



SKRIPSI ME 141501

**ANALISIS PREDIKSI NILAI TAHANAN TAMBAHAN PADA
KAPAL DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS DAN NUMERIK**

HAFIZH KUSRIZKYTAMA
NRP 4213 100 073

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, ST, MT

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



FINAL PROJECT ME 141501

**ANALYSIS OF SHIP ADDED RESISTANCE PREDICTION
WITH EMPIRICAL AND NUMERICAL APPROACH**

HAFIZH KUSRIZKYTAMA
NRP 4213 100 073

Supervisor
Irfan Syarif Arief, ST, MT

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN**ANALISIS PREDIKSI NILAI TAHANAN TAMBAHAN PADA
KAPAL DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS DAN NUMERIK****SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAFIZH KUSRIZKYTAMA

NRP. 4213 100 073

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi:



Irfan Syarif Arief, ST. MT
(1969 1225 1997 02 1001)

SURABAYA,

JULI 2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PREDIKSI NILAI TAHANAN TAMBAHAN PADA KAPAL DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS DAN NUMERIK

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

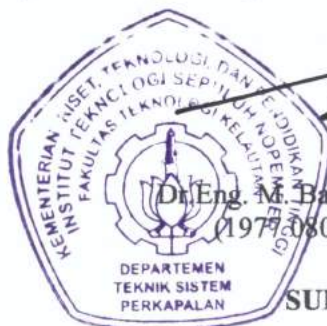
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAFIZH KUSRIZKYTAMA

NRP. 4213 100 073

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT.
(19770802 2008 01 1002)

SURABAYA,

JULI 2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALISIS PREDIKSI NILAI TAHANAN TAMBAHAN PADA KAPAL DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS DAN NUMERIK

Nama Mahasiswa : **Hafizh Kusrizkytama**
NRP : **4213 100 073**
Departemen : **Teknik Sistem Perkapalan**
Dosen Pembimbing : **Irfan Syarif Arief ST, MT.**

Abstrak

Kapal memerlukan daya propulsi atau penggerak utama untuk dapat menggerakkan kapal tersebut sesuai dengan kebutuhan yang ditentukan oleh jenis kapal, dan kegunaan kapal tersebut dikarenakan propulsi dibutuhkan untuk melawan hambatan / tahanan, pada kecepatan tertentu. Hambatan pada kapal terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah tahanan gesek, tahanan gelombang, tahanan angin, serta tahanan tambahan. Namun, dalam penghitungan tahanan kapal, faktor cuaca dan arah tahanan hanya ditambahkan dalam perhitungan dengan menggunakan margin perairan tertentu. Pada tugas akhir ini akan membahas tentang analisis prediksi nilai tahanan tambahan pada kapal akibat faktor cuaca dengan pendekatan empiris dan numerik. Kapal yang digunakan adalah kapal dengan jenis Offshore/Platform Supply Vessel (PSV/OSV) dengan dimensi LPP 55 m, LWL 56.7 m, Breadth 14 m, Draft 5.57 m, dan kecepatan dinas (Vs) 12 knot. Kecepatan kapal divariasikan sebanyak 5 kecepatan yaitu 11 – 15 knot serta keadaan gelombang dan angin pada Beaufort Number 4 & 5. Analisis menggunakan pendekatan empiris Kwon Method, dan Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk pendekatan numerik. tahanan tambahan pada kapal bertambah yaitu rata – rata 50.27 % pada hasil pendekatan numerik dengan BN 4 & 5, dan rata – rata 33.82% bertambah pada hasil pendekatan empiris dengan BN 4 & 5 dibandingkan dengan tahanan awal.

Kata kunci: Tahanan Kapal, Tahanan Tambahan, Beaufort Number, CFD, Kwon Method.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALYSIS OF SHIP ADDED RESISTANCE PREDICTION WITH EMPIRICAL AND NUMERICAL APPROACH

Name : **Hafizh Kusrizkytama**
NRP : **4213 100 073**
Departement : **Marine Engineering**
Supervisor : **Irfan Syarif Arief ST, MT.**

Abstract

Ships require propulsion power or prime movers to be able to move the vessel in accordance with the requirements specified by the type of ship, and the ship purposes. That is because the propulsion needed to overcome resistance of ship, at a certain speed. Ship resistance are divided into several types, such as frictional resistance, waves resistance, wind resistance, as well as additional resistance. However, in the calculation of ship resistance, weather factors and directions of resistance only added in calculation with the margin of specific waters. This final project will discuss the analysis of ship added resistance prediction due to weather factors with empirical and numerical approaches. Ships that used is a vessel with the type Offshore / Platform Supply Vessel (PSV / OSV) with dimensions of LPP 55 m, LWL 56.7 m Breadth 14 m Draft 5.57 m, and the service speed (Vs) 12 knots. Ship speed to vary as much as a 5 speed is 11-15 knots. The analysis uses empirical approach named Kwon Method, and Computational Fluid Dynamics (CFD) for a numerical approach. The additional resistance on the vessel increased by an average of 50.27% in numerical approach with BN 4 & 5, and an average of 33.82% increased on the empirical approach with BN 4 & 5 compared with preliminary resistance.

Keywords: Ship Resistance, Added Resistance, Beaufort Number, CFD, Kwon Method.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan yang sebesar – besarnya kepada Allah swt karena atas rahmat, nikmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Prediksi Nilai Tahanan Tambahan pada Kapal dengan Pendekatan Empiris dan Numerik”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh cuaca yang menyebabkan tahanan tambahan pada kapal saat berlayar pada keadaan cuaca yang sebenarnya.

Pada saat menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat motivasi dari berbagai pihak yang sangat membantu dan memberikan semangat pada penulis. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. ALLAH SWT yang telah memberikan jalan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan memberi sebuah anugerah yang tak ternilai.
2. Kedua orang tua penulis, dan segenap keluarga yang selalu memberi dorongan dan doa.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, ST, MT selaku dosen pembimbing yang selalu menyempatkan waktu untuk memberikan nasehat dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT. selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan dan juga sekaligus sebagai Dosen Wali yang telah memberikan petunjuk, amanah dan nasehat layaknya ayah sendiri.
5. Arta Dwi Je Mafera, M. Fazar, Adi Osis Nugroho, dan teman-teman seperjuangan yang sama-sama mengambil bidang *Marine Manufacturing and Design* yang selalu setia menemani dan bekerja sama.
6. Mas Syafi’, Mas Aji Suryadi, Jangka Rulianto yang telah banyak menyemangati dan membantu dalam pencarian referensi dalam menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
7. Violisa Linanda yang telah memberikan ketenangan, semangat, motivasi, dan cinta kepada penulis dalam bentuk apapun untuk menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
8. Teman-teman BARAKUDA’13 yang telah memberikan makna belajar dan kebersamaan, semangat dan optimisme, toleransi dan pengertian serta makna sahabat dan keluarga.
9. Keluarga BEM ITS Wahana Juang, khususnya kementerian HUBLU 16/17 yang telah memberikan suasana dan semangat dalam menyelesaikan Tugas

Akhir ini. Terutama untuk Shaqillah Az-zahra, Reinhart Yosafat, Fernita Eka, dan Baasith Akbar (Ujang).

10. Pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan Skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan agar bisa menjadi perbaikan bagi diri penulis untuk kedepannya.

Akhir kata semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua. Semoga laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya yang membaca. Aamiin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

COVER BAHASA INDO	I
LEMBAR PENGESAHAN.....	V
ABSTRAK	IX
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	3
1.3. BATASAN MASALAH.....	3
1.4. TUJUAN PENELITIAN	4
1.5. MANFAAT PENELITIAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. PAPER REVIEW.....	5
2.2. TAHANAN KAPAL (SHIP RESISTANCE).....	6
2.2.1. Tahanan Gesek.....	6
2.2.2. Tahanan Gelombang	8
2.2.3. Tahanan Tambahan.....	9
2.3. BEAUFORT NUMBER	10
2.4. METODE PENGHITUNGAN TAHANAN TAMBAHAN	12
2.4.1. Metode Kwon (2008).....	12
2.4.2. Metode Computational Fluid Dynamics	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. TAHAP I. PERSIAPAN	17
3.1.1. Identifikasi & Perumusan Permasalahan	17
3.1.2. Studi Literatur	17
3.1.3. Pengumpulan Data	18
3.1.4. Penentuan Variabel Uji	18
3.2. TAHAP II. ANALISA	19
3.2.1. Pembuatan Model Kapal PSV/OSV di Software	19
3.2.2. Pembuatan Model Kondisi Variabel Uji.....	20
3.2.3. Pengujian Rumus dan Modifikasi Model	30
3.2.4. Analisa Data	30

3.3. TAHAP III. KESIMPULAN	30
3.3.1. Kesimpulan	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 UMUM	33
4.2. PENGAMBARAN MODEL	33
4.3. ANALISA SIMULASI PENGHITUNGAN TAHANAN KAPAL PADA KEADAAN PERAIRAN TENANG (STILL WATER STATE).....	37
4.4. ANALISA PENGHITUNGAN TAHANAN TAMBAHAN & SPEED LOSS MENGGUNAKAN METODE KWON (2008)	44
4.5. HASIL SIMULASI MODEL	50
4.6. PEMBAHASAN PERBANDINGAN METODE EMPIRIS & NUMERIK	58
BAB V	61
1. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 KESIMPULAN.....	61
5.2 SARAN.....	61
2. DAFTAR PUSTAKA	62
3. LAMPIRAN	63
BIODATA PENULIS	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tahanan Gesek (Frictional Resistance)	7
Gambar 2. 2. Nilai CF menurut ITTC 1957	7
Gambar 2. 3. Ship Wave Pattern	8
Gambar 2. 4. Ship Wave Patter	9
Gambar 2. 5. Encounter Angle.....	13
Gambar 3. 2. General Arrangement PSV ASL Harmony STX 09 CD	19
Gambar 4. 1. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced Tampak Depan.....	34
Gambar 4. 2. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced Tampak Samping	34
Gambar 4. 3. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced Tampak Atas	35
Gambar 4. 4. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced Tampak Belakang	35
Gambar 4. 5. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Depan	36
Gambar 4. 6. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Samping.....	36
Gambar 4. 7. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Belakang.....	37
Gambar 4. 8. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Atas	37
Gambar 4. 9. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance Tampak Samping	38
Gambar 4. 10. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance Tampak Depan .	38
Gambar 4. 11. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance	39
Gambar 4. 12. Grafik Tahanan Kapal pada Perairan Tenang terhadap Kecepatan Kapal (Empiris).....	41
Gambar 4. 13. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Samping	42
Gambar 4. 14. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Depan	42
Gambar 4. 15. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Bawah	42
Gambar 4. 16. Grafik Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD).....	43

Gambar 4. 17. Grafik Perbandingan Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD & Holtrop).....	44
Gambar 4. 18. Encounter Angle.....	45
Gambar 4. 20. Grafik Ratio Speed Loss Perhitungan Kwon Beaufort Number: 4	48
Gambar 4. 21. Grafik Ratio Speed Loss Perhitungan Kwon Beaufort Number: 5	49
Gambar 4. 22. Grafik Ratio Speed Loss Hasil Perhitungan Kwon BN 4 & BN 5	49
Gambar 4. 23. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 11 Knot BN 4	50
Gambar 4. 24. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 12 Knot BN 4 (Tampak Belakang).....	51
Gambar 4. 25. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 13 Knot BN 4 (Tampak Bawah).....	51
Gambar 4. 26. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 14 Knot BN 4	52
Gambar 4. 27. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 15 Knot BN 5	52
Gambar 4. 28. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 11 Knot BN 5	53
Gambar 4. 29. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 12 Knot BN 5	54
Gambar 4. 30. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 13 Knot BN 5	54
Gambar 4. 31. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 14 Knot BN 5	55
Gambar 4. 32. Grafik Perbandingan Tahanan saat Simulasi dan Tahan Awal pada BN 4	56
Gambar 4. 33. Grafik Perbandingan Tahanan saat Simulasi dan Tahan Awal pada BN 5	57
Gambar 4. 34. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi BN 4 & BN 5	57
Gambar 4. 35. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi & Metode Kwon kondisi BN 4	59
Gambar 4. 36. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi & Metode Kwon Kondisi BN 5.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penyedia Routing Service / Decision Support (Lu, R, et al).....	2
Tabel 2. 1. Beaufort Number	10
Tabel 2. 2 . Koefisien Reduksi Arah	13
Tabel 2. 3 Koefisien Reduksi Kecepatan (Cu)	14
Tabel 2. 4 fisien Bentuk Kapal (Cform).....	14
Tabel 2. 4 fisien Bentuk Kapal (Cform).....	15
Tabel 3. 1 Beaufort Number yang dipilih.....	18
Tabel 4. 1. Data Hasil Simulasi Perhitungan Tahanan Kapal Perairan Tenang .	39
Tabel 4. 2. Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD)	43
Tabel 4. 3. Validasi Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD & Holtrop).....	44
Tabel 4. 4 Koefisien Reduksi Arah	45
Tabel 4. 5. Data Hasil Perhitungan Kwon	46
Tabel 4. 6. Data Hasil Perhitungan Kwon pada Beaufort Number: 4.....	47
Tabel 4. 7. Data hasil perhitungan Kwon pada Beaufort Number: 5	48
Tabel 4. 8. Hasil Speed Loss & Tahanan Kapal pada kondisi BN 4.....	53
Tabel 4. 9. Hasil Speed Loss & Tahanan Kapal pada kondisi BN 5	55
Tabel 4. 10. Perbandingan Speed Loss Ratio antara Perhitungan Kwon & Simulasi pada Konidis Beaufort Number 4	58
Tabel 4. 11. Perbandingan Speed Loss Ratio antara Perhitungan Kwon & Simulasi pada Konidis Beaufort Number 5	59

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi dunia yang sangat pesat, dan kemajuan teknologi yang cepat dari waktu ke waktu menyebabkan kebutuhan terhadap efisiensi waktu sangat besar. Hal ini dapat terlihat dari kemajuan sistem masa kini yang serba cepat dengan menggunakan bantuan teknologi dan elektronik yang terintegrasi. Terlebih lagi dengan kebutuhan akan rantai pasok yang salah satunya menggunakan moda transportasi kapal niaga yang sangat tinggi, menyebabkan produktivitas dari kapal tersebut harus terus ditingkatkan, dengan tentunya ikut memperkecil *cost* / biaya yang dikeluarkan. Kapal dituntut untuk dapat mengantarkan barang / logistik secara cepat, baik dalam perjalanan berlayar maupun saat bongkar muat. Hal tersebut akan berpengaruh pada produktivitas kapal itu sendiri, dan juga biaya yang harus dikeluarkan untuk mencapai titik optimal produktivitas tersebut.

Dalam perancangannya, kapal didesain untuk dapat memenuhi spesifikasi tertentu, salah satunya adalah kecepatan tempuh dinas dan maksimal yang ditentukan oleh pemilik kapal / perusahaan perkapalan. Hal itu dikarenakan kapal merupakan barang yang sangat spesifik, dan dirancang berdasarkan jenis, dan kegunaan/fungsi kapal tersebut. Kapal juga didesain untuk dapat melalui hambatan kapal yang dialami oleh kapal itu sendiri dari berbagai faktor, diantaranya adalah tahanan gesek akibat gesekan luasan tercelup lambung kapal dengan air laut, tahanan gelombang akibat gelombang yang dihasilkan oleh kapal tersebut baik longitudinal, maupun transversal, dan tahanan angin yang diakibatkan oleh bagian kapal diatas sarat air yang terkena angin, serta tahanan tambahan (Eddy) akibat karakteristik bentuk kapal, maupun kemudi kapal. Tahanan tersebut akan ditotal dan ditambah dengan margin cuaca yang menjadi representasi untuk jalur pelayaran kapal yang dirancang dan akan menjadi tahanan total yang merupakan fungsi dari kecepatan dan daya kapal.

Namun, dalam perjalanannya, banyak penyedia routing service atau decision support system tidak menggunakan ramalan cuaca sebagai parameter untuk memilih rute pelayaran yang paling optimal. Padahal, seringkali penambahan margin tahanan yang menjadi representasi berdasarkan cuaca tidak akurat karena hanya memasukkan nilai pada rata – rata cuaca dalam jalur pelayaran itu saja.

Tabel 1. 1 Penyedia Routing Service / Decision Support (Lu, R, et al)

Service Provide	Installed Location	Service /System	Weather forecast	Route planning	Route optimization	Ship monitoring	Data recording
Aerospace and Marine International (USA)	ashore	Weather 3000, internet service, maps displaying fleet and weather information	x				x
Weather Routing Inc. (USA)	ashore	routing advice and Dolphin navigation program combined with a web-based interactive site	x	x			
Finish Meteorological Institute (Finland)	ashore	weather and routing advice for the Baltic sea	x	x			
Fleetweather (USA)	ashore	Meteorological consultancy	x	x			x
Metworks Ltd. (UK)	ashore	Meteorological consultancy	x	x			
Applied Weather Technology (USA)	on-board	BonVoyage System	x	x			
Euronav (UK)	on-board	seaPro, software or integrated to bridge system	x	x			x
Germanischer Lloyd, Amarcn B.V (Germany, Netherlands)	on-board	SRAS	x	x		x	
Transas (UK)	on-board	Ship guard SSAS	x	x		x	x
Norwegian met Office, C-Map (Norway, Italy)	on-board	C-STAR	x	x			
US Navy (USA)	on-board	STARS	x	x	x	x	
Metro Consult (Netherlands)	on-board	SPOS	x	x	x	x	
Oceanweather Inc. Ocean Systems Inc. (USA)	on-board	VOSS	x	x	x	x	
Weather News International, Oceanwaves (USA, Japan)	ashore & on-board	VPS & ORION	x	x	x		
Swedish Met and Hydrology Institute (Sweden)	ashore & on-board	Seaware Routing	x	x	x	x	
Deutscher Wetterdienst (Germany)	ashore & on-board	Metmaster	x	x	x		

Faktor cuaca sangat berpengaruh pada lamanya waktu pelayaran, karena ketika dalam keadaan cuaca buruk atau dengan ketinggian gelombang serta kecepatan angin tertentu, kapal dengan daya dan kecepatan yang di atur oleh crew didalam kamar mesin (*achieved speed*), tidak akan sesuai dengan kecepatan real atau kecepatan kapal sesungguhnya. Karena tahanan gelombang, dan tahanan angin akibat cuaca akan menjadi tahanan tambahan baru (*added resistance*) yang akan menghambat kapal, dan mengurangi kecepatan pada daya yang sama dalam keadaan cuaca normal. Hal ini, akan berakibat pada molornya waktu kedatangan kapal, dan juga konsumsi bahan bakar (*Fuel Oil Consumption*) karena beroperasi dengan daya yang sama namun dalam waktu yang lebih lama. Hal ini berawal karena ketidak akuratan hitungan yang menggunakan margin cuaca sebagai representasi dalam kalkulasi tahanan, serta metode pendekatan yang hanya menggunakan hitungan empiris, khususnya metode holtrop-mennen pada cuaca normal, dan metode kwon pada cuaca buruk.

Untuk itu, sangat perlu dilakukan pendekatan prediksi tahanan kapal tambahan akibat cuaca yang akurat dengan simulasi keadaan real cuaca yang

dapat menyebabkan berkurangnya kecepatan walaupun mesin utama bekerja pada daya yang sama. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Hasil pendekatan dengan simulasi dapat dikomparasikan dengan rumus empiris dan menjadi acuan dalam menentukan rute pelayaran yang optimal, serta menilai sejauh mana pengaruh tahanan tambahan (*added resistance*) akibat gelombang dan angin karena cuaca terhadap hilangnya kecepatan kapal (*speed loss*).

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada tiga, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh tahanan tambahan (*added resistance*) oleh gelombang dan angin terhadap kecepatan kapal
2. Bagaimana perbandingan pendekatan tahanan tambahan antara simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* dengan rumus empiris menggunakan metode kwon
3. Bagaimana gelombang dan angin terhadap kapal yang mengakibatkan tahanan tambahan

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu:

1. Kapal yang digunakan merupakan *Existing Ship* tipe *twin screw* yang telah beroperasi pada rute yang dipilih.
2. Fluida yang digunakan adalah air dan udara dengan property/sifat yang telah disesuaikan dengan karakteristik rute pelayaran.
3. Kecepatan kapal ditentukan sebesar 12 knot – 15 knot, atau setara dengan kecepatan dinas kapal
4. Gelombang yang digunakan dalam simulasi merupakan representasi gelombang reguler dengan mengacu pada beaufort number 4 & 5 dan datang dari arah depan (*head sea*).
5. Analisa dilakukan pada segi teknis namun tidak menganalisa segi ekonomis

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh cuaca atau lingkungan terhadap tahanan tambahan pada kapal
2. Mengetahui “*speed loss*” / kecepatan kapal yang hilang akibat tahanan tambahan pada kapal yang terjadi karena gelombang dan angin.
3. Mengetahui hubungan kecepatan kapal dan gelombang, serta angin yang mengakibatkan tahanan tambahan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh cuaca atau lingkungan terhadap tahanan tambahan pada kapal
2. Mengetahui perbandingan tahanan tambahan yang dihasilkan dengan pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics*, dengan rumus empiris.
3. Dapat mengetahui jumlah tahanan total yang bertambah akibat gelombang dan angin yang terjadi Karena faktor cuaca.
4. Dapat digunakan sebagai referensi penentuan rute pelayaran kapal yang paling optimal pada penelitian selanjutnya dalam rangka pengembangan bidang teknologi maritim.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Paper Review

Untuk dapat berlayar, sebuah kapal memerlukan daya propulsi atau penggerak utama untuk dapat menggerakkan kapal tersebut sesuai dengan kebutuhan yang ditentukan oleh jenis kapal, dan kegunaan kapal tersebut. Besar Propulsi kapal dapat ditentukan dengan mengetahui seberapa besar hambatan / tahanan kapal tersebut dengan menggunakan variasi kecepatan minimum, dinas, sampai maksimum. Hal tersebut dikarenakan propulsi dibutuhkan untuk melawan hambatan / tahanan, pada kecepatan tertentu. Hambatan pada kapal terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah tahanan gesek, tahanan gelombang, tahanan angin, serta tahanan tambahan. Tahanan Gesek (*Friction Resistance*) terjadi akibat gesekan antara badan kapal yang tercelup dengan air laut. Tahanan Gelombang (*Wave Resistance*) terjadi Karena gelombang yang dihasilkan oleh kapal itu sendiri, mulai dari FP sampai AP, baik transversal, maupun longitudinal. Tahanan Angin (*Air Resistance*) terjadi akibat angin yang menghambat / menghantam bagian kapal diatas sarat air. Sedangkan tahanan tambahan (*Added Resistance*) merupakan tahanan yang dihasilkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah bentuk badan kapal, daun kemudi, dan tekanan. Dalam praktiknya, banyak metode dan rumus yang digunakan untuk menghitung tahanan pada kapal. Mulai dari hasil percobaan jaman dahulu oleh seorang belanda, yaitu Guldhamer-Harvald, sampai metode Holtrop di abad 20 pertengahan. Namun, untuk mendapatkan akurasi yang lebih baik dan akurat, metode yang digunakan adalah dengan metode numerik, atau dengan metode *Computational Fluid Dynamics*. Namun, dalam penghitungan tahanan kapal, faktor cuaca dan arah tahanan hanya ditambahkan dalam perhitungan dengan menggunakan margin perairan tertentu. Untuk itu sangat diperlukan sekali simulasi dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* untuk dapat mengetahui secara riil keadaan tahanan kapal yang terjadi ketika dalam cuaca buruk / *bad weather*, hal ini berpengaruh pada kecepatan kapal yang hilang akibat faktor cuaca, dan mengakibatkan lamanya waktu pelayaran.

2.2. Tahanan Kapal (Ship Resistance)

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, 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*). Gaya hambat inilah yang biasa kita sebut dengan istilah tahanan kapal. (Adji, 2009)

Dalam perhitungan tahanan disini, menggunakan Metode HARVALD. Karena parameter Angka Froude pada kapal yang akan dirancang memenuhi dalam persyaratan metode ini yaitu 0.2 – 0.25. Selain itu, Metode HARVALD juga diperuntukkan untuk kapal-kapal niaga, sesuai dengan kapal yang akan dirancang. Cara perhitungan tahanan ini menggunakan diagram *Guldhammer dan Harvald*. (Harvald, 1992)

Dalam perhitungan tahanan, kita harus mengetahui koefisien block serta koefisien prismatik daripada kapal yang akan dirancang. Serta menghitung volume displamen, berat displamen, luas permukaan basah, angka froud dan angka reynold. Karena hal-hal tersebutlah yang akan digunakan dalam perhitungan daripada komponen-komponen tahanan. Adapun perhitungan komponen-komponen tahanan dalam Metode HARVALD ini ialah:

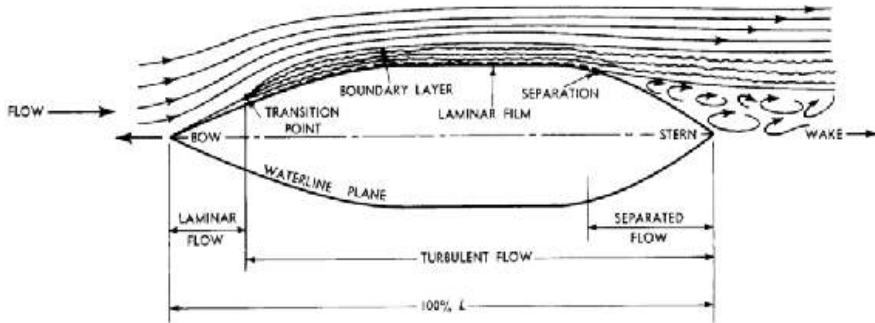
- Tahanan Gesek
- Tahanan Gelombang
- Tahanan Tambahan

2.2.1. Tahanan Gesek

Tahanan gesek adalah tahanan yang diterima oleh kapal pada saat melaju yang dihasilkan antara gesekan kulit lambung kapal (*Ship Shell*) yang tercelup air dengan air. Partikel air yang terdapat pada lapisan batas (*boundary layer*) mengalami percepatan Karena adanya kecepatan lambung kapal, sehingga menyebabkan drag Karena friksi / gesekan partikel air tersebut. *Boundary layer* ini akan semakin menebal, terlebih lagi jika lambung kapal tidak streamline, hal itu dapat terjadi Karena tumbuhnya *tritip & fouling*.

Tahanan friksi kapal yang terkecil adalah pada saat kapal dalam kondisi baru dan kemudian akan bertambah dengan seiring semakin kasarnya permukaan lambung Karena aplikasi cat yang berlapis lapis, kerusakan lambung

(deformasi, dll), korosi (pitting, dll). Hal-hal ini menyebabkan turunnya kecepatan kapal dan efisiensi secara gradual.



Gambar 2. 1. Tahanan Gesek (*Frictional Resistance*)

(Sumber: Sv. Aa. Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal,)

Koefisien tahanan gesek, C_f , mengikuti aturan oleh ITTC-57, rumus formula didefinisikan sebagai berikut:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (2.1)$$

$$RF = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_f \cdot S \cdot V^2 \quad (2.2)$$

Values of C_f according to formula adopted at the ITTC meeting in Madrid, 1957:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

$$Rn = \frac{VL}{\nu}$$

Rn	$C_f \times 10^3$	Rn	$C_f \times 10^3$	Rn	$C_f \times 10^3$	Rn	$C_f \times 10^3$
1×10^4	8.333	4×10^4	3.541	7×10^7	2.195	1×10^8	1.531
2	6.882	5	3.397	8	2.162	2	1.407
3	6.203	6	3.285	9	2.115	3	1.342
4	5.780	7	3.195	1×10^8	2.083	4	1.298
5	5.482	8	3.120	2	1.889	5	1.265
6	5.254	9	3.056	3	1.788	6	1.240
7	5.073	1×10^7	3.000	4	1.721	7	1.219
8	4.923	2	2.669	5	1.671	8	1.201
9	4.797	3	2.500	6	1.632	9	1.185
1×10^8	4.688	4	2.390	7	1.601	1×10^{10}	1.172
2	4.054	5	2.309	8	1.574		
3	3.741	6	2.246	9	1.551		

Gambar 2. 2. Nilai C_f menurut ITTC 1957

(Sumber: Sv. Aa. Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal)

Dimana tahanan gesek, R_F , merupakan jumlah dari stress tangential sepanjang permukaan tercelup dalam arah gerakan fluida.

R_n adalah Reynold number dengan rumus:

$$R_n = \frac{vL}{\nu} \quad (2.3)$$

ν adalah viskositas kinematic dari air yang merupakan fungsi dari kekentalan yang ada pada air. Terpengaruh oleh suhu, dan tekanan.

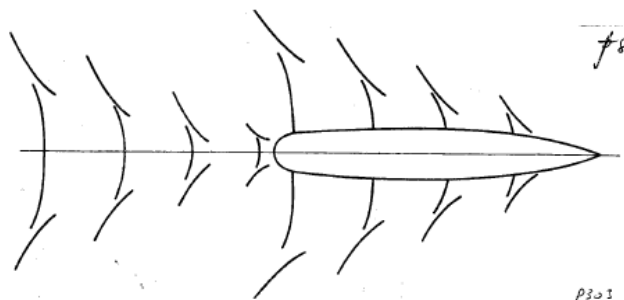
Seperti dalam metode perhitungan resistance asli oleh Harvald (disebut "*Ship Resistance*"), Hal tersebut memutuskan untuk meninggalkan faktor bentuk di bagian CF , tapi termasuk koreksi untuk bentuk lambung khusus memiliki U atau bentuk V di permukaan atau setelah tubuh kapal, seperti yang disarankan oleh Harvald. Pengaruh busur bulat pada perlawanan telah dimasukkan dalam koreksi bola (*Bulb Correction*).

(Otto Hans, Lutzen Marie, *Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships*, University of Southern Denmark, 2012)

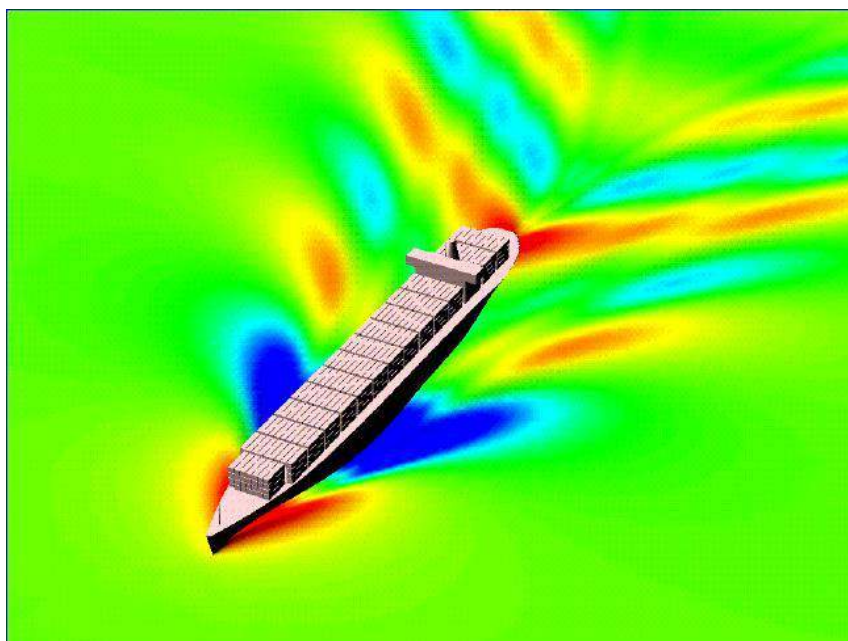
2.2.2. Tahanan Gelombang

Tahanan gelombang merupakan tahanan yang terjadi akibat gerakan yang dihasilkan oleh kapal itu sendiri terhadap air, sehingga menghasilkan tekanan pada air, yang selanjutnya ditransformasikan menjadi gelombang yang dapat berpengaruh terhadap kecepatan kapal itu sendiri.

Kelvin Wave Pattern mengilustrasikan dan menjelaskan banyak dari jenis gelombang yang dihasilkan kapal. Pola gelombang pada kapal serupa dengan kombinasi dari dua *Kelvin Wace Systems* yang di generate oleh 2 titik tekanan, dengan salah satu bagian pada *bow*, dan bagian lainnya pada *stern* (*Transverse*, dan *Divergent*).



Gambar 2. 3. Ship Wave Pattern
(Tahanan dan Propulsi Kapal, Harvald)



Gambar 2. 4. Ship Wave Patter
(Ariana, Made. Tahanan & Propulsi Kapal)

Dalam Tahanan Gelombang, system tahanan yang dihasilkan, dibagi menjadi 2 sistem, yaitu *Transverse wave system*, dan *divergent wave system*. Dalam *Transverse Wave System*, gelombang rata-rata berjalan dengan kecepatan yang sama dengan kapal. Pada kecepatan kapal yang lambat (*slow speed*), beberapa puncak gelombang ada di sepanjang panjang kapal. Dan ketika kecepatan kapal dinaikkan, panjang dari gelombang transversal akan naik karena gelombang panjang yang lebih kecil dari panjang kapal.

2.2.3. Tahanan Tambahan

Tahanan tambahan adalah tahanan yang diakibatkan oleh tahanan tahanan lain selain gelombang dan gesek pada lambung kapal yang tercelup air. Tahanan tambahan dapat berupa tahanan udara, dan tahanan kemudi. Tahanan udara merupakan tahanan yang terjadi akibat gesekan antara udara dengan bagian kapal diatas yang tidak tercelup air. Tahanan udara yang dialami oleh kapal sangat tergantung pada desain arsitektur bangunan kapal diatas sarat air

kapal yang dilihat secara vertical, dan dapat berubah-ubah seiring naik turunnya sarat (draft) kapal.

Bagaimanapun juga untuk komponen *added resistance in wave and air* atau tahanan tambahan dari gelombang dan udara sangat bergantung terhadap bagaimana arah laju gelombang dan arah angin yang dihadapi oleh kapal dalam pelayarannya.

Pada umumnya, besarnya tahanan udara tidak terlalu diperhitungkan, dan upaya yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang tepat mungkin tidak memadai dengan pentingnya pengaruh udara tersebut. Karena itu, jika data mengenai angin dalam perancangan kapal tidak diketahui maka disarankan untuk mengoreksi $10^3 C_r$ dalam penghitungan metode Harvald sebagai berikut:

$$10^3 CAA = 0.07 \quad (2.4)$$

(Tahanan dan Propulsi Kapal, Sv. Aa. Harvald)

2.3. Beaufort Number

Pengukuran Beaufort sendiri mengandung ketidakpastian sebagai salah satu nomor yang digunakan untuk mewakili berbagai ketinggian gelombang dan kondisi laut. Lebih akurat menambahkan kinerja perlawanan metode prediksi tergantung pada tinggi gelombang sebagai masukan bersama dengan jenis spektrum laut (termasuk gelombang permukaan dan laut yang dikembangkan). ketidakpastian tambahan dibuat dengan pengukuran Beaufort Jumlah yang dilakukan melalui penilaian dari kondisi laut biasanya keluar dari jendela di jembatan oleh perwira jaga. Tidak hanya pengukuran ini subjektif karena penglihatan atau pengamatan, itu juga diamati dari jarak jauh dari permukaan laut. Ada juga ambiguitas apakah Nomor Beaufort tercatat merupakan perwakilan dari kondisi pada titik pengamatan, atau rata-rata kondisi yang diamati selama durasi laporan.

Tabel 2. 1. Beaufort Number

BN	Description	Wind Speed	Wave height	Sea condition
0	Calm	<1.1 km/h	0 m	Flat
		<0.7 mph		
		<0.6 knot	0 ft	
		<0.3 m/s		
1	Light Air	1.1 - 5.5 km/h	0 - 0.2 m	Ripples without crest

		0.7-3.4 mph	0 - 1 ft	
		0.6 - 3 knot		
		0.3 - 1.5 m/s		
2	Light Breeze	5.5 - 11.9 km/h	0.2 - 0.5 m	Ripples without crest
		3.4- 7.4 mph	1 - 2 ft	
		3 - 6.4 knot		
		1.5 - 3.3 m/s		
3	Gentle Breeze	11.9 - 19.7 km/h	0.5 - 1 m	large wavelets. Crest begin to break.
		7.4 - 12.2 mph	2 - 3.5 ft	
		6.4 - 10.6 knot		
		3.3 - 5.5 m/s		
4	Moderate Breeze	19.7 - 28.7 km/h	1 - 2 m	Small wave with breaking crest.
		12.2 - 17.9 mph	3.5 - 6 ft	
		10.6 - 15.5 knot		
		5.5 - 8 m/s		
5	Fresh Breeze	28.7 - 38.8 km/h	2 - 3 m	Moderate waves of some length.
		17.9 - 24.1 mph	6 - 9 ft	
		15.5 - 21 knot		
		8 - 10.8 m/s		
6	Strong Breeze	38.8 - 49.9 km/h	3 - 4 m	Long wave begin to form, white foam crest
		24.1 - 31 mph	9 - 13 ft	
		21 - 26.9 knot		
		10.8 - 13.9 m/s		
7	High Wind, Moderate gale, near gale	49.9 - 61.8 km/h	4 - 5.5 m	Sea heaps up. Some foam from breaking waves is blown into streaks along wind direction.
		31 - 38.4 mph	13 - 19 ft	
		26.9 - 33.4 knot		
		13.9 - 17.2 m/s		
8	gale, Fresh gale	61.8 - 74.6 km/h	5.5 - 7.5 m	Sea heaps up. Some foam from breaking waves is blown into streaks along wind direction.
		38.4 - 46.3 mph	18 - 25 ft	
		33.4 - 40.3 knot		
		17.2 - 20.7 m/s		
9	Strong / severe gale	74.6 - 88.1 km/h	7.5 - 10 m	High waves whose crests sometimes roll over. Dense foam is
		46.3 - 54.8 mph		

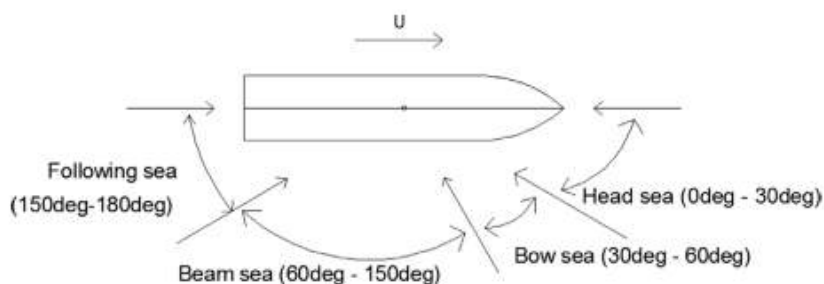
		40.3 - 47.6 knot	23 - 32 ft	blown along wind direction.
		20.7 - 24.5 m/s		
10	Storm, whole gale	88.1 - 102.4 km/h	9 - 12.5 m	Very high waves with overhanging crests. Large patches of foam from wave crests give the sea a white appearance.
		54.8 - 63.6 mph		
		47.6 - 55.3 knot	29 - 41 ft	
		24.5 - 28.4 m/s		
11	violent storm	102.4 - 117.4 km/h	11.5 - 16 m	Exceptionally high waves. Very large patches of foam, driven before the wind, cover much of the sea surface.
		63.6 - 72.9 mph		
		55.3 - 63.4 knot	37 - 52 ft	
		28.4 - 32.6 m/s		
12	Hurricane	≥ 117.4 km/h	≥ 14 m	Huge waves. Sea is completely white with foam and spray. Air is filled with driving spray,
		≥ 72.9 mph		
		≥ 63.4 knot	≥ 46 ft	
		≥ 32.6 m/s		

2.4. Metode Penghitungan Tahanan Tambahan

Dalam melakukan perhitungan Tahanan Tambahan memiliki beberapa cara pendekatan untuk mendapatkannya, baik untuk digunakan pada kapal niaga / *merchant ship* ataupun kapal khusus / *Special Purpose Vessel*. Dalam tugas akhir ini, digunakan 2 metode pendekatan yang dinilai paling cocok untuk mengetahui seberapa besar tahanan tambahan akibat gelombang dan angin yang diakibatkan oleh cuaca pada keadaan *real* atau sebenarnya.

2.4.1. Metode Kwon (2008)

Metode untuk pendekatan semi-empiris baru diusulkan dalam makalah ini yang dapat digunakan untuk kinerja operasional kapal pemodelan dan diperkenalkan pada bagian ini. Sebuah modifikasi metode Kwon dikembangkan untuk meningkatkan akurasi prediksi tahanan tambahan. Metode ini didasarkan pada Kwon (2008) metode pemodelan tahanan tambahan tetapi diperbarui untuk memperhitungkan kapal tertentu dengan karakteristik yang spesifik dengan memanfaatkan analisis dari data operasional yang dikumpulkan. Langkah pertama dari metode semi-empiris adalah estimasi tahanan kapal pada keadaan perairan tenang / *still water*. Kemudian diikuti dengan prediksi tahanan tambahan karena kondisi angin dan gelombang.



Gambar 2. 5. Encounter Angle

(Lu, R., et al.)

Model Tahanan Tambahan Kwon (2008) adalah metode perkiraan untuk memprediksi kerugian kecepatan (*speed loss*) kapal berdasarkan displacement dengan korelasi tahanan tambahan dalam kondisi cuaca (gelombang teratur dan angin). Keuntungan dari metode ini adalah bahwa hal itu mudah dan praktis untuk digunakan. Efek dari cuaca, dipresentasikan sebagai *speed loss*, dibandingkan dengan *expected speed* pada kondisi perairan tenang (*still water conditions*).

Tabel 2. 2 . Koefisien Reduksi Arah

Arah Cuaca	Sudut Datang (Derajat)	Koefisien Reduksi Arah C_B
Head Sea (Regular Wave) and Wind	0-30	$2C_B = 2$
Bow Sea (Regular Wave) and Wind	30-60	$2C_B = 1.7 - 0.03 ((BN - 4)^2)$
Beam Sea (Regular Wave) and Wind	60-150	$2C_B = 0.9 - 0.06 ((BN - 6)^2)$
Following Sea (Regular Wave) and Wind	150-180	$2C_B = 0.4 - 0.03 ((BN - 8)^2)$

Pengaruh cuaca, disajikan sebagai kerugian kecepatan, membandingkan kecepatan kapal dalam berbagai kondisi laut yang sebenarnya untuk kecepatan kapal yang diharapkan (*Expected Speed*) dalam kondisi perairan tenang (*Still Water Conditions*). Hal ini dinyatakan dengan cara berikut menggunakan metode Kwon untuk pemodelan tahanan tambahan (*added resistance*) (Kwon, 2008):

$$\frac{\Delta V}{V_1} 100\% = C_{\beta} C_U C_{form} \quad (2.5)$$

- V1 : Kecepatan kapal pada saat kondisi perairan tenang (normal), dinyatakan dalam m/s.
- V2 : Kecepatan actual kapal pada beaufort number terpilih (kondisi gelombang dan angin), dinyatakan dalam m/s.
- V1 – V2 : V1 - V2 kerugian kecepatan absolut. Dinyatakan dalam m/s.
- C β : Koefisien reduksi arah, tergantung pada angle / arah dari gelombang dan angin pada Beaufort Number (BN).
- C_u : Koefisien Reduksi Kecepatan, tergantung pada koefisien blok kapal (C_b). Kondisi muat, dan Froude Number (Fn).
- C_{form} : Koefisien Bentuk Kapal (C_{form})

Dalam formula diatas terdapat beberapa koefisien pengurangan (*Reduction Coefficient*) berdasarkan hasil percobaan Kwon (2008) yang dapat menjadi acuan dalam menghitung pendekatan untuk mendapatkan nilai tahanan tambahan sesuai dengan yang diharapkan. *Reduction Coefficient* yang dimaksud adalah diantaranya:

- Speed Reduction Coefficient (C_u) berdasarkan Coefficient Block (C_b) kapal.
- Ship Form Coefficient (C_{form}) berdasarkan karakteristik jenis kapal dan kondisi muat kapal.

Tabel 2. 3 Koefisien Reduksi Kecepatan (C_u)

Koefisien Block C _b	Kondisi Loading Kapal	Koefisien Reduksi Kecepatan C _u
0.55	Normal	1.7 – 1.4Fn – 7.4Fn ²
0.6	Normal	2.2 – 2.5Fn – 9.7Fn ²
0.65	Normal	2.6 – 3.7Fn – 11.6Fn ²
0.7	Normal	3.1 – 5.3Fn – 12.4Fn ²
0.75	Loaded or normal	2.4 – 10.6Fn – 9.5Fn ²
0.8	Loaded or normal	2.6 – 13.1Fn – 15.1Fn ²
0.85	Loaded or normal	3.1 – 18.7Fn + 28.0Fn ²
0.75	Ballast	2.6 – 12.5Fn – 13.5Fn ²
0.8	Ballast	3.0 – 16.3Fn – 21.6Fn ²
0.85	ballast	3.4 – 20.9Fn + 31.8Fn ²

Tabel 2. 4 fisien Bentuk Kapal (C_{form})

Tabel 2. 5 fisien Bentuk Kapal (Cform)

Tipe Displasemen Kapal	Koefisien Bentuk Kapal
Semua Kapal (Kecuali Kontainer) dalam kondisi loaded loading	$0.5BN = BN^{6.5}/(2.7 \times \Delta^{2/3})$
Semua Kapal (Kecuali Kontainer) dalam kondisi Ballast loading	$0.7BN = BN^{6.5}/(2.7 \times \Delta^{2/3})$
Kontainer dalam kondisi loading normal	$0.7BN = BN^{6.5}/(22 \times \Delta^{2/3})$

Metode Kwon (Kwon, 2008) Menyediakan pengantar umum untuk perhitungan kerugian kecepatan kapal (*Speed Loss*) di berbagai kondisi cuaca dan laut berdasarkan bentuk lambung kapal, sudut pertemuan (*Encounter Angle*) dan keadaan laut (*Sea State*). Namun, metode ini tidak mampu memberikan prediksi yang sangat akurat dari tahanan tambahan untuk setiap kapal yang spesifik. Oleh karena itu, modifikasi metode Kwon untuk pemodelan tahanan tambahan dikembangkan dan disajikan dalam paper ini meliputi koefisien pengurangan arah yang unik, pengurangan koefisien kecepatan, dan koefisien bentuk kapal untuk jenis kapal spesifik, dan ukuran tertentu. Ulasan koefisien koefisien ini ditentukan dari analisis data operasional yang tercatat kapal.

2.4.2. Metode Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan pemodelan gambar untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. CFD digunakan untuk mensimulasikan interaksi fluida dengan permukaan benda (*boundary condition*), memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, perubahan fase, reaksi kimia dan tegangan pada permukaan benda padat.

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

- Aliran dan panas
- Transfer massa
- Perubahan fasa
- Reaksi kimia seperti pembakaran
- Gerakan mekanis seperti piston dan fan
- Tegangan dan tumpuan pada benda solid

- Gelombang electromagnet

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam metode CFD, diantaranya yaitu:

a. Pre-Processor

Pre-processor merupakan tahapan awal dalam CFD yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan domain, dan *boundary condition*. Pada tahapan ini juga dilakukan *meshing*, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu.

b. Processor

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

c. Post Processor

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

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini nantinya. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

3.1. Tahap I. Persiapan

3.1.1. Identifikasi & Perumusan Permasalahan

Identifikasi dan perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai ANALISIS PREDIKSI NILAI TAHANAN TAMBAHAN PADA KAPAL DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD). Pada proses ini akan dilakukan identifikasi rumusan masalah tentang analisa prediksi tahanan tambahan yang dihasilkan oleh gelombang dan udara dengan pendekatan empiris dan metode computational fluid dynamics (CFD). Analisa yang dilakukan adalah dengan mendapatkan dimensi, dan spesifikasi kapal yang akan disimulasikan dan dikalkulasikan dengan pendekatan empiris, kemudian mendesain kapal tersebut dalam bentuk 3 dimensi.

3.1.2. Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Dimana yang harus dilakukan pada tahap ini, adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membawa paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan. Studi literature pada skripsi yang akan dikerjakan adalah sebagai berikut :

- A. Buku
- B. Tugas Akhir
- C. Jurnal
- D. Internet
- E. Informasi dari dosen pembimbing.

3.1.3. Pengumpulan Data

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan skripsi. Dalam hal ini data yang dibutuhkan antara lain:



1. Data Kapal (Dimensi & Spesifikasi Kapal)
2. Data Gambar Maxsurf
3. Data Variasi Arah Sudut Datangnya Gelombang & Angin
4. Data Rute Pelayaran Kapal
5. Kondisi Lingkungan

3.1.4. Penentuan Variabel Uji

Penentuan parameter uji dalam Computational Fluid Dynamics meliputi:

- Variabel kontrol : Sudut Arah Datangnya Gelombang & Angin 0° kapal.
- Variabel bebas : Tipe aliran air laut dan tipe gelombang regular dengan beaufort number 4 & 5
- Variabel tetap : Kecepatan Kapal merupakan kecepatan dinas, yaitu sebesar: 12 knot / 6.1728 m/s

Tabel 3. 1 Beaufort Number yang dipilih

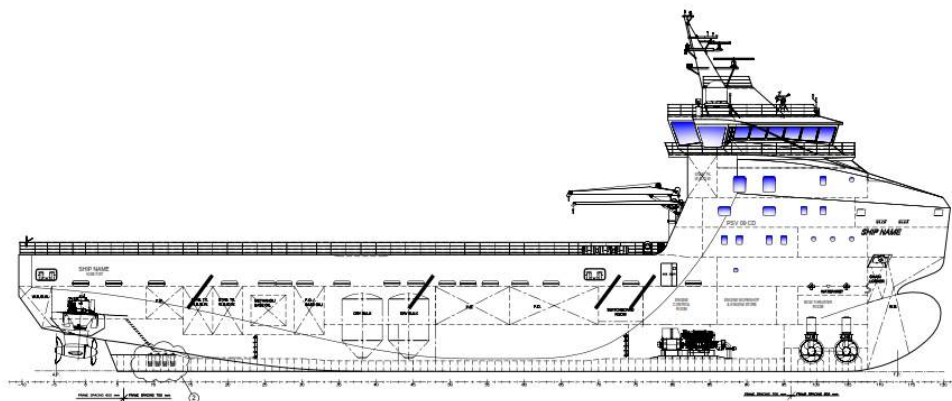
4	Moderate Breeze	19.7 - 28.7 km/h	1 - 2 m	Small wave with breaking crest.	
		12.2 - 17.9 mph			
		10.6 - 15.5 knot	3.5 - 6 ft		
		5.5 - 8 m/s			
5	Fresh Breeze	28.7 - 38.8 km/h	2 - 3 m	Moderate waves of some length.	
		17.9 - 24.1 mph			
		15.5 - 21 knot	6 - 9 ft		
		8 - 10.8 m/s			

3.2. Tahap II. Analisa

3.2.1. Pembuatan Model Kapal PSV/OSV di Software

Pembuatan model kapal PSV/OSV dilakukan dengan memakai data kapal PSV/OSV yang telah beroperasi (existing ship) yang telah ada. Ukuran kapal yang dipakai pada penelitian ini menggunakan kapal dengan spesifikasi sebagai berikut:

LoA	=	58	m
Lpp	=	55.03	m
Lwl	=	56.6809	m
Breadth (B)	=	14.49	m
Depth (H)	=	7.2	m
Draft (T)	=	5.57	m
Vs	=	12	knot
Cb	=	0.658	
L Disp	=	55.85545	m
Fn	=	0.261572144	
Vdisp	=	2966.29971	m ³
Δ disp	=	3040.457203	ton



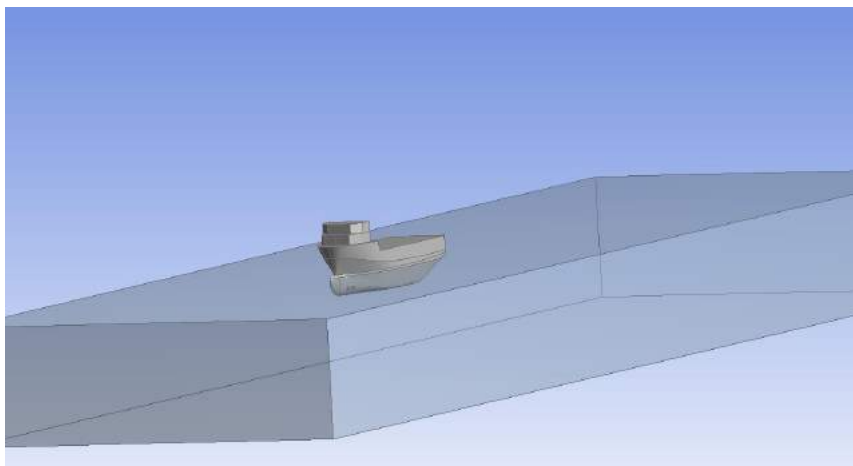
Gambar 3. 1. General Arrangement PSV ASL Harmony STX 09 CD
(Sumber: Rozak, ASL Marine, 2017)

3.2.2. Pembuatan Model Kondisi Variabel Uji

Pembuatan model kondisi variable uji memasukkan data pemodelan kapal dengan parameter variable uji yang ada dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mendapatkan hasil dari simulasi. Terdapat 2 simulasi model dengan menggunakan software CFD, yaitu 5 variasi simulasi pada kondisi perairan tenang / *Still Water State*, dan 10 variasi simulasi pada kondisi gelombang dan angin menurut beaufort number. Proses pembuatan model kondisi variable uji adalah sebagai berikut:

a. Penentuan Batasan pada Model

Penentuan Batasan merupakan salah satu persyaratan agar geometri model yang sudah dibuat dapat disimulasikan pada software CFD. Penentuan Batasan ini meliputi pendefinisian geometri untuk inlet, wall, serta outlet. Pendefinisian geometri Batasan tersebut diperuntukan sebagai domain fluida air yang akan mengalir melewati geometri model kapal. Pembuatan Batasan ini dilakukan pada software CFD.

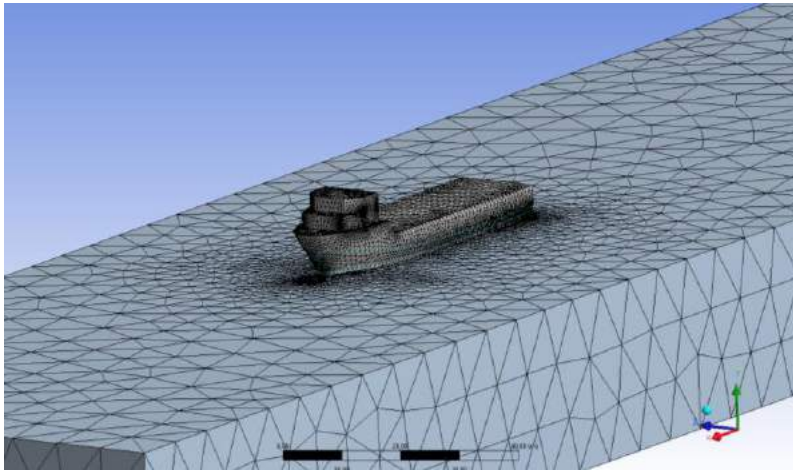


Gambar 3.3. Penggambaran Domain

b. Meshing

Meshing merupakan suatu proses pembagian geometri model menjadi elemen elemen dan node – node yang lebih kecil. Pada proses pengujian model dengan software CAD, setiap elemen tersebut yang akan diberikan perhitungan oleh software CFD. BEsar meshing pada propeller lebih kecil /

detail dari pada domain yang lain, sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus.



Gambar 3.3. Meshing pada model Calm Water

c. Penentuan *Boundary Condition*

Pada tahap ini merupakan tahap pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition* yang dibuat untuk mengetahui karakteristik dari model dan fluida yang bekerja, sehingga mendekati dengan kondisi sebenarnya. Pada tahap pendefinisian *boundary condition* ini meliputi pendefinisian domain fluid dan domain solid.

Pendefinisian domain fluid atau fluida meliputi pendefinisian inlet, outlet, dan wall. Berikut adalah salah satu pendefinisian boundary condition pada domain fluid pada salah satu model kondisi Still Water State, dan Gelombang menurut Beaufort Number (BN).

Still Water State

Domain	Boundaries	
Fluid	Boundary - Inlet	
	Type	INLET
	Location	Inlet
	<i>Settings</i>	
	Flow	Subsonic

Regime	
Mass And Momentum	Normal Speed
Normal Speed	6.1680e+00 [m s ⁻¹]
Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
Boundary - Outlet	
Type	OUTLET
Location	Outlet
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Static Pressure
Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Boundary - Fluid Default	
Type	WALL
Location	F477.475, F478.475, F479.475, F480.475
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall
Wall Roughness	Smooth Wall
Boundary - Hull	
Type	WALL
Location	Hull 2
<i>Settings</i>	

	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - Ship Default	
	Type	WALL
Ship	Location	F183.199, F184.199, F185.199, F186.199, F187.199, F188.199, F189.199, F192.199, F193.199, F194.199, F195.199, F196.199, F197.199, F198.199, F200.199, F201.199, F202.199, F203.199, F204.199, F205.199, F206.199, F207.199, F208.199, F209.199, F210.199, F211.199, F212.199, F213.199, F214.199, F216.199, F217.199, F218.199, F219.199, F220.199, F222.199, F223.199, F224.199, F225.199, F226.199, F227.199, F228.199, F229.199, F230.199, F231.199, F232.199, F233.199, F234.199, F235.199, F236.199, F237.199, F239.199, F240.199, F241.199, F242.199, F243.199, F244.199, F245.199, F246.199, F247.199
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic

Gelombang Beaufort Number

Domain	Boundaries	
	Boundary - Default Fluid Solid Interface in Default Domain Side 1	
Default Domain	Type	INTERFACE
	Location	F96.4
	<i>Settings</i>	
	Boundary - wall	

	Type	WALL
	Location	body_surf_ship
	<i>Settings</i>	
	Boundary - inlet_air	
	Type	INLET
	Location	inlet_air
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	8.0000e+00 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Fluid	air
air	Volume Fraction	Value
	Volume Fraction	1.0000e+00
	Fluid	Water
	Volume Fraction	Value
	Volume Fraction	0.0000e+00
	Boundary - Default Fluid Fluid Interface in air Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	F573.226
	<i>Settings</i>	

Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Turbulence	Conservative Interface Flux
Boundary - outlet_air	
Type	OUTLET
Location	outlet_air
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet
Boundary - air Default	
Type	WALL
Location	F547.226, F563.226, F592.226, F593.226, F611.226, F622.226, F629.226, F636.226, F653.226, F658.226, F662.226, F666.226, F669.226, F680.226, F686.226, F697.226, F698.226, F701.226, F707.226, F712.226, F723.226, F724.226, F725.226, F729.226, F740.226, F757.226, F763.226, F765.226, F774.226, F782.226, F793.226, F796.226, F799.226, F801.226, F802.226
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall

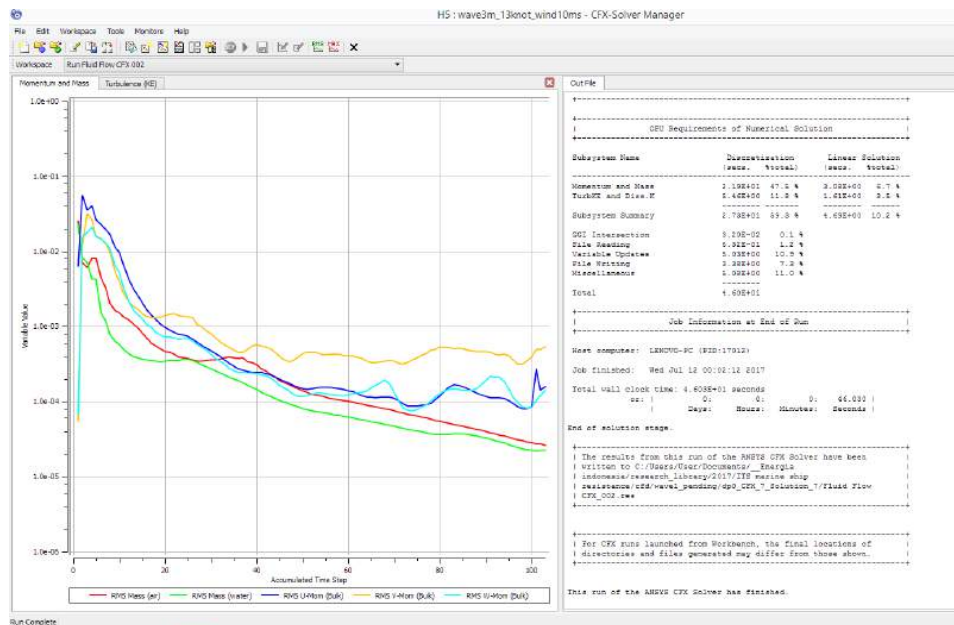
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Fluid Pair	air water
water	Boundary - inlet_water	
	Type	INLET
	Location	inlet_water
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	12.7100e+00 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Fluid	Air
	Volume Fraction	Value
	Volume Fraction	0.0000e+00
	Fluid	water
	Volume Fraction	Value
	Volume Fraction	1.0000e+00
	Boundary - Default Fluid Fluid Interface in water Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	F299.115
<i>Settings</i>		

Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Turbulence	Conservative Interface Flux
Boundary - Default Fluid Solid Interface in water Side 2	
Type	INTERFACE
Location	F345.115, F395.115, F400.115, F413.115, F418.115, F422.115, F427.115, F435.115, F440.115, F442.115, F444.115, F449.115, F453.115, F462.115, F466.115, F471.115, F475.115, F486.115, F496.115, F499.115, F509.115, F512.115, F521.115, F528.115, F530.115, F537.115, F539.115, F543.115, F545.115
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall
Wall Roughness	Smooth Wall
Fluid Pair	air water
Boundary - outlet_water	
Type	OUTLET
Location	outlet_water
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02

Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet
Boundary - water Default	
Type	WALL
Location	F327.115, F333.115, F340.115
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall
Wall Roughness	Smooth Wall
Fluid Pair	air water

d. Pengujian

Geometri model yang telah selesai diberikan pendefinisian boundary condition selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi atau running dengan menggunakan metode numerik (Computational Fluid Dynamics). Proses simulasi ini menggunakan software CFD-Solver, sehingga dengan pengaturan boundary condition yang telah dilakukan, solver berjalan dan membaca persamaan – persamaan dari simulasi yang dilakukan dan didapatkan output parameter yang dicari dengan tepat.



Gambar 3.4. Tampilan CFD - Solver

e. Validasi

Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi terhadap elemen yang paling efektif agar data yang dihasilkan valid, sehingga dilakukan validasi terhadap elemen meshing. Pada simulasi ini meshing dilakukan pada tipe medium.

Validasi juga dilakukan pada hasil analisa dengan membandingkan hasil analisa yang sudah dilakukan dengan hasil penelitian sebelumnya. Hasil

penelitian tersebut akan menjadi acuan validasi. Sehingga hasil analisa harus memiliki selisih yang tidak terlalu jauh untuk mendekati dengan hasil analisa pada penelitian sebelumnya.

f. Pembacaan Hasil Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data hasil pengujian. Data yang dibutuhkan dapat diambil melalui CFD-Post dengan menu function calculator. Dari CFD – Post ini dapat diambil kontur tekanan pada geometri model, streamline pada kecepatan aliran, gaya gesek, dan lain – lain. Data – data tersebut diperlukan untuk perhitungan tahanan pada bab analisa data.

3.2.3. Pengujian Rumus dan Modifikasi Model

Pengujian rumus dan modifikasi model dilakukan dengan mengkalkulasi pendekatan dengan rumus empiris serta mensimulasikan model dengan menggunakan software Computational Fluid Dynamics. Pada penelitian ini model kapal PSV disimulasikan dengan kecepatan konstan dan sudut arah datangnya (encounter angle) gelombang dan angin. Hal ini dimaksudkan untuk mencari tahanan tambahan yang dihasilkan, dan akan dikonversikan menjadi total kecepatan kapal yang hilang / ship speed loss.

3.2.4. Analisa Data

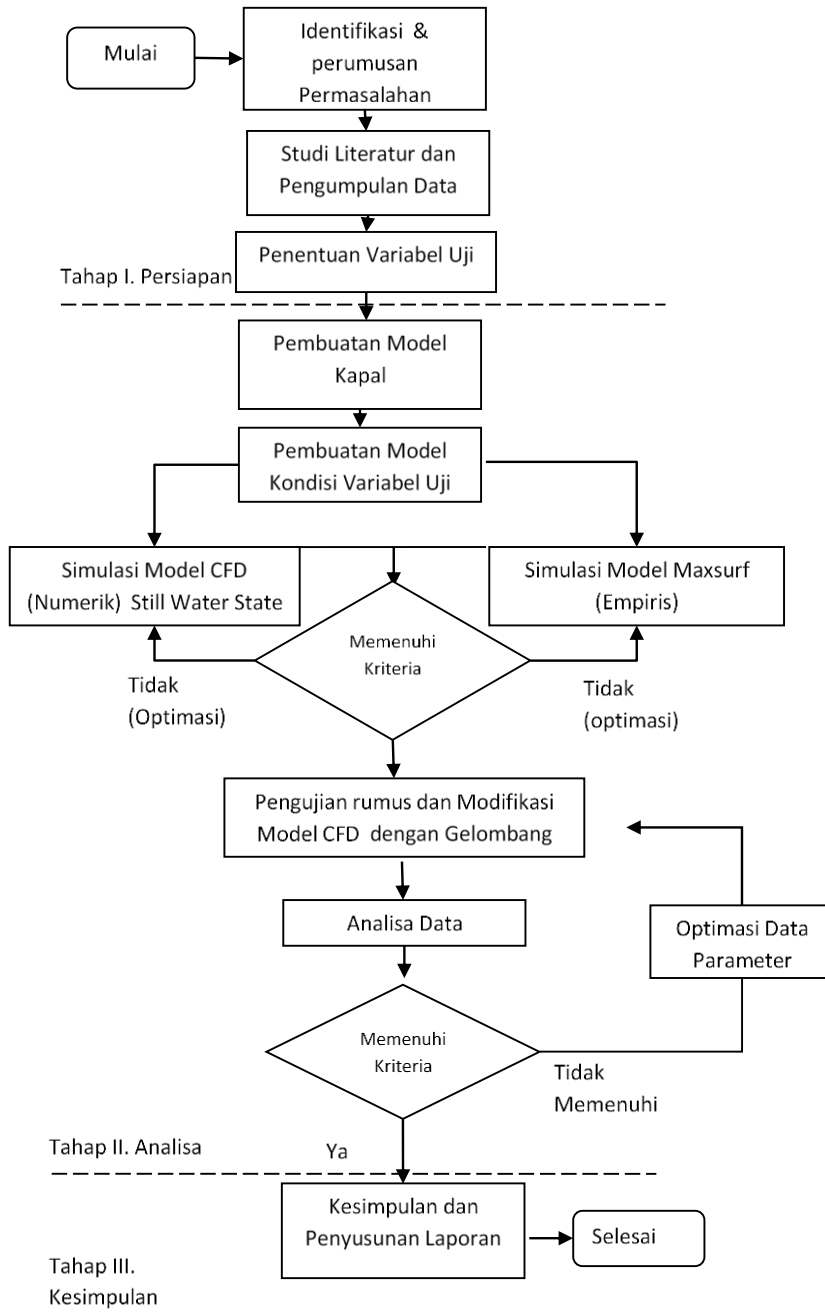
Analisa data didapatkan dari pengujian model pada tiap-tiap variable yang ada seperti kecepatan kapal dan sudut arah (encounter angle) gelombang dan angin serta kalkulasi pendekatan dengan rumus empiris. Hasil analisa akan ditampilkan data dalam bentuk tabel dan grafik.

3.3. Tahap III. Kesimpulan

3.3.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan penghitungan, dihasilkan data mengenai tahanan tambahan yang terjadi pada kapal, maka selanjutnya dianalisa besar tahanan tersebut dengan tahanan total dan mengkonversi menjadi kecepatan kapal yang hilang (speed loss).

Flow chart Metodologi Penelitian



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

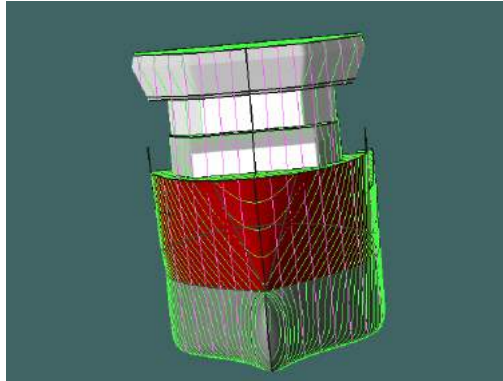
4.1 Umum

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai tahap – tahap penyelesaian tugas akhir yang berjudul Analisis Prediksi Nilai Tahanan Tambahan pada Kapal dengan Pendekatan Empiris dan Numerik. Penjelasan dimulai dari tahap pembuatan model kapal dan variabel uji menggunakan *software* 3D desain seperti *Autocad*, *Maxsurf*, *Solidworks*, *Rhinos*, dll. Sampai menggunakan *software* berbasis Computational Fluid Dynamics hingga perhitungan tekanan, tahanan dan speed loss yang terjadi pada kapal. Kecepatan kapal juga divariasikan untuk mengetahui tahanan tambahan yang terjadi menurut kecepatan kapal yang bertambah. Kecepatan yang dipakai adalah 11, 12, dan 13 knot. Kemudian, untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal, keadaan cuaca yang mengakibatkan tahanan gelombang dan angin (*Added Resistance*) yang diwakili oleh *Beaufort Number* (BN) divariasikan dengan mengambil (BN) dengan nilai 4, dan 5 menggunakan gelombang regular (*Regular Wave*).

4.2. Penggambaran model

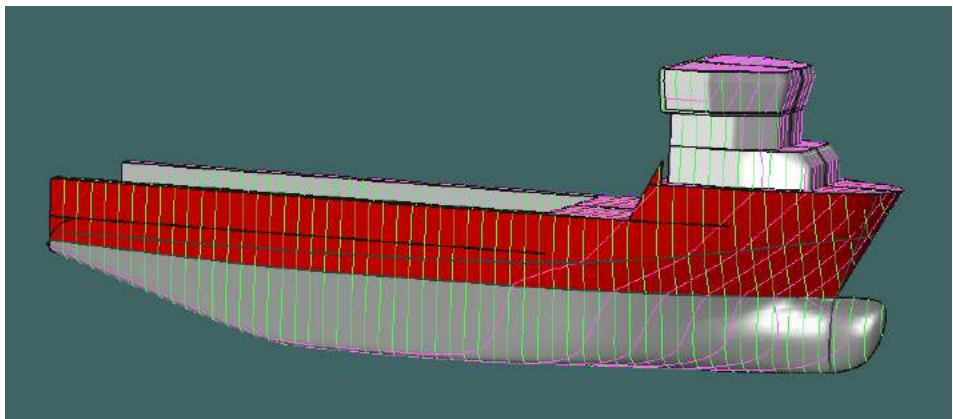
Pada tahap ini, setiap data main particular dari kapal yang akan dihitung, direpresentasikan dalam bentuk model geometri 3 dimensi menggunakan *software* maxsurf. Mulai dari LoA, LPP, LwL, Draft, Depth, Breadth, Coeff. Block, dll. Setelah data yang dimasukkan dan disesuaikan dengan keadaan kapal realnya, kemudian akan dilanjutkan tahap selanjutnya. Dalam hal pemodelan awal ini, *software* yang digunakan adalah maxsurf modeler advanced. Data Kapal yang dipakai adalah sebagai berikut:

LoA	=	58	m
Lpp	=	55.03	m
Lwl	=	56.6809	m
Breadth (B)	=	14.49	m
Depth (H)	=	7.2	m
Draft (T)	=	5.57	m
Vs	=	12	knot
Cb	=	0.658	
L Disp	=	55.85545	m
Fn	=	0.261572144	
Vdisp	=	2966.29971	m ³
Δdisp	=	3040.457203	ton

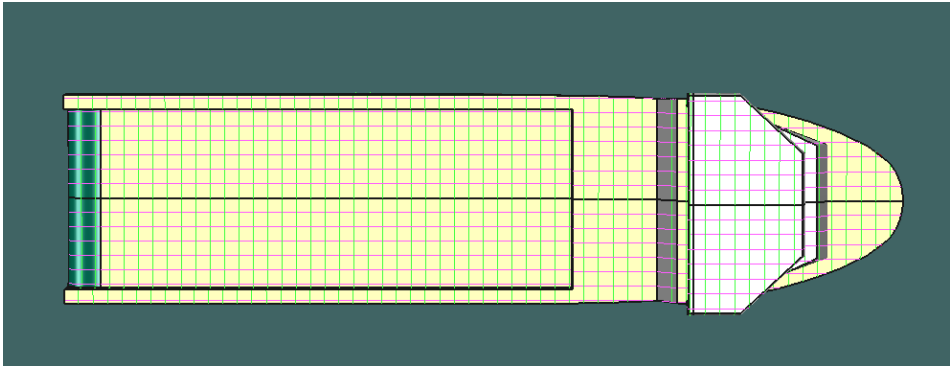


**Gambar 4. 1. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced
Tampak Depan**

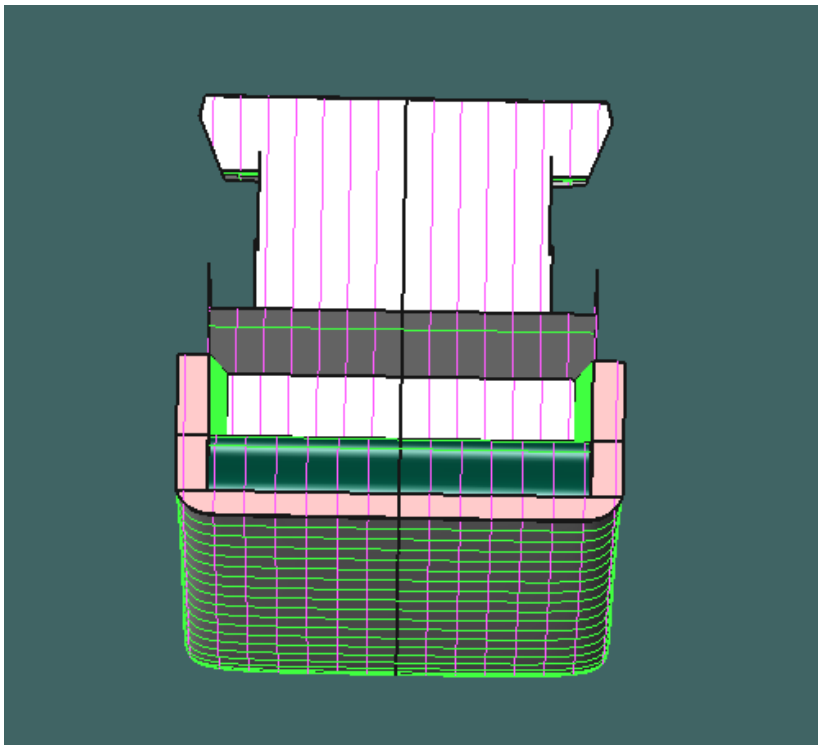
Kapal didesain dengan menggunakan Maxsurf Modeler Advance dengan menggunakan parameter bentuk yang similar dengan kapal Offshore Supply Vessel yang terdapat pada open design dalam software tersebut. Dapat dilihat dan diketahui bagaimana potongan sheer, dan buttock line pada tiap tiap draft yang ada. Kemudian, berikut merupakan gambar ilustrasi dari beberapa sudut pandang / point of view dimensi kapal pada tahap pemodelan awal ini.



**Gambar 4. 2. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced
Tampak Samping**



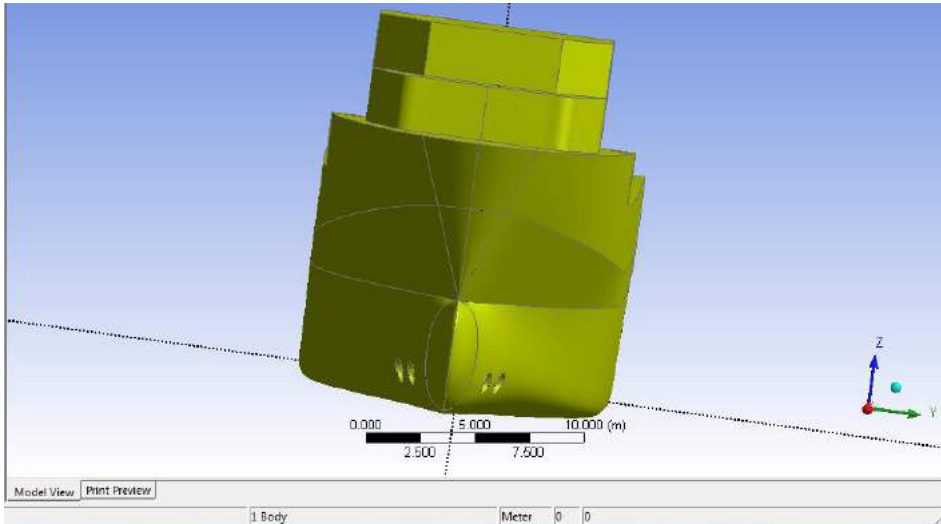
**Gambar 4. 3. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced
Tampak Atas**



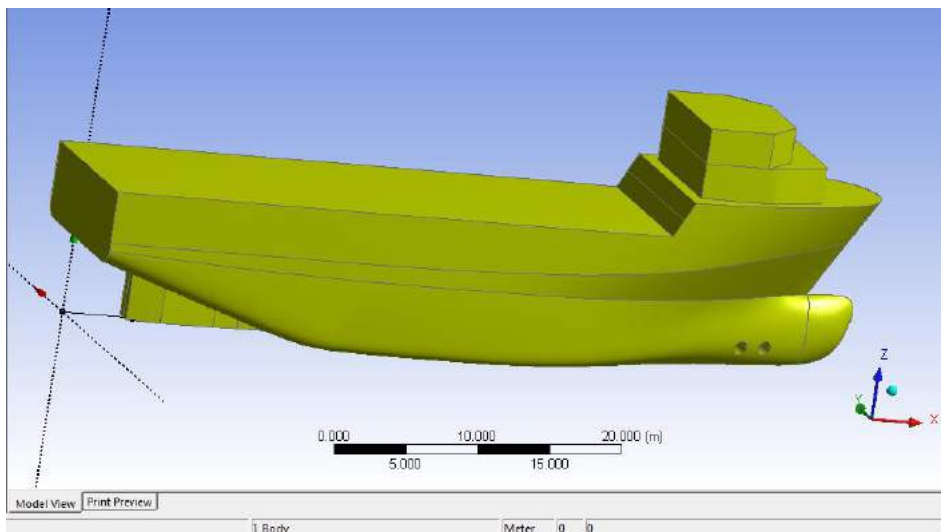
**Gambar 4. 4. Pemodelan 3D Kapal dengan Maxsurf Modeler Advanced
Tampak Belakang**

Setelah itu, model 3D kapal dikonversikan dari bentuk surface menjadi solid / Parasolid dengan menggunakan software seperti solidworks, rhinos, dan inventor, bahkan Ansys. Hal ini dimaksudkan agar model dapat dimasukkan

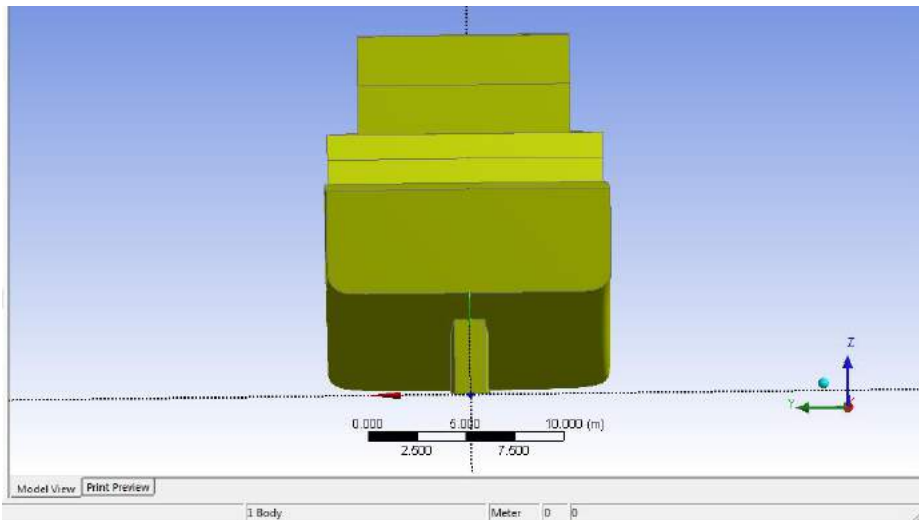
dalam program *Computational Fluid Dynamics* untuk dapat dirunning sesuai dengan parameter yang ada. Proses ini memerlukan ketelitian yang sangat besar dikarenakan harus memastikan seluruh bagian dari kapal sudah menjadi solid. Proses dalam pembuatan dalam solidworks dan ansys dapat dilihat pada gambar – gambar berikut.



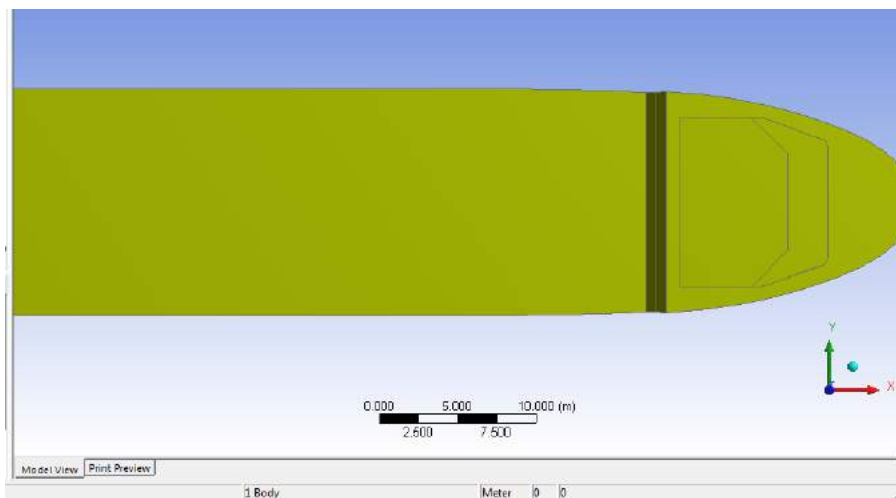
Gambar 4. 5. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Depan



Gambar 4. 6. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Samping



Gambar 4. 7. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Belakang



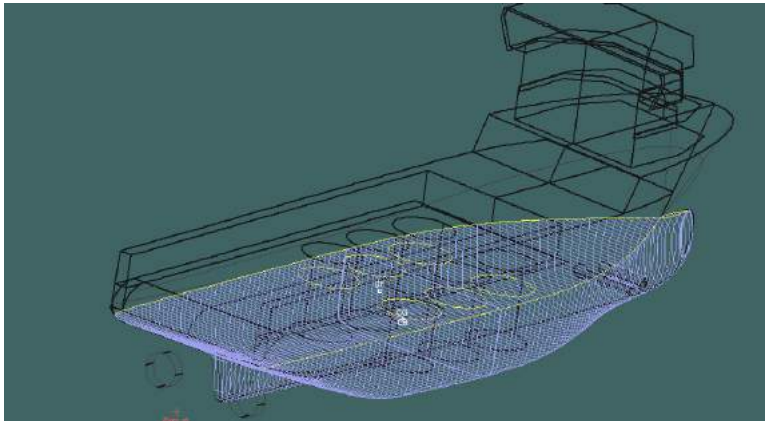
Gambar 4. 8. Pemodelan 3D Kapal Solid Tampak Atas

4.3. Analisa Simulasi Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State)

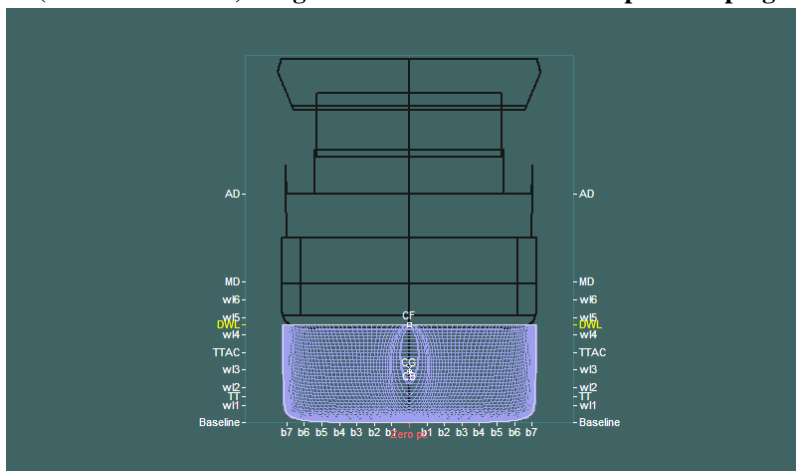
Langkah selanjutnya setelah model geometri selesai dikerjakan pada maxsurf modeler advanced, model geometri dihitung tahanan kapal pada perairan tenang dengan menggunakan *software maxsurf resistance* untuk mengetahui seberapa besar tahanan kapal dengan model geometri yang dibuat dibandingkan dengan hitungan manual tahanan kapal tersebut pada perairan tenang secara *real*.

a. Menggunakan Holtrop Maxsurf Resistance (Empiris)

Penghitungan pada software juga menggunakan parameter – parameter tertentu, dan pilihan pendekatan perhitungan yang digunakan untuk menghitung tahanan, seperti Holtrop, Meinenn, Ghuldammer Harvald, dll. Pemilihan metode pendekatan perhitungan tahanan kapal didasarkan oleh jenis / tipe kapal, dan juga spesifikasi dari formula / pendekatan itu sendiri. Hal tersebut merupakan bentuk validasi data awal, yang menunjukkan pendekatan geometri model dengan kapal *real* sama atau tidak jauh berbeda. Pada tahap ini metode penghitungan yang dipilih adalah metode Holtrop, hal tersebut dikarenakan karakteristik kapal dengan satu lambung (*monohull*) sangat cocok untuk menggunakan metode holtrop tersebut.

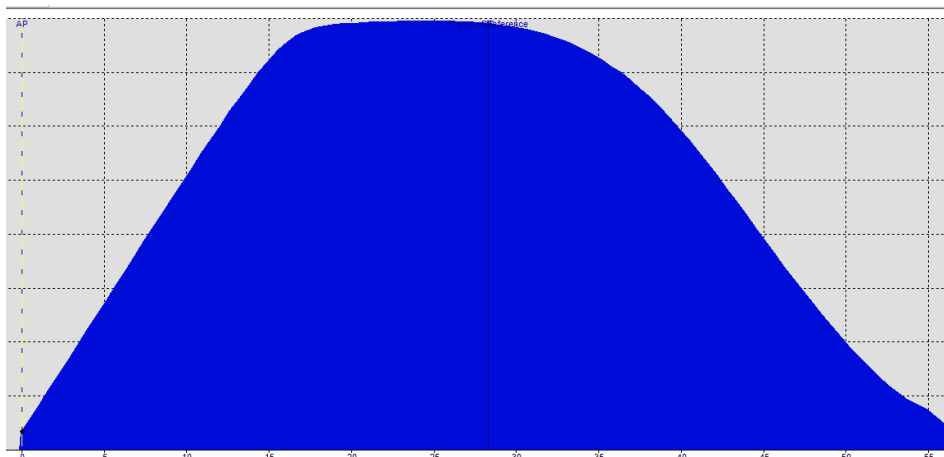


Gambar 4. 9. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance Tampak Samping



Gambar 4. 10. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance Tampak Depan

Gambar diatas menunjukkan luasan surface yang tercelup air pada saat tinggi air sama dengan draft yang ditentukan pada kapal, dengan kondisi perairan tenang.



Gambar 4. 11. Penghitungan Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Maxsurf Resistance

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi grafik bagian kapal yang tercelup air menurut station kapal tersebut. Ilustrasi diatas menunjukkan bahwa bagian station tengah kapal paling banyak tercelup didalam air.

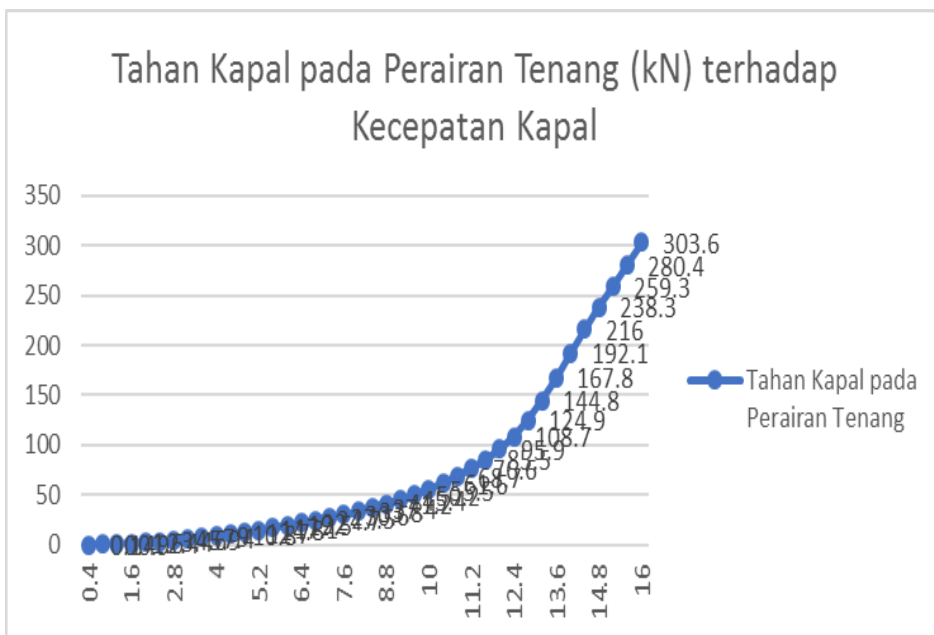
Hasil dari simulasi penghitungan tahanan kapal pada keadaan perairan tenang menggunakan kecepatan yang divariasikan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1. Data Hasil Simulasi Perhitungan Tahanan Kapal Perairan Tenang

Speed (Knot)	Froude No. LWL	Froude No. Vol	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
0	0	0	--	--
0.4	0.009	0.017	0.1	0.044
0.8	0.017	0.035	0.4	0.318
1.2	0.026	0.052	0.9	1.023
1.6	0.035	0.069	1.6	2.351
2	0.044	0.087	2.4	4.489
2.4	0.052	0.104	3.4	7.622
2.8	0.061	0.121	4.6	11.933
3.2	0.07	0.139	5.9	17.6

3.6	0.079	0.156	7.4	24.795
4	0.087	0.173	9	33.687
4.4	0.096	0.191	10.8	44.441
4.8	0.105	0.208	12.7	57.216
5.2	0.113	0.225	14.8	72.17
5.6	0.122	0.243	17.1	89.461
6	0.131	0.26	19.5	109.249
6.4	0.14	0.277	22	131.711
6.8	0.148	0.295	24.7	157.049
7.2	0.157	0.312	27.5	185.516
7.6	0.166	0.329	30.6	217.438
8	0.175	0.347	33.8	253.254
8.4	0.183	0.364	37.4	293.549
8.8	0.192	0.381	41.2	339.109
9.2	0.201	0.399	45.4	390.951
9.6	0.209	0.416	50.2	450.327
10	0.218	0.433	55.5	519.015
10.4	0.227	0.451	61.6	599.459
10.8	0.236	0.468	68.7	693.641
11.2	0.244	0.485	76.6	802.319
11.6	0.253	0.503	85.5	927.51
12	0.262	0.52	95.9	1076.207
12.4	0.27	0.537	108.7	1260.806
12.8	0.279	0.555	124.9	1495.23
13.2	0.288	0.572	144.8	1787.894
13.6	0.297	0.589	167.8	2134.353
14	0.305	0.607	192.1	2516.016
14.4	0.314	0.624	216	2909.144
14.8	0.323	0.641	238.3	3298.711
15.2	0.332	0.659	259.3	3686.812
15.6	0.34	0.676	280.4	4091.839
16	0.349	0.693	303.6	4542.85

Hasil tersebut, terutama pada kecepatan service, sesuai dengan perhitungan tahanan kapal dalam keadaan sebenarnya yaitu sebesar 95.9 kN (kilo Newton) pada keadaan perairan tenang.

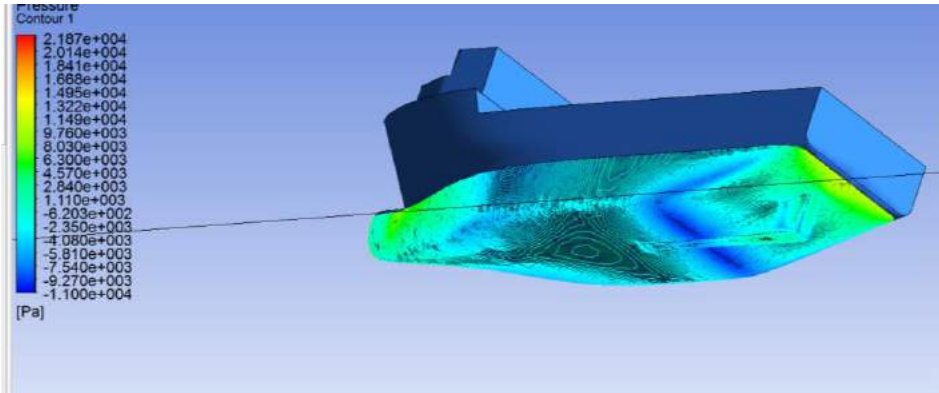


Gambar 4. 12. Grafik Tahanan Kapal pada Perairan Tenang terhadap Kecepatan Kapal (Empiris)

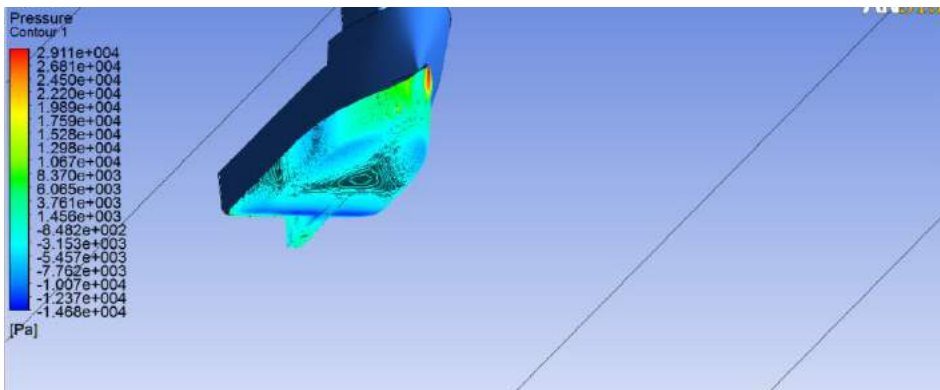
Grafik hasil tahanan kapal terhadap kecepatan kapal pada perairan tenang menunjukkan peningkatan jumlah tahanan berbanding lurus dengan bertambahnya kecepatan kapal. Hal ini membuktikan bahwa hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan kapal adalah hubungan eksponensial yang berbanding lurus.

b. Menggunakan Pendekatan Numerik (CFD) pada Perairan Tenang / *Still Water State*

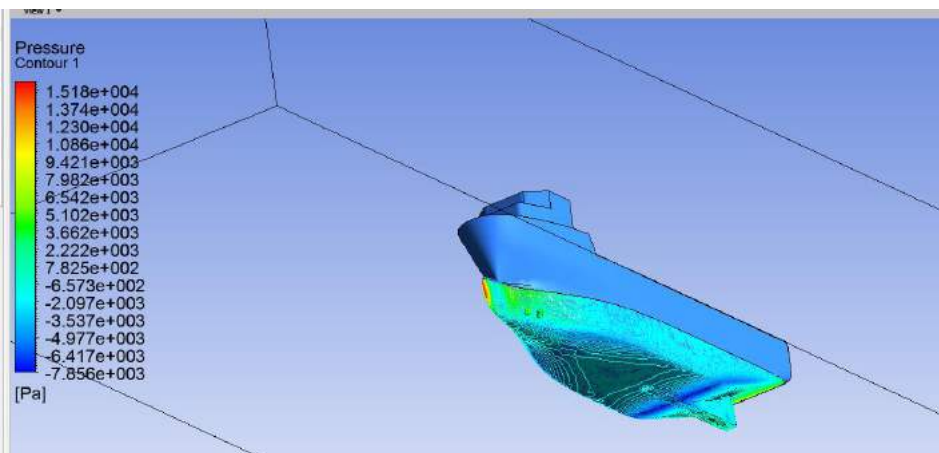
Perhitungan pada keadaan still water state juga menggunakan software CFD untuk kemudian divalidasi dengan hasil perhitungan empiris menggunakan Maxsurf Resistance. Setelah divalidasi, hasil – hasil tersebut akan dijadikan acuan pada perbandingan tahanan awal dengan tahanan gelombang (menggunakan BN) untuk selanjutnya dikonversikan menjadi *speed loss* / kerugian kecepatan. Berikut merupakan hasil simulasi menggunakan pendekatan numerik CFD pada perairan tenang.



Gambar 4. 13. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Samping



Gambar 4. 14. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Depan

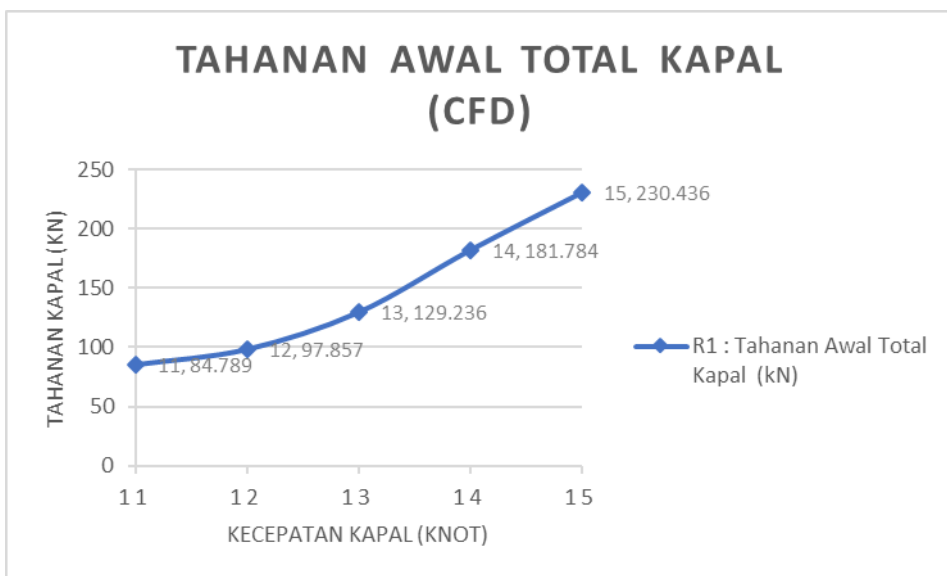


Gambar 4. 15. Simulasi Tahanan Kapal pada Keadaan Perairan Tenang (Still Water State) dengan Software CFD Tampak Bawah

Berikut merupakan tabel dan grafik hasil simulasi CFD pada perairan tenang.

Tabel 4. 2. Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD)

No.	V : Kecepatan Kapal (Knot)	R1 : Tahanan Awal Total Kapal (kN)
1	11	84.789
2	12	97.857
3	13	129.236
4	14	181.784
5	15	230.436

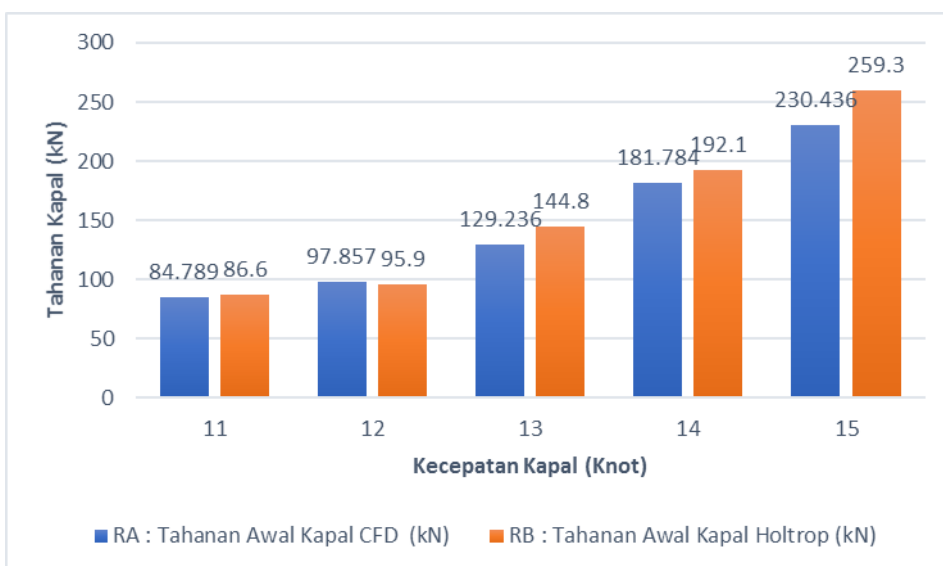


Gambar 4. 16. Grafik Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD)

Setelah dilakukan pendekatan dengan dua metode, yaitu numerik dan empiris dalam menentukan tahanan awal kapal pada perairan tenang. Dilakukan validasi nilai yang diberi Batasan yaitu tidak memiliki selisih >15% antara hasil kedua pendekatan tersebut. Berikut merupakan grafik dan tabel perbandingan tahanan awal dengan menggunakan metode numerik, dan empiris.

Tabel 4. 3. Validasi Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD & Holtrop)

No.	V : Kecepatan Kapal (Knot)	RA : Tahanan Awal Kapal CFD (kN)	RB : Tahanan Awal Kapal Holtrop (kN)	Selisih (%)
1	11	84.789	86.6	2%
2	12	97.857	95.9	2%
3	13	129.236	144.8	11%
4	14	181.784	192.1	5%
5	15	230.436	259.3	11%



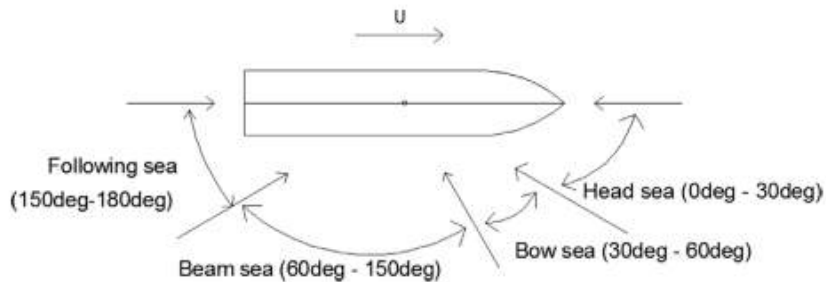
Gambar 4. 17. Grafik Perbandingan Tahanan Awal Total Kapal pada Perairan Tenang (Simulasi CFD & Holtrop)

Hasil validasi diatas menunjukkan bahwa selisih nilai antara pendekatan empiris dengan menggunakan holtrop pada Maxsurf Resistance, dengan pendekatan numerik menggunakan software CFD < 15%, sehingga dapat dikatakan nilai pada analisa CFD valid dan memenuhi kriteria.

4.4. Analisa Penghitungan Tahanan Tambahan & Speed Loss Menggunakan Metode Kwon (2008)

Proses selanjutnya setelah dilakukan validasi penghitungan tahanan total pada keadaan perairan tenang (*Sea Water State*), Penghitungan tahanan tambahan dan *speed loss* dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan

empiris, yaitu modifikasi metode kwon (2008). Langkah pertama dari metode semi-empiris adalah estimasi tahanan kapal pada keadaan perairan tenang / *still water*. Kemudian diikuti dengan prediksi tahanan tambahan karena kondisi angin dan gelombang.



Gambar 4. 18. Encounter Angle

(Sumber: Lu, R., et al., A semi – empirical ship noperational performance prediction model.Ocean Eng. 2015)

Model Tahanan Tambahan Kwon (2008) adalah metode perkiraan untuk memprediksi kerugian kecepatan (*speed loss*) kapal berdasarkan displacement dengan korelasi tahanan tambahan dalam kondisi cuaca (gelombang teratur dan angin). Keuntungan dari metode ini adalah bahwa hal itu mudah dan praktis untuk digunakan. Efek dari cuaca, dipresentasikan sebagai *speed loss*, dibandingkan dengan *expected speed* pada kondisi perairan tenang (*still water conditions*).

Tabel 4. 4 Koefisien Reduksi Arah

Arah Cuaca	Sudut Datang (Derajat)	Koefisien Reduksi Arah C_B
Head Sea (Regular Wave) and Wind	0-30	$2C_B = 2$
Bow Sea (Regular Wave) and Wind	30-60	$2C_B = 1.7 - 0.03 ((BN - 4)^2)$
Beam Sea (Regular Wave) and Wind	60-150	$2C_B = 0.9 - 0.06 ((BN - 6)^2)$
Followoing Sea (Regular Wave) and Wind	150-180	$2C_B = 0.4 - 0.03 ((BN - 8)^2)$

Pengaruh cuaca, disajikan sebagai kerugian kecepatan, membandingkan kecepatan kapal dalam berbagai kondisi laut yang sebenarnya untuk kecepatan

kapal yang diharapkan (*Expected Speed*) dalam kondisi perairan tenang (*Still Water Conditions*). Hal ini dinyatakan dengan cara berikut menggunakan metode Kwon untuk pemodelan tahanan tambahan (*added resistance*) (Kwon, 2008):

$$\frac{\Delta V}{V_1} 100\% = C_{\beta} C_{CU} C_{form} \quad (4.1)$$

- V1 : Kecepatan kapal pada saat kondisi perairan tenang (normal), dinyatakan dalam m/s.
- V2 : Kecepatan actual kapal pada beaufort number terpilih (kondisi gelombang dan angin), dinyatakan dalam m/s.
- V1 – V2 : V1 - V2 kerugian kecepatan absolut. Dinyatakan dalam m/s.
- C_β : Koefisien reduksi arah, tergantung pada angle / arah dari gelombang dan angin pada Beaufort Number (BN).
- C_u : Koefisien Reduksi Kecepatan, tergantung pada koefisien blok kapal (C_b). Kondisi muat, dan Froude Number (Fn).
- C_{form} : Koefisien Bentuk Kapal (C_{form})

Dan Setelah semua parameter dimasukkan kedalam perhitungan, termasuk data utama (*Main Particular*) kapal, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 5. Data Hasil Perhitungan Kwon

Vs (Knot)	Froude Number	Cu
11.00	0.27	0.76
12.00	0.268	0.78
13.00	0.264	0.81
14.00	0.259	0.86
15.00	0.253	0.92

Rumus: $V_s \sqrt{G \times L}$ (4.2)

V_s : Kecepatan Kapal (m/s)

G : Kecepatan Gravitasi (m/s²)

L : Panjang Kapal (m)

Nilai Cu yaitu menggunakan fungsi dari koefisien blok kapal (C_b) yaitu sebesar 0.65. yang dimasukkan dalam formula sebagai berikut:

$$2.6 - 3.7 \times Fn - 11.6 \times Fn^2$$

Fungsi Cu akan dimasukkan dalam perhitungan C_{form} atau koefisien reduksi bentuk kapal. Froude Number merupakan fungsi daripada kecepatan dengan

akar dari fungsi gravitasi dikalikan dengan panjang kapal. Tiap kecepatan yang berbeda memiliki Froude Number yang berbeda pula, dan hal ini berpengaruh pada salah satu parameter dalam metode Kwon, yaitu C_u . Berikut merupakan hasil dari perhitungan speed lost yang terjadi pada kapal dengan metode Kwon dengan parameter Beaufort Number: 4.

Koefisien reduksi arah (C_β) menggunakan arah dari head sea, yaitu dengan nilai sebagai berikut:

$$2C_\beta = 2 \quad (4.3)$$

C_{form} menggunakan parameter “*all ships (except container ships) in loaded loading condition*” dengan formula sebagai berikut:

$$0.5 \times BN + BN^{6.5} / (2.7 \times \Delta^{2/3}) \quad (4.4)$$

Tabel 4. 6. Data Hasil Perhitungan Kwon pada Beaufort Number: 4

Speed	Encounter Angle		BN	C_β	C_{form}	$\Delta V/V_1$ 100%	V_2 (knot)
	(°)	direction					
11	0	Head Sea	4	1	16.69657583	12.61	9.61
12	0	Head Sea	4	1	16.69657583	12.94	10.45
13	0	Head Sea	4	1	16.69657583	13.60	11.23
14	0	Head Sea	4	1	16.69657583	14.42	11.98
15	0	Head Sea	4	1	16.69657583	15.38	12.69

Tabel tersebut menunjukkan bahwa pengambilan data dalam perhitungan menggunakan metode kwon menggunakan beberapa variable yang telah ditentukan pada bab sebelumnya. Yaitu dengan menggunakan 5 variasi kecepatan. Pada tabel diatas, variable beaufort number yang dipakai adalah pada BN: 4. Hasil tabel tersebut menunjukkan kecepatan yang ada setelah diberikan gelombang yang diwakili dengan Beaufort Number (BN).



Gambar 4. 19. Grafik Ratio Speed Loss Perhitungan Kwon Beaufort Number: 4

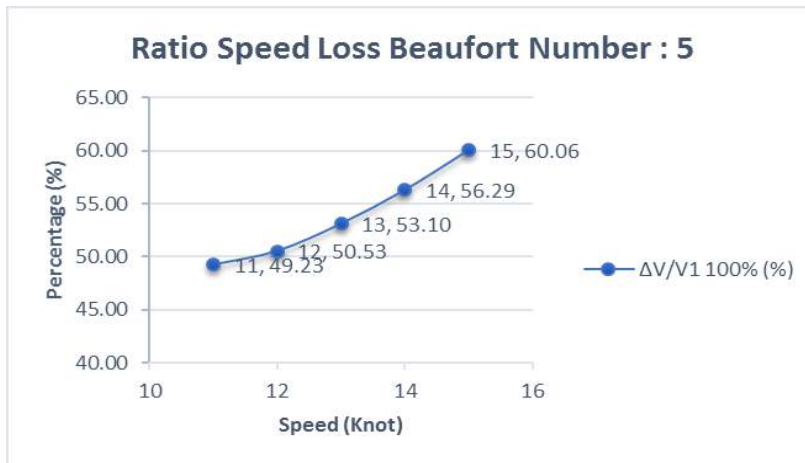
Grafik diatas mengilustrasikan perbandingan ratio speed loss yang terjadi pada kondisi gelombang dengan beaufort Number (BN) 4. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan kapal, speed loss yang terjadi semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan kecepatan sisa kapal yang sebenarnya semakin kecil dikarenakan semakin besarnya kecepatan yang hilang (*speed loss*).

Setelah melakukan penghitungan pada Beaufort Number 4, dilakukan penghitungan juga pada kondisi gelombang Beaufort Number 5, berikut merupakan table hasil penghitungan tersebut.

Tabel 4. 7. Data hasil perhitungan Kwon pada Beaufort Number: 5

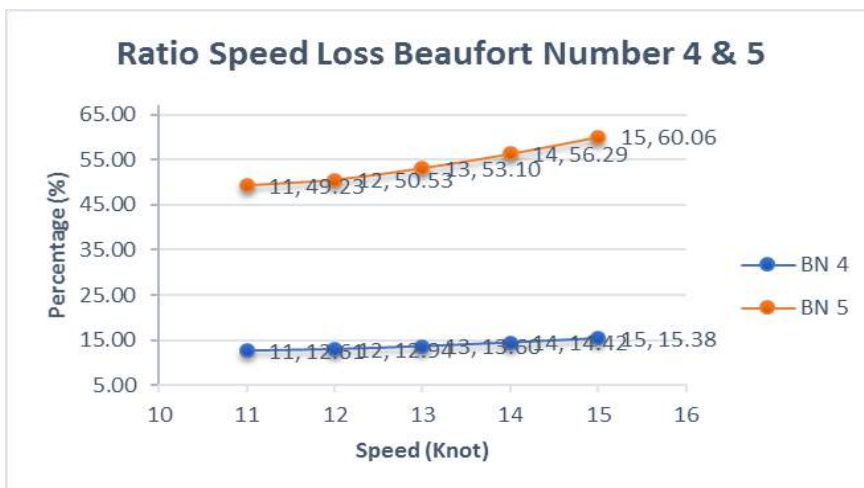
Speed	Encounter Angle		BN	C_{β}	C_{form}	$\Delta V/V1$ 100% (%)	V_2 (knot)
	($^{\circ}$)	direction					
11	0	Head Sea	5	1	65.1803257	49.23	5.58
12	0	Head Sea	5	1	65.1803257	50.53	5.94
13	0	Head Sea	5	1	65.1803257	53.10	6.10
14	0	Head Sea	5	1	65.1803257	56.29	6.12
15	0	Head Sea	5	1	65.1803257	60.06	5.99

Tabel tersebut menunjukkan bahwa pengambilan data dalam perhitungan menggunakan metode kwon menggunakan beberapa variable yang telah ditentukan pada bab sebelumnya, yaitu dengan menggunakan 5 variasi kecepatan. Pada tabel diatas, variable beaufort number yang dipakai adalah pada BN: 5. Hasil tabel tersebut menunjukkan kecepatan yang ada setelah diberikan gelombang yang diwakili dengan Beaufort Number (BN).



Gambar 4. 20. Grafik Ratio Speed Loss Perhitungan Kwon Beaufort Number: 5
 Grafik diatas mengilustrasikan perbandingan ratio speed loss yang terjadi pada kondisi gelombang dengan beaufort Number (BN) 5. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan kapal, speed loss yang terjadi semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan kecepatan sisa kapal yang sebenarnya semakin kecil dikarenakan semakin besarnya kecepatan yang hilang (*speed loss*).

Untuk membandingkan hasil penghitungan menggunakan Metode Kwon, dapat dibandingkan kondisi pada Beaufort Number 4 & 5 untuk mengetahui berapa Ratio Speed Loss & Perbedaan Kecepatan yang terjadi pada tiap kondisi gelombang yang diwakilkan oleh Beaufort Number (BN).

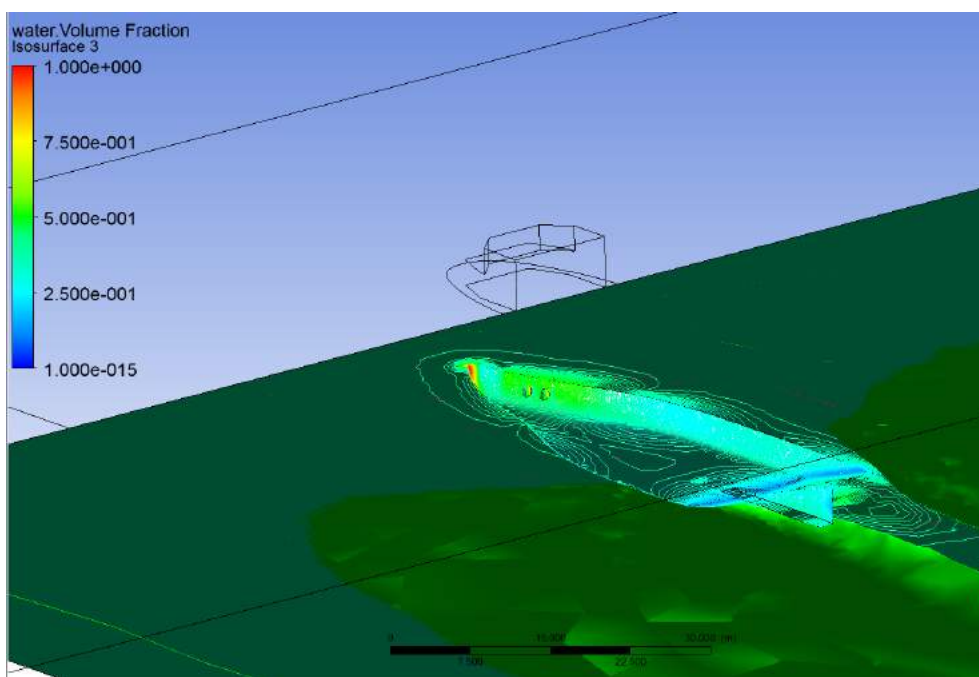


Gambar 4. 21. Grafik Ratio Speed Loss Hasil Perhitungan Kwon BN 4 & BN 5

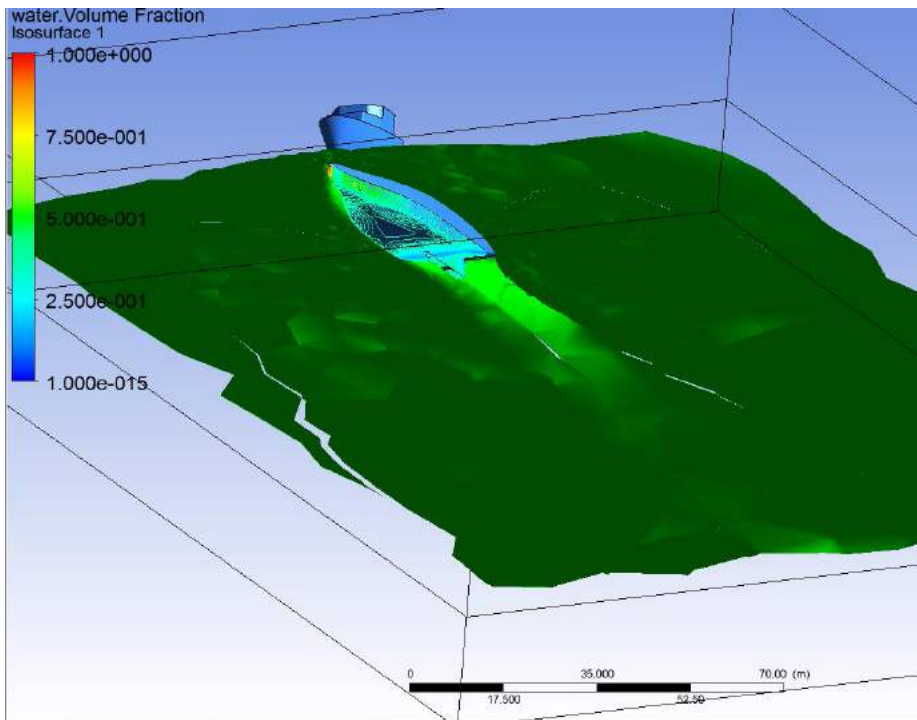
Grafik diatas mengilustrasikan perbandingan ratio kecepatan akhyang hilang akibat kecepatan yang hilang. Nilai kecepatan diatas merupakan kecepatan sesungguhnya yang terjadi ketika kapal berlayar pada kondisi gelombang dan angina yang direpresentasikan oleh Beaufort Number. Terjadi perbedaan yang cukup besar antara kecepatan sisa pada kondisi BN 4 dan BN 5. Hal tersebut menyimpulkan bahwa, kondisi BN 5 menyebabkan kapal kehilangan kecepatan lebih besar daripada dalam kondisi BN 4.

4.5. Hasil Simulasi Model

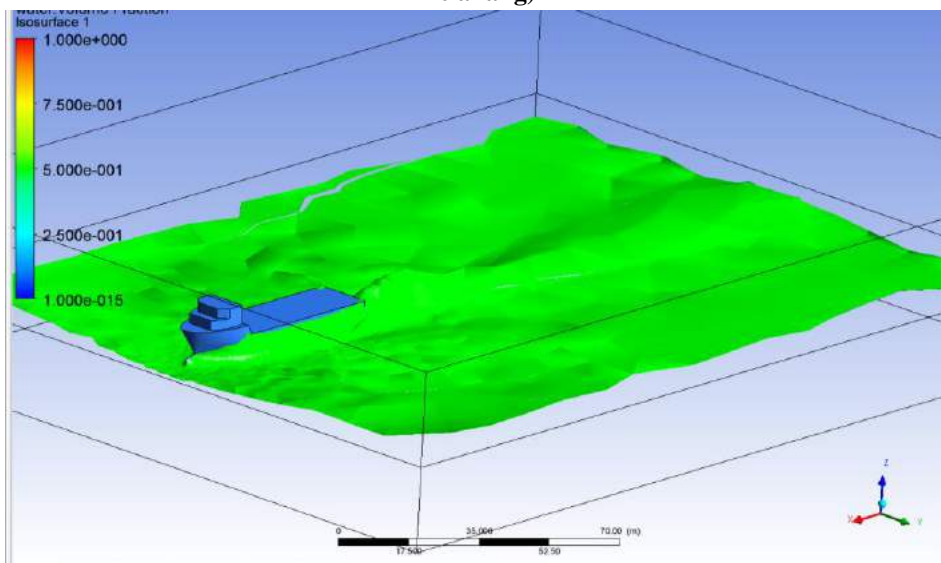
Model yang disimulasikan akan dihasilkan data berupa nilai dari tekanan (Pa), gaya (N), pada setiap model kapal yang telah dibuat. Terdapat 1 model, 2 variasi *Beaufort Number* (BN), dan 5 variasi kecepatan. Data – data tersebut akan digunakan untuk analisa prediksi nilai tahanan tambahan serta speed loss yang terjadi pada kapal. Hasil simulasi tersebut berupa kontur tekanan dan aliran pada model kapal yang telah dibuat. Berikut merupakan adalah hasil simulasi pada kondisi Beaufort Number 4.



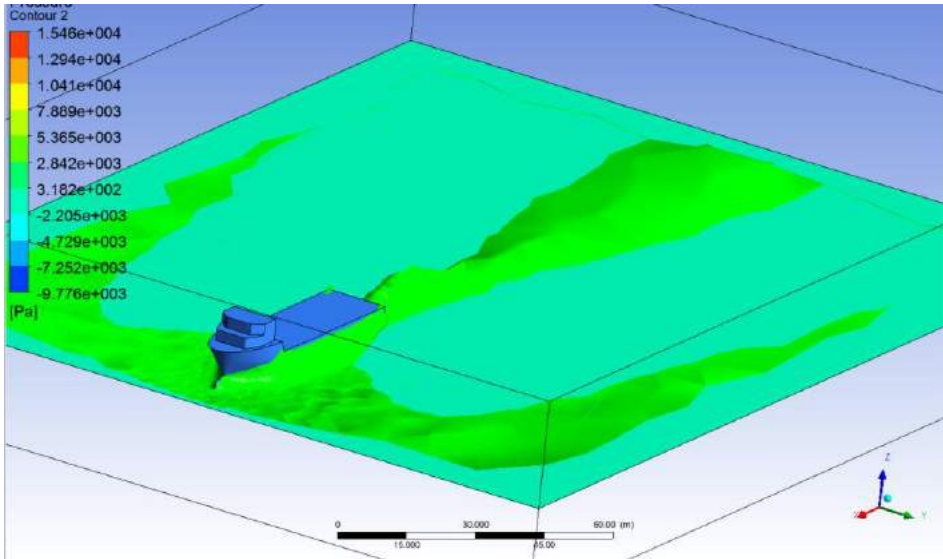
Gambar 4. 22. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 11 Knot BN 4



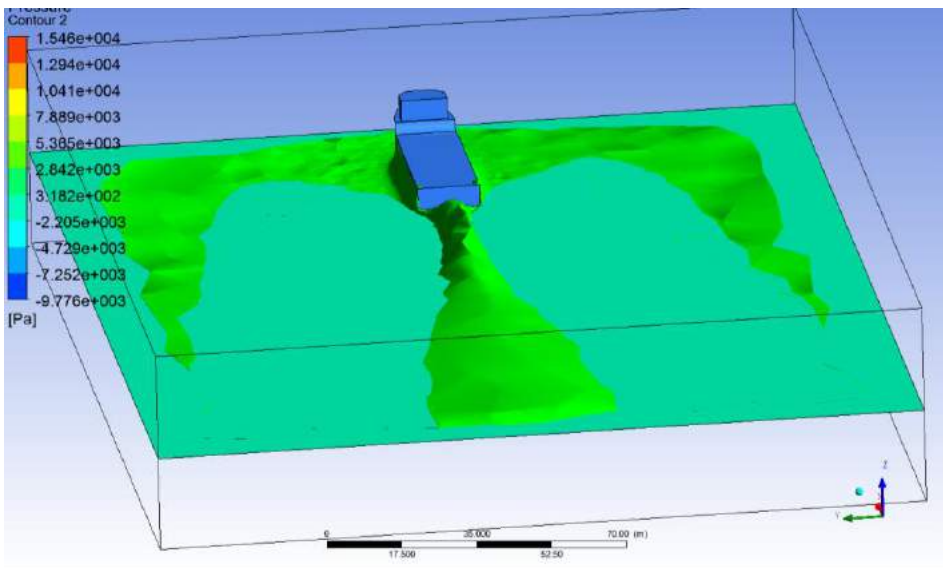
Gambar 4. 23. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 12 Knot BN 4 (Tampak Belakang)



Gambar 4. 24. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 13 Knot BN 4 (Tampak Bawah)



Gambar 4. 25. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 14 Knot BN 4



Gambar 4. 26. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 15 Knot BN 5

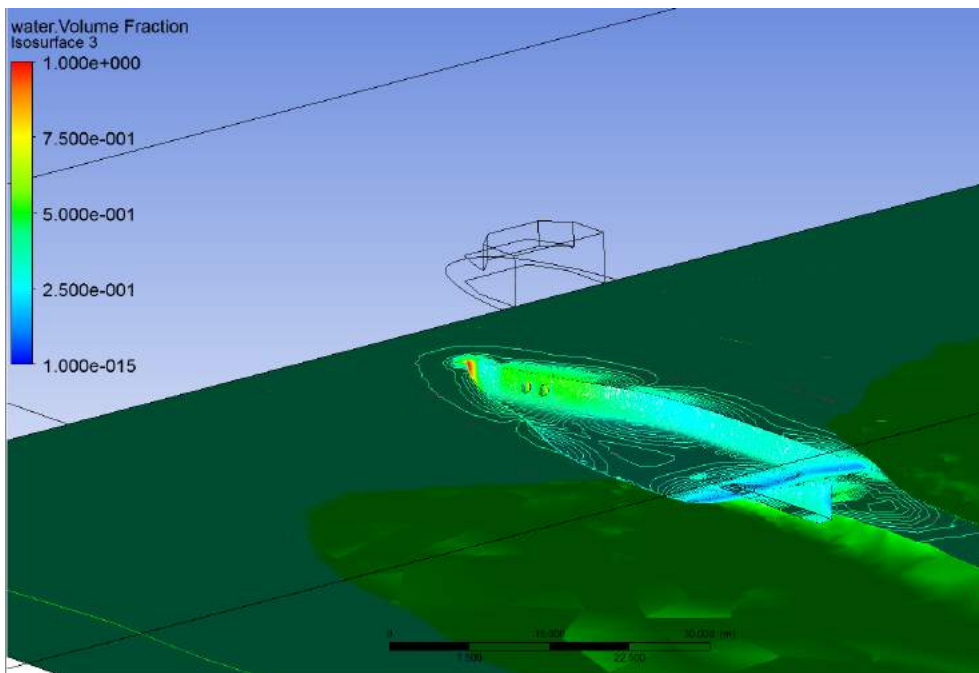
Gambar diatas mengilustrasikan contour dari beberapa hasil simulasi pada kondisi gelombang Beaufort Number 4. Yaitu pada tinggi gelombang 2 m, dan kecepatan angin 8 knot. Kemudian diperoleh data dengan menggunakan function calculator pada software *Computational Fluid Dynamics* yang dipakai dengan cara menentukan lokasi dan parameter nilai yang ingin diperoleh. Dalam simulasi ini, nilai yang ingin diperoleh merupakan interaksi antara aliran udara (*air*), dan air laut (*water*) terhadap kapal yang dapat menyebabkan force ataupun

gaya yang menghambat kapal. Setelah dilakukan ekstraksi data, diperoleh hasil sebagai berikut.

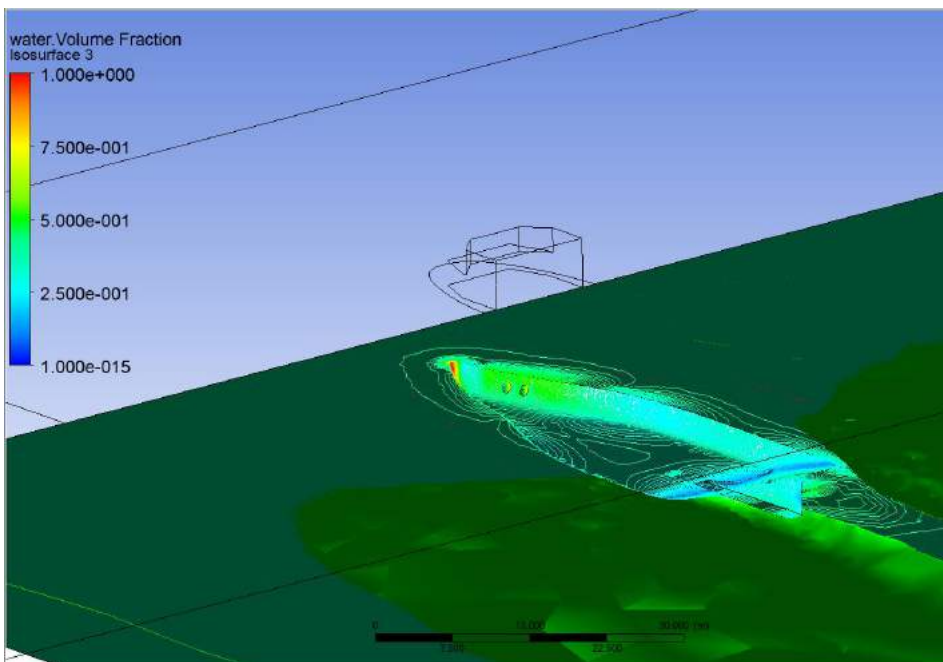
Tabel 4. 8. Hasil Speed Loss & Tahanan Kapal pada kondisi BN 4

Beaufort Number: 4			
V Kapal (Knot)	R2: Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	R1: Tahanan Awal Kapal (kN)	$(1 - R1/R2) \times 100\%$
11	129.223	84.789	34.39%
12	146.973	97.857	33.42%
13	235.556	129.236	45.14%
14	321.905	181.784	43.53%
15	450.646	230.436	48.87%

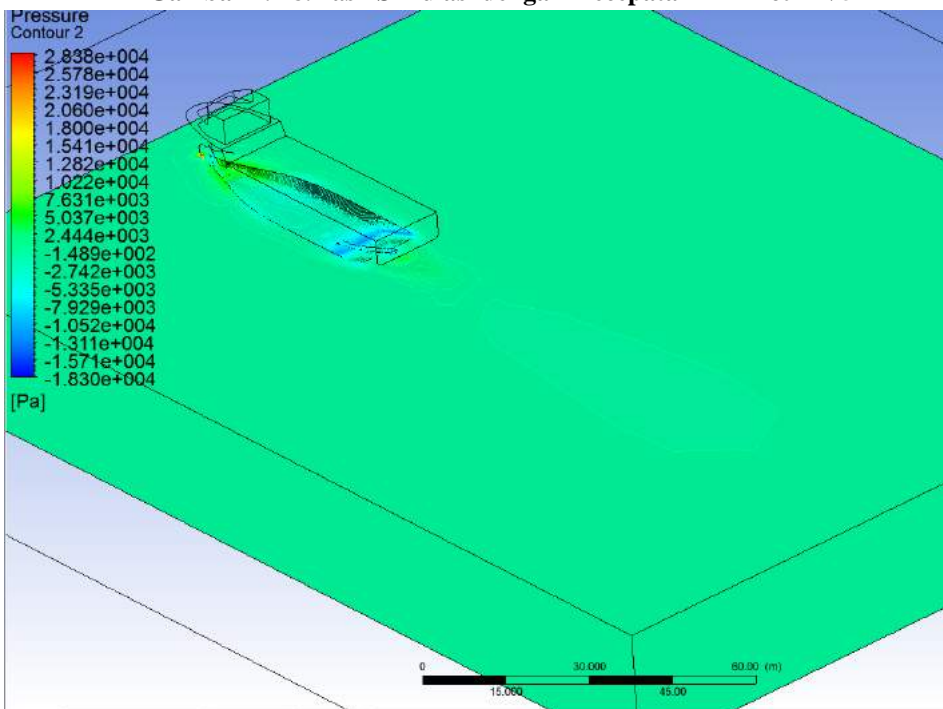
Berikutnya, dilakukan merupakan hasil simulasi pada kondisi gelombang dengan Beaufort Number 5, yaitu pada kondisi kecepatan angin 10 knot, dan tinggi gelombang 3 m. berikut adalah hasil simulasi pada kondisi Beaufort Number 5.



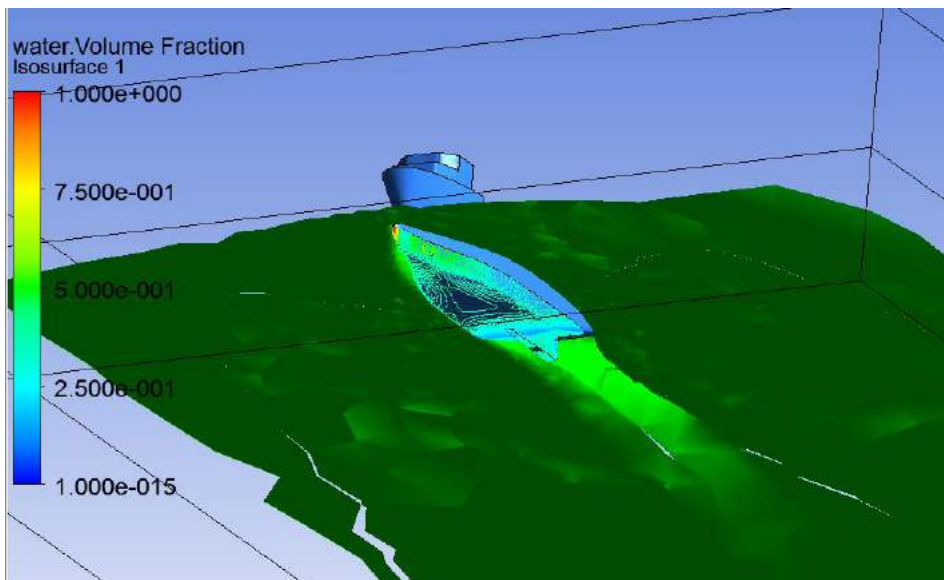
Gambar 4. 27. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 11 Knot BN 5



Gambar 4. 28.Hasil Simulasi dengan Kecepatan 12 Knot BN 5



Gambar 4. 29.Hasil Simulasi dengan Kecepatan 13 Knot BN 5



Gambar 4. 30. Hasil Simulasi dengan Kecepatan 14 Knot BN 5

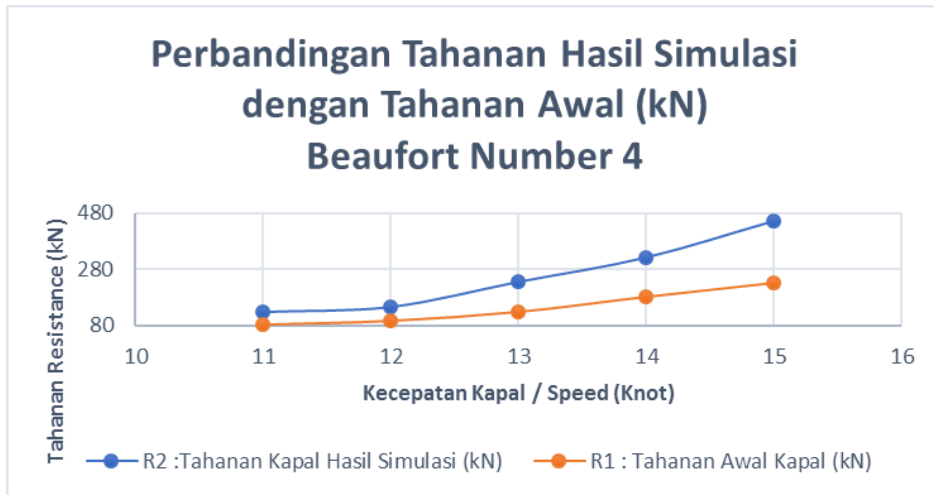
Gambar diatas mengilustrasikan contour dari beberapa hasil simulasi pada kondisi gelombang Beaufort Number 5. Yaitu pada tinggi gelombang 3 m, dan kecepatan angin 10 knot. Kemudian diperoleh data dengan menggunakan function calculator pada software Computational Fluid Dynamics yang dipakai dengan cara menentukan lokasi dan parameter nilai yang ingin diperoleh. Dalam simulasi ini, nilai yang ingin diperoleh merupakan interaksi antara aliran udara (air), dan air laut (water) terhadap kapal yang dapat menyebabkan force ataupun gaya yang menghambat kapal. Setelah dilakukan ekstraksi data, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 9. Hasil Speed Loss & Tahanan Kapal pada kondisi BN 5

Beaufort Number: 5			
Kecepatan Kapal (Knot)	R2: Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	R1: Tahanan Awal Kapal (kN)	$(1 - R1/R2) \times 100\%$
11	190.233	84.789	55.43%
12	220.223	97.857	55.56%
13	350.665	129.236	63.15%
14	482.647	181.784	62.34%
15	665.021	230.436	65.35%

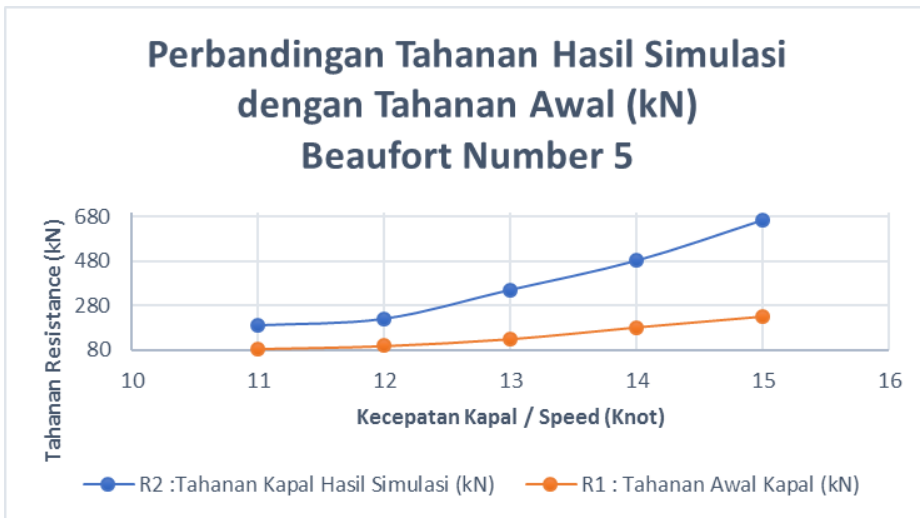
4.1.5 Analisa Data Hasil Simulasi CFD

Hasil simulasi dengan metode numerik menggunakan Computational Fluid Dynamics Software, dengan menggunakan BN 4 & BN 5 sebagai variasi keadaan gelombang serta angin, didapatkan hasil berikut, yaitu perbandingan antara tahanan kapal saat simulasi dan tahanan awal kapal saat perairan tenang, serta perbandingan speed loss ratio antara tiap beaufort number (BN) saat simulasi.



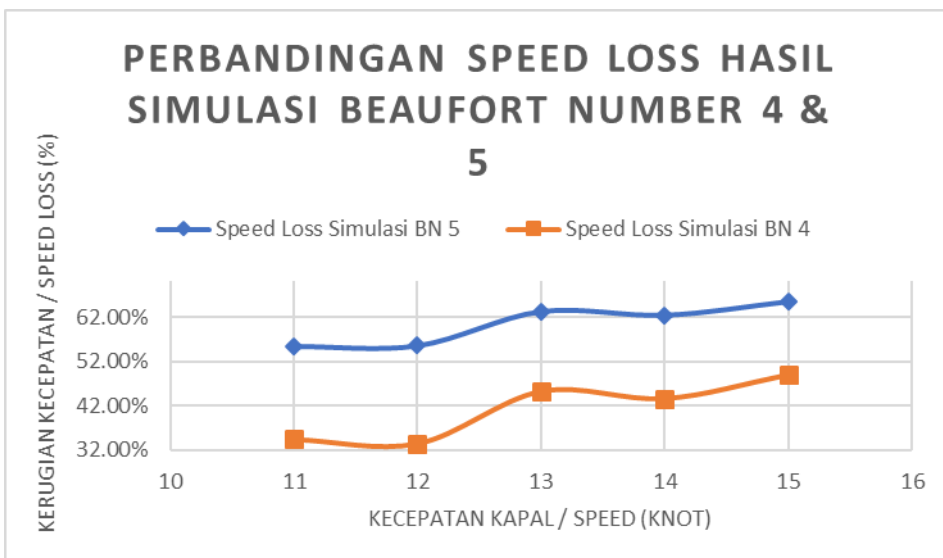
Gambar 4. 31. Grafik Perbandingan Tahanan saat Simulasi dan Tahan Awal pada BN 4

Grafik diatas menunjukkan bahwa Resistance Kapal saat ada gelombang yang diwakilkan dengan Beaufort Number 4, dengan kondisi kapal saat perairan tenang. Perbedaan / margin yang terjadi dapat dikatakan cukup besar dengan satuan kilo newton (kN).



Gambar 4. 32. Grafik Perbandingan Tahanan saat Simulasi dan Tahan Awal pada BN 5

Grafik diatas menunjukkan bahwa Resistance Kapal saat ada gelombang yang diwakilkan dengan Beaufort Number 5, dengan kondisi kapal saat perairan tenang. Perbedaan / margin yang terjadi dapat dikatakan cukup besar dengan satuan kilo newton (kN).



Gambar 4. 33. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi BN 4 & BN 5

Grafik diatas menunjukkan bahwa Resistance Kapal saat ada gelombang yang diwakilkan dengan Beaufort Number 5 lebih besar dibandingkan dengan kondisi pada Beaufort Number 4. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar gelombang dan angin, semakin besar pula kecepatan kapal yang hilang. Perbedaan / margin yang terjadi dapat dikatakan cukup sedikit dengan kisaran 7 – 13 persen (%).

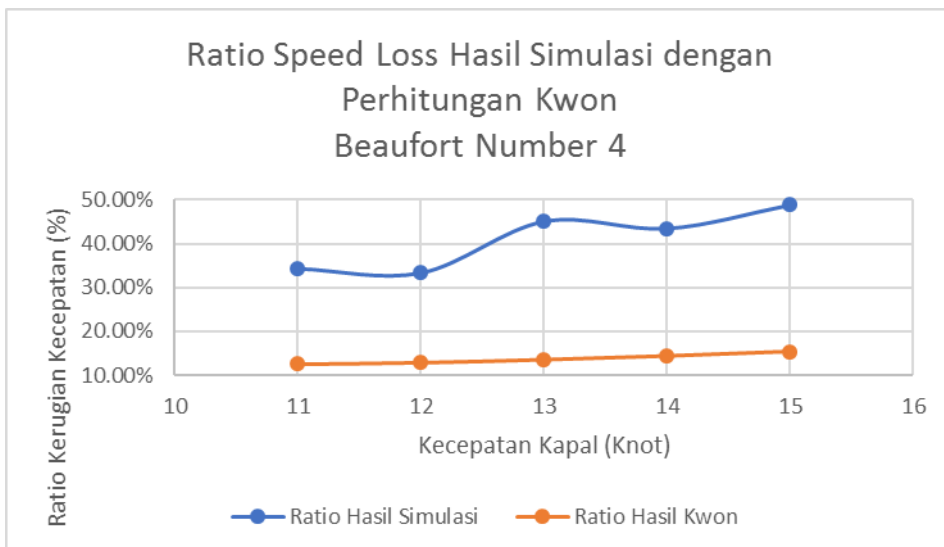
4.6. Pembahasan Perbandingan Metode Empiris & Numerik

Dalam penelitian ini, metode Empiris diwakilkan oleh penggunaan Metode Kwon yang telah dianalisa pada sub – bab analisa tadi, dan juga metode Numerik diwakilkan oleh hasil simulasi menggunakan Computational Fluid Dynamic Software yang juga telah dianalisa pada sub-bab diatas. Hasil perbandingan penghitungan tahanan tambahan kapal dan speed loss yang terjadi akibat gelombang dan angin adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 10. Perbandingan Speed Loss Ratio antara Perhitungan Kwon & Simulasi pada Konidisi Beaufort Number 4

Beaufort Number: 4				
V: Kecepatan Kapal (Knot)	Simulasi Metode Numerik (CFD)	Perhitungan Tahanan Awal	Ratio Speed Loss Simulasi	Ratio Speed Loss Kwon
	R2: Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	R1: Tahanan Awal Kapal (kN)	$(1 - R1/R2) \times 100\%$	$\Delta V/V1 \times 100\%$
11	129.223	84.789	34.39%	12.61%
12	146.973	97.857	33.42%	12.94%
13	235.556	129.236	45.14%	13.60%
14	321.905	181.784	43.53%	14.42%
15	450.646	230.436	48.87%	15.38%

Tabel diatas menunjukkan perbandingan nilai hasil dengan menggunakan pendekatan numerik (simulasi CFD) dan pendekatan empiris (Kwon Method) pada kondisi BN 4, dibantu dengan data penunjang berupa perhitungan tahanan awal kapal pada saat perairan tenang dengan menggunakan metode holtrop. Pada 2 tabel paling kanan terdapat hasil speed loss ratio yang dapat dijadikan perbandingan antara kedua metode tersebut. Hasil selanjutnya dapat dibaca dalam bentuk grafik pada gambar berikut.



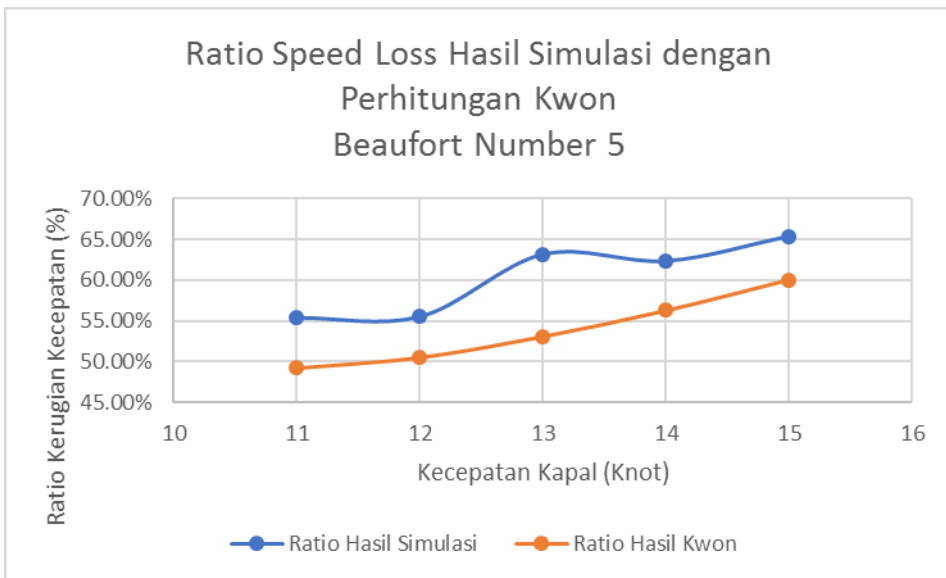
Gambar 4. 34. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi & Metode Kwon kondisi BN 4

Grafik diatas memberikan informasi perbandingan speed loss ratio antara penggunaan pendekatan numerik (simulasi cfd) dan empiris (kwon) pada kondisi BN 4. Dapat dilihat terjadi perbedaan yang terpaut cukup jauh antara kedua hasil tersebut. Speed Loss dengan menggunakan simulasi hasilnya jauh lebih besar daripada ratio yang dihitung menggunakan pendekatan empiris. Hal ini menunjukkan bahwa kapal kehilangan sekian persen (pada tabel) dari kecepatan awalnya.

Tabel 4. 11. Perbandingan Speed Loss Ratio antara Perhitungan Kwon & Simulasi pada Konidis Beaufort Number 5

Beaufort Number: 5				
V: Kecepatan Kapal (Knot)	Simulasi Metode Numerik (CFD) R2: Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	Perhitungan Tahanan Awal R1: Tahanan Awal Kapal (kN)	Ratio Speed Loss Simulasi (1 - R1/R2) X 100%	Ratio Speed Loss Kwon $\Delta V/V1$ 100%
11	190.233	84.789	55.43%	49.23%
12	220.223	97.857	55.56%	50.53%
13	350.665	129.236	63.15%	53.10%
14	482.647	181.784	62.34%	56.29%
15	665.021	230.436	65.35%	60.06%

Tabel diatas menunjukkan perbandingan nilai hasil dengan menggunakan pendekatan numerik (simulasi CFD) dan pendekatan empiris (Kwon Method) pada kondisi BN 5, dibantu dengan data penunjang berupa perhitungan tahanan awal kapal pada saat perairan tenang dengan menggunakan metode holtrop. Pada 2 tabel paling kanan terdapat hasil speed loss ratio yang dapat dijadikan perbandingan antara kedua metode tersebut. Hasil selanjutnya dapat dibaca dalam bentuk grafik pada gambar berikut.



Gambar 4. 35. Grafik Perbandingan Ratio Speed Loss saat Simulasi & Metode Kwon Kondisi BN 5

Grafik diatas memberikan informasi perbandingan speed loss ratio antara penggunaan pendekatan numerik (simulasi cfd) dan empiris (kwon) pada kondisi BN 5. Dapat dilihat terjadi perbedaan yang terpaut cukup dekat antara kedua hasil tersebut. Speed Loss dengan menggunakan simulasi hasilnya sedikit lebih besar daripada ratio yang dihitung menggunakan pendekatan empiris. Hal ini menunjukkan bahwa kapal kehilangan sekian persen (pada tabel) dari kecepatan awalnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka penulis dapat menarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. *Added Resistance* / tahanan tambahan pada kapal berbanding lurus dan memiliki fungsi eksponensial terhadap kecepatan kapal, yaitu rata – rata 50.27 % bertambah pada hasil pendekatan numerik dengan BN 4 & 5, dan rata – rata 33.82% bertambah pada hasil pendekatan empiris dengan BN 4 & 5 dibandingkan dengan tahanan awal.
2. Besarnya ratio *speed loss* / kecepatan hilang dengan menggunakan pendekatan numerik (Simulasi *Computational Fluid Dynamics*) lebih besar rata – rata 27.2% dan 6.52% dibandingkan dengan menggunakan pendekatan empiris (Metode Kwon) pada masing2 keadaan Beaufort Number 4 & 5
3. Semakin besar tahanan tambahan, khususnya pada penelitian ini yang diwakili oleh Beaufort Number (BN) menyebabkan semakin besar juga *speed loss* / kecepatan yang hilang pada kapal saat berlayar.

5.2 Saran

Dari analisa hasil simulasi – simulasi yang telah dilakukan, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Untuk kedepannya penulis menyarankan untuk mempertimbangkan hal – hal sebagai berikut:









1. Perlu dilakukan eksperimen dalam skala laboratorium untuk membandingkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan.
2. Perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan software yang berbeda untuk membandingkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan.
3. Menambah banyaknya iterasi pada saat melakukan simulasi dengan menggunakan software agar mendapatkan hasil yang lebih valid.
4. Lebih menyiapkan space dalam schedule dalam menghadapi error yang tidak dapat diprediksi, sehingga dapat menghasilkan hasil simulasi dengan kuantitas, dan kualitas yang lebih baik.





DAFTAR PUSTAKA


- [1] Lu, R., et al., “*A semi – empirical ship noprational performance prediction model.Ocean Eng*”. 2015.
- [2] Carlton J.S., “*Marine Propellers and Propulsion : 2nd edition*”. Elsevier Ltd., 2007
- [3] Sv. Aa. Harvald. “*Resistance and Propulsion of Ship (Translate Tahanan dan Propulsi Kapal)*”. 1983.
- [4] Lewis, Edward V. “*Principles of Naval Architecture Volume II : Resistance, Propulsion, and Vibration*” Society of Naval Architechts & Marine Engineers. 1998.
- [5] M.-G. Seo e al. “*Numerical Analysis of Added Resistance on Ships in Short Waves*” Ocean Engineering 87 2014.

LAMPIRAN

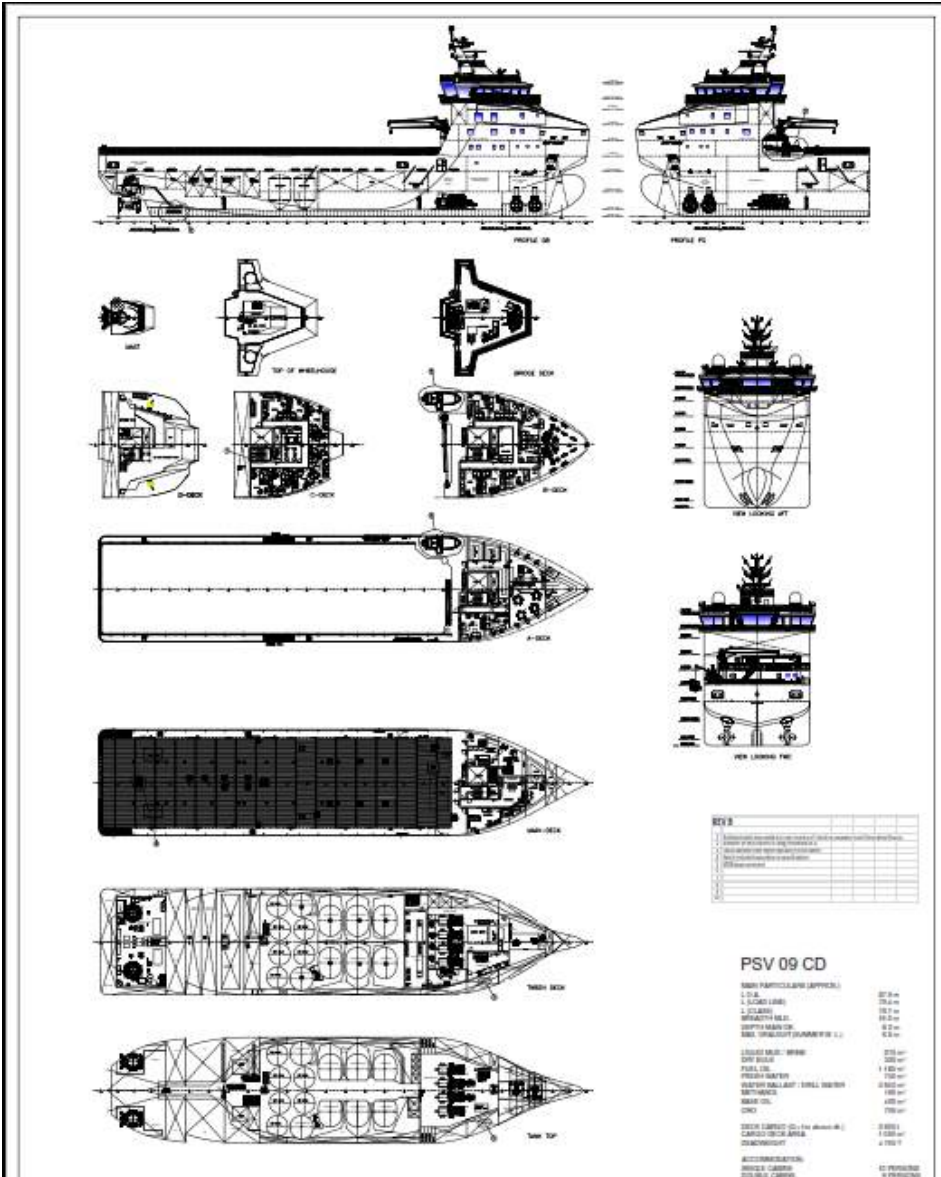
Beaufort Number Value

B N	Description	Wind Speed	Wave height	Sea conditon	Pic
0	Calm	<1.1 km/h	0 m	Flat	
		<0.7 mph			
		<0.6 knot	0 ft		
		<0.3 m/s			
1	Light Air	1.1 - 5.5 km/h	0 - 0.2 m	Ripples without crest	
		0.7-3.4 mph	0 - 1 ft		
		0.6 - 3 knot			
		0.3 - 1.5 m/s			
2	Light Breeze	5.5 - 11.9 km/h	0.2 - 0.5 m	Ripples without crest	
		3.4- 7.4 mph	1 - 2 ft		
		3 - 6.4 knot			
		1.5 - 3.3 m/s			
3	Gentle Breeze	11.9 - 19.7 km/h	0.5 - 1 m	large wavelets. Crest begin to break.	
		7.4 - 12.2 mph	2 - 3.5 ft		
		6.4 - 10.6 knot			
		3.3 - 5.5 m/s			
4	Moderate Breeze	19.7 - 28.7 km/h	1 - 2 m	Small wave with breaking crest.	
		12.2 - 17.9 mph	3.5 - 6 ft		
		10.6 - 15.5 knot			
		5.5 - 8 m/s			
5	Fresh Breeze	28.7 - 38.8 km/h	2 - 3 m	Moderate waves of some length.	
		17.9 - 24.1 mph	6 - 9 ft		
		15.5 - 21 knot			
		8 - 10.8 m/s			
6	Strong Breeze	38.8 - 49.9 km/h	3 - 4 m	Long wave begin to form, white foam crest	
		24.1 - 31 mph	9 - 13 ft		
		21 - 26.9 knot			
		10.8 - 13.9 m/s			
7	High Wind,	49.9 - 61.8 km/h	4 - 5.5 m	Sea heaps up. Some	
		31 - 38.4 mph			

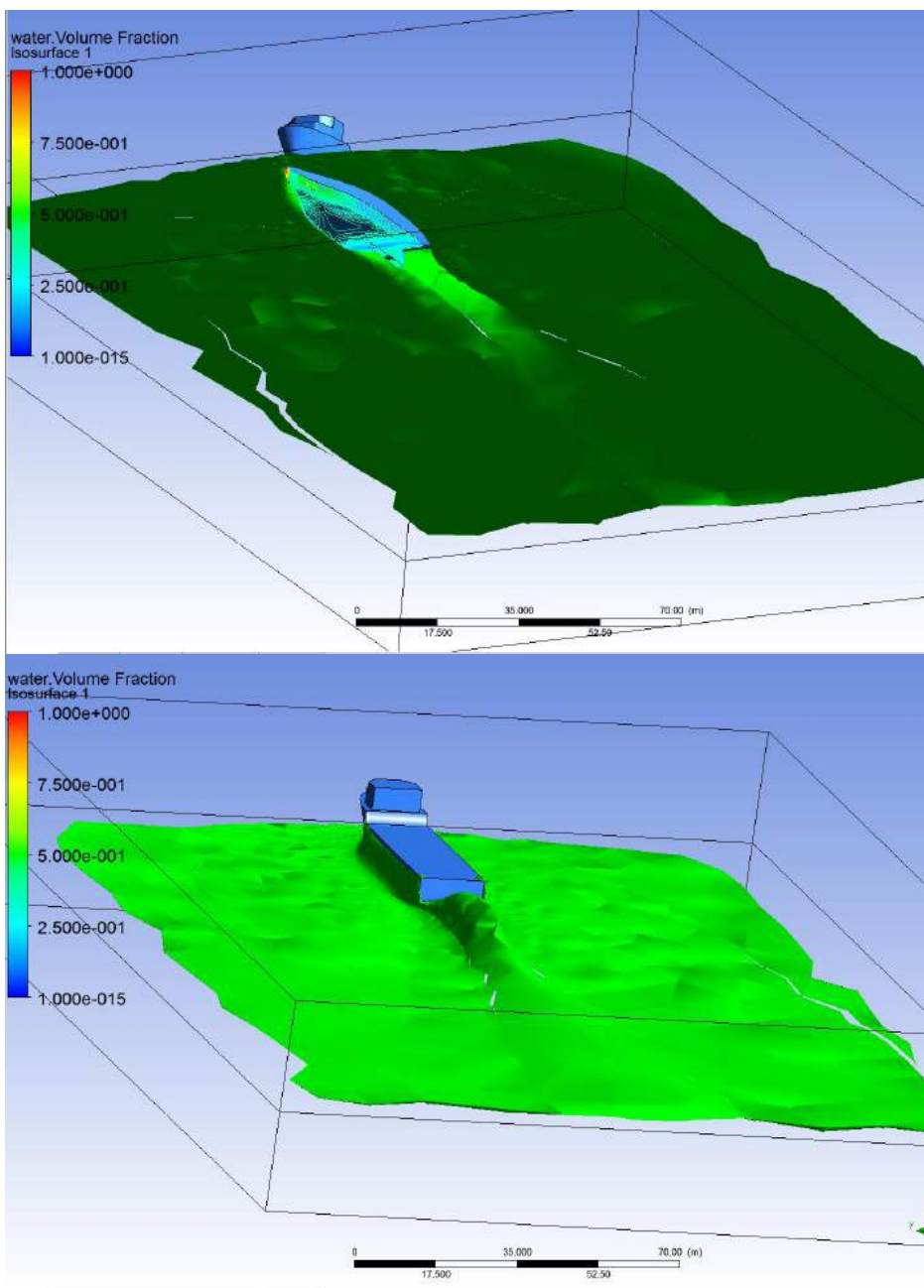
	Moderate gale, near gale	26.9 - 33.4 knot	13 - 19 ft	foam from breaking waves is blown into streaks along wind direction.	
		13.9 - 17.2 m/s			
8	gale, Fresh gale	61.8 - 74.6 km/h	5.5 - 7.5 m	Sea heaps up. Some foam from breaking waves is blown into streaks along wind direction.	
		38.4 - 46.3 mph			
		33.4 - 40.3 knot	18 - 25 ft		
		17.2 - 20.7 m/s			
9	Strong / severe gale	74.6 - 88.1 km/h	7.5 - 10 m	High waves whose crests sometimes roll over. Dense foam is blown along wind direction.	
		46.3 - 54.8 mph			
		40.3 - 47.6 knot	23 - 32 ft		
		20.7 - 24.5 m/s			
10	Storm, whole gale	88.1 - 102.4 km/h	9 - 12.5 m	Very high waves with overhanging crests. Large patches of foam from wave crests give the sea a white appearance.	
		54.8 - 63.6 mph			
		47.6 - 55.3 knot	29 - 41 ft		
		24.5 - 28.4 m/s			
11	violent storm	102.4 - 117.4 km/h	11.5 - 16 m	Exceptionally high waves. Very large patches of foam, driven before the wind, cover much of the sea surface.	
		63.6 - 72.9 mph			
		55.3 - 63.4 knot	37 - 52 ft		
		28.4 - 32.6 m/s			

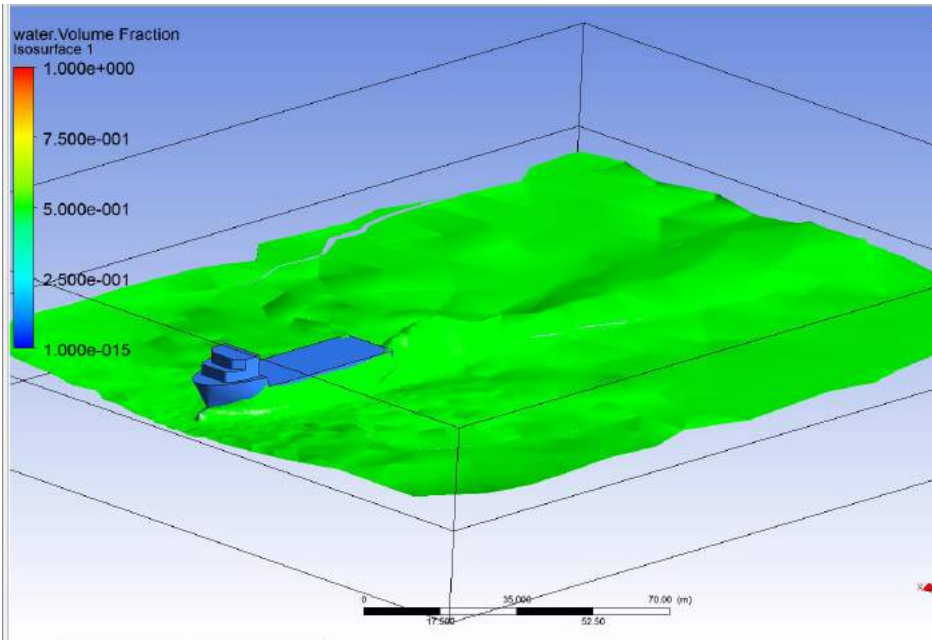
12	Hurricane	≥ 117.4 km/h	≥ 14 m	Huge waves. Sea is completely white with foam and spray. Air is filled with driving spray, greatly reducing visibility.	
		≥ 72.9 mph			
		≥ 63.4 knot	≥ 46 ft		
		≥ 32.6 m/s			

General Arrangement Kapal PSV ASL Harmony

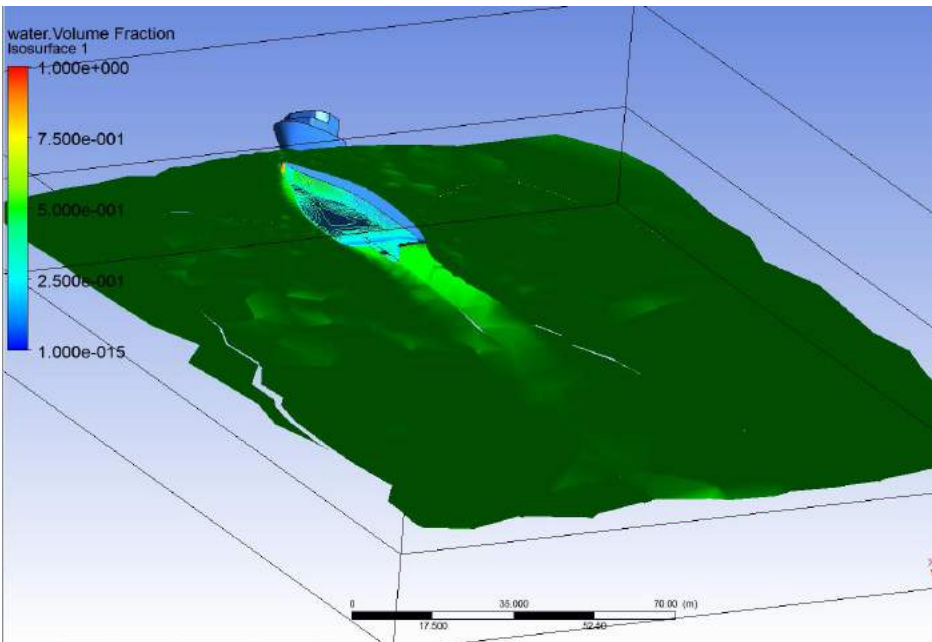


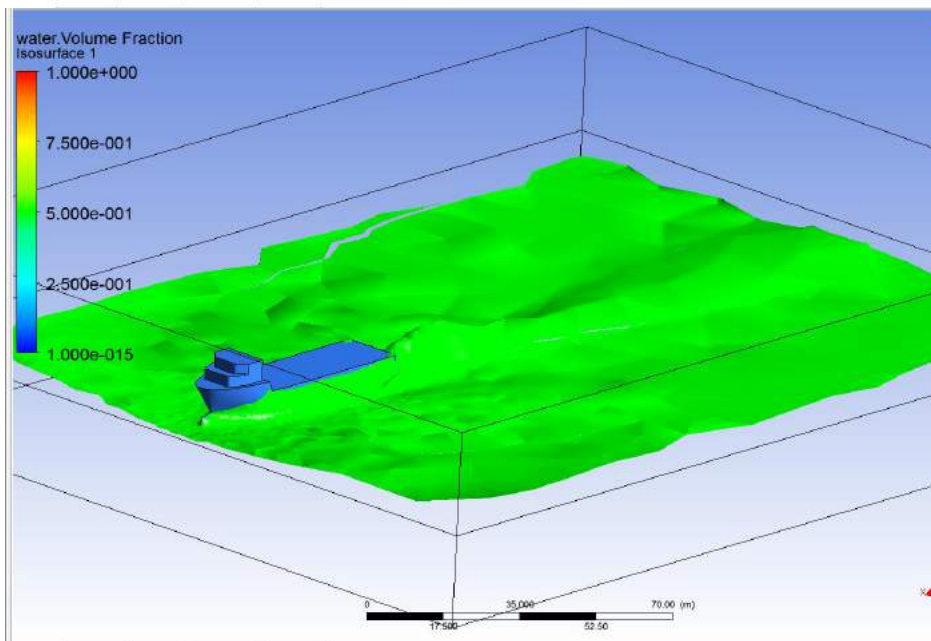
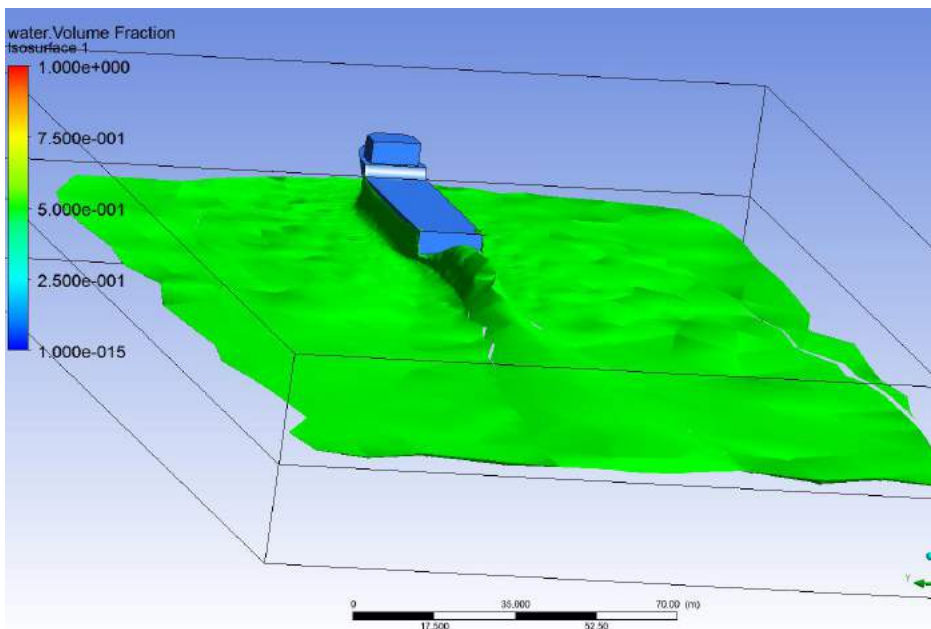
Hasil Simulasi CFD BN 4 – V 11 Knot



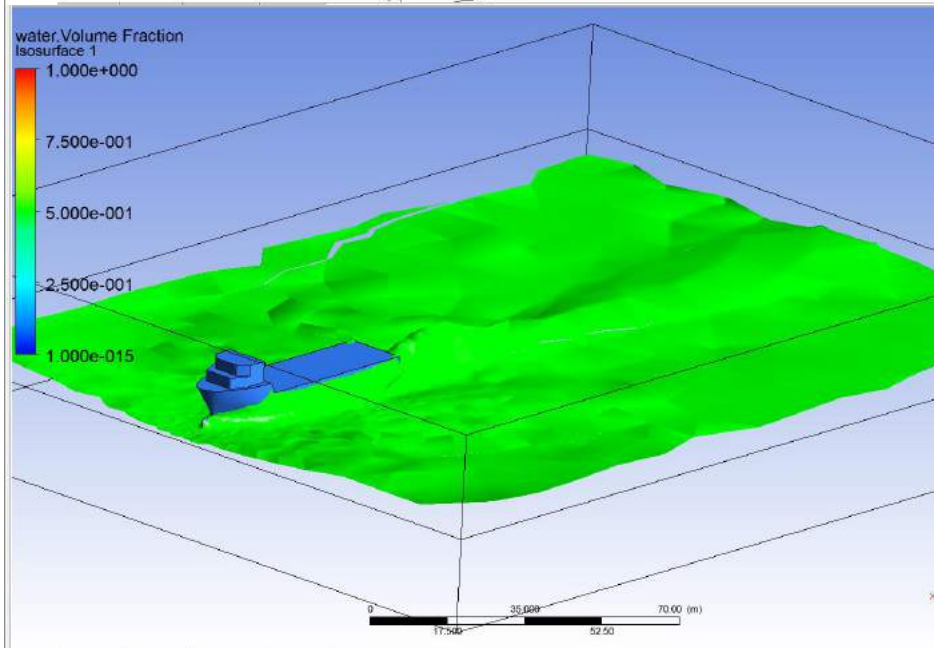
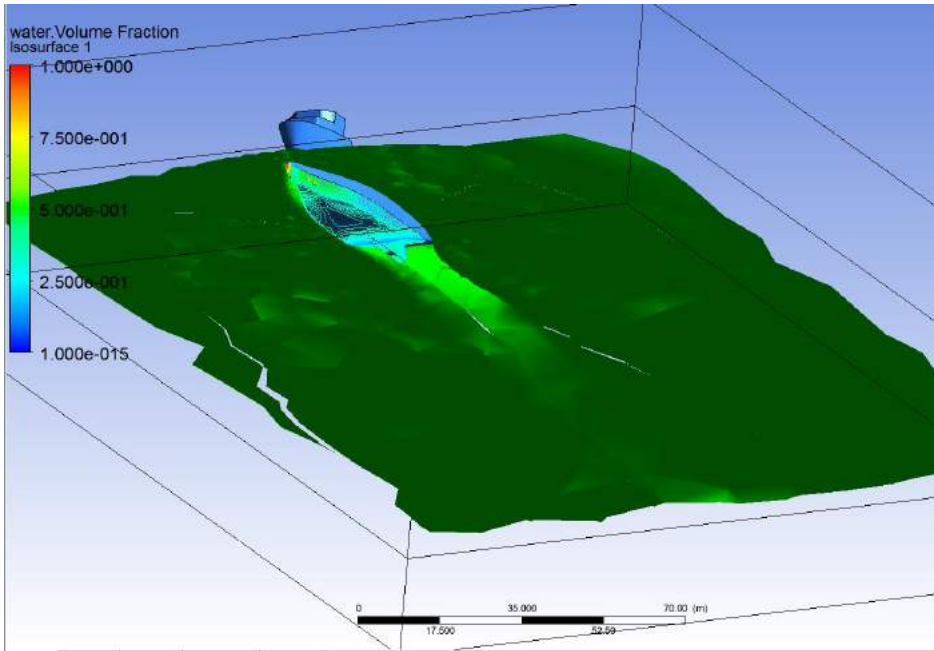


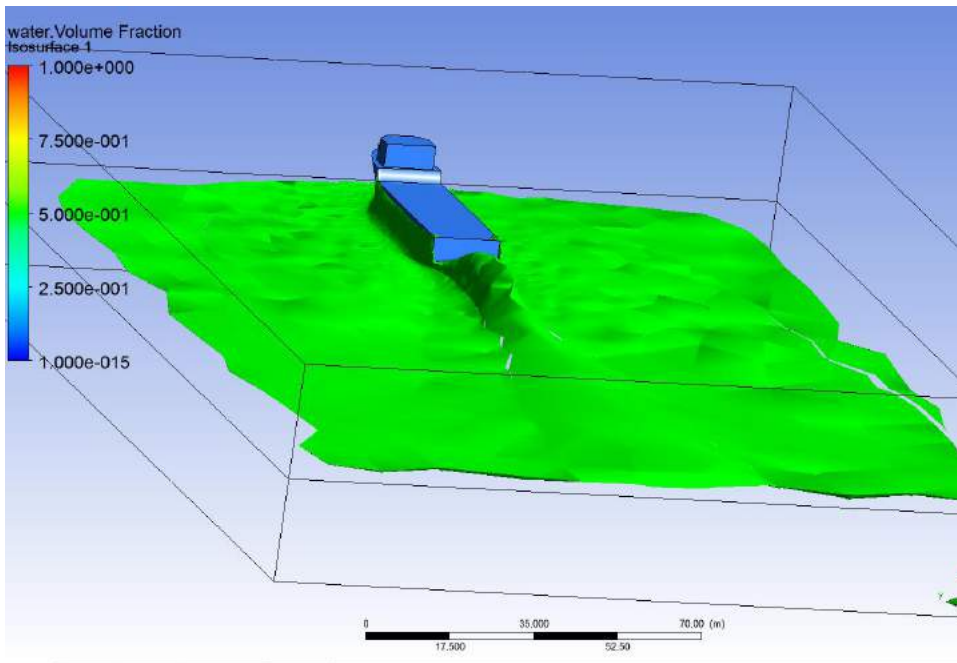
Hasil Simulasi CFD BN 4 – V 12 Knot



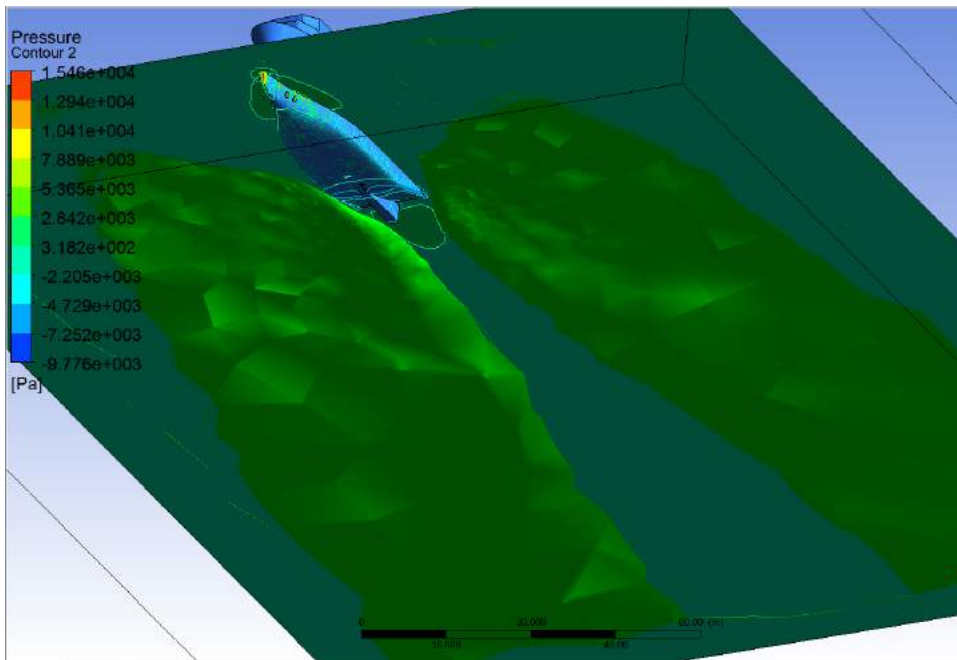


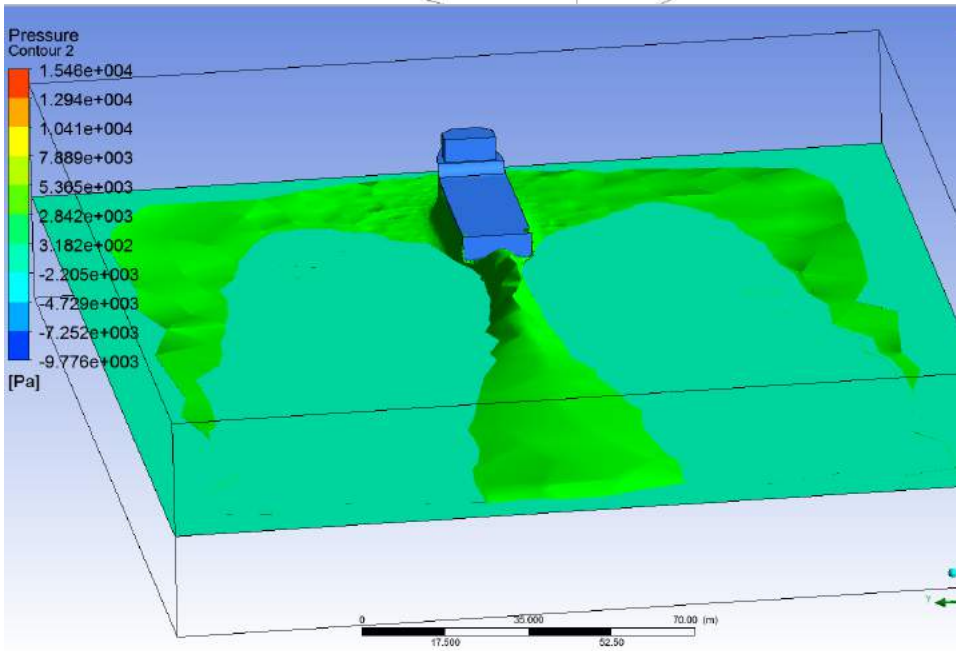
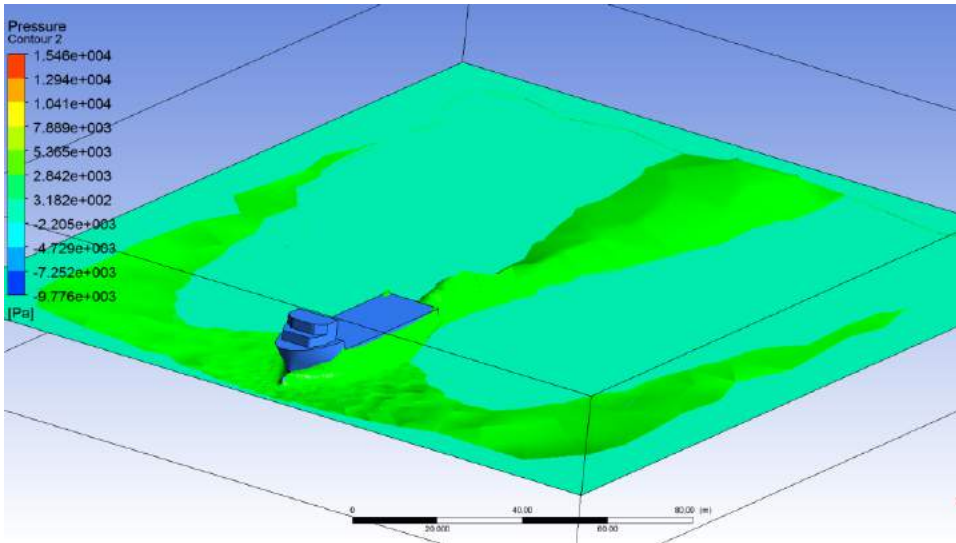
Hasil Simulasi CFD BN 4 – V 13 Knot



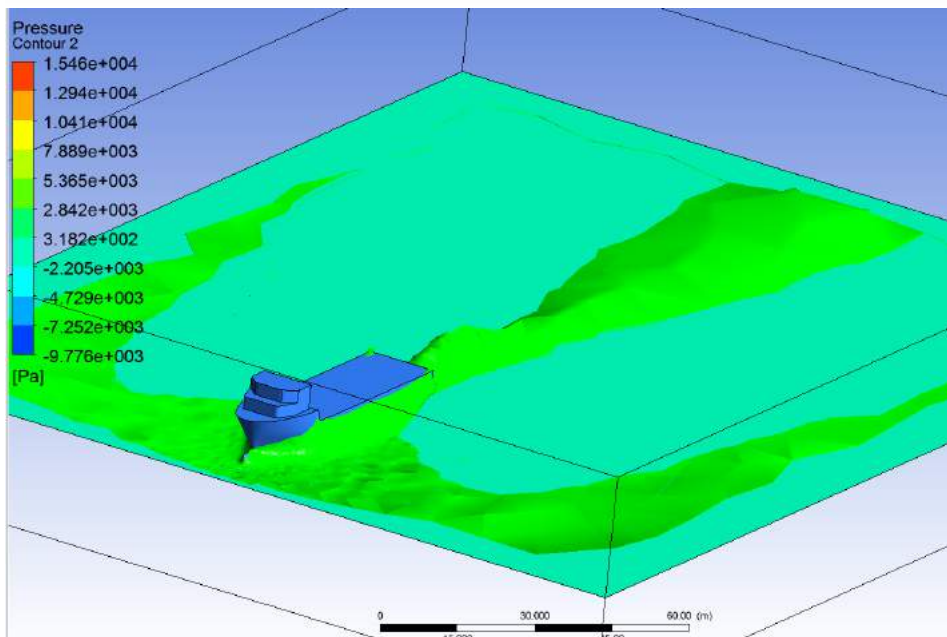
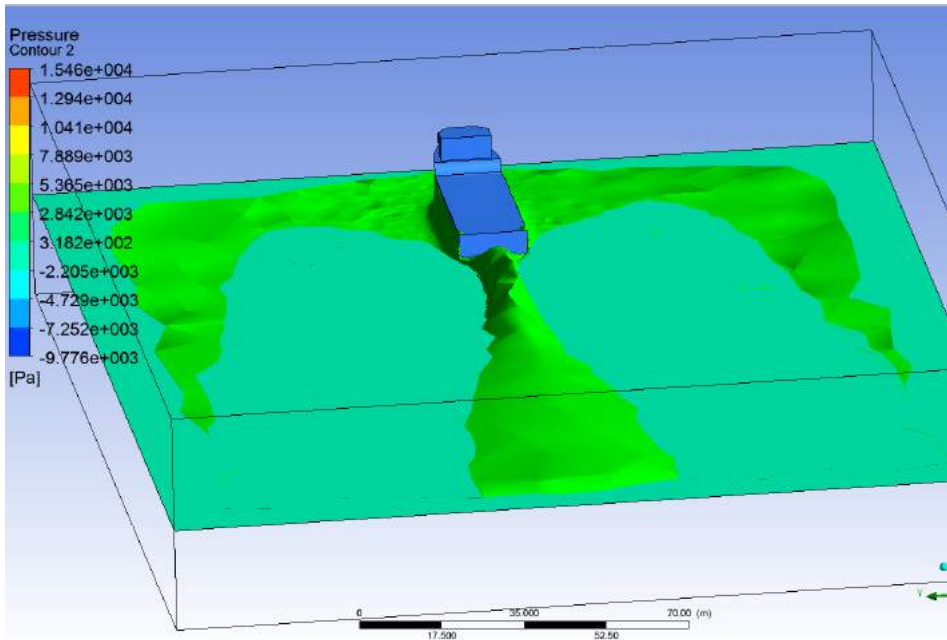


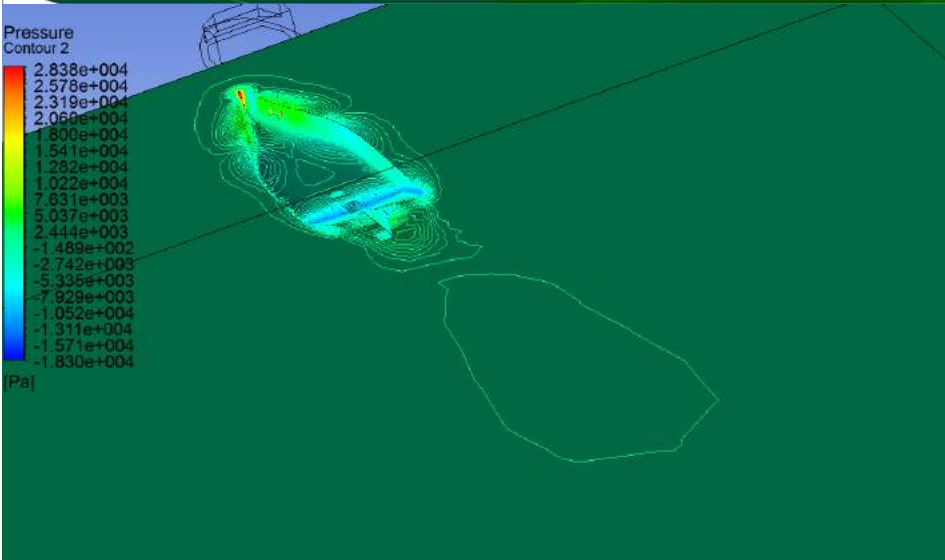
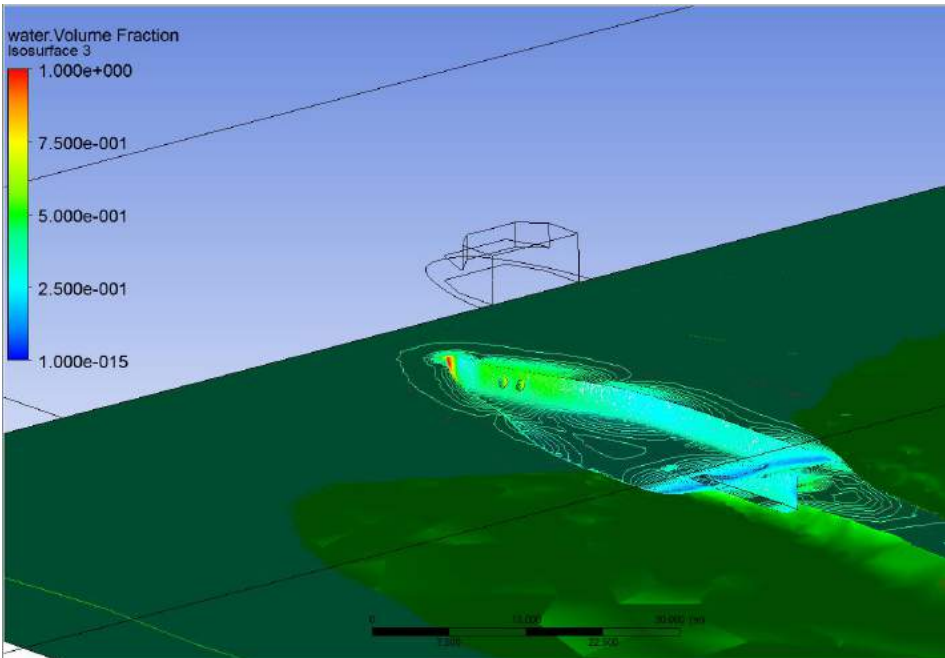
Hasil Simulasi CFD BN 4 – V 14 Knot



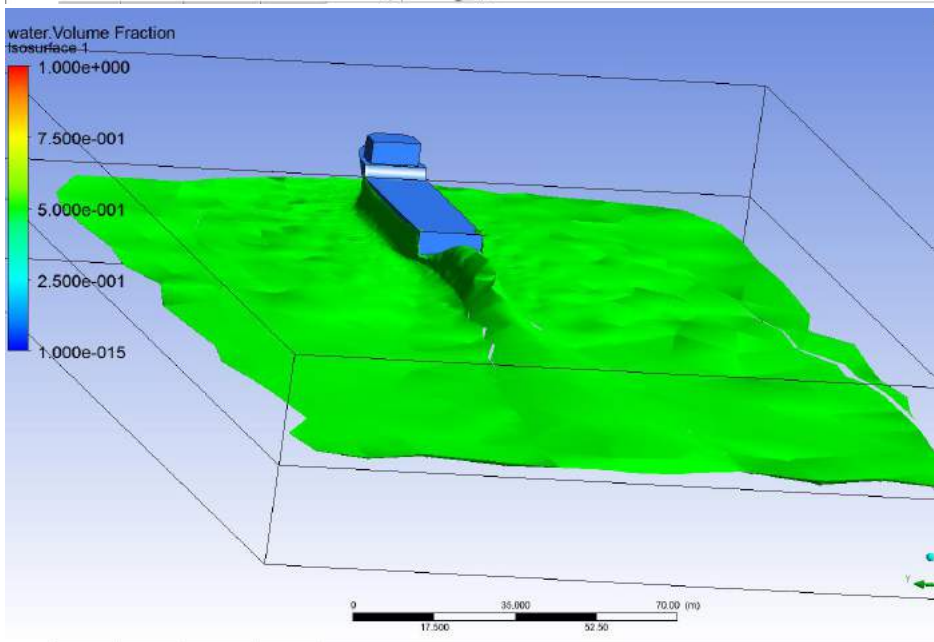
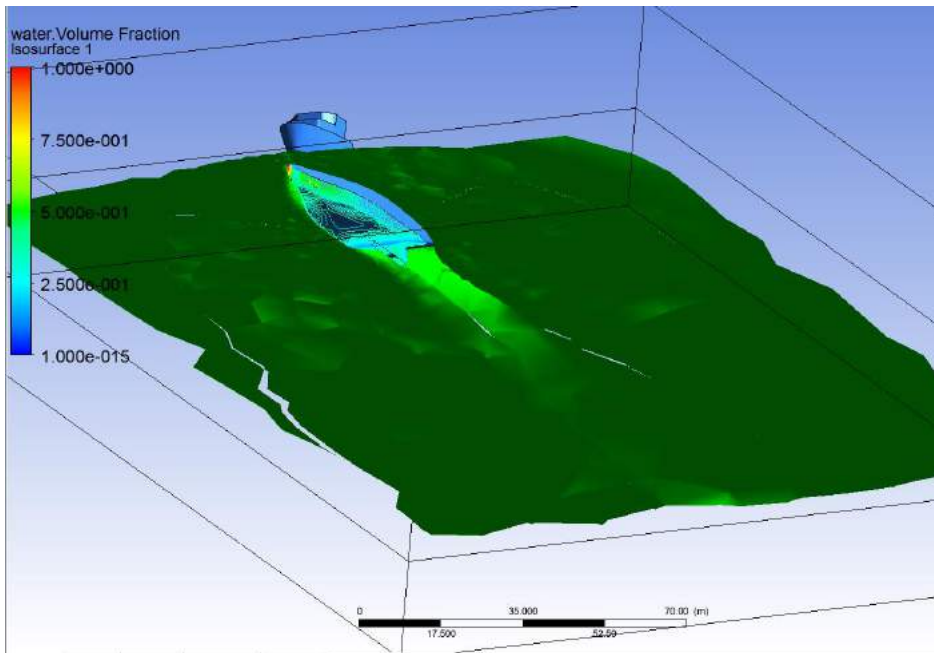


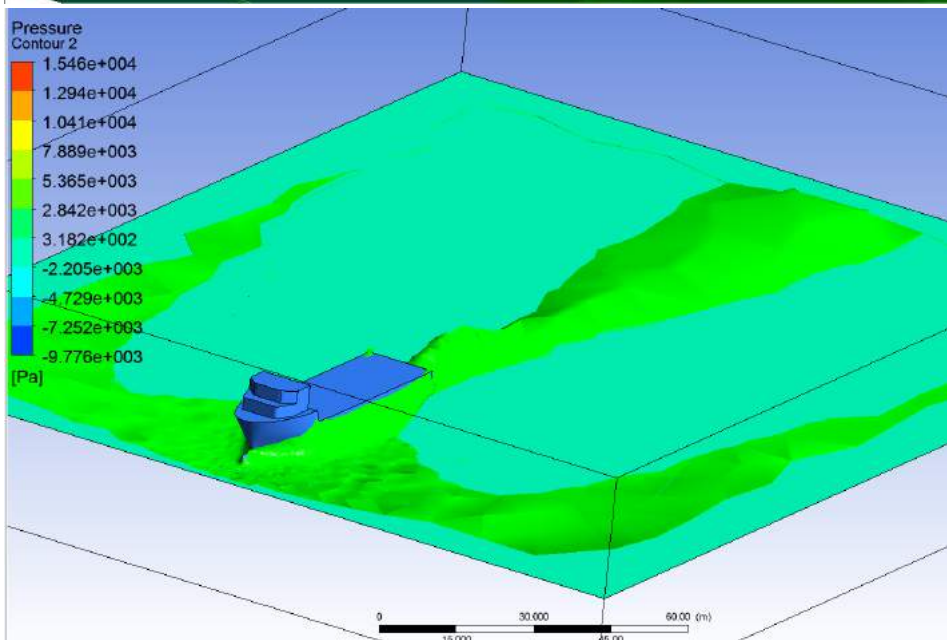
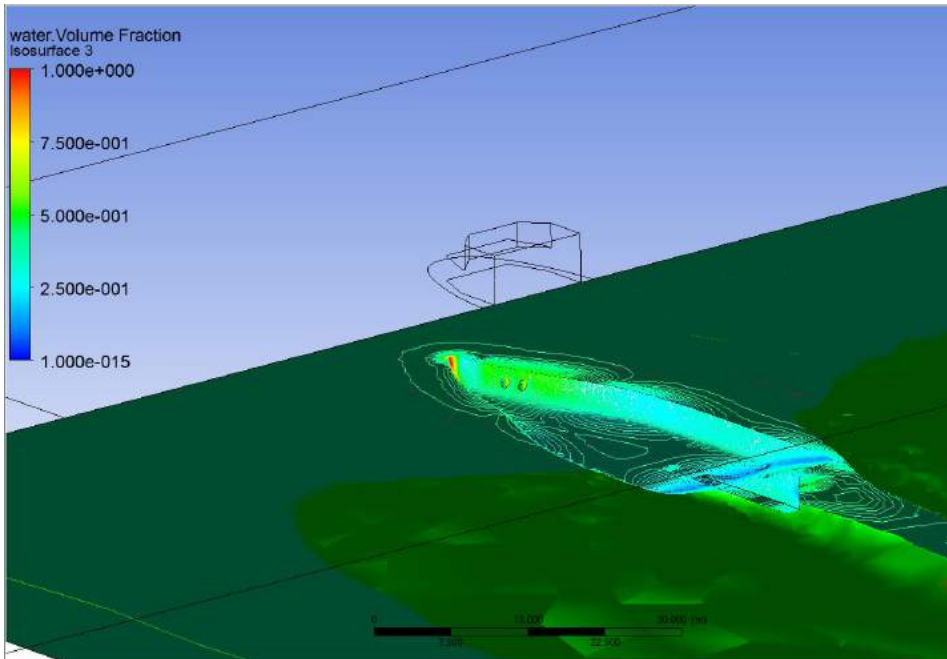
Hasil Simulasi CFD BN 4 – V 15 Knot



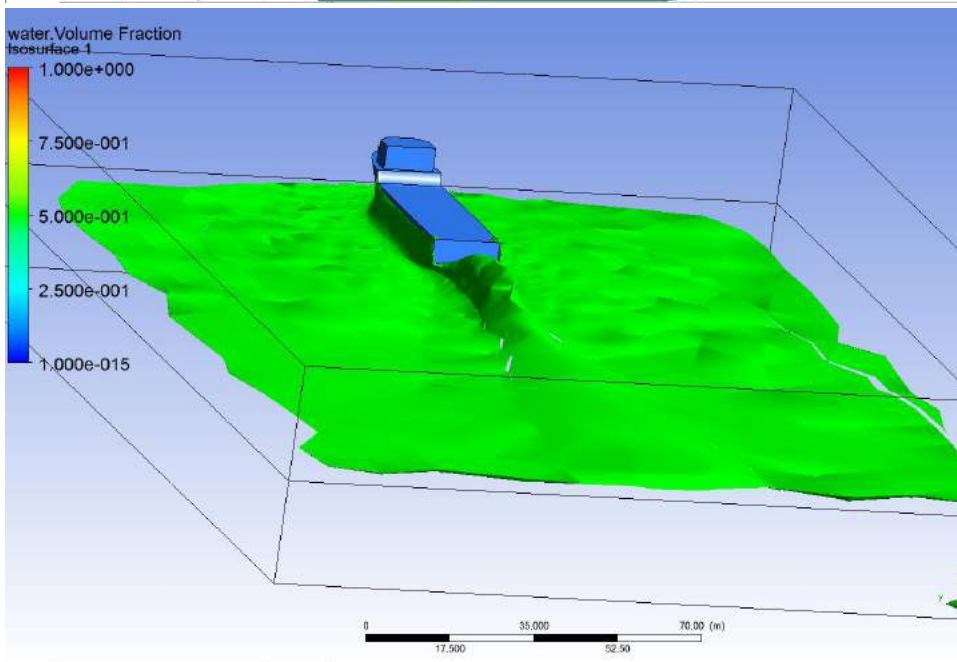
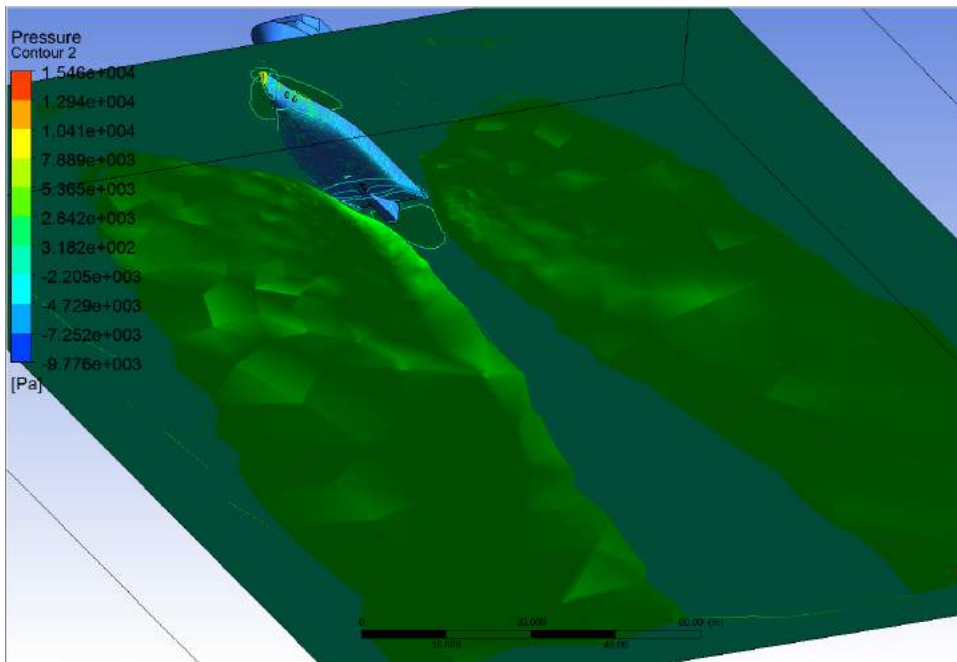


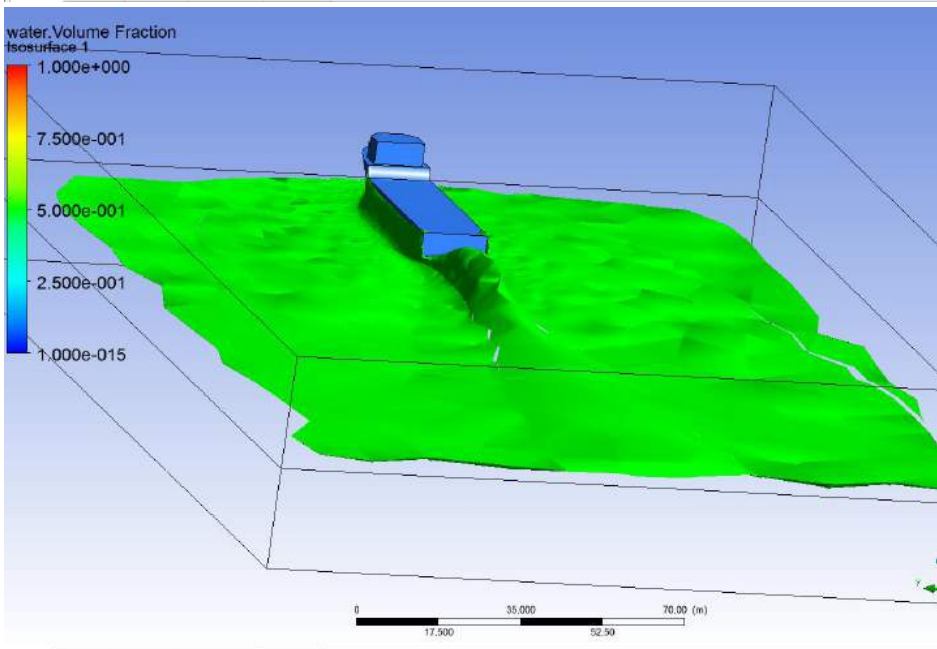
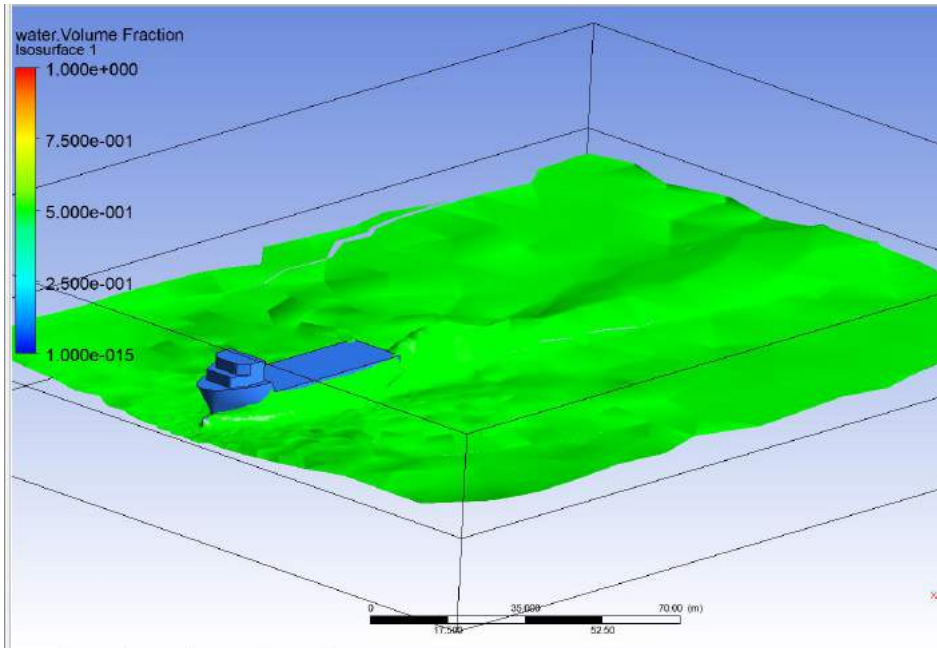
Hasil Simulasi CFD BN 5 – V 11 Knot



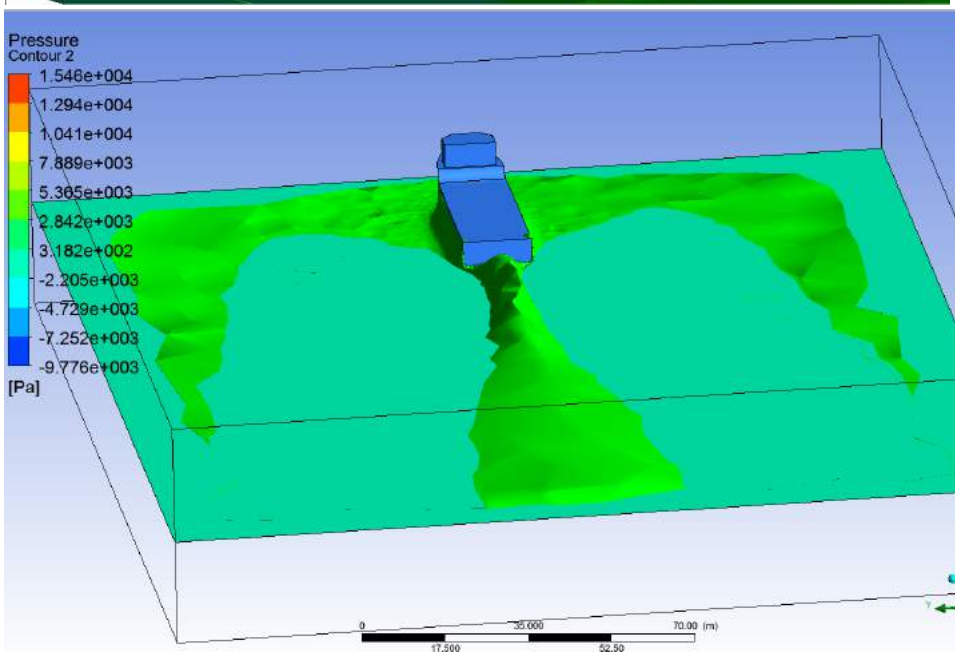
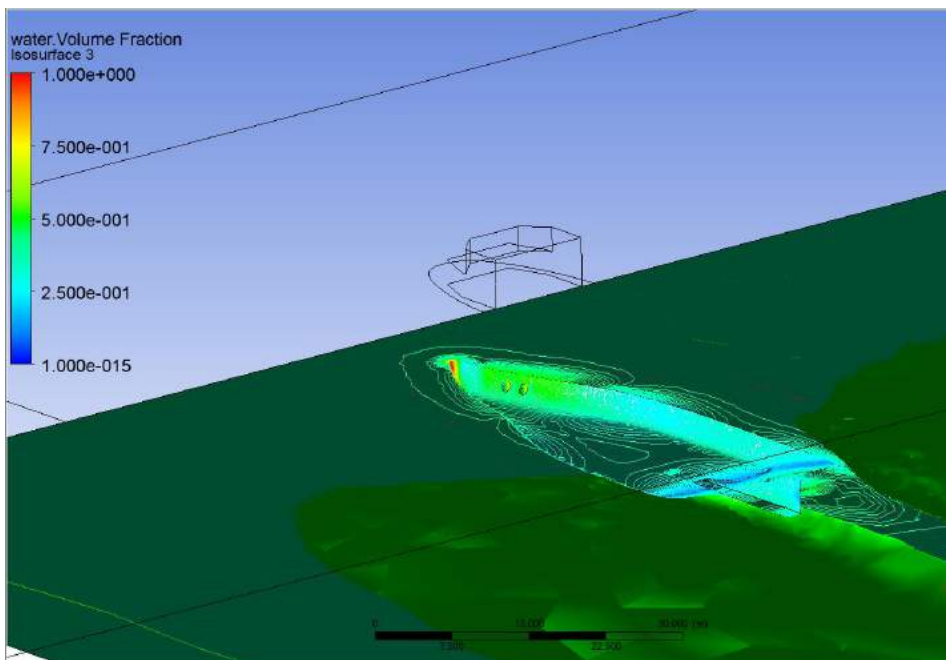


Hasil Simulasi CFD BN 5 – V 12 Knot

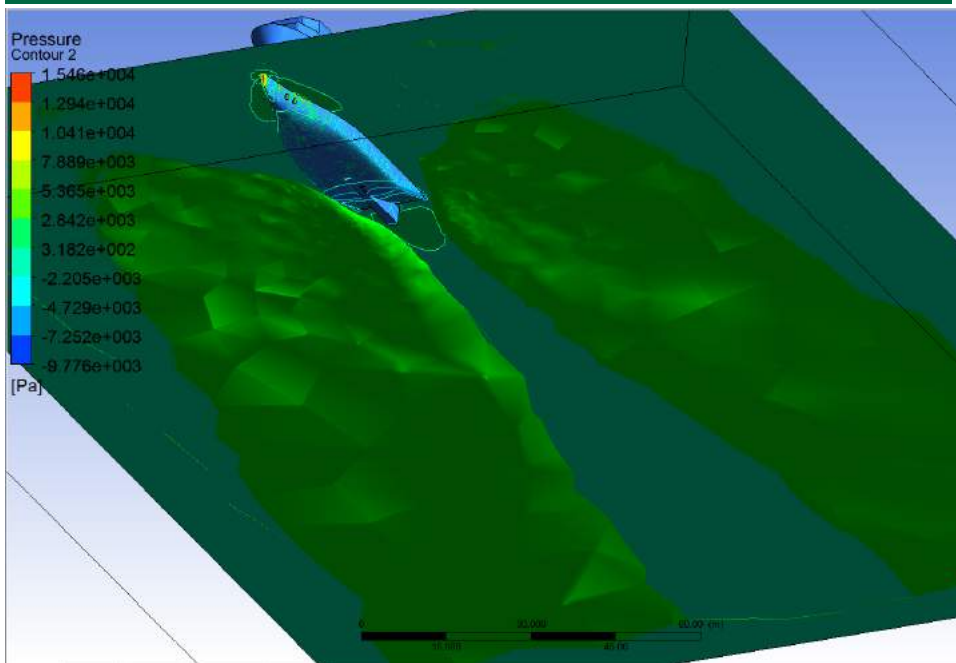
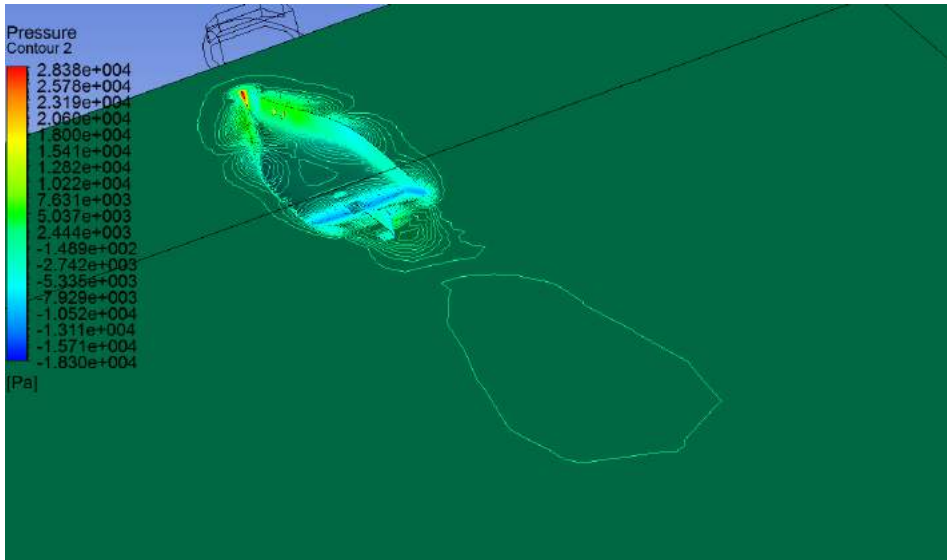




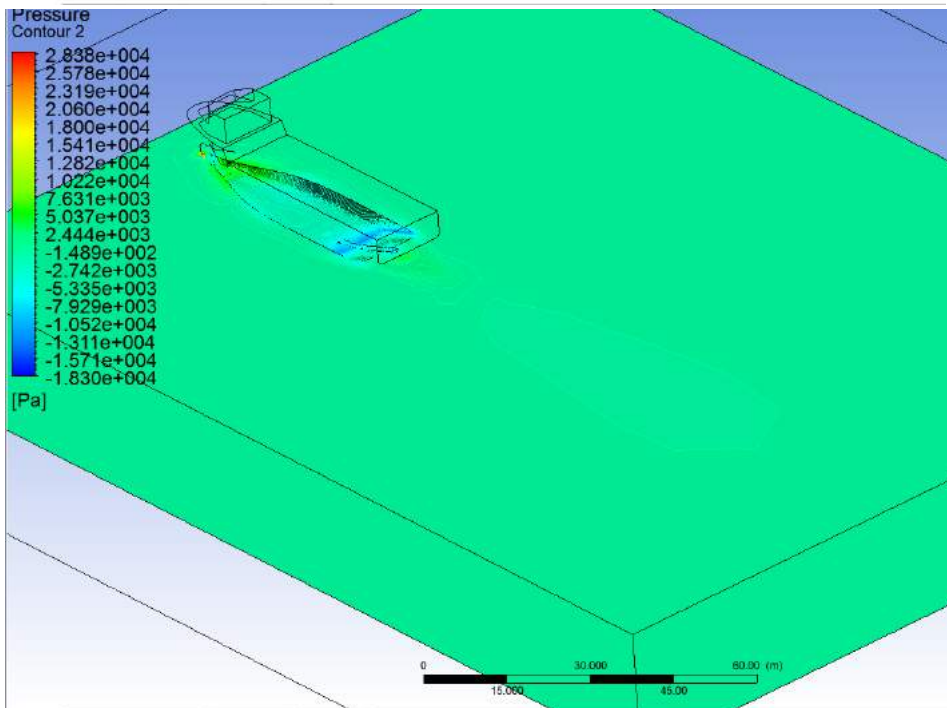
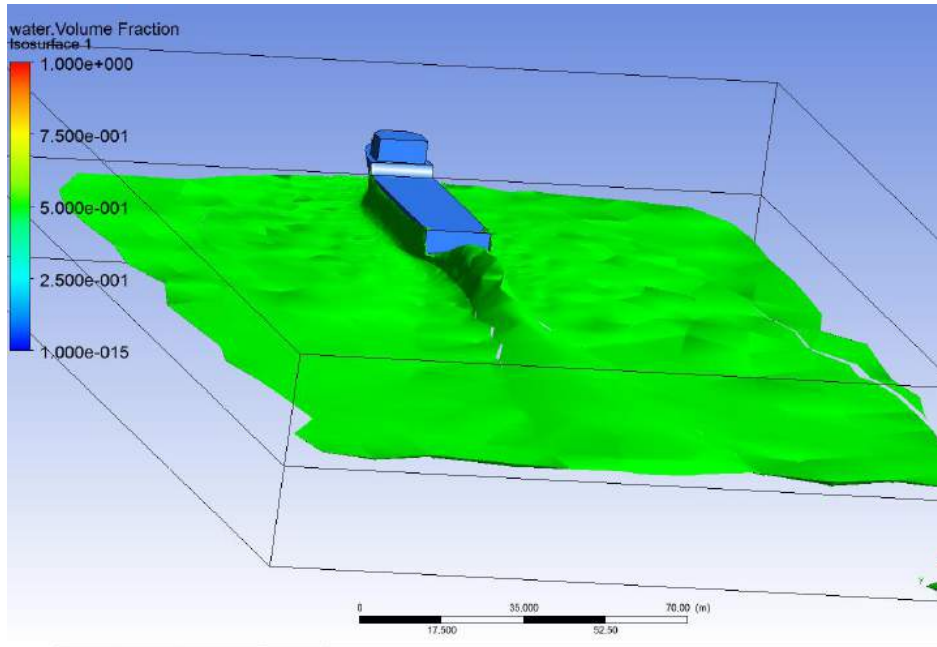
Hasil Simulasi CFD BN 5 – V 13 Knot

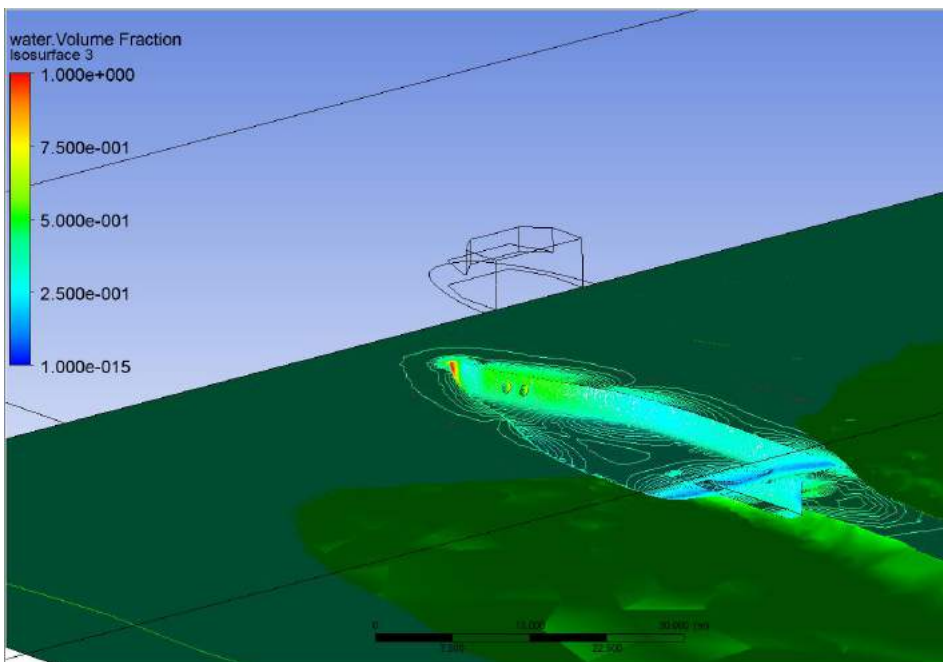


Hasil Simulasi CFD BN 5 – V 14 Knot



Hasil Simulasi CFD BN 5 – V 15 Knot

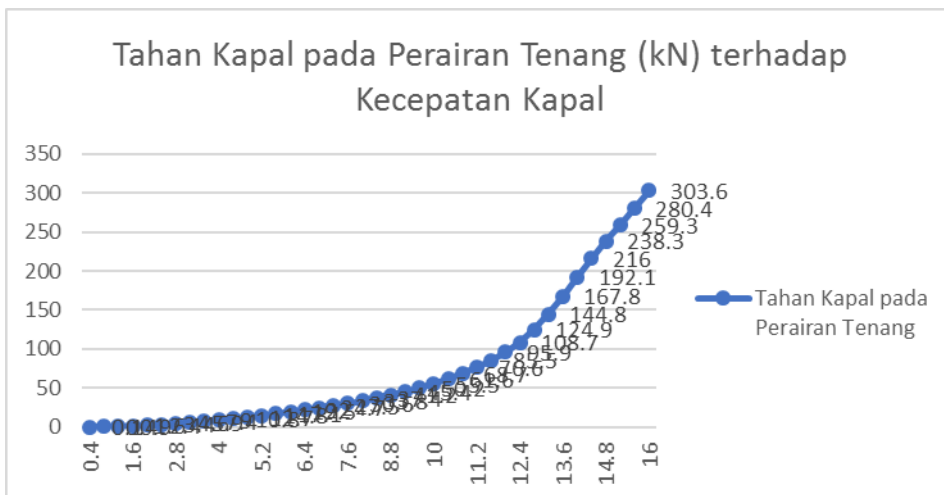




Tabel Perhitungan Tahanan Kapal pada Perairan Tenang

Speed (Knot)	Froude No. LWL	Froude No. Vol	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
0	0	0	--	--
0.4	0.009	0.017	0.1	0.044
0.8	0.017	0.035	0.4	0.318
1.2	0.026	0.052	0.9	1.023
1.6	0.035	0.069	1.6	2.351
2	0.044	0.087	2.4	4.489
2.4	0.052	0.104	3.4	7.622
2.8	0.061	0.121	4.6	11.933
3.2	0.07	0.139	5.9	17.6
3.6	0.079	0.156	7.4	24.795
4	0.087	0.173	9	33.687
4.4	0.096	0.191	10.8	44.441
4.8	0.105	0.208	12.7	57.216

5.2	0.113	0.225	14.8	72.17
5.6	0.122	0.243	17.1	89.461
6	0.131	0.26	19.5	109.249
6.4	0.14	0.277	22	131.711
6.8	0.148	0.295	24.7	157.049
7.2	0.157	0.312	27.5	185.516
7.6	0.166	0.329	30.6	217.438
8	0.175	0.347	33.8	253.254
8.4	0.183	0.364	37.4	293.549
8.8	0.192	0.381	41.2	339.109
9.2	0.201	0.399	45.4	390.951
9.6	0.209	0.416	50.2	450.327
10	0.218	0.433	55.5	519.015
10.4	0.227	0.451	61.6	599.459
10.8	0.236	0.468	68.7	693.641
11.2	0.244	0.485	76.6	802.319
11.6	0.253	0.503	85.5	927.51
12	0.262	0.52	95.9	1076.207
12.4	0.27	0.537	108.7	1260.806
12.8	0.279	0.555	124.9	1495.23
13.2	0.288	0.572	144.8	1787.894
13.6	0.297	0.589	167.8	2134.353
14	0.305	0.607	192.1	2516.016
14.4	0.314	0.624	216	2909.144
14.8	0.323	0.641	238.3	3298.711
15.2	0.332	0.659	259.3	3686.812
15.6	0.34	0.676	280.4	4091.839
16	0.349	0.693	303.6	4542.85



Tabel Perhitungan Kwon

Speed	Encounter Angle		BN	C_{β}	C_{form}	$\Delta V/V_1$ 100%	V_2 (knot)
	($^{\circ}$)	direction					
11	0	Head Sea	4	1	16.69657583	12.61	9.61
12	0	Head Sea	4	1	16.69657583	12.94	10.45
13	0	Head Sea	4	1	16.69657583	13.60	11.23
14	0	Head Sea	4	1	16.69657583	14.42	11.98
15	0	Head Sea	4	1	16.69657583	15.38	12.69

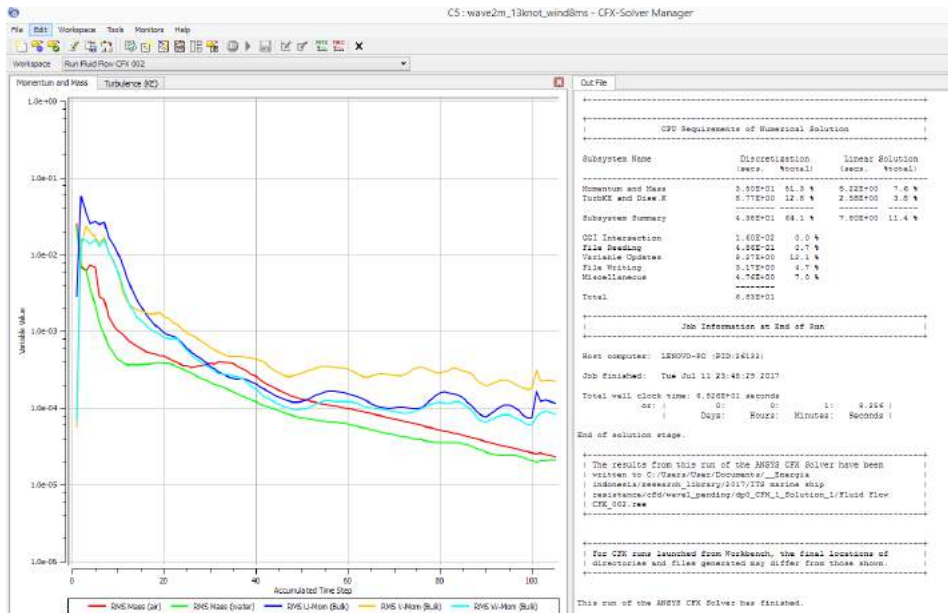
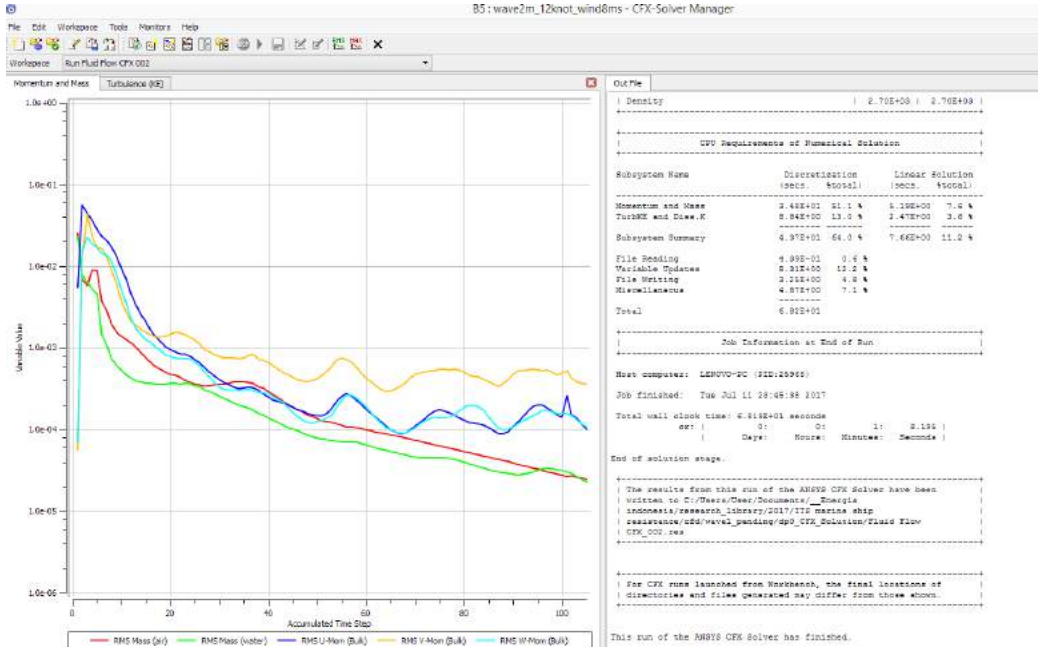
Speed	Encounter Angle		BN	C_{β}	C_{form}	$\Delta V/V_1$ 100% (%)	V_2 (knot)
	($^{\circ}$)	direction					
11	0	Head Sea	5	1	65.1803257	49.23	5.58
12	0	Head Sea	5	1	65.1803257	50.53	5.94
13	0	Head Sea	5	1	65.1803257	53.10	6.10
14	0	Head Sea	5	1	65.1803257	56.29	6.12
15	0	Head Sea	5	1	65.1803257	60.06	5.99

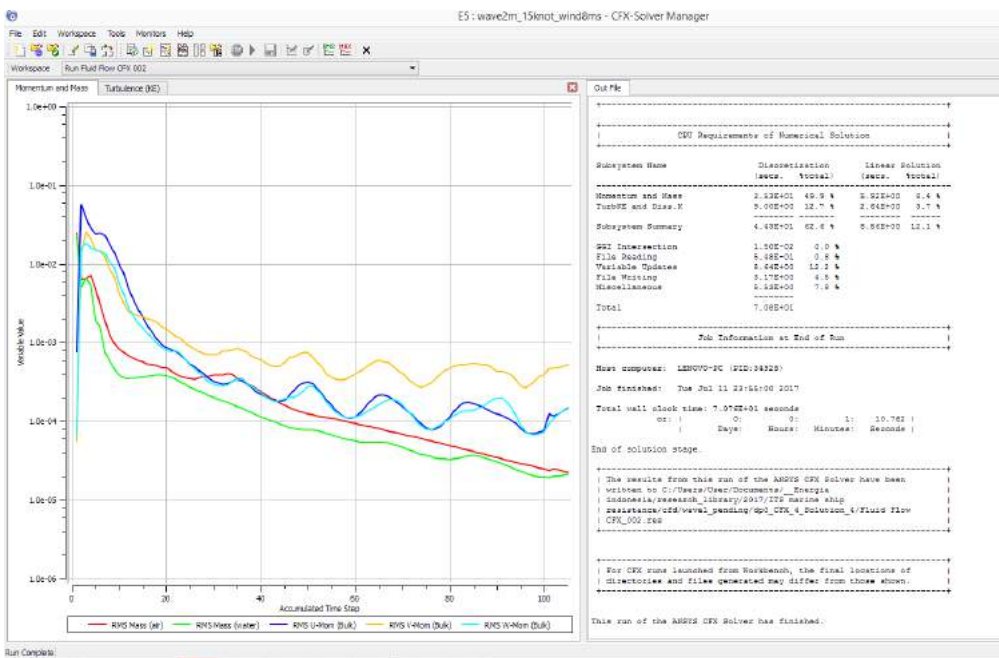
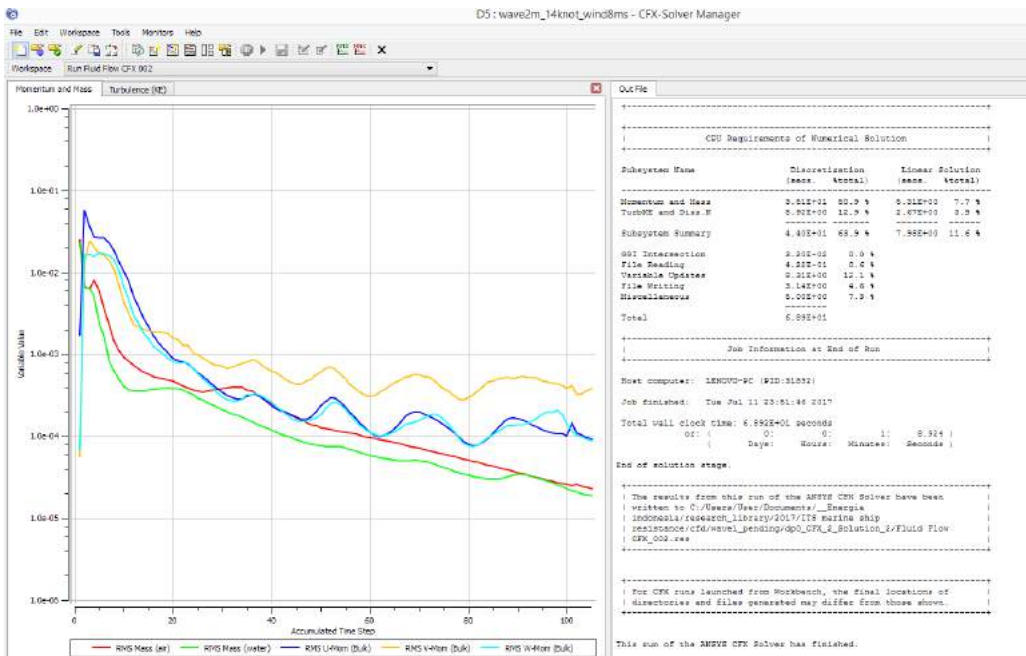
Tabel Hasil Simulasi

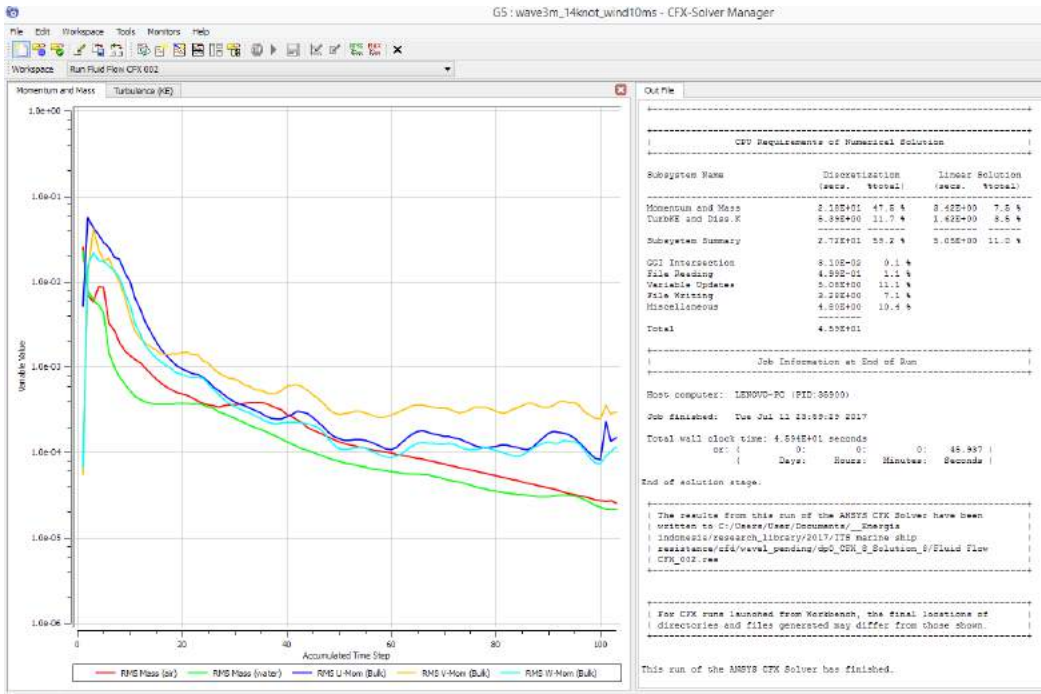
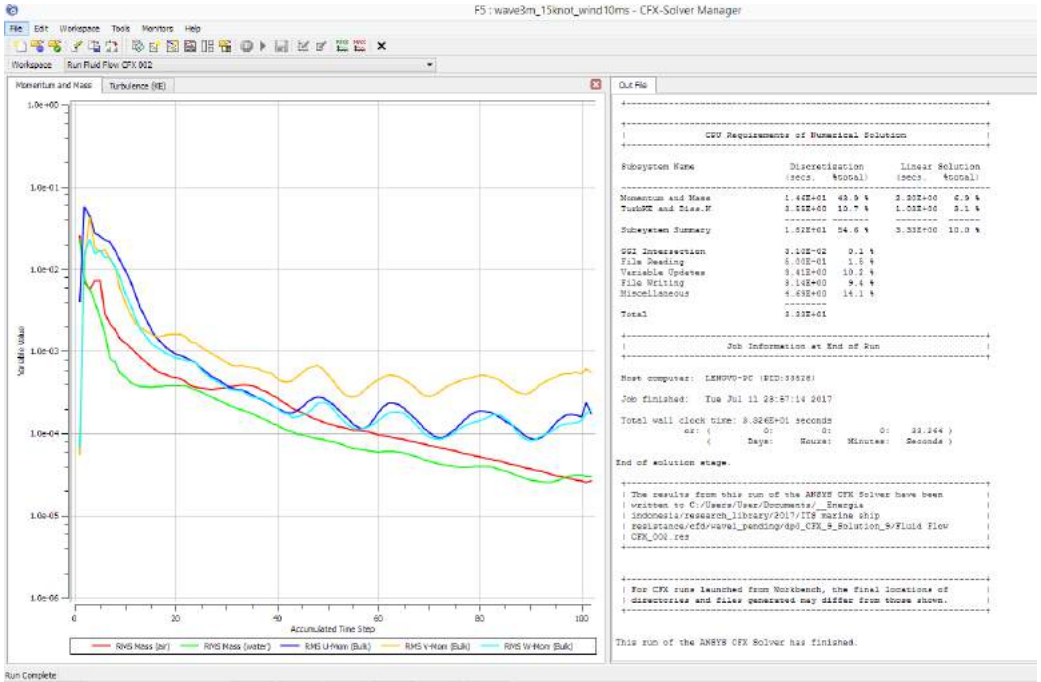
Beaufort Number : 4				
V : Kecepatan Kapal (Knot)	Simulasi Metode Numerik (CFD)	Perhitungan Tahanan Awal	Ratio Speed Loss Simulasi	Ratio Speed Loss Kwon
	R2 :Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	R1 : Tahanan Awal Kapal (kN)	1 - R1/R2 X 100%	$\Delta V/V1$ 100%
11	129.223	86.6	32.98%	12.61%
12	146.973	95.9	34.75%	12.94%
13	235.556	144.8	38.53%	13.60%
14	321.905	192.1	40.32%	14.42%
15	450.646	259.3	42.46%	15.38%

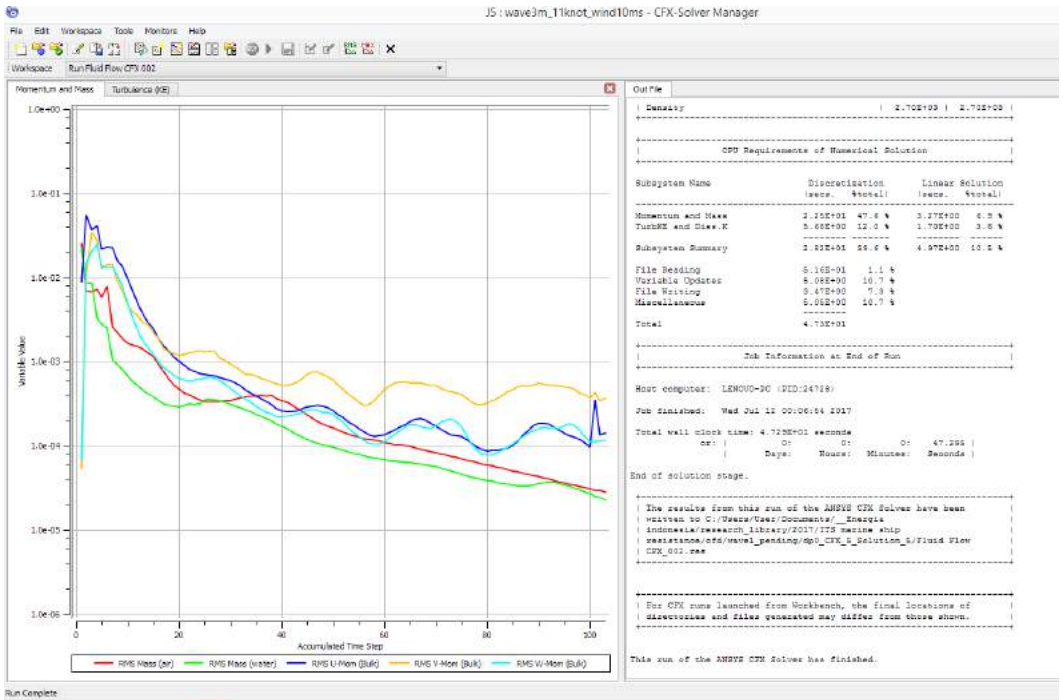
Beaufort Number : 5				
V : Kecepatan Kapal (Knot)	Simulasi Metode Numerik (CFD)	Perhitungan Tahanan Awal	Ratio Speed Loss Simulasi	Ratio Speed Loss Kwon
	R2 :Tahanan Kapal Hasil Simulasi (kN)	R1 : Tahanan Awal Kapal (kN)	1 - R1/R2 X 100%	$\Delta V/V1$ 100%
11	190.233	86.6	54.48%	49.23%
12	220.223	95.9	56.45%	50.53%
13	350.665	144.8	58.71%	53.10%
14	482.647	192.1	60.20%	56.29%
15	665.021	259.3	61.01%	60.06%

Validasi Hasil Simulasi









BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta, 18 Februari 1996. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal dengan melalui beberapa jenjang pendidikan, antara lain di SD Cindera Mata Kota Bekasi, SMP Negeri 19 Kota Bekasi, dan SMA Negeri 2 Kota Bekasi. Penulis lulus dari SMA Negeri 2 Kota Bekasi pada tahun 2013, dan melanjutkan Pendidikan ke jenjang Perguruan Tinggi dengan diterimanya penulis untuk menempuh studi Strata – 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (FTK – ITS) melalui jalur SBMPTN dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Peserta didik 4213 100 073. Penulis aktif dalam kegiatan organisasi keprofesian, sosial, maupun keilmiah. Dibuktikan dengan menjadi pengurus inti, yaitu sebagai Wakil Ketua Himpunan pada HIMASISKAL FTK – ITS pada tahun 2015 - 2016, dan Menteri Hubungan Luar BEM ITS pada tahun 2016 - 2017. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang *Marine Oil & Gas*, dan berfokus pada *LNG / LPG Transportation* pada *Marine Reliability, Availability, and Safety Laboratory (RAMS)*, dan mengambil Tugas Akhir dan Penelitian pada bidang studi *Marine Manufacturing and Design Laboratory (MMD)*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”