



TESIS - MN142532

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN DUCKTAIL PADA
TRANSOM KAPAL TERHADAP HAMBATAN KAPAL**

**FIQIH DWI KURNIAWATI
4113.203.201**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, PhD**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA
2016**

Halaman ini sengaja dikosongkan



THESES - MN142532

**THE ANALYSIS OF INTO THE USE OF DUCKTAIL AT TRANSOM
STERN TO REDUCE TOTAL SHIP RESISTANCE**

**FIQIH DWI KURNIAWATI
4113.203.201**

SUPERVISOR

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, PhD

**MASTER PROGRAMME
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL TECHNOLOGY
MARINE TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh
FIQIH DWI KURNIAWATI
NRP . 4113 203 201

Tanggal Ujian : 19 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :

Prof. Ir. IKAP Utama, M.Sc., Ph.D
NIP. 19670406 199203 1 001

(Pembimbing)

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

(Penguji I)

Aries Sulisetyono, ST., MA.Sc., Ph.D
NIP. 19710320 199512 1 002

(Penguji II)

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc
NIP. 19691231 200604 1 178

(Penguji III)



Direktur Program Pascasarjana


Prof. H. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN DUCKTAIL PADA BAGIAN TRANSOM TERHADAP HAMBATAN KAPAL

Nama Mahasiswa : Fiqih Dwi Kurniawati
NRP : 4113203201
Pembimbing : Prof. Ir. I.K.A.P. Utama, M.sc. Ph.D

ABSTRAK

Energy Saving Devices (ESD) merupakan metode penambahan peralatan yang fokus pada efisiensi energi dan memberi energi alternatif. Salah satu inovasi ESD adalah penambahan ducktail pada transom kapal. Ducktail adalah appendages penambahan panjang pada aft body kapal yang berfungsi mengurangi hambatan kapal akibat wetted transom dengan mengurangi pusaran arus yang berada pada transom kapal sehingga aliran dapat ditransmisikan keluar area transom kapal.

Dalam thesis ini melakukan simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) *software Ansys CFX* dengan pemodelan turbulen SST $k-\omega$ berbasis RANS solver untuk menganalisa hambatan dan grid generator *ICEMCFD* dengan *hybrid mesh*. Simulasi menggunakan model kapal dengan ducktail dan tanpa ducktail. Pemodelan dilakukan secara tiga dimensi (3D) dengan *software maxsurf* dengan ukuran ducktail adalah 3 dan 6 meter. Simulasi dilakukan pada angka Froude 0,22-0,34.

Dari hasil simulasi menunjukkan pengurangan hambatan tertinggi yaitu pada angka Froude 0,25 atau pada *cruising speed* dengan ducktail 6 meter pengurangan hambatan mencapai 26% dan untuk kapal ducktail 3 meter mengurangi hambatan sebesar 20%. CFD mampu mensimulasikan dan memvisualisasikan aliran pada bagian transom kapal dengan mentransmisikan aliran keluar kapal.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ducktail merupakan alternatif *appendages* ESD untuk mengurangi hambatan pada transom kapal. Aplikasi ducktail adalah *easy installation* dimana mudah untuk dibongkar pasang. Ukuran ducktail adalah *user defined*. Pada penelitian selanjutnya adalah penentuan ukuran ducktail yang optimum pada kapal dengan transom stern pada $Fr > 0,2$

Kata Kunci: *Energy Saving Devices, Ducktail, Transom, Froude number*

Halaman ini sengaja dikosongkan

THE ANALYSIS OF INTO THE USE OF DUCKTAIL AT TRANSOM STERN TO REDUCE TOTAL SHIP RESISTANCE

Author : Fiqih Dwi Kurniawati
ID Number : 4113203201
Pembimbing : Prof. Ir. I.K.A.P. Utama, M.sc. Ph.D

ABSTRACT

Energy Saving Devices (ESDs) are the appendages that aims to increase efficiency in ship power and give alternative energy. Basically, ESDs is *retrofit design*, which means adding devices can be applied on the new ships or existing ships. The one application of ESD is Ducktail for stern ship. A ducktail is basically a lengthening of the aft ship without increasing overall length of ship. Its aimed to reduce eddies current at wetted transom with generate to the far field.

In this work analyses the effect of adding ducktail at Froude numbers 0,22-0,34 using Computational Fluid Dynamic (CFD). The *software* code *Ansys CFX* based on RANSE is used to analyse and simulate the drag of ship with *freesurface* method fitted with turbulence model SST $k-\omega$. Grid generator ICEM CFD is used to build *hybrid grids* for RANSE code solvers. The length of ducktail is 3 and 6 meter, the size is user defined. The modeling using three dimensional model using *software maxsurf*.

According to CFD result, ducktail can reduce total force based on froude numbers. The reduction of power using ducktail is about 5-10% with ducktail 3 meter and 11-15% with ducktail 6 meter. The highest power demand with ducktail 6 meter occur at froude number 0,25 which is at *service speed* is up to 21% and ducktail 3 meter is about 16%. CFD can visualize phenomena behind transom and the wake behind transom fully transmitted far away.

Ducktail becomes alternative device at transom stern to reduce ship resistance especially resistance causes drag pressure. Ducktail has benefit with simple installation and easy to use. The further work is define the proper length of ducktail for ship at Froude $>0,2$.

Keywords: *Energy Saving Devices, Ducktail, Transom, Froude number*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	vix
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
1.6 Batasan Masalah	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI	5
2.1 Konsep Energy Saving Device (ESD)	5
2.2 Pengembangan Energy Saving Devices pada Kapal	6
2.3 Aplikasi ESD pada Kapal Ferry.....	8
2.4 Pengertian Computational Fluid Dynamic.....	9
2.4.1 Volum of Fluid (VOF)	12
2.4.2 Sistem Aliran <i>Multiphase</i> (Multi Fasa).....	12
2.4.3 Fraksi Volume	14
2.4.4 Free Surface dalam CFD	14
2.4.5 Turbulensi	15
2.4.6 Near wall treatment.....	17
2.5 Tahapan Kerja CFD	19

2.5.1	<i>Software Code</i> Computational Fluid Dynamic (CFD)	20
2.5.2	Free Surface dalam Ansys CFX	20
2.5.3	Pengujian Aplikasi ESD dengan CFD	23
2.6	Hambatan Kapal	24
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1	Umum.....	29
3.2	Studi Literatur.....	30
3.3	Pengumpulan Data	31
3.4	Pemodelan Bentuk Kapal dengan Maxsurf	31
3.5	Proses Meshing.....	31
3.6	Simulasi Perhitungan Tahanan pada Model	31
3.7	Analisa dan Pembahasan	31
3.8	Kesimpulan.....	32
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Deskripsi Model	33
4.2	Simulasi CFD	35
4.2.1	Domain komputasi.....	35
4.2.2	Proses Meshing.....	36
4.2.3	<i>Boundary Condition</i> (Kondisi Batas)	40
4.3	Turbulence setting	42
4.4	Kriteria Konvergensi	42
4.5	Verifikasi Model dengan Pemodelan Turbulen (k-epsilon dan Shear Stress Transport k-omega).....	45
4.6	Hambatan Total dengan Simulasi CFD	47
4.6.1	Pendekatan Froude	52
4.7	Visualisasi Kontur Hasil Simulasi CFD	58
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	xix
L A M P I R A N	xxiii

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 *Penambahan Ducktail pada buritan kapal*
- Gambar 2.2 *Penambahan wake equalizing duct pada propeller*
- Gambar 2.3 *Wind Power, Sail and Kites*
- Gambar 2.4 *Penambahan Ducktail pada bagian buritan kapal ferry*
- Gambar 2.5 *Fluid Flow pada Pre-Swirl Stator dengan simulasi CFD*
- Gambar 2.6 *Jenis Aliran Multifasa*
- Gambar 2.7 *Jenis-jenis Aliran Fluida*
- Gambar 2.8 *yplus untuk wall treatment*
- Gambar 2.9 *Tahapan proses CFD*
- Gambar 2.10 *Visualisasi Ansys CFX untuk Hambatan Kapal*
- Gambar 2.11 *Perbedaan Cell centered dengan Cell Vertex*
- Gambar 2.12 *Visualisasi Free Surface sepanjang kapal*
- Gambar 2.13 *Tutorial untuk pengaturan Free Surface Flow Over Bump pada CFX*
- Gambar 2.14 *Fluid Flow pada Pre-Swirl Stator dengan simulasi CFD*
- Gambar 2.15 *Basic Resistance Concept*
- Gambar 2.16 *Boundary Layer pada kapal*
- Gambar 2.17 *Sistem Gelombang transversal dan divergen*
- Gambar 2.18 *Detailed Resistance Component*
- Gambar 4.1 *(a) kapal tanpa ducktail (b) kapal dengan ducktail 3 meter dan (c) kapal dengan ducktail 6 meter*
- Gambar 4.2 *Domain Komputasi*
- Gambar 4.3 *Meshing unstructured tetrahedra metode robust*
- Gambar 4.4 *Unstructured tetrahedron dengan metode quick tetrahedron*
- Gambar 4.5 *mesh dengan kerapatan dan scale factor dengan metode robust*
- Gambar 4.6 *mesh kerapatan dan scale factor metode smoothing*
- Gambar 4.7 *Pemodelan dengan inflation layer pada sekitar model*

kapal

- Gambar 4.8 *Pemodelan dengan inflation layer pada ducktail kapal*
- Gambar 4.9 *Boundary condition pada domain komputasi*
- Gambar 4.10 *RMS residual pada simulasi*
- Gambar 4.11 *Plot monitor global imbalances pada mass flow fluida*
- Gambar 4.12 *Kontur water velocity pada model k-epsilon*
- Gambar 4.13 *Kontur water velocity pada model SST k- ω*
- Gambar 4.14 *Grafik hambatan total pada seluruh model berdasar froude number*
- Gambar 4.15 *Grafik power pada seluruh simulasi*
- Gambar 4.16 *Grafik persentase power demand*
- Gambar 4.17 *Kontur water velocity kapal tanpa ducktail*
- Gambar 4.18 *Kontur water velocity kapal ducktail 3 meter*
- Gambar 4.19 *Kontur water velocity kapal ducktail 6 meter*
- Gambar 4.20 *Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail*
- Gambar 4.21 *Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 meter*
- Gambar 4.22 *Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 meter*
- Gambar 4.23 *Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail tampak samping*
- Gambar 4.24 *Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 m tampak samping*
- Gambar 4.25 *Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 m tampak samping*
- Gambar 4.26 *Kontur water superficial velocity kapal tanpa ducktail tampak samping*
- Gambar 4.27 *Kontur water superficial velocity kapal ducktail 3 m tampak samping*
- Gambar 4.28 *Kontur water superficial velocity kapal ducktail 6 m tampak samping*

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Tabel Rencana & Jadwal Penelitian Penyusunan Tesis</i>
Tabel 4.1	<i>Perbandingan ukuran utama kapal full scale dan model</i>
Tabel 4.2	<i>Variasi kecepatan model dan full scale</i>
Tabel 4.3	<i>Jumlah elemen pada model</i>
Tabel 4.4	<i>Grid Independence</i>
Tabel 4.5	<i>Perbedaan force dan yplus antara k-epsilondan SST k-ω untuk model kapal tanpa ducktail</i>
Tabel 4.6	<i>Test cases simulasi pada seluruh model</i>
Tabel 4.7	<i>Hambatan total dan Power</i>
Tabel 4.8	<i>Total resistance kapal tanpa ducktail</i>
Tabel 4.9	<i>Total resistance kapal ducktail 3 meter</i>
Tabel 4.10	<i>Total resistance kapal ducktail 6 meter</i>
Tabel 4.11	<i>Komponen Kofisien viskos dan gelombang kapal tanpa ducktail</i>
Tabel 4.12	<i>Komponen Kofisien viskos dan gelombang kapal ducktail 3 meter</i>
Tabel 4.13	<i>Komponen Kofisien viskos dan gelombang kapal ducktail 6 meter</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Tabel Perhitungan Ekstrapolasi Model menjadi Skala Penuh*
- Lampiran 2 *Tabel Koefisien Viskos dan Gelombang*
- Lampiran 3 *Hasil Simulasi CFD*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya isu lingkungan yang berakibat naiknya harga bahan bakar fosil maka biaya operasional transportasi kapal juga meningkat. Untuk desain kapal ferry standar salah satu peningkatan konsumsi bahan berlebih adalah pada kinerja mesin kapal yang meningkat yang dipengaruhi oleh tahanan kapal yang muncul saat kapal beroperasi. Hal ini tidak dapat dihindarkan karena saat kapal melakukan kecepatan penuh hambatan juga semakin meningkat. Dengan demikian biaya operasional menjadi meningkat dan tidak ekonomis. Meningkatnya harga bahan bakar semakin mendorong pelaku industri khususnya pemilik kapal melakukan penghematan konsumsi bahan bakar dan cara yang cukup efektif untuk mengurangi konsumsi bahan bakar tersebut adalah dengan menambah instalasi alat yang disebut Energy Saving Device (ESD).

Dengan adanya masalah tersebut maka muncul Inovasi dengan konsep ESD untuk menciptakan desain kapal ferry yang mengutamakan aspek ramah lingkungan namun tanpa mengurangi jumlah muatan. Ini meliputi tentang optimasi bentuk lambung kapal, Optimasi Interaksi lambung, Propeler dan Rudder, menambah komponen atau peralatan tambahan pada kapal (appendages), Peningkatan Efisiensi propulsor serta Optimasi strategi untuk operasi. Dengan inovasi ini diharapkan mampu mengurangi hal-hal yang dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar berlebih, salah satunya adalah mengurangi hambatan yang dapat berakibat pemakaian daya mesin yang berlebih.

Desain Kapal ferry pada umumnya memiliki bentuk buritan transom, disatu sisi memang memberikan keuntungan dari segi pembangunan kapal karena bentuknya yang rata, sehingga kebutuhan pelat lebih ekonomis tetapi disisi lain memberikan efek negatif. Bentuk aliran streamline di sekitar lambung kapal akan menghasilkan variasi kecepatan aliran, yang disebabkan oleh variasi local pada Frictional Resistance-nya. Bila lambung kapal tiba-tiba secara sectional berubah bentuk, sehingga aliran fluida tidak mampu mengikuti garisnya dan aliran akan

patah, hal ini sering terjadi pada daerah transom stern. Di daerah patahan tersebut, muncul *eddies current* atau arus pusaran yang akan menyerap energy sehingga menjadi suatu hambatan.

Salah satu Inovasi desain berdasar ESD yang dikembangkan adalah penambahan Ducktail pada bagian stern kapal. Ducktail merupakan penambahan sirip memanjang pada bagian stern dengan penambahan panjang sekitar 3-6 meter atau *user defined*. Penambahan Ducktail bertujuan menambah panjang waterline efektif dan membuat wetted transom lebih kecil sehingga turbulensi dapat diminimalisir. Sehingga hambatan yang ditimbulkan juga dapat berkurang. Modifikasi buritan kapal ini direkomendasikan pada kapal ferry pada perairan dangkal dengan angka Froude 0,22-0,35. Konsep ESD ini dapat disimulasi dan divisualisasikan dengan metode komputasi Computational Fluid Dynamic (CFD) sehingga dapat diketahui seberapa efektifkah dan instalasi pemasangan ESD dapat mengurangi hambatan pada kapal sehingga diaplikasikan secara optimal pada kapal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka pokok permasalahan yang harus di pecahkan adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh modifikasi Ducktail terhadap perhitungan hambatan dibanding dengan desain ferry tanpa ducktail.
2. Pada Angka Froude berapakah aplikasi ducktail dapat optimum.
3. Berapakah presentase nilai hambatan yang berkurang akibat penambahan ducktail jika dibanding kapal tanpa ducktail.

1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah menghitung dan membandingkan hambatan pada kapal dengan ducktail dan tanpa ducktail, pemodelan dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf* kemudian untuk perhitungan dan simulasi menggunakan *software Ansys CFX*. Adapun tujuan utama yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat desain kapal ferry dengan modifikasi kapal menggunakan ducktail dengan panjang yang dipilih adalah 3 dan 6 meter serta kapal tanpa ducktail.
2. Menghitung hambatan dan mensimulasikan hambatan yang terjadi akibat ducktail dan kapal tanpa ducktail

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai referensi untuk inovasi desain kapal dengan tujuan pengurangan nilai hambatan akibat wetted transom kapal terutama untuk kapal ferry serta referensi tentang inovasi desain buritan kapal dengan konsep ESD.

1.5 Hipotesis

Dari penelitian sebelumnya Modifikasi kapal dengan penambahan ducktail mampu mengurangi hambatan kapal melebihi hambatan yang ditimbulkan akibat wetted transom kapal bila dibandingkan pada kapal ferry tanpa ducktail.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk mengefektifkan perhitungan dalam proses penulisan agar lebih terarah. Batasan- batasan tersebut adalah:

1. Perhitungan terbatas pada perhitungan hambatan .
2. Kondisi laut pada saat perhitungan adalah kondisi laut pada saat cuaca baik atau kondisi air tenang serta pada kondisi draft maksimum
3. Modifikasi bentuk kapal tidak merubah DWT kapal, panjang kapal keseluruhan serta konstruksi dalam kapal.
4. Analisa dilakukan pada kapal Ferry 3325 DWT

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI

2.1 Konsep Energy Saving Device (ESD)

Meningkatnya Isu lingkungan akibat polusi, efek rumah kaca yang diakibatkan peningkatan emisi karbon dioksida, mendorong para desainer untuk inovasi desain kapal yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan (Utama, et.al. 2014). Dewasa ini kapal penumpang modern mengkonsumsi lebih dari 50.000 ton bahan bakar fosil per tahunnya (Kanerv et.al, 2007).

Beberapa metode dan peralatan telah dikembangkan untuk mereduksi daya propulsi kapal, terutama untuk kapal-kapal niaga yang fokus pada sektor ekonomi diantaranya biaya produksi, biaya operasional seperti biaya crew, bahan bakar serta biaya disposal dan sektor lingkungan seperti polusi udara. Berdasarkan hal tersebut berkembang ide untuk membuat inovasi desain instalasi peralatan yang ramah lingkungan dan mampu mengurangi konsumsi energi berlebih, selain itu dapat diaplikasikan pada kapal yang sudah ada sehingga mengurangi biaya untuk pembuatan inovasi kapal baru secara keseluruhan yang kemudian disebut dengan Energy Saving Devices.

Konsep Energy Saving Devices (ESD) mulai muncul dan berkembang sekitar awal abad 20, seiring dengan mencapai puncaknya pada akhir tahun 70-an atau awal tahun 80-an seiring dengan berkembangnya krisis bahan bakar fosil (Jong, 2006). Ide dasar atau motivasi dari konsep ESD adalah penurunan emisi Karbon Dioksida (CO₂) yang sesuai dengan permintaan IMO tentang Energy Efficiency Design Index (EEDI) untuk mengatur dan mengontrol tentang indeks tingkat emisi karbon, emisi CO₂ ini yang mengakibatkan pemanasan global.

Pada tahun 2012 IMO menyoroti tentang pentingnya pengurangan emisi karbon dioksida yang mengakibatkan global warming. Pada tahun 2013 IMO mengeluarkan mandat tentang metode yang dapat diaplikasikan pada kapal bangunan baru atau kapal yang sudah ada untuk memberlakukan penghematan energi yang berdasar EEDI. Hal ini yang menjadi Prinsip dari ESD ini yaitu pengurangan konsumsi energi dan menangkap energi yang terbuang. ESD ini

mengandalkan dua langkah utama untuk meningkatkan efisiensi kapal yaitu peralatan yang dapat meningkatkan efisiensi propulsi dan memberikan sumber daya alternatif yang dapat diperbaharui(Collison et al, 2013).

2.2 Pengembangan Energy Saving Devices pada Kapal

Energy saving devices dapat diaplikasikan pada kapal bangunan baru atau kapal yang sudah ada. Untuk kapal bangunan baru pemasangan ESD lebih optimal karena direncanakan secara kompleks pada saat tahapan desain sedangkan untuk kapal yang sudah ada pengaplikasian ESD bergantung pada peralatan tambahan khusus yang mudah untuk bongkar pasang atau retrofit devices. Dewasa ini pemakaian ESD Yang menjadi area fokus ESD adalah pada:

- a) Hullform kapal: pada hullform ini beberapa instalasi tambahan dipasang pada bagian badan kapal,salah satu fokusnya adalah untuk aspek hidrodinamika kapal dengan tujuan untuk mengurangi hambatan kapal. Salah satu aplikasi retrofit ini adalah misal pada bagian buritan kapal dipasang stern flap,ducktail dan trim wedges yang berfungsi untuk mengurangi hambatan akibat efek wetted transom



Gambar2.1 : Penambahan Ducktail pada buritan kapal. (DSME, 2008)

- b) Propeller Design : Kebanyakan konsep ESD adalah untuk pengoptimalan instalasi propulsi dengan tujuan untuk efisiensi propulsi, mengurangi energi yang terbuang akibat konsumsi daya yang berlebih (Kim.et.al, 2013). Penambahan inovasi desain propeller yang efektif untuk menunjang

kinerja sistem propulsi seperti penambahan pre and post swirl stator, rudder bulb, penambahan fin pada muka propeller, wake equalizing duct, spesial propeller (kappel) dan lain-lain.



Gambar2.2:Penambahan wake equalizing duct pada propeller
(DSME,2008)

- c) Special Devices : Penambahan instalasi tertentu untuk mengurangi konsumsi energi, spesial device ini dapat berupa aplikasi sebagai alternatif energi terbarukan. misalkan penggunaan layar, solid sails dan wind power- Flettner rotor, instalasi listrik yang hemat energi, Penambahan air lubrication untuk mengurangi hambatan gesek kapal dan lain-lain.



Gambar 2.3: Wind Power, Sail and Kites (<http://worldmaritimenews.com>)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, salah satu fungsi ESD adalah

peningkatan efisiensi propulsi yang terdiri dari dua faktor Komponen yaitu :

a) Penurunan Energi akibat Hambatan

Sebagaimana yang telah disebutkan hambatan berpengaruh terhadap konsumsi daya mesin induk, dengan demikian hidrodinamika kapal yang baik memiliki potensi untuk pengurangan konsumsi bahan bakar baik mengurangi hambatan pada sistem propulsi. Penurunan hambatan dapat dilakukan dengan beberapa aplikasi yang dipasang pada bagian kapal tertentu. Selain itu faktor natural seperti karakteristik gelombang, temperatur lautan di setiap wilayah perairan serta tipe kapal juga berpengaruh terhadap hambatan.

b) Penurunan Energi akibat Propulsi kapal

Sistem propulsi merupakan bagian vital kapal dimana kapal mampu beroperasi maksimal atau tidak, pemilihan komponen propulsi yang tepat akan meningkatkan kinerja kapal tanpa harus menaikkan konsumsi daya mesin. Sistem propulsi memiliki sistem yang kompleks, bagaimana propeller mampu bekerja secara harmonis dengan mesin induk. Dengan pengaplikasian beberapa komponen pada propeller seperti duct propeller mampu meningkatkan efisiensi propulsi sebesar 3-5% (Kim,2011)

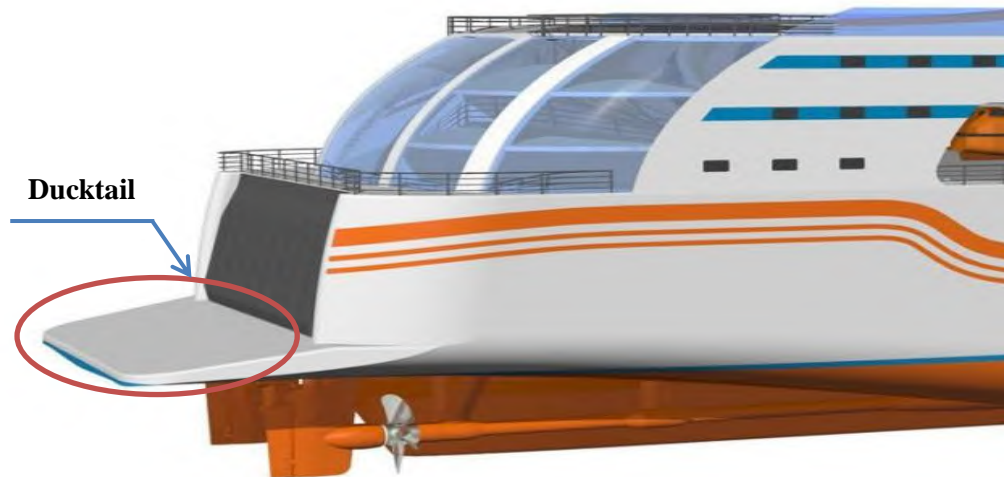
2.3 Aplikasi ESD pada Kapal Ferry

Kapal ferry merupakan alat transportasi vital bagi wilayah kepulauan, sebagai sarana transportasi antar pulau, kapal ferry merupakan kapal tidak hanya mengangkut penumpang tetapi juga barang, seperti kapal ro-ro yang masuk dalam kategori kapal ferry.

Kapal ferry biasa beroperasi pada angka froude 0,23-0,35 (Hamalainen et al, 2013) dengan angka froude yang cukup tinggi maka aspek hidrodinamika perlu diperhatikan, untuk meminimalisir hambatan dipengaruhi oleh beberapa koefisien kapal terlebih ferry memiliki bagian buritan dengan bentuk transom yang tidak mampu mengenerate gelombang dari arah head seas sehingga terjadi aliran turbulensi di area belakang transom.

Untuk meminimalisir efek yang diakibatkan transom maka dapat diminimalisir dengan penambahan Ducktail yang merupakan inovasi ESD instalasi penambahan alat untuk mengurangi gelombang pada bagian buritan,

bentuk ducktail seperti fin atau sirip yang dipasang pada bagian transom kapal yang menyentuh garis air. Konsep Ducktail ini adalah pengurangan hambatan yang nantinya dapat menghemat daya mesin. Prinsip ducktail ini adalah menambah panjang garis air efektif dan mengurangi efek wetted transom sehingga mampu mengurangi hambatan (Wartsila, 2009)



Gambar 2.4: Penambahan Ducktail pada bagian buritan kapal ferry
(Wartsila, 2009)

2.4 Pengertian Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing.

Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain komputasi atau ruang lingkup tertutup yang membatasi proses simulasi CFD dan *boundary condition* dimana dalam domain tersebut dibatasi oleh kondisi fisik tertentu yang telah ditentukan.

Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

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

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan dengan Persamaan Navier Stokes. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat.

Pada dasarnya persamaan-persamaan fisis yang mengatur peristiwa aliran fluida (*fluid flow governing equations*) adalah persamaan-persamaan diferensial yang merepresentasikan hukum-hukum kekekalan massa, momentum, dan energi. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Persamaan umum untuk aliran fluida terdiri dari hukum konservasi massa, momentum dan energi yang terangkum dalam Persamaan Navier-Stokes.

- Persamaan Kontinuitas menyatakan bahwa laju dari perubahan massa secara control volume mikroskopik setara dengan laju massa aliran batas permukaan. Persamaan berikut menjelaskan tentang kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (2.1)$$

Dimana ∇ merupakan diferensial dari operator $(\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$,

- Persamaan Momentum menyatakan bahwa laju perubahan momentum dalam kontrol volume dalam skala relatif kecil setara dengan laju dimana saat memasuki dalam permukaan kontrol volume ditambah dengan jumlah

gaya yang bekerja pada volume tersebut. Persamaan konservasi momentum adalah persamaan yang mendefinisikan gerakan fluida ketika terjadi gaya-gaya pada partikel-partikelnya pada setiap elemen fluida yang didefinisikan di dalam model. Persamaan berikut menjelaskan tentang momentum

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \mathbf{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \mathbf{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z,\end{aligned}\quad (2.2)$$

Dimana $\mathbf{V} = (u, v, w)$

- Persamaan energi menyatakan bahwa laju netto penambahan perpindahan energi internal dalam kontrol volume sebanding dengan laju dari energi yang masuk dalam entalpi ditambah tegangan viskos dalam kontrol volume yang dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \nabla \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \mathbf{V} \right] &= \rho \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{\partial (up)}{\partial x} - \frac{\partial (vp)}{\partial y} - \frac{\partial (wp)}{\partial z} + \frac{\partial (u\tau_{xx})}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\tau_{zz})}{\partial z} + \rho f \cdot \mathbf{V}.\end{aligned}\quad (2.3)$$

Persamaan Navier-Stokes yang dikombinasikan dalam ketiga persamaan tersebut apabila dikombinasikan dengan persamaan kekekalan massa memberikan suatu gambaran matematis yang lengkap dari aliran fluida newtonian tak mampu mampat. (Young et.al, 2003).

Dalam CFD memprediksi aliran berdasarkan:

- Model matematika dengan persamaan diferensial parsial, khususnya memecahkan persamaan Navier-Stokes. Dengan memecahkan persamaan diferensial, dapat diketahui nilai di seluruh titik domain simulasi.
- Metode numerik yaitu teknik solusi dan diskritisasi.
- Tools perangkat lunak untuk komputasi seperti *solvers*, *tools pre-* dan *post-processing*

Dalam CFD terdapat kriteria yang digunakan untuk setting pemodelan kondisi fisik fluida seperti berbagai jenis aliran multi fasa dimana terdapat interaksi dua atau jenis fluida dengan kerapatan jenis yang berbeda, fraksi volume antar fluida yang menjelaskan persentase masing-masing fluida dalam suatu domain komputasi serta pemodelan turbulen yang akan digunakan dalam simulasi.

2.4.1 Volum of Fluid (VOF)

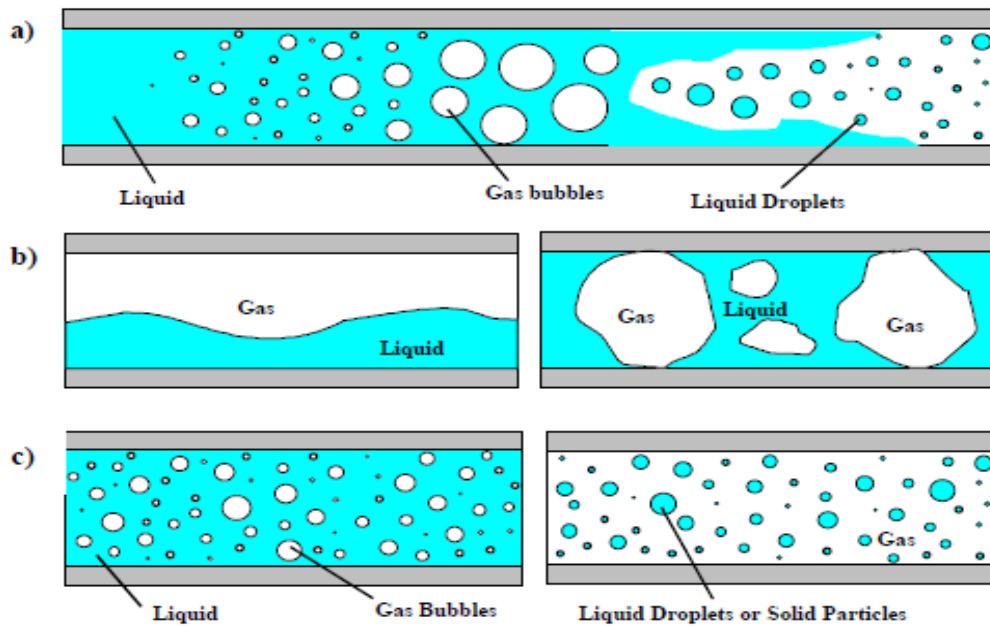
Adalah metode untuk diskritisasi yang umum diimplementasikan dalam CFD code. Yang dimaksud dengan diskritisasi adalah memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah–daerah kecil yang disebut dengan grid atau *mesh*. Dengan terlebih dahulu menetapkan nilai pada kondisi batas daerah perhitungan (*boundary condition*), maka nilai kecepatan aliran, tekanan, dan temperatur dapat dihitung pada setiap *mesh* atau *grid* yang sudah ditetapkan berdasarkan persamaan – persamaan atur seperti persamaan massa, gaya, energi dan lain-lain. Dalam *volum of fluid* menggunakan metode diskritisasi *finite volume method* (FVM) dimana domain komputasi dibagi menjadi kontrol volume dan prinsip konservasi yang kemudian diaplikasikan untuk setiap kontrol volume. Yang menjadi keuntungan penggunaan FVM adalah baik dalam setiap sel hingga secara keseluruhan memungkinkan untuk dikonservasi.

2.4.2 Sistem Aliran *Multiphase* (Multi Fasa)

Dalam pemodelan aplikasi ducktail menampilkan dua fluida secara antar muka untuk melihat fenomena aliran, aliran dua fluida tersebut dinamakan aliran *multiphase*, atau aliran yang memiliki lebih dari satu fasa baik sejenis maupun beda jenis. Aliran berdasarkan fasanya secara umum dapat dibagi menjadi aliran satu fasa, dua fasa dan aliran multifasa. Aliran muti fasa diklasifikasikan menjadi beberapa rejim pembentuknya dan dapat dibagi menjadi empat kategori yaitu:

1. Aliran gas-cairan atau aliran cairan-cairan
2. Aliran gas-padatan
3. Aliran cairan-padatan
4. Aliran tiga fasa terdiri gas-cairan-padat.

Aliran dua fasa dibagi lagi menjadi tiga jenis, yaitu : aliran fasa transient, aliran dua fasa terpisah dan aliran dua fasa terdispersi (Sommerfeld,2000). Berdasarkan Sommerfeld, maka aliran multifasa untuk simulasi hambatan pada aplikasi ducktail adalah aliran dua fasa terpisah yaitu udara dan air.



Gambar 2.6 Jenis Aliran Multi fasa, a) aliran dua fasa transient, b) aliran dua fasaterpisah,c) aliran dua fasa terdispersi (Sommerfeld.2000)

Pada Aliran Multifasa terdapat berbagai pendekatan model untuk menjelaskan perilaku dinamika fluida yang terjadi. Pendekatan yang dilakukan berdasarkan kasus atau tipe multifasa yang akan dimodelakan. Secara umum pendekatan model untuk aliran multifasa adalah pendekatan *Euler-Langrange* dan *Euler-Euler*.

- Pendekatan *Euler-Langrange*

Pada pendekatan *Euler-Langrange* fasa cair diperlakukan sebagai fasa kontinum dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes, sementara fasa terdispersi diselesaikan dengan penjejakan atau *tracking* partikel, gelembung atau droplet melalui perhitungan aliran yang terjadi. Fasa terdispersi dapat merubah momentum, massa dan energi pada fasa fluida. Asumsi yang mendasar pada penggunaan model ini adalah fasa terdispersi yang merupakan

fasa kedua yang mempunyai fraksi volume yang rendah walaupun massa $m_{partikel} \geq m_{fluida}$. Lintasan dan arah partikel atau droplet diselesaikan secara individual pada interval yang spesifik selama perhitungan fasa cair.

- Pendekatan *Euler-Euler*

Pada pendekatan *Euler-Euler*, berbagai fasa yang berbeda diperlakukan secara numerik sebagai fasa kontinum yang saling mempengaruhi. Pendekatan ini digunakan untuk aliran multi fasa terpisah dimana dideskripsikan kedua fluida tersebut sebagai kontinum. Penggunaan fraksi volume diasumsikan sebagai fungsi ruang dan waktu kontinu dengan jumlah fraksi volume keseluruhan satu. Persamaan kekekalan energi untuk tiap fasa diperoleh dari pembangunan persamaan untuk semua fasa.

2.4.3 Fraksi Volume

Konsep fraksi volume pada model multifasa digunakan untuk menyatakan penetrasi antar fasa sehingga dapat berlaku secara kontinu dalam satu kesatuan. Fraksi volume juga menyatakan ruang yang dibutuhkan setiap fasa. Persamaan konservasi massa dan momentum diselesaikan pada setiap fasa. Penurunan persamaan konservasi dilakukan dengan mereratakan kesetimbangan sesaat lokal untuk setiap fasa (Anderson et al, 1967) atau dengan menggunakan pendekatan teor pencampuran (Bowen,1976).

Volume fasa q , V_q didefinisikan sebagai berikut :

$$V_q = \int_V \alpha_q dV$$

Dengan,

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (2.5)$$

Massa jenis efektif fasa q adalah $\hat{\rho}_q = \alpha_q \cdot \rho_q$ dengan ρ_q massa jenis fasa q

2.4.4 Free Surface dalam CFD

Pemodelan *free surface* adalah multiphase dengan dua fluida (air dan udara) secara terpisah, pemodelan *free surface* dengan kerapatan jenis yang berbeda mengakibatkan kedua fluida tersebut berpisah tetapi tetap berada pada level masing-masing dan berada dalam satu domain komputasi yang direpresentasikan dalam interface yang tajam diantara kedua fluida tersebut. *Free*

surface diasumsikan sebagai *homogenous* yaitu keadaan multifasa tidak bercampur secara mikroskopik melainkan berada dalam suatu komputasi tersebut memiliki parameter seperti kecepatan, momentum serta tekanan dari partikel fluida-fluida tersebut dapat direpresentasikan secara bersama dalam satu domain komputasi. Pada CFD untuk peodelan *free surface* menggunakan pemodelan dengan metode *euler-euler*.

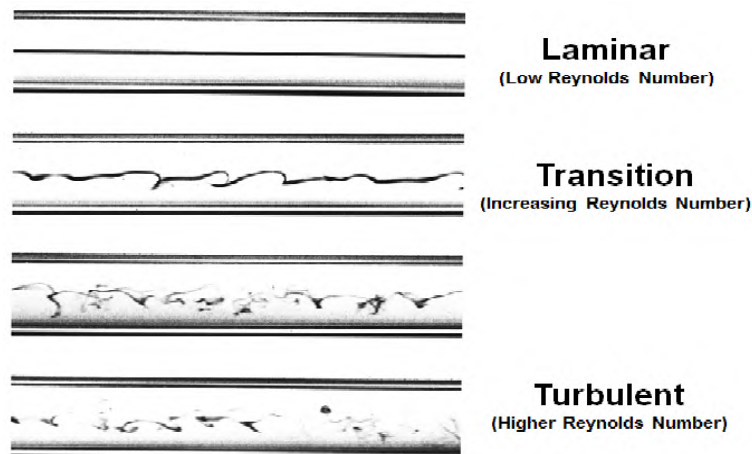
2.4.5 Turbulensi

Pengertian turbulen dalam definisi adalah acak, tidak beraturan, atau dapat juga diartikan sebagai perputaran. Jenis aliran turbulen dapat disebabkan perbedaan ketinggian. Turbulensi adalah suku-suku non-linear, seperti gesekan dasar, angin, batuan, kedalaman, dan suku-suku gaya viskos. Aliran turbulen adalah aliran fluida yang tak tunak, tak seragam, dan parameter sifat fluida seperti kecepatan, tekanan, suhu, dan salinitas yang berubah dengan sangat tidak teratur.

Dalam aliran turbulensi, aliran berubah terhadap ruang dan waktu. Suku gaya gesek atau viskos sangat berperan untuk hampir semua aliran fluida. Analisis aliran turbulen dilakukan dengan memisahkan aliran merata dan fluktuasinya. Persamaan momentum dapat diterapkan pada aliran turbulen. Nilai rerata dari fluktuasi parameter fluida dalam rentang waktu tertentu mendekati nol, karena penjumlahan nilai-nilainya mendekati nilai nol.

Aliran fluida dapat diaktegorikan menjadi :

- aliran laminar adalah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan.
- aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.
- aliran transisi adalah aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.7 Jenis-jenis Aliran Fluida (<http://learningfluidmechanics.blogspot.co.id/>)

Untuk membedakan aliran laminar dan turbulen dapat digunakan bilangan Reynold. Bilangan Reynold merupakan besaran fisis yang tidak berdimensi. Bilangan ini dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminier dan turbulen di satu pihak, dan di lain pihak dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Pada perasamaan 2.7 menjelaskan tentang rumus perhungan nilai Reynolds

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (2.6)$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynold

ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)

U : Kecepatan fluida mengalir (m/s)

μ : viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Reynold Average Navier-Stokes (RANS) Equation diasumsikan tiga komponen kecepatan (u, v dan w) yang direpresentasikan sebagai fluktuasi kecepatan turbulen secara cepat disekitar variasi rata-rata kecepatan. Hasil dari rata-rata menghasilkan tegangan reynold. Secara umum metode pemodelan turbulensi berdasar persamaan RANS dibagi dalam empat kategori (Wilcox,

2006) dan secara umum diterapkan dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah *Two-Equation Model*. Merupakan salah satu metode pemodelan yang paling umum digunakan untuk fenomena turbulen secara umum. Pemodelan ini diturunkan dari dua persamaan transport, yang umumnya merepresentasikan fenomena turbulen properti seperti energi kinetik (k) dan dissipasi (ε) atau dissipasi spesifik (ω). Pemodelan turbulen tersebut adalah:

- K-epsilon (k - ε) Turbulence model

K-Epsilon merupakan salah satu jenis pemodelan turbulensi yang sering digunakan. Model ini menambahkan dua buah persamaan transport untuk memodelkan suatu turbulensi, variabel pertama adalah energi kinetik turbulen (k) dan variabel kedua adalah laju disipasi energi kinetik turbulensi (ε). Nilai k menunjukkan jumlah energi dalam turbulensi sedangkan nilai ε menunjukkan ukuran dari turbulensi. K-epsilon menangkap turbulen yang ada di area luar boundary layer. Model ini kurang sensitif terhadap model dengan gerakan swirl dan perubahan gradasi tekanan yang terlalu besar.

- K-omega (k - ω) Turbulence model

Adalah pemodelan turbulen yang digunakan untuk memprediksi *flow separation* dalam boundary layer. Model ini cocok digunakan pada aliran low reynold number, fluida ideal atau aliran laminar. Model ini merupakan model dengan dua persamaan transport dengan nilai k menunjukkan jumlah energi dalam turbulensi dan ω adalah laju spesifik disipasi dari turbulensi.

- Shear Stress Transport based k - ω

Adalah pemodelan turbulensi dengan mengkombinasikan turbulen model k-epsilon untuk menangkap turbulen diluar area boundary layer dan k-omega untuk menangkap turbulen didalam boundary layer. Pemodelan ini memiliki keakuratan yang tinggi untuk menangkap turbulen termasuk *flow separation* dalam aliran laminar.

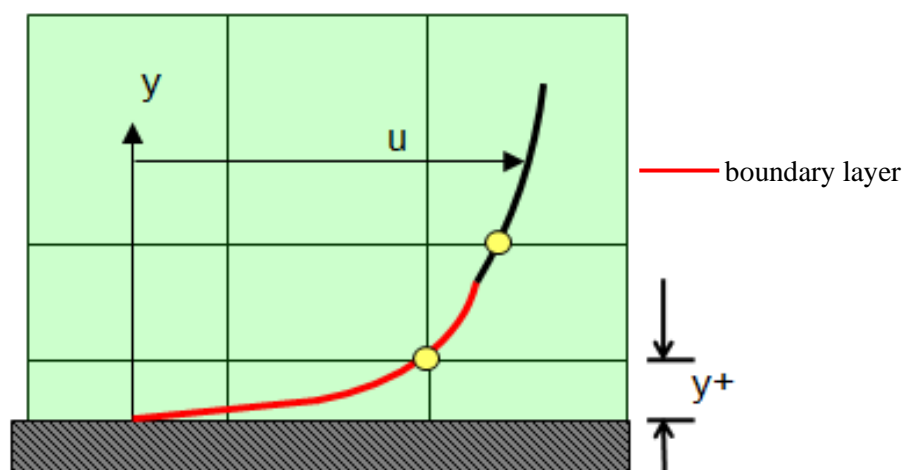
2.4.6 Near wall treatment

Dalam CFD pemodelan turbulen dikategorikan menjadi aliran laminar dan turbulen. Untuk nilai Reynold yang tinggi ($>10^6$) aliran diasumsikan sebagai

aliran turbulen, dimana aliran tersebut berpengaruh pada keberadaan dinding yang diasumsikan sebagai *no-slip wall*. Ketika aliran fluida mendekati dinding objek, velocity aliran akan mendakti nol hal ini disebabkan oleh pengaruh viskositas dalam *boundary layer* atau lapisan batas. Lapisan batas terbentuk ketika sebuah dinding dialiri oleh fluida dan bergesekan karena mengalami beberapa faktor seperti efek viskositas. Sehingga dalam boundary layer terdapat pengaruh aliran laminar pada sekitar dinding yang mengakibatkan kecepatan aliran pada permukaan dinding mendekati nol.

Dalam CFD simulasi dengan nilai Re yang tinggi diasumsikan aliran turbulen keseluruhan tanpa memperhatikan pengaruh boundary layer tersebut sehingga dalam CFD dibutuhkan metode khusus yang digunakan untuk mengoreksi nilai turbulen untuk aliran luar dinding dan aliran yang dekat permukaan dinding yang disebut *near wall treatment* (Yu Ding, 2016).

Pemodelan pada CFD memerlukan mesh khusus *inflation layer* untuk membentuk lapisan batas pada permukaan dinding yang dapat menyelesaikan dan mengoreksi aliran disekitar dinding. Dalam near wall treatment dinotasikan sebagai y^+ yaitu nilai tanpa satuan yang merupakan jarak dari dinding ke lapisan *inflation layer* pertama. Pada gambar berikut menunjukkan nilai yplus pada lapisan mesh pertama dari dinding.



Gambar 2.8 yplus untuk wall treatment (Introduction to Ansys CFX , 2009)

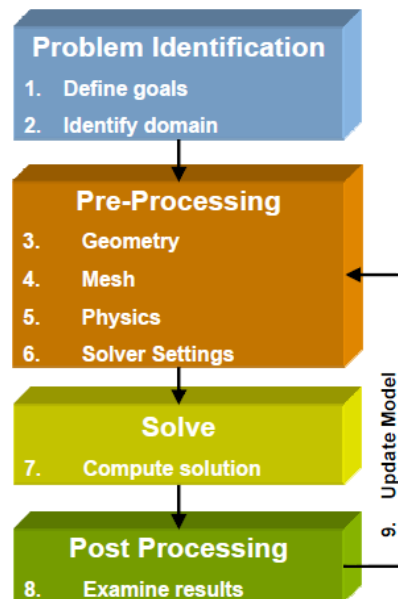
Dalam simulasi CFD nilai y^+ untuk pemodelan turbulen adalah 30-500 untuk mendapatkan nilai yang akurat. Nilai y^+ diatas 500 maka letak jarak antara dinding dengan lapisan *mesh* pertama dan akan berada jauh diluar lapisan batas sehingga *wall function* tersebut tidak akurat menangkap turbulen.

2.5 Tahapan Kerja CFD

Secara umum proses penghitungan dengan CFD dimulai dengan tahap awal identifikasi permasalahan dengan menentukan hasil apa yang ingin kita dapatkan (menentukan tujuan) seperti tekanan, distribusi massa dan lain-lain serta identifikasi domain, bagian model manakah yang akan dianalisa apakah sebagian atau keseluruhan. Setelah melalui proses diskritasi atau *meshing* dimana domain komputasi dan model dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil diketahui maka tahapan CFD selanjutnya adalah terdiri atas 3 bagian utama:

- *Preprocessor* adalah tahap penentuan kondisi batas dalam suatu domain komputasi. Dalam CFD kondisi batas akan mempengaruhi proses fisik yang berlangsung. Kondisi batas tersebut berupa inlet yaitu wilayah dimana fluida akan memasuki domain dengan kecepatan tertentu, outlet dimana fluida melewati model kemudian model yang diasumsikan sebagai no-slip dimana kecepatan fluida pada saat mendekati model adalah mendekati nol akibat pengaruh *boundary layer*. Selain itu adalah setting *inilization* untuk mensetting pemodelan turbulen, jenis fluida beserta material propertisnya, kecepatan fluida dan lain-lain serta setting *solver kontrol* yang digunakan untuk skema diskritasi yang digunakan.
- *Processor*, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.
- *Postprocessor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar grafik bahkan animasi dengan pola-pola kontur tertentu seperti berupa grafik, vektor, kontur dan bahkan animasi. Dengan CFD analisa terhadap suatu

sistem dapat mengurangi biaya eksperimen yang berulang kali sebelum mendapat prototype yang final dan tentunya waktu yang panjang dalam melakukan eksperimen tersebut. Atau dalam proses design engineering tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil.



Gambar 2.9 Tahapan proses CFD (Introduction to CFD Methodology, 2010)

2.5.1 *Software Code Computational Fluid Dynamic (CFD)*

CFD memiliki beberapa metode yang digunakan untuk mensimulasi aliran fluida pada sub bab ini akan membahas tentang *software Ansys CFX* yang merupakan bagian dari *software Ansys Workbench* yang digunakan untuk masalah aliran fluida.

2.5.2 **Free Surface dalam Ansys CFX**

Merupakan *software* untuk permasalahan aliran fluida secara general dan multiguna. CFX dapat digunakan untuk analisa laminar keturbulen (termasuk transisi), incompressible, compressible, subsonic dan supersonic, isothermal atau dengan transfer panas oleh konveksi dan atau radiasi non reaksi pada

pembakaran, peralatan stasioner atau rotating, fluida tunggal dan campuran dalam satu atau multifase (termasuk free surfaces). Selain itu untuk simulasi hambatan kapal, dalam software ini mampu menampilkan nilai hambatan yang terjadi dan memvisualisasikan bagian kritis suatu model.

Dalam simulasi aplikasi ducktail pada kapal terhadap hambatan kapal maka perlu memodelkan fenomena aliran dimana dapat divisualisasikan distribusi gaya yang bekerja pada kapal tersebut. Dengan demikian fenomena yang tepat untuk pemodelan adalah pemodelan dengan free surface dengan menampilkan dua fluida antar muka sehingga terlihat fenomena aliran tersebut. Parameter yang terkait dalam pemodelan free surface ini terdiri dari beberapa pendekatan model untuk menjelaskan perilaku dinamika fluida yang terjadi.

Secara umum Computational Fluid Dynamic (CFD) persamaan untuk aliran yang telah dibahas pada Dalam CFX solver yang diimplementasikan adalah solver coupled dan vertex berbasis pendekatan Finite Volume Method.

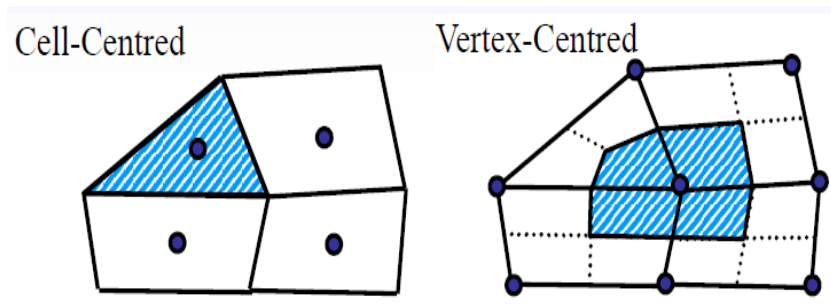
- *Coupled solver*

Coupled solver adalah pendekatan dengan memecahkan semua persamaan hidrodinamik secara bersamaan dalam sistem tunggal. Persamaan momentum, kontinuitas dan energi diselesaikan secara simultan dan bersamaan serta waktu yang dibutuhkan untuk iterasi dalam mencapai konvergensi.

- *Cell Vertex based FVM*

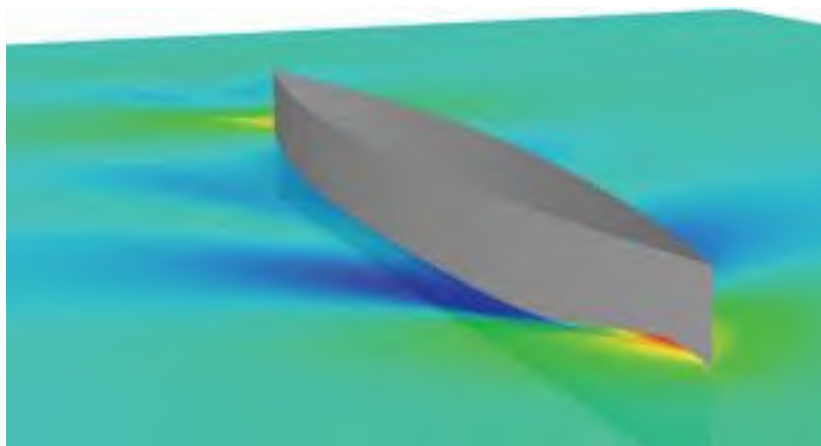
Dalam vertex berbasis FVM control volume terbentuk secara terpusat disekitar tiap-tiap mesh vertex yaitu pada terpusat pada pusat. Simpul mesh juga digunakan untuk menyimpan variabel-variabel. Persamaan-persamaan fisis yang mengatur peristiwa aliran fluida (*fluid flow governing equations*) terintegrasi pada seluruh kontrol volume. Kontrol volume terdiri dari beberapa mesh elemen, diskritasi yang dilakukan dalam tiap elemen dan kemudian properti-properti didistribusikan sesuai dengan kontrol volume. Berbeda dengan centre node based FVM, domain komputasi dibagi menjadi sebuah mesh yang terdiri dari beberapa elemen dan tiap-tiap elemen tersebut membentuk kontrol volume. Perbedaan mendasar adalah cell vertex menyimpan variabel pada mesh vertex atau pusat mesh, tetapi cell centered

variabel tersimpan dalam setiap sel. Jika dibandingkan cell vertex menghasilkan kontrol volume yang lebih sedikit sehingga gradien resolusi lebih akurat per kontrol volume.



Gambar 2.10 Perbedaan Cell centered dengan Cell Vertex (<http://cfd-online.com>)

Didalam CFX terdapat *setting* untuk fenomena turbulen. Dalam setting kondisi batas inlet turbulen di CFX menggunakan Intensity and Length Scale dimana intensitas turbulen dan length scale (tinggi dari dasar boundari ke sarat kapal) dapat ditentukan secara langsung. Intensitas turbulen yang diambil adalah medium intensitas dengan nilai 5%, nilai ini direkomendasikan ketika tidak ada informasi lebih tentang inlet turbulensi dalam model.



Gambar 2.11 Visualisasi Free Surface sepanjang kapal (<http://ansys.com>)

Pada Ansys CFX pemodelan free surface masuk dalam kategori Free Surface Flow Over Bump (CFX Tutorial,2009). Dalam simulasi tersebut mensetting dua fluida dengan perbedaan dua density yang memisahkan kedua fluida tersebut.

Component	Feature	Details	
CFX-Pre	User Mode	General mode	
	Analysis Type	Steady-state	
	Fluid Type	General Fluid	
	Domain Type	Single Domain	
	Turbulence Model	k-Epsilon	
	Heat Transfer	Isothermal	
	Buoyant Flow		
	Multiphase	Homogeneous Model	
	Boundary Conditions		Inlet
			Opening
			Outlet
			Symmetry Plane
			Wall: No Slip
CEL (CFX Expression Language)			
Mesh Adaption			
Timestep	Physical Time Scale		

Gambar 2.13 Tutorial untuk pengaturan Free Surface Flow Over Bump pada CFX (Ansys CFX Solver Theory Guide, 2009)

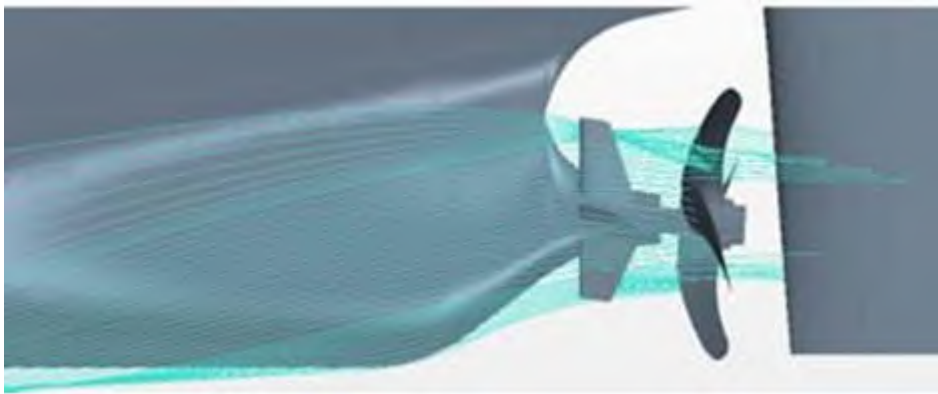
2.5.3 Pengujian Aplikasi ESD dengan CFD

CFD banyak memiliki manfaat untuk proses simulasi dan visualisasi sehingga proses pengujian dapat maksimal sebelum memasuki proses pengujian real dengan pembuatan prototype model

Biaya yang dikeluarkan juga jauh lebih terjangkau bila dibandingkan dengan uji model. Meskipun dalam proses penghitungan CFD dibatasi dengan parameter dan kondisi batas untuk mewakili keadaan sesungguhnya tetapi tingkat akurasi dapat dijadikan sebagai acuan.

Dengan berkembangnya CFD mampu mengatasi pengujian untuk industri maritim terlebih unuk pengujian aliran fluida yang dapat menampilkan simulasi aliran pada objek yang diteliti. Sebagai Tambahan CFD menyajikan suatu petunjuk pada desain ESD dengan demikian ESD dapat dioptimasi

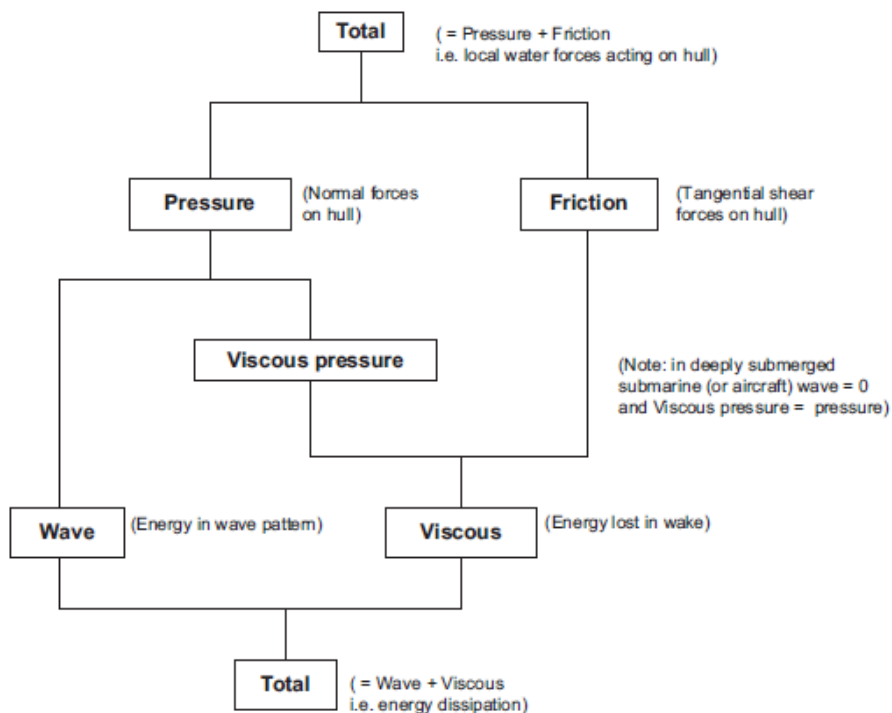
meskipun dengan skala ukuran sesungguhnya beserta bentuk pola aliran yang terbentuk, sehingga kesalahan dalam desain dapat dihindari. CFD juga mendukung untuk aplikasi penambahan ESD pada kapal, sebagai alat simulasi dan visualisasi, Pada penelitian sebelumnya yang mengembangkan aplikasi ESD terutama untuk peralatan propulsi dengan menggunakan komputasi CFD menampilkan pengujian penggunaan tiga peralatan ESD Pre-Duct Stator system, Pre-Swirl stator dan Hub Fins, mampu meningkatkan efisiensi propulsi masing-masing sebesar 6%,4% dan 2% (Diang et al, 2012).



Gambar 2.14 Fluid Flow pada Pre-Swirl Stator dengan simulasi CFD (Simonsen and Carstens, 2009)

2.6 Hambatan Kapal

Hambatan (resistance) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan kapal merupakan besarnya gaya hambat yang berlawanan arah dengan gerak kapal. Menurut Molland et.al. 2011 Komponen Hambatan Total terdiri dari *Frictional Resistance*, *Pressure Resistance*, *Total Viscous Resistance* dan *Total Wave Resistance*.

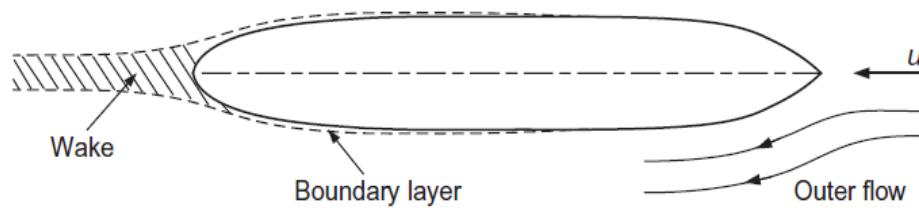


Gambar 2.15 Komponen dasar hambatan (Molland, 2011)

Secara fisik komponen gaya yang bekerja pada suatu bodi kapal yang mengakibatkan hambatan total terdiri dari dua komponen yaitu gaya normal yang bekerja tegal lurus terhadap bodi kapal dan gaya tangensial yang bekerja melawan arah bodi kapal, dari komponen tersebut maka hambatan total kapal terdiri dari:

- Frictional Resistance

Adalah hambatan yang terjadi akibat gaya tangensial yang melawan bodi kapal, gaya tersebut terjadi akibat adanya gesekan dari kapal yang melaju dengan fluida yang disebabkan oleh factor viskositas fluida dan gerakan body. Pada bagian di antara permukaan badan kapal dan aliran air terdapat lapisan *boundary*. Perubahan kecepatan aliran yang sangat cepat pada arah normal menyebabkan terjadinya tegangan *shear* yang tinggi dalam lapisan *boundary*. Integral tegangan *shear* yang terjadi pada total luas permukaan basah badan kapal menghasilkan suatu hambatan gesek.



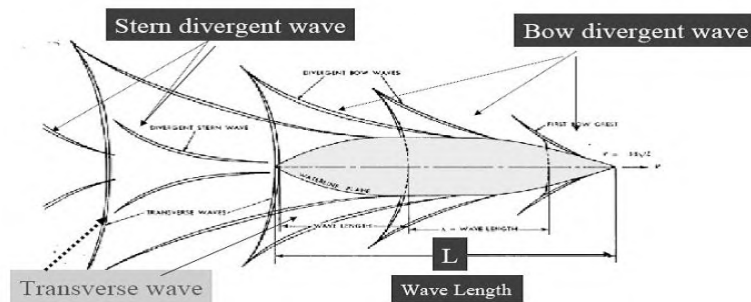
Gambar 2.16 Boundary Layer pada kapal (Molland, 2011)

- Pressure Resistance*

Adalah hambatan yang terjadi akibat gaya normal yang bekerja pada kapal, tekanan pada seluruh elemen bodi kapal yang tercelup dalam fluida, sehingga menghasilkan total *pressure resistance*. Hambatan gesek seluruhnya terjadi karena viskositas tetapi hambatan tekan terjadi karena sebagian viskositas dan wave making dari bodi kapal.
- Total Viscous Resistance*

Pada hambatan ini terdiri dari hambatan gesek dan sebagian dari hambatan tekan. Model kapal yang bergerak pada kondisi tercelup jauh dari permukaan air tidak akan menghadapi hambatan gelombang, namun hambatan terbesar yang terbentuk yaitu hambatan gesek. Karena bentuk kapal yang sedemikian rupa, maka aliran lapisan *boundary*-nya mempunyai kecepatan yang terkadang lebih tinggi atau lebih rendah dari kecepatan rata-rata dan menimbulkan tegangan *shear* yang lebih tinggi. Disamping itu juga terjadi kehilangan energi karena pusaran dan pecahnya aliran di bagian belakang model kapal dan menghalangi terjadinya peningkatan tekanan di bagian belakang model kapal tersebut.
- Wave Resistance*

Merupakan komponen hambatan total, berkaitan langsung dengan energi yang dikeluarkan secara terus-menerus oleh kapal untuk membentuk gelombang pada permukaan air. Gelombang yang dihasilkan kapal memiliki 2 sistem gelombang, yaitu sistem gelombang transversal dan divergen.

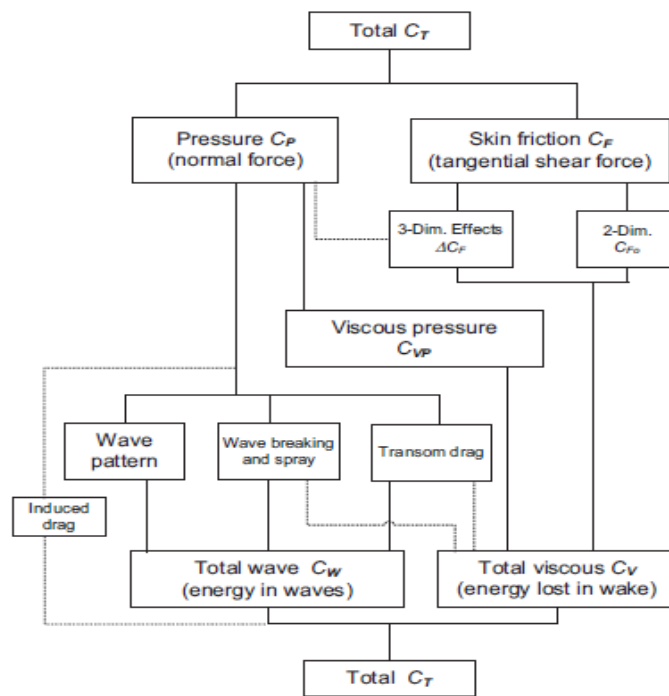


Gambar 2.17 Sistem gelombang transversal dan divergen (Carlton, 2007)

Sistem gelombang transversal membentuk pola melintang tegak lurus dengan arah gerakan kapal. Kecepatan gerak gelombang ini sama dengan kecepatan gerakan kapal. Pada kecepatan rendah, beberapa puncak gelombang akan muncul di sepanjang lambung kapal, hal ini dikarenakan panjang gelombang dari sistem ini lebih pendek daripada panjang kapal pada kondisi *low speed*. Apabila kecepatan dari kapal naik maka panjang gelombang dari sistem transversal akan ikut naik. Ketika panjang gelombang mendekati panjang kapal maka *wave making resistance* akan naik dengan sangat cepat. Hal ini dapat menjelaskan fenomena atau alasan meningkatnya hambatan total kapal ketika kecepatan kapal bertambah. Sistem gelombang yang kedua adalah sistem gelombang divergen. Sistem gelombang ini terdiri dari 2 gelombang yang dihasilkan oleh kontak fluida dengan haluan kapal dan juga kontak fluida oleh bagian buritan kapal.

Dari pemaparan beberapa komponen dasar hambatan total tersebut kemudian dijabarkan tentang detail-detail komponen yang terkait termasuk *wave breaking, spray, transom dan induced drag*. Pada detail hambatan berikut ini menjelaskan terperinci tentang hambatan yang ditimbulkan akibat bentuk transom, pada kapal monohull dewasa ini banyak menggunakan desain transom stern sehingga mengakibatkan hambatan transom, hambatan ini masuk kedalam komponen hambatan pressure dimana tekanan atmosferic lebih besar daripada hambatan stagnan yang disebabkan oleh waves serta wave breaking dan spray tidak dapat diteruskan atau ditransmisikan keluar area transom.

Bentuk aliran *streamline* di sekitar lambung kapal akan menghasilkan variasi kecepatan aliran, yang disebabkan oleh variasi local pada *frictional resistance*-nya. Yaitu, bila lambung kapal tiba-tiba secara sectional berubah bentuk, sehingga aliran fluida tidak mampu mengikuti garisnya dan aliran akan 'patah'. Sebagai contoh; hal ini sering terjadi pada daerah *transom stern*. Di daerah patahan tersebut, muncul *eddies current* (arus pusaran) yang akan menyerap energy dan hal ini pun menjadikannya suatu tahanan. Dan dikarenakan variasi aliran dan arus pusaran; adalah dihasilkan oleh bentuk lambung kapal (*ship form*), maka tahanan ini sering dikaitkan terhadap *form resistance*.



Gambar 2.18 Detil Komponen Hambatan (Molland, 2011)

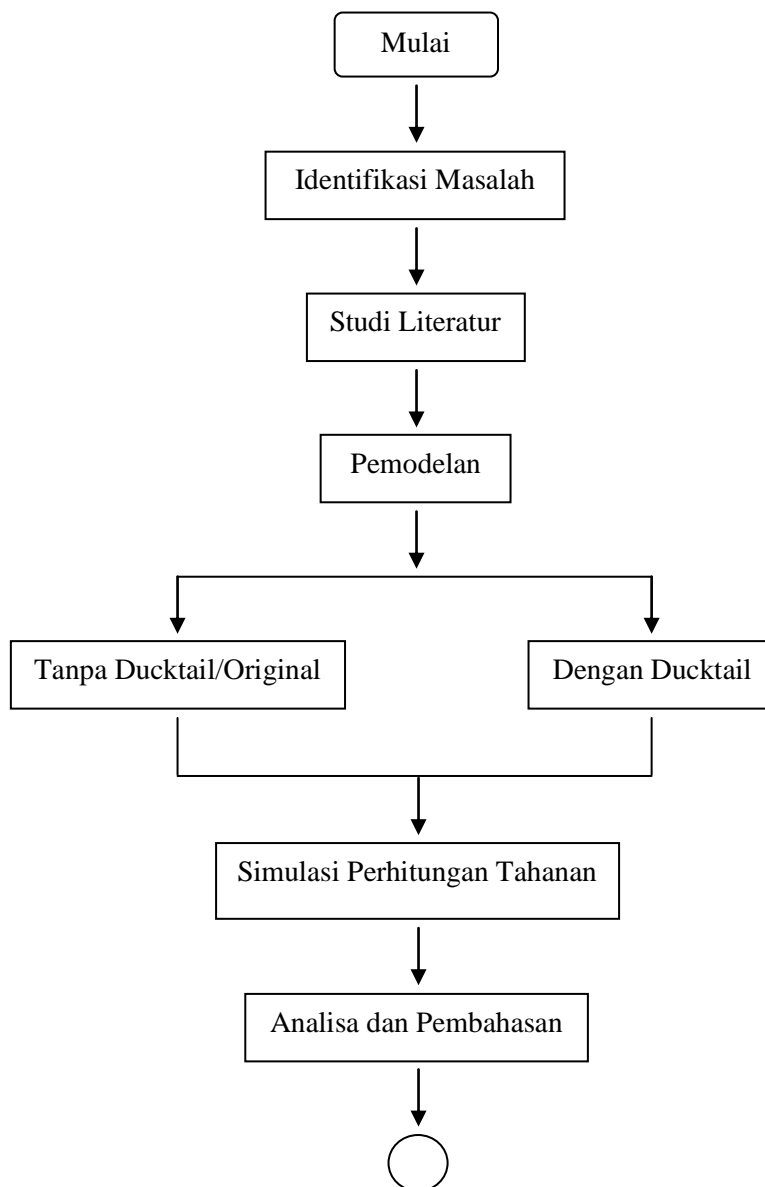
Komponen hambatan total pada kapal secara global dikategorikan menjadi dua yaitu hambatan yang diakibatkan oleh kapal yang melaju sehingga mengakibatkan hambatan gelombang pada permukaan bebas dan hambatan akibat viskositas fluida. Pada bagian transom terdapat gaya normal yang bekerja pada bidang transom akibat bentuk patahan transom. gaya tersebut mengakibatkan hambatan tekan dan pusaran arus pada transom akan menciptakan *wake* akibat turbulensi kapal disekitar badan kapal saat melaju sehingga terjadi penyerapan energi.

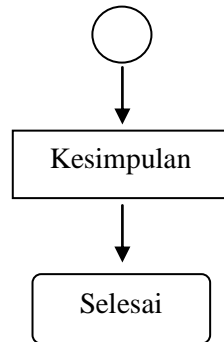
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Pada tesis ini membahas tentang perhitungan tahanan pada modifikasi kapal ferry dengan menggunakan penambahan ducktail.





Perhitungan dilakukan dengan membandingkan besarnya tahanan pada kapal dengan ducktail dan tanpa ducktail. Dalam pengerjaan thesis ini dimulai dari beberapa tahap pengerjaan mulai dari studi literatur dengan mengumpulkan data-data kapal selanjutnya adalah proses pembuatan model pada *software maksurf*, yaitu model tanpa ducktail dan dengan modifikasi penambahan ducktail. Pembuatan mengacu pada data rencana umum kapal ferry. kemudian disimulasikan untuk perhitungan tahanan dengan bantuan *software Ansys* dengan variasi kecepatan kapal kemudian dilakukan analisa dan pembahasan.

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pembelajaran mengenai bahan literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dianalisa. Literatur yang diperlukan adalah data rencana umum kapal ferry selain itu materi tentang hambatan kapal untuk perhitungan dan literatur tentang hambatan kapal, mekanika fluida untuk mempelajari fenomena fisik yang berkaitan dengan dinamika fluida serta *Computational Fluid Dynamic* untuk literatur tentang pemodelan simulasi fisik dengan komputer. Selain itu perlu mempelajari tentang *software maksurf* untuk pemodelan serta *software ansys* untuk simulasi hambatan kapal Studi literatur dilakukan dengan menggunakan buku-buku literatur dan browsing internet.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk memodelkan kapal secara 3 dimensi pada *Maxsurf* pada kapal ferry adalah data ukuran utama kapal dan gambar *general arrangement* kapal.

3.4 Pemodelan Bentuk Kapal dengan Maxsurf

Untuk pembuatan model kapal ferry maka langkah awal adalah pembuatan bentuk luar badan kapal dengan *software maxsurf* sesuai dengan ukuran data kapal. Untuk pembuatan model kapal dengan modifikasi ducktail yaitu dengan menambahkan fin secara memanjang pada bagian buritan kapal, tanpa menambah panjang keseluruhan bodi kapal.

3.5 Proses Meshing

Setelah pemodelan tiga dimensi dilakukan kemudian melakukan proses meshing. Proses meshing diawali dengan pembuatan domain komputasi yang digunakan proses simulasi aliran fluida yang melalui model dengan ukuran jarak tertentu dari kondisi batas. Kemudian meshing dilakukan dengan metode *hybrid mesh tetrahedra* dan *inflation layer*. Mesh ini yang akan digunakan dalam proses simulasi CFD.

3.6 Simulasi Perhitungan Tahanan pada Model

Setelah pemodelan dilakukan kemudian dilakukan simulasi model untuk mengetahui nilai hambatan pada model dengan ducktail dan tanpa ducktail. Simulasi dilakukan dengan bantuan *software ansys CFX*. Dengan setting parameter tertentu sesuai dengan kondisi fisik simulasi. Seperti penentuan kondisi batas, properti fluida, solver setting dan lain-lain.

3.7 Analisa dan Pembahasan

Hasil pengujian yang dilakukan dengan bantuan *software ansys CFX* kemudian dianalisa lebih lanjut.

3.8 Kesimpulan

Setelah semua tahap dilakukan, selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang didapatkan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

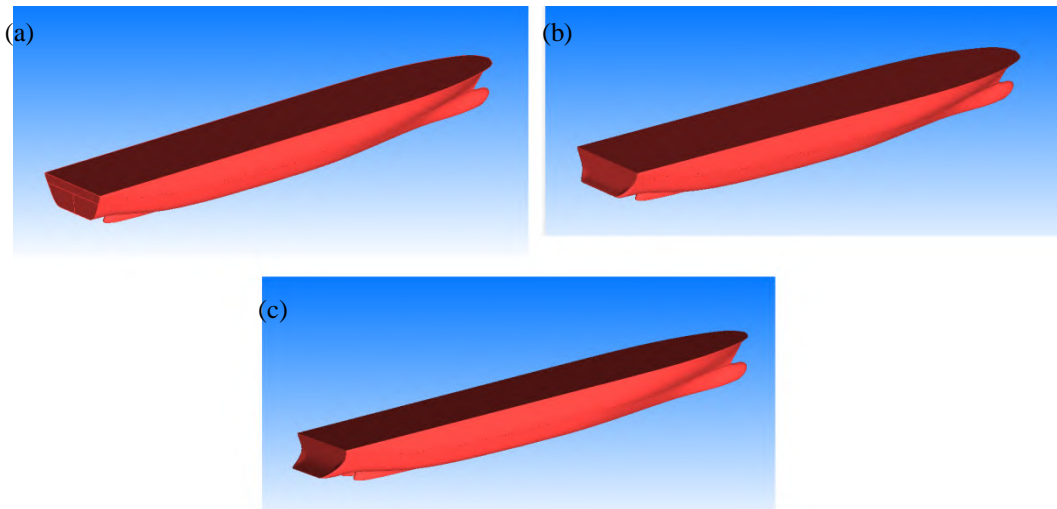
4.1 Deskripsi Model

Pada penelitian ini menggunakan tipe kapal ferry *ro-ro*. Pemodelan dilakukan secara 3 dimensi dengan bantuan *software Maxsurf Pro* dengan skala 1:25 dari ukuran kapal aslinya. Data ukuran utama kapal *full scale* dan model ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan ukuran utama kapal full scale dan model

Ukuran Utama	Kapal <i>full scale</i>	Model
Length over all	135.6 m	5.42 m
Length water line	130.0 m	5.20 m
Beam	26.0 m	1.04 m
High	9.0 m	0.36 m
Draft	6.0 m	0.24 m
Wetted surface area	3425 m ²	5.48 m ²
Displacement	11203 ton	0.717 ton

Penambahan panjang ukuran ducktail ini adalah *user defined*, dimana penentuan panjang ducktail dapat menyesuaikan panjang kapal. Pada penelitian ini untuk ducktail 3 meter mengambil dari panjang ducktail dari 2% panjang L_{pp} kapal dan 6 meter dua kali panjang dari ducktail. Ukuran ducktail juga berdasar pada rekomendasi yaitu 3-6 meter (*Wartsila, 2009*). Bentuk ducktail adalah *wedges* yang dipasang memanjang pada bagian *wetted transom*. Ducktail ini tidak sepenuhnya tenggelam, tetapi tepat pada permukaan *free surface*. Untuk pemodelan 3 dimensi ditampilkan pada Gambar 4.1 menunjukkan model kapal asli dan kapal yang dimodifikasi dengan penambahan ducktail dengan panjang 3 dan 6 meter yang diletakkan pada bagian *wetted transom* kapal.



Gambar 4.1 (a) kapal tanpa ducktail (b) kapal dengan ducktail 3 meter dan (c) kapal dengan ducktail 6 meter

Sedangkan untuk variasi kecepatan model diskalakan berdasarkan Froude numbers (Fr) antara kapal asli dengan model ($Fr_{full\ scale} = Fr_{model}$). Tabel 4.2 menunjukkan kecepatan kapal dengan model yang akan disimulasi dengan CFD.

Tabel 4.2 variasi kecepatan model dan full scale

No	Froude Numbers (Fr)	Full scale (knot)	Model (m/s)
1	0,20	14	1,44
2	0,22	16	1,64
3	0,25	18	1,85
4	0,28	20	2,00
5	0,31	22	2,26
6	0,34	24	2,46

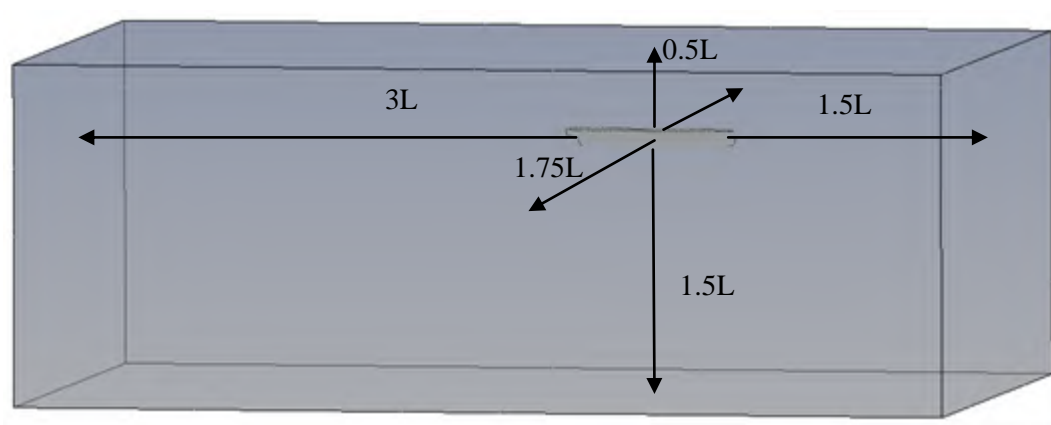
Pada kapal asli kecepatan dinas berada pada angka Fr 0,25. Simulasi ini mencakup range Fr yang direkomendasikan untuk penambahan aplikasi ducktail yaitu Fr 0,23-0,33 (Hammaillen, 2007).

4.2 Simulasi CFD

Pada bab ini menjelaskan tentang proses simulasi dengan CFD kode Ansys CFX berbasis Rans solver dengan proses meshing dengan *software* ICEM CFD. Sebelum melakukan proses meshing model diawali dengan pembuatan domain komputasi dan penentuan kondisi batas untuk simulasi CFD. Kemudian proses *meshing* untuk proses diskritisasi untuk analisa volume air. Jenis *mesh* menggunakan *hybrid mesh* dimana mengkombinasikan dua jenis mesh untuk mendapatkan hasil simulasi *free surface*. Setelah melalui diskritisasi tahapan selanjutnya adalah proses simulasi CFD dengan memasukkan parameter-parameter terkait dan kriteria konvergensi simulasi.

2.2.1 Domain komputasi

Dalam CFD domain komputasi adalah suatu wadah yang diasumsikan dimana suatu fluida melalui model. Domain dibatasi oleh bidang-bidang tertutup dengan ukuran tertentu dengan jarak model yang disebut dalam kondisi batas. Dalam domain inilah proses simulasi dilakukan. Ukuran domain memiliki jarak yang cukup bagi model untuk menghindari efek refleksi gelombang fluida yang terbentuk dari suatu kondisi batas. Pada gambar 4.1 menunjukkan domain komputasi dengan ukuran jarak dari benda.



Gambar 4.2 Domain Komputasi

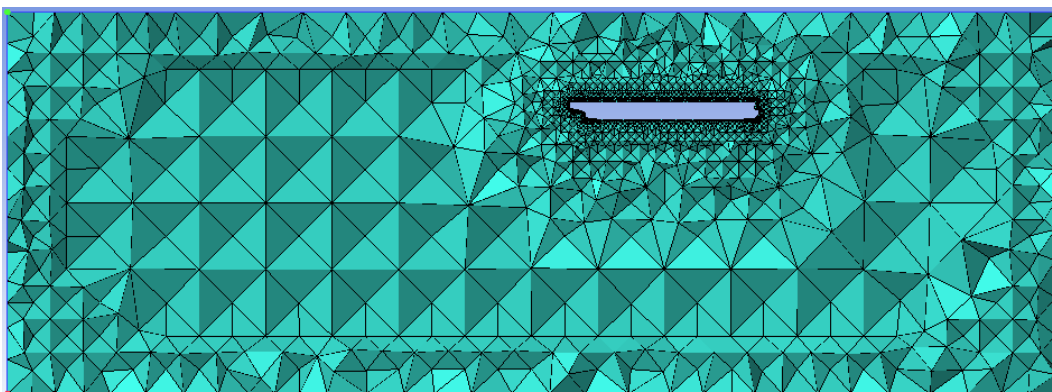
Ukuran domain komputasi adalah 1.5L dari panjang model untuk inlet, 3L untuk outlet, 1.5L dari draft kapal ke dasar domain, 0.5 dari draft kapal ke atas domain dan 1.75L kesisi samping domain. Dari ukuran tersebut telah memenuhi standar berdasarkan ITTC 26th tentang petunjuk simulasi CFD, ukuran untuk fluida masuk ke domain adalah 1-2 L model serta yang ukuran jarak dari model keluar domain 3-5 L model.

2.2.2 Proses Meshing

Dalam Computational Fluid Dynamyc (CFD) proses meshing adalah proses dimana perhitungan terhadap kontrol suatu dimensi, luas dan volume dibagi-bagi menjadi elemen-elemen kecil. Pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan boundary condition yang telah ditentukan.

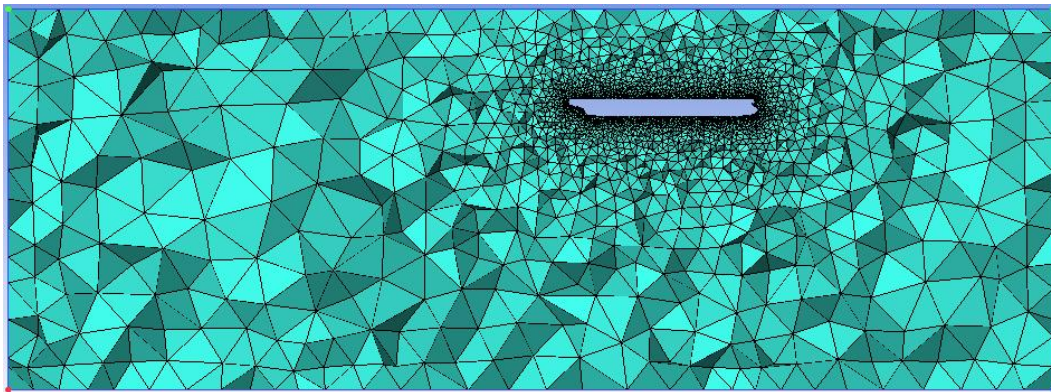
Pada proses meshing ini menggunakan kode komersial ICEM CFD untuk menyelesaikan RANSE solver dengan menggunakan *hybrid mesh*, dengan *unstructured tetrahedron* dan *inflation layer*. *unstructured tetrahedron* adalah jenis mesh dengan bentuk tetrahedra dalam bentuk 3 dimensi. Tetrahedra mesh adalah jenis mesh yang paling fleksibel dalam penyusunan mesh dan cocok untuk model yang kompleks seperti model kapal.

Pada gambar 4.3 menunjukkan jenis meshing *unstructured tetrahedron* dengan metode *robust*. Proses meshing tetra diawali dengan menyusun mesh fluida serta model sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.



Gambar 4.3 Meshing unstrucktured tetrahedra metode robust

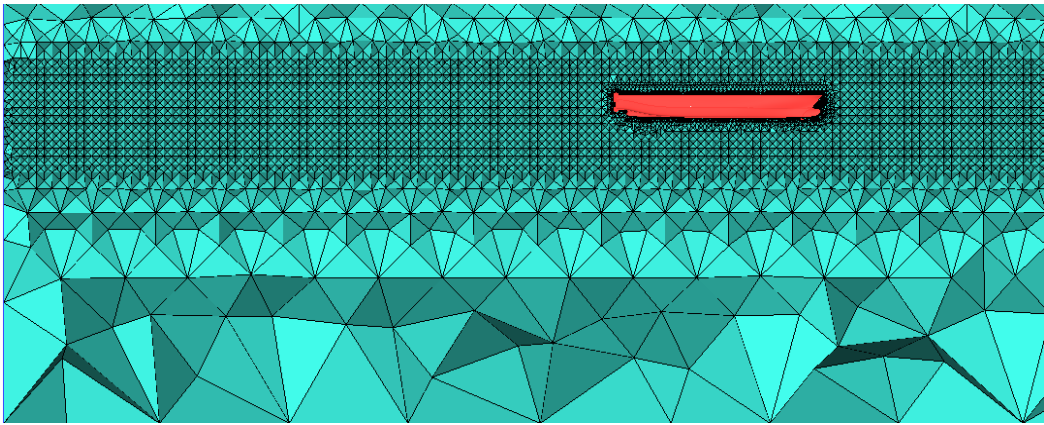
Mesh tetrahedra terintegrasi dengan *smoothing mesh* untuk volume yang bertujuan untuk mendapatkan kualitas mesh yang lebih baik. Proses *smoothing* harus diawali dengan penyusunan mesh tetra terlebih dahulu seperti gambar diatas. Pada gambar 4.4 memperlihatkan jenis mesh *unstructured tetrahedron* dengan metode *smoothing* untuk menyusun volume fluida. Dengan metode *smoothing* penyusunan meshing menjadi lebih fleksibel dan proses running menjadi lebih efisien.(ICEM user guide, 2009). Proses ini direkomendasikan untuk mesh volum fluida.



Gambar 4.4 : Meshing unstrucktured tetrahedra dengan metode smoothing

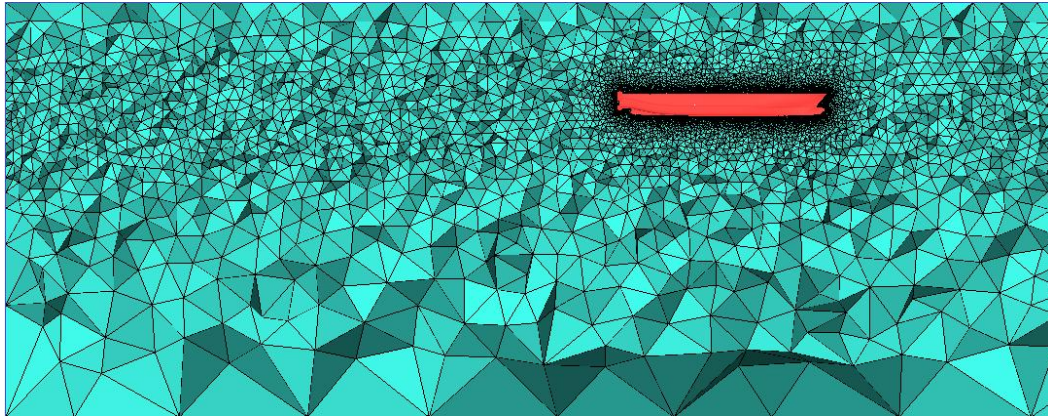
Pada simulasi ini memperhatikan multifasa antara dua fluida udara dan air sehingga dapat membentuk *free surface* pada sekitar kapal. Untuk menangkap interface dari kedua fluida tersebut maka pada bagian sekitar kapal perlu mendetailkan mesh dengan menampilkan kerapatan mesh yang lebih padat dibanding bagian lain. Untuk meningkatkan efektivitas dalam proses solving dalam CFD maka, pembuatan model menggunakan metode *scale factor* untuk membentuk mesh menjadi tergradasi.

Kemudian untuk meningkatkan kualitas mesh tetrahedra agar dapat membentuk *free surface*, Pada gambar 4.5 menunjukkan detail kerapatan mesh pada bagian sekitar kapal. Kerapatan mesh ditampilkan pada mesh tetrahedra dengan metode robust untuk menyusun mesh.



Gambar 4.5 Mesh dengan kerapatan dan scale factor dengan metode robust

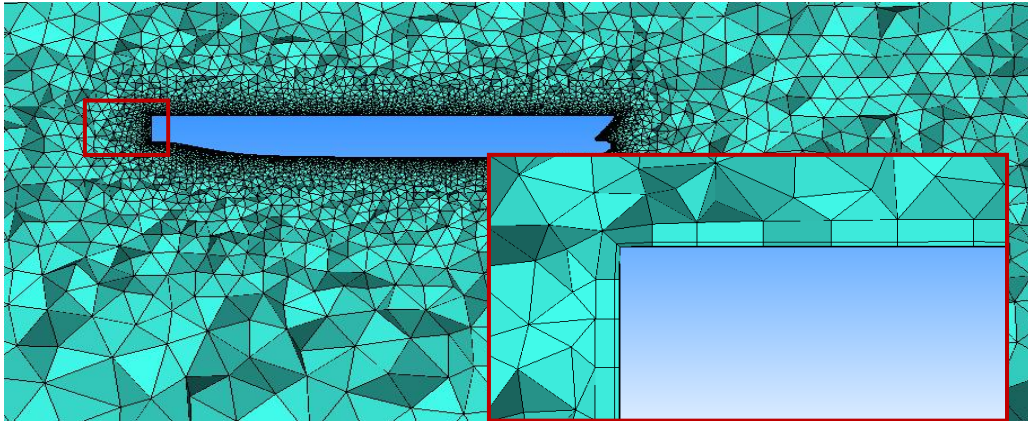
Kemudian pada gambar 4.6 menunjukkan meshing dengan kerapatan dan scale factor yang telah digenerate dengan *quick tetrahedron* untuk mendapatkan kualitas mesh yang lebih baik dalam penyusunan volum fluida.



Gambar 4.6 Mesh dengan kerapatan dan scale factor metode smoothing

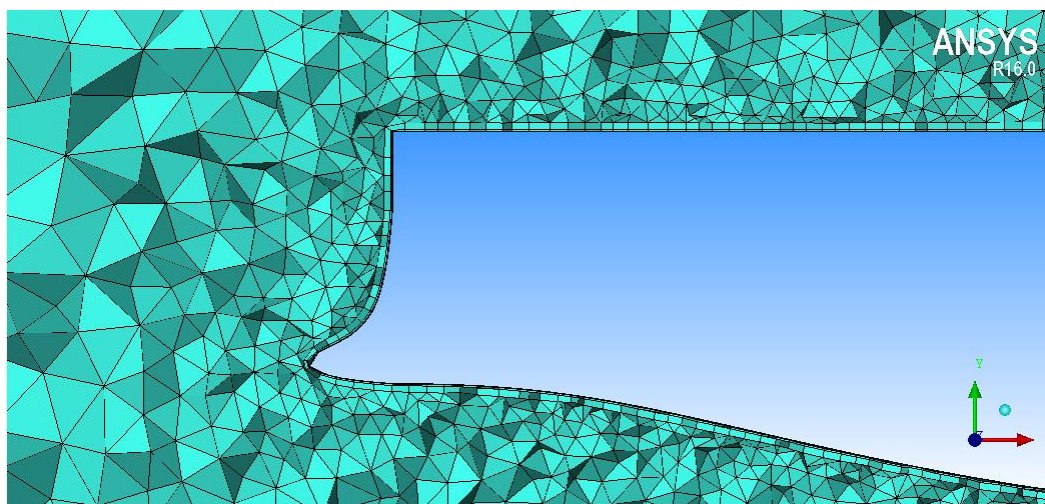
Secara umum benda yang dialui oleh fluida akan membentuk lapisan tipis atau boundary layer dimana dalam lapisan batas tersebut dipengaruhi oleh faktor viskositas. Model yang diasumsikan no-slip dimana kecepatan fluida yang dekat dengan model adalah mendekati nol. Untuk mendapatkan boundary layer pada seluruh permukaan model maka mesh digenerate dengan *inflation layer* untuk menangkap fenomena aliran laminar disekitar model. Pada gambar 4.7 menunjukkan

pemodelan dengan *inflation layer* pada penampang model dengan penampang kapal dilapisi oleh *inflation layer* secara gradual.



Gambar 4.7 Pemodelan dengan inflation layer pada sekitar model kapal

Pada gambar 4.8 menunjukkan meshing dengan penambahan *inflation layer* kapal dengan ducktail. Pada gambar menunjukkan *inflation layer* terbentuk disekitar permukaan model kapal dan pada ducktail.



Gambar 4.8 Pemodelan dengan inflation layer pada ducktail kapal

Dari mesh *inflation layer* tersebut adalah y^+ adalah ~ 60 untuk setiap simulasi, yaitu jarak dimensi tanpa satuan dari model ke layer pertama *inflation layer*. Dari nilai tersebut berada dalam *log layer* dimana efek viskositas dan turbulen memiliki pengaruh yang sama (Wilcox, 2007).

Pada Tabel 4.3 menunjukkan jumlah elemen pada ketiga jenis model kapal yang digunakan dalam simulasi CFD .

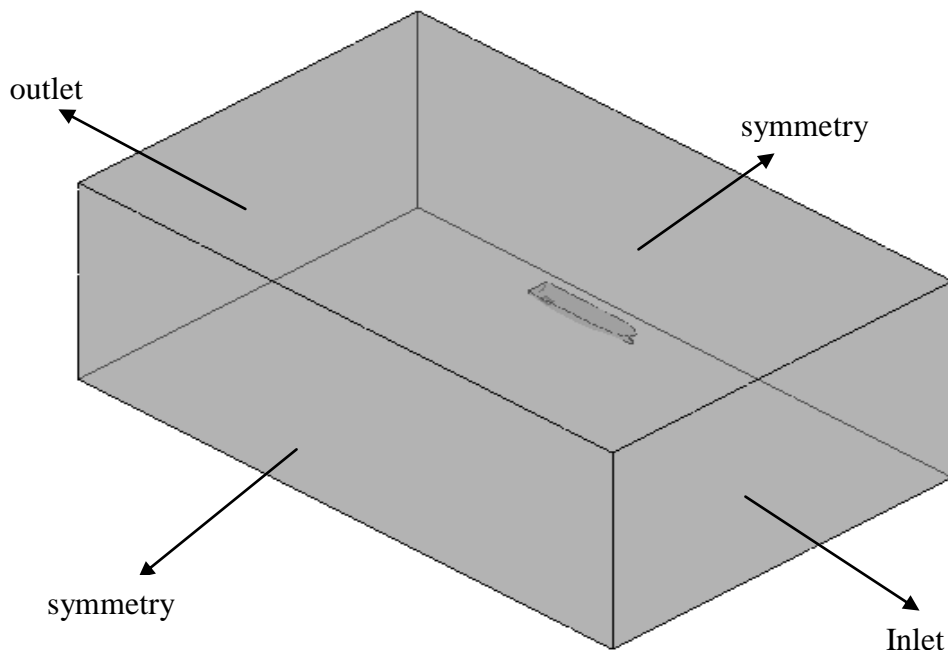
Tabel 4.3 Jumlah elemen pada model

No	Model	Jumlah elemen
1	Model tanpa ducktail	1.555.065
2	Model dengan ducktail 3m	1.623.436
3	Model dengan ducktail 6m	1.980.164

2.2.3 *Boundary Condition* (Kondisi Batas)

Boundary condition atau kondisi batas adalah domain komputasi yang dibatasi oleh suatu kondisi dimana lokasi tertentu mempunyai karakteristik yang spesifik pada lokasi tersebut untuk proses simulasi. *Boundary condition* didefinisikan sebagai input dalam simulasi model, beberapa kondisi seperti kecepatan dan laju volume fluida memdefinisikan bagaimana fluida memasuki dan melalui sebuah model. Kondisi batas menghubungkan simulasi model secara keseluruhan dalam suatu domain, tanpa kondisi batas simulasi tidak dapat diproses.

Untuk fenomena multifasa fluida air dan udara terdapat fraksi volume yang membagi dua fluida sama rata dengan kondisi *free surface* sebagai batasan, dua fluida tersebut diasumsikan *homogenous* dimana kedua fluida tersebut berada dalam satu domain dengan berbagi aliran velocity, temperatur, turbulen pada satu domain yang sama. Dalam simulasi ini kondisi batas ditampilkan pada Gambar 4.9 beserta definisi-definisi kondisi batas dalam domain.



Gambar 4.9 *Boundary condition* pada domain komputasi

Kondisi batas pada simulasi ini mencakup :

- Inlet : Adalah kondisi dimana fluida memasuki suatu domain, lokasi berada didepan model. Inlet mendefinisikan beberapa parameter fluida seperti velocity dan intensitas turbulen medium sebesar 5% jika besaran turbulen tidak diketahui.
- Outlet : Adalah batasan dimana fluida telah melalui model, lokasi berada dibelakang model. Pada outlet diasumsikan sebagai *static pressure*, dimana tidak terjadi perubahan pressure pada fluida setelah melalui model. Pressure dianggap sama.
- Symmetry : Adalah kondisi batas pada sisi samping model yang diasumsikan sebagai bidang simetri. Kecepatan fluida dan tegangan geser pada lokasi ini adalah nol. Symmetry membantu proses running menjadi lebih efektif.
- Wall : Adalah model kapal, wall diasumsikan kondisi no-slip dimana kecepatan fluida saat menyentuh fluida adalah mendekati nol.

Selain setting kondisi batas, yang harus diperhatikan adalah *inilization* atau setting parameter tertentu untuk kondisi awal untuk karakteristik dan *material*

properties fluida seperti temperatur, massa jenis, kecepatan fluida saat memasuki domain serta setting model turbulen.

4.3 Turbulence setting

Pada simulasi CFD ini menggunakan persamaan *Reynolds average Navier Stokes equation* untuk menyelesaikan proses solving untuk pemodelan turbulen. Dalam simulasi ini fluida diasumsikan aliran turbulen dengan nilai $Re > 10^9$ pada seluruh simulasi. Pemodelan turbulen dalam CFD menggunakan SST based k- ω dimana gabungan antara k- ω model untuk menangkap *flow separation* didalam area *boudary layer* dan k- ϵ model untuk menangkap turbulen di area luar model. Pemodelan dengan SST k- ω memberikan prediksi yang lebih akurat menangkap *flow separation* dalam boundary layer (Ding, 2015).

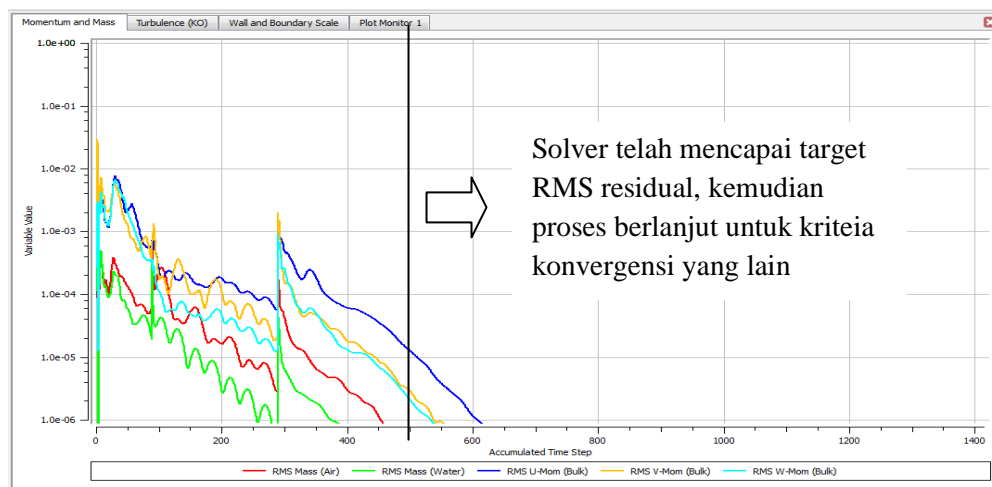
4.4 Kriteria Konvergensi

Dalam simulasi CFD penyelesaian proses solver ditandai dengan adanya konvergensi. Konvergensi adalah dimana semua setting solver yang digunakan dalam penyelesaian kasus seperti momentum, mass flow dan lain-lain menuju ke suatu titik tujuan. Dalam hal ini konvergensi memiliki kriteria tertentu untuk menunjukkan bahwa proses running telah mencapai target yang telah ditentukan. Kriteria konvergensi ini bukan merupakan validasi bahwa proses simulasi bisa sempurna, konvergensi ini adalah solusi yang menunjukkan proses simulasi telah selesai. Tanpa konvergensi kriteria ini semua simulasi dianggap belum mencapai target minimum dalam menyelesaikan persamaan-persamaan dalam simulasi. Kriteria tersebut adalah:

- **RMS Residual**

Residual RMS menghitung keakuratan pada persamaan-persamaan massamomentum dan energi yang telah diselesaikan. Semakin rendah nilai residual yang dimasukkan semakin mendekati keakuratan. Dalam simulasi ini menggunakan tipe residual RMS dimana konvergensi berdasar rata-rata residual seluruh kontrol volume. Sedangkan nilai minimum untuk seluruh simulasi telah

mencapai nilai yang ditetapkan yaitu adalah 10^{-5} . RMS residual adalah salah satu kriteria konvergen yang lebih baik jika dikombinasikan dengan kriteria yang lain. Pada gambar 4.10 menunjukkan proses solver RMS residual pada seluruh simulasi. Dalam residual RMS menampilkan grafik momentum massa air dan udara serta momentum untuk vektor u,v dan w yang telah mencapai target residual RMS 10^{-5} .

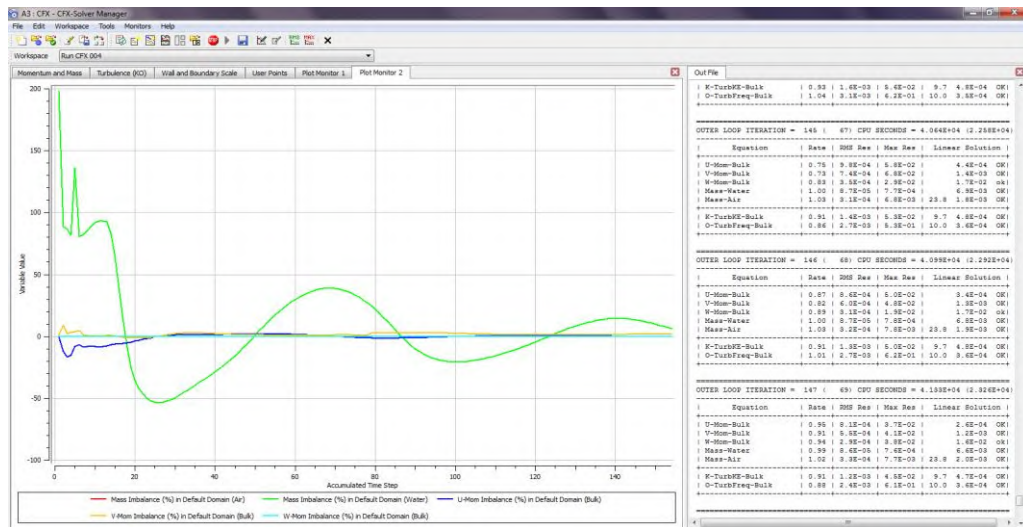


Gambar 4.10: RMS residual 10^{-5} pada simulasi

- *Conservation Target*

Conservation target adalah target yang digunakan untuk *global imbalances* dimana proses solver telah mencapai persamaan kontinuitas untuk seluruh kuantitas fluida seperti massa, momentum dan energy pada seluruh flow domain dimana $flux\ in = flux\ out$. Ketika *conservation target* diaktifkan maka proses solver akan menyelesaikan target nilai RMS residual kemudian berlanjut menyelesaikan *conservation target* sebelum mencapai jumlah itersi maksimum yang ditentukan. Nilai minimum *default* adalah kurang dari atau sama dengan 1% (CFXSolver Modeling Guide, 2009).

Pada gambar 4.11 menampilkan *conservation target* yang dimonitoring dalam plot tertentu sesuai dengan karakter yang ingin ditinjau seperti mass flow udara dan air.



Gambar 4.11 Plot monitor global imbalances pada mass flow fluida

Pada gambar menunjukkan plot massa udara dan air yang masuk dan yang keluar domain yang ditunjukkan dengan nilai kurang dari 1%.

- Grid Independence

Dalam CFD tidak terlepas dengan trial dan error, dalam simulasi suatu model sebaiknya dirunning dalam beberapa jumlah elemen mesh untuk mengetahui mesh yang paling optimum. Dalam simulasi jumlah elemen pada ketiga jenis model kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 meter dan kapal ducktail 6 meter ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Grid Independence

	Total Elements	Total Nodes	Force
Grid 1	429.732	92.366	168,35 N
Grid 2	913.089	185.304	50,01 N
Grid 3	1.555.065	525.304	79,27 N
Grid 4	2.149.359	667.234	81,32 N

Berdasarkan tabel grid independence, maka meshing yang digunakan adalah *Grid 3* karena perubahan jumlah mesh tidak lagi mempengaruhi hasil

simulasi atau perubahan jumlah mesh terhadap perubahan hasil simulasi kurang dari 2% (Utama, 2011).

4.5 Verifikasi Model dengan Pemodelan Turbulen (k-epsilon dan Shear Stress Transport k-omega)

Sebelum melakukan simulasi menyeluruh, yang pertama adalah memverifikasi simulasi dengan menguji pada dua jenis model turbulensi yaitu turbulen k-epsilon dan SST k-omega pada suatu mesh dan kecepatan yang sama yaitu pada Fr 0.25. Berdasar kedua pengujian tersebut parameter yang terkait adalah nilai force dan koreksi yplus yang disajikan dalam tabel 4.5.

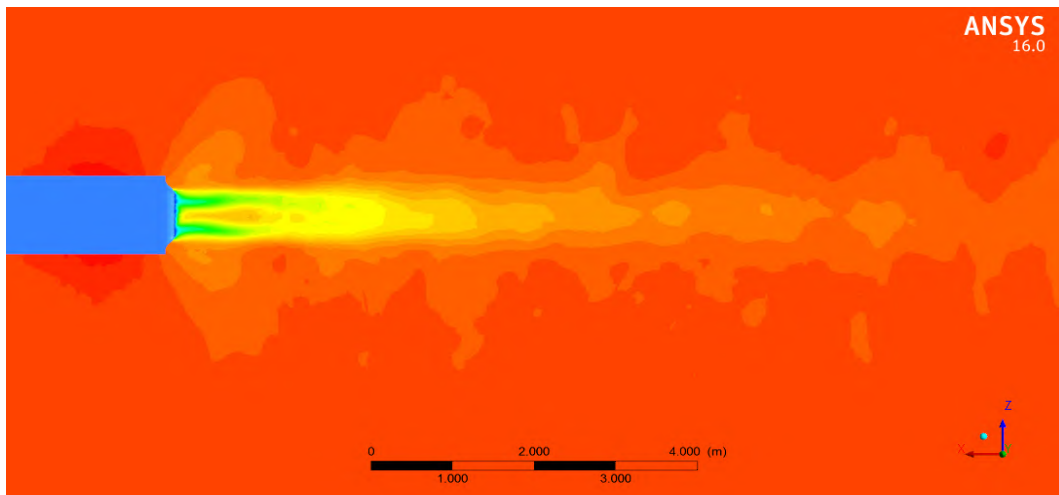
Tabel 4.5 Perbedaan force dan yplus antara k-epsilon dan SST k-omega untuk model kapal tanpa ducktail

V (knot)	k-epsilon		SST k-omega	
	Force (KN)	Yplus	Force (KN)	Yplus
14	505,56	63,21	759,46	51,98
16	637,67	70,37	880,18	62,46
18	867,05	77,97	887,09	57,04
20	938,02	110,71	1190,92	58,95
22	1486,64	92,38	1518,68	64,04
24	1882,60	100,36	1903,12	65,93

Dari kedua model tersebut menunjukkan perbedaan force dan yplus yang sangat signifikan. Pada hal ini SST k-omega memiliki nilai yplus yang lebih rendah. Sedangkan untuk kontur water velocity SST k-omega memiliki kontur aliran pada bagian belakang transom yang lebih *smooth* dan lebih panjang dibanding k-epsilon serta dapat menangkap fenomena vortex pada bagian transom secara lebih akurat.

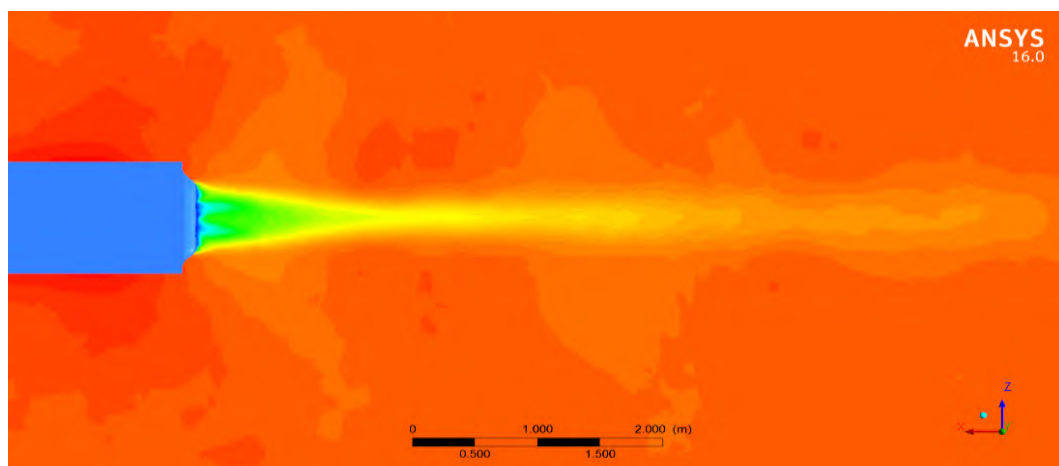
Dari hasil simulasi kedua model terdapat perbedaan kontur antara model turbulen k-epsilon dan SST k-omega. Pada gambar 4.12 menampilkan kontur *water velocity* pada angka Froude 0,25 dengan model k-epsilon. Dari kontur *water velocity*

menunjukkan aliran *wake* dibelakang transom dengan membentuk aliran *eddies current* yang terpisah, terlihat pada warna hijau yang menunjukkan perubahan kecepatan aliran yang menurun secara signifikan.



Gambar 4.12 Kontur water velocity pada model k-epsilon

Pada gambar 4.12 menunjukkan kontur *water velocity* pada model turbulen SST k-omega pada angka Froude 0,25. Dari kontur menunjukkan aliran *wake* pada bagian belakang transom memanjang kebelakang kapal.



Gambar 4.13 Kontur water velocity pada turbulen model SST k-omega

Pada model dengan turbulen SST k-omega aliran wake lebih tajam apabila dibanding dengan k-epsilon. Model SST k-omega menunjukkan kontur lebih detail pada bagian area transom. Aliran eddies current pada bagian transom tidak terpisah. Bentuk transom yang secara sectional berubah mengakibatkan terjadinya pusaran karena kecepatan aliran partikel fluida yang secara mendadak menurun (Adji, 2009).

Setelah melakukan verifikasi pemodelan turbulen maka simulasi menggunakan pemodelan turbulen SST k-omega. Pada penelitian ini terdapat enam variasi Froude numbers yang akan disimulasi pada setiap model kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 meter dan kapal ducktail 6 meter. Pada tabel 4.6 menampilkan test cases yang disimulasi dalam CFD.

Tabel 4.6 Test cases simulasi pada seluruh model

Model Kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 dan 6 m						
Case	1	2	3	4	5	6
Fr	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34
Flow Velocity (m/s)	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Turbulence Model	SST k- ω	SST k- ω	SST k- ω	SST k- ω	SST k- ω	SST k- ω
Jumlah Iterasi	3000	3000	3000	3000	3000	3000
RMS Residual	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}

4.6 Hambatan Total dengan Simulasi CFD

Dalam analisa hambatan total secara umum menggunakan metode empiris berdasar ITTC uji towing tank dalam skala model yang diujukan untuk mengukur hambatan total dan nilai koefisien hidrodinamik lainnya. Dari data eksperimental tersebut ITTC merangkum persamaan empiris untuk mendapatkan nilai secara empiris. Secara umum rumus hambatan total adalah sebagai berikut

$$RT = 0,5 \cdot C_T \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (4.1)$$

Dimana,

RT : hambatan total (N)

C_T : koefisien hambatan total

S : Luas permukaan basah kapal (m^2)

V : kecepatan kapal (m/s)

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil hambatan total dan power pada seluruh simulasi. Simulasi mencakup kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 meter dan kapal ducktail 6 meter pada seluruh Froude number.

Tabel 4.7 Hambatan total dan Power

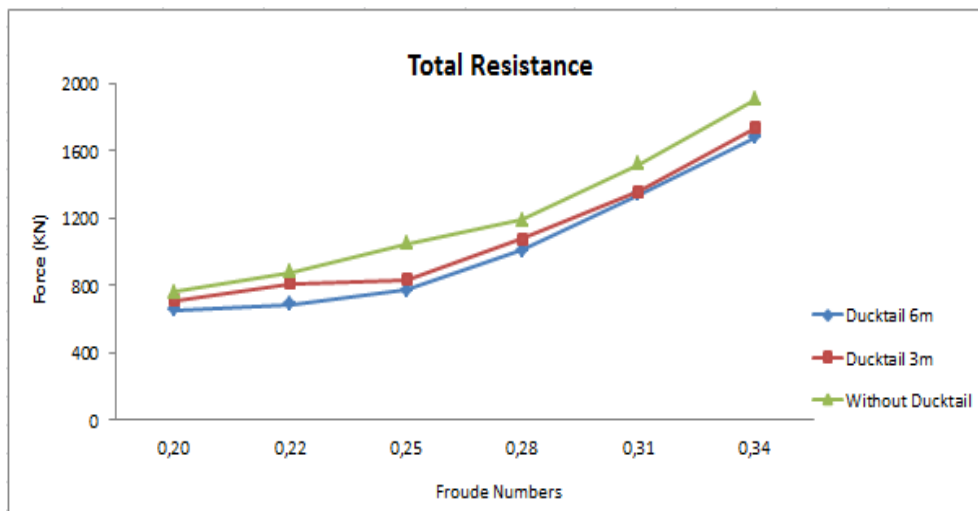
No	Fn	Total Resistance (KN)			Power (EHP)		
		Tanpa Ducktail	Ducktail 3 m	Ducktail 6m	Tanpa Ducktail	Ducktail 3m	Ducktail 6m
1	0,20	759,46	693,72	623,47	7334,35	6699,53	6021,47
2	0,23	880,18	793,27	655,66	9714,50	8755,34	7236,50
3	0,25	887,09	818,84	735,68	12995,27	10167,17	9134,67
4	0,28	1190,92	1055,86	960,28	16430,20	14566,82	13248,21
5	0,31	1518,68	1332,19	1278,66	23047,30	29217,10	19404,82
6	0,34	1903,12	1697,98	1648,04	31507,00	28106,48	27284,11

Berdasarkan tabel menunjukkan pengurangan hambatan dan power pada kapal dengan ducktail dibanding kapal tanpa ducktail. Ducktail secara signifikan mengurangi hambatan yang diakibatkan oleh wetted transom. Kapal dengan ducktail 3 meter mengurangi hambatan diseluruh froude numbers. Penurunan hambatan tertinggi dengan ducktail 3 meter adalah pada angka Froude 0,25 yaitu pada *cruising speed* kapal sebesar 20%. Sedangkan pada ducktail 6 meter memiliki penurunan hambatan yang berimpit dengan ducktail 3 meter.

Penurunan hambatan total yang terbesar pada seluruh angka Froude adalah pada ducktail 6 meter dengan penurunan hambatan total paling tinggi pada angka Froude 0,25 sebesar 26%. Pengurangan hambatan total dengan ducktail

menunjukkan bahwa semakin panjang ducktail maka pengurangan hambatan total semakin besar.

Pada gambar 4.14 berikut menunjukkan grafik pengurangan hambatan total dari kapal tanpa ducktail kapal dengan ducktail 3 dan 6 meter. Kapal dengan ducktail memiliki trend yang lebih rendah dibanding kapal tanpa ducktail. Dari grafik menunjukkan ducktail 3 dan 6 meter memiliki trend grafik yang berimpit pada angka Froude diatas 0,25. Grafik ducktail 6 meter menunjukkan grafik yang smooth pada seluruh angka froude. Berbeda dengan grafik ducktail 3 meter yang mengalami kenaikan pengurangan hambatan pada angka froude 0,22 dan secara signifikan menurun pada angka froude 0,25. Berdasarkan data tabel pengurangan hambatan kapal dengan ducktail memiliki penurunan hambatan total yang paling tinggi diseluruh angka froude.

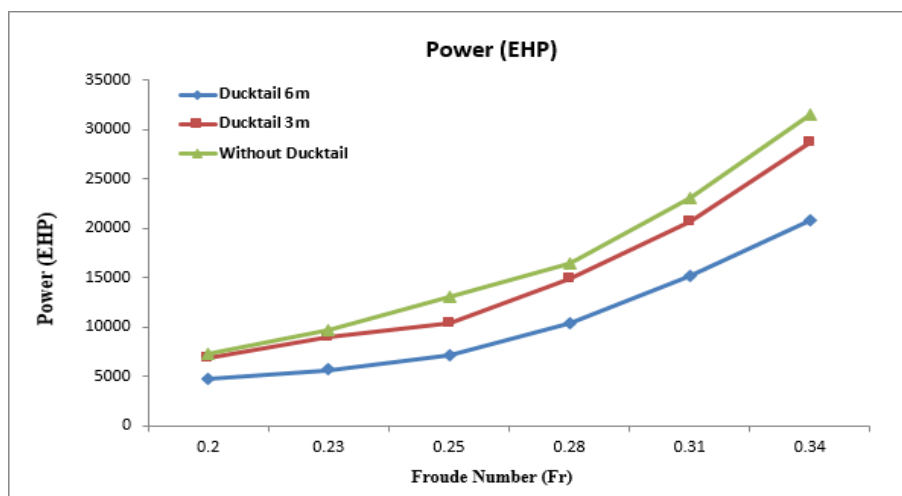


Gambar 4.14 Grafik Hambatan total pada seluruh simulasi

Hambatan total yang menurun akibat aplikasi ducktail maka power yang dihasilkan juga menurun. Nilai power merupakan daya yang dibutuhkan kapal untuk melaju pada kecepatan tertentu. Power kapal merupakan nilai dari hambatan total yang dikonversi menjadi daya dengan satuan HP (Horse Power) atau watt. Dari hambatan tersebut maka dapat diketahui berapa power atau daya yang dibutuhkan

kapal untuk melaju. Dengan menurunnya konsumsi power akibat penurunan hambatan maka semakin besar *energy saving* yang dihasilkan termasuk jumlah dan biaya bahan bakar yang dikonsumsi. Secara umum faktor yang mempengaruhi jumlah kebutuhan power adalah kecepatan dan displacement kapal.

Pada gambar 4.14 menunjukkan grafik penurunan power pada kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 meter dan 6 meter.



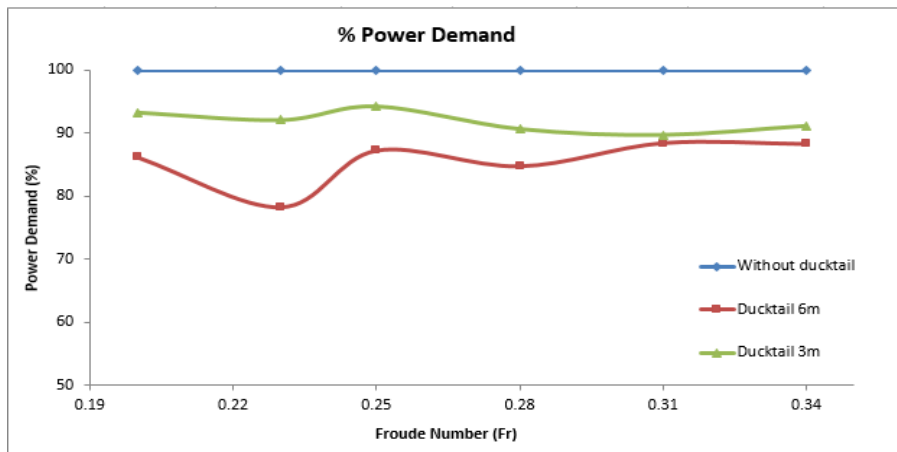
Gambar 4.15 Grafik power seluruh model berdasar froude number

Secara keseluruhan kapal dengan ducktail baik 3 dan 6 meter memiliki kebutuhan power yang lebih rendah dibanding kapal tanpa ducktail. dengan menurunnya hambatan kapal maka konsumsi power yang dibutuhkan akan semakin berkurang sehingga dapat meningkatkan efisiensi power. Aplikasi penambahan ducktail 3 dan 6 meter mencapai tingkat efisiensi tertinggi pada angka froude 0,25. Pada kapal dengan ducktail 6 meter mencapai 21% dan kapal dengan ducktail 3 meter mencapai 16% dibanding kapal tanpa ducktail.

Pengurangan konsumsi power akan meningkatkan penghematan dalam konsumsi bahan bakar. Penurunan persentase power demand kapal tanpa ducktail diasumsikan penggunaan daya pada kapal tanpa ducktail adalah 100% dimana kapal tanpa ducktail menggunakan kapasitas daya maksimum untuk melaju sesuai dengan perhitungan hambatan total yang dikonversi menjadi kebutuhan power kapal. Kemudian dengan penambahan ducktail mampu mengurangi konsumsi daya

seberapa persen dibandingkan dengan konsumsi normal atau konsumsi daya yang dibutuhkan pada kapal tanpa ducktail dengan penurunan konsumsi power maka dapat akan menghemat konsumsi bahan bakar atau *saving fuel*. Untuk mengetahui persentase penurunan daya dengan ducktail maka nilai persentase penurunan power ditunjukkan pada gambar 4.15 tentang persentase power demand atau daya yang dibutuhkan.

Secara keseluruhan kapal dengan ducktail 3 dan 6 meter mempunyai power yang lebih rendah bila dibanding kapal tanpa ducktail. persentase *saving fuel* paling tinggi pada ducktail 6 meter mencapai sebesar 21%. Sedangkan untuk angka froude yang lain mencapai 11-15%. untuk kapal dengan ducktail 3 meter *saving fuel* paling tinggi pada kecepatan dinas yaitu berada pada Fr sebesar 16% sedangkan untuk nilai froude yang lain mencapai 5-10%. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka penggunaan ducktail mampu mengurangi hambatan sesuai yang telah direkomendasikan oleh *Wartsila* (2009) dimana pengurangan hambatan dengan ducktail sepanjang 3-6 meter mampu mengurangi konsumsi power hingga 4-7 % pada jenis kapal ferry.



Gambar 4.16 : Grafik persentase power demand

Baik kapal ducktail 3 atau 6 meter keduanya mampu mengurangi hambatan dan power pada angka froude yang sama yaitu 0,25 atau pada *cruising speed*. Pada model kapal ferry yang menjadi model simulasi maka penggunaan ducktail yang

sesuai adalah dengan ducktail 6 meter yang dibuktikan dengan penurunan hambatan dan daya yang paling tinggi.

Secara keseluruhan penggunaan ducktail mampu mengurangi hambatan secara signifikan, berdasarkan penelitian dengan metode CFD sebelumnya penggunaan ducktail sepanjang 2% dari panjang kapal keseluruhan mampu mengurangi daya sebesar 2,5% bila dibanding kapal tanpa ducktail pada angka Froude 0,22. efisiensi semakin meningkat hingga 4% apabila ukuran ducktail diperpanjang (Marin, 2011).

Pada kapal dengan froude number 0,25-0,35 untuk tipe ferry penambahan ducktail mampu menambah panjang garis air efektif sehingga mampu meningkatkan rasio antara panjang kapal dan lebar kapal yang efektif untuk mengurangi hambatan semaksimal mungkin. Untuk kapal ferry tipe *short route* yang beroperasi pada angka froude 0,28 mengaplikasikan ducktail sepanjang 5 meter mampu meningkatkan efisiensi power sebesar 14% (Levander.2009). Dari beberapa referensi penggunaan ducktail secara signifikan mampu mengurangi hambatan pada range angka froude diatas 0,2.

2.6.1 Pendekatan Froude

Pada dasarnya pendekatan berdasarkan Froude ini koefisien total C_T terdiri dari dua koefisien utama yaitu koefisien gesek C_F dan koefisien residu C_R . Perhitungan nilai C_F secara estimatis didasarkan pada data untuk model plat datar dengan ukuran sama panjang, luasan area basah dan kecepatan dari model atau kapal. Selisih antara C_T dan C_F adalah C_R .

$$C_T = C_F + C_R \quad (4.2)$$

Perhitungan nilai C_T adalah

$$C_T = R_T / 0,5 \cdot S \cdot V^2 \cdot \rho \quad (4.3)$$

Dimana

- R_T = Hambatan total (N)
 S = Luas permukaan basah (m²)
 V^2 = Kecepatan model atau kapal (m/s)
 ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

Dalam komponen koefisien hambatan total terdiri dari C_F yang merupakan koefisien hambatan gesek pada model atau kapal. C_F merupakan integral dari seluruh shear stress pada arah tangensial kapal dan C_R merupakan koefisien hambatan sisa (residual) dimana Integral dari normal shear stress menghasilkan hambatan residu. Dalam C_R terdapat pengaruh bentuk kapal seperti transom kapal yang mengakibatkan pressure drag. Koefisien hambatan sisa diperoleh dari pengujian model.

$$C_R = C_{Tmodel} - C_{Fmodel} \quad (4.4)$$

Pada nilai Froude yang sama, maka $C_{Rm} = C_{Rs}$. Sehingga koefisien hambatan total kapal C_T dapat ditentukan dengan hukum Froude. Pada penelitian ini menganalisa hambatan akibat wetted transom, dimana C_R adalah C_P untuk koefisien pressure akibat pengaruh transom kapal. Nilai C_F dipengaruhi oleh besarnya nilai Reynold yang diakibatkan oleh pengaruh viskositas dan nilai C_R dipengaruhi oleh bilangan Froude.

$$C_{Ts} = C_{Fs} + C_{Rs} = C_{Fs} + C_{Rm} = C_{Fs} + (C_{Tm} - C_{Fm}) \quad (4.5)$$

atau

$$C_{Ts} = C_{Tm} - (C_{Fm} - C_{Fs}) \quad (4.6)$$

Berdasarkan ITTC 1957 mendefinisikan korelasi formula pendekatan untuk perhitungan nilai C_F adalah

$$53 \quad (4.7)$$

$$C_F = 0.075/(\log_{10} Re - 2)^2$$

Dari hasil simulasi nilai hambatan pada kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 dan 6 meter dapat diketahui sehingga harga C_T dapat dihitung dan nilai C_F dapat dihitung berdasar formula ITTC 1957. Pada tabel 4.8 menampilkan Hambatan total beserta koefisien pada kapal tanpa ducktail pada kapal *full scale*.

Tabel 4.8 Total resistance kapal tanpa ducktail

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>						
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_F</i> (10^{-3})	<i>C_P</i> (10^{-3})	<i>R_T</i> (<i>kN</i>)	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	8,336	1,519	6,817	759,46	1,061
2	0,23	16	7,396	1,495	5,902	880,18	1,213
3	0,25	18	6,949	1,473	5,476	887,09	1,362
4	0,28	20	6,405	1,455	4,950	1190,92	1,516
5	0,31	22	6,750	1,438	5,312	1518,68	1,667
6	0,34	24	7,108	1,423	5,685	1903,12	1,819

Kemudian untuk kapal dengan ducktail 3 meter koefisien-koefisien dan hambatan total ditampilkan pada tabel 4.9. Pada ducktail 3 meter hambatan total berkurang sehingga nilai C_R mengalami penurunan dengan nilai C_F yang relatif sama dengan seluruh jenis model.

Tabel 4.9 Total resistance kapal ducktail 3 meter

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>						
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_F</i> (10^{-3})	<i>C_P</i> (10^{-3})	<i>R_T</i> (<i>kN</i>)	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	7,528	1,519	6,009	693,72	1,061
2	0,23	16	6,591	1,495	5,096	793,27	1,213
3	0,25	18	5,376	1,473	3,902	818,84	1,362

4	0,28	20	5,615	1,455	4,160	1055,86	1,516
5	0,31	22	5,855	1,438	4,417	1332,19	1,667
6	0,34	24	6,269	1,423	4,846	1697,98	1,819

Kemudian untuk kapal dengan ducktail 6 meter koefisien-koefisien dan hambatan total ditampilkan pada tabel 410. Pada ducktail 6 meter hambatan total berkurang sehingga nilai C_R mengalami penurunan dengan nilai C_F yang relatif sama dengan seluruh jenis model. Pada model ducktail ini memiliki koefisien total dan koefisien residu paling rendah dari ketiga jenis model.

Tabel 4.10 Total resistance kapal ducktail 6 meter

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>						
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_F</i> (10^{-3})	<i>C_P</i> (10^{-3})	<i>R_T</i> (<i>kN</i>)	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	6,723	1,519	5,203	623,47	1,061
2	0,23	16	5,413	1,495	3,918	655,66	1,213
3	0,25	18	4,799	1,473	3,325	735,68	1,362
4	0,28	20	5,074	1,455	3,619	960,28	1,516
5	0,31	22	5,583	1,438	4,145	1278,66	1,667
6	0,34	24	6,047	1,423	4,624	1648,04	1,819

Berdasarkan nilai koefisien-koefisien yang telah dihitung maka kapal tanpa ducktail memiliki nilai koefisien paling tinggi jika dibanding kapal dengan ducktail 3 dan 6 meter. Koefisien C_T , C_F dan C_R merupakan besaran dimensi yang digunakan untuk mengukur hambatan dari suatu model dalam lingkungan fluida. Berkurangnya nilai koefisien menunjukkan pengurangan nilai hambatan total. Pada kapal dengan ducktail memiliki nilai C_R yang relatif lebih rendah dibanding kapal tanpa ducktail. Dari C_R tersebut menunjukkan bahwa terjadi pengurangan hambatan pressure yang diakibatkan oleh *form drag*. Dengan ducktail tekanan pada bagian *wetted transom* dapat diminimalisir dengan mengurai arus pusaran pada bagian *wetted transom*.

Pada saat kapal melaju menyebabkan terjadinya dua komponen hambatan pola aliran yaitu *wave pattern* atau pola gelombang yang terbentuk seiring dengan kapal yang sedang melaju dan *wave breaking and spray* yang merupakan gelombang yang terjadi akibat gelombang yang tepecah pada buritan serta menghasilkan *spray* atau cipratan. komponen yang kedua adalah *wake* akibat adanya aliran turbulen yang terbentuk sepanjang badan kapal yang kemudian diteruskan dibelakang kapal. *Wake* merupakan komponen hambatan viskos yang diakibatkan oleh turbulensi yang mengakibatkan penyerapan energi (Molland et al, 2011).

Sedangkan *wave pattern* dan *wave breaking and spray* merupakan komponen dari *wave making resistance* atau *total wave*. *wave making resistance* adalah hambatan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan energi. *wave making resistance* terbentuk saat kapal melaju dalam fluida kemudian menghasilkan medan tekanan di sekitar kapal. kapal yang melaju di permukaan bebas atau *free surface* menghasilkan sistem gelombang.

Secara umum hambatan transom termasuk dalam komponen hambatan *wave making resistance* tetapi secara perhitungan hambatan transom termasuk dalam hambatan viskos dimana terjadi penyerapan energi akibat *wake* yang terbentuk pada bagian transom.

$$C_T = C_v + C_w \quad (4.8)$$

Dimana

C_T = Koefisien Hambatan Total

C_v = Koefisien Viskos

C_w = Koefisien Gelombang.

Dari nilai C_T berdasarkan simulasi maka hasil perhitungan nilai koefisien C_v didapat dari simulasi dengan metode *full viscous* pada model yang tercelup dalam fluida air. Selisih antara C_T dan C_v adalah C_w . Pada Tabel 4.11, tabel 4.12 dan tabel 4.13 menunjukkan perhitungan nilai koefisien pada kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 dan 6 meter pada kondisi *full scale*.

Tabel 4.11 Komponen Koefisien viskos dan gelombang kapal tanpa ducktail

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>					
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_V</i> (10^{-3})	<i>C_w</i> (10^{-3})	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	8,336	6,150	2,186	1,061
2	0,23	16	7,396	6,007	1,389	1,213
3	0,25	18	6,949	5,886	1,063	1,362
4	0,28	20	6,405	5,780	0,625	1,516
5	0,31	22	6,750	5,681	1,063	1,667
6	0,34	24	7,108	5,604	1,504	1,819

Tabel 4.12Komponen Kofisien viskos dan gelombangkapal ducktail 3 meter

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>					
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_V</i> (10^{-3})	<i>C_w</i> (10^{-3})	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	7,528	5,874	1,654	1,061
2	0,23	16	6,591	5,739	0,852	1,213
3	0,25	18	5,376	4,851	0,525	1,362
4	0,28	20	5,615	4,642	0,973	1,516
5	0,31	22	5,855	4,553	1,302	1,667
6	0,34	24	6,269	5,471	0,798	1,819

Tabel 4.13Komponen Kofisien viskos dan gelombang kapal ducktail 6 meter

<i>No</i>	<i>Full Scale</i>					
	<i>Fr</i>	<i>V</i> (<i>knot</i>)	<i>C_T</i> (10^{-3})	<i>C_V</i> (10^{-3})	<i>C_w</i> (10^{-3})	<i>Re</i> (10^9)
1	0,20	14	6,723	5,231	1,492	1,061
2	0,23	16	5,413	4,842	0,571	1,213
3	0,25	18	4,799	4,441	0,358	1,362
4	0,28	20	5,074	4,337	0,737	1,516

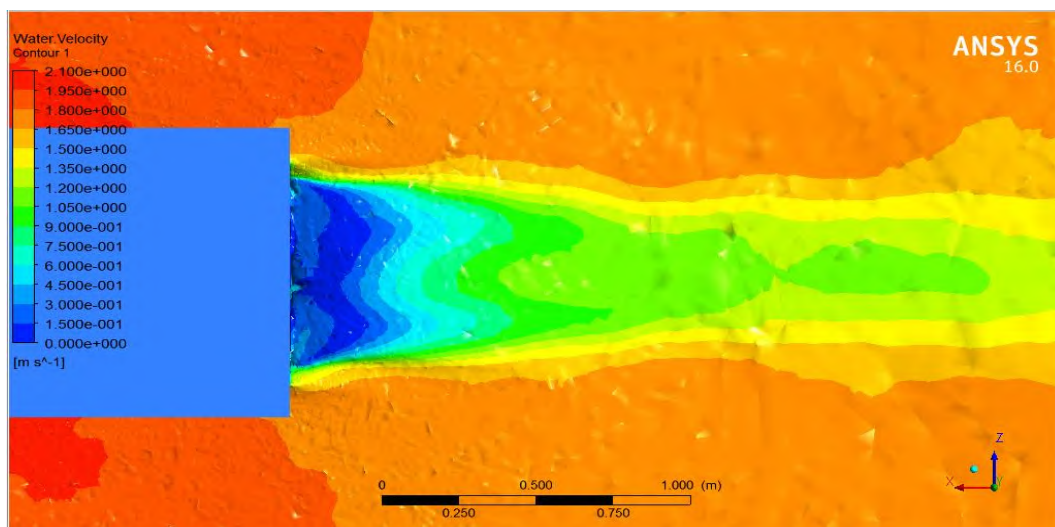
5	0,31	22	5,583	4,502	1,081	1,667
6	0,34	24	6,047	4,422	1,625	1,819

Dari perhitungan nilai C_v dan C_w dari ketiga jenis model, nilai C_v dan C_w secara signifikan berkurang. Pada angka Froude 0,25 dari ketiga model nilai C_v cenderung lebih besar dari nilai C_w . Persentase penurunan nilai C_v terbesar pada kapal ducktail 6 meter adalah 20 % sedangkan untuk pada kapal dengan ducktail 3 meter adalah 17% bila dibanding kapal tanpa ducktail. Dengan demikian ducktail mampu mengurangi hambatan viskos yang diakibatkan oleh *wake* pada bagian transom.

4.7 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi CFD

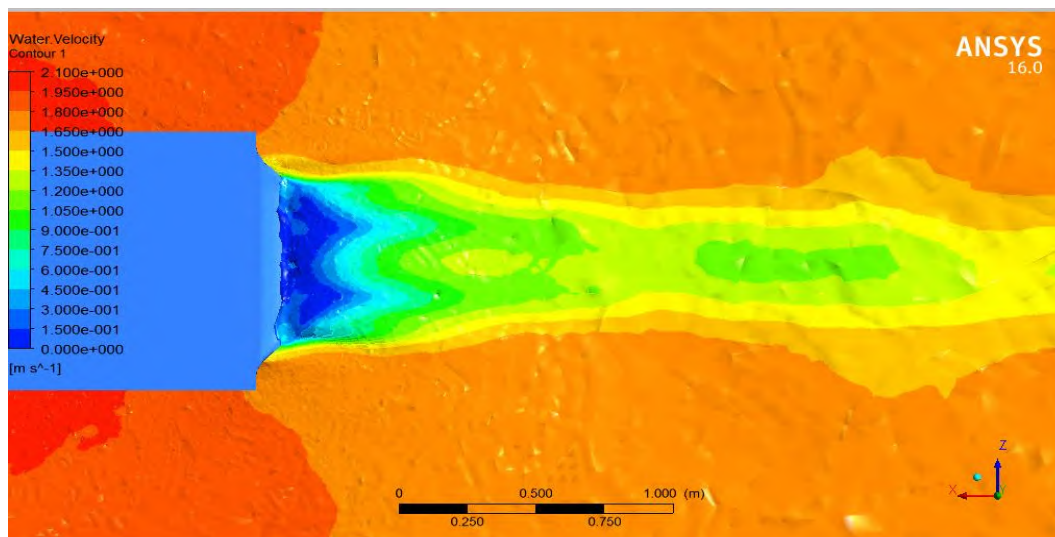
Salah satu keunggulan dalam simulasi CFD adalah dapat memvisualisasikan fenomena fisik yang terjadi dalam skala yang tidak terbatas. CFD mampu menangkap aliran dan *wave* pattern dalam bentuk kontur tertentu baik dalam kontur velocity aliran atau distribusi tekanan pada model. Dalam simulasi ini fokus pada fenomena aliran di area wetted transom.

Pada gambar dibawah ini menunjukkan kontur kapal tanpa ducktail. Fenomena aliran kecepatan pada kontur *water velocity* pada kapal tanpa ducktail ditampilkan pada gambar 4.17.



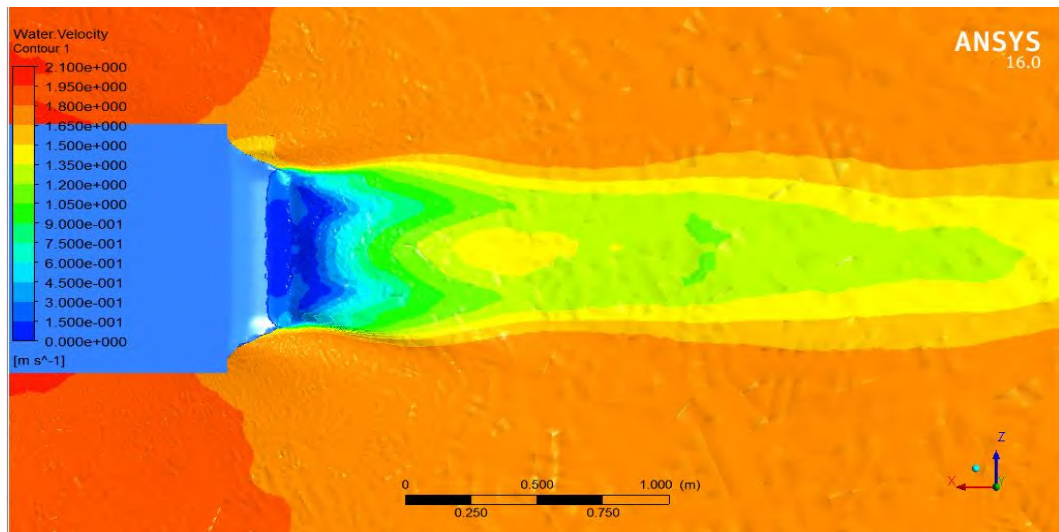
Gambar 4.17 Kontur water velocity kapal tanpa ducktail

Pada gambar tanpa ducktail menunjukkan adanya pusaran aliran pada bagian transom kapal. Bentuk transom yang secara sectional berubah mengakibatkan *separation flow* pada area wetted transom, dimana aliran tidak dapat diteruskan kebelakang transom. Pada gambar tersebut aliran pada bagian transom menjadi melambat mengakibatkan penyerapan energi berlebih. Sedangkan pada gambar 4.18 adalah kontur kapal dengan ducktail 3 meter. Pada gambar dibawah ini pusaran arus pada bagian wetted transom mulai berkurang. Aliran dapat diteruskan keluar belakang transom



Gambar 4.18 Penampang water velocity kapal ducktail 3m

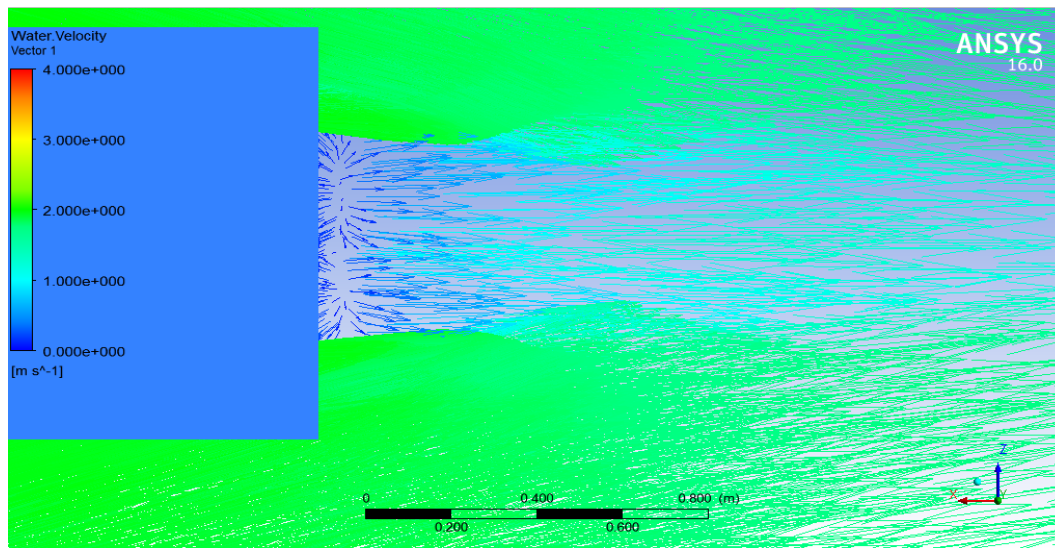
Pada gambar 4.19 kontur aliran pada kapal 6 meter memiliki kontur yang lebih kecil dibanding kapal dengan ducktail 3 meter. Aliran mampu diteruskan keluar area wetted transom dengan *smooth*.



Gambar 4.19 Kontur water velocity kapal ducktail 6m

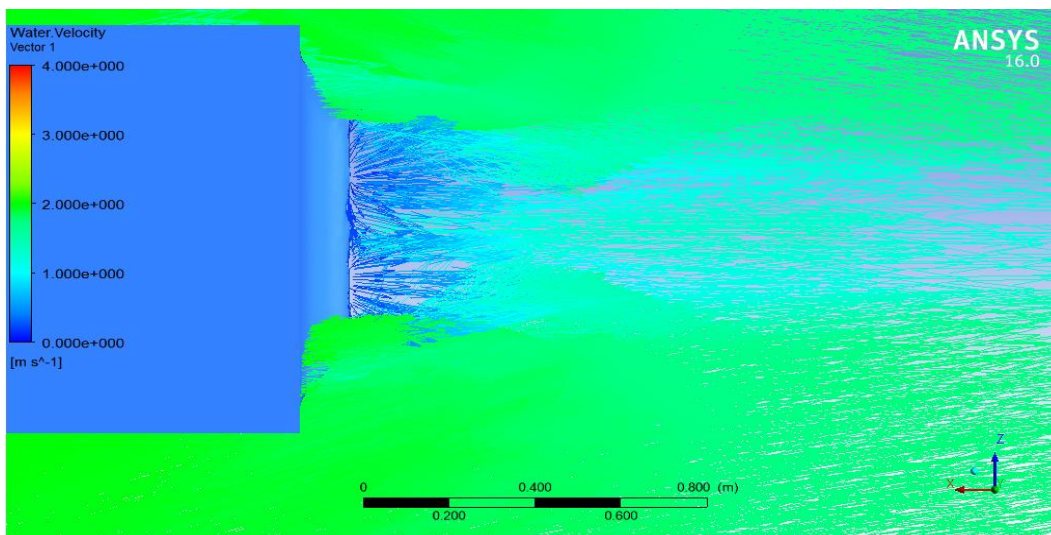
Pada area *free surface* menunjukkan kontur pada bagian transom kapal dengan menampilkan *wake* pada bagian *wetted transom*. Bentuk transom mempengaruhi pola *wake* dan membentuk gelombang pada bagian tersebut. Pada kontur isosurface pada menunjukkan kapal tanpa ducktail memiliki gelombang *wake* dibagian transom karena bentuk transom yang rata membuat aliran tidak dapat tergenerate keluar transom kapal. Dengan ducktail *wake* yang dihasilkan lebih kecil dan pusaran arus ditransom dapat diminimalisir.

Pusaran arus pada bagian transom kapal dapat terlihat pada kontur *vektor*. Kontur tersebut menampilkan pola arus vektor pada bagian transom. Kapal tanpa ducktail memiliki pusaran vektor pada bagian transom seperti yang ditampilkan pada gambar 4.19 dari penampang atas model atau y/L_{pp} .



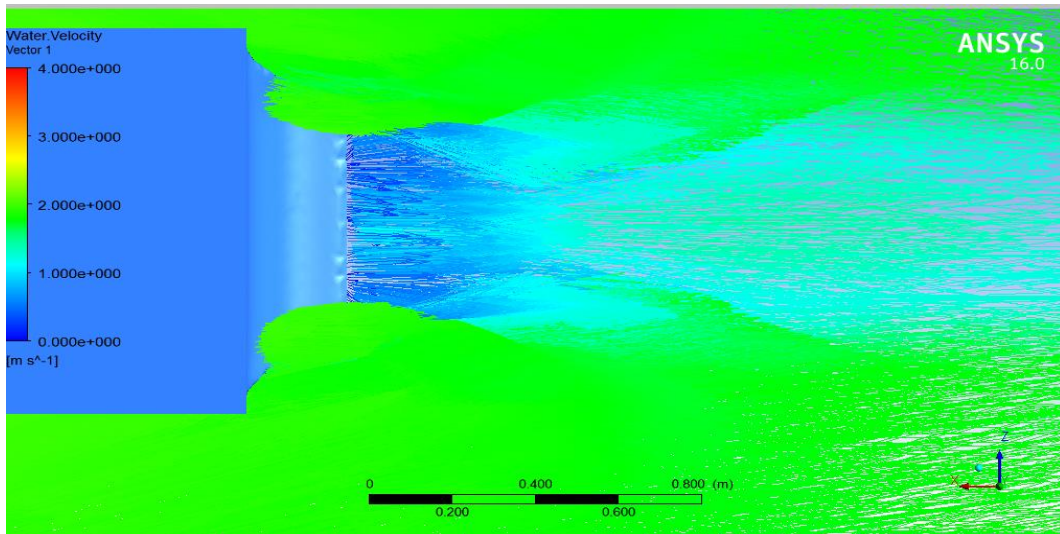
Gambar 4.20 Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail

Pada gambar 4.21 menampilkan pola vektor pada kapal ducktail 3 meter dimana pusaran vektor pada bagian transom mulai terurai dan membentuk arus lurus keluar transom.



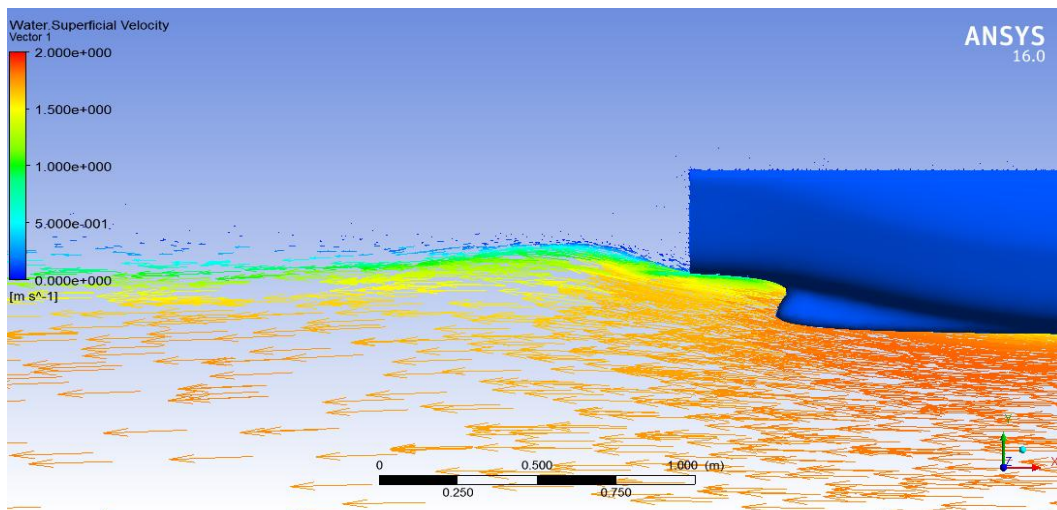
Gambar 4.21 Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 meter

Pada kapal ducktail 6 meter pola vektor menunjukkan arus yang semakin lurus, pusaran pada bagian tersebut nampak signifikan berkurang bila dibanding kapal tanpa ducktail yang ditunjukkan pada gambar 4.22.



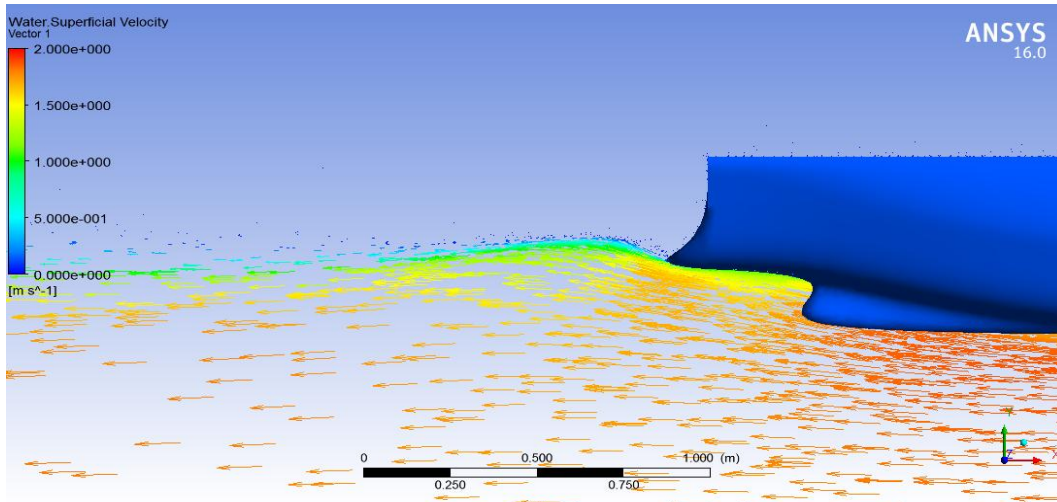
Gambar 4.22 Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 meter

Padagambar 4.23 menunjukkan penampang samping atau z/Lpp dari model. Kontur menunjukkan aliran vektor pada transom kapal. Vektor pada transom menunjukkan adanya *wake* dengan arah vektor menuju kebelakang transom.



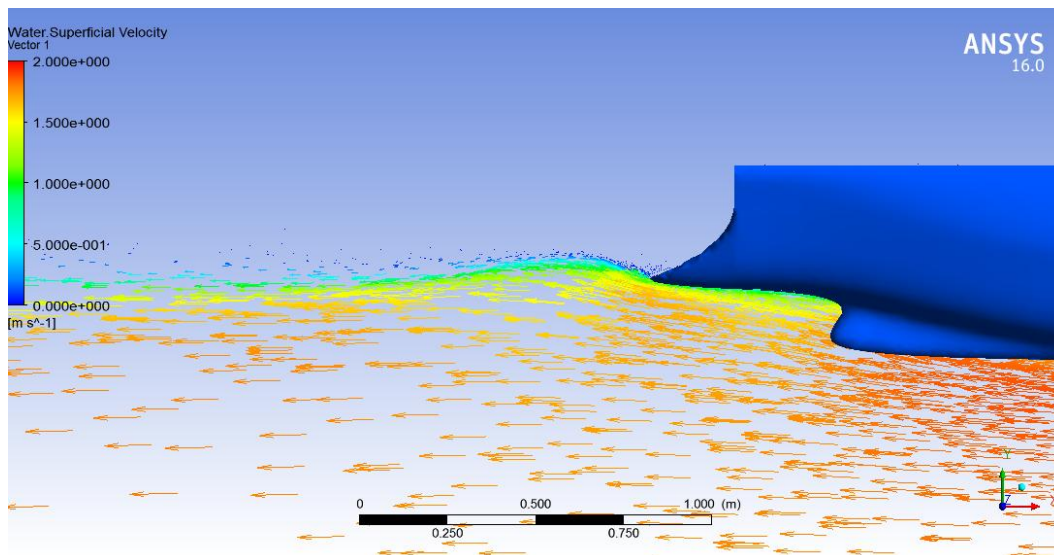
Gambar 4.23 Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail tampak samping

Kemudian pada gambar 4.24 menunjukkan kontur vektor kapal dengan ducktail 3 meter menunjukkan aliran vektor dari penampang damping atau z/L_{pp} .



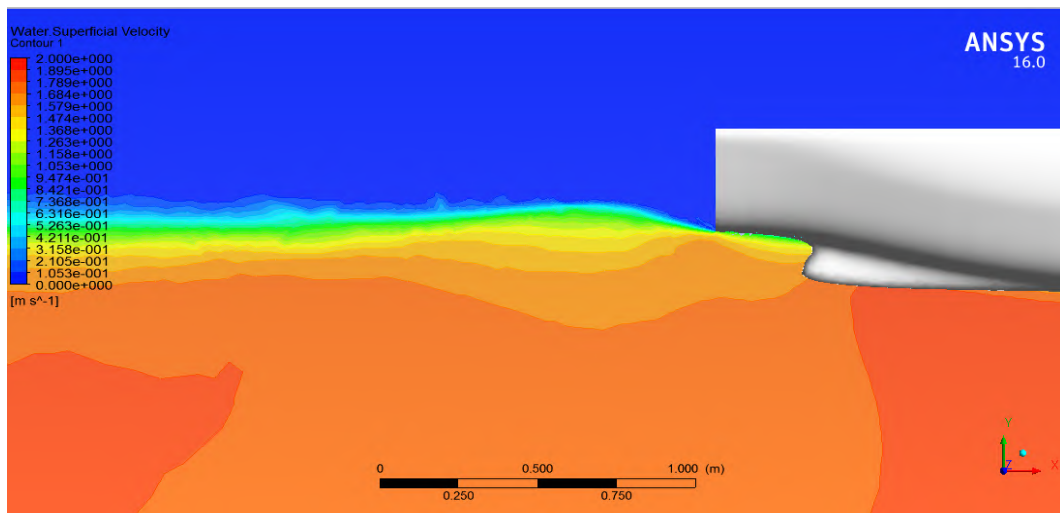
Gambar 4.24 Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 meter tampak samping

Gambar vektor pada penampang samping pada kapal dengan ducktail 6 meter ditunjukkan pada gambar 4.25.



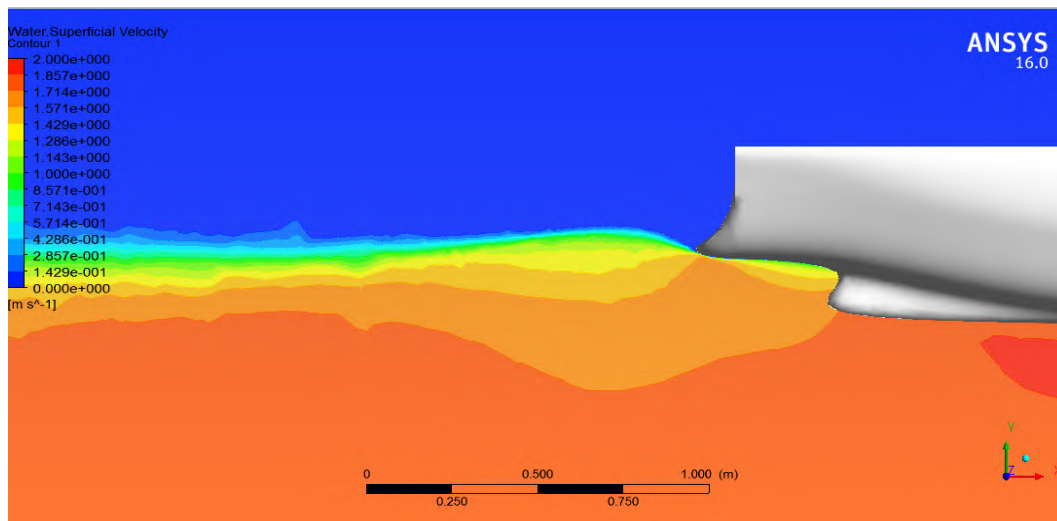
Gambar 4.25 Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 meter tampak samping

Seperti yang telah dijelaskan bahwa *wake* terbentuk secara memanjang pada bagian belakang kapal. Pada kapal tanpa ducktail bagian transom kapal memiliki *wakedan spray* dengan lonjakan yang lebih tinggi dan panjang jika dibanding kapal dengan ducktail. *wakedan spray* pada ducktail 3 meter mengalami penurunan ketinggian gelombang yang terbentuk pada bagian belakang kapal. Kapal ducktail 6 meter memiliki bentuk gelombang *wakedan spray* yang paling landai. Hambatan yang terjadi pada *wetted transom* termasuk dalam hambatan tekanan dimana pada area transom terdapat gaya hambat dengan arah tegak lurus terhadap transom. Gaya yang bekerja tersebut mengakibatkan adanya terbentuk gelombang dan gelombang semprotan (*spray*). Gelombang tersebut menyebabkan penyerapan energi yang hilang pada *wake* (Harvald, 1983). Untuk tampilan kontur aliran ditampilkan pada gambar 4.26 yang menunjukkan kontur *water superficial velocity* di area *free surface* kapal tanpa ducktail dengan penampang samping kapal.



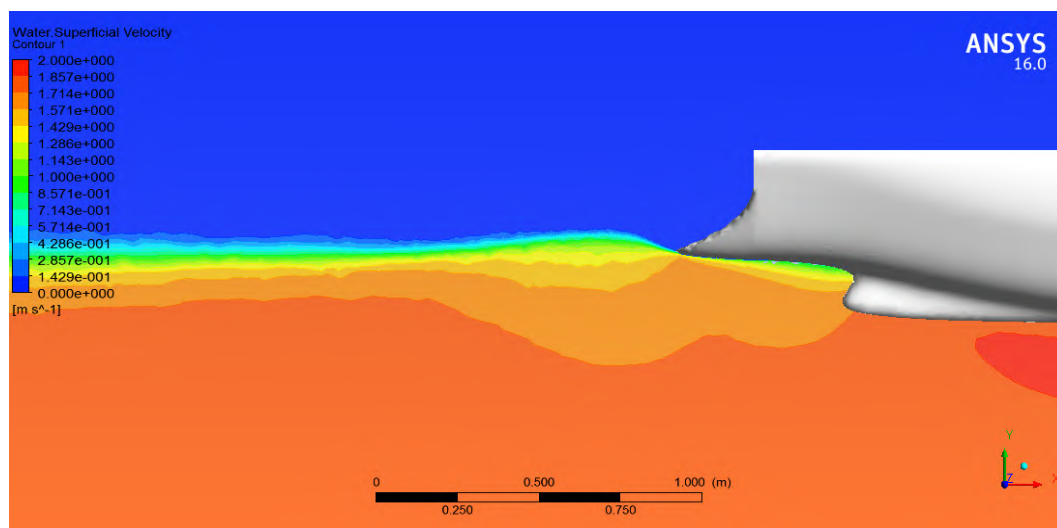
Gambar 4.26 Kontur *water superficial velocity* kapal tanpa ducktail tampak samping

Kemudian pada gambar 4.27 yang menunjukkan kontur *water superficial velocity* di area *free surface* kapal dengan ducktail 3 meter tampak dari penampang samping kapal.



Gambar 4.27 Kontur *water superficial velocity* kapal ducktail 3 m tampak samping

dan pada gambar 4.28 yang menunjukkan kontur *water superficial velocity* di area *free surface* kapal ducktail 6 meter tampak dari penampang samping kapal



Gambar 4.28 Kontur *water superficial velocity* kapal ducktail 6 m tampak samping

Dengan demikian ducktail mampu mengurangi arus pusaran pada bagian transom. Dari seluruh simulasi menunjukkan bahwa kapal dengan penambahan ducktail mampu mengurangi hambatan. Dengan penambahan ducktail aliran mampu ditransmisikan keluar area transom sehingga pusaran *eddies current* dapat dikurangi.

Penambahan ducktail 6 meter mampu mengurangi hambatan dan konsumsi daya paling tinggi pada angka froude keseluruhan. Ducktail ini sesuai diaplikasikan pada angka Froude 0,25 atau *service speed* untuk model kapal ferry ini. Ducktail dapat menjadi *appendages* alternatif pada ESD dalam pengurangan hambatan pada transom kapal. Selain itu ducktail merupakan *appendages* dengan *easy installation* dimana pemasangan ducktail dapat aplikasikan dengan mudah dan dapat dibongkar pasang.

Penambahan aplikasi ducktail direkomendasikan pada kapal ferry dan ro-ro yang memiliki bentuk transom pada angka froude 0,2-0,35. dimana panjang ducktail dapat memberikan panjang garis air efektif untuk meningkatkan rasio L/B yang optimum untuk mendapatkan pengurangan hambatan yang optimum sehingga mampu mengurangi emisi karbon dioksida sesuai mandat IMO tahun 2012.

Secara umum ukuran Ducktail adalah *user defined*. CFD mampu memvisualisasi fenomena *wake* dan *eddies current* yang berada pada *wetted transom* dan dengan ducktail *wake* dan *eddies current* dapat diminimalisir terlihat dalam kontur yang telah ditampilkan. CFD mampu menjadi perhitungan dan analisa numerik untuk memprediksi parameter yang terkait dengan aliran fluida sebelum uji eksperimen (Kim,2013). Pengujian penambahan ducktail dengan CFD berdasar metode *free surface* telah beberapa dipaparkan. Penambahan ducktail sepanjang 2% dari panjang kapal keseluruhan mampu mengurangi hambatan hingga 4% pada Froude number 0,22 atau pada *service speed* (Marin, 2011). Selain itu berdasar Wartsila (2009) penambahan 3-6 meter mampu meningkatkan efisiensi power sebesar 4-7%. Penambahan ducktail sepanjang 5 meter untuk *short route ferry* yang beroperasi pada angka Froude 0,28 mampu meningkatkan efisiensi power sebesar 14% pada *service speed* (Levander,2009).

LAMPIRAN

Lampiran 1

Tabel Perhitungan Ekstrapolasi Model menjadi Skala Penuh

Metode Pendekatan Froude

Particular Data

Type : Ro Ro
Scale : 1 : 25

Dimension	Ship	Unit	Model	Unit
LOA	135.6	m	5.42	m
LWL	130.0	m	5.20	m
B	26.00	m	1.04	m
H	9.00	m	0.36	m
T	6.00	m	0.24	m
WSA	3425.17	m ²	5.48	m ²
Displacement	11203.37	ton	717.02	kg

Analysis NO DUCK

Model								
No	knot	V (m/s)	Rt (N)	Rn ($\times 10^6$)	C_T	C_F	C_R	Fn
5	14	1.440	56.33	8.4018.E+06	0.0099	0.0031	0.0068	0.2017
6	16	1.646	66.25	9.6021.E+06	0.0089	0.0030	0.0059	0.2305
7	18	1.852	79.27	1.0802.E+07	0.0084	0.0030	0.0055	0.2593
8	20	2.058	91.15	1.2003.E+07	0.0079	0.0029	0.0050	0.2881
9	22	2.263	114.72	1.3203.E+07	0.0082	0.0029	0.0053	0.3169
10	24	2.469	142.06	1.4403.E+07	0.0085	0.0028	0.0057	0.3457

Full Scale							
No	V (m/s)	V (knot)	Rt (KN)	Pwr (EHP)	C_F	C_T	Rn
5	1.440	14	758.912	7329.076	0.0015	0.008	1.06.E+09
6	1.646	16	879.501	9707.023	0.0015	0.007	1.21.E+09
7	1.852	18	1045.785	12985.083	0.0015	0.007	1.36.E+09
8	2.058	20	1189.948	16416.771	0.0015	0.006	1.52.E+09
9	2.263	22	1517.548	23030.048	0.0014	0.007	1.67.E+09

10	2.469	24	1901.810	31485.316	0.0014	0.007	1.82.E+09
----	-------	----	----------	-----------	--------	-------	-----------

Analysis Ducktail 3m

Model							
Run	V (m/s)	Rt (N)	Rn (x10 ⁶)	C _T	C _F	C _R	Fn
5	1.454	53.14	9.0502.E+06	0.0091	0.0031	0.0060	0.2017
6	1.662	61.88	1.0343.E+07	0.0081	0.0030	0.0051	0.2305
7	1.870	66.16	1.1636.E+07	0.0068	0.0029	0.0039	0.2593
8	2.077	84.14	1.2929.E+07	0.0070	0.0029	0.0042	0.2881
9	2.285	104.86	1.4222.E+07	0.0072	0.0028	0.0044	0.3169
10	2.493	131.49	1.5515.E+07	0.0076	0.0028	0.0048	0.3457

Kapal						
Run	V (knot)	Rt (KN)	Pwr (EHP)	C _F	C _T	Rn
5	14	693.724	6699.530	0.0015	0.008	1.06.E+09
6	16	793.274	8755.343	0.0015	0.007	1.21.E+09
7	18	818.837	10167.165	0.0015	0.005	1.36.E+09
8	20	1055.857	14566.822	0.0015	0.006	1.52.E+09
9	22	1332.191	20217.098	0.0014	0.006	1.67.E+09

10	24	1697.718	28106.480	0.0014	0.006	1.82.E+09
----	----	----------	-----------	--------	-------	-----------

Analysis DUCK 6m

Model								
No	Knot	V (m/s)	Rt (N)	Rn (x10 ⁶)	C _T	C _F	C _R	Fn
5	14	1.470	49.87	8.9406.E+06	0.008	0.0031	0.0052	0.2017
6	16	1.681	54.45	1.0218.E+07	0.007	0.0030	0.0039	0.2305
7	18	1.891	62.4	1.1495.E+07	0.006	0.0029	0.0033	0.2593
8	20	2.101	80.01	1.2772.E+07	0.006	0.0029	0.0036	0.2881
9	22	2.311	103.97	1.4049.E+07	0.007	0.0028	0.0041	0.3169
10	24	2.521	131.49	1.5327.E+07	0.007	0.0028	0.0046	0.3457

Kapal							
No	V (m/s)	V (knot)	Rt (KN)	Pwr (EHP)	C _F	C _T	Rn
5	1.440	14	623.473	6021.096	0.0015	0.007	1.06.E+09
6	1.646	16	655.660	7236.500	0.0015	0.005	1.21.E+09
7	1.852	18	735.683	9134.668	0.0015	0.005	1.36.E+09
8	2.058	20	960.279	13248.207	0.0015	0.005	1.52.E+09
9	2.263	22	1278.666	19404.823	0.0014	0.006	1.67.E+09

10	2.469	24	1648.044	27284.107	0.0014	0.006	1.82.E+09

Lampiran 2

Perhitungan Koefisien Viskos dan Gelombang

- Tanpa Ducktail

Model			
V _s	CT _m	CV _m	CW _m
14	0.00991	0.00773	0.00218
16	0.00892	0.00771	0.00121
18	0.00844	0.00708	0.00136
20	0.00786	0.00635	0.00151
22	0.00817	0.00651	0.00166
24	0.00850	0.00669	0.00181
SHIP			
V _s	CT _s	CV _s	CW _s
14	0.008336	0.00615	0.00218
16	0.007396	0.00601	0.00121
18	0.006949	0.00589	0.00136
20	0.006405	0.00578	0.00151
22	0.006750	0.00681	0.00166
24	0.007108	0.00560	0.00181

- Ducktail 3 m

Model			
V	CT _m	CV _m	CW _m
14	0.0091	0.00745	0.00165
16	0.0081	0.00809	0.00085
18	0.0068	0.00628	0.00052
20	0.0070	0.00588	0.00097
22	0.0072	0.00603	0.00130
24	0.0076	0.00681	0.00079
SHIP			
V	CT	CV	CW
14	0.00752	0.00587	0.00165
16	0.00659	0.00573	0.00085
18	0.00537	0.00485	0.00052

20	0.00561	0.00642	0.00097
22	0.00585	0.00455	0.00130
24	0.00626	0.00547	0.00079

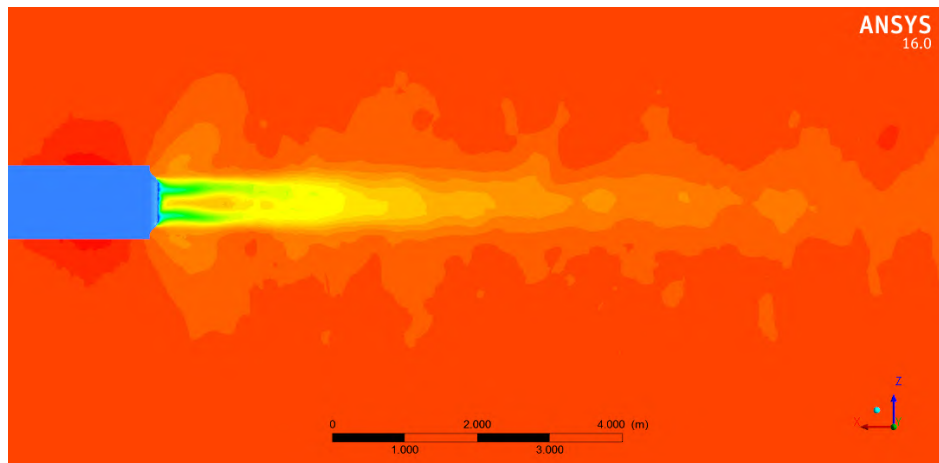
- Ducktail 6 m

Model			
Knot	CTm	CVm	CWm
14	0.00826	0.00677	0.00149
16	0.00691	0.00634	0.00057
18	0.00625	0.00589	0.00036
20	0.00650	0.00577	0.00073
22	0.00698	0.00590	0.00108
24	0.00741	0.00579	0.00162
SHIP			
Knot	CTs	CVs	CWs
14	0.00672	0.00523	0.00149
16	0.00541	0.00484	0.00057
18	0.00479	0.00358	0.00036
20	0.00507	0.00737	0.00073
22	0.00583	0.00108	0.00108
24	0.00604	0.00162	0.00162

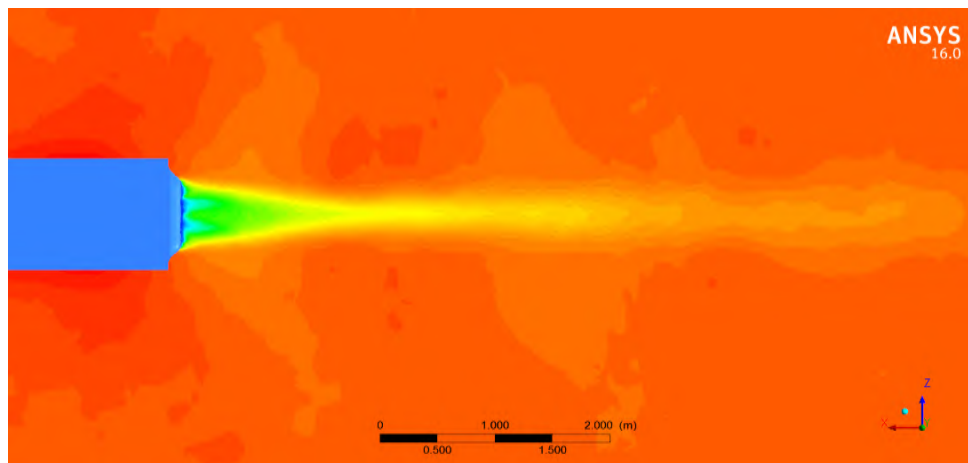
Lampiran 3

Hasil Simulasi CFD

- Visualisasi Kontur pemodelan turbulen hasil simulasi model kapal tanpa ducktail pada Froude numbers 0,25 atau pada *service speed* kapal

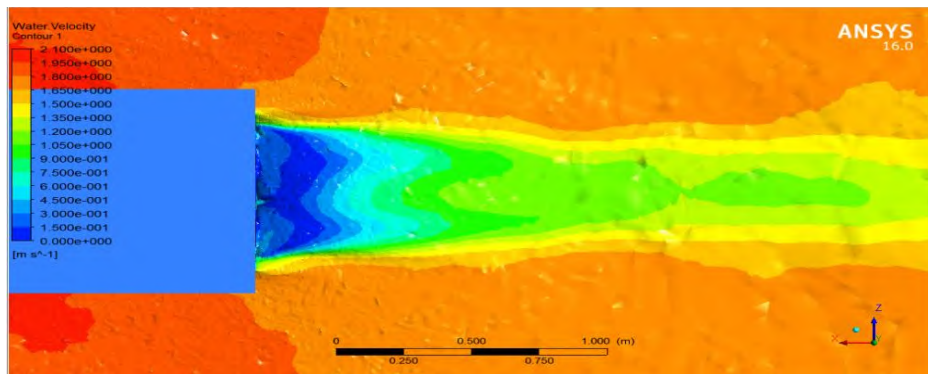


Kontur water velocity pada model k-epsilon

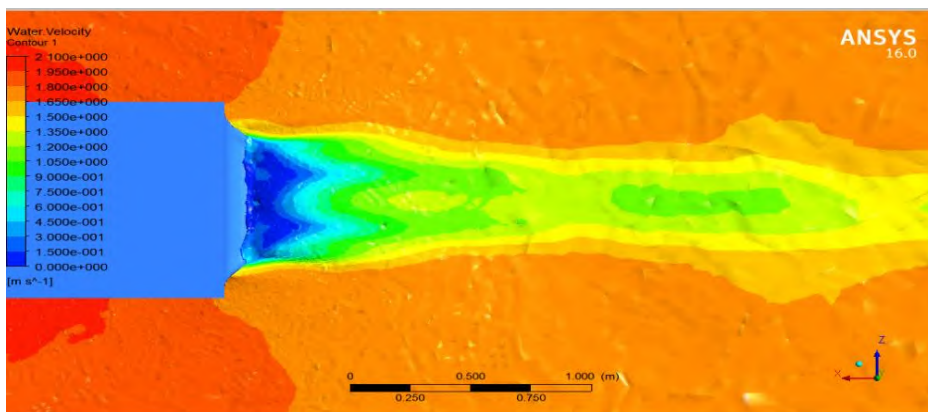


Kontur water velocity pada turbulen model SST k-omega

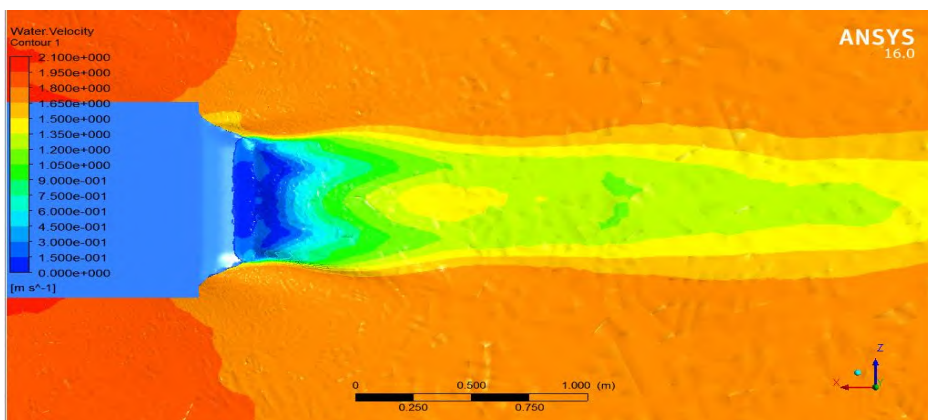
- Visualisasi Kontur hasil simulasi model kapal tanpa ducktail, kapal ducktail 3 meter dan kapal ducktail 6 meter pada Froude numbers 0,25 atau pada *service speed* kapal



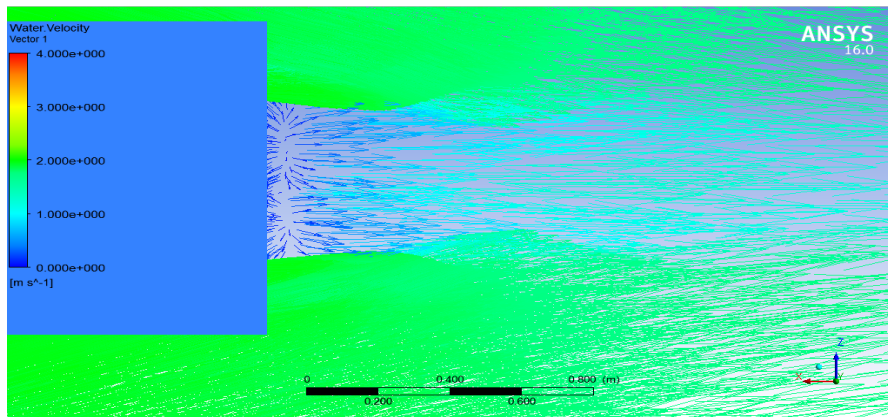
Kontur water velocity kapal tanpa ducktail



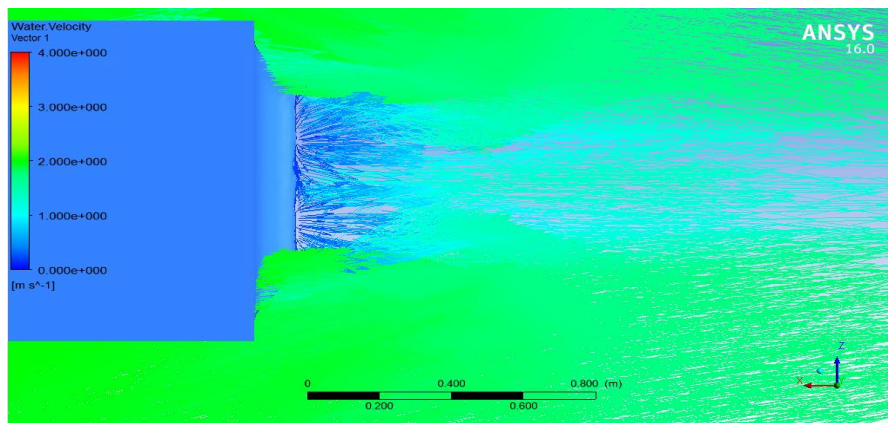
Penampang water velocity kapal ducktail 3m



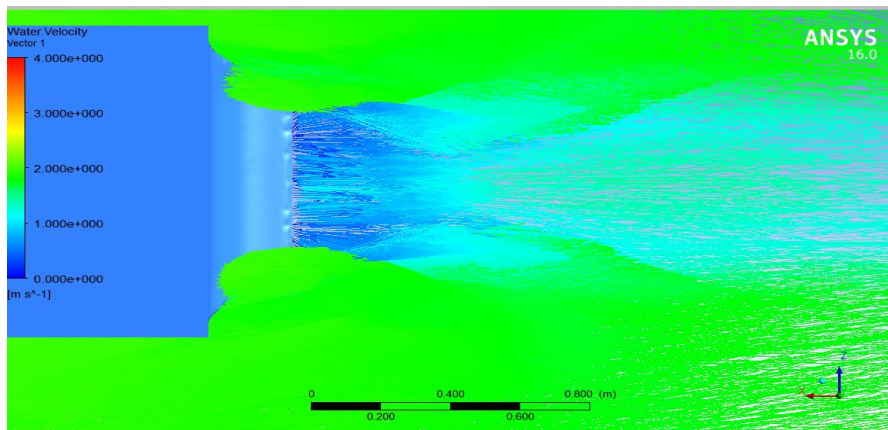
Kontur water velocity kapal ducktail 6m



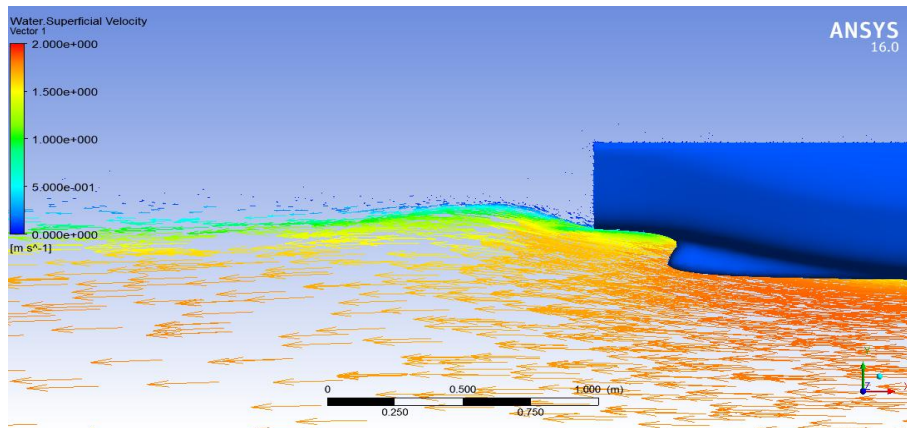
Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail



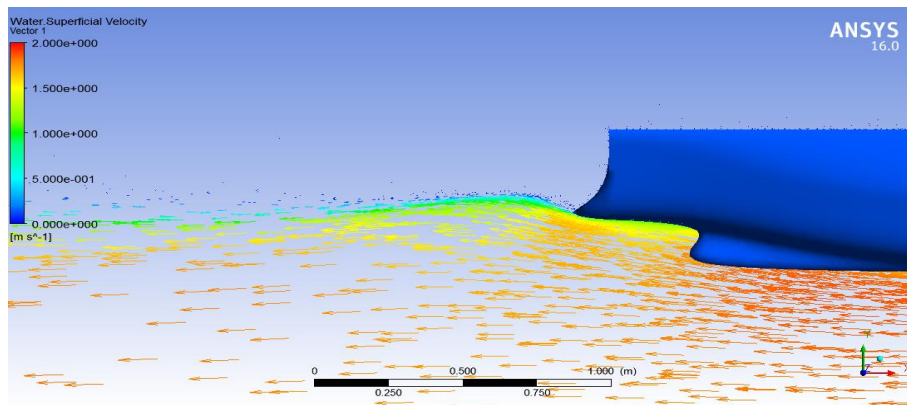
Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 meter



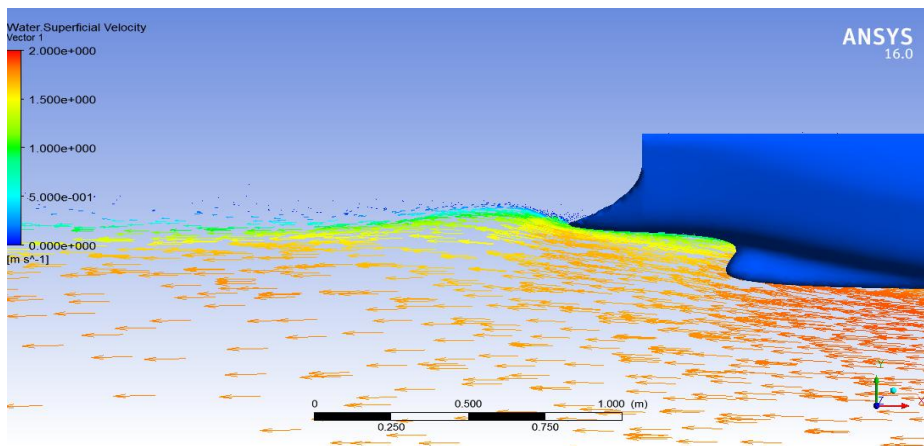
Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 meter



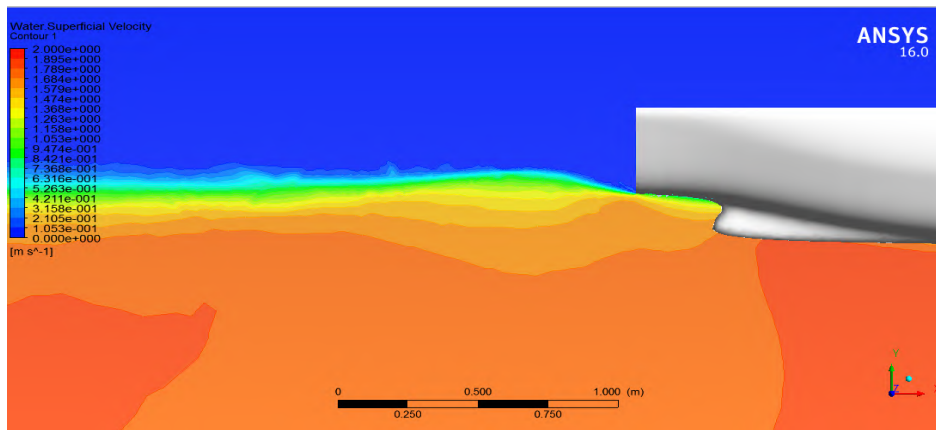
Kontur vektor pada transom kapal tanpa ducktail tampak samping



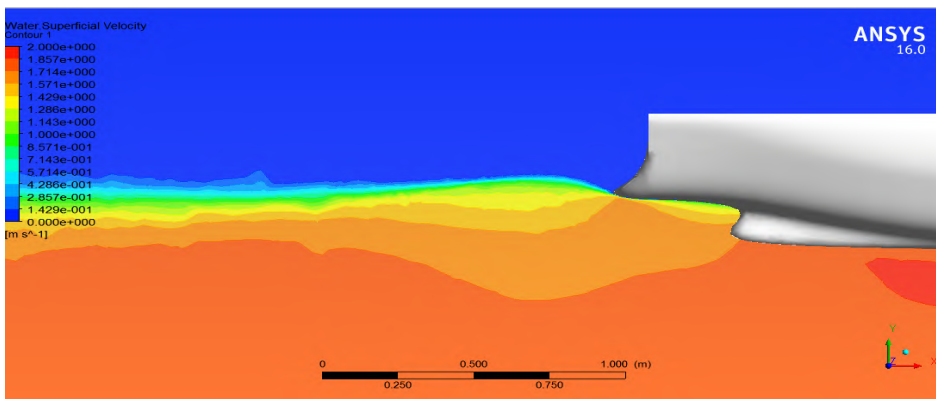
Kontur vektor pada transom kapal ducktail 3 meter tampak samping



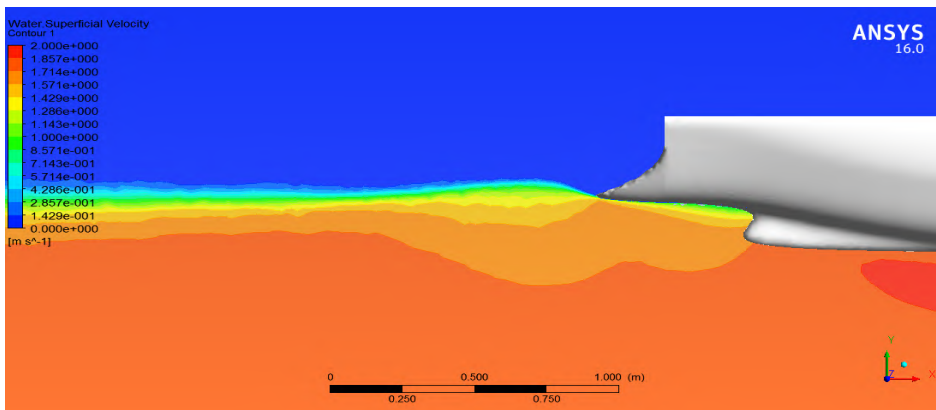
Kontur vektor pada transom kapal ducktail 6 meter tampak samping



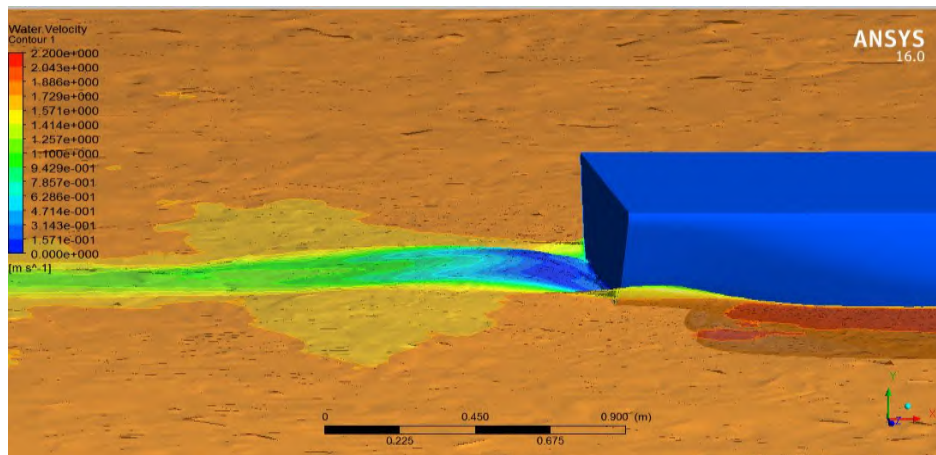
Kontur *water superficial velocity* kapal tanpa ducktail tampak samping



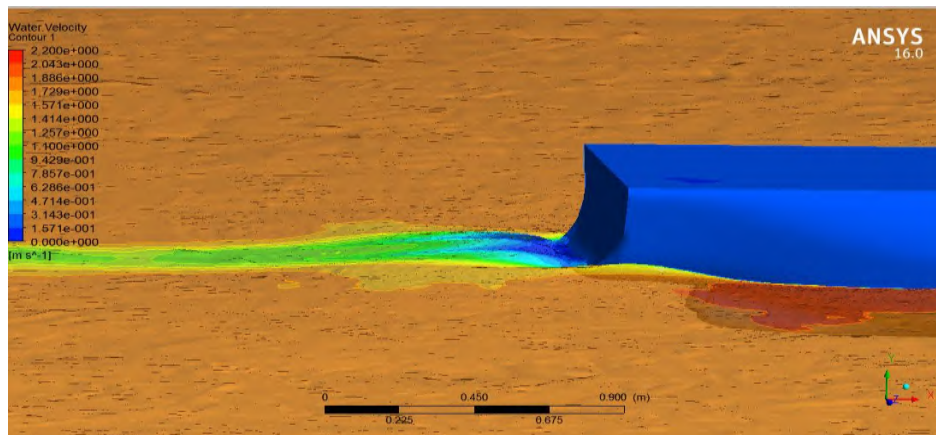
Kontur *water superficial velocity* kapal ducktail 3 m tampak samping



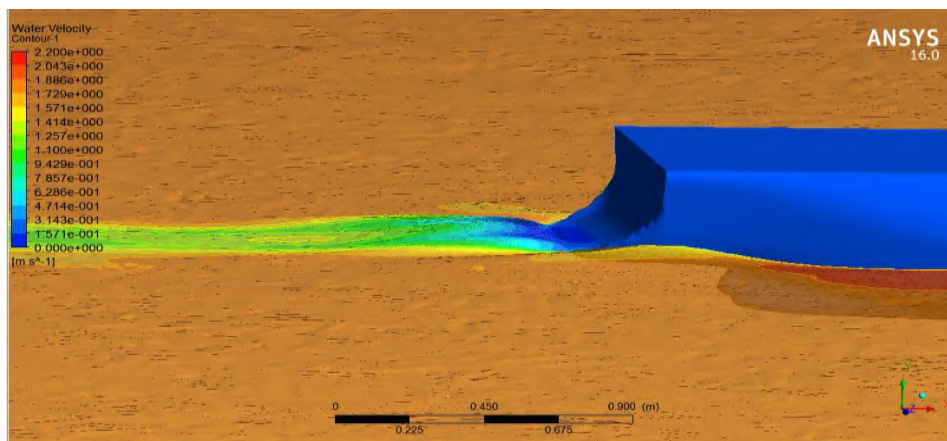
Kontur *water superficial velocity* kapal ducktail 6 m tampak samping



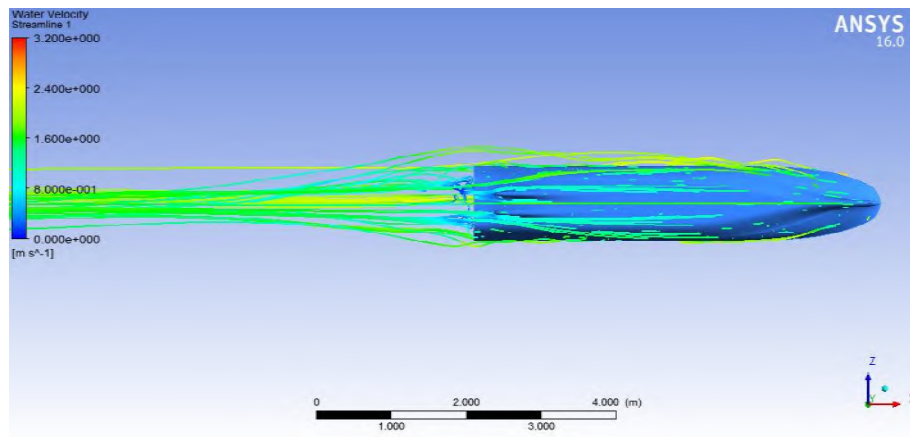
Kontur *water velocity* pada isosurface kapal tanpa ducktail



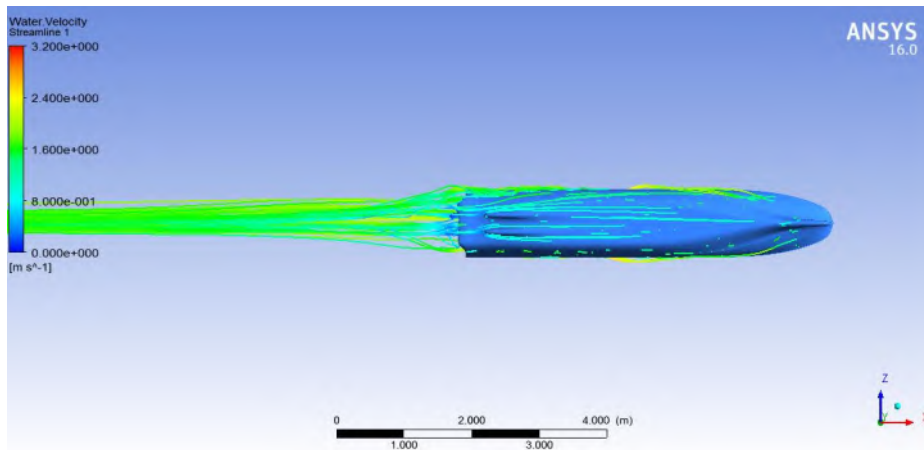
Kontur *water velocity* pada isosurface kapal ducktail 3 meter



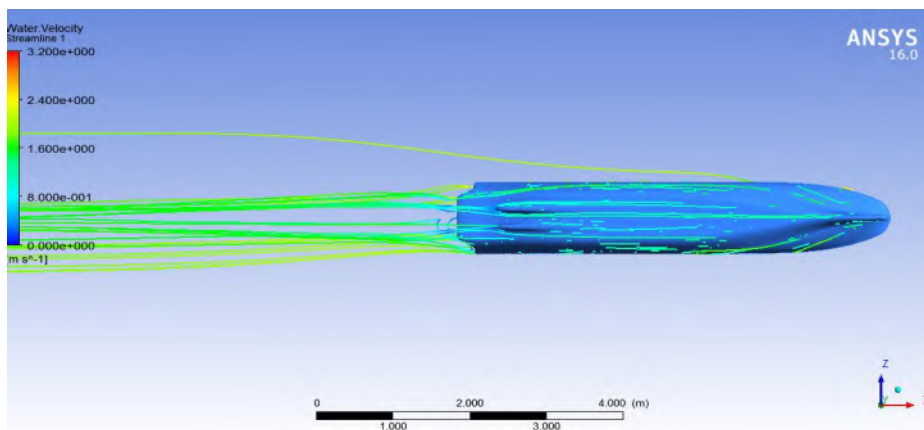
Kontur *water velocity* pada isosurface kapal ducktail 6 meter



Kontur *stramline* kapal tanpa ducktail



Kontur *stramline* kapal ducktail 3 meter



Kontur *stramline* kapal ducktail 6 meter

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa ducktail merupakan *appadages* alternatif dalam ESD untuk mengurangi hambatan khususnya hambatan akibat *wetted transom* pada kapal. CFD mampu menampilkan visualisasi fenomena *free surface* antara dua fluida dengan interface yang tajam serta fenomena fisik yang terjadi yang tidak dapat ditangkap dalam uji eksperimen. CFD memprediksi pengaruh penambahan ducktail pada bagian *wetted transom* untuk mengurangi hambatan. Dengan penambahan ducktail *eddies current* pada transom dapat diminimalisir dengan meneruskan aliran yang melewati transom. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengurangan hambatan dan power dengan ducktail 3 meter mencapai 5-10% pada. Pengurangan hambatan paling tinggi pada angka Froude 0,25 sebesar 20% dan untuk efisiensi power mencapai 16%.
2. Pengurangan hambatan tertinggi secara keseluruhan variasi Froude numbers yaitu pada ducktail dengan ukuran 6 meter sebesar 11-15 %. Ducktail 6 meter mencapai pengurangan hambatan maksimum pada angka Froude 0,25 sebesar 26% dan efisiensi power mencapai 21%.
3. Pengurangan hambatan optimum dan efisiensi power tertinggi adalah pada angka Froude 0.25 atau pada *cruising speed* baik dengan ducktail 3 meter dan 6 meter.
4. Untuk kapal ferry ini adalah ducktail dengan 6 meter merupakan panjang yang optimum dan paling baik untuk pengurangan hambatan dan efisiensi power.
5. Ducktail mampu mejadi salah satu *appandages* dalam *saving energy*

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut pada ducktail adalah analisa lebih mendalam terhadap perhitungan komponen hambatan gelombang termasuk membandingkan plot *wave elevation* atau plot ketinggian *wake* dibagian transom pada kapal tanpa ducktail dan kapal ducktail sertapenetuan ukuran duckatail yang optimum untuk kapal ferry dengan Froude number diatas 0,2

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S.W. 2009. *Komponen Tahanan Kapal*. Surabaya.
- Anonimous. 2013. <http://worldmaritimenews.com/archives/144907/sailing-ocean-transport-re-introduced-initiatives-make-way-for-large-scale-wind-powered-transport> diakses tanggal 10-09-2015.
- Anonimous. 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=1IghJ532P4> diakses tanggal 17-10-2015.
- Anonimous. 2012. <http://www.cfd-online.com/Forums/cfx/110640-difference-between-ansys-cfx-fluent.html> diakses tanggal 15-09-2015.
- Anonimous. 2014. <http://learningfluidmechanics.blogspot.co.id> diakses tanggal 17-10-2015.
- Ansys Inc. 2004.
<http://product.caenet.cn/Uploadfiles/12886754233793250020090514015713793.pdf> diakses tanggal 17-10-2015.
- Ansys CFX Solver Tutorial Guide 11.2006. Ansys Inc. USA.
- Bakker, A. 2002. *Applied Computational Fluid Dynamics*.
- Bertram, V. 2000. *Practical Ship Hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann Publishing Ltd. Oxford.
- Budianto, H. 2007. *Pembangunan Model Kinetika Proses dan Hidrodinamika Unit Flotasi Udara Terlarut, Serta Pengembangan Konsep Pembangkit Gelembung Mikro*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung.
- Collison, R.E., James, M.C., Turnock S.R., Hudson, D.A. 2013. *Retro-fit Solutions for Energy Efficient Shipping*. Ship Science Report no.148. University of Southampton.
- Dang , Jie ., Chen, Hao ., Dong, Guoxiang .,et.al. 2011. *An Exploratory Study on the Working Principles of Energy Saving Devices (ESDs)*. Symposium on Green Ship Technology. Wuxi, China.

- Ding, Yu. 2015. *Scale Effect on the Wake Field of Single Screw Ship*. Master Thesis. Aalensund University College. Norway.
- DSME. 2008. *Energy Saving Devices*. South Korea.
- Jong, J.H. de. 2006. *A Framework for Energy Saving Device (ESD) Decision Making*. MARIN, Netherlands.
- Hämäläinen, R., and Heerdeney, Jaap van. 2013. *Saving Possibilities in Twin or Triple Propeller Cruise Liners*. Third International Symposium on Marine Propulsors SMP'13. Launceston. Tasmania, Australia.
- Harvald, S.A. 1983. *Resistance and Propulsion of Ship*. John Wiley & Sons, Inc.
- Introduction to CFX 11. 2009. Ansys Inc. USA.
- Kanerva, Marku., Zito, Andrea. 2007. *Fuel Saving and Saving Environmental Issues*. Seatrade Cruise Convention.
- Kim, Keunjae., Leer-Andersen, Michael. 2013. *A Proposed Design Methodology for Successfully Developing ESDs*. SSPA. Highlights 58.
- Marin. 2011. *Reduction of Environmental Impact of Dredger Operations Phase Two*. Final Report. MASLF.
- Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A. and Utama, I.K.A.P. 2014. *Reducing Ship Emissions: A Review of Potential Practical Improvements in the Propulsive Efficiency of Future Ships*. Transactions of Royal Institution of Naval Architects Part A, 156, 175-188.
- Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A. 2011. *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge University Press. New York. USA.
- Levander, Oskar. 2009. *Two Efficient Ferry Concept*. Wartsila Technical Report.
- Simonsen, Claud D., Carstens, Rasmus. 2009. *Numerical Flow Simulation of Model Ship*. FORCE Technology, MAN Diesel A/S and DTU.
- Sommerfeld, M. 2000. *Theoretical and Experimental Modelling of Particulate Flows*. Lecture Series 2000-06. Von Karman Institut. Germany.

Wartsila. 2009. *Boosting Energy Efficiency*. Norway.

Wilcox, David. 2006. *Turbulence Modeling in CFD*. DCW Industries Inc. California.

Young, Donald. F., Munson, Bruce. R., Okiishi, Theodore.H., Huebsch, Wade.W. 2003. *Fundamental of Fluid Mechanics. Sixth Edition*. John Wiley and Sons Inc. Jefferson City. USA

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Fiqih Dwi Kurniawati lahir di Grobogan, Jawa Tengah pada tanggal 29 Maret 1990. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari Bapak H. Ir. Daryanto T. S., SH, MH dan Ibu Hj. Dwi Yiniati, SH. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar SDN 03 Gundih Kecamatan Geyer Kabupaten Grobogan pada tahun 1996 dan lulus pada tahun 2002, kemudian melanjutkan ke bangku Sekolah Menengah Pertama SMP 03 Kota Purwodadi, lulus pada tahun 2005. Dari SMPN melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas SMAN 09 Kota Semarang dan lulus pada tahun 2008. Setelah lulus penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan tinggi Strata-1 di Universitas Diponegoro Semarang Fakultas Teknik Jurusan Teknik Perkapalan dari tahun 2008 hingga 2013. Setelah menempuh pendidikan dan meraih gelar Sarjana Teknik, penulis melanjutkan studi ke jenjang Magister pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya mengambil Fakultas Teknologi Kelautan Jurusan Teknologi Produksi dan Material Kelautan dengan konsentrasi bidang Hidrodinamika Kapal dan lulus pada tahun 2016 dan mendapat gelar Magister Teknik.