap ini dengan mengubah nilai *center of gravity* sesuai dengan perhitungan.

Untuk pengaturan pada *body motion* adalah dengan mengaktifkan *Activate Cardan Angles* pada bagian *general options*. Kemudian bada bagian *motion definition* ubah *motion type* dari Tx menjadi "*Imposed*" dan *motion law* menjadi "*1/2 sinusoidal*

ram” seperti pada gambar 4.39 Klik edit pada *motion law* dan atur nilai *final time* (t_1) dan *final velocity* (V_1) sesuai dengan yang direncanakan. Kemudian atur *motion type* dari Ty, Tz, Rx, Ry, dan Rz sesuai dengan pengaturan yang telah disebutkan pada paragraf sebelumnya.

Tabel 4. 22 Parameter *Body Motion* pada Konfigurasi 2

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Body Motion	Motion Definition		Tx0 (Surge): Imposed
			Ty0 (Sway): Fixed
			Tz0 (Heave): Solved
			Rx2 (Roll): Fixed
			Ry1 (Pitch): Solved
			Rz0 (Yaw): Fixed
	Dynamic Parameters		Geometry: entire body
			Center of gravity: (9.2342, 0, 1.5743)
			Mass and inertia: 104299.9 kg

Untuk pengaturan *center of grafvity* dilakukan pada bagian *dynamic parameters* > *inertia data*. Atur nilai *center of grafvity* sesuai dengan tabel 4.23. Nilai pada tabel 4.23 tersebut didapat dari formula 1 pada bab 2. Kemudian masukkan nilai displacemen kapal pada *mass and inertia* (*entire body*).

Tabel 4. 23 Nilai *Center of Gravity* untuk Masing-Masing *Konfigurasi*

No.	Konfigurasi	Center of Gravity		
		x	y	z
1	1	9.2342	0	1.5743
2	2	9.2342	0	1.5742
3	3	9.2317	0	1.5727
4	4	9.2291	0	1.5711
5	5	9.2434	0	1.5745
6	6	9.2434	0	1.5745
7	7	9.2409	0	1.5732
8	8	9.2383	0	1.5717

g. *Mesh Management*

Pada *domain mesh management* diatur gerakan kapal agar sesuai dengan perencanaan simulasi.

Tabel 4. 24 Parameter *Mesh Management*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Mesh Management	Domain Mesh Management		Copy rigid motion from : Vessel
			Rigid motion : Tx, Ty, Rz
			Weighted deformation : Tz, Rx, Ry

h. *Initial Solution*

Initial solutions merupakan sebuah pengaturan yang digunakan untuk menentukan kecepatan awal dari sebuah domain yang akan dilakukan simulasi dan penentuan sarat air kembali.

Tabel 4. 25 Parameter *Initial solutions*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Initial Solution Parameters		General Setting	Uniform values
		Initial Velocity	Vx, Vy, Vz : 0.0, 0.0, 0.0
		Multi Fluid	Interface position : 1.6 m

i. *Additional Models with Actuator Disk*

Pada pengaturan *actuator disk* diatur *inner radius*, *outer radius*, *thickness*, *revolution rate* dan *center coordinates*. Semua parameter-parameter tersebut sudah dihitung dan ditentukan di awal untuk kemudian dimasukkan seperti pada tabel 4.26

Tabel 4. 26 Parameter *Actuator Disk Definition* Konfigurasi 2

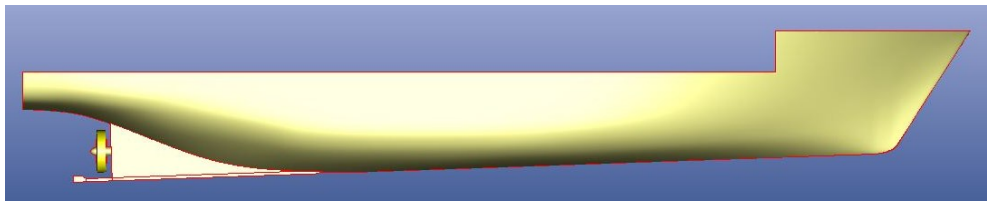
Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Actuator Disk Propeller			Body force update: OPEN WATER DATA
			Inner radius: 0.1
			Outer radius: 0.5
			Thickness: 0.2
			Center coordinates: (0.5702, 0, 0.3276)
			Shaft direction : (-1, 0, -0.034921)

Kemudian pada *body forces update* dipilih *open water data* yang sudah dipilih dan dihitung diawal, lalu dimasukkan data dengan format “*dat*”. Pada tahap ini juga dilakukan pengaturan variasi sudut kemiringan poros propeller dengan mengatur nilai *shaft direction* sesuai dengan tabel 4.27 berikut

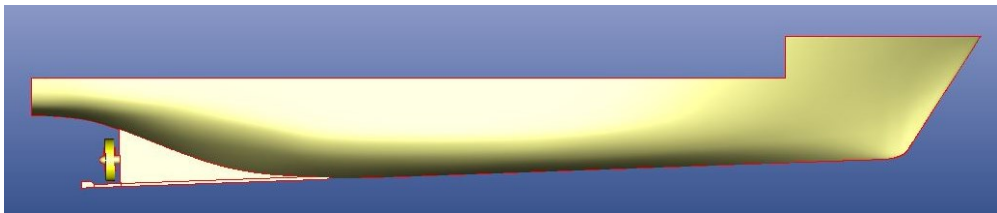
Tabel 4. 27 Nilai *Shaft Direction* untuk Masing-Masing *Konfigurasi*

No.	Konfigurasi	Shaft Direction		
		x	y	z
1	1	-1.0	0.0	-0.017455
2	2	-1.0	0.0	-0.034921
3	3	-1.0	0.0	-0.052408
4	4	-1.0	0.0	-0.069927
5	5	-1.0	0.0	-0.017455
6	6	-1.0	0.0	-0.034921
7	7	-1.0	0.0	-0.052408
8	8	-1.0	0.0	-0.069927

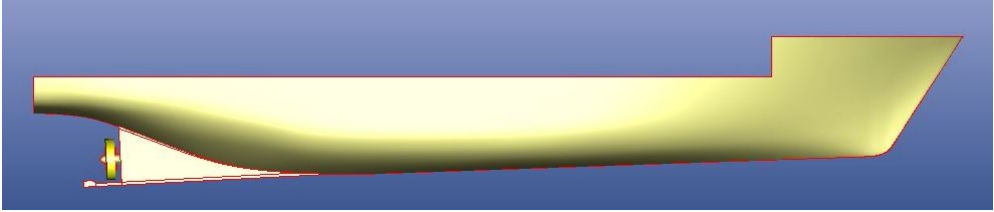
Berikut hasil pemodelan dari masing-masing konfigurasi *actuator disk propeller*.



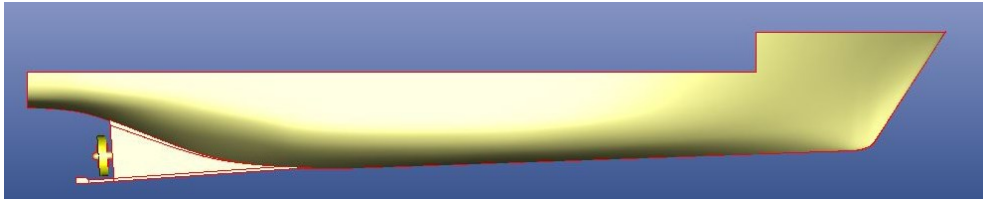
Gambar 4. 23 Permodelan *Actuator Disk* untuk Sudut Kemiringan Poros *Propeller* 1°



Gambar 4. 24 Permodelan *Actuator Disk* untuk Sudut Kemiringan Poros *Propeller* 2°




Gambar 4. 25 Permodelan *Actuator Disk* untuk Sudut Kemiringan Poros *Propeller* 3°



Gambar 4. 26 Permodelan *Actuator Disk* untuk Sudut Kemiringan Poros *Propeller* 4°

j. *Computational Control Variable & Outputs*

Control Variabel merupakan sebuah pengaturan yang digunakan untuk menentukan perhitungan jumlah step dan iterasi yaitu periode gerakan kapal yang digunakan. *Outputs* untuk menentukan variabel hasil dari proses simulasi. Setelah parameter tersebut sudah ditentukan maka langkah simulasi dapat dijalankan dengan mengaktifkan tombol *solver running* atau icon .

Tabel 4. 28 Parameter *Control Variabel* dan *Outputs*

Menu	Submenu	Geometri	Parameters
Control Variables	General		Maximum number of non linear iterations: 5
			Convergence criteria: 2 orders
			Save solution every: 100
			Number of time steps: 1000
			Time step value: 0.1
Output	Motion & Force Variables		Translation : Tx, Tz
			Velocity : Vx, Vz
			Acceleration : Ax, Az
			Rotation : Ry
			Angular velocity : dRy
			Angular acceleration : d2Ry
Force decomposition : Global frame			

4.6. Pembahasan dan Analisis Data Hasil Simulasi

4.6.1. Data Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *Software Numeca Fine Marine* maka didapatkan data seperti yang terdapat pada tabel 4.29, 4.30 dan 4.31 berikut

Tabel 4. 29 Nilai Tahanan Total Kapal, *Thrust*, Torsi, dan Putaran *Propeller* Hasil Simulasi dengan menggunakan *Software Numeca Fine Marine*

No.	Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros Propeller (°)	Posisi Main Engine (m dari AP)	Rt (N)	T (N)	Q (N)	N (rps)
1	1	1	4-6.5	10787.37	17805.69	2012.40	10.53
2	2	2	4-6.5	10489.00	17216.72	1947.71	10.42
3	3	3	4-6.5	10004.79	16940.36	1914.63	10.27
4	4	4	4-6.5	9648.97	16520.66	1867.46	10.15
5	5	1	5.5-8	11146.82	19189.54	2158.75	10.71
6	6	2	5.5-8	11807.43	19569.18	2205.88	10.89
7	7	3	5.5-8	11418.73	19043.18	2147.42	10.76
8	8	4	5.5-8	11506.48	18901.44	2133.90	10.78

Tabel 4. 30 Nilai Luasan Lambung Kapal yang Tercelup dan Sudut Trim Kapal Hasil Simulasi dengan menggunakan *Software Numeca Fine Marine*

No.	Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros	Posisi Main Engine (m dari AP)	WSA (m ²)	Ry1 (deg)
1	1	1	4-6.5	136.5045	0.1909
2	2	2	4-6.5	136.5204	0.1930
3	3	3	4-6.5	136.5663	0.1855
4	4	4	4-6.5	136.8721	0.1915
5	5	1	5.5-8	136.0228	0.1837
6	6	2	5.5-8	135.9921	0.1858
7	7	3	5.5-8	136.0688	0.1844
8	8	4	5.5-8	136.4043	0.1893

Tabel 4. 31 Nilai KT, KQ, J dan Efisiensi *Propeller* Hasil Simulasi dengan menggunakan *Software Numeca Fine Marine*

No.	Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros Propeller (°)	Posisi Main Engine (m dari AP)	KT	KQ	J	η Prop.
1	1	1	4-6.5	0.1572	0.0177	0.2820	0.3981
2	2	2	4-6.5	0.1552	0.0175	0.2871	0.4047
3	3	3	4-6.5	0.1572	0.0177	0.2821	0.3983
4	4	4	4-6.5	0.1569	0.0177	0.2827	0.3991
5	5	1	5.5-8	0.1636	0.0184	0.2659	0.3771
6	6	2	5.5-8	0.1613	0.0181	0.2717	0.3847
7	7	3	5.5-8	0.1608	0.0181	0.2730	0.3864
8	8	4	5.5-8	0.1591	0.0179	0.2771	0.3918

4.6.2. Perbandingan Hasil Perhitungan *Maxsurf*, Simulasi, dan Pengujian

Dari hasil simulasi CFD kemudian dilakukan perbandingan atau validasi data dengan perhitungan *Maxsurf Resistance* menggunakan metode Oortmerssen dan Holtrop, serta hasil pengujian kapal. Perbandingan dilakukan terhadap nilai tahanan kapal pada kecepatan 9 knot, posisi *main engine* 4m-6,5m dari AP, dan sudut kemiringan poros *propeller* 2° yang merupakan *initial condition* kapal pada penelitian ini.

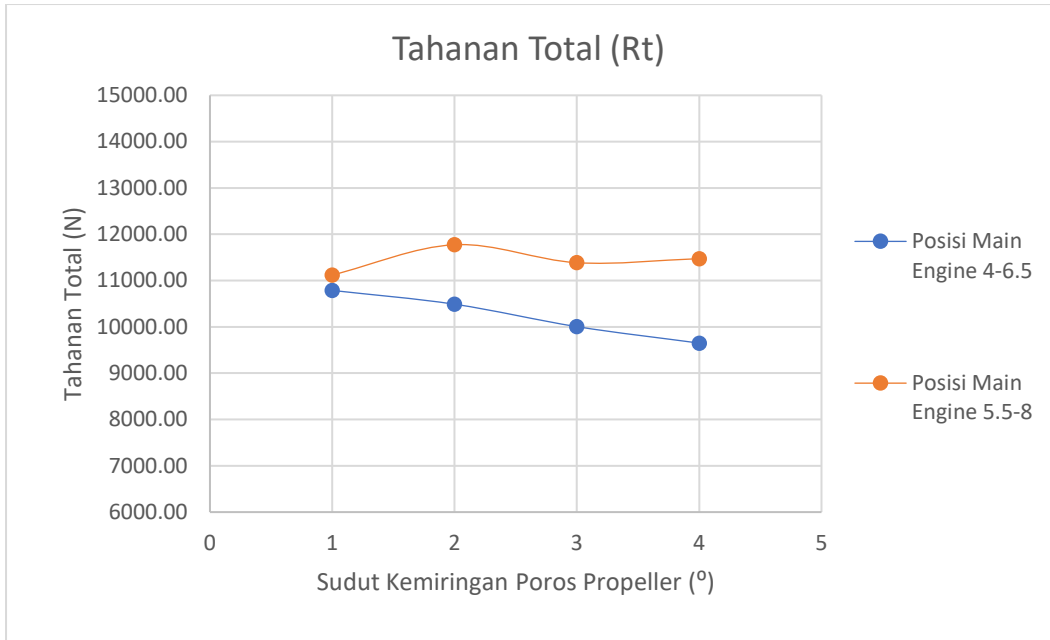
Tabel 4. 32 Perbandingan Nilai Tahanan Total dari Perhitungan *Maxsurf Resistance*, Pengujian, dan Simulasi dengan CFD

	Metode	Tahanan Total (kN)	Error
Maxsurf	Oortmerssen	10.80	2.96%
	Holtrop	9.90	5.62%
Pengujian		10.20	2.76%
Numeca		10.49	-

Dari Tabel 4.32 terlihat bahwa nilai tahanan total dari perhitungan *Maxsurf Resistance*, pengujian, dan simulasi memiliki selisih nilai yang tidak terlalu besar dengan error kurang dari 10%. Sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil simulasi dari *Numeca Fine Marine* ini valid.

4.6.3. Analisis Tahanan Kapal

Berdasarkan data tahanan total kapal hasil simulasi dari *Software Numeca Fine Marine* pada tabel 4.29 dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.27 berikut

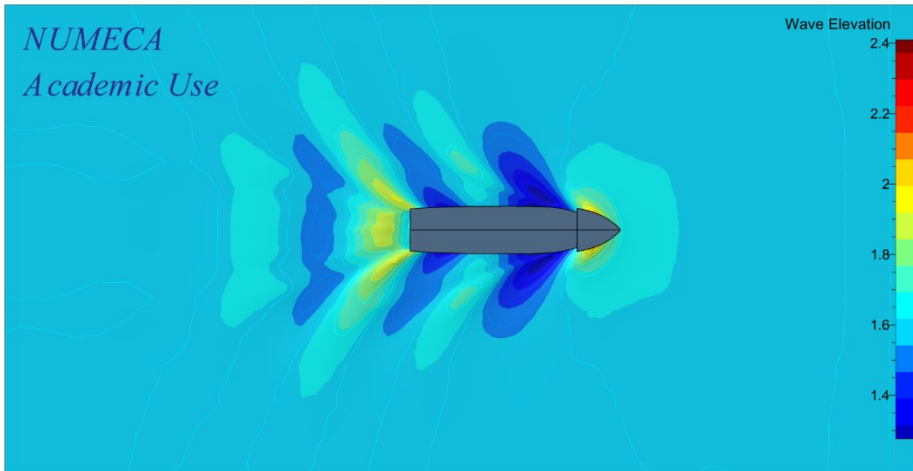


Gambar 4. 27 Nilai Tahanan Total dari Setiap Konfigurasi

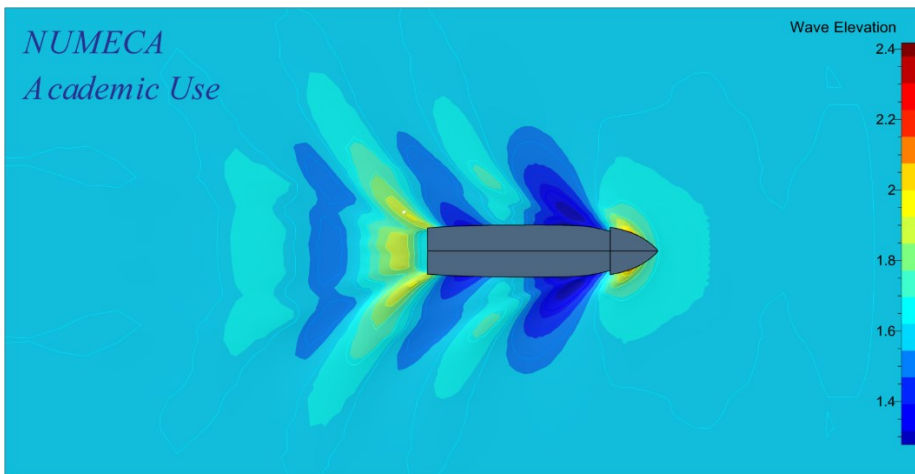
Berdasarkan hasil analisis dari tabel 4.29, tabel 4.30 dan grafik pada gambar 4.27 didapatkan nilai tahanan total yang terkecil adalah pada konfigurasi 4 dengan sudut kemiringan poros *propeller* 4° dan posisi *main engine* berada pada 4m – 6.5 m dari AP. Nilai tahanan total pada konfigurasi tersebut adalah 9648.97 N. Nilai tahanan total cenderung bernilai lebih kecil pada sudut kemiringan poros *propeller* yang lebih besar dan bernilai lebih besar pada saat posisi *main engine* berada pada 5.5m – 8m dari AP. Tahanan kapal merupakan fungsi dari massa jenis air laut, kecepatan kapal, luas permukaan basah kapal dan koefisien tahanan kapal. Massa jenis air laut dan kecepatan kapal bernilai konstan sehingga parameter yang mempengaruhi perubahan besarnya hambatan kapal adalah luas permukaan basah dan koefisien tahanan kapal (Larsen dalam Santoso, 2017). Gaya dorong yang dihasilkan propeller akan sejajar dengan poros propeller sehingga pada kapal dengan poros *propeller* yang memiliki kemiringan dalam arah vertikal, gaya dorong akan menyebabkan trim pada kapal. Dalam penelitian ini kapal mengalami trim buritan seperti pada tabel 4.30. Saat kapal mengalami trim buritan luas permukaan basah akan bertambah karena bentuk badan kapal yang cenderung lebih gemuk pada bagian buritan. Akan tetapi nilai hambatan kapal dari hasil simulasi saat kapal mengalami trim buritan lebih kecil. Hal ini menunjukkan pada saat kapal mengalami trim buritan nilai koefisien hambatan kapal menjadi lebih kecil. Penambahan kemiringan sudut poros propeller menyebabkan trim buritan yang lebih besar sehingga tahanan kapal akan menjadi lebih kecil. Pergeseran main engine akan berpengaruh terhadap titik pusat gravitasi dari kapal. Pergeseran main engine dari 4m-6.5m dari AP ke 5.5m – 8m dari AP menyebabkan titik pusat gravitasi bergeser ke arah FP. Pergeseran

titik pusat gravitasi tersebut akan memperkecil trim buritan kapal sehingga tahanan kapal akan bertambah.

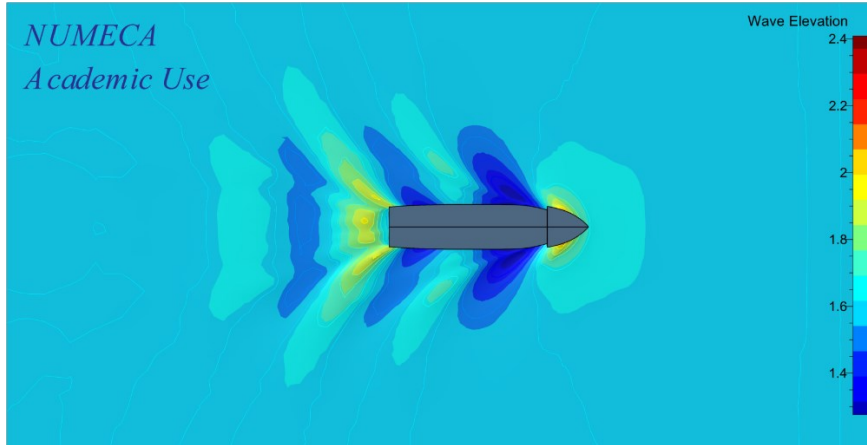
Gambar 4.28 sampai 4.35 menunjukkan *free surface* gelombang yang dihasilkan akibat gerakan kapal. Dari gambar tersebut dapat diketahui perbedaan gelombang yang dihasilkan kapal pada tiap konfigurasi yang menyebabkan perbedaan nilai tahanan kapal yang didapatkan dari simulasi. Semakin besar gelombang yang dihasilkan kapal, maka nilai tahanan juga menjadi lebih besar.



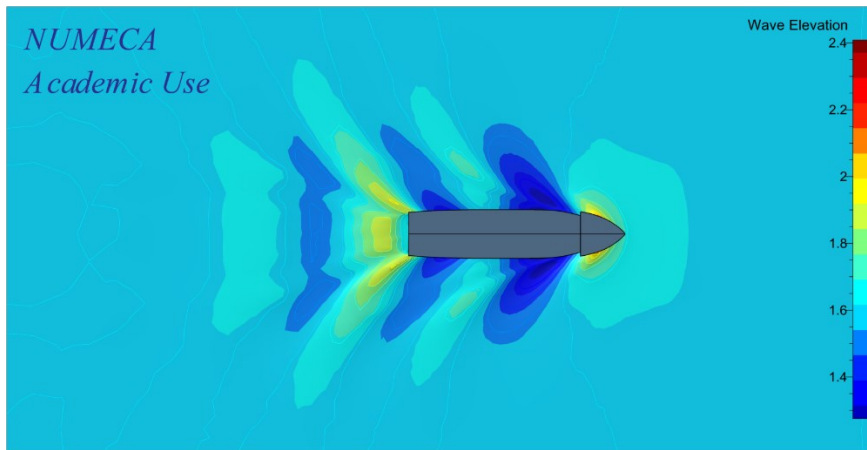
Gambar 4. 28 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 1



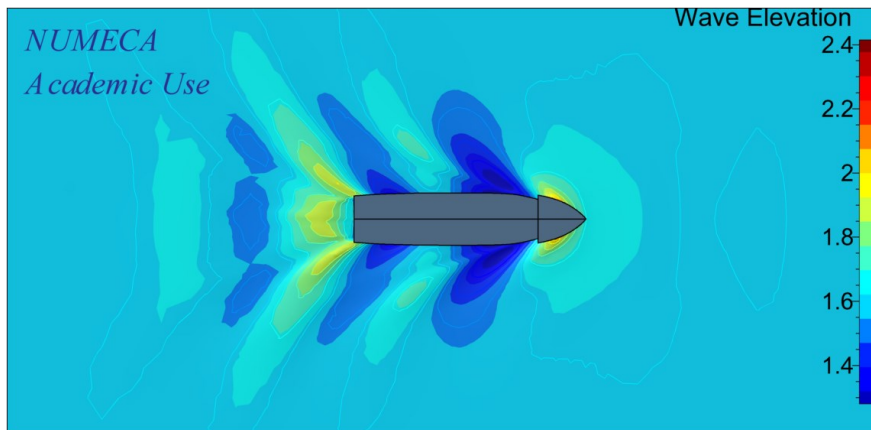
Gambar 4. 29 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 2



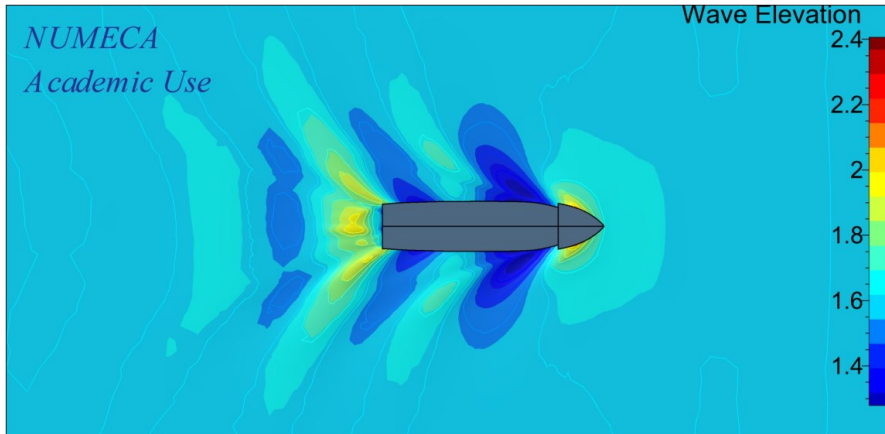
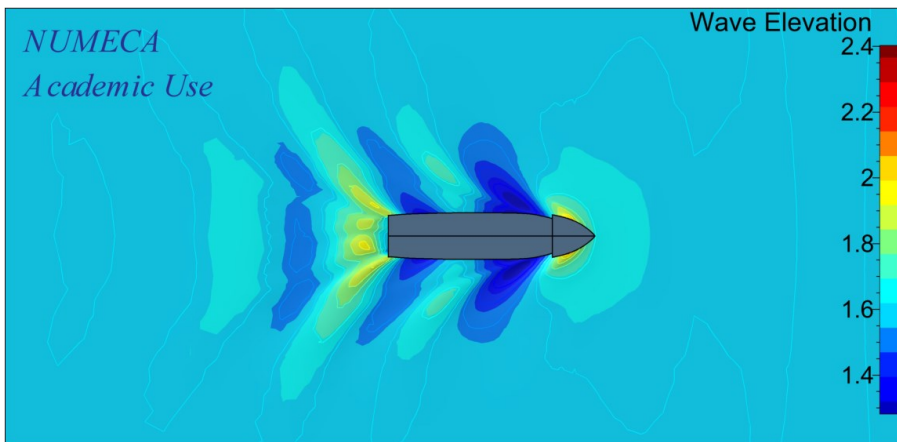
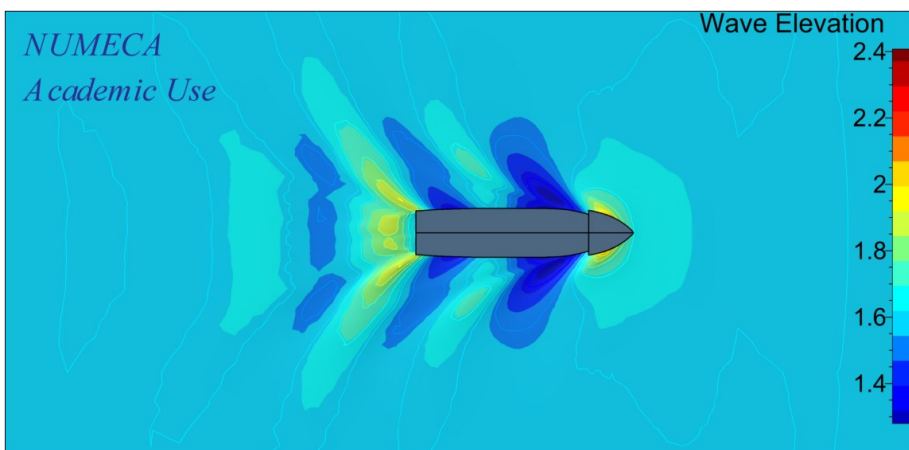
Gambar 4. 30 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 3



Gambar 4. 31 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 4

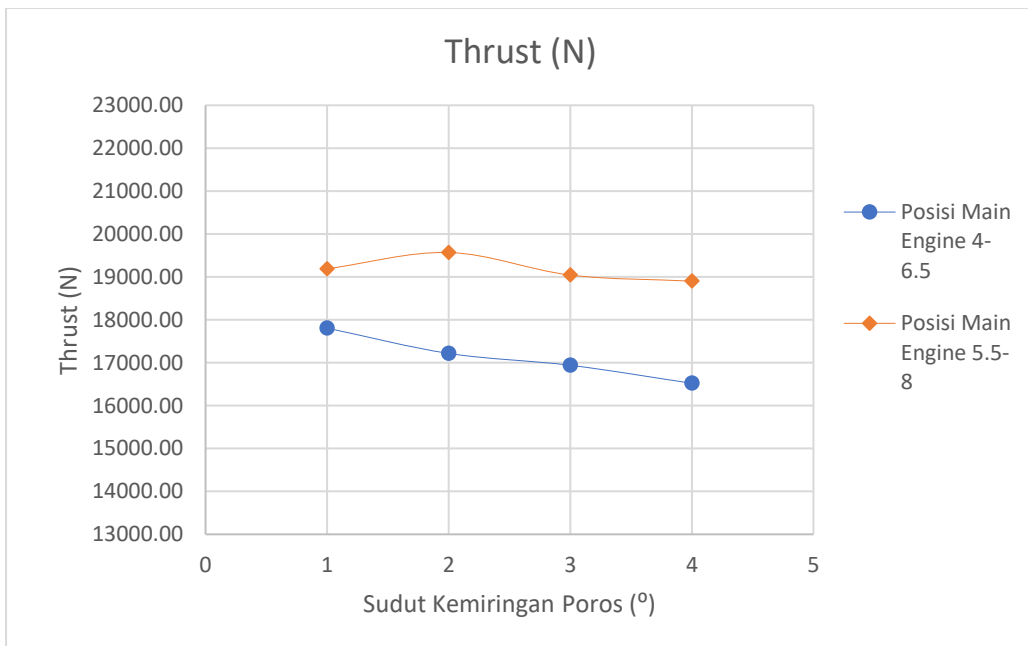


Gambar 4. 32 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 5

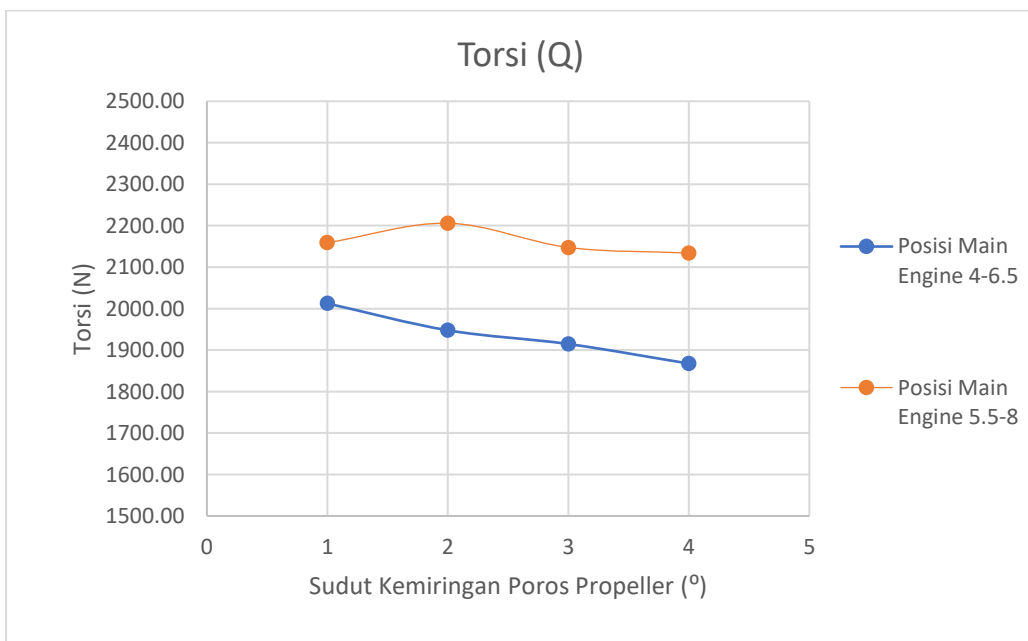
Gambar 4. 33 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 6Gambar 4. 34 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 7Gambar 4. 35 *Free Surface* Tampak Atas Pada Konfigurasi 8

4.6.4. Analisis Gaya Dorong Propeller

Berdasarkan data *thrust* dan torsi hasil simulasi dari *Software Numeca Fine Marine* pada tabel 4.29 dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.36 dan 4.37 berikut



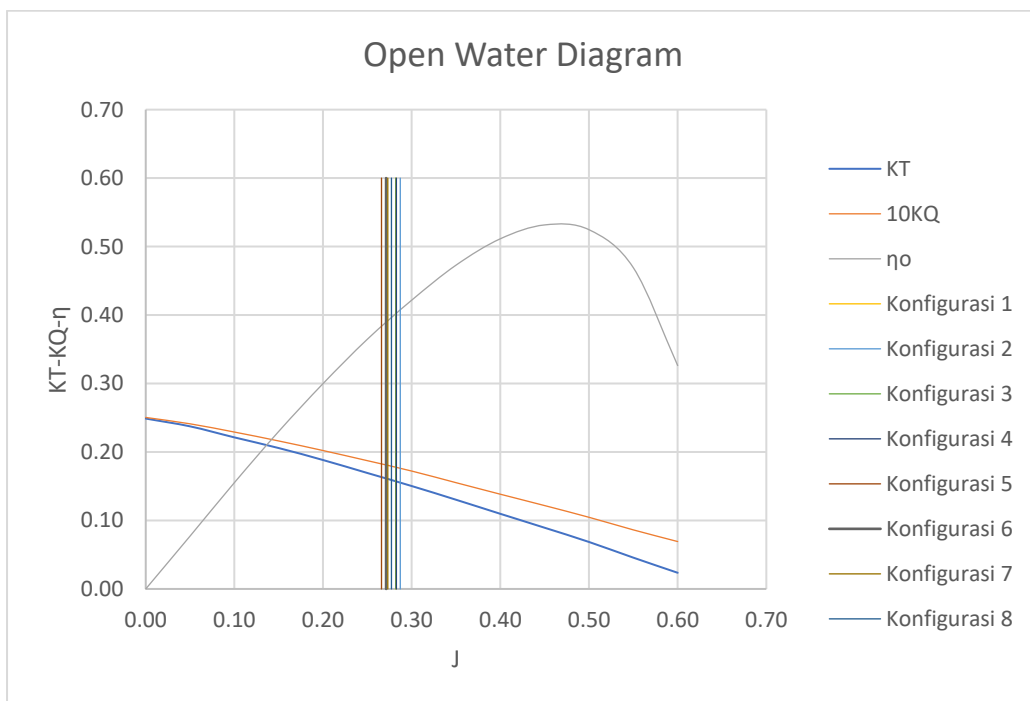
Gambar 4. 36 Nilai *Thrust* dari Setiap Konfigurasi



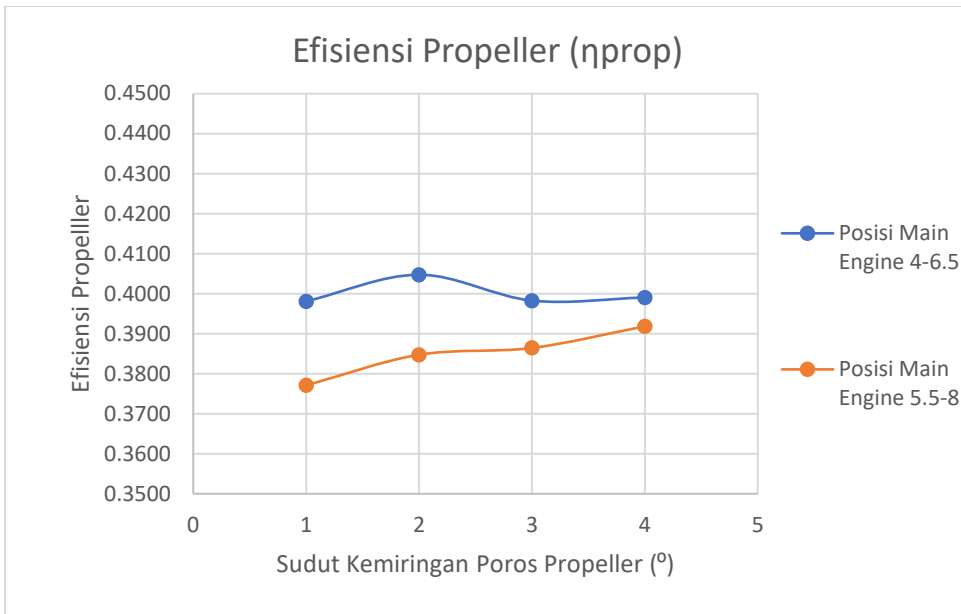
Gambar 4. 37 Nilai Torsi dari Setiap Konfigurasi

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4.29 dan grafik pada gambar 4.36 dan 4.37 didapatkan parameter gaya dorong dan torsi yang paling rendah pada konfigurasi 4 dengan sudut kemiringan poros *propeller* 4° dan posisi *main engine* berada pada 4m – 6.5 m dari AP. Nilai gaya dorong pada konfigurasi tersebut adalah 16520.66 N dan nilai torsi adalah 1867.46 Nm. Parameter tersebut cenderung turun seiring bertambahnya sudut kemiringan poros dan cenderung lebih tinggi nilainya pada posisi *main engine* di 5.5m-8m dari AP. Pada simulasi dengan *Numeca Fine Marine* ini kecepatan akhir dari kapal pada setiap konfigurasi dibuat sama yaitu 9 knot. Gaya dorong dan torsi yang lebih kecil akan membuat daya yang dibutuhkan untuk membuat kapal melaju dengan kecepatan yang sama menjadi lebih kecil.

Parameter selanjutnya yang perlu dianalisis adalah efisiensi propulsi. Nilai efisiensi propulsi dapat dicari dengan menggunakan *Open Water Diagram* dari *propeller* dan nilai J pada tabel 4.31. Nilai J diplotkan pada *Open Water Diagram* dan dicari perpotongannya dengan grafik KT, KQ, dan efisiensi propulsi seperti pada gambar 4.38. Dari perpotongan tersebut didapatkan nilai KT, KQ, dan efisiensi propulsi. Nilai efisiensi propulsi juga bisa dicari menggunakan rumus $\eta_o = \frac{J \times KT}{2\pi \times KQ}$. Dari kedua cara tersebut akan didapatkan nilai efisiensi propulsi yang sama seperti pada tabel 4.31.

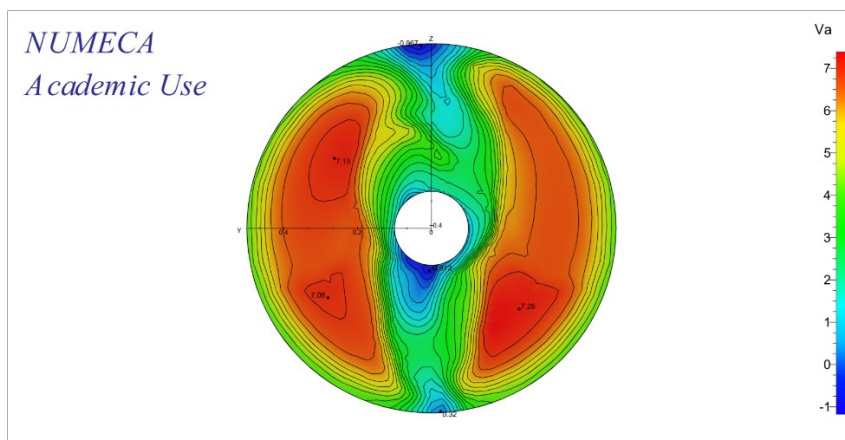


Gambar 4. 38 Grafik Hasil Analisa Efisiensi *Propeller* dari Tiap Konfigurasi

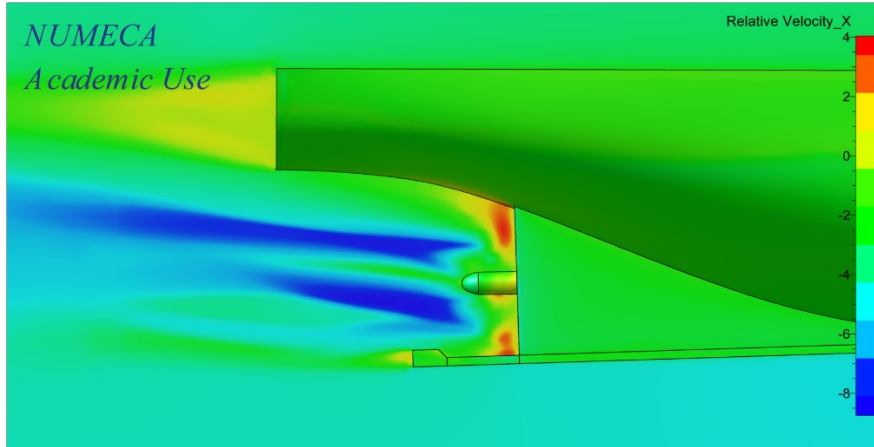


Gambar 4. 39 Nilai Efisiensi Propulsi dari Setiap Konfigurasi

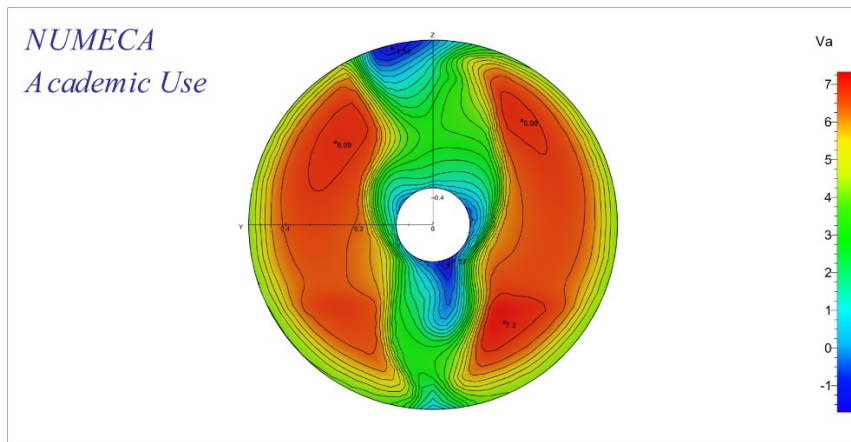
Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4.31 dan grafik pada gambar 4.39 didapatkan nilai efisiensi propulsi yang tertinggi adalah pada Konfigurasi 2 dengan sudut kemiringan poros *propeller* 2° dan posisi *main engine* berada pada 4m – 6.5 m dari AP. Nilai efisiensi propulsi pada konfigurasi tersebut adalah 0.4047. Hal tersebut terjadi karena peletakan *propeller* dengan lambung kapal bagian buritan memiliki kesesuaian sehingga berdampak pada kecepatan aliran air yang melewati *propeller* tinggi sebagai kerja *propeller*. Untuk aliran fluida yang melewati *propeller* dapat dilihat pada gambar 4.40 sampai gambar 4.55. Gambar 4.56 menunjukkan *wake flow* pada jarak 0m, 1m, 2m, dan 5m dari *propeller* pada konfigurasi 1. Untuk *wake flow* pada konfigurasi lain dapat dilihat pada Lampiran 3.



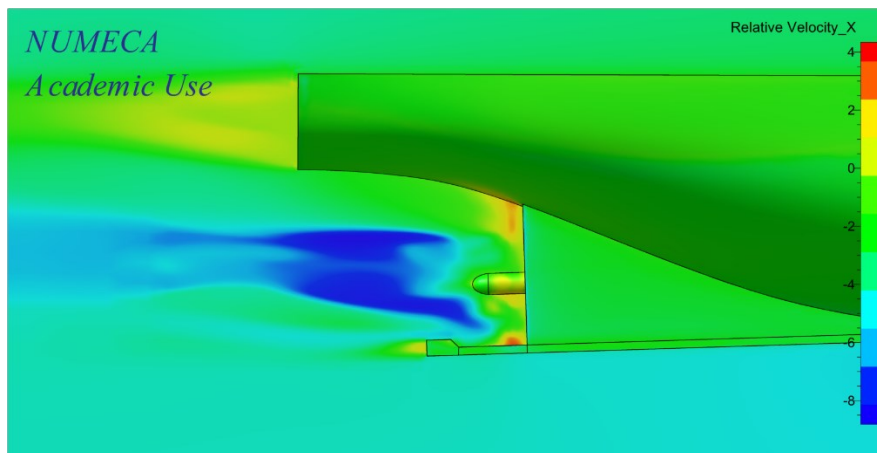
Gambar 4. 40 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 1



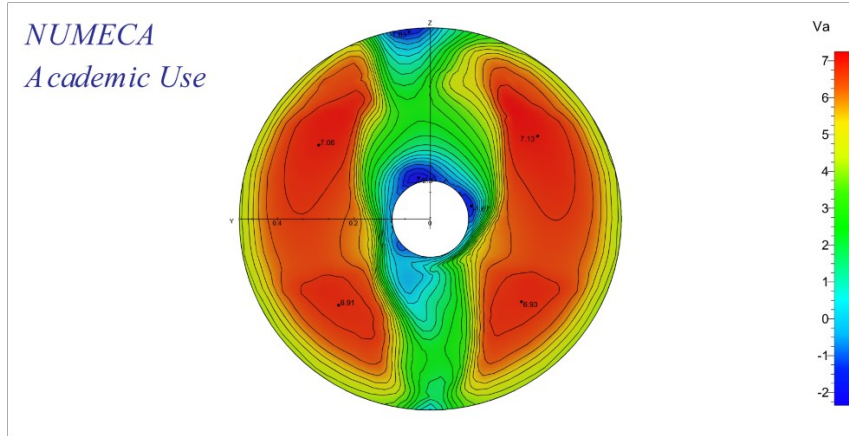
Gambar 4. 41 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 1



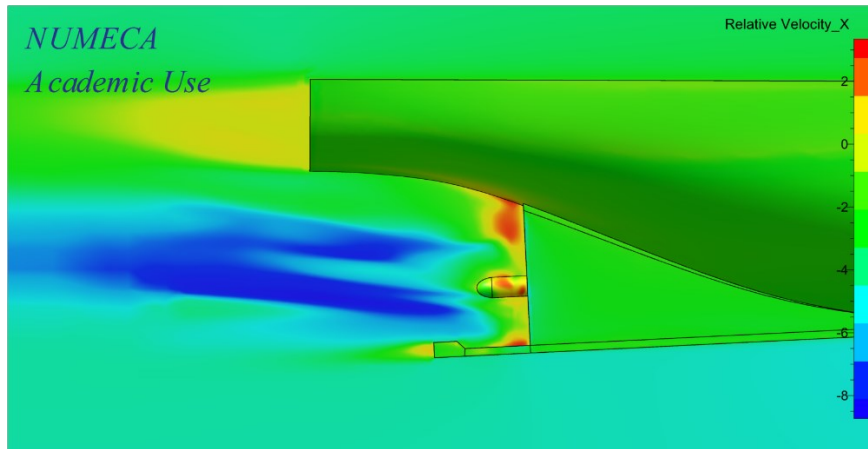
Gambar 4. 42 *Wake Flow Actuator Disk Propeller* pada Konfigurasi 2



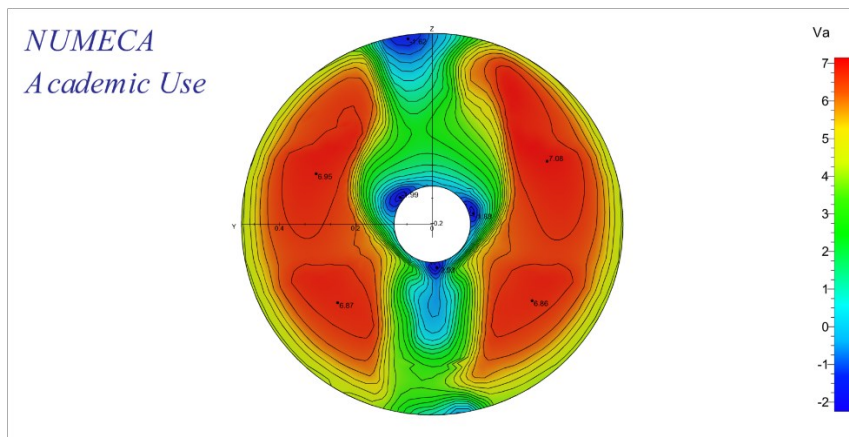
Gambar 4. 43 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 2



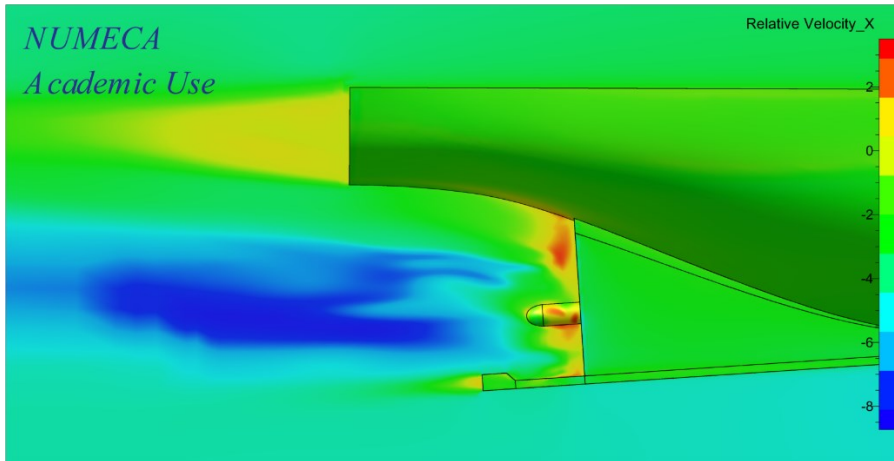
Gambar 4. 44 *Wake Flow Actuator Disk Propeller* pada Konfigurasi 3



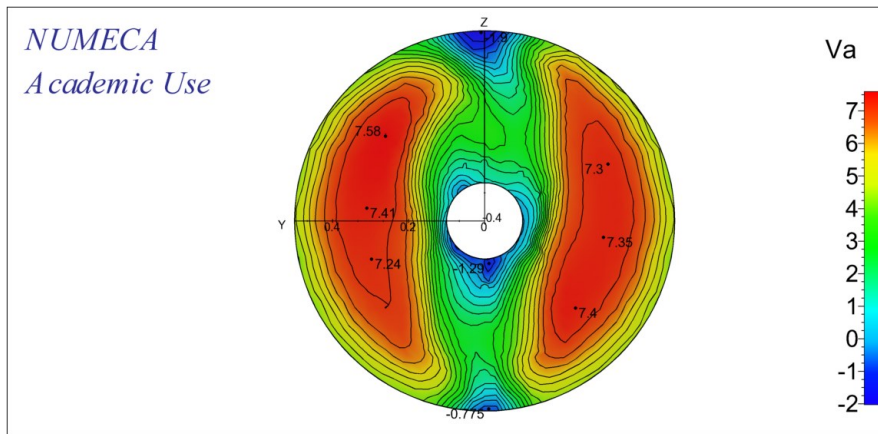
Gambar 4. 45 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 3



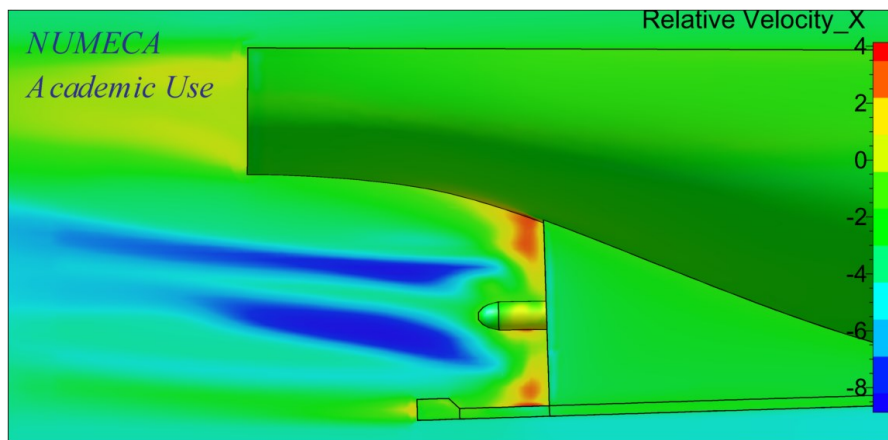
Gambar 4. 46 *Wake Flow Actuator Disk Propeller* pada Konfigurasi 4



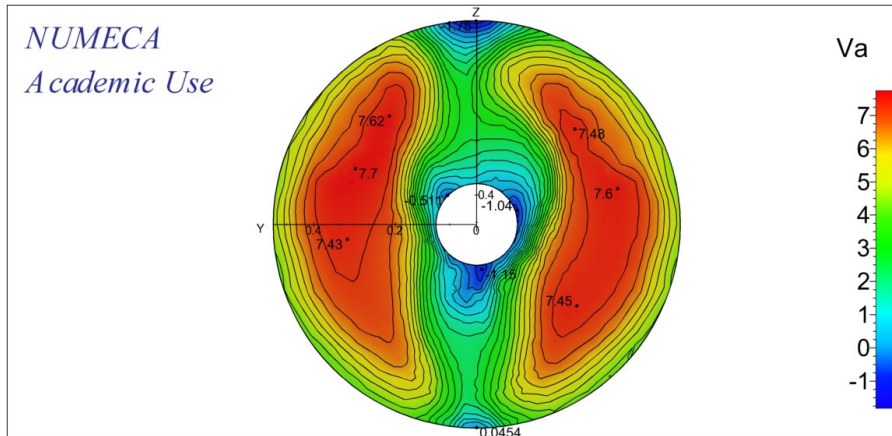
Gambar 4. 47 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 4



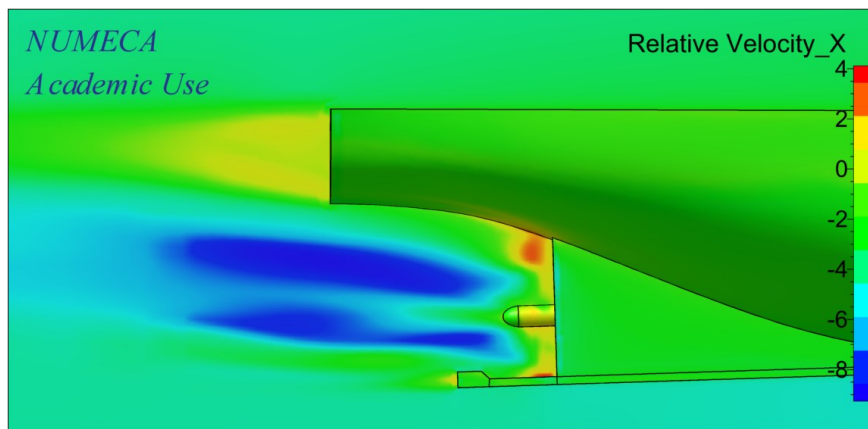
Gambar 4. 48 *Wake Flow Actuator Disk Propeller* pada Konfigurasi 5



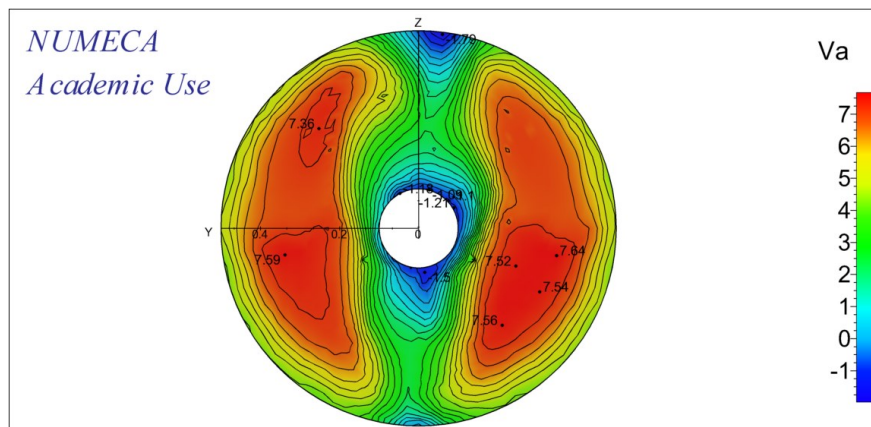
Gambar 4. 49 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 5



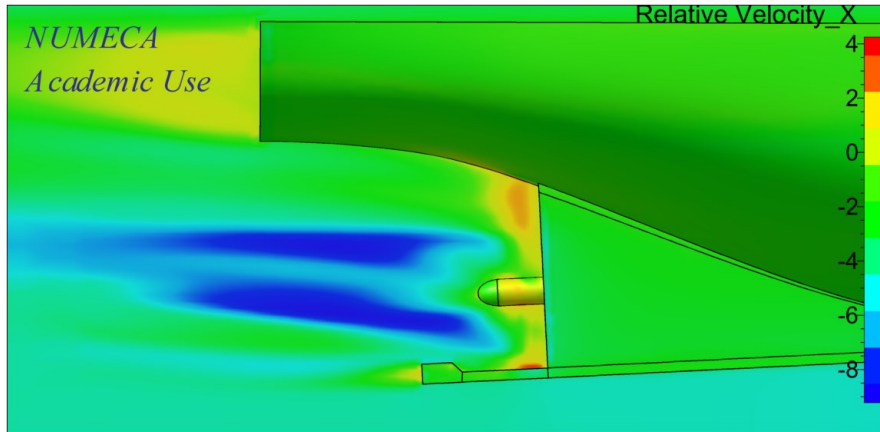
Gambar 4. 50 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 6



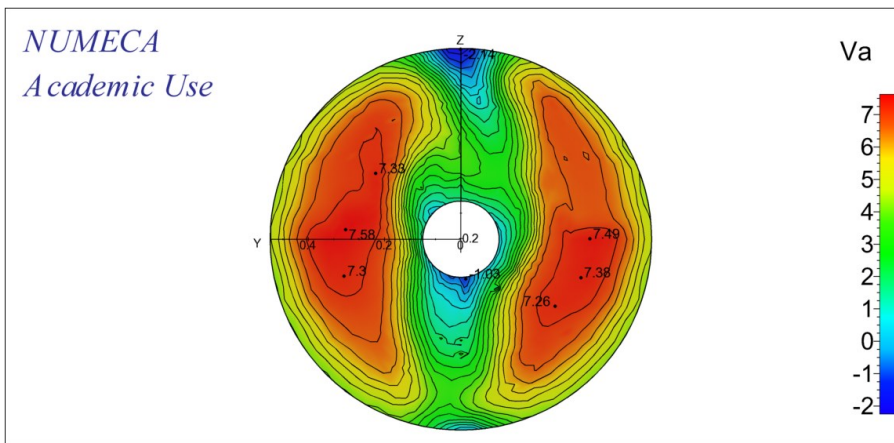
Gambar 4. 51 Relative Velocity Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 6



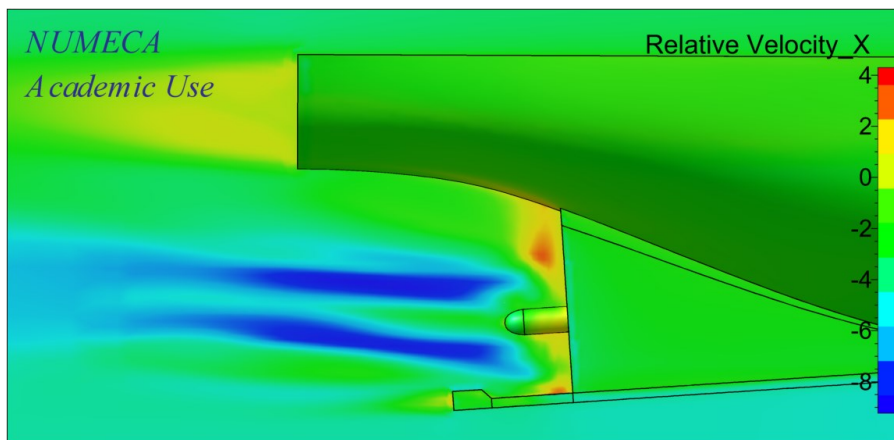
Gambar 4. 52 Wake Flow Actuator Disk Propeller pada Konfigurasi 7



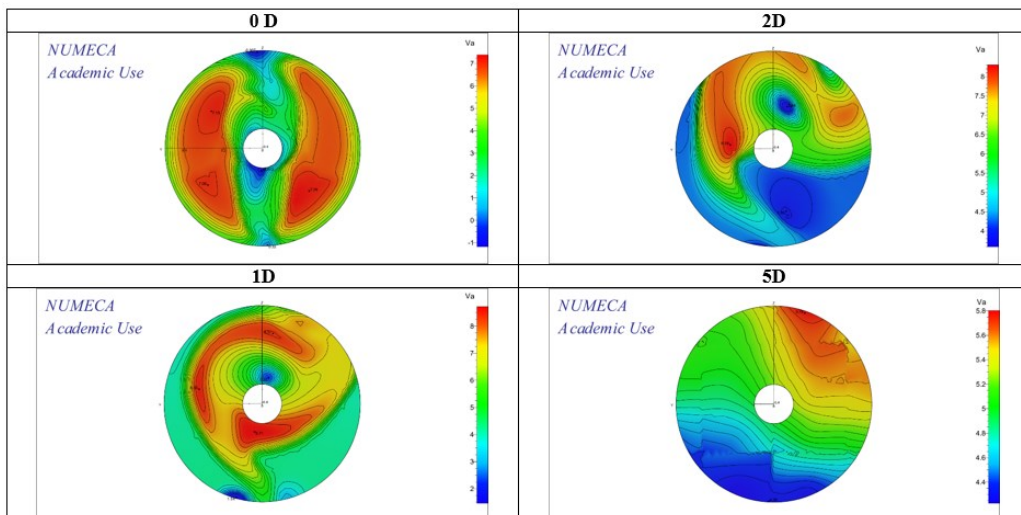
Gambar 4. 53 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 7



Gambar 4. 54 *Wake Flow Actuator Disk Propeller* pada Konfigurasi 8



Gambar 4. 55 *Relative Velocity* Searah Sumbu-x pada Konfigurasi 8



Gambar 4. 56 *wake flow* pada jarak 0m, 1m, 2m, dan 5m dari *propeller* pada konfigurasi 1

Dari gambar *CFView* *wake flow* actuator disk *propeller* dan relative velocity pada masing-masing konfigurasi terlihat bahwa pada konfigurasi 2 di mana efisiensi propulsi memiliki nilai tertinggi aliran fluida tampak lebih homogen dibandingkan konfigurasi yang lain meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa interaksi antara *propeller* dengan lambung pada konfigurasi 2 lebih baik dibandingkan pada konfigurasi lain. Interaksi antara *propeller* dengan lambung kapal menghasilkan *wake flow*. Hasil dari kecepatan aliran air yang sampai ke *propeller* yaitu *advance velocity*. Nilai *advance velocity* dapat dicari menggunakan persamaan 18. Nilai *advance velocity* dari masing-masing konfigurasi ditampilkan pada tabel 4.33 sebagai berikut

Tabel 4. 33 Nilai *Advance Velocity* pada Tiap Konfigurasi

Konfigurasi	Sudut Kemiringan Poros	Posisi Main Engine (m dari AP)	Va (m/s)
1	1	4-6.5	2.98
2	2	4-6.5	3.00
3	3	4-6.5	2.90
4	4	4-6.5	2.88
5	1	5.5-8	2.85
6	2	5.5-8	2.96
7	3	5.5-8	2.94
8	4	5.5-8	2.99

Nilai *advance velocity* berbanding lurus dengan nilai J sesuai dengan persamaan $J = \frac{V_a}{ND}$. Sesuai dengan *Open Water Diagram* pada gambar 4.38 untuk nilai J kurang dari 0.5 semakin besar nilai J maka efisiensi propulsi akan semakin besar. Dari tabel 4.33 dapat diketahui bahwa nilai *advance velocity* tertinggi berada pada konfigurasi 2 di mana pada konfigurasi tersebut juga memiliki efisiensi propulsi tertinggi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa dan pembahasan yang telah di lakukan pada bab sebelumnya di dapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemiringan sudut poros *propeller* memberikan pengaruh terhadap performa kapal ikan 60 GT yang diuji dalam penelitian ini, di mana semakin besar sudut kemiringan poros *propeller* maka nilai tahanan akan menjadi semakin kecil, sehingga membutuhkan gaya dorong yang lebih kecil untuk menggerakkan kapal pada kecepatan yang sama.
2. Peletakan *main engine* memberikan pengaruh terhadap performa kapal ikan 60 GT yang diuji dalam penelitian ini, di mana ketika *main engine* digeser ke arah FP maka nilai tahanan akan menjadi semakin besar, sehingga membutuhkan gaya dorong yang lebih besar untuk menggerakkan kapal pada kecepatan yang sama.
3. Konfigurasi paling optimum pada penelitian ini adalah konfigurasi 4 pada sudut kemiringan poros *propeller* 4° dan posisi *main engine* 4 m- 6.5 m dari AP, di mana pada konfigurasi ini memiliki nilai tahanan, gaya dorong, dan torsi yang paling kecil. Pada konfigurasi ini, nilai tahanan total kapal = 9648.97 N dan gaya dorong = 16520.66, torsi = 1867.46, $KT = 0.1569$, $KQ=0.0177$, $J=0.2827$ dan efisiensi propulsi = 0.3991.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, tidak lepas dari kesalahan-kesalahan, oleh karena itu ada beberapa saran pada penelitian ini:

1. Jumlah *cell* pada tahap *meshing* diusahakan memiliki jumlah yang sama atau hampir sama pada tiap variasi sehingga hasil yang didapat memiliki ketelitian yang sama.
2. Dilakukan pada variasi sudut kemiringan poros *propeller* yang lebih banyak
3. Dilakukan pada variasi peletakan *main engine* yang lebih banyak
4. Dilakukan pada jenis kapal lainnya

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bontempo, R. & Manna, M., 2017. Actuator disc methods for open propellers: assessments of numerical methods. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 11(1), pp. 42-53.
- Derrett, D. R. & Barrass, C. B., 1999. *Ship Stability for Masters and Mates, Fifth Edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Harrington, R. L., 1992. *Marine Engineering*. New Jersey: The Society Of Naval Architects and Marine Engineers.
- Holtrop, J. & Mennen, G. G. J., 1982. An Approximate Power Prediction Method. *International Shipbuilding Progress, ISP*, Volume 29, pp. 166-170.
- Jadmiko, E., Syarif, I. & Arif, L., 2018. Comparison of Stern Wedge and Stern Flap on Fast Monohull Vessel Resistance. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 3(2), pp. 041-049.
- Lewis, E. V., 1988. *Principles of Naval Architecture Volume II*. 2 penyunt. New Jersey: The Society of Naval Architects And Marine Engineers.
- NUMECA, 2019. *Theory Guide FINE™/Marine 8.1*, s.l.: NUMECA International..
- Oortmerssen, G. V., 1971. A Power Prediction Method And Its Application To Small Ships. *International Shipbuilding Progress*, 18(207), pp. 397-415.
- Prasetya, H. K., Koenhardono, E. S. & Kususma, I. R., 2016. Perencanaan Sistem Propulsi Hybrid Untuk Kapal Fast Patrol Boat 60 M. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), p. B412.
- Sahid, A., 2019. *Analisa Aliran Fluida Pada Buritan Lambung KM. Kelola Mina Makmur 150 GT Berdasar Propeller and Hull Maatching Dengan Menggunakan Actuator Disk Propeller*. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan, ITS.
- Santoso, A., 2016. *Materi Kuliah Sitem Transmisi Tenaga*, Surabaya: s.n.
- Santoso, M. A., 2017. *Studi Kasus Analisis Pengaruh Trim Terhadap Penghematan Bahan Bakar dan Stabilitas Kapal*. Surabaya: Teknik Perkapalan, ITS.
- Windyardari, A., 2014. Metodologi Aplikasi Azimuth Propeller Pada Kapal KMP. Sultan Murhum Berdasarkan Kemampuan Manuver Kapal. *KAPAL*, 11(2), pp. 49-61.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Hasil Perhitungan Dengan Maxurf

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)	Van Oortmerssen Resist. (kN)	Van Oortmerssen Power (kW)
1	0.000	0.000	0.000	--	--	--	--
2	0.500	0.018	0.038	0.0	0.017	0.0	0.011
3	1.000	0.035	0.076	0.1	0.123	0.1	0.079
4	1.500	0.053	0.114	0.2	0.391	0.1	0.252
5	2.000	0.070	0.152	0.3	0.888	0.2	0.573
6	2.500	0.088	0.190	0.5	1.676	0.3	1.107
7	3.000	0.105	0.228	0.7	2.813	0.5	1.993
8	3.500	0.123	0.266	0.9	4.352	0.7	3.413
9	4.000	0.140	0.304	1.2	6.349	1.0	5.480
10	4.500	0.158	0.342	1.5	8.873	1.4	8.228
11	5.000	0.175	0.380	1.8	12.030	1.8	11.641
12	5.500	0.193	0.418	2.2	16.004	2.2	15.708
13	6.000	0.210	0.456	2.7	21.102	2.6	20.623
14	6.500	0.228	0.494	3.3	27.824	3.1	26.227
15	7.000	0.245	0.532	4.0	36.665	3.8	35.257
16	7.500	0.263	0.570	5.0	48.868	4.3	42.716
17	8.000	0.280	0.608	6.4	67.056	5.4	57.107
18	8.500	0.298	0.646	8.2	91.150	8.1	90.958
19	9.000	0.315	0.684	9.9	117.188	10.8	127.676
20	9.500	0.333	0.722	11.6	145.113	11.9	148.228
21	10.000	0.350	0.759	13.8	181.280	12.2	160.736
22	10.500	0.368	0.797	17.0	234.696	14.0	192.417
23	11.000	0.385	0.835	21.9	316.969	18.5	267.129
24	11.500	0.403	0.873	29.1	439.096	26.0	392.857
25	12.000	0.420	0.911	36.6	576.404	35.7	562.256
26	12.500	0.438	0.949	44.1	723.979	46.3	759.419
27	13.000	0.456	0.987	51.7	881.871	56.6	966.771
28	13.500	0.473	1.025	59.2	1050.127	66.0	1169.502
29	14.000	0.491	1.063	66.8	1228.795	73.8	1357.409
30	14.500	0.508	1.101	74.5	1417.924	80.1	1524.968
31	15.000	0.526	1.139	82.1	1617.559	84.8	1670.495
32	15.500	0.543	1.177	89.8	1827.750	88.2	1795.041
33	16.000	0.561	1.215	97.0	2037.285	90.5	1901.344
34	16.500	0.578	1.253	103.4	2244.535	92.8	2000.600

LAMPIRAN 2

Hasil Pengujian Tahanan

RESISTANCE TEST RESULTS (MODEL VALUES)

RESISTANCE TEST KAPAL IKAN 60 GT
1.600
SHIP MODEL NO. LHI-0227
1.600

DRAUGHT FWD
M
DRAUGHT AFT
M

VS	VM	RM	FN	RN	RFM	RM/RFM	CTM	CFM	FN4/CFM
KNOTS	M/S	N			N				
5.02	0.959	5.80	0.176	3.49E+06	4.08	1.421	0.00517	0.00364	0.263
6.02	1.150	8.65	0.211	4.18E+06	5.67	1.527	0.00536	0.00351	0.563
7.02	1.341	12.58	0.246	4.87E+06	7.49	1.681	0.00574	0.00341	1.072
8.01	1.530	18.98	0.281	5.56E+06	9.51	1.995	0.00665	0.00333	1.861
9.03	1.725	30.69	0.316	6.27E+06	11.83	2.594	0.00845	0.00326	3.074
10.03	1.916	41.24	0.351	6.96E+06	14.32	2.880	0.00921	0.00320	4.768
11.03	2.107	61.24	0.386	7.66E+06	17.03	3.597	0.01131	0.00314	7.092

NOTES: - FOR EXPLANATION OF ABBREVIATIONS SEE LIST OF SYMBOLS

- TEMPERATURE TANK WATER 28.2 DEGREES C.
- REYNOLDS AND FROUDE NUMBER BASED ON LWL= 3.032 M
(SHIP L= 21.98 M)
- FRICTIONAL RESISTANCE RF DETERMINED ACCORDING TO THE
ITTC-1957 FORMULA

FOR A WETTED AREA OF S= 2.440 M² (SHIP VALUE= 128.2
M²)

RESULTS OF RESISTANCE EXTRAPOLATION

RESISTANCE TEST KAPAL IKAN 60 GT
 1.600
 SHIP MODEL NO. LHI-0227

DRAUGHT FWD
 M
 DRAUGHT AFT
 1.600 M

VS	VM	RM	CTM	CFM	CRES	CFS	CTS	FD	RS	PE	CE
KNOTS	M/S	N	5	5	5	5	5	N	KN	KW	
			*10	*10	*10	*10	*10				
5.0	0.955	5.75	516	364	28	221	398	1.32	1.7	4.5	458
5.5	1.051	7.04	523	357	43	218	409	1.53	2.2	6.1	446
6.0	1.146	8.53	532	351	60	215	423	1.76	2.6	8.2	431
6.5	1.242	10.34	550	346	85	213	443	2.00	3.3	10.9	411
7.0	1.337	12.49	572	341	114	211	470	2.24	4.0	14.4	388
7.5	1.433	15.26	609	337	156	208	509	2.50	5.0	19.2	358
8.0	1.528	19.29	677	333	229	206	580	2.77	6.5	26.6	314
8.5	1.624	24.25	754	329	311	205	659	3.04	8.3	36.2	276
9.0	1.720	29.40	815	326	377	203	723	3.33	10.2	47.2	252
9.5	1.815	35.26	877	323	444	201	787	3.62	12.4	60.4	231
10.0	1.911	42.38	952	320	522	200	864	3.92	15.0	77.3	211
10.5	2.006	50.78	1034	317	608	199	948	4.23	18.2	98.2	192
11.0	2.102	60.65	1126	315	703	197	1041	4.55	21.9	124.0	175

NOTES: - FOR EXPLANATION OF ABBREVIATIONS SEE LIST OF SYMBOLS

- THE RESULTS ABOVE WERE OBTAINED BY MEANS OF THE ITTC-1957 FORMULA
 WITH A FORM FACTOR OF $1+K= 1.343$

AND A MODEL-SHIP CORRELATION ALLOWANCE OF $CA= .00073$

FOR A WETTED AREA OF $S = 2.440 \text{ M}^2$ (SHIP VALUE = 128.2 M^2)

AND A LENGTH ON THE WATERLINE $LWL = 3.032 \text{ M}$ (SHIP $L = 21.98 \text{ M}$)

FOR A TANK WATER TEMPERATURE OF 28.2 C DEGREES

2/3 3

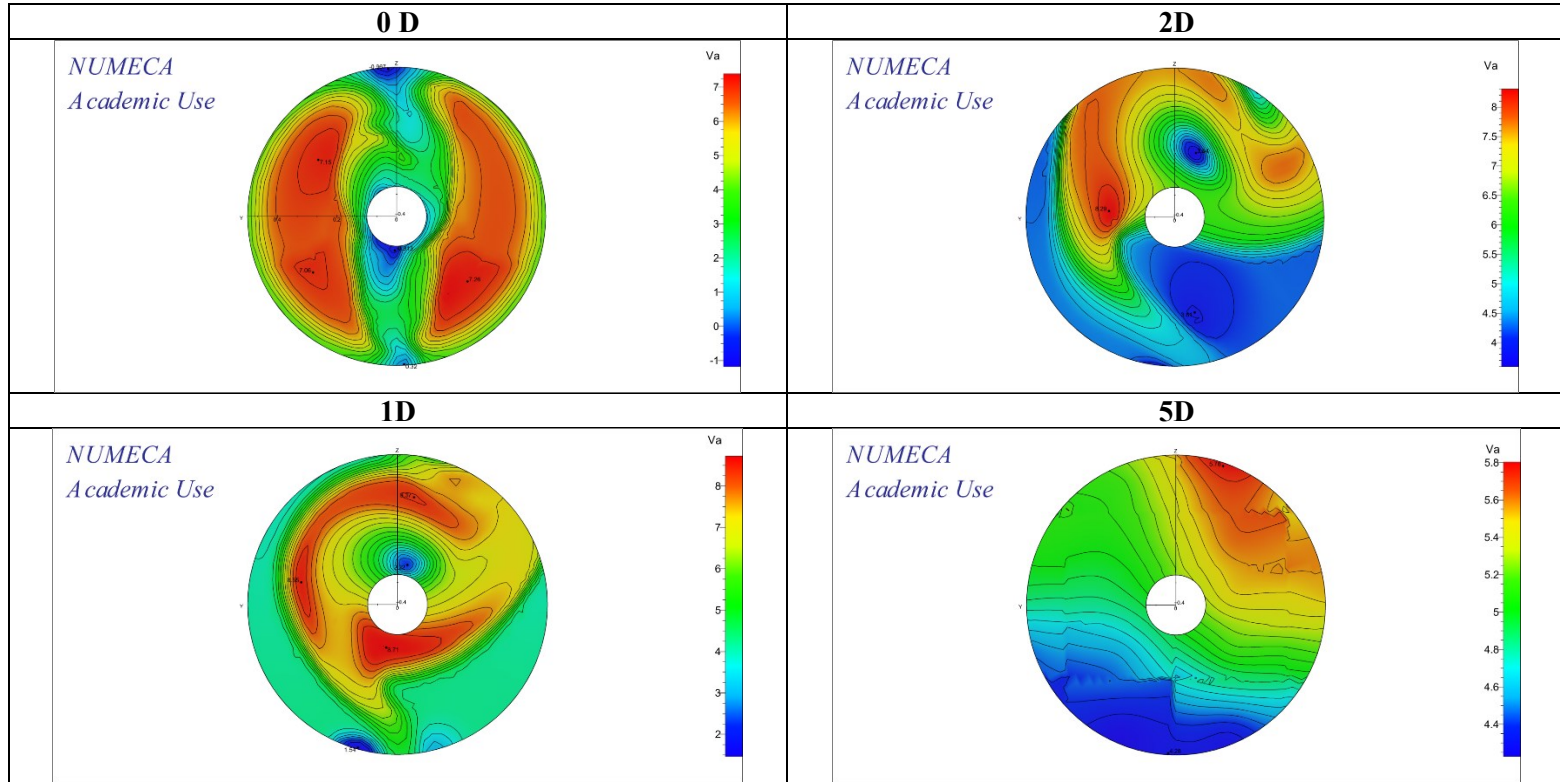
- $CE = 0.7477 * DISV$ *VS /PE IN UNITS AS ABOVE AND $DISV = 101.8 \text{ M}^3$

- THE RESULTS ARE FOR TRIAL CONDITIONS, IMPLYING UNRESTRICTED DEEP WATER OF 30.0 DEGREES C . AND A MASS DENSITY OF 1025.0 KG/M^3 , A CLEAN HULL

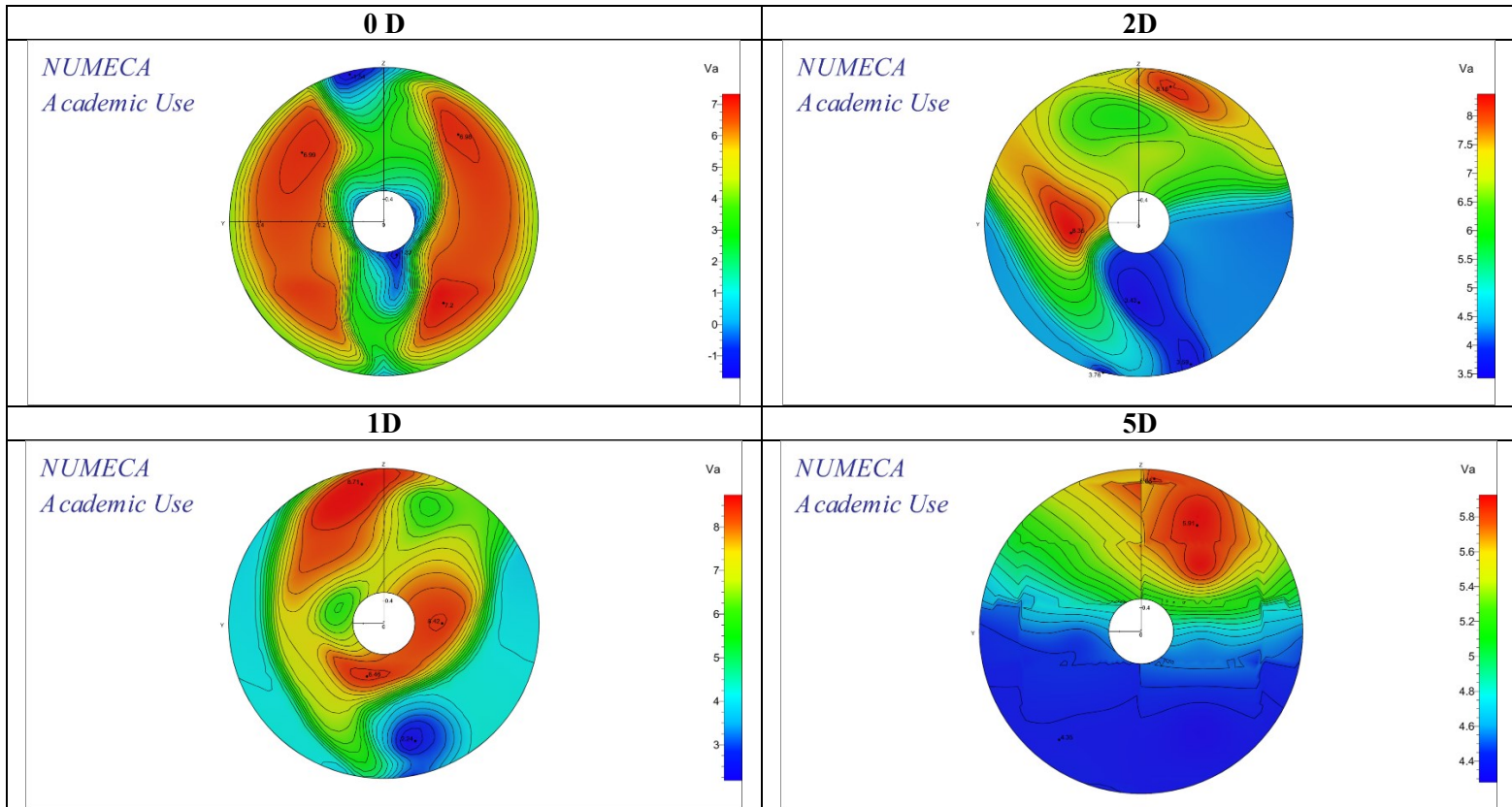
LAMPIRAN 3

Wake Flow

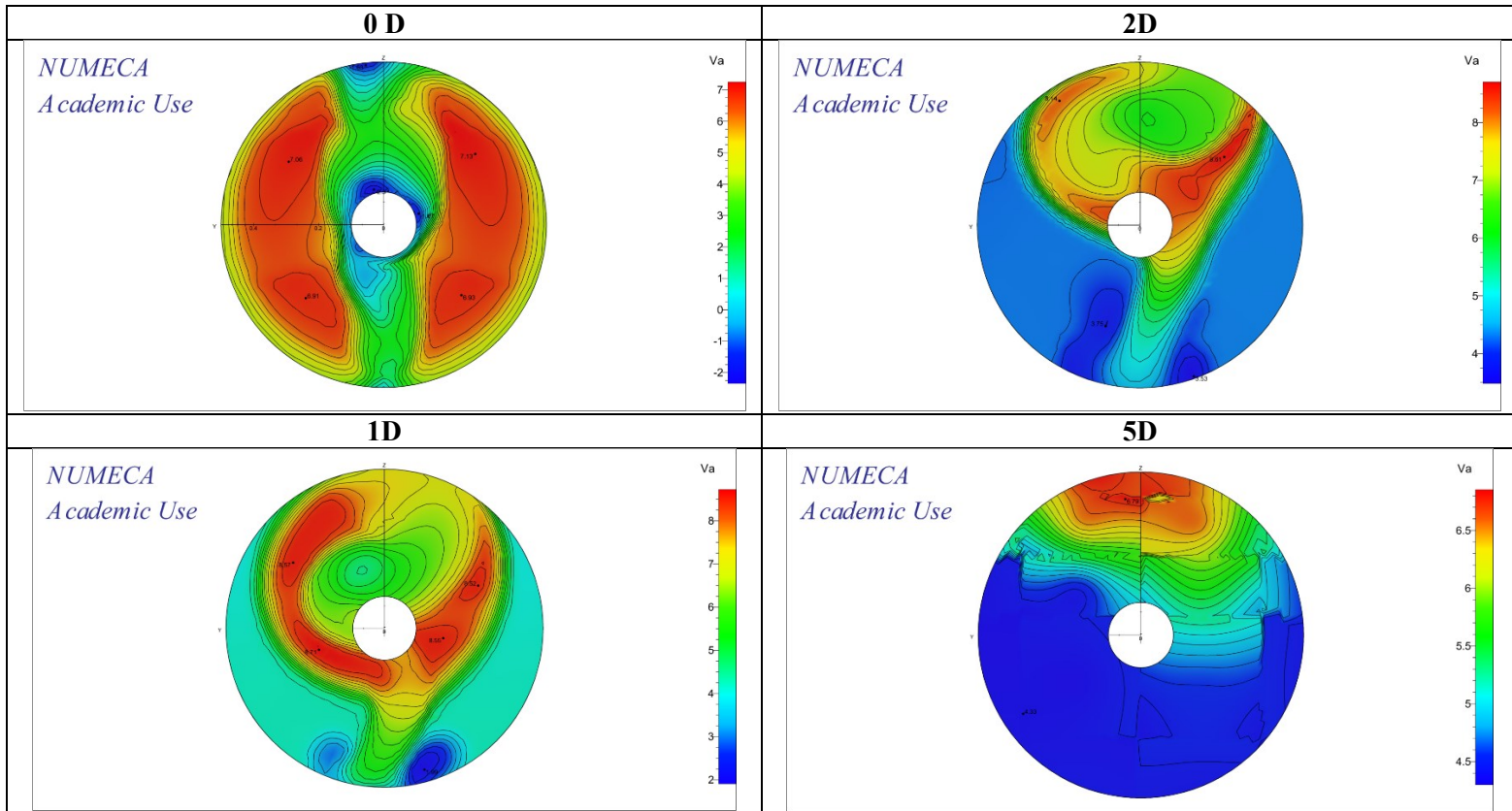
1. Konfigurasi 1



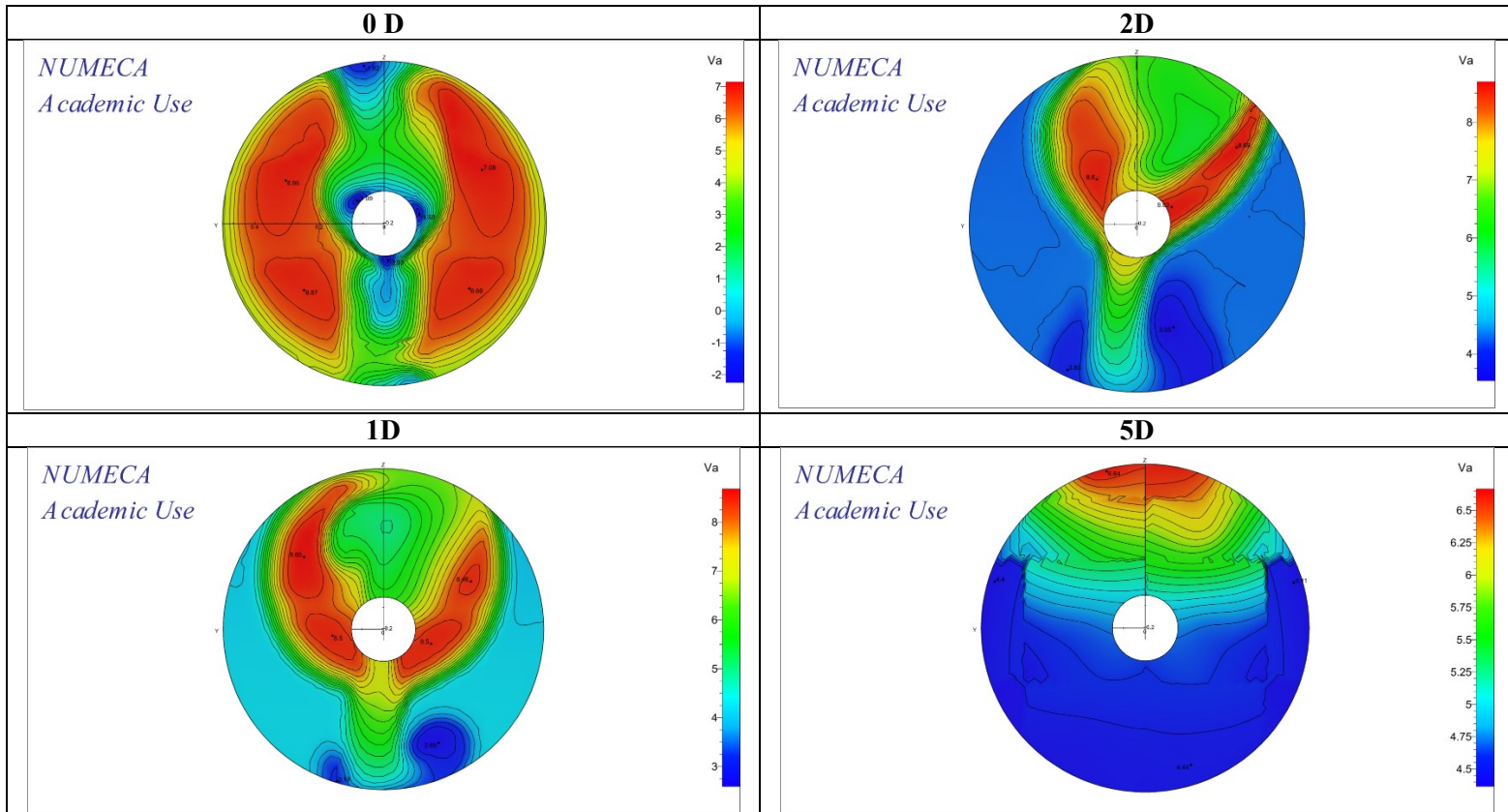
2. Konfigurasi 2



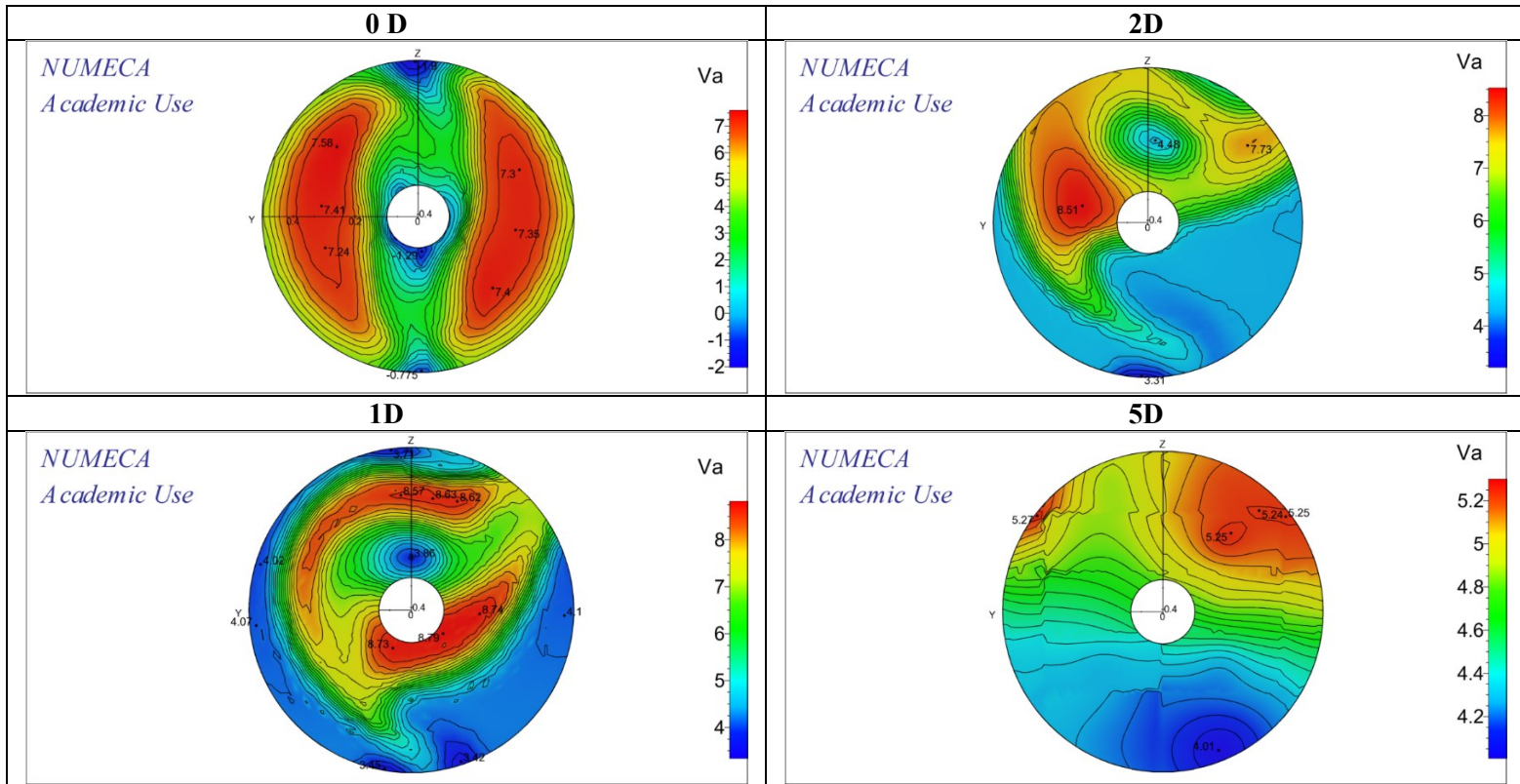
3. Konfigurasi 3



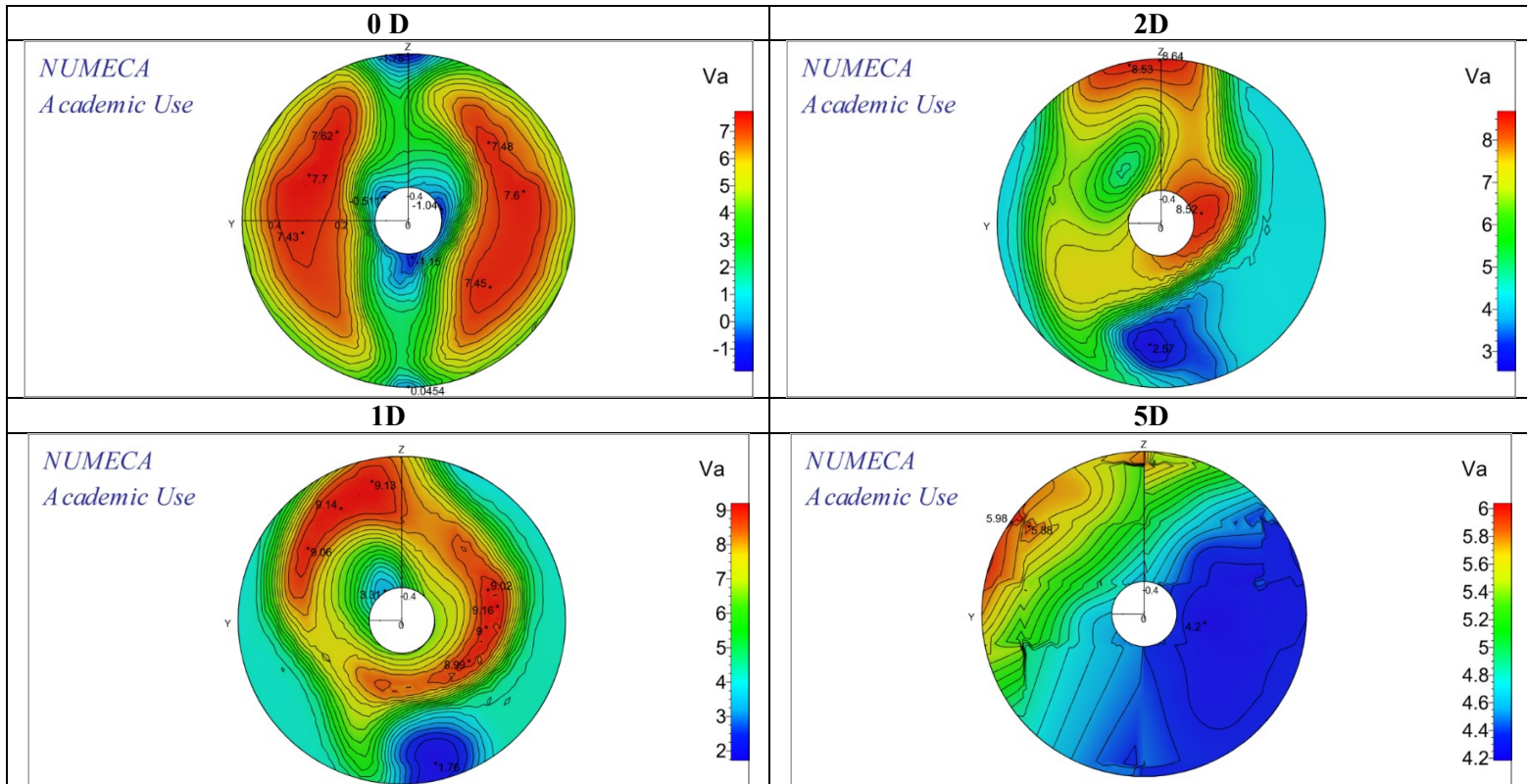
4. Konfigurasi 4



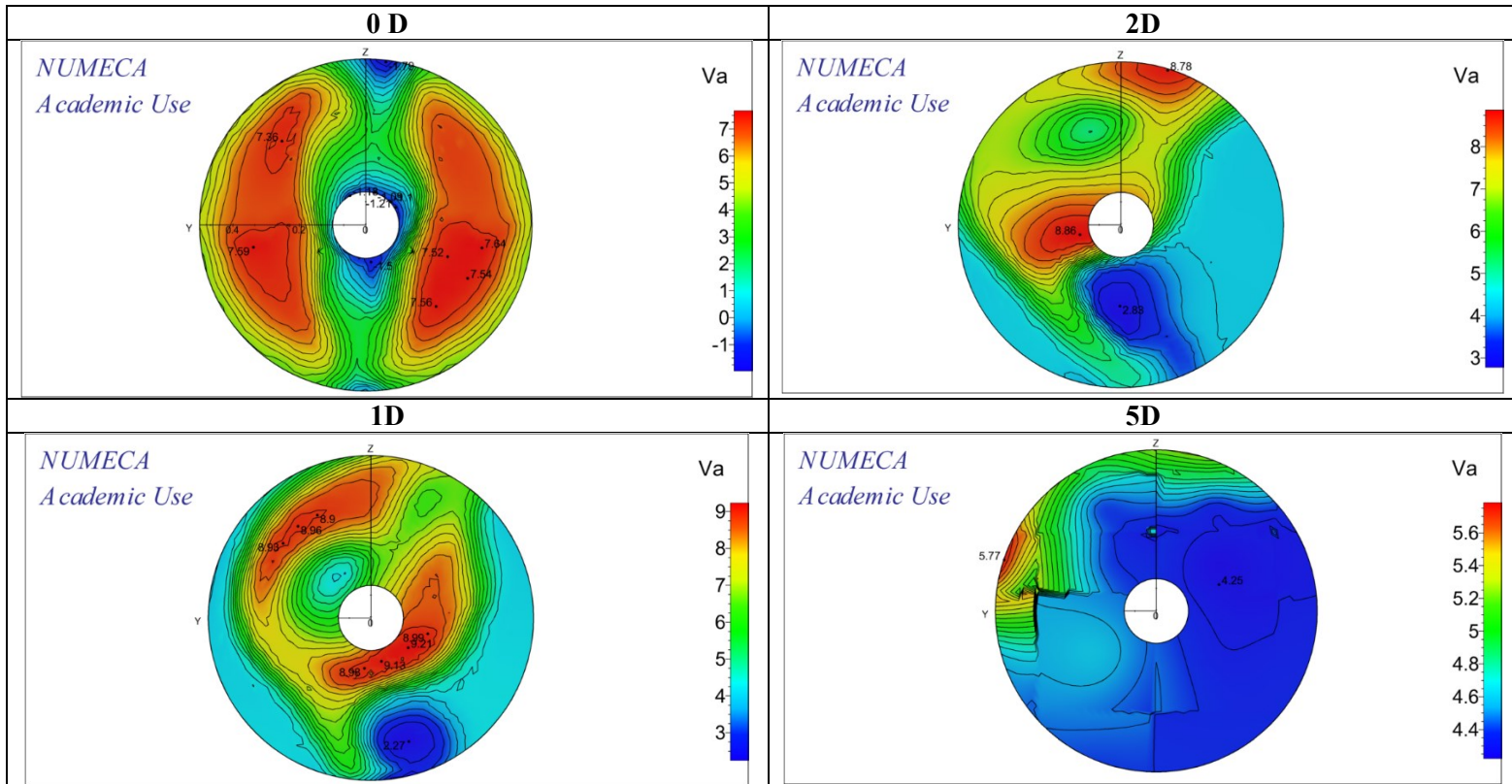
5. Konfigurasi 5



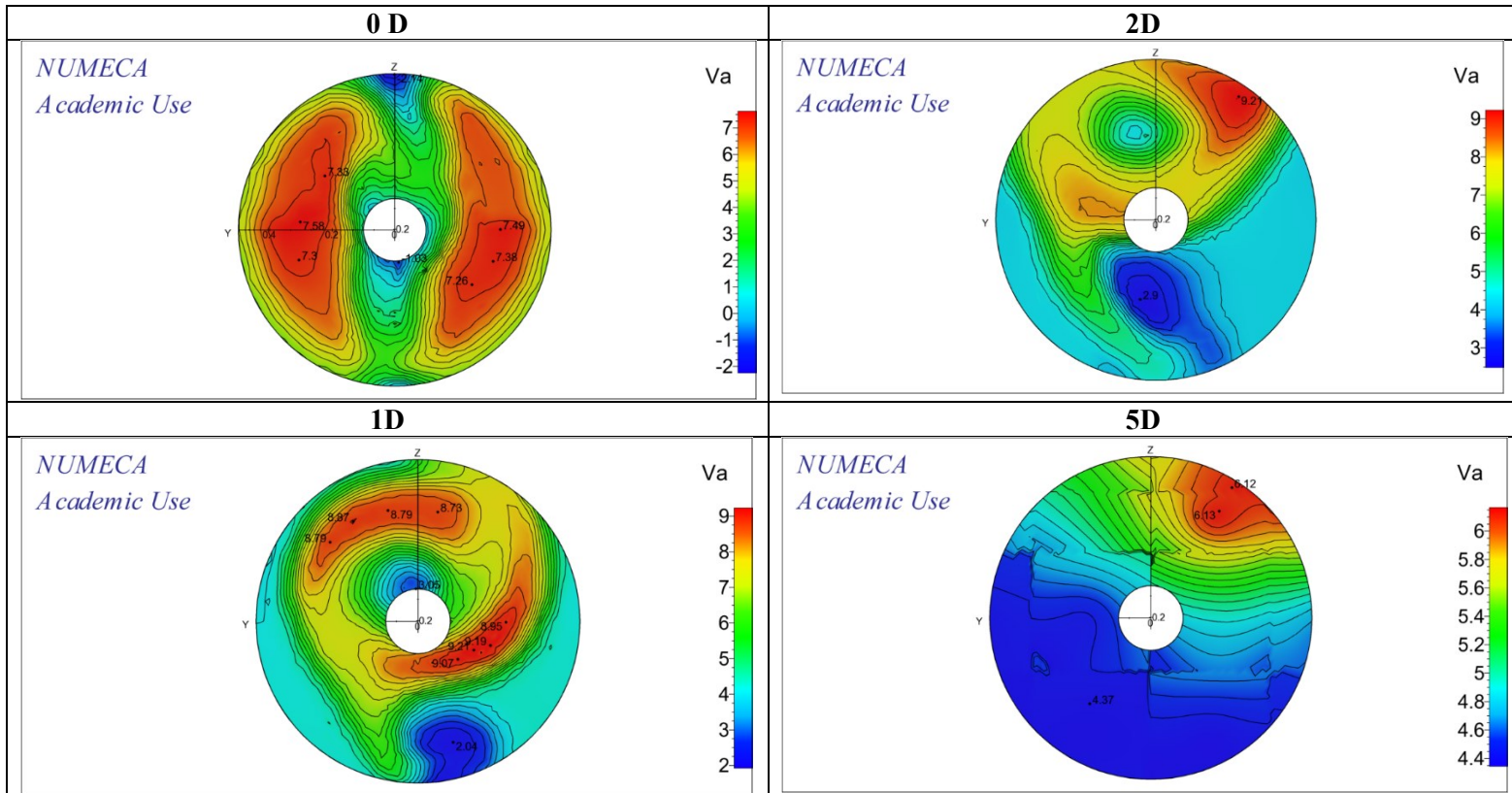
6. Konfigurasi 6



7. Konfigurasi 7



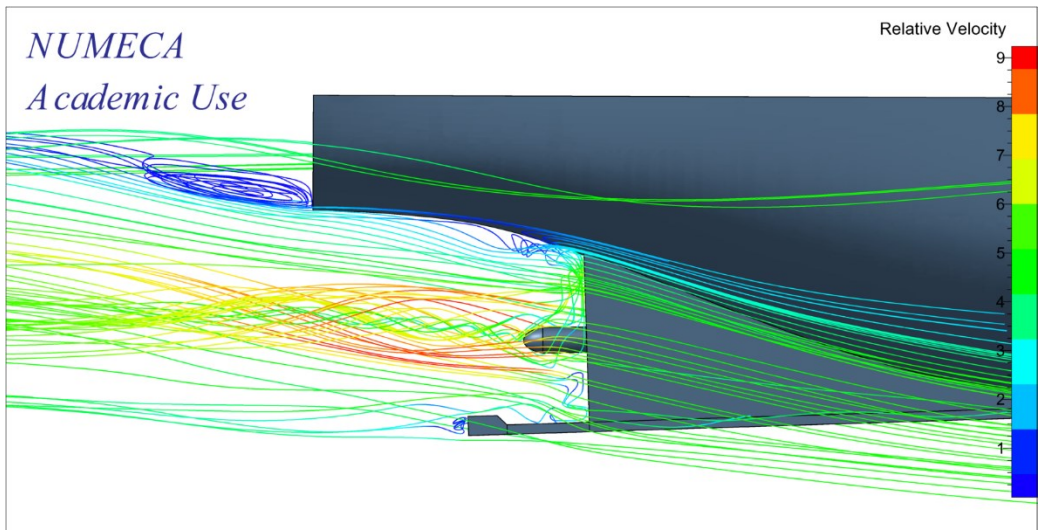
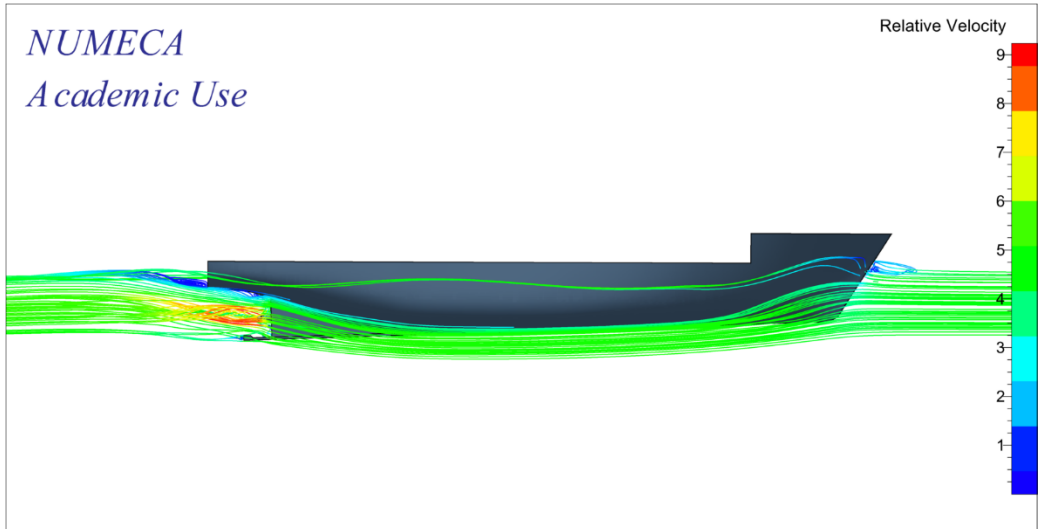
8. Konfigurasi 8



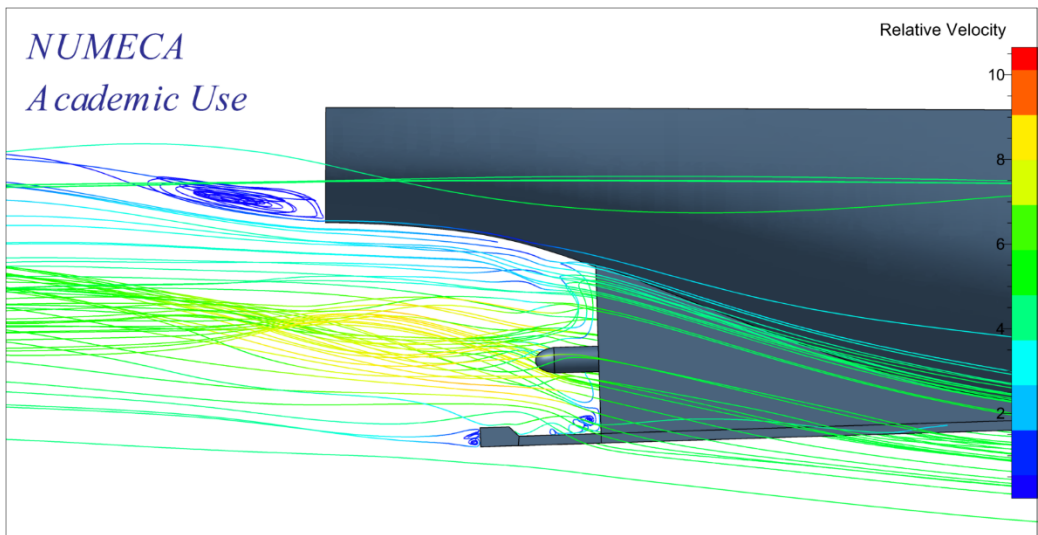
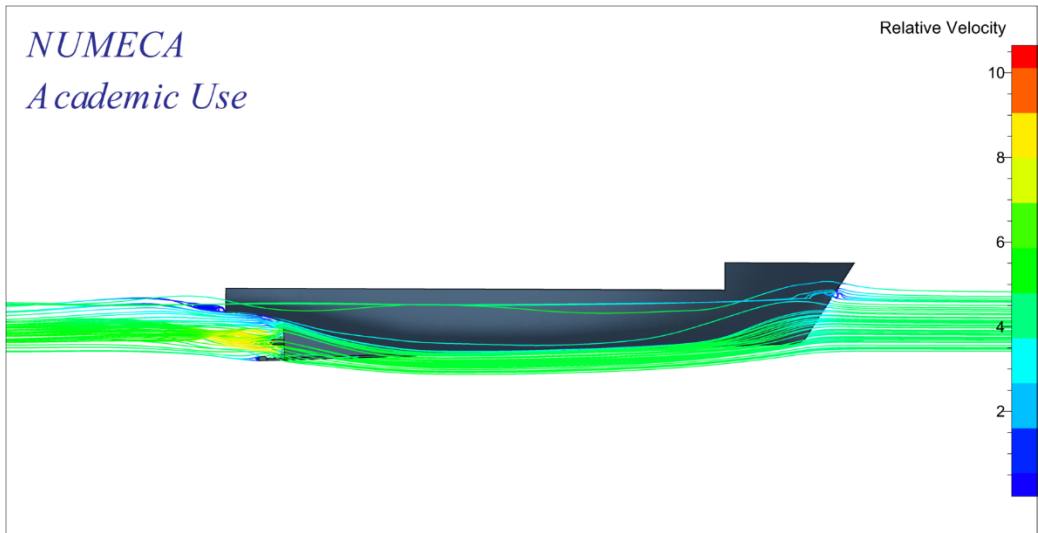
LAMPIRAN 4

Relative Velocity

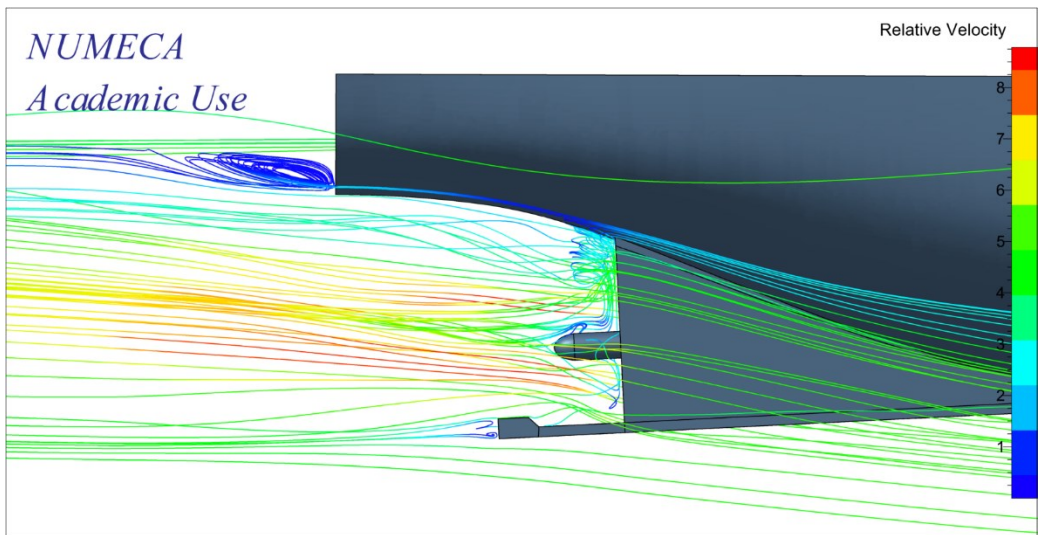
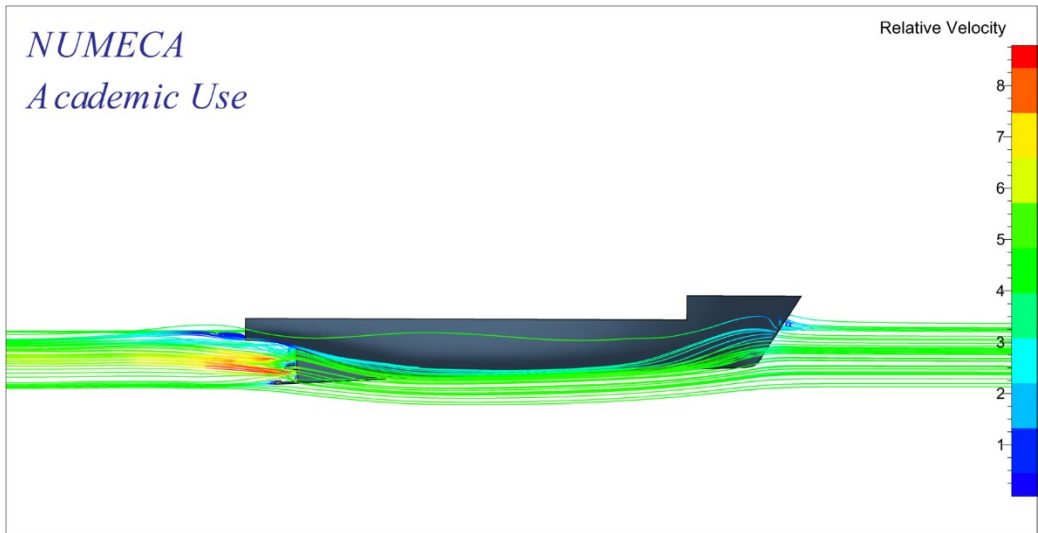
1. Konfigurasi 1



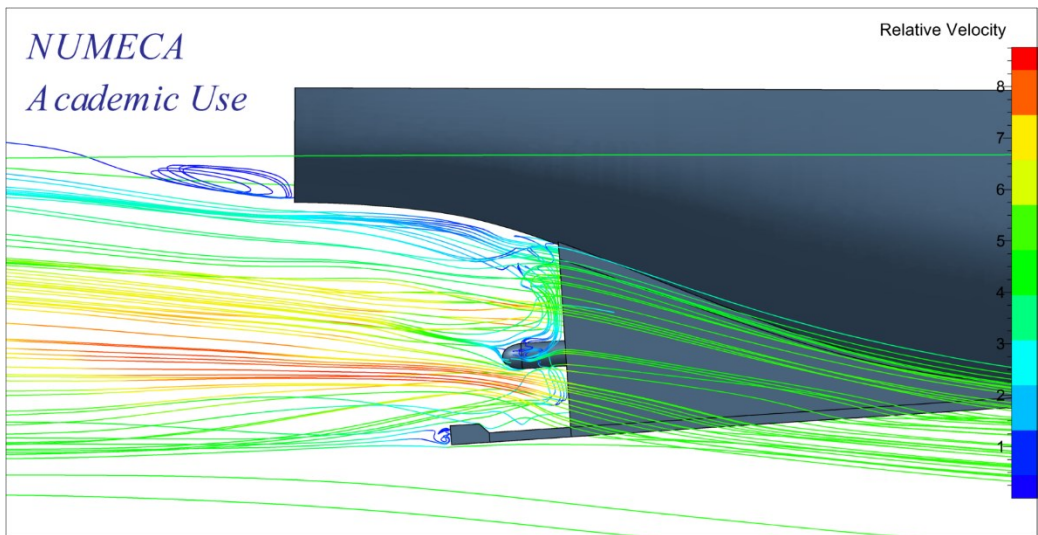
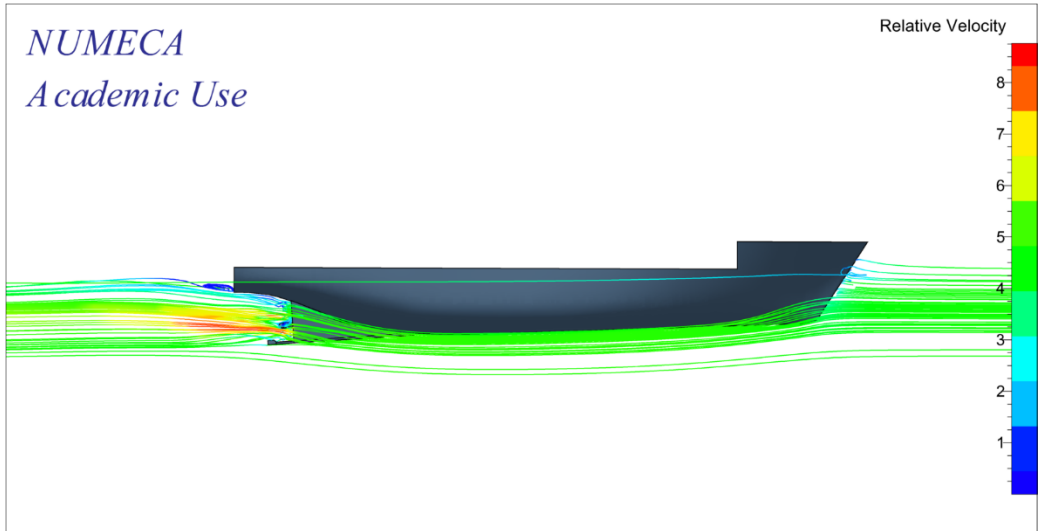
2. Konfigurasi 2



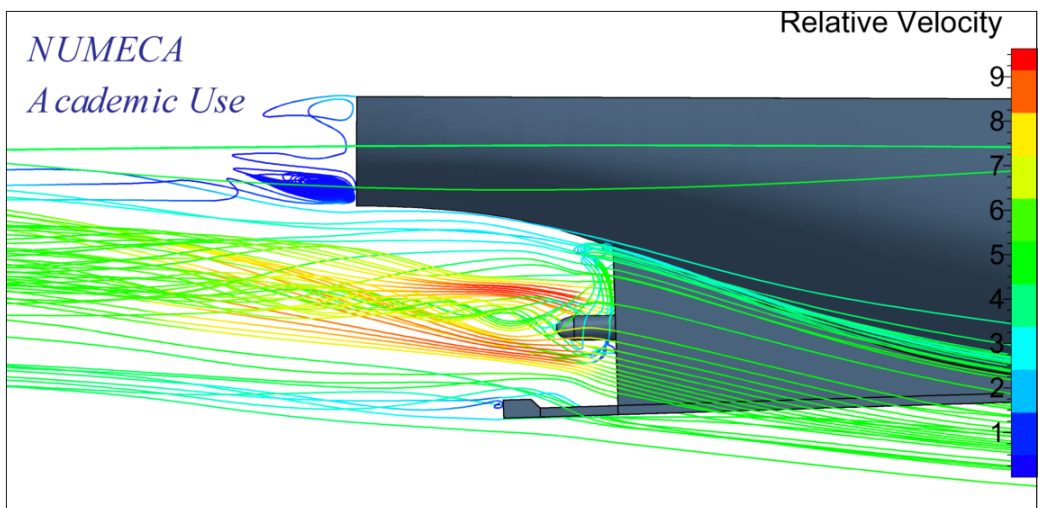
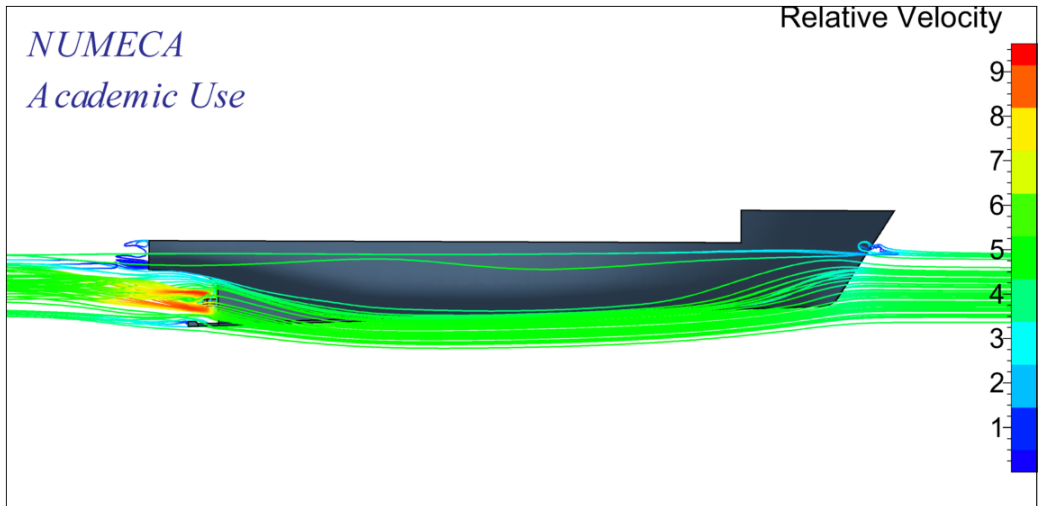
3. Konfigurasi 3



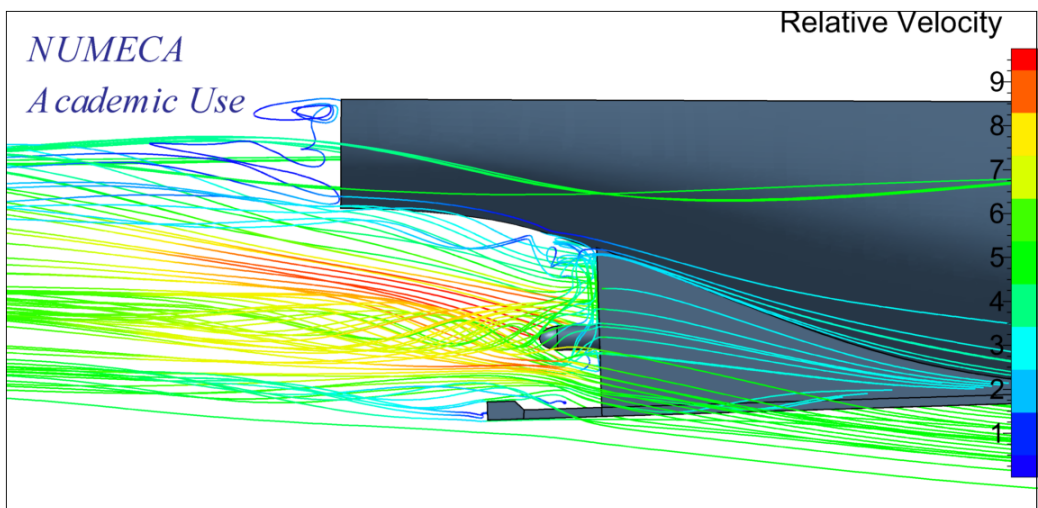
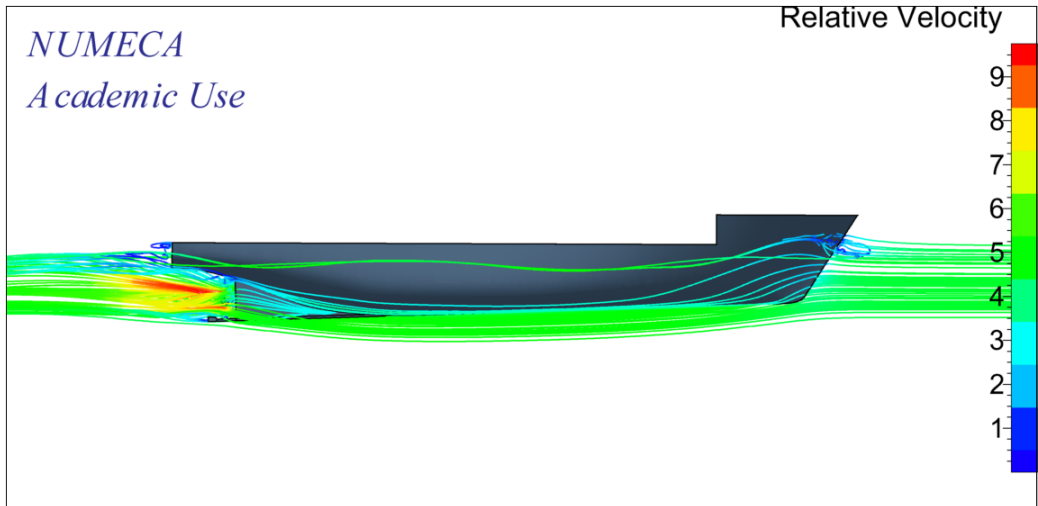
4. Konfigurasi 4



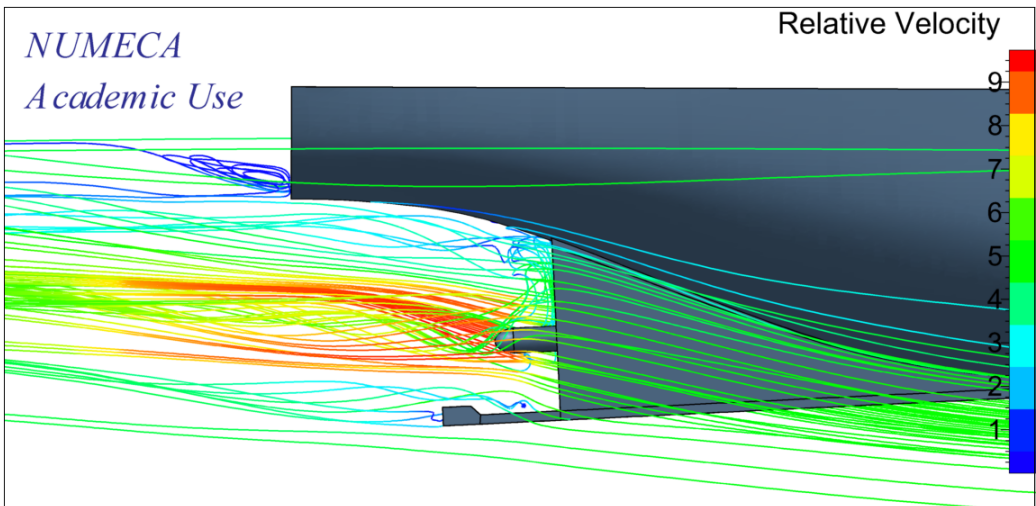
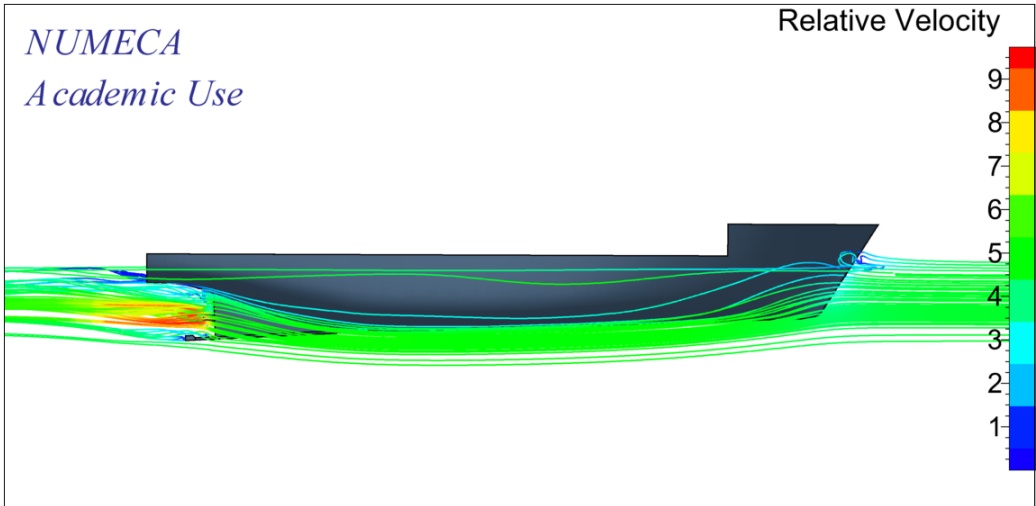
5. Konfigurasi 5



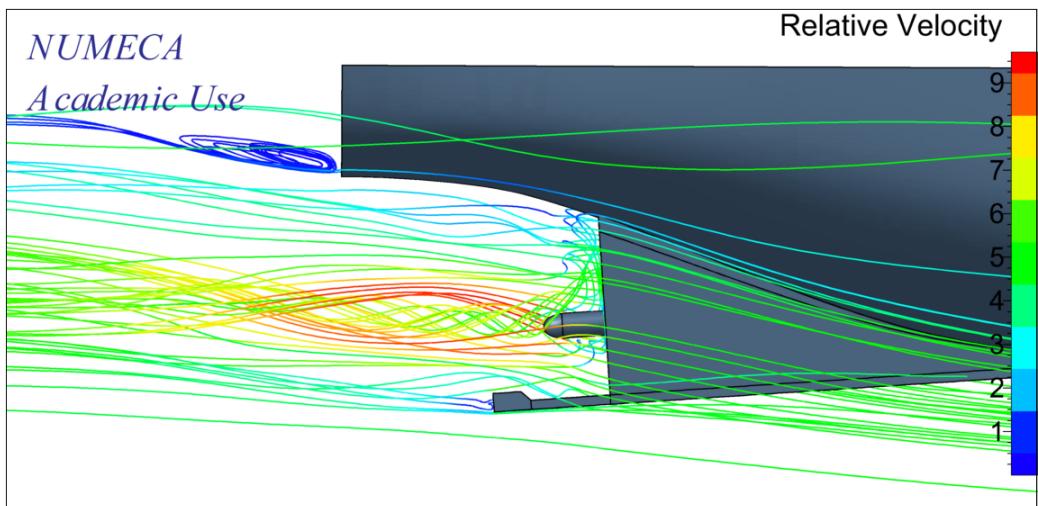
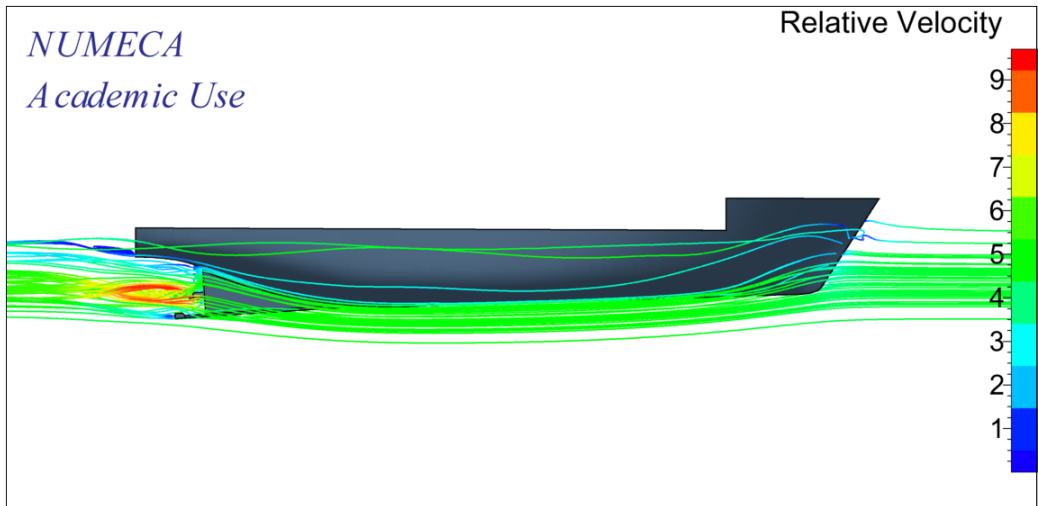
6. Konfigurasi 6



7. Konfigurasi 7



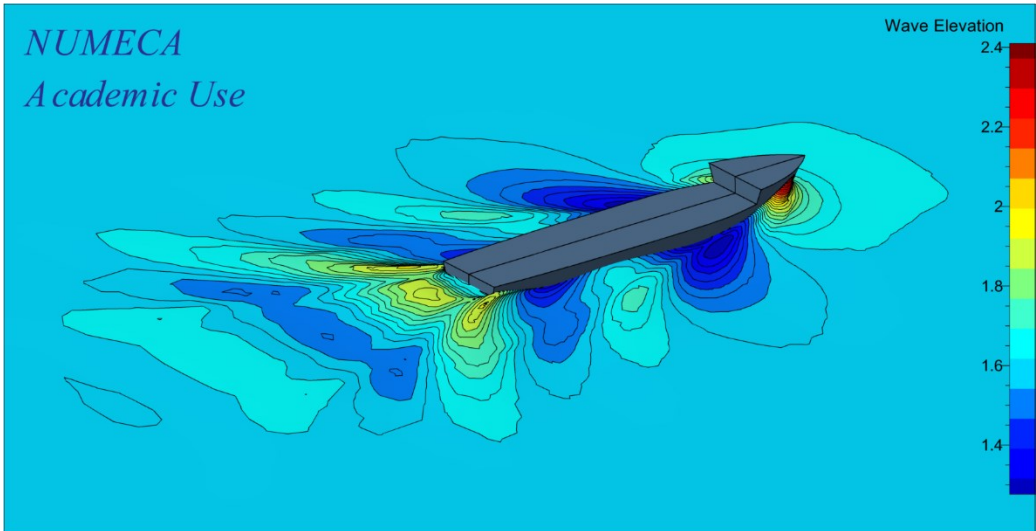
8. Konfigurasi 8



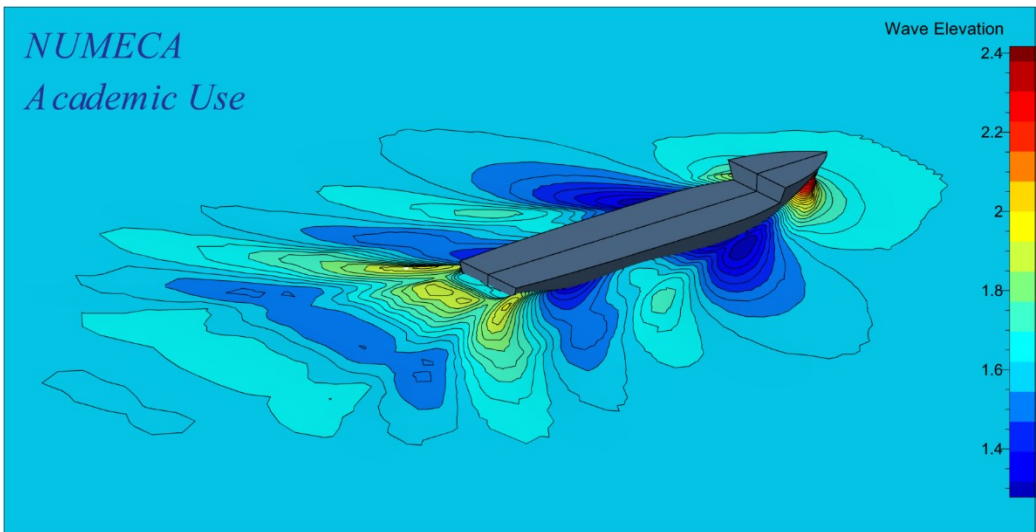
LAMPIRAN 5

Wave Elevation

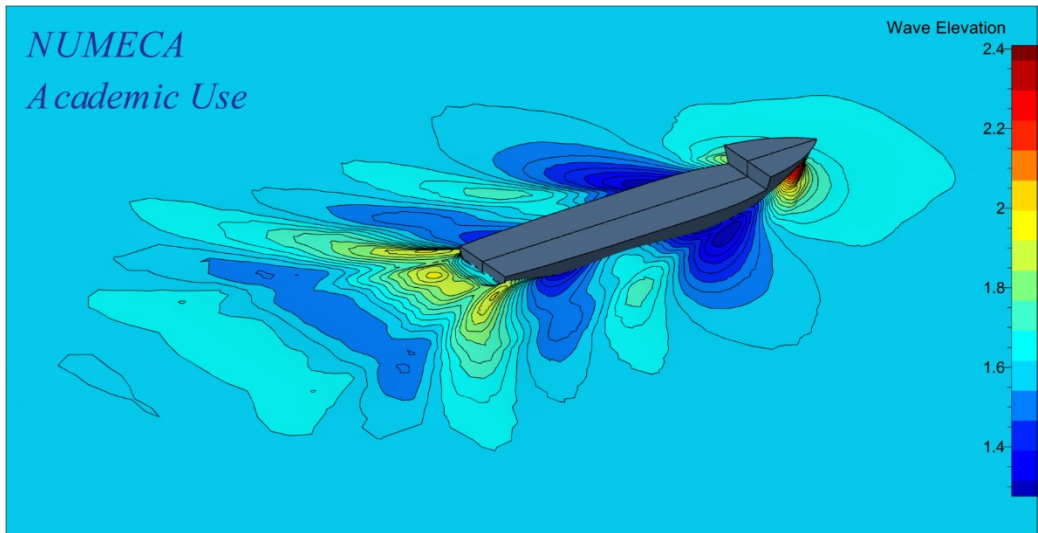
1. Konfigurasi 1



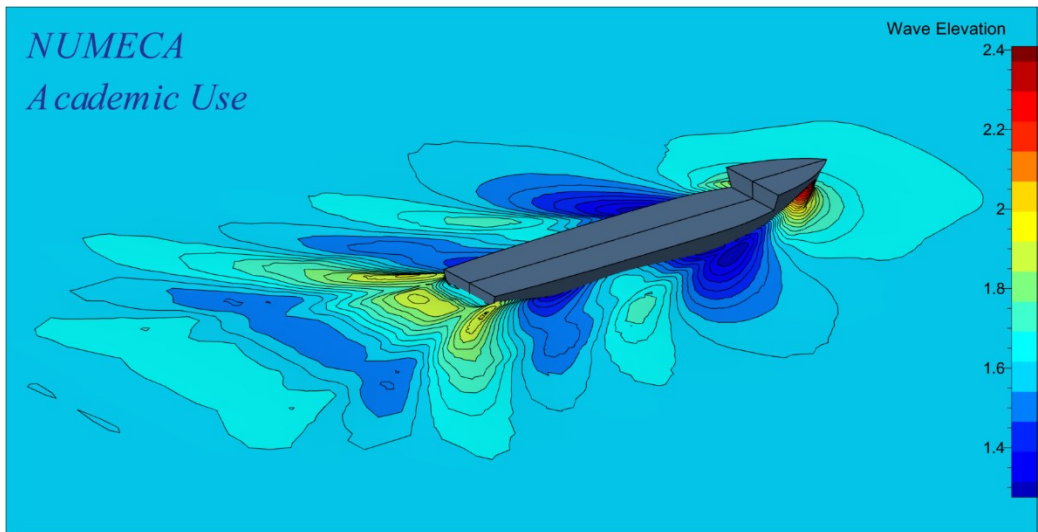
2. Konfigurasi 2



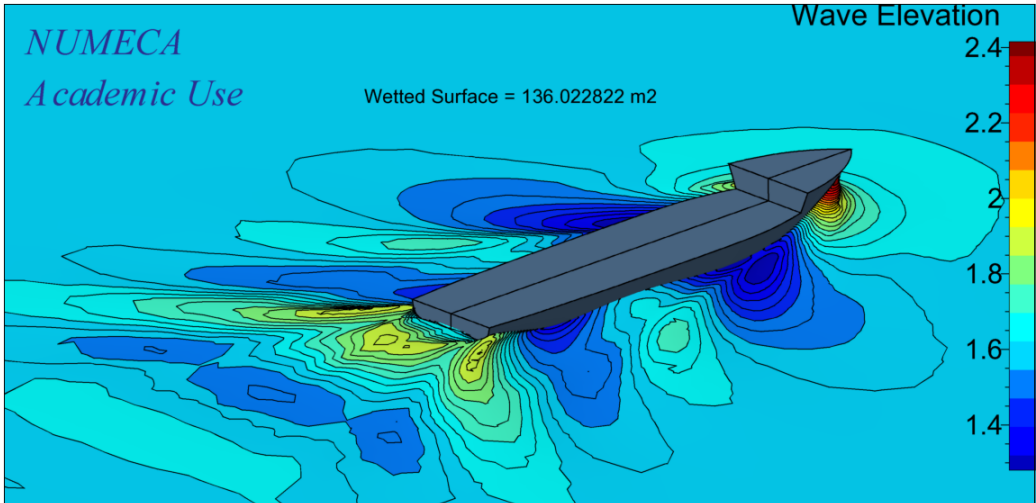
3. Konfigurasi 3



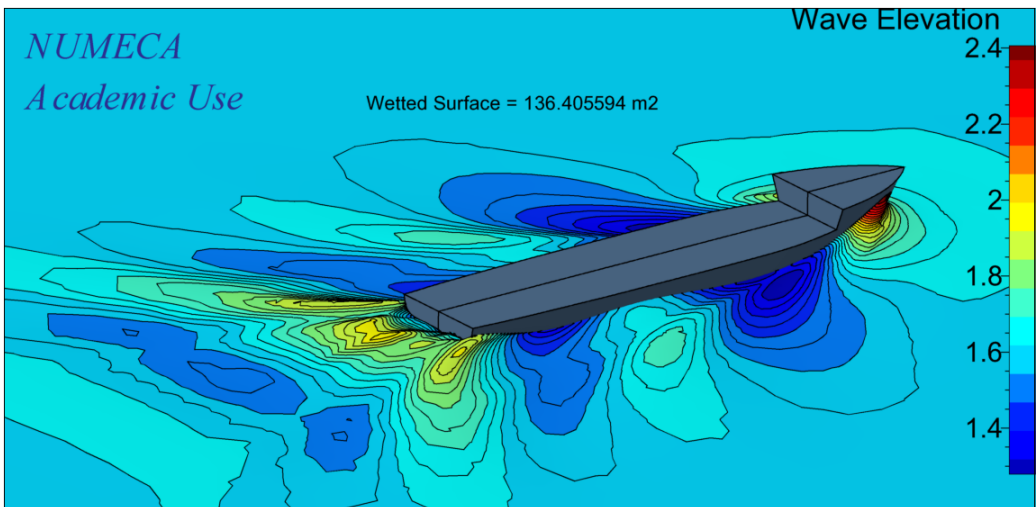
4. Konfigurasi 4



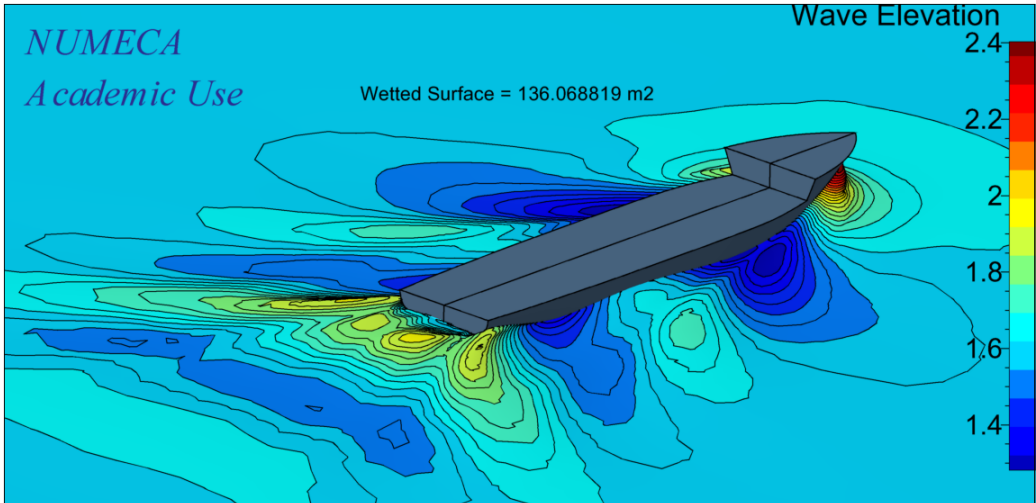
5. Konfigurasi 5



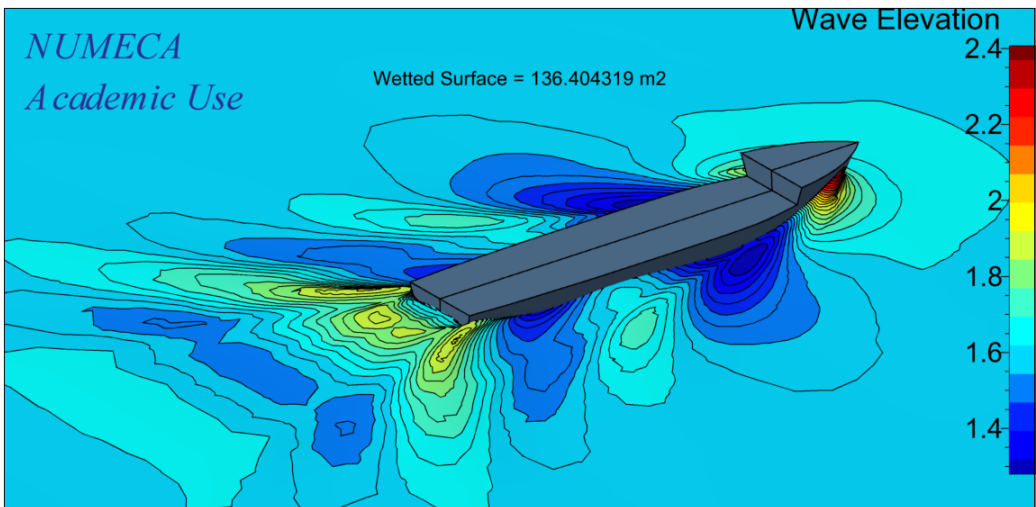
6. Konfigurasi 6



7. Konfigurasi 7



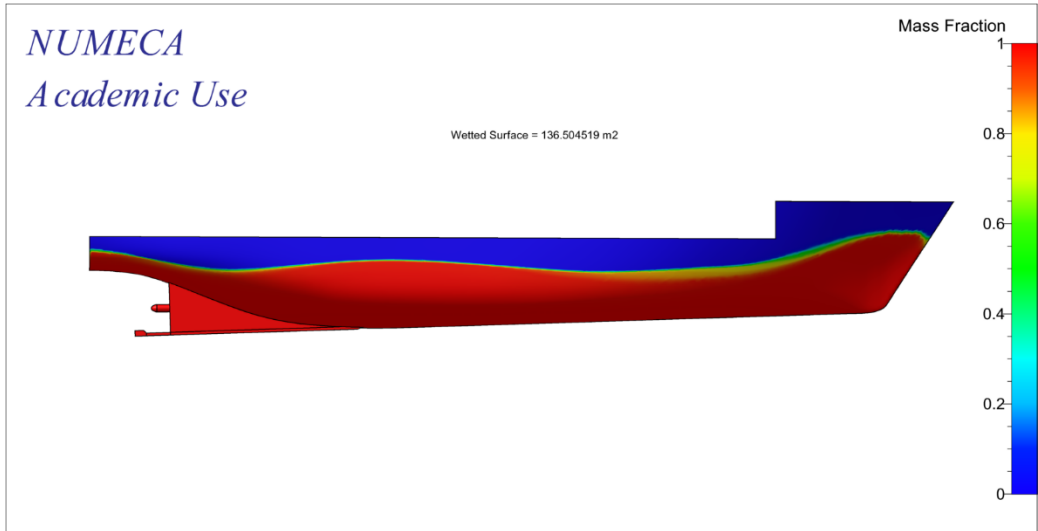
8. Konfigurasi 8



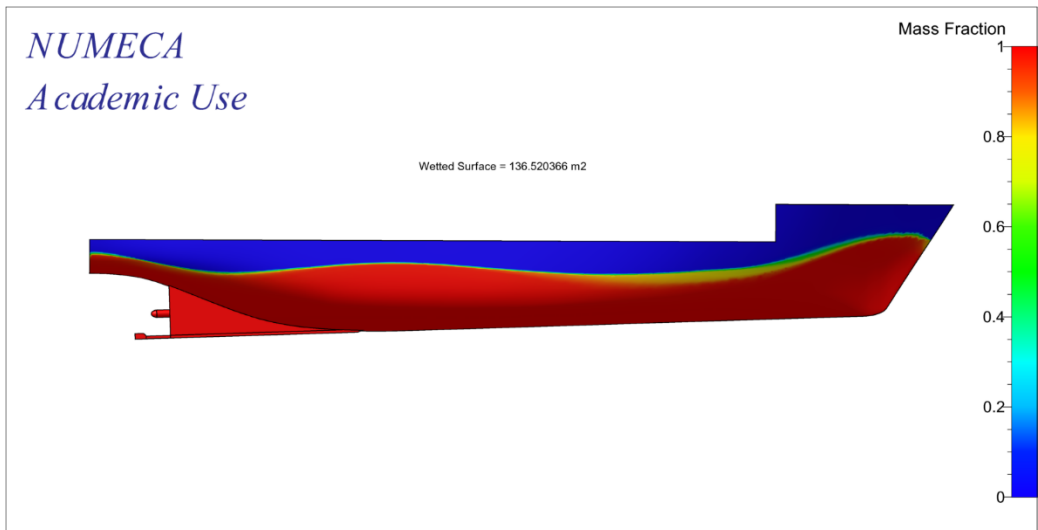
LAMPIRAN

Wetted Surface Area (WSA)

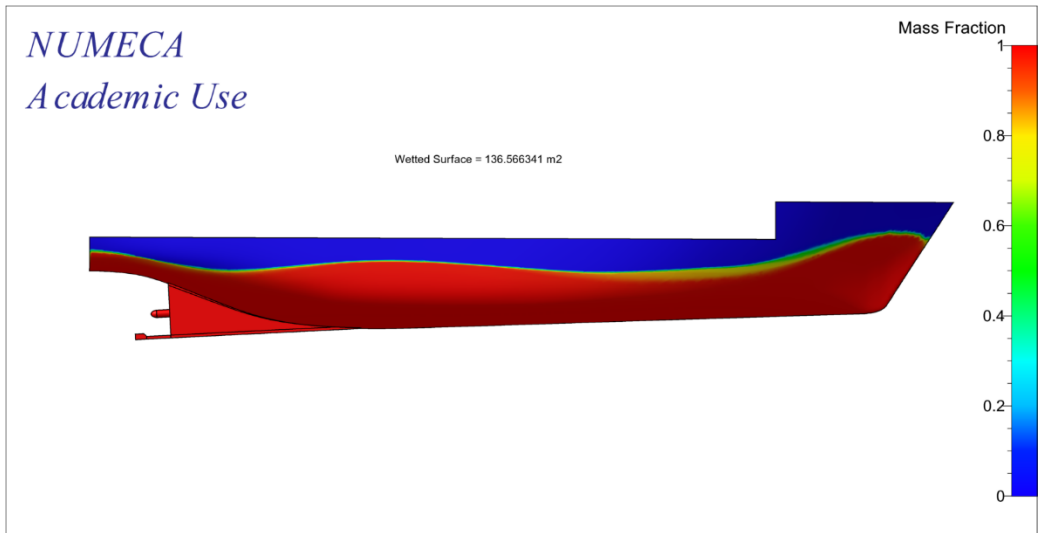
1. Konfigurasi 1



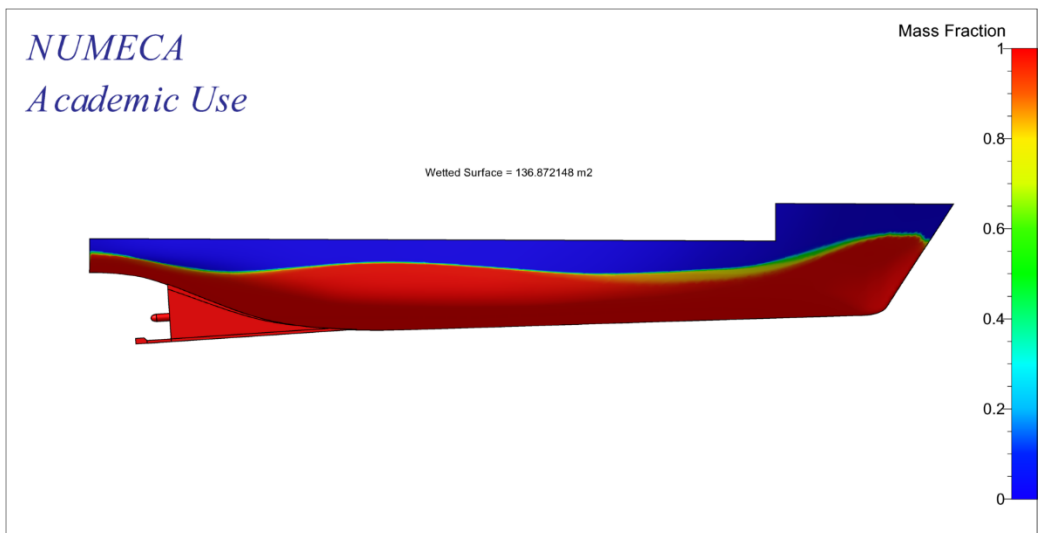
2. Konfigurasi 2



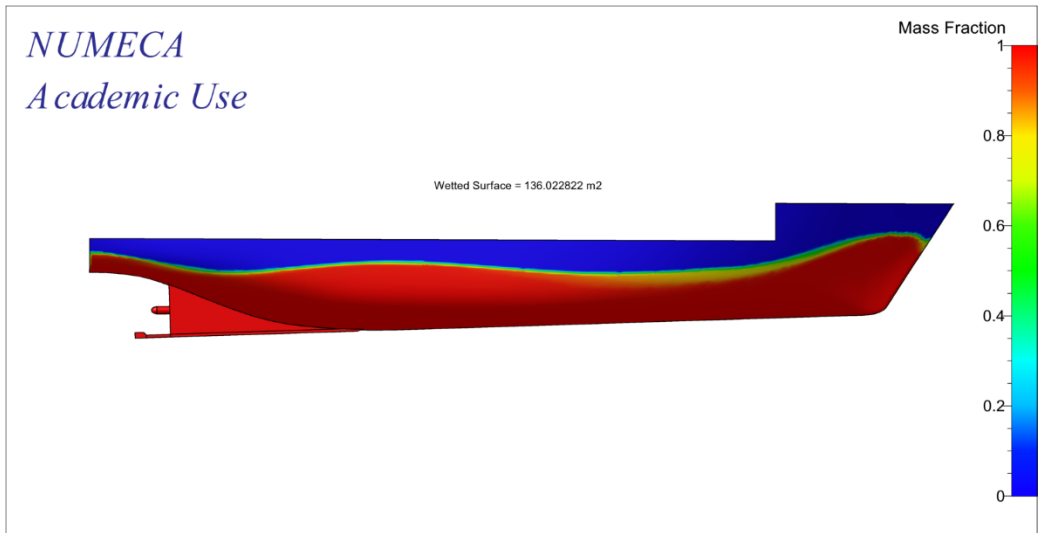
3. Konfigurasi 3



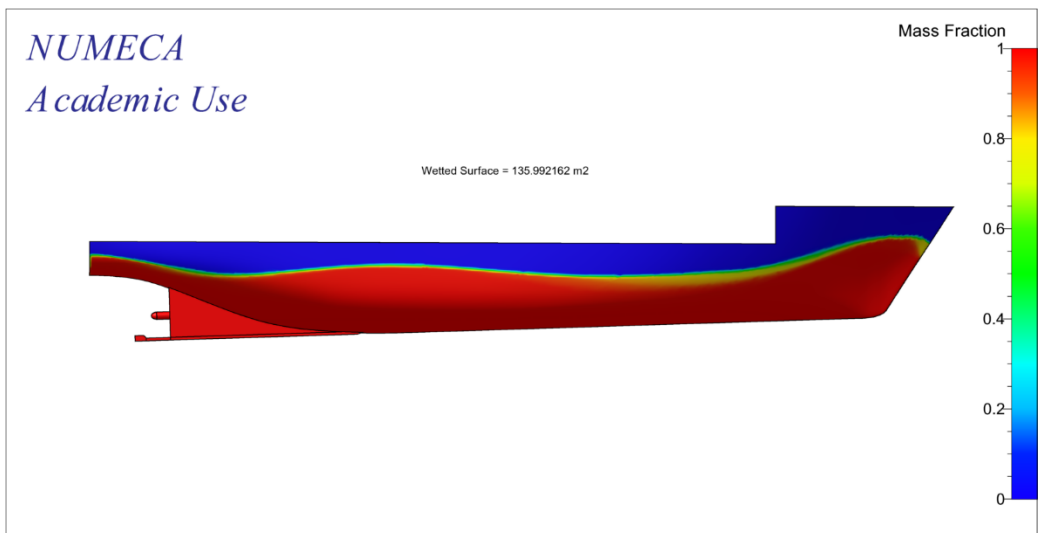
4. Konfigurasi 4



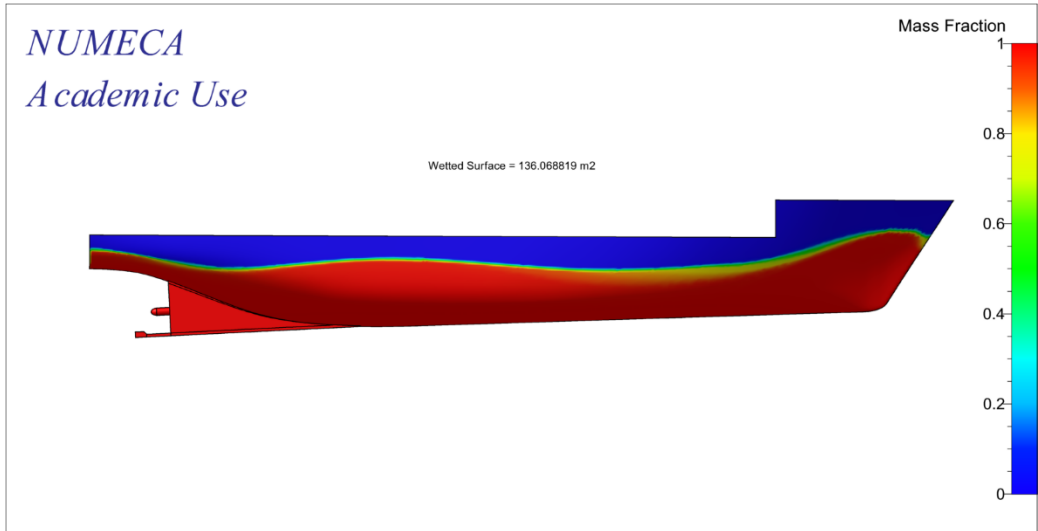
5. Konfigurasi 5



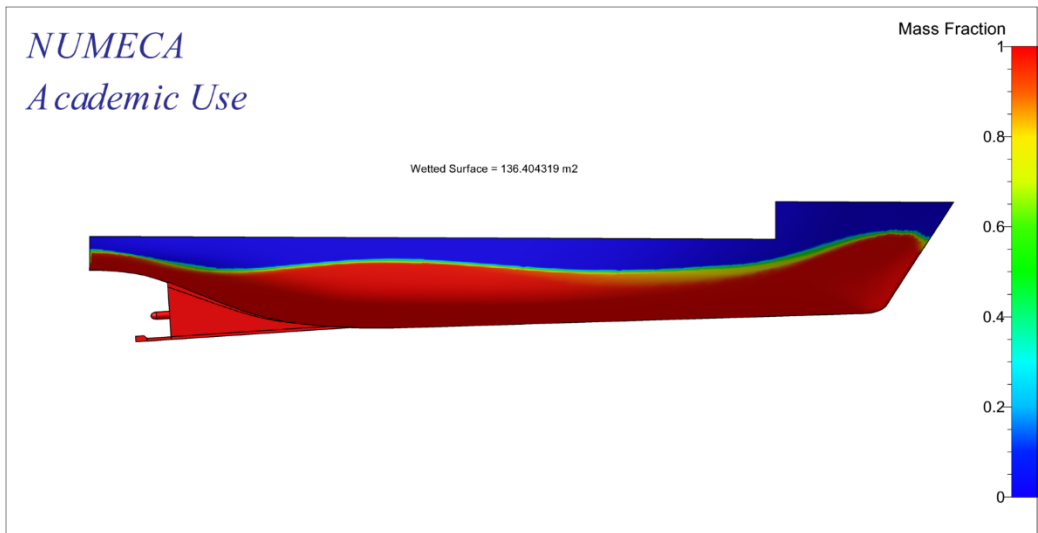
6. Konfigurasi 6



7. Konfigurasi 7

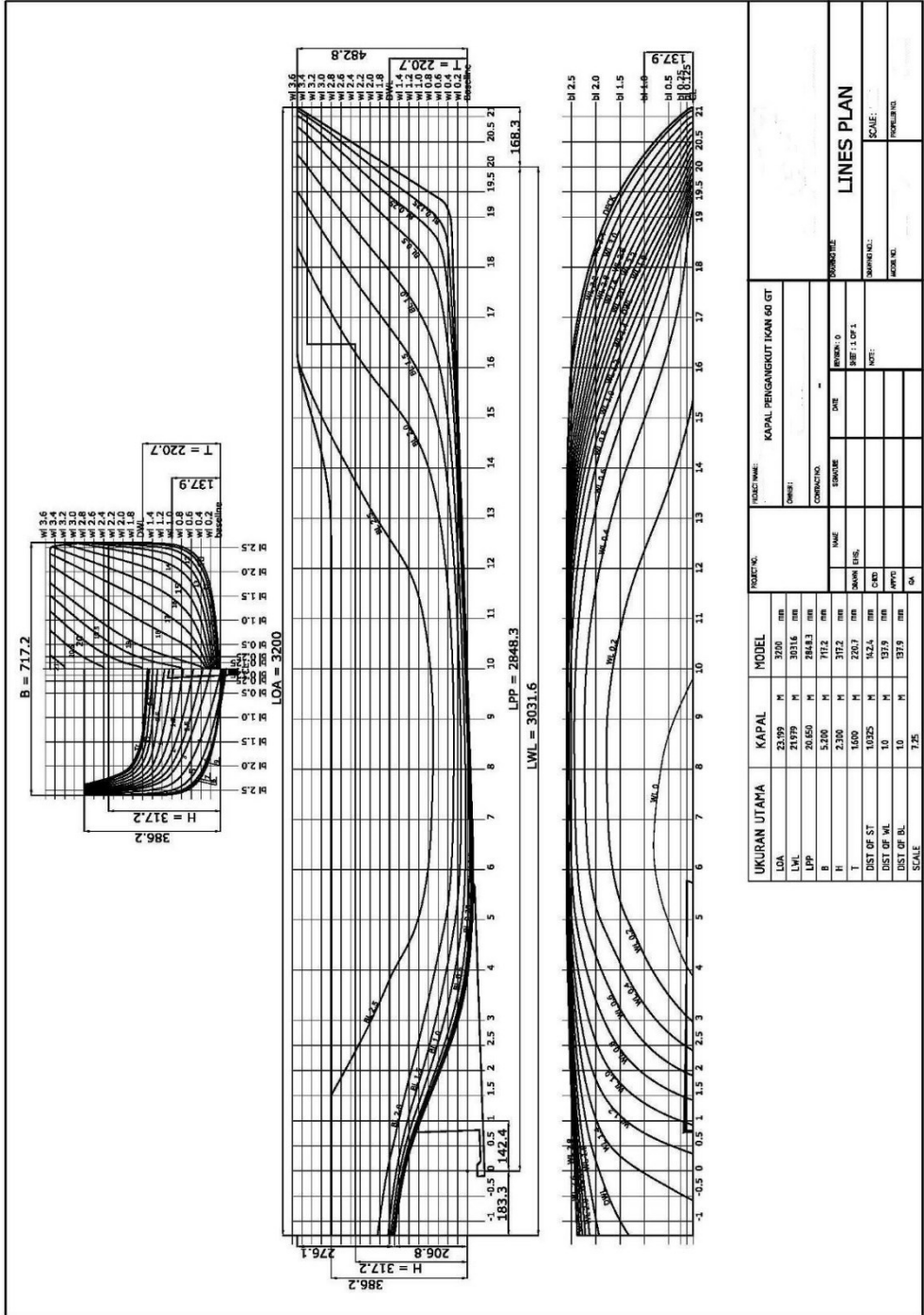


8. Konfigurasi 8



LAMPIRAN 7

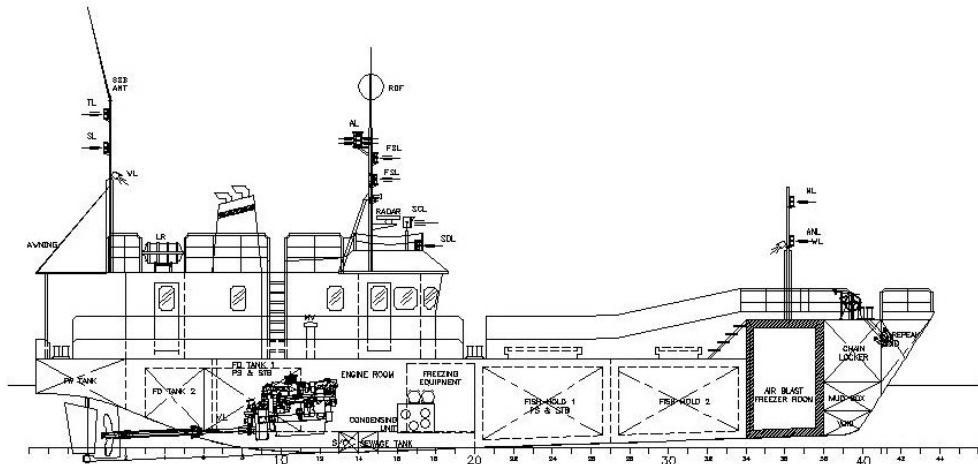
Lines Plan, GA, dan Propeller



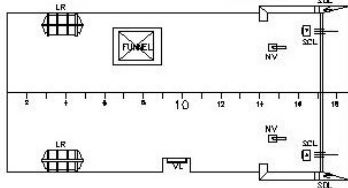
UKURAN UTAMA		KAPAL	MODEL	PROJEKSI	PROJEKSI
LOA	3200	23199	M	3200	mm
LWL	3031.6	21979	M	32116	mm
LPP	2848.3	20650	M	28443	mm
B	717.2	5200	M	717.2	mm
T	2207	2300	M	3172	mm
DIST OF ST	1624	1600	M	2207	mm
DIST OF WL	1379	1025	M	1624	mm
DIST OF BL	379	10	M	1379	mm
SCALE	7:25	10	M	379	mm

KAPAL: KAPAL PENGANGKUT IKAN 60 GT	
DESAIN:	
CONTRAKTOR:	
NAMA:	
NO. RENCANA:	
NO. RENCANA 0:	
NO. RENCANA 1:	
NO. RENCANA 2:	
NO. RENCANA 3:	
NO. RENCANA 4:	
NO. RENCANA 5:	
NO. RENCANA 6:	
NO. RENCANA 7:	
NO. RENCANA 8:	
NO. RENCANA 9:	
NO. RENCANA 10:	
NO. RENCANA 11:	
NO. RENCANA 12:	
NO. RENCANA 13:	
NO. RENCANA 14:	
NO. RENCANA 15:	
NO. RENCANA 16:	
NO. RENCANA 17:	
NO. RENCANA 18:	
NO. RENCANA 19:	
NO. RENCANA 20:	
NO. RENCANA 21:	
NO. RENCANA 22:	

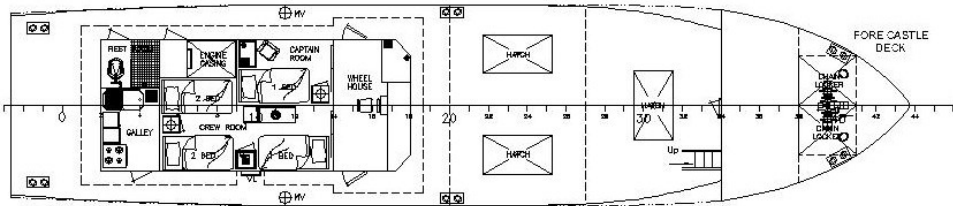
LINES PLAN	
SCALE:	
NO. RENCANA:	
NO. RENCANA 0:	
NO. RENCANA 1:	
NO. RENCANA 2:	
NO. RENCANA 3:	
NO. RENCANA 4:	
NO. RENCANA 5:	
NO. RENCANA 6:	
NO. RENCANA 7:	
NO. RENCANA 8:	
NO. RENCANA 9:	
NO. RENCANA 10:	
NO. RENCANA 11:	
NO. RENCANA 12:	
NO. RENCANA 13:	
NO. RENCANA 14:	
NO. RENCANA 15:	
NO. RENCANA 16:	
NO. RENCANA 17:	
NO. RENCANA 18:	
NO. RENCANA 19:	
NO. RENCANA 20:	
NO. RENCANA 21:	
NO. RENCANA 22:	



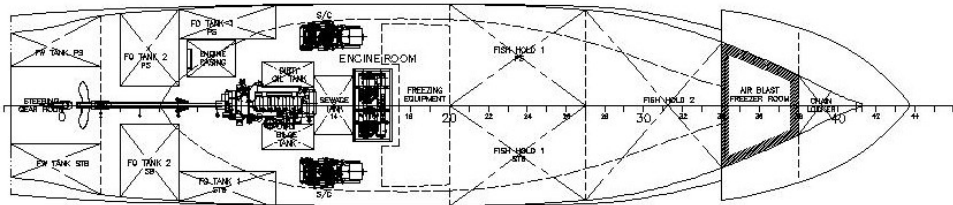
TOP DECK

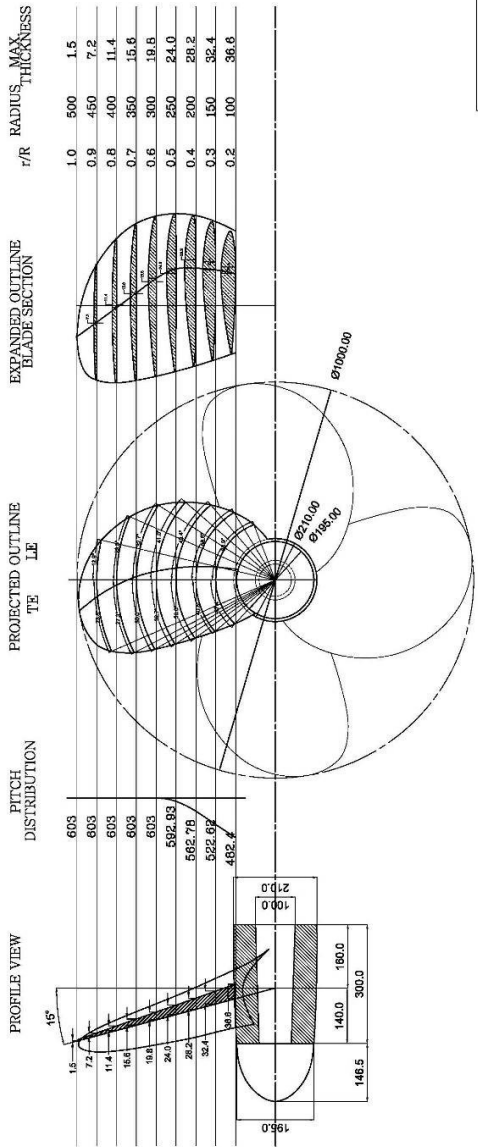


MAIN DECK



BELOW MAIN DECK - AT WATER LEVEL





JUDUL GAMBAR: **RIGHT HAND PROPELLER
KAPAL PENGUMPUL 60 GT**

NOLOT GAMBAR: **SKRUCI**

DIMENSI	DIPERIKSA	DITETAP	KES
REK.	REK.	REK.	REK.
REK.	REK.	REK.	REK.

BIODATA PENULIS



Ngizuddin Masro'i. Lahir di Trenggalek pada 6 Desember 1996. Anak kedua dari Bapak Sakur dan Ibu Siti Ngaliyah. Sejak September 2015 sampai Penelitian ini dilakukan, ia menjadi mahasiswa pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Ia diterima melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis lulus dari SDN 3 Ngadirejo pada tahun 2009. Kemudian, tahun 2012 ia menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama dari SMP Negeri 1 Pogalan. Pada tahun 2015, ia menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMK Negeri 1 Trenggalek dengan mengambil Jurusan

Teknik Pemesinan. Ia mengambil Tugas Akhir di Bidang Marine Manufacture and Design (MMD) Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Selama menjalani perkuliahan di ITS, penulis pernah diamanahi sebagai Ketua Pelaksana Supercamp SBMPTN 2018, Sebuah program bimbingan belajar intensif gratis dalam persiapan mengikuti SBMPTN untuk anak-anak SMA sederajat yang kurang mampu yang merupakan program hasil kerja sama antara Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Sepuluh Nopember, LAZIM, dan PCNU Surabaya. Penulis juga pernah diamanahi sebagai Ketua Bidang 3 di Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Sepuluh Nopember Surabaya masa khidmah 2018/2019. Di dalam kampus, penulis pernah berkecimpung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penalaran ITS dan pernah diamanahi sebagai wakil ketua pada periode kepengurusan 2018/2019. Untuk diskusi dan saran lebih lanjut mengenai penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui kontak sebagai berikut.

Email : ngizuddin1011@gmail.com

Nomor Ponsel : 085962745038