TESIS - MN142532

ANALISA PENGARUH PENEMPELAN MARINE BIOFOULING TERHADAP POWER KAPAL DENGAN SIMULASI CFD

MUH. SAWAL BAITAL
4114.203.007

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 NOVEMBER
SURABAYA
2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

THESES - MN142532

THE DRAG SHIP ESTIMATION DUE TO MARINE BIOFOULING USING CFD ANALYZE

MUH. SAWAL BAITAL
4114.203.007

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
MUHAMMAD SAWAL BAITAL
NRP . 4114 203 007

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PENGARUH PENEMPELAN MARINE BIOFOULING TERHADAP POWER KAPAL DENGAN SIMULASI CFD

Nama Mahasiswa	: Muhammad Sawal Baital
NRP	: 4114 203 007
Dosen Pembimbing	: Prof.Ir. I. K. A. P. Utama, Msc.PhD

ABSTRAK

Pertumbuhan *marine biofouling* merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihindari, karena biofouling adalah *biological roughness* yang sangat susah dihentikan dan tumbuh secara besar-besaran. Biofouling menciptakan kekasaran di sepanjang permukaan kapal yang dapat memberikan efek terhadap *flow properties* fluida dan menyebabkan pengurangan pengurangan kecepatan di dalam *turbulence boundary layer* yang diakibatkan oleh peningkatan tegangan geser dan *frictional resistance*. Frictional resistance ini sangat berpengaruh terhadap kecepatan kapal, kebutuhan power, konsumsi bahan bakar dan dampak ekonomi karena peningkatan konsumsi bahan bakar. Di dalam penelitian ini, analisa efek marine biofouling terhadap hambatan kapal dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD.

Dalam penelitan ini, analisa aliran pada lambung kapal menggunakan software CFD code CFX yang berbasis RANSE dengan *Shear Stress Transport* (SST) *k-omega* sebagai model turbulennya dan ICEM CFD sebagai *grid generator* untuk membentuk *hybrid grid* untuk RANSE solver. Penelitian ini lebih ditekankan pada kekasaran akibat biofouling pada permukaan lambung kapal. Kekasaran biofouling dimodelkan disepnjang lambung kapal dan ketinggian dari biofouling tersebut diukur setelah satu tahun masa pelayaran setelah docking. Simulasi dikerjakan pada beberapa variasi nilai *Froude Number* dan akan dibandingkan dengan kapal yang memiliki permukaan yang halus atau tanpa kekasaran sehingga didapatkan persentase hambatan gesek.

Pengaruh biofouling dapat diprediksi dengan menggunakan CFD dengan memodifikasi kekasaran lambung dengan menggati *equivalent sand grain* pada *roughness regime*. Hasil dari simulasi CFD menunjukkan bahwa kekasaran yang diakibatkan oleh biofouling dapat meningkatkan gaya hambat secara signifikan hingga 37-40% pada kecepatan servis kapal yang berarti bahwa kapal kehilangan hampir setengah dari power yang dibutuhkan dan membutuhkan power yang lebih banyak untuk menjaga kapal agar kapal tetap beroperasi pada kecepatan servicenya.

Kata Kunci : *Marine Biofouling, Resistance, Powering, Computational Fluid Dynamic, Kekasaran*

Halaman ini sengaja dikosongkan

THE DRAG ESTIMATION DUE TO MARINE BIOFOULING USING CFD ANALYZE

Author	: Muhammad Sawal Baital
ID Number	: 4114 203 007
Supervisor	: Prof.Ir. I. K. A. P. Utama, Msc.PhD

ABSTRACT

The growth of marine biofouling is natural phenomena that cannot be avoided, because biofouling is biological roughness that is impossible to detain and grows massively. Biofouling creates roughness over ship hull surface may affect the flow properties and causes a reduction of velocity profile in turbulent boundary layer which increases the shear stress and frictional resistance. The frictional resistance of a ship has a significant importance to ship speed, power requirement, fuel consumption and the economic penalty due to the increase of fuel consumption. In the recent paper, analysis of the effect of marine biofouling to ship resistance is carried out by using computational fluid dynamics (CFD) simulation.

In the present work, flow analysis of hull form design of cargo ship is presented using CFD code CFX based RANSE fitted with shear stress transport (SST) based k-ω for turbulence setting was used to carry out the simulation and grid generator using ICEM CFD to build hybrid grids for RANSE solver. This study emphasized the roughness of biofouling in the ship hull surface. The fouling roughness spreaded evenly and the height of fouling that taken by one year sailing after docking. Simulation analyzed in the several range of Froude numbers and will be compared with the smooth ship hull surface. Therefore the percentage of roughness resistance is determined.

The effect of biofouling can be predicted using CFD by modified the roughness of hull with changing the equivalent sand grain in roughness regime. The CFD result shows that roughness due to biofouling has significant increase for resistance up to 37-40% at cruising speed, that mean the ship losses almost half of the power and the ship need more power to keep the ship still in cruising speed.

Key words : *Marine Biofouling, Resistance, Powering, Computational Fluid Dynamic, Roughness*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ..... **Error! Bookmark not defined.**
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI xvii
PENDAHULUAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1 Latar Belakang ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.2 Rumusan Masalah ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.3 Tujuan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.4 Hipotesa ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.5 Batasan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
TINJAUAN PUSTAKA ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1 Biofouling ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1.1 Pengertian Boifouling ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1.2 Proses Pembentukan Biofouling ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.2 Konsep Viskositas ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.3.1 Konsep dan Komponen Resistance ... **Error! Bookmark not defined.**
2.3.2 Added Resistance akibat Fouling ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.3.3 Penentuan Hambatan dengan Pendekatan Eksperimen ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4 Computational Fluid Dynamic ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4.1 Pengertian CFD ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4.2 Cara Kerja CFD ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.4.3 Eksperimen berbanding Simulasi CFD..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4.4 Karakteristik Surface Roughness.....**Error! Bookmark not defined.**
2.4.5 Penentuan Surface Roughness dengan Pendekatan CFD ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4.6 Proses Pemodelan dengan software CFX ..... **Error! Bookmark not defined.**
METODOLOGI .....**Error! Bookmark not defined.**
3.1 Diagram Alir Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**
3.2 Studi Literatur.....**Error! Bookmark not defined.**
3.3 Pengumpulan Data dan Pembuatan Model..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4 Pengujian Metode Simulasi dan Analisa ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.5 Pengambilan Kesimpulan .....**Error! Bookmark not defined.**
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....**Error! Bookmark not defined.**
4.1 Pemodelan Geometry.....**Error! Bookmark not defined.**
4.2 Proses Meshing.....**Error! Bookmark not defined.**
4.3 Penentuan Boundary Condition.....**Error! Bookmark not defined.**
4.4 Turbulence Setting.....**Error! Bookmark not defined.**
4.5 Proses Solving.....**Error! Bookmark not defined.**
4.6 Hasil .....**Error! Bookmark not defined.**
4.6.1 Grid Independence.....**Error! Bookmark not defined.**
4.6.2 Wall Distance (yplus) .....**Error! Bookmark not defined.**
4.6.3 Pengujian dengan Simulasi CFD .....**Error! Bookmark not defined.**
4.6.4 Hambatan Kapal berdasarkan Hasil Simulasi CFD ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.6.5 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.6.6 Komparasi Hasil Simulasi berdasarkan Hasil Eksperiment Towing Tank .....**Error! Bookmark not defined.**
KESIMPULAN 33

5.1 Kesimpulan 33
5.2 Saran 33
DAFTAR PUSTAKA xxi
L A M P I R A N .....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Biofouling pada lambung kapal*
Gambar 2.2 *Proses Pembentukan Biofouling*
Gambar 2.3 *Perilaku fluida yang ditempatkan antara dua plat parallel*
Gambar 2.4 *Resistance Decomposition*
Gambar 2.5 *Boundary Layer pada kapal*
Gambar 2.6 *Kekasaran Fisik*
Gambar 2.7 *Kekasaran Biologi*
Gambar 2.8 *Eksperimen set-up untuk pengujian resistance*
Gambar 2.9 *Resistance test measurements*
Gambar 2.10 *Visualisasi pengujian model dengan simulasi CFD*
Gambar 2.11 *Proses CFD*
Gambar 2.12 *Surface Roughness*
Gambar 2.13 *CFX-Pre Workflow*
Gambar 2.14 *Mesh dan Region Control*
Gambar 2.15 *Analysis Type untuk memodelkan aliran Steady atau Transien*
Gambar 2.16 *Default Domain untuk memodelkan fluida*
Gambar 2.17 *Boundary Condition untuk menentukan kekasaran pada lambung kapal*
Gambar 2.18 *Initialization pada CFX*
Gambar 2.19 *Solver Setting*

Gambar 4.1 *Model 3-Dimensi untuk Simulasi Permukaan yang Halus atau Smooth Surface*
Gambar 4.2 *Model 3-Dimensi untuk Simulasi Kekasaran Merata atau Regular Roughness*
Gambar 4.3 *Model 3-Dimensi untuk Simulasi Kekasaran Tidak Merata atau Irregular Roughness*
Gambar 4.4 *Unstructure Tetrahedral Mesh*
Gambar 4.5 *Mesh dengan Smoothing*
Gambar 4.6 *Meshing dengan Grow Rate dan Smoothing*
Gambar 4.7 *Hexahedral Mesh dengan Inflation Layer*
Gambar 4.8 *Dimensi Domain*
Gambar 4.9 *Boundary Condition*
Gambar 4.10 *Kriteria Konvergensi berdasarkan Residual Target*
Gambar 4.11 *Kriteria Konvergensi berdasarkan Persamaan Kontinuitas*
Gambar 4.12 *Nilai yplus pada model scale (Fr = 0,283)*
Gambar 4.13 *Kontur kecepatan fluida disekitar lambung kapal (Smooth Surface)*
Gambar 4.14 *Kontur kecepatan fluida pada smooth hull*
Gambar 4.15 *Kontur kecepatan fluida disekitar lambung kapal yang dikasarkan*
Gambar 4.16 *Kontur kecepatan fluida pada roughness hull*
Gambar 4.17 *Perbandingan Total Resistance Smooth Surface, Regular Roughness, dan Irregular Roughness*
Gambar 4.18 *Perbandingan Total Resistance Regular Roughness dan Irregular Roughness*
Gambar 4.19 *Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Smooth Surface*
Gambar 4.20 *Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Regular Roughness*
Gambar 4.21 *Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Irregular Roughness*

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Perbedaan metode eksperimen dan metode simulasi CFD*

Tabel 2.2 *Definisi 3 Dimensi Height Distribution Parameter*

Tabel 3.1 *Rencana Penelitian*

Tabel 4.1 *Particular Dimention Kapal Cargo*

Tabel 4.2 *Pembagian Zona dan Ketebalan Biofouling (Skala model)*

Tabel 4.3 *Pendefinisian Kondisi Batas*

Tabel 4.4 *Grid Independence*

Tabel 4.5 *Nilai yplus pada model scale*

Tabel 4.6 *Test Case pada Model Scale untuk kondisi smooth hull, regular dan irregular roughness*

Tabel 4.7 *Total Resistance pada Kondisi Smooth Hull (Model Scale)*

Tabel 4.8 *Total Resistance pada Kondisi Regular Roughness (Model Scale)*

Tabel 4.9 *Total Resistance pada Kondisi Irregular Roughness (Model Scale)*

Tabel 4.10 *Total Resistance pada Kondisi Smooth Hull (Full Scale)*

Tabel 4.11 *Total Resistance pada Kondisi Regular Roughness (Full Scale)*

Tabel 4.12 *Total Resistance pada Kondisi Irregular Roughness (Full Scale)*

Tabel 4.13 *Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Smooth Hull*

Tabel 4.14 *Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Regular Roughness*

Tabel 4.15 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Irregular Roughness

Tabel 4.16 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Smooth Surface

Tabel 4.17 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Regular Roughness

Tabel 4.18 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Irregular Roughness

Tabel 4.19 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Smooth Surface

Tabel 4.20 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Regular Roughness

Tabel 4.21 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Irregular Roughness

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Konfigurasi Settingan Kondisi Smooth Surface*
Lampiran 2 *Konfigurasi Settingan Kondisi Regular Roughness*
Lampiran 3 *Konfigurasi Settingan Kondisi Irregular Roughness*
Lampiran 4 *Tabel Perhitungan Ekstrapolasi Model menjadi Skala Penuh*
Lampiran 5 *Hasil Simulasi CFD*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Daftar Istilah

CFD	Computational Fluid Dynamics
ITTC	International Towing Tank Conference
RANS	Reynolds-averaged Navier–Stokes equations
RMS	Root Mean Square residual
SST	Sheer Stress Transport

Daftar Notasi		**Satuan**
(1+k)	Faktor bentuk pada lambung kapal	
B	Lebar kapal	m
C_F	Koefisien hambatan gesek	
C_R	Koefisien hambatan sisa	
C_T	Koefisien hambatan total	
C_V	Koefisien viskos	
C_W	Koefisien wave	
ΔC_F	Selisih perubahan nilai koefisien gesek	
Fr	Froude number	
H	Tinggi kapal	m
Ks	Koefisien Sand Grain	mm
LOA	Panjang keseluruhan kapal	m
LWL	Panjang garis air	m

Re	Reynolds Number	
R_T	Hambatan total	kN
T	Sarat maksimum	m
V	Kecepatan aliran fluida	m/s
WSA	Luas bidang basah	m^2
y^+	Dimensionless wall distance	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dipaparkan beberapa hal yang kemudian akan digunakan sebagai latar belakang pelaksanaan penelitian ini. Selain itu juga dipaparkan permasalahan, tujuan dan manfaat penelitian serta hipotesa awal penelitian.

1.1 Latar Belakang

Secara umum kapal yang bergerak dipermukaan air akan mengalami gaya hambat. Gaya hambat tersebut terdiri dari beberapa komponen salah satunya yaitu gaya hambat yang diakibatkan oleh gesekan antara lambung kapal dengan air atau *Frictional Resistance*. Friction resistance ini erat kaitannya dengan mulus tidaknya permukaan lambung kapal yang berinteraksi langsung dengan air, dimana tingkat kekasaran lambung kapal banyak dipengaruhi oleh pertumbuhan *marine biofouling*.

Saat kapal melakukan pelayaran dengan kurun waktu tertentu, maka akan didapati pengotoran yang disebut pengotoran biologis yang disebabkan oleh Biofouling. Penempelan pada lambung dibawah sarat kapal dan propeller menyebabkan meningkatnya kekasaran pada daerah tersebut, sehingga memperbesar hambatan kapal dan meningkatkan pemakaian bahan bakar, hal ini juga dapat diartikan biaya bahan bakar akan meningkat. Biofouling menempel pada semua subtrat atau benda yang berada dalam air laut. Penempelan biofouling akan berbeda apabila subtrat yang ditempeli juga berbeda. Secara umum, bahan material pembuatan kapal juga berbeda – beda menurut fungsi, route pelayaran, dan permintaan Owner kapal.

Di laut, struktur lingkungan perairan disusun oleh banyak biota. Beberapa diantaranya hidup dengan cara menempel seperti kumpulan bakteri, hewan bahkan tumbuhan yang biasanya dikenal sebutan *Marine Biofouling*. Marine biofouling ini tumbuh dan berkembang pada permukaan-permukaan objek yang tercelup di dalam laut, dan seperti yang banyak diketahui juga bahwa marine

biofouling yang menempel pada permukaan baja yang berhubungan langsung dengan laut merupakan masalah utama yang dihadapi oleh industri (Al-Muhanna and Habib, 2012).

Berdasarkan toeri resistance, Biofouling pada lambung dan lunas kapal dapat meningkatkan pemakaian bahan bakar karena memperbesar hambatan kapal sehingga mengurangi kecepatan kapal (Bertram, 2000). Pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan penempelan Biofouling pada kapal sangat beragam, salah satunya, dapat merusak karakteristik hidrodinamis dari sebuah kapal. Meningkatkan kebisingan pada bagian bawah air, serta dalam beberapa kasus juga dapat mengacaukan sistem sensor bawah air. Penempelan pada lambung dibawah sarat kapal dan propeller menyebabkan meningkatnya kekasaran pada daerah tersebut, sehingga memperbesar hambatan kapal dan meningkatkan pemakaian bahan bakar, hal ini juga dapat diartikan biaya bahan bakar akan meningkat (Townsin et al, 1981). Pengaruh lain dari biofouling adalah menyebabkan penutupan permukaan, memperbesar beban statis, memberikan beban hidrodinamik dan menimbulkan korosi serta menghambat aliran air.

1.2 Rumusan Masalah

Latar belakang pada sub bab 1.1 mengarah pada rumusan masalah sebagai berikut :

1. Dengan pertumbuhan marine biofouling yang tidak merata, bagaimana konfiurasi CFD dalam memodelkan kekasaran.
2. Bagaimana pengaruh marine fouling terhadap drag dan power kapal setelah satu tahun masa pelayaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh marine fouling terhadap penambahan drag dan powering pada kapal setelah satu tahun masa pelayaran kapal dengan membandingkan beberapa kondisi yaitu permukaan tanpa kekasaran (*smooth surface*), kekasaran yang merata di sepanjang permukaan kapal (*regular roughness*) dan kekasaran yang tidak merata (*irregular*

roughness) melalui pendekatan simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

1.4 Hipotesa

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya, CFD dengan RANSE solver mampu menyelesaikan problem-problem tentang fluida sehingga dapat digunakan untuk menyelasaikan problem tentang biofouling yang jika terus menerus tumbuh secara berkala dapat meningkatkan hambatan gesek dan mempengaruhi power kapal yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan tertentu.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mengefektifkan penelitian ini, maka digunakan beberapa batasan masalah yaitu :

1. Pengaruh marine biofouling terhadap drag dan power kapal milik PT. Dharma Lautan Utama
2. Berapa besar persentase perubahan drag yang dihasilkan akibat pertumbuhan marine biofouling dibandingkan kapal dengan kondisi smooth surface setelah satu tahun masa pelayaran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biofouling

2.1.1 Pengertian Boifouling

Di dalam laut terdapat bervariasi sumberdaya hayati yang menyusun biota lingkungan perairan. Di antaranya adalah biota yang hidupnya menempel pada substrat yang terendam di dalam air laut dan kehadiraanya merupakan peristiwa alam yang wajar. Biota tersebut terdiri atas bakteri, tumbuhan, dan hewan yang biasa disebut dengan biofouling.

Secara umum biofouling merupakan penempelan dan pertumbuhan organisme pada permukaan benda yang tercelup di laut. Organisme ini dapat melekat secara sementara dan juga melekat secara permanen pada permukaan benda yang ditempelinya. Semua permukaan benda yang berada di bawah permukaan air dalam lingkuangan laut dipengaruhi oleh penempelan organisme fouling seperti bakteri, alga dan invertebrate khususnya teritip dan remis (Rittchof, 2001).

Pengertian lain, biofouling merupakan akumulasi dan penumpukan dari mikroorganisme, tanaman dan binatang pada fase dewasa yang melekat sementara maupun tetap di atas suatu permukaan dan mengotori benda-benda yang terendam air laut. Sedangkan dari segi kepentingan manusia, kehadiran biota penempel ini dapat mengganggu atau merugikan karena penempelannya tidak terbatas pada benda-benda alami.

Biofouling yang terjadi pada suatu permukaan seperti misalnya yang terjadi pada lambung kapal dipengaruhi oleh beberapa faktor. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan biofouling diantaranya yaitu kedalaman air laut, karateristik air laut, komposisi kimia air laut, sifat fisik air laut seperti pH, temperatur air laut, tekanan air laut, gerakan air laut, arus dan gelombang, tinggi dan rendah gelombang pasang surut (Nybakken, 1993).

Faktor-faktor tersebut membuat pertumbuhan biofouling begitu cepat dan kemudian masalah lanjutan yang ditimbulkannya dapat jauh lebih berat dari

sekedar kerak atau korosi. Beberapa jenis bakteri pada biolouling ada yang dapat merusak atau memakan besi.

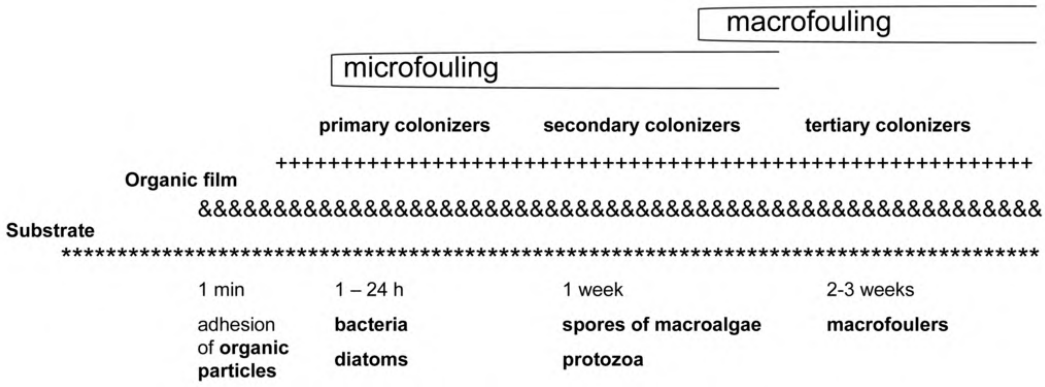
Gambar 2.1 Biofouling pada lambung kapal (European Coating, 2014)

Keberadaan biota penempel (biofouling) pada kapal dapat menimbulkan masalah secara ekonomis seperti masalah operasional (Chambers et al, 2006). Adanya biota penempel pada lambung kapal yang telah berlayar 6 hingga 8 bulan dapat menyebabkan kecepatan kapal berkurang sampai 50% sehingga konsumsi bahan bakar meningkat sampai dengan 40%. Berkurangnya kecepatan kapal mengakibatkan tertundanya waktu berlayar selama 10-15% dari total waktu berlayar (Griffiths, 2001). Keberadaan biota penempel pada dasar atau lambung kapal juga mempercepat kerusakan mesin dan hilangnya waktu sekitar satu bulan setiap tahun untuk docking.

2.1.2 Proses Pembentukan Biofouling

Proses fouling pada suatu permukaan diawali dengan menempelnya mikroorganisme terutama oleh bakteri dan diatom yang tumbuh berkali lipat dengan sangat cepat. Bersamaan dengan bahan organik pertikulat lainnya, mikroorganisme ini akan membentuk lapisan tipis pada permukaan benda. Tahap ini merupakan tahap primer dimana mikroorganisme berperan sebagai perintis

bagi organisme selanjutnya yang biasanya berukuran lebih besar. Hewan dan tumbuhan yang selanjutnya menempel pada permukaan tersebut biasanya berasal dari hewan dan tumbuhan yang secara alami hidup menempel (Raiklin, 2005).



Gambar 2.2 Proses Pembentukan Biofouling (Guardiola et al., 2012)

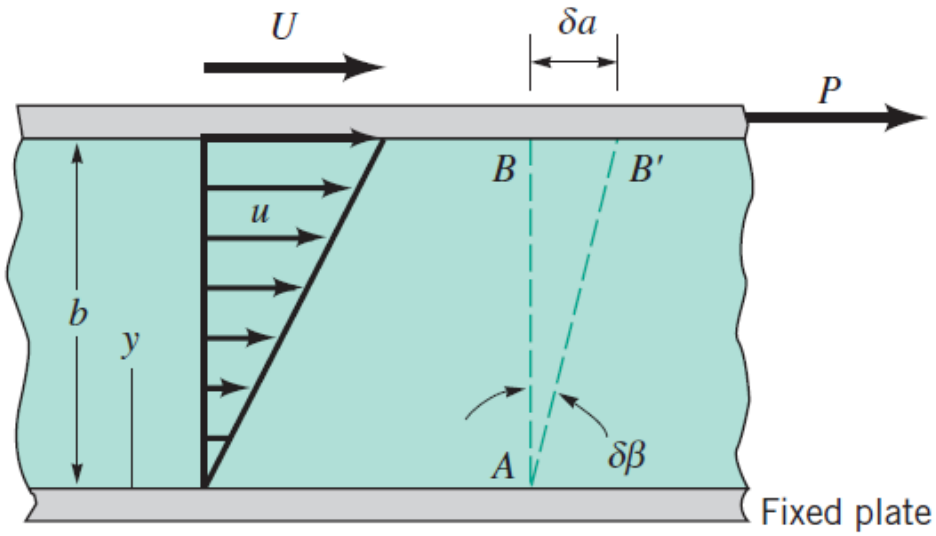
Pembentukan biofilm pada suatu permukaan membutuhkan waktu tertentu dalam setiap tahapannya. Dalam hitungan detik, bakteri planktonik yang terdapat diperairan mengalami pengendapan yang berubah-ubah. Selanjutnya bakteri melekat pada suatu permukaan hanya dalam hitungan menit. Bakteri yang melekat kemudian membentuk koloni dan menempel secara permanen karena terjadi produksi eksopolimer yang terjadi hanya dalam hitungan menit. Selanjutnya terjadi proses pematangan biofilm tahap awal yang terjadi hingga 24 jam, sedangkan pematangan biofilm tahan akhir terjadi hingg 1 minggu. Setelah pematangan tahap akhir, pada waktu 2 minggu hingga 1 bulan terjadi proses disphersi, yaitu proses dimana sebagian bakteri telah siap untuk menyebar dan berkoloni ditempat yang lain.

2.2 Konsep Viskositas

Sifat-sifat kerapatan dan berat jenis adalah ukuran dari beratnya sebuah fluida. Namun jelas bahwa sifat-sifat ini saja tidak cukup untuk mengkarakteristikkan secara lebih spesifik bagaimana fluida berprilaku karena dua fluida misalkan air dan minyak yang memiliki nilai kerapatan hampir sama

memiliki nilai kerapatan hampir sama memiliki perilaku yang berbeda ketika mengalir. Karena hal tersebut sehinga ada sifat tambahan yang diperlukan untuk menggambarkan fluiditas dari fluida.

Untuk menentukan sifat tambahan ini, dapat dilakukan suatu eksperimen hipotetik dimana fluida air diletakkan diantara dua pelat sejajar yang lebar seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Perilaku fluida yang ditempatkan antara dua plat parallel (Young et al., 2010)

Ketika gaya *P* diberikan pada pelat atas, pelat tersebut akan bergerak secara kontinyu dengan kecepatan *U* setelah gerakan transien awal hilang. Perilaku ini konsisten dengan definisi sebuah fluida yaitu apabila diberikan suatu tegangan geser pada sebuah fluida, maka fluida tersebut akan berdeformasi secara kontinu. Tinjauan lebih mendalam terhadap gerakan fluida antara kedua pelat tersebut akan menunjukkan bahwa fluida yang bersentuhan dengan pelat atas bergerak dengan kecepatan pelat U dan fluida yang bersentuhan dengan pelat bawah akan tetap memiliki kecepatan nol. Fluida yang berada diantara kedua pelat bergerak dengan kecepatan $u = u(y)$ akan terlihat berubah secara linear u = Uy/b. Jadi sebuah gradient kecepatan du/dy terbentuk dalam fluida antara pelat-pelat tersebut. Dalam kasus seperti ini, gradient kecepatan adalah konstan karena du/dy

= U/b, tetapi didalam situasi aliran yang lebih rumit, persoalannya tidak selalu seperti itu. (Young et al, 2010).

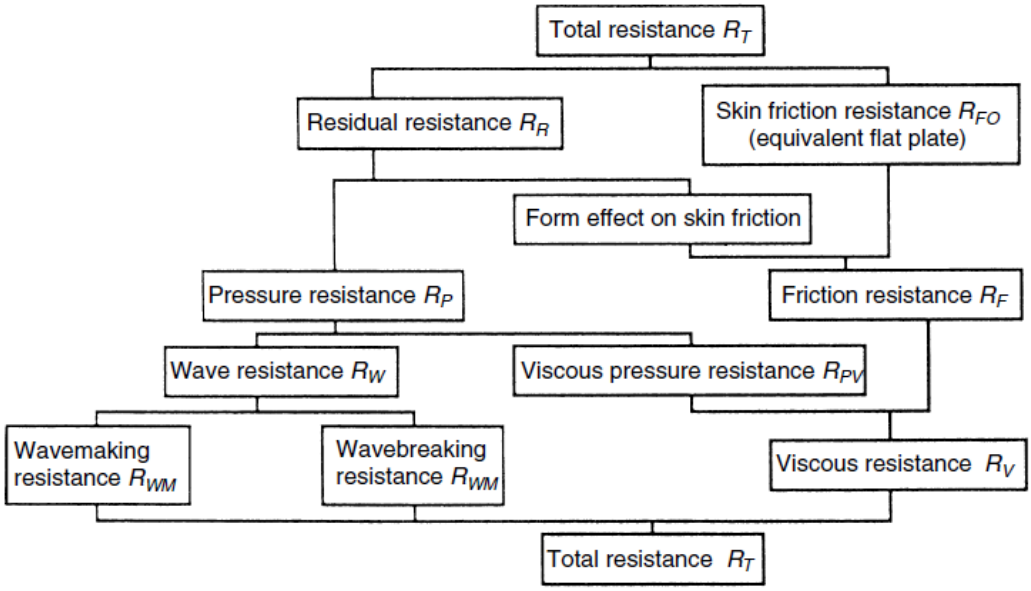
2.3 Resistance

2.3.1 Konsep dan Komponen Resistance

Pemahaman terhadap komponen hambatan kapal akan menghasilkan perkiraan besaran hambatan kapal yang lebih teliti. Perhitungan empiris resistance kapal seperti yang diajukan oleh Holtrop mampu mengadopsi beberapa komponen hambatan kapal, sehingga jika dibandingkan dengan perhitungan empiris lainnya hasil perhitungannya memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

Resistance kapal tercipta saat kapal bergerak dipermukaan air yang memiliki kekentalan dan kerapatan massa, serta adanya kondisi fisik permukaan air tersebut seperti adanya gelombang ataupun air yang dalam keadaan tenang. Resistance kapal ini merupakan gaya yang timbul karena pertemuan antara badan kapal yang tercelup air dengan gaya-gaya air yang bekerja pada elemen permukaan luasan basah pada kapal tersebut. Air yang mempunyai kerapatan masa dan kekentalan pada dasarnya dapat menimbulkan gaya normal dan tangensial terhadap permukaan basah badan kapal. Jika kita bandingkan dengan hambatan total akan terdiri dari hambatan tekanan yang diperoleh dari integral gaya normal dan hambatan gesek yang diperoleh dari integral gaya tangensial. Untuk menghitung masing-masing komponen hambatan ini pada umumnya diawali dengan perhitungan besaran hambatan kapal secara total, selanjutnya hambatan tekanan, dan selisihnya adalah hambatan gesek.

Resistance kapal full-scale tidak dapat diukur secara langsung, sehingga pengetahuan yang kita miliki merupakan pengetahuan yang didapatkan dari pengujian model atau model test (*Bertram,* 2000). Pengukuran resistance biasanya diuraikan ke dalam beberapa komponen yang saling berinteraksi satu sama lain dan sebagian besar dari komponen-komponen tersebut tidak dapat diukur sacara individu. Konsep penguraian komponen hambatan inilah yang cukup membantu para desainer untuk fokus pada salah satu komponen resistance dalam mendesain bentuk lambung kapal. Larsson dan Baba (1996) mengurai resistance ke dalam beberapa komponen yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.2.

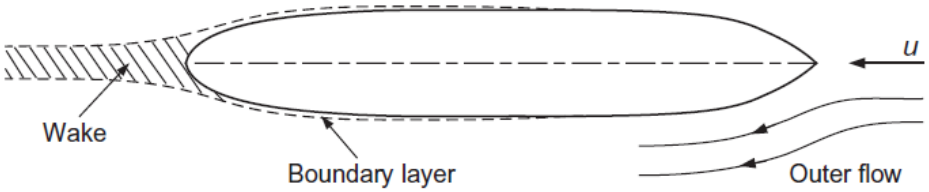


Gambar 2.4 Resistance Decomposition (Larsson dan Baba, 1996)

Komponen yang bekerja pada kapal yang menghasilkan resistance saat berada di air adalah yaitu resistance yang terjadi akibat gesekan dan hambatan sisa.

a. Hambatan gesek (Friction resistance)

Dikarenakan air memiliki kekentalan, maka partikel-partikel air yang dilalui kapal saat bergerak akan menempel di bagian permukaan lambung yang tercelup air dan bergerak sesuai dengan kecepatan kapal.



Gambar 2.5 Boundary Layer pada kapal (Molland, 2011)

Air yang kemudian menjauh dari badan kapal pada akhirnya akan kembali normal mengikuti kondisi air sebagaimana kondisi di luar kapal. Pada kondisi ini 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.

b. Hambatan sisa (*Residual Resistante*)

Hambatan sisa ini didefenisikan sebagai hasil pengurangan dari drag total yang terjadi pada kapal dengan hambatan akibat gesekan pada permukaan kapal. Hambatan sisa itu sendiri terdiri dari :

1) Hambatan tekanan akibat viskositas (*Pressure Resistance*)

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. Pada bentuk kapal yang konvensional hambatan tekanan karena kekentalan air timbul lebih besar jika dibandingkan dengan bentuk kapal yang bentuknya silindris.

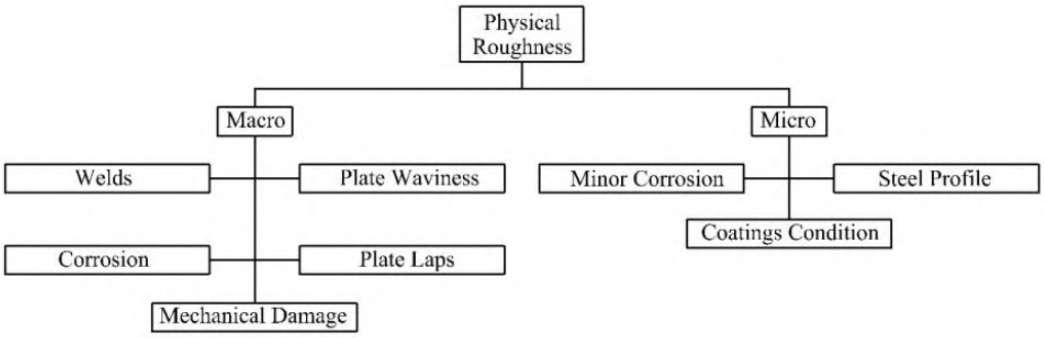
2) Hambatan gelombang (*Wave Resistance*)

Hambatan gelombang tidak dapat ditentukan secara tepat dengan perhitungan perancangan yang sederhana. Pada umumnya ditentukan melalui test model di *towing tank*. Meskipun demikian, upaya secara teoritis untuk menghitung besaran hambatan gelombang tetap dilakukan yang mengantar kita kembali ke masa-masa yang lalu, dimana sampai saat ini hasilnya masih dirasa belum memuaskan (Bertram, 2000).

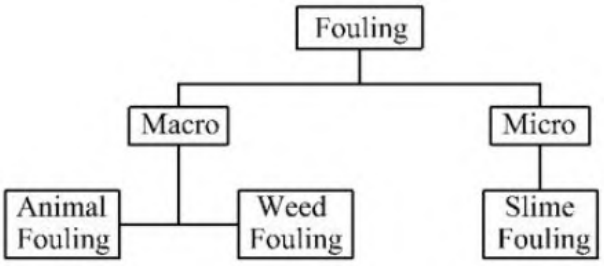
2.3.2 Added Resistance akibat Fouling

Fouling pada lambung kapal cukup member andil yang besar dalam meningkatkan hambatan kapal, dimana keberadaan fouling tergantung pada rute dan waktu pelayaran.

Surface roughness pada kapal dibedakan menjadi dua yaitu kekasaran fisik dan kekasaran biologi. Kekasaran fisik dapat dihindari dengan mudah, namun hampir tidak mungkin untuk menghindari kekasaran biologi (biofouling).



Gambar 2.6 Kekasaran Fisik (IMC, 2004)



Gambar 2.7 Kekasaran Biologi (IMC, 2004)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, fouling merupakan proses biologi seperti pertumbuhan lumut dan teritip. Fouling yang berkembang pada lambung kapal menimbulkan 'kekasaran tambahan' dan menyebabkan meningkatnya hambatan kapal. Peningkatan kekasaran dalam hal ini yang diakibatkan oleh fouling mengarah pada peningkatan nilai koefisien gesek C_F sekitar 2% - 4% per bulan. Jika C_F kurang lebih memberi kontribusi 60% untuk C_T, ini berarti C_T akan meningkat 1% – 2% per bulan (Journee dan Massie, 2001).

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Aertssen pada kapal full scale untuk menyelidiki masalah biofaouling, didapatkan dengan pendekatan 2.1.

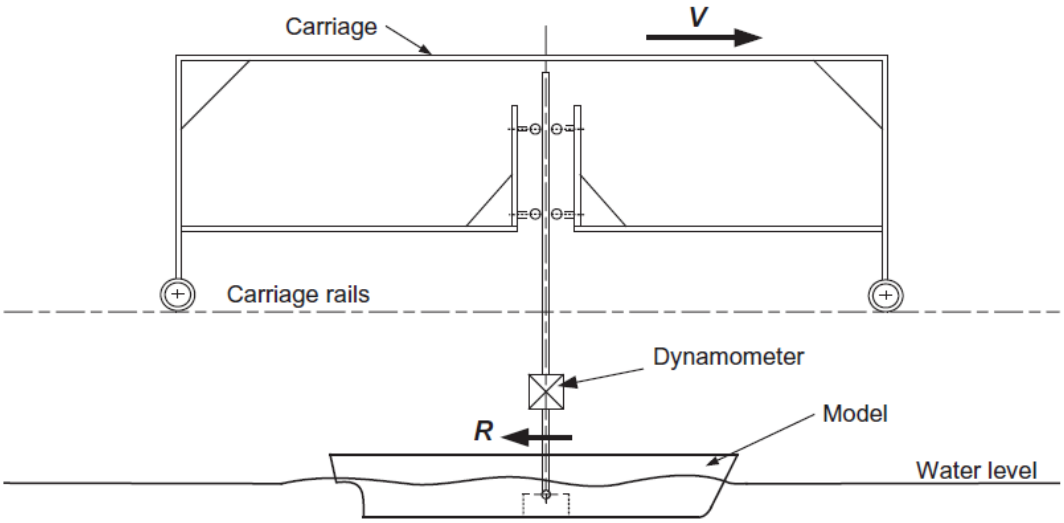
$$\frac{\Delta R_F}{R_F}.100\% = 3{,}6\,.\,y_a + \frac{40.y_d}{1+2\,.\,y_d} \qquad (2.1)$$

Efek keseluruhan fouling terhadap hambatan total lebih besar pada kapal low speed dengan bentuk lambung yang besar.

2.3.3 Penentuan Hambatan dengan Pendekatan Eksperimen

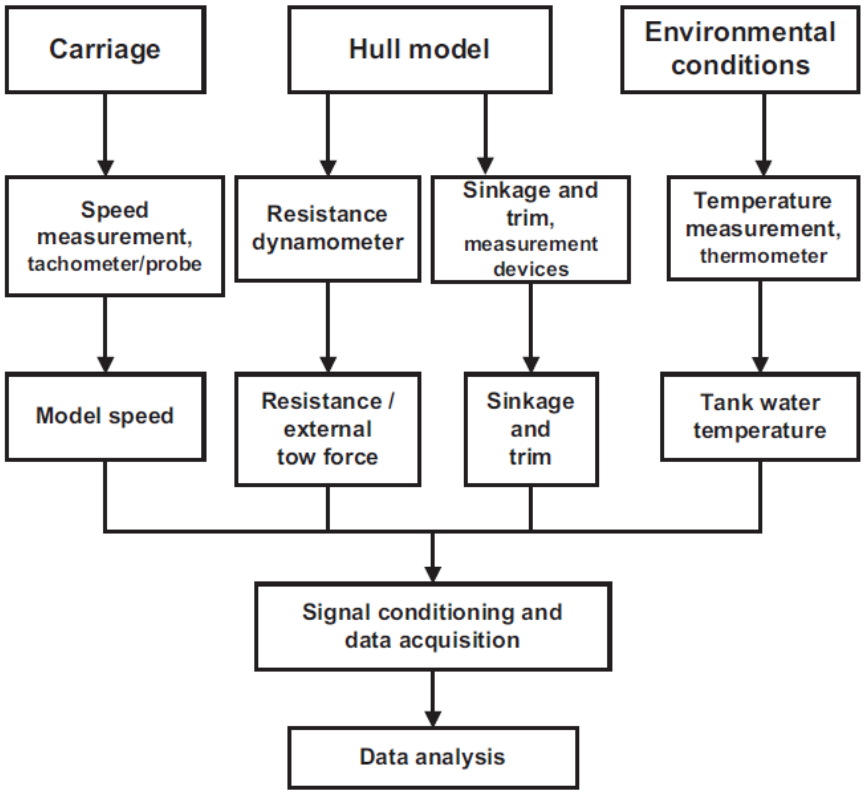
Penentuan nilai hambatan yang bekerja pada kapal sangat penting, karena mempengaruhi aspek-aspek dari segi investasi, efisiensi, biaya perawatan, biaya operasional, persaingan ekonomi dan lain-lain. Meskipun telah banyak peningkatan dan pengembangan tentang metode numeric untuk hidrodinamika kapal, pengujian model pada *towing tank* tetap dipandang sebagai bagian penting dalam desain kapal untuk memperkirakan atau memvalidasi total resistance pada kapal untuk memenuhi kebutuhan power kapal.

Pada tahun 1874, William Froude memperkenalkan metodologi untuk memprediksi resistance kapal. Menurut William Froude yang dikemukakan dalam sebuah hipotesa bahwa resistance kapal terbagi kedalam *Frictional* dan *Wavemaking Resistance*. Konsep ini menunjukkan bagaimana resistance pada kapal *full-scale* dapat ditentukan melalui pengujian model yang pada umumnya dikerjakan di *towing tank.*



Gambar 2.8 Eksperimen set-up untuk pengujian resistance (Molland, 2011)

Pengujian resistance dengan model untuk menentukan resistance total yang bekerja pada kapal, pada umumnya dikerjakan tanpa propeller dan juga tanpa *appendages*. Namun, kadang-kadang pengujian resistance dengan model ini dapat dilakukan pada kondisi dimana model kapal dilengkapi dengan propeller dan juga appendages-nya.



Gambar 2.9 Resistance test measurements (ITTC, 2002)

Untuk kapal-kapal yang memiliki ukuran yang besar dengan appendages yang tidak biasa, *margin error* dalam memprediksi akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan lambung kapal pada umumnya. Hal seperti ini membutuhkan pengalaman lebih yang akan membantu untuk membuat koreksi terhadap *margin error* tersebut.

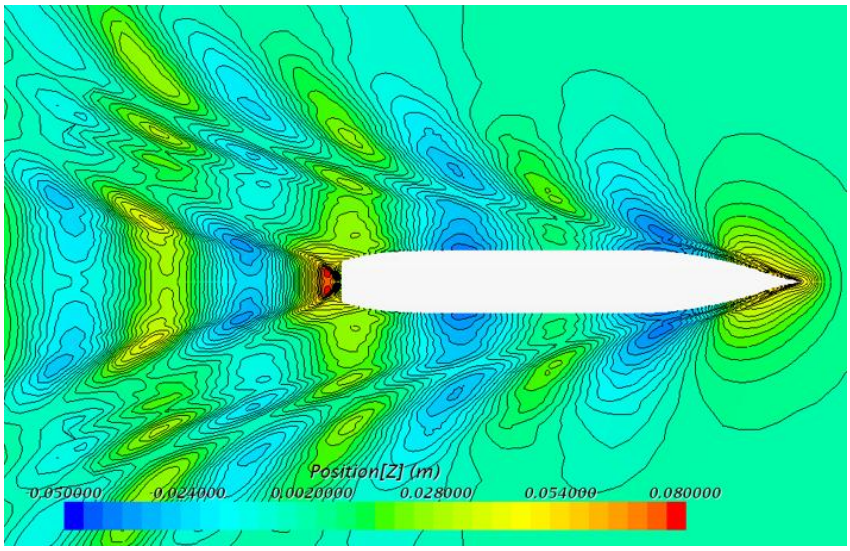
2.4 Computational Fluid Dynamic

2.4.1 Pengertian CFD

Dinamika fluida adalah salah satu disiplin ilmu yang mengkaji perilaku fluida dalam keadaan diam ataupun bergerak dan interaksinya dengan benda padat.

Problem-problem tertentu yang berhubungan dengan dinamika fluida yang penyelesaiaannya menggunakan bantuan computer untuk membantu menyelesikan jutaan perhitungan numeric yang diperlukan untuk mensimulasikan antara fluida dan benda padat biasa disebut dengan Computational Fluid Dynamic.

CFD atau Computational Fluid Dynamic merupakan suatu metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume yang memanfaatkan dan menggunakan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Pada prinsipnya, jika suatu ruangan yag berisi fluida yang akan dilakukan perhitungan dibagi menjadi beberapa bagian, diaman bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol perhitungan, dan kontrol perhitungan ini maupun kontrol perhitungan yang lainnya sering disebut dengan sel dan prosesnya disebut dengan *meshing*. Kemudian, pada setiap kontrol perhitungan akan dilakukan perhitungan oleh aplikasi dengan batasan domain yang telah ditentukan.



Gambar 2.10 Visualisasi pengujian model dengan simulasi CFD (sies.com.sg)

CFD mengkhususkan pada perhitungan fluida, seperti *fluid flow, heat transfer* atau perpindahan kalor, dan juga reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Perhitungan dengan CFD ini didasarkan atas prinsip-prinsip mekanika fluida, konservasi energi, massa, momentum serta species.

CFD banyak digunakan karena mampu mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk melakukan eksperimen dan mengefisiensi waktu yang panjang untuk melakukan eksperimen atau bisa dikatakan bahwa tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. Hal inilah yang menjadi dasar konsep CFD.

2.4.2 Cara Kerja CFD

Untuk melakukan sebuah simulasi pada CFD, dibutuhkan sebuah dasar yang biasanya berupa numerik sehingga simulasi yang dilakukan pada CFD dapat berjalan sesuai dengan situasi yang sebenarnya.

Cara kerja CFD dibagi menjadi tiga, yaitu :

1) Pre-Processing

   Pre-Processing ini merupakan tahapan pertama dalam membanguan dan menganalisis model CFD. Pada tahap ini juga, dilakukan proses pengumpulan dan input data, proses pembuatan grid dan mesh serta proses pembentukan model yang akan disimulasikan.

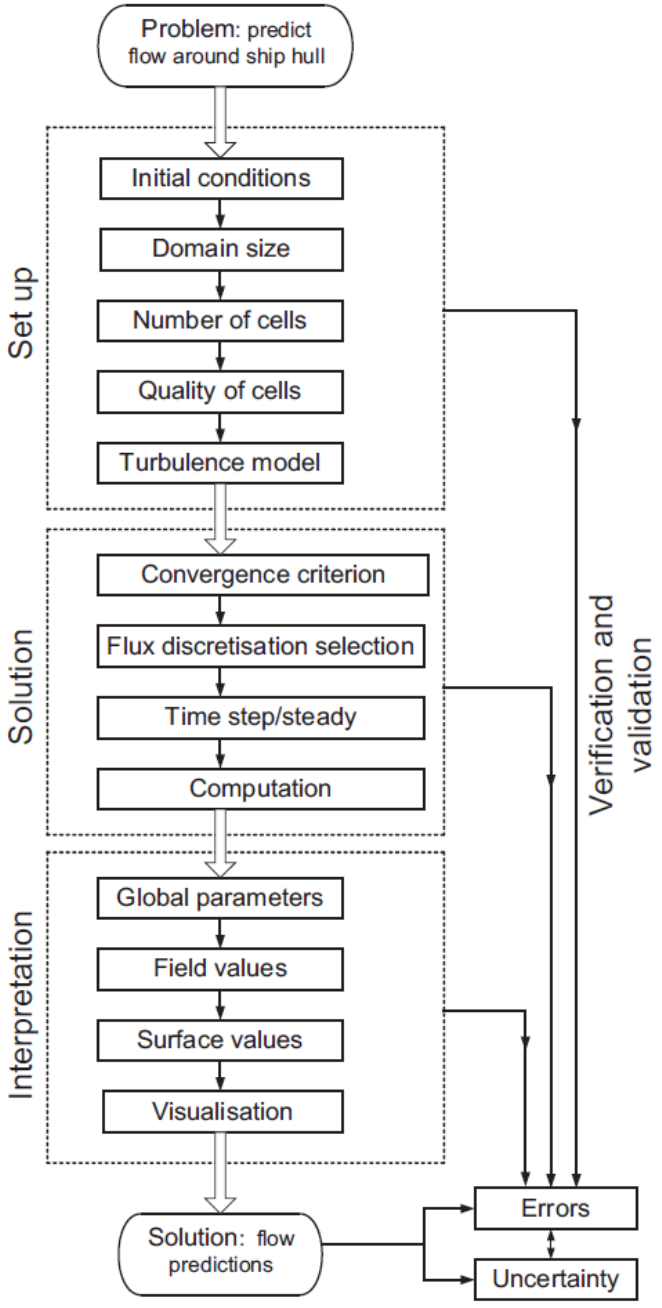
2) Processing

   Processing merupakan tahap yang paling penting karena tahan ini merupakan inti dari perhitungan simulasi. Ditahap ini semua input data yang telah diberikan pada tahap Pre-Processing akan dihitung dan coba ditemuka hasilnya. Proses perhitungannya dilakukan dengan iterasi atau perhitungan yang dilakukan secara berulang-ulang hingga ditemukan nilai konvergensinya.

3) Post-Processing

   Post-Processing merupakan tahap akhir, dimana pada tahapan ini hasil dari simulasi dapat dilihat untuk dianalisa lebih lanjut. Pada tahap ini dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi yang berupa visualisasi kontur, animasi, vektor, kurva, histogram, dan lain sebagainya.

Gambar 2.8 memperlihatkan tahapan yang dibutuhkan untuk memecahkan aliran fluida yang berada disekitar lambung kapal untuk mendapatkan hambatan kapal termasuk proses verifikasi dan validasinya.



Gambar 2.11 Proses CFD (Molland, 2011)

Setiap tahapan tersebut membutuhkan tool dan analisa yang sesuai dan bagaimana tahapan itu diterapkan tergantung pada pendekatan numeric dan layout kode komputasi.

Dalam proses CFD ada proses verifikasidan validasi untuk mengetahui seberapa baik mewakili formula matematika yang diterapkan. Proses ini untuk memastikan kode komputasi bebas dari error karena kesalahan dalam penggunaan bahasa computer.

2.4.3 Eksperimen berbanding Simulasi CFD

CFD memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang flow pattern yang cukup sulit, mahal dan juga sangat rumit untuk dipelajari menggunakan metode atau teknik tradisional (eksperimen).

Berdasarkan kelebihan CFD yang dipaparkan sebelumnya, maka perbedaan antara metode eksperimen dan simulasi CFD jika ditinjau dari bagaimana CFD dapat digunakan sebagai metode lain untuk menganalisa aliran fluida selain metode eksperimen dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan metode eksperimen dan metode simulasi CFD

Eksperimen	Simulasi CFD
• Deskriptif kuantitatif untuk fenomena aliran menggunakan pengukuran • Satu kali percobaan dalam satu waktu • Dilakukan untuk skala pemodelan di laboratorium • Untuk masalah-masalah yang terbatas dan pada kondisi operasi yang terbatas pula	• Prediksi kuantitatif untuk fenomena aliran menggunakan *software CFD* • Dapat dikerjakan untuk semua percobaan yang diinginkan • Dapat dilakukan untuk aliran yang sebenarnya • Untuk masalah-masalah yang sebenarnya dan kondisi operasi yang sebenarnya

Sumber : Wesseling, 2001

Walaupun CFD mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam, tapi CFD tidak dapat menggantikan perhitungan eksperimen. Hal ini disebabkan oleh hasil perhitungan CFD yang dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

- input data mungkin terlalu banyak melibatkan perkiraan
- model matematika dari suatu permasalahan yang ditangani mungkin tidak begitu cukup memadai
- tingkat akurasi hasil perhitungan CFD dibatasi oleh kemampuan komputer

2.4.4 Karakteristik Surface Roughness

Kekasaran pada suatu permukaan direpresentasikan dalam struktur acak 3D, sehingga untuk mendapatkan pengetahuan lebih mendalam haruslah melihat representasi dari 3Dnya. Yang kemudian menjadi pertanyaan, seberapa jauh tingkat keakurasian pengukuran yang dilakukan.

Bentuk kekasaran pada suatu permukaan dapat dikarakteristikkan oleh height parameter, sedangkan untuk tekstur kekasaran dikarakteristkkan oleh wavelength parameter.

Untuk kasus seperti fouling pada lambung kapal, bentuk permukaan terdiri dari wavelength yang berkisar dari beberapa beberapa micron hingga beberapa senti meter, yang diklasifikasikan ke dalam tiga bagian yaitu surface roughness, waviness, dan error of form. Pengkarakteristikan suatu surface dalam suatu percobaab umumnya menggunakan single dimention yaitu ketinggian roughness dan diaplikasikan juga untuk irregular roughness.

Langkah yang dilakukan untuk mendapatkan single dimention parameter dalam hal ini tinggi roughness yaitu dengan penggunaan lebih dari satu parameter karena dua surface kemungkinan memiliki sedikit perbedaan pada teksturnya.

2.4.4.1 Amplitude Parameter

Salah satu parameter yang digunakan dalam mengkarakteristikkan kekasaran yaitu amplitude parameter. Amplitude parameter ini kemudian dibagi menjadi tiga yaitu extreme-value parameter, average parameter, dan height distribution parameter.

a. Extreme-value parameter

Parameter ini merupakan parameter pembatas untuk nilai minimum atau maksimum pada koleksi observasi acak yang sangat besar dari distribusi yang berubah-ubah.

b. Average Parameter

Thomas (1999) menunjukkan bahwa untuk banyak permukaan, dimungkinkan untuk menggunakan Ra dan Rq secara bergantian, karena Ra dan Rq berkorelasi dan variasi statistik yang ada dalam semua pengukuran kekasaran merupakan order yang sama untuk parameter ini.

c. Height Distribution Parameter

Candries (2001) menyatakan density probabilitas p(z) distribusi tinggi z, dapat dikarakteristikan oleh central momentnya (dengan order n) :

$$\mu_n = \int_{-\infty}^{\infty} z^n \, p(z) dz \qquad (2.2)$$

Tabel 2.2 memberikan gambaran tentang height distribution parameter. Dari tebel 2.2 tersebut diperlihatkan bahwa parameter yang direkomendaskan untuk mendefinisikan heigh distribution parameter yaitu Skew (Ssk) dan Kurtosis (Sku) parameter.

Tabel 2.2 Definisi 3 Dimensi Height Distribution Parameter

Height Distribution Parameter		
Parameter		***Deskripsi***
Ssk	3D Skew	$Ssk = \frac{1}{MNSq^3} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} Z^3(X_i, Y_j)$
Sku	3D Kurtosis	$Sku = \frac{1}{MNSq^4} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} Z^4(X_i, Y_j)$

Sumber : Thomas, 1999

Stout et al (2000) mendeskripsikan 3D Skew sebagai asimetri deviasi suatu permukaan. Skew juga memberikan indikasi keruncingan suatu permukaan yang biasanya diakibatkan oleh puncak dan lembah, misalnya ketinggian puncak yang abnormal yang cepat terkikis.

Untuk Sku, Stout et al (2000) mendiskripsikan 3D Kurtosis sebagai puncak runcing atau ketajaman distribusi ketinggian suatu permukaan. Kurtosis digunakan untuk mengukur penyebaran atau distribusi 3D.

2.4.4.2 Texture Parameter

Parameter lainnya yang digunakan dalam mengkarakteristikkan kekasaran yaitu texture parameter.

a. Spacing Parameter

Nilai ketinggian titik, *De*, adalah jumlah puncak per satuan panjang suatu profil dan merupakan kebalikan dari *S* yaitu jarak rata-rata antara puncak local yang didefinisikan sebagai titik dimana perbedaan ketinggian ke minima berikutnya kurang dari 1% dari nilai Rt.

Thomas (1999) mendefinisikan De sebagai kebalikan dari Sm, yang mana Sm ini merupakan rata-rata jarak antara dua persilangan garis rata-rata.

b. Hybrid Parameter

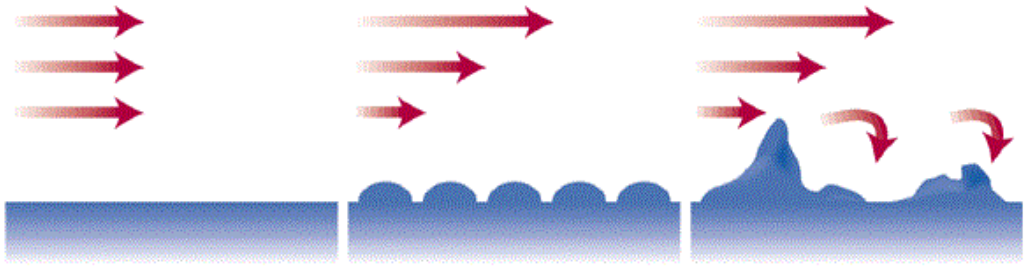
Hybrid parameter menggabungkan height dan spacing information, dan biasanya berasal dari difirensial profil. Δa adalah kemiringan absolute rata-rata dan dapat dikonversi ke dalam derajat untuk mendapatkan sudut kemiringan absolute rata-rata Sa sepanjang batas profil permukaan, sementara Sq merupakan sudut kemiringan RMS suatu profil sebagai nilai kenaikan interval sampel dimana nilai rata-rata kemiringan akan mengalami penurunan (Candries, 2001). Perbedaan nilai untuk permukaan dengan parameter tinggi yang serupa akan memiliki perbedaan tekstur dan akan menghasilkan perbedaan hidrodinamik (Dey, 1989).

Rata-rata panjang gelombang λa merupakan ukuran rata-rata varian panjang gelombang spasial dan didefinisikan sebagai 2π Ra/Δa.

2.4.5 Penentuan Surface Roughness dengan Pendekatan CFD

Berdasarkan penelitian Demirel et al (2014) tentang pendekatan CFD untuk menentukan resistance sebagai fungsi dari *roughness*, maka dapat dikatakan bahwa CFD merupakan tool yang efektif untuk menganalisa aliran di dalam turbulent boundary layer dan CFD menjadi sangat popular untuk menilai hambatan dan power kapal termasuk *dynamic fluid-structure interaction*. Seperti dalam pembahasan sebelumnya, resistance terbagi menjadi *frictional resistance* dan *residuary resistance*. Frictional resistance disebabkan oleh shear stress disekitar lambung yang sangat dipengaruhi oleh bentuk lambung dan kekasaran lambung.

Walaupun surface roughness merupakan fenomena tiga dimensi, tapi surface roughness secara umum didefinisikan hanya pada ketebalannya dan CFD menggunakan parameter *Average hull roughness* untuk memperlihatkan karakteristik *hull surface roughness* berdasarkan ITTC tahun 1990.

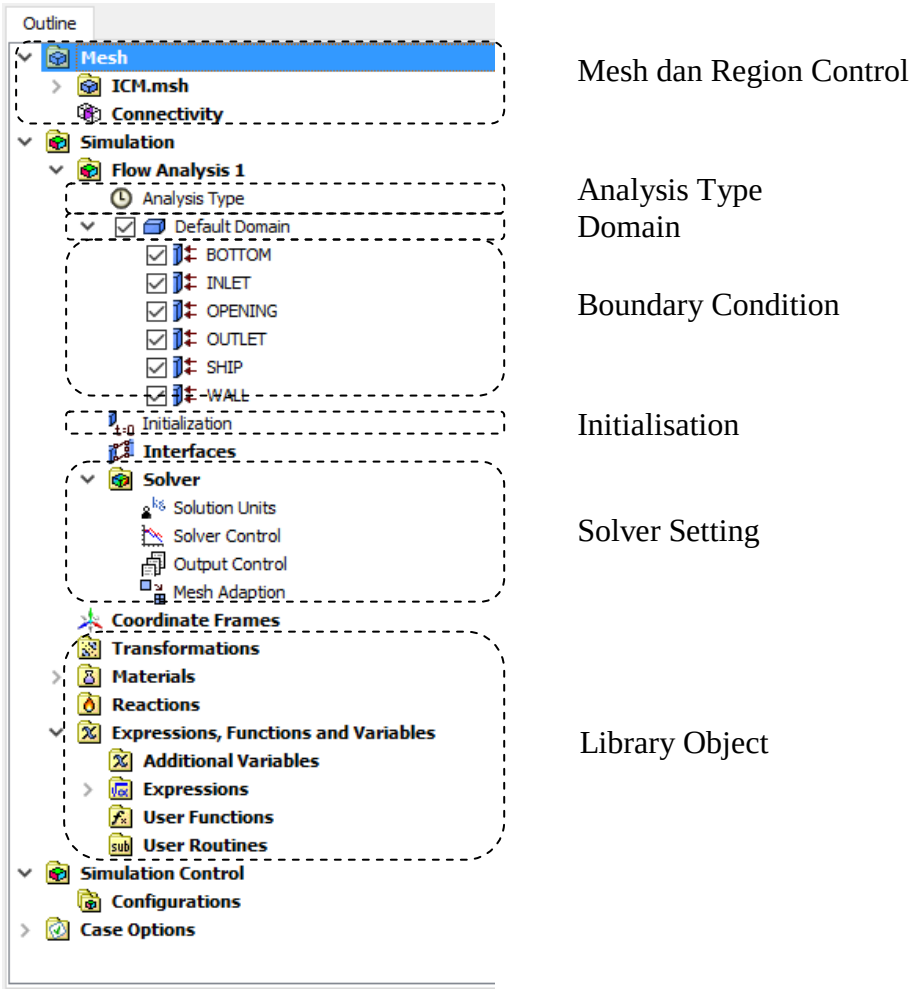


Gambar 2.12 Surface Roughness

2.4.6 Proses Pemodelan dengan software CFX

Pemodelan dengan software CFX dilakukan sesuai tahapan CFD yang dimulai dari mesh dan region control, dilanjutkan dengan tipe analisis yang akan digunakan, kemudian membuat boundary condition hingga menentukan setingan solver untuk menentukan konvergensi dan skema numerik.

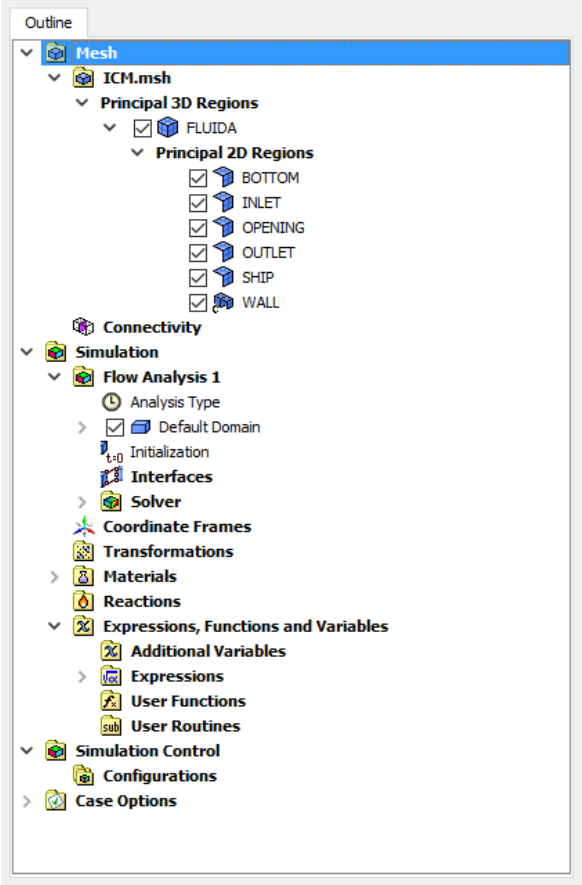
Gambar 2.13 merupakan workflow dari software CFX yang memperlihatkan tahapan proses pemodelan di CFX dalam mensimulasikan aliran fluida.



Gambar 2.13 CFX-Pre Workflow

2.4.6.1 Mesh dan Region Control

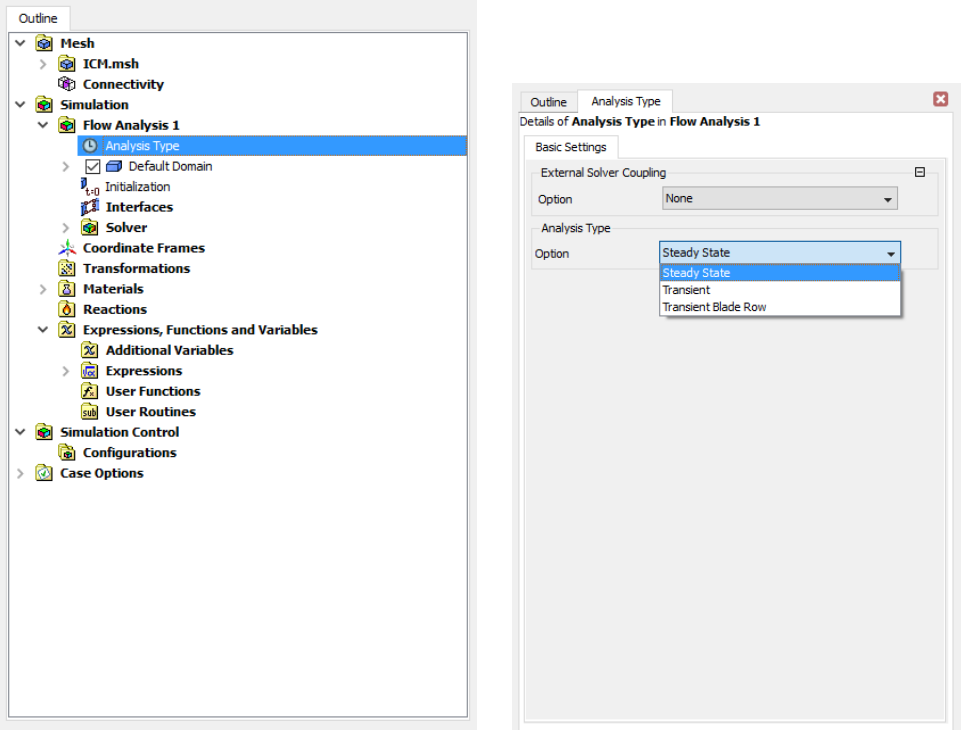
Mesh dan region control ini merupakan tahapan untuk mengimportkan model 3D dari mesh generation software ke dalam CFX.



Gambar 2.14 Mesh dan Region Control

2.4.6.2 Analysis Type

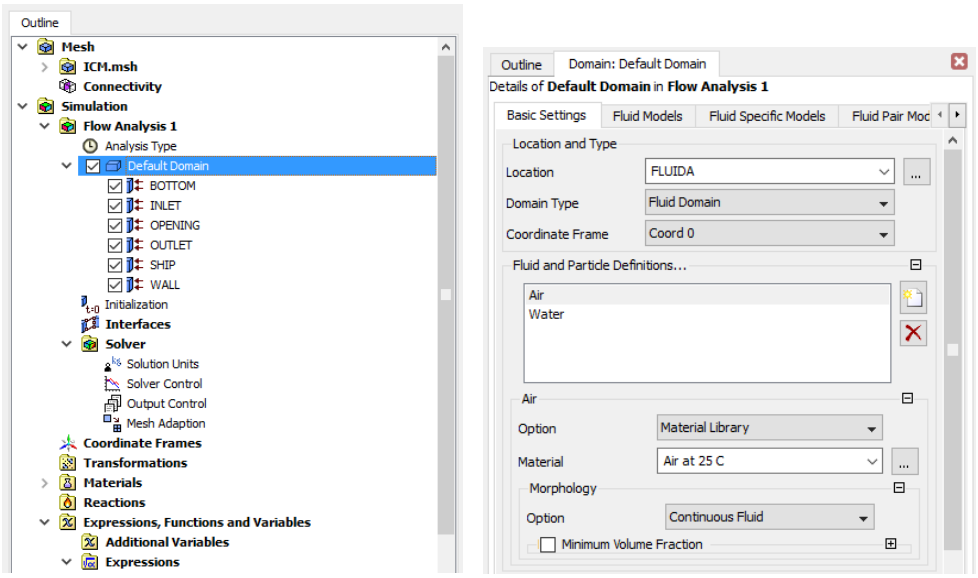
Tipe analisis dalam CFX dibedakan menjadi steady dan transient. Steady terjadi bila kondisi seperti kecepatan, tekanan dan kondisi lintasan partikeldidalam fluida tidak terjadi perubahan terhadap waktu. Tetapi dalam kenyataannya, kecepatan dan tekanan dalam fluida selalu bervariasi dari waktu ke waktu dan dari satu tempat ke tempat lain. Apabila rata- rata kecepatan dan tekanan tersebut adalah konstan, maka aliran tersebut dimasukkan ke aliran steady. Sedangkan transient (unsteady) terjadi perubahan terhadap waktu.



Gambar 2.15 Analysis Type untuk memodelkan aliran Steady atau Transien

2.4.6.3 Domain

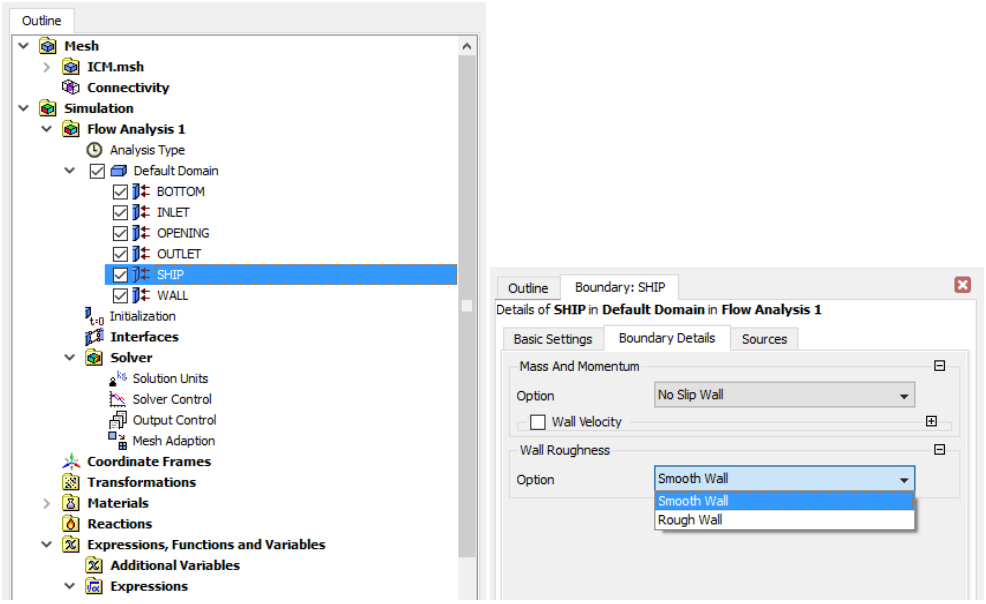
Default domain secara otomatis dibuat ketika mesh diimport ke dalam CFX, termasuk semua bagian 3D pada mesh jika model yang diinputkan berupa model 3D. Semua domain membentuk default boundary condition. Didalam default domain akan dimodelkan bahw fluida yang melewati tunnel (towing tank) terdiri dari dua fluida yang berbeda (air dan udara).



Gambar 2.16 Default Domain untuk memodelkan fluida

2.4.6.4 Boundary

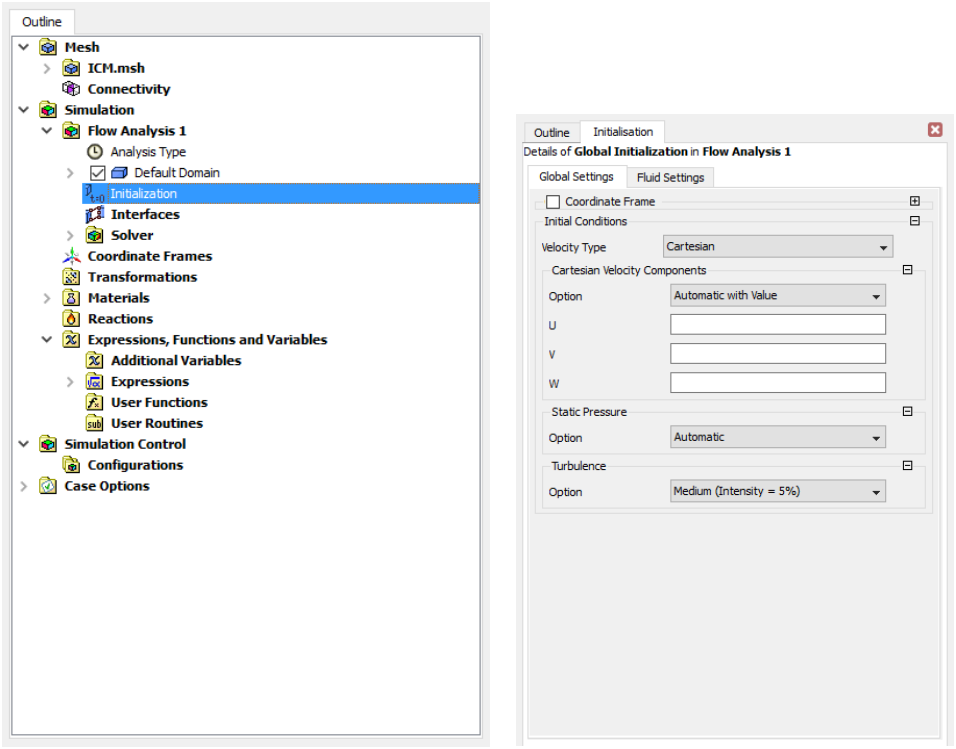
Terkait dengan penelitian ini, boundary condition dibuat sehingga model 3D yang akan dianalisa seolah berada dalam tunnel (towing tank) dengan membuat boundary inlet, outlet dan wall. Pada boundary condition ini diatur kecepatan aliran fluida, kondisi turbulen, dan kekasaran permukaan pada lambung kapal.



Gambar 2.17 Boundary Condition untuk menentukan kekasaran pada lambung kapal

2.4.6.5 Initialization

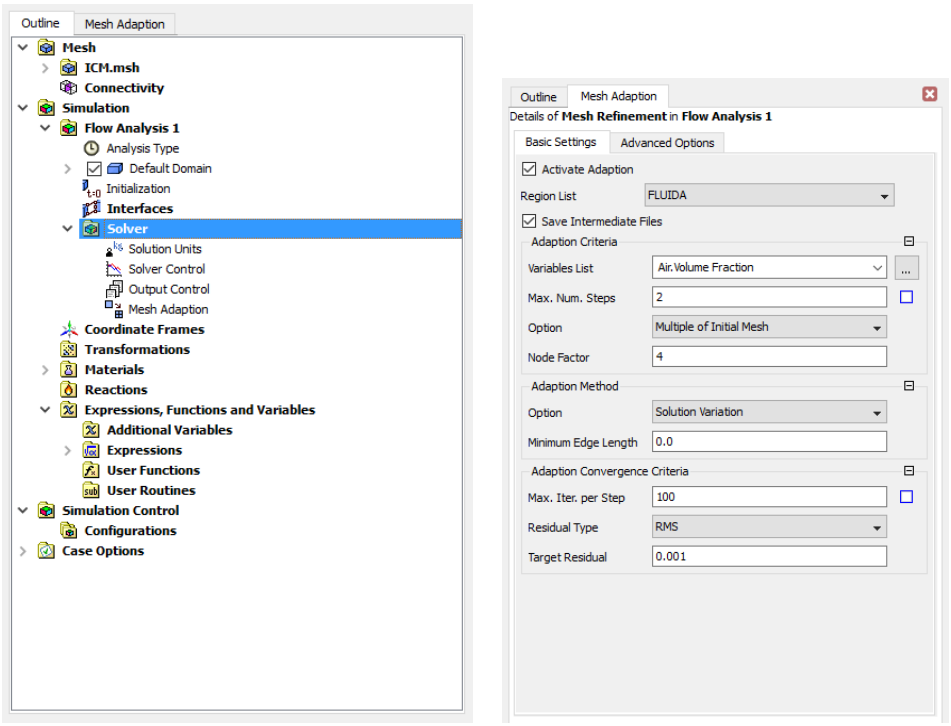
Tahapan ini dibuat untuk menentukan starting point solver dalam CFX.



Gambar 2.18 Initialization pada CFX

2.4.6.6 Solver Setting

Solver setting merupakan tahapan yang dilakukan untuk menetukan kontrol terhadap konvergensi, skema numerik, dan monitor point.



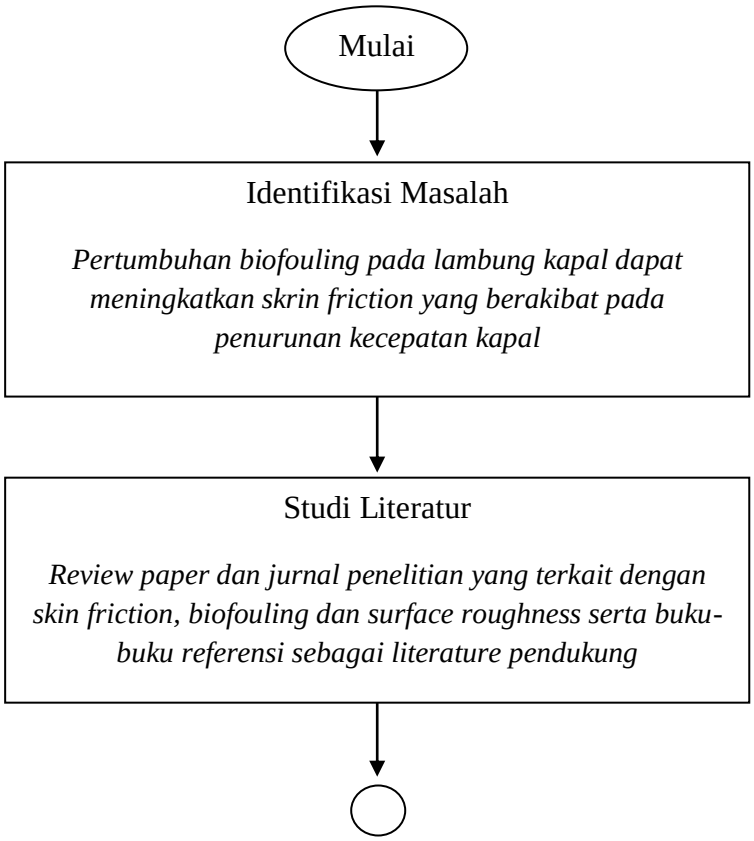
Gambar 2.19 Solver Setting

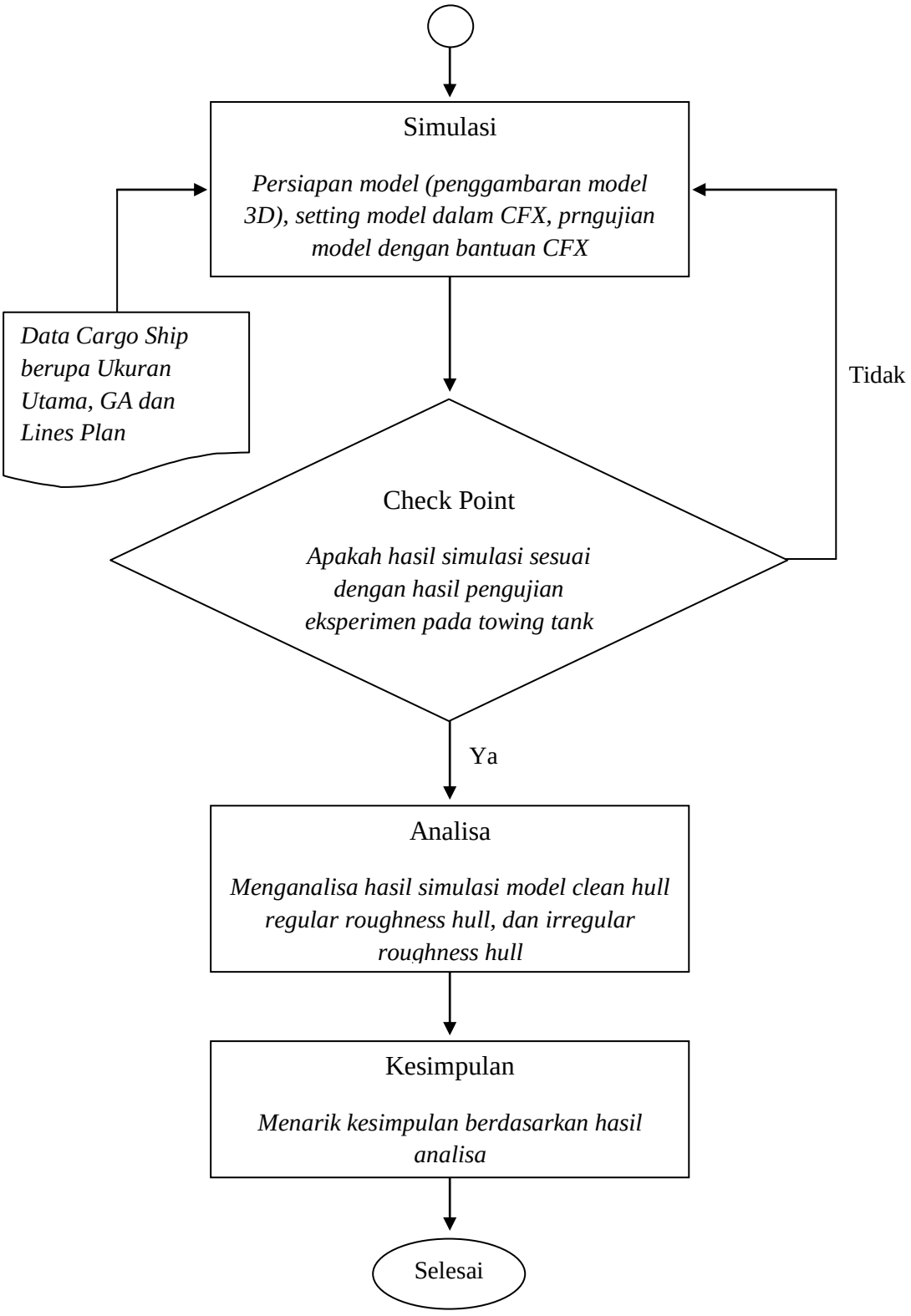
BAB 3
METODOLOGI

Metodelogi penelitian merupakan dasar agar proses penelitian dapat berjalan terstruktur dan sistematis. Berikut ini merupakan metodologi yang digunakan dalam rangka untuk mencapai tujuan dari penelitian.

1.1 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analitis dan numerik serta simulasi. Penelitian ini dimulai dengan mengindentifikas suatu masalah yaitu pengaruh skin friction yang diakibatkan oleh pertumbuhan biofouling pada lambung kapal yang dapat berakibat pula pada pengurangan power kapal.





1.2 Studi Literatur

Studi literature digunakan untuk mempelajari tentang teori dasar permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Studi literature ini dilakukan

dengan tujuan untuk mendapatkan pengetahuan dasar, referensi, dan data-data pendukung lainnya dari penelitian-penelitian sebelumnya yang kemudian dapat digunakan sebagai acuan penelitian.

1.3 Pengumpulan Data dan Pembuatan Model

Data kapal yang dijadikan objek penelitian didapat dari PT. Dharma Lautan Utama, berupa General Arrangement, Lines Plan dan ukuran utama kapal. Data-data tersebut kemudian diolah menjadi model 3 dimensi yang akan digunakan sebagai objek pengujian.

1.4 Pengujian Metode Simulasi dan Analisa

Simulasi dilakukan dengan bantuan computer yang memiliki software yang mampu mendukung perhitungan *fluid flow*. Hasil pengujian simulasi kemudian dianalisa lebih lanjut dan dibandingkan dengan hasil pengujian towing tank yang hasil analisanya telah dilakukan pada penelitian yang lain.

1.5 Pengambilan Kesimpulan

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

Penelitian ini akan dilaksanakan sesuai dengan rencana penelitian yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5				Bulan 6				Bulan 7				Bulan 8				Bulan 9				Bulan 10			
		Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
		i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv	i	ii	iii	iv
1	Pengumpulan data kapal																																								
2	Pengumpulan data biofouling																																								
3	Pembuatan Model dan Simulasi CFD (Clean Hull)																																								
4	Proses Modifikasi Model dan Simulasi CFD (Roughness Hull)																																								
5	Simulasi CFD																																								
6	Pembahasan, Analisa dan Penulisan Laporan																																								
8	Publikasi																																								

BAB 4
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

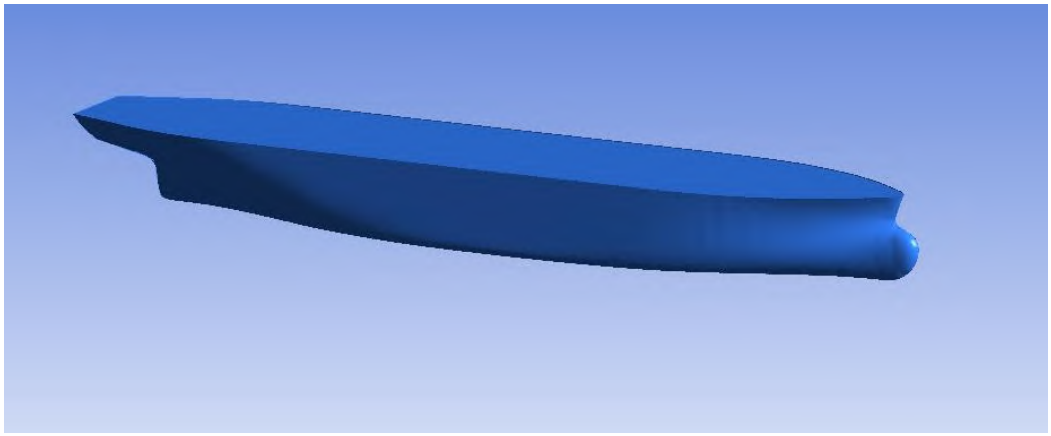
2.1 Pemodelan Geometry

Penelitian ini menggunakan model 3-dimensi kapal cargo yang telah melakukan operasional pelayaran selama satu tahun setelah docking sebagai objek penelitian dengan bantuan Software *MAXSURF ver. 20*, dimana data ukuran utama kapal seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Particular Dimention Kapal Cargo

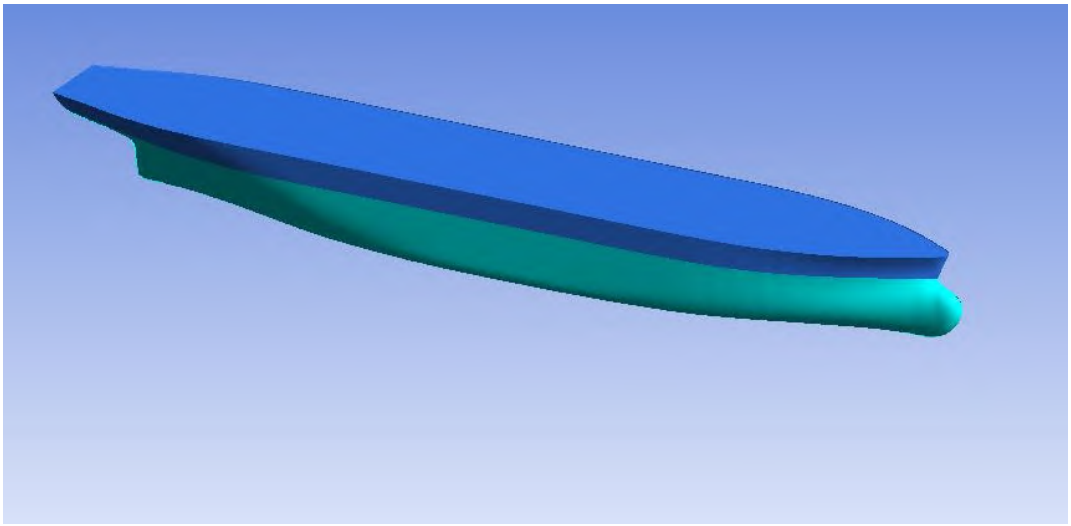
Particular	**Full Scale**	**Unit**	**Model (1 : 25)**	**Unit**
LOA	109,00	m	4,36	m
LWL	106,07	m	4,24	m
B	17,80	m	0,71	m
H	10,00	m	0,40	m
T	7,00	m	0,28	m
WSA	2646,84	m^2	4,23	m^2
Displacement	9603	ton	614,59	ton

Model 3-dimensi dibuat berdasarkan kondisi simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3, dimana Gambar 4.1 merupakan model dengan kondisi permukaan yang halus (*smooth surface*), Gambar 4.2 merupakan model dengan permukaan yang dikasarkan dan merata disepanjang lambung kapal (*regular roughness*) dan Gambar 4.3 adalah model dengan permukaan yang dikasarkan secara tidak merata (*irregular roughness*).



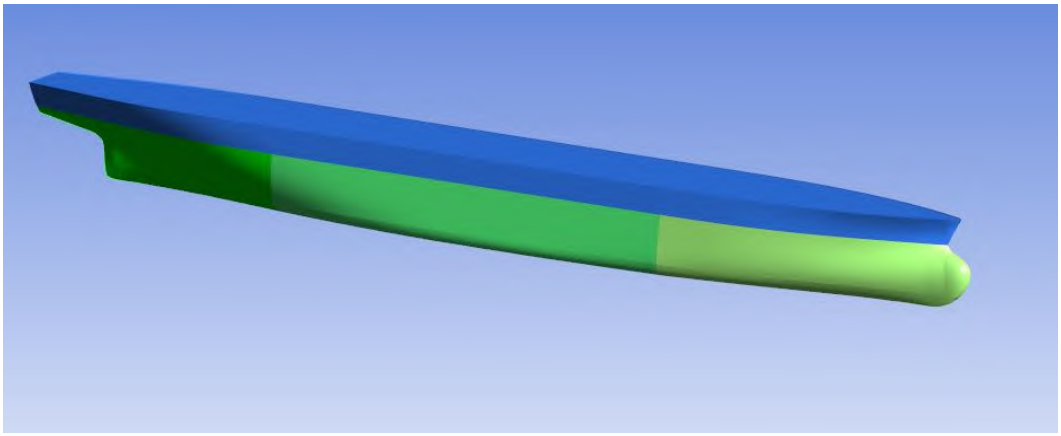
Gambar 4.1 Model 3-Dimensi untuk Simulasi Permukaan yang Halus atau Smooth Surface

Gambar 4.1 merupakan model yang digunakan sebagai pembanding untuk model dengan kondisi lambung yang dikasarkan.



Gambar 4.2 Model 3-Dimensi untuk Simulasi Kekasaran Merata atau Regular Roughness

Pada gambar 4.2, model 3-dimensi kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian smooth hull yang berada di atas garis air dan bagian yang berada di bawah garis air yang memiliki kekasaran merata dengan ketebalan 0.72 mm (dalam skala model).



Gambar 4.3 Model 3-Dimensi untuk Simulasi Kekasaran Tidak Merata atau Irregular Roughness

Pada gambar 4.3, model 3-dimensi kapal dibagi menjadi tiga zona untuk membedakan ketebalan fouling yang pertumbuhannya tidak merata. Pembagian ini dilakukan berdasarkan pengukuran pada beberapa kapal yang telah melakukan operasi pelayaran selama satu tahun. Secara sederhana pembagian ketebalan biofouling berdasarkan zona dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pembagian Zona dan Ketebalan Biofouling (Skala model)

Stern		**Mid**		**Bow**	
Bottom	***Side***	***Bottom***	***Side***	***Bottom***	***Side***
0,92 mm	0,8 mm	0,72 mm	0,64 mm	0,6 mm	0,6 mm

Pembagian zona seperti pada tabel 4.2 dikarenakan pertumbuhan biofouling pada kondisi sebenarnya yang tidak merata dan dikarenakan pemodelan dalam CFX tidak memungkinkan untuk memodelkan ketebalan yang berbeda-beda dalam satu boundary.

2.2 P

r

o

s

e

s

M

e

s

h

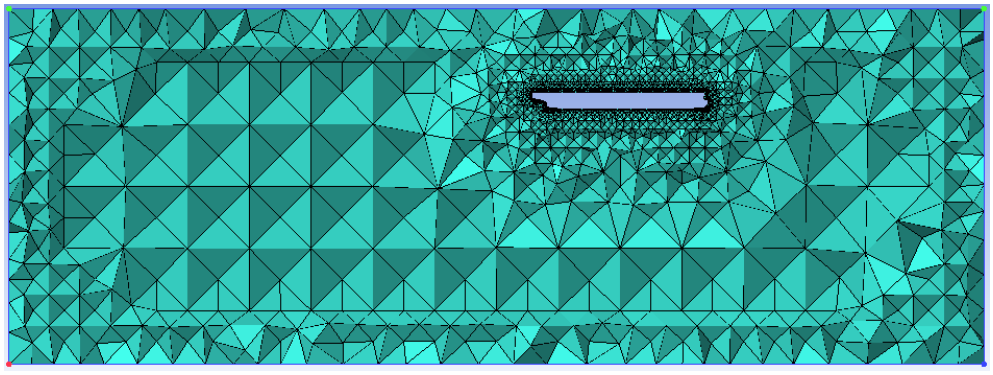
i

n

g

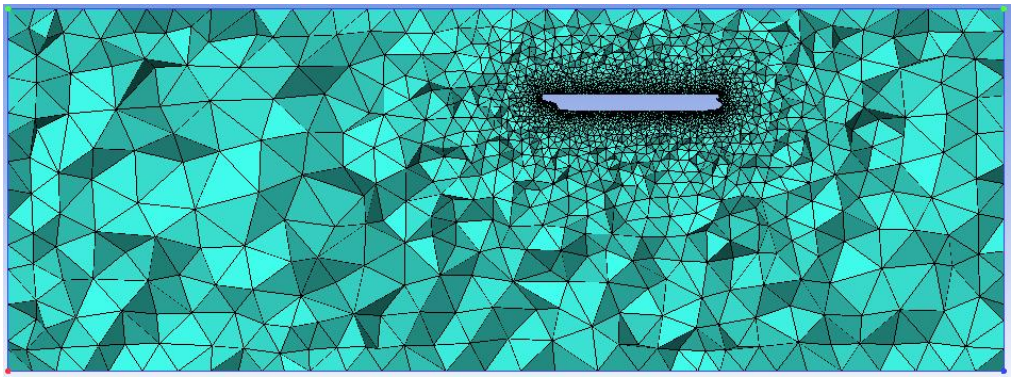
Proses meshing merupakan salah satu proses dalam simulasi yang sangat penting dan yang paling menentukan tingkat keakurasian hasil simulasi. Meshing yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *hybrid mesh* yang merupakan perpaduan dua jenis mesh yang berbeda.

Dalam penelitian ini, proses meshing dilakukan dengan bantuan software ICEM CFD dan jenis mesh yang digunakan untuk membentuk boundary yaitu unstructured tetraheldral mesh yang dikombinasikan dengan structure mesh sebagai inflation. Karena pemodelan merupakan pemodelan 3-dimensi, maka proses meshing yang digunakan adalah volume meshing. Gambar 4.4 merupakan mesh tetrahedral standart atau *Octree* yang dihasilkan melalui proses *generate mesh* dengan software ICEM CFD.



Gambar 4.4 Unstructure Tetrahedral Mesh

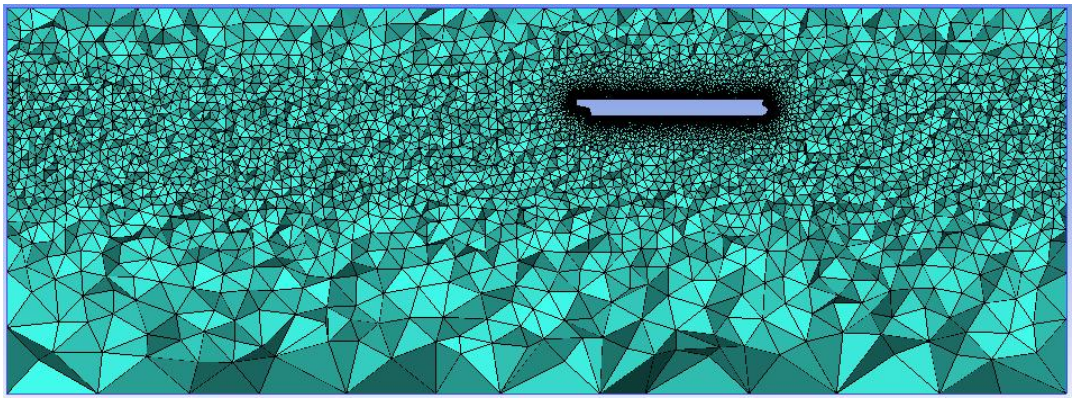
Bentuk mesh seperti pada Gambar 4.4 digunakan hanya untuk menyusun mesh dalam boundary dan memiliki tingkat akurasi yang cukup rendah dalam proses simulasi fluida seperti *freesurface simulation*, sehingga dibutuhkan proses smoothing atau *Delaunay* (Schroeder et al., 1990).



Gambar 4.5 Mesh dengan Smoothing

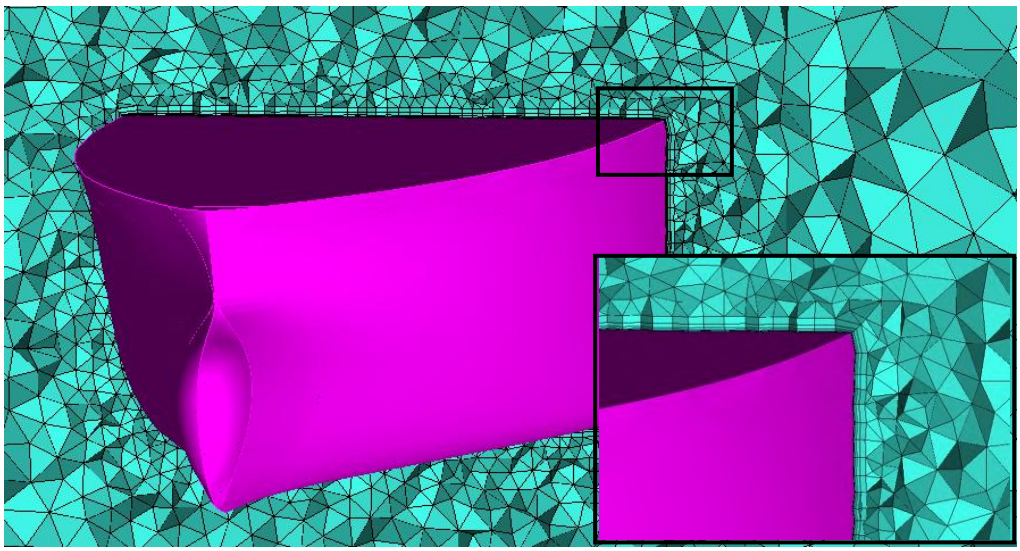
Gambar 4.5 merupakan mest tetrahedral yang telah melalui proses smoothing atau Delaunay yang tujuannya untuk merekonstruksi meshing standart sebelumnya untuk mendapatkan meshing yang lebih baik.

Di dalam penelitian ini, proses mesh tidak berhenti hanya pada proses perbaikan mesh atau smoothing saja, tetapi juga dengan meningkatkan *grow rate* mesh yang digunakan sehingga dapat mengatur rapat renggangnya mesh pada bagian-bagian tertentu seperti merapatkan bagian disekitar model dan sepanjang *free surface* dan merenggangkan bagian-bagian lain yang berjauhan dengan model sehingga dapat memangkas waktu running tanpa mengurangi keakuratan hasil simulasi.



Gambar 4.6 Meshing dengan Grow Rate dan Smoothing

Gambar 4.6 merupakan bentuk mesh yang menerapkan grow rate dan smoothing. Bentuk mesh ini kemudian dipadukan dengan *inflation* mesh yang diaplikasikan keseluruh permukaan model sehingga dapat mencapai target nilai y^+ < 100.



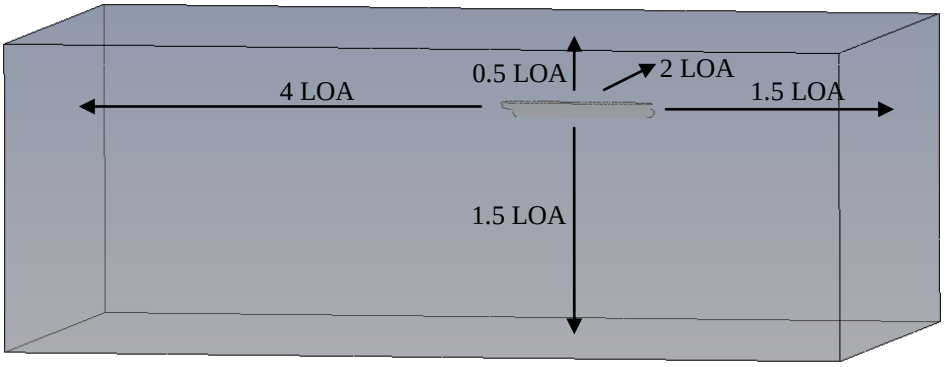
Gambar 4.7 Hexahedral Mesh dengan Inflation Layer

Pada gambar 4.7, stucture mesh membentuk *inflation layer* di sepanjang permukaan model. Inflation layer ini dibentuk untuk mendapatkan nilai y^+<100 dan mengangkap boundary layer yang berada disekitar permukaan model serta menentukan keakuratan hasil simulasi CFD pada *near-wall region*.

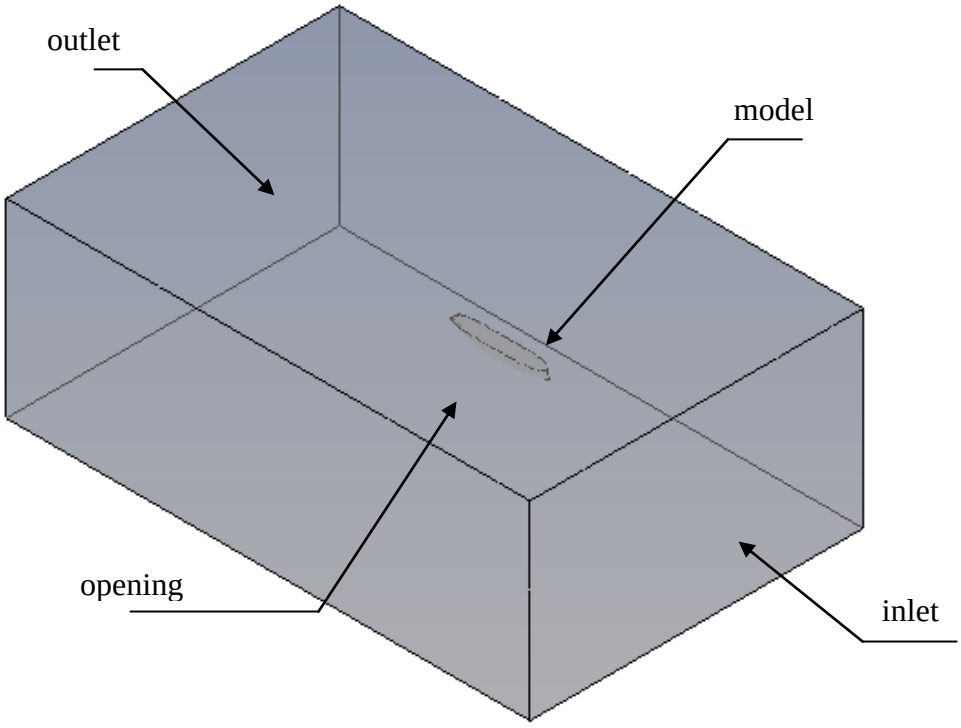
2.3 Penentuan Boundary Condition

Proses simulasi dalam CFD tidak lepas dari penentuan *Boundary Condition* atau kondisi batas yang merupakan wilayah kerja dari simulasi yang akan dijalankan. Boundary condition dibentuk dengan memperhatikan jarak model ke batas-batas *domain* seperti jarak *upstream* dan *downstream* terhadap

model, sehingga tidak ada pengaruh dari batas-batas domain terhadap model. Jarak model ke batas-batas domain ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Dimensi Domain



Gambar 4.9 Boundary Condition

Adapun definisi boundary condition yang digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pendefinisian Kondisi Batas

Boundary	Definisi
Inlet	Kecepatan aliran yang masuk ke dalam boundary 5% intensity turbulen Ketinggian free surface berdasarkan expression = 6,54 m
Outlet	Static Pressure = 0 Pa
Wall	No Slip Condition
Model	No slip condition Kekasaran permukaan model Permukaan halus Kekasaran merata dengan sand grain 0,072 cm Kekasaran tidak merata dengan sand grain berdasarkan data pada Table 4.2
Opening	Entrainmen Zero gradient turbulence

2.4 Turbulence Set

t
i
n
g

Sama seperti penentuan boundary condition, turbulence setting merupakan bagian dari *Pre-Solving*. Proses ini yaitu untuk mendefinisikan model matematika dalam CFD yang akan digunakan untuk menyelesaikan proses simulasi.

Dalam mensimulasikan aliran turbulen, ada beberapa metode yang disiapkan oleh CFD untuk membantu menyelesaiakn masalah turbulen seperti k-epsilon dan SST berbasis k-omega. Dalam tesis ini, metode turbulen yang dipilih yaitu Sheer Stress Transport (SST) k-omega karena metode turbulen ini dapat mengkoreksi Reynold Number yang rendah (low-Re).

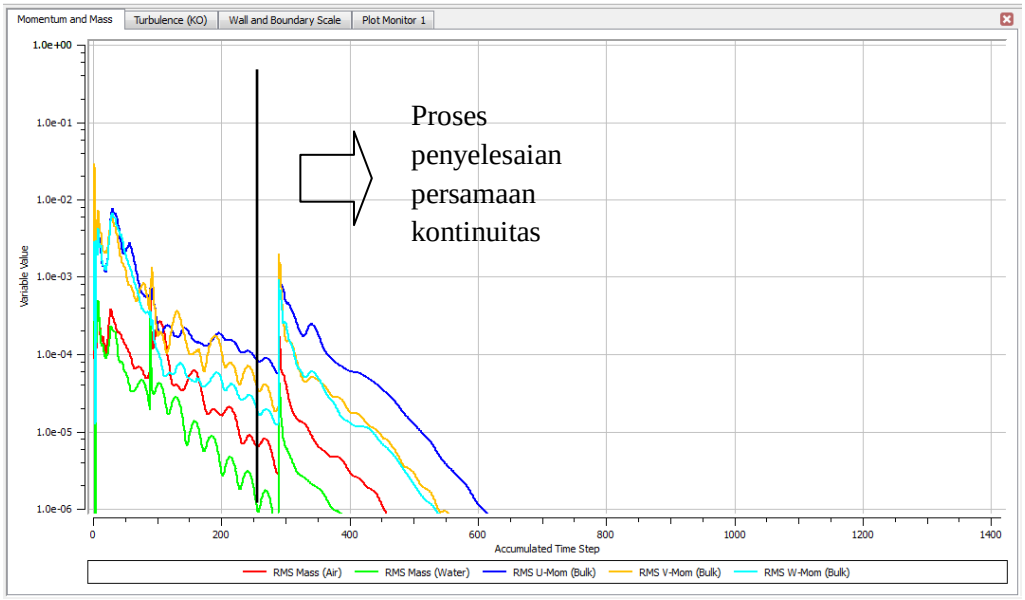
Selain turbulence setting, kriteria konvergensi juga menjadi salah satu faktor yang menentukan hasil simulasi. Kriteria konvergensi yang digunakan sebagai validasi yaitu *Residual Target* 10^{-4} atau tingkat error kurang dari 10^{-4} dan persamaan kontinuitas dimana selisih fluida yang masuk dan fluida yang keluar dari domain tidak lebih dari 1%. Jumlah iterasi yang digunakan yaitu 2000 iterasi.

2.5 Proses Solvi

n

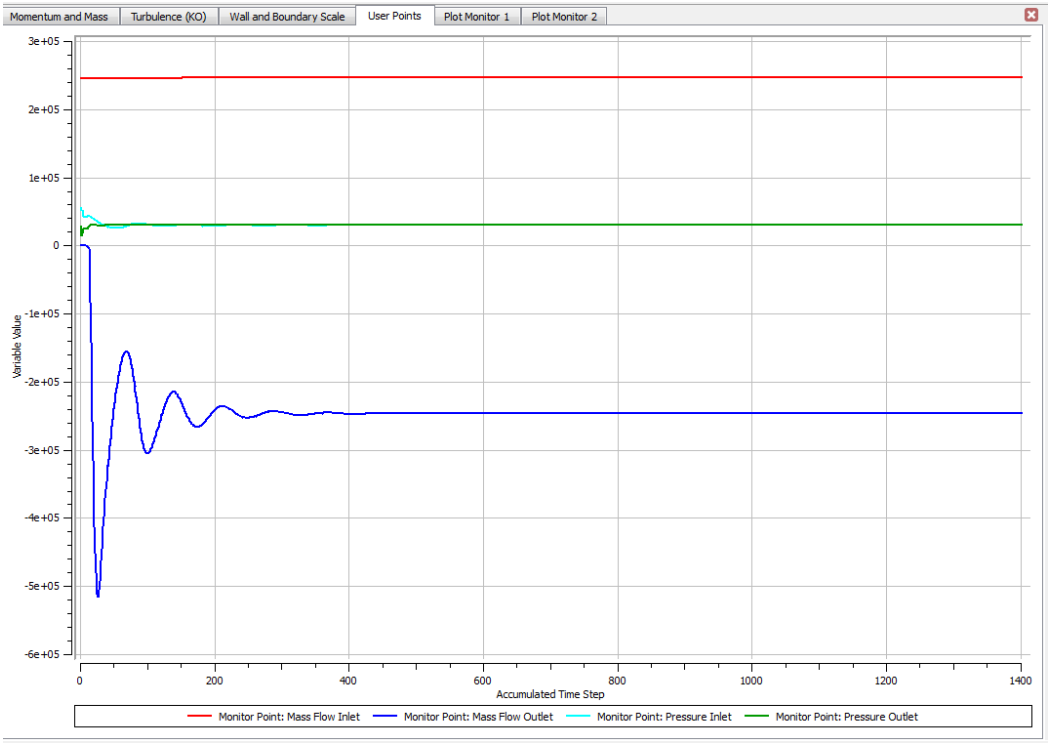
g

Proses Solving merupakan proses komputasi dan monitoring. Proses monitoring ini untuk memastikan proses simulasi dapat memenuhi kriteria konvergensi. Gambar 4.10 merupakan monitoring r*esidual target* yang menunjukkan proses simulasi telah memenuhi kriteria konvergensi 10^{-4} dan kemudian proses simulasi dilanjutkan untuk memenuhi persamaan kontinuitas.



Gambar 4.10 Kriteria Konvergensi berdasarkan Residual Target

Nilai *residual target* 10^{-4} merupakan nilai standar dengan kriteria konvergensi paling rendah. Dengan memasukkan kriteria konvergensi yang lain seperti persamaan kontinuitas, maka kriteria residual target dapat ditingkatkan hingga 10^{-5} sampai 10^{-6}.



Gambar 4.11 Kriteria Konvergensi berdasarkan Persamaan Kontinuitas

Gambar 4.11 merupakan monitoring persamaan kontinuitas dan terlihat bahwa hasil simulasi memenuhi kriteria konvergensi untuk persamaan kontinuitas dimana mass flow inlet dan outlet serta pressure inlet dan outlet memiliki nilai persentase yang sama.

2.6 Hasil

3.6.1 Grid Independence

Penentuan *grid independence* ini dimaksudkan agar didapatkan ukuran mesh yang paling optimum dengan cara meningkatkan jumlah mesh sehingga didapatkan waktu proses *solving* yang efisien dan perubahan jumlah mesh tidak lagi mempengaruhi hasil simulasi.

Tabel 4.4 merupakan hasil pengujian grid independence, dimana pemilihan ukuran dan jumlah mesh didasarkan pada perubahan force pada mesh sebelumnya dengan mesh setelah peningkatan jumlah mesh yang dihasilkan setelah proses simulasi.

Tabel 4.4 Grid Independence

	Total Elements	***Total Nodes***	***Force***	***Waktu Running***
Grid 1	429.732	92.366	88,35 N	10 jam
Grid 2	913.089	185.304	37,24 N	12 jam
Grid 3	2.149.359	525.304	36,13 N	18 jam
Grid 4	3.182.044	667.234	36,04 N	25 jam

Berdasarkan Tabel 4.4, 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%.

3.6.2 Wall Distance (yplus)

Salah *satu* faktor yang dapat digunakan untuk menentukan keakuratan simulasi CFD yaitu near-wall region, sehingga dibutuhkan inflation layer mesh seperti yng sudah dijelaskan sebelumnya.

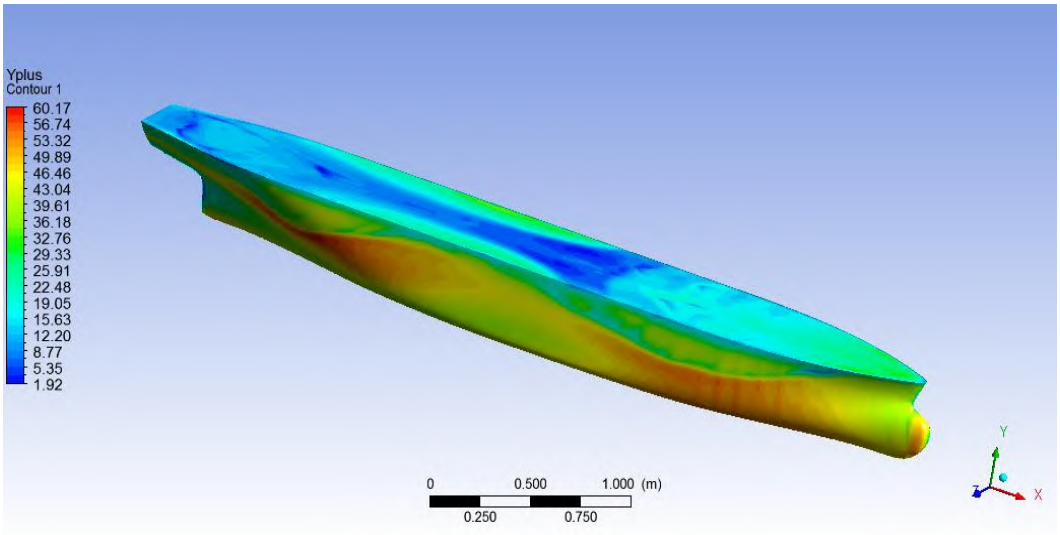
Aliran turbulen sangat dipengaruhi oleh adanya dinding (*no slip wall*). Ketika aliran sangat dekat dengan dinding, *viscous damping* dapat mengurangi fluktuasi kecepatan tangensial. Sedangkan bagian terluar dari dinding ini, turbulensi akan semakin bertambah oleh adanya turbulence kinetic energy (Yu Ding, 2015). Sehingga ketika aliran sangat dekat dengan dinding (permukaan model), Re pada daerah tersebut akan menjadi sangat rendah dan bahkan besar kemungkinan akan menjadi aliran laminar. Namun, dalam CFD simulasi aliran akan diasumsikan 100% turbulen.

Berdasarkan pemaparan di atas, pembuatan inflation layer mesh bertujuan untuk memenuhi atau untuk mendapatkan nilai y^+ tertentu. Nilai y^+ merupakan nilai yang mengindikasikan bahwa mesh disekitar model sudah cukup baik. Umumnya nilai y^+ berkisar antara 10 sampai 300, sedangkan dalam tesis ini di ambil nilai y^+ berada disekitar nilai 10 sampai 100 ($10 < y^+ < 100$). Tabel 4.5 menunjukkan nilai y^+ pada model disetiap kondisi.

Tabel 4.5 Nilai yplus pada model scale

Froude Number	***yplus***		
	Smooth hull	***Regular Roughness***	***Irregular Roughness***
0,157	49,62	48,24	85,39
0,189	47,70	77,95	85,55
0,220	51,06	70,84	91,94
0,252	59,05	82,41	113,4
0,283	60,17	95,89	102,0

Gambar 4.12 menunjukkan nilai y^+ pada model scale untuk kondisi smooth hull pada Fr 0.283. Dapat dilihat bahwa nilai y^+ pada pada model memiliki kontur warna yang berbeda-beda. Kontur warna tersebut menunjukkan perbedaan nilai di sepanjang permukaan lambung kapal dikarenakan oleh nilai y^+ dipengaruhi oleh viskositas dinamik dan kecepatan aliran yang melalui suatu permukaan tertentu.



Gambar 4.12 Nilai yplus pada model scale (Fr = 0,283)

3.6.3 Pengujian dengan Simulasi CFD

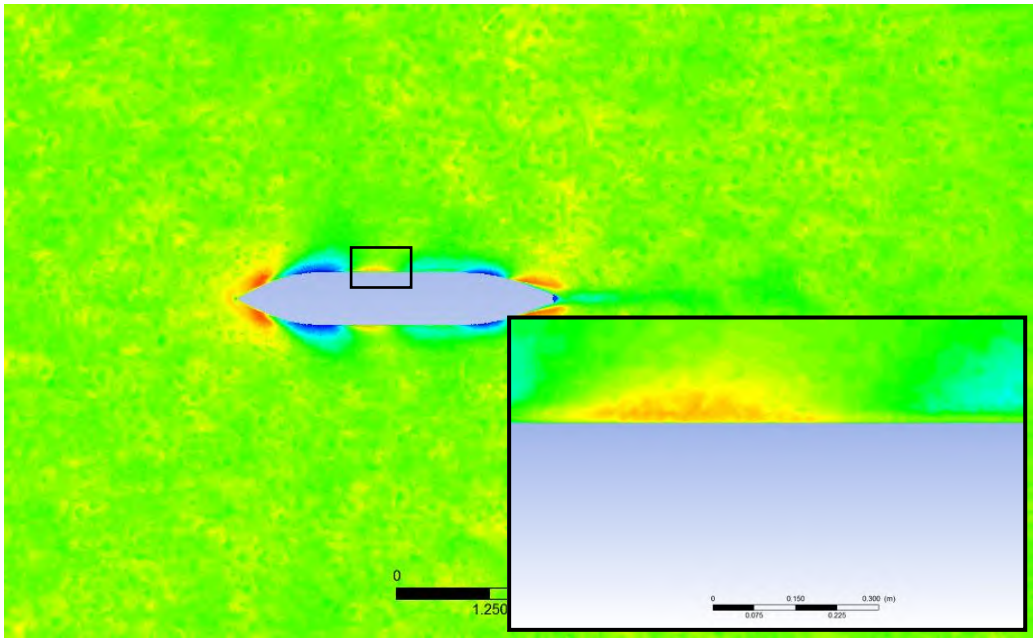
Tabel 4.6 merupakan parameter-parameter yang diinputkan ke dalam simulasi CFD untuk pemodelan multifasa pada kondisi smooth hull, regular dan irregular roughness. Tabel 4.6 menunjukkan bahwa tiap kondisi terdiri dari lima case dan menunjukkan kecepatan aliran di dalam domain, model turbulensi, jumlah iterasi dan batas konvergensi yang harus dicapai oleh simulasi yang dijalankan pada tiap case.

Tabel 4.6 Test Case pada Model Scale untuk kondisi smooth hull, regular dan irregular roughness

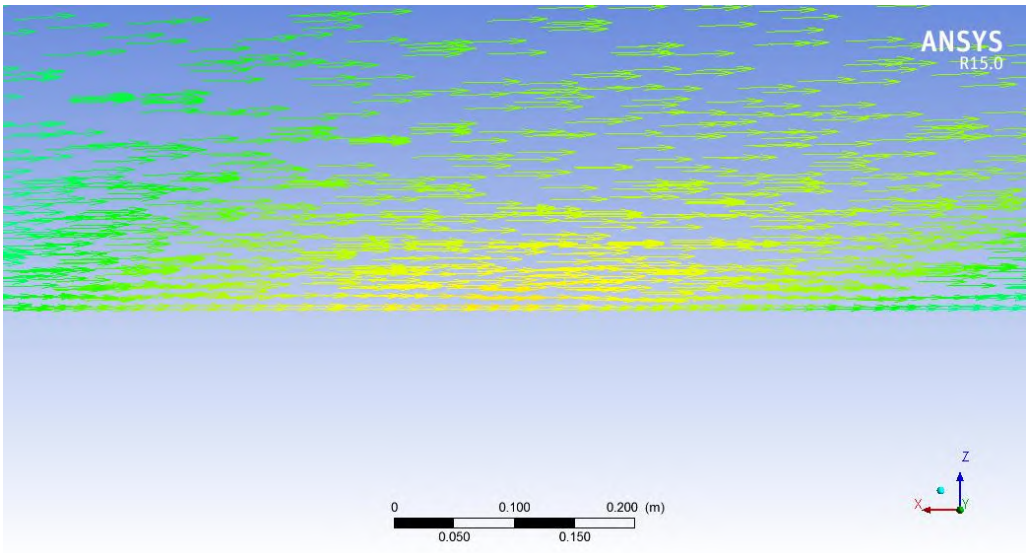
Model Scale (Smooth Hull, Regular dan Irregular Roughness)					
Case	1	2	3	4	5
Froude Number	0,157	0,189	0,220	0,252	0,283
Flow Velocity	1,029	1,235	1,440	1,646	1,852
Turbulence Model	SST k-ω	SST k-ω	SST k-ω	SST k-ω	SST k-ω
Jumlah Iterasi	2000	2000	2000	2000	2000
RMS Convergence	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}

3.6.4 Hambatan Kapal berdasarkan Hasil Simulasi CFD

Salah satu keunggulan CFD yaitu menangkap kontur velocity properties sehingga dapat dilihat fenomena aliran yang berada disekitar lambung kapal. Gambar 4.13 yang merupakan merupakan kontur kecepatan aliran fluida pada Fr 0,22 untuk kondisi smooth surface.



Gambar 4.13 Kontur kecepatan fluida disekitar lambung kapal (Smooth Surface)

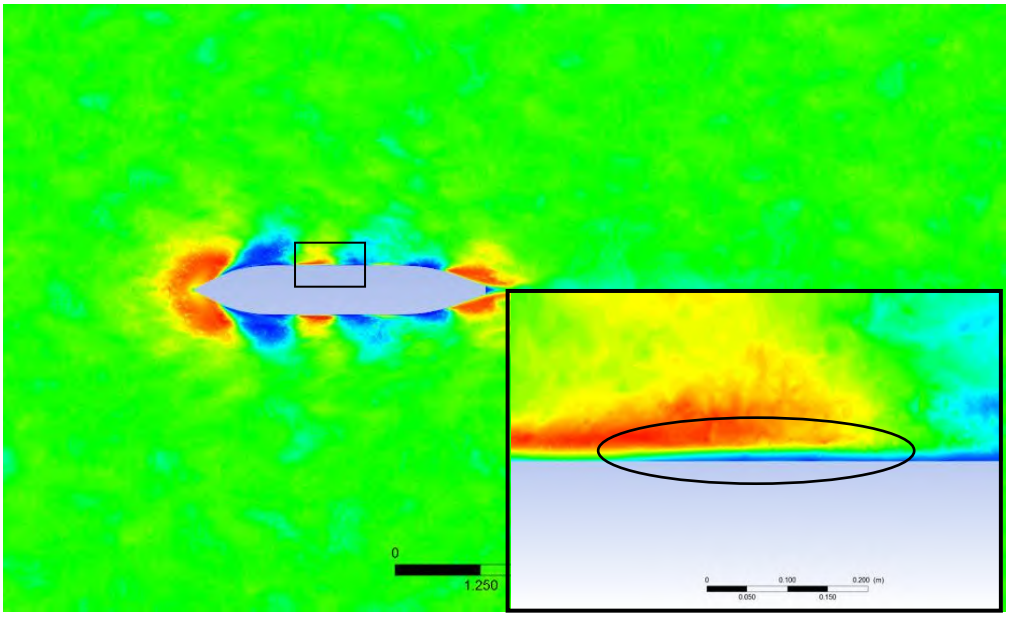


Gambar 4.14 Kontur kecepatan fluida pada smooth hull

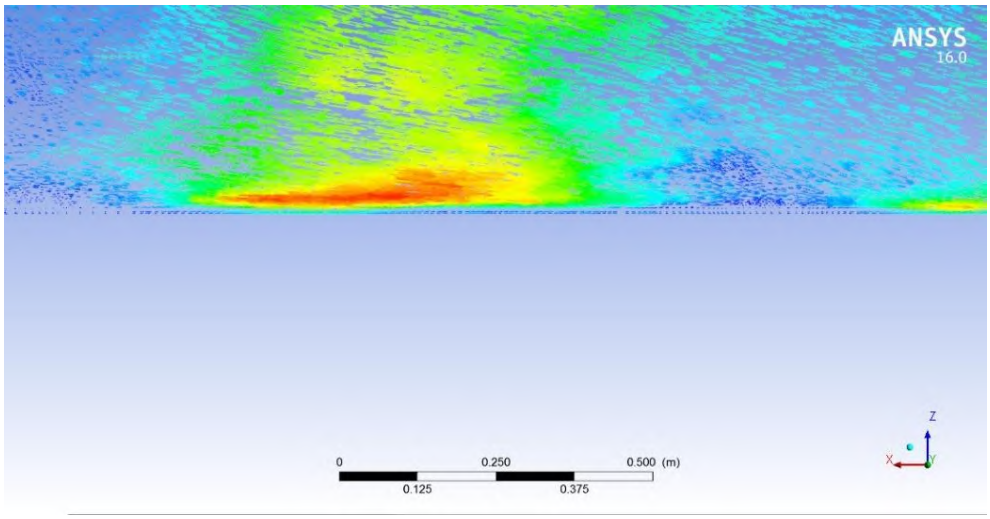
Gambar 4.13 merupakan kontur dari kecepatan aliran fluida di sekitar lambung kapal sedangkan Gambar 4.14 adalah vektor aliran fluida dengan kondisi smooth surface tanpa kekasaran. Vector aliran fluida pada kondisi smooth surface.

Sedangkan Gambar 4.15 merupakan kecepatan aliran fluida di sekitar lambung kapal yang dikasarkan pada Fr = 0,22. Dari detail gambar 4.15, aliran di

sekitar permukaan model mengalami gangguan karena permukaan yang kasar sehingga fluida tidak mampu mengikuti garis streamlinenya dan terjadi patahan pada aliran fluida. Pada patahan ini yang kemudian muncul *eddies current* yang akan menyerap energi (Adji, 2009). Aliran fluida yang terganggu tersebut ditunjukkan oleh gambar 4.16 di bawah ini. Gambar 4.16 merupakan vector dari aliran fluida yang berada disekitar lambung yang dikasarkan. Aliran fluida terganggu akibat dari kekasaran lambung.



Gambar 4.15 Kontur kecepatan fluida disekitar lambung kapal yang dikasarkan



Gambar 4.16 Kontur kecepatan fluida pada roughness hull

Selain visualisasi, CFD mampu mengkalkulasi gaya yang bekerja pada boundary khususnya gaya yang bekerja pada model (*No Slip Wall Boundary*). Tabel 4.7, 4.8 dan 4.9 menunjukkan hasil gaya hambat total yang dihasilkan dari proses simulasi beberapa Froude Number pada model smooth hull, regular roughness dan irregular roughness. Berdasarkan gaya hambat total model ini, kemudian ditentukan koefisien-koefisien gaya hambat yang akan di-*convert* atau di-ekstrapolasi menjadi gaya hambat untuk kapal full scale.

Tabel 4.7 Total Resistance pada Kondisi Smooth Hull (Model Scale)

No	***Model Scale (Smooth Hull)***					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T ***(N)***
1	0,157	1,029	5,408	3,441	1,967	12,12
2	0,189	1,235	5,413	3,327	2,086	17,47
3	0,220	1,440	5,821	3,235	2,586	25,57
4	0,252	1,646	6,140	3,159	2,982	35,23
5	0,283	1,852	5,736	3,093	2,642	41,65

Tabel 4.8 Total Resistance pada Kondisi Regular Roughness (Model Scale)

No	***Model Scale (Regular Roughness)***					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T ***(N)***
1	0,157	1,029	6,465	4,498	1,967	14,49
2	0,189	1,235	6,513	4,427	2,086	21,02
3	0,220	1,440	7,157	4,571	2,586	31,44
4	0,252	1,646	7,733	4,751	2,982	44,37
5	0,283	1,852	7,409	4,767	2,642	53,80

Tabel 4.9 Total Resistance pada Kondisi Irregular Roughness (Model Scale)

No	*Model Scale (Irregular Roughness)*					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T ***(N)***
1	0,157	1,029	5,992	4,026	1,967	13,39
2	0,189	1,235	6,157	4,071	2,086	19,81
3	0,220	1,440	6,405	3,819	2,586	28,05
4	0,252	1,646	7,302	4,321	2,982	41,77
5	0,283	1,852	7,072	4,430	2,642	51,20

3.6.5 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale

Ekstrapolasi digunakan untuk menskalakan hasil pengujian dengan menggunakan model menjadi skala sebenarnya (full scale). Ada dua cara ekstrapolasi yang dapat digunakan yaitu pendekatan berdasarkan Froude (1872) dan pendekatan yang digunakan oleh International Towing Tank Conference (ITTC) berdasarkan form factor Hughes (1954).

3.6.5.1 Pendekatan Froude

Pada dasarnya pendekatan berdasarkan Froude ini menggunakan dua koefisien utama yaitu C_F dan C_R.

$$C_T = C_F + C_R \tag{5.1}$$

Dimana, C_F merupakan koefisien hambatan gesek pada model atau kapal dan C_R merupakan koefisien hambatan sisa (residual). Koefisien hambatan sisa diperoleh dari pengujian model.

$$C_R = C_{Tmodel} - C_{Fmodel} \tag{5.2}$$

untuk nilai Froude yang sama, maka $C_{Rm} = C_{Rs}$. Sehingga koefisien hambatan total kapal C_{Ts} dapat ditentukan dengan hukum Froude.

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

atau

$$C_{Ts} = C_{Tm} - (C_{Fm} - C_{Fs}) \quad (5.3)$$

Tabel 4.10, 4.11, dan 4.12 merupakan gaya hambat full scale yang merupakan hasil ekstrapolasi dari tabel 4.7, 4.8 dan 4.9 dengan pendekatan Froude.

Tabel 4.10 Total Resistance pada Kondisi Smooth Hull (Full Scale)

No	***Full Scale (Smooth Hull)***					
	Fr	***V (m/s)***	***C_T (10^{-3})***	***C_F (10^{-3})***	***C_R (10^{-3})***	***R_T (kN)***
1	0,157	5,144	3,217	1,650	1,967	115,468
2	0,189	6,173	3,298	1,612	2,086	170,464
3	0,220	7,202	3,766	1,581	2,586	264,981
4	0,252	8,230	4,136	1,555	2,982	380,064
5	0,283	9,259	3,774	1,532	2,642	438,924

Untuk kondisi regular dan irregular roughness nilai C_F tidak dapat dihitung menggunakan ITTC formula karena ada penambahan nilai C_F sebesar ΔC_F berdasarkan sand grain (permukaan yang dikasarkan) yang diaplikasikan di sepanjang permukaan model.

$$C_{F(regular/irregular)} = C_{F(ITTC\ Formula)} + \Delta C_F \quad (5.4)$$

Penambahan nilai koefisien kekasaran (ΔC_F) ini dapat diprediksi dengan menggunakan pendekatan Bowden-Davison.

$$\Delta C_F = [\ 105\ (ks/L)^{1/3} - 0{,}64\ ] \times 10^{-3} \qquad (5.5)$$

Berdasarkan pendekatan Bowden-Davison, nilai ΔC_F untuk kondisi regular yaitu $1{,}17 \times 10^{-3}$, sedangkan kondisi irregular yaitu $1{,}31 \times 10^{-3}$. Dengan penambahan nilai ΔC_F, maka ekstrapolasi model scale menjadi full scale dapat dilihat pada tabel 4.11 untuk kondisi regular roughness dan tabel 4.12 untuk kondisi irregular roughness.

Tabel 4.11 Total Resistance pada Kondisi Regular Roughness (Full Scale)

No	***Full Scale (Regular Roughness)***					
	Fr	***V (m/s)***	***C_T (10^{-3})***	***C_F (10^{-3})***	***R_T (kN)***	***Diff. (%)***
1	0,157	5,144	4,324	2,758	155,220	34,43
2	0,189	6,173	4,448	2,762	229,904	34,87
3	0,220	7,202	5,152	2,967	362,478	36,79
4	0,252	8,230	5,778	3,197	530,961	39,70
5	0,283	9,259	5,497	3,255	639,329	45,66

Tabel 4.12 Total Resistance pada Kondisi Irregular Roughness (Full Scale)

No	***Full Scale (Irregular Roughness)***					
	Fr	***V (m/s)***	***C_T (10^{-3})***	***C_F (10^{-3})***	***R_T (kN)***	***Diff. (%)***
1	0,157	5,144	4,202	2,235	150,811	30,61
2	0,189	6,173	4,441	2,356	229,570	34,67
3	0,220	7,202	5,050	2,165	355,298	34,08

4	0,252	8,230	5,698	2,716	523,575	37,76
5	0,283	9,259	5,411	2,868	629,230	43,36

Pada tabel 4.11 dan 4.12 menunjukkan kenaikan gaya hambat sebesar 36,79 % pada kecepatan servis kapal yang diakibatkan oleh peningkatan koefisen gesek sebesar 29,22 % pada kondisi regular roughness, sedangkan kenaikan gaya hambat hingga 34,08 % akibat peningkatan koefisien gesek hingga 18,04 % pada kondisi irregular roughness.

3.6.5.2 Pendekatan dengan Simulasi Full Viskositas

Pendekatan dengan simulasi full viskositas merupakan pendekatan simulasi yang penerapannya sama dengan pendekatan form faktor hughes yang kemudian diadaptasi oleh ITTC dengan memasukkan form effect kedalam proses perhitungan ekstrapolasi. Dasar pendekatan yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$C_T = (1+k)\, C_F + C_W \tag{5.4}$$

dimana

$$(1+k)\, C_F = C_V \tag{5.5}$$

Ekstrapolasi didasarkan pada hukum Froude, dimana

$$C_{Wm} = C_{Ws}$$

sehingga

$$C_{Ts} = C_{Tm} - (1+k) (C_{Fm} - C_{Fs}) \tag{5.6}$$

(1+k) adalah form factor yang bergantung pada bentuk lambung, C_F merupakan koefisien hambatan gesek, sedangkan C_V dan C_W merupakan koefisien viskous dan koefisien wave.

Form factor (1+k) tergantung dari bentuk lambung dan diperoleh dari pengujian model pada kecepatan rendah (low Fr), sehingga didapatkan nilai C_W mendekati nol. Dengan nilai C_W mendekati nol, maka nilai form factor dapat ditentukan dengan C_{Tm} / C_{Fm}.

Tabel 4.13, 4.14 dan 4.15 merupakan hasil ekstrapolasi dari model scale menjadi full scale dengan menggunakan pendekatan form factor Hughes pada kondisi smooth hull, regullar dan irregular roughness.

Tabel 4.13 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Smooth Hull

Model Scale						
No	***R_{Tm} (N)***	***C_{Tm} (10^{-3})***	***C_{Fm} (10^{-3})***	***C_{Vm} (10^{-3})***	***C_{Wm} (10^{-3})***	***(1+k)***
1	12,12	5,408	3,441	4,859	0,549	1,412
2	17,47	5,413	3,327	4,698	0,715	1,412
3	25,57	5,821	3,235	4,568	1,253	1,412
4	35,23	6,140	3,159	4,460	1,680	1,412
5	41,65	5,736	3,093	4,368	1,386	1,412
Full Scale						
No	***(1+k)***	***C_{Ws} (10^{-3})***	***C_{Vs} (10^{-3})***	***C_{Fs} (10^{-3})***	***C_{Ts} (10^{-3})***	***R_T (kN)***
1	1,412	0,549	2,330	1,650	2,879	103,344
2	1,412	0,715	2,276	1,612	2,991	154,617
3	1,412	1,253	2,232	1,581	3,485	245,171
4	1,412	1,680	2,195	1,555	3,875	356,093
5	1,412	1,386	2,163	1,532	3,531	410,629

Tabel 4.14 dan 4.15, form factor (1+k) diasumsikan sama dengan form factor pada kondisi smooth hull. Sedangkan untuk nilai koefisien hambatan gesek C_F ada penambahan nilai ΔC_F berdasarkan pemodelan sand grain atau permukaan yang dikasarkan di sepanjang mnodel kapal seperti pada tabel 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.14 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Regular Roughness

Model Scale						
No	***R_{Tm} (N)***	***C_{Tm} (10^{-3})***	***C_{Fm} (10^{-3})***	***C_{Vm} (10^{-3})***	***C_{Wm} (10^{-3})***	***(1+k)***
1	14,49	6,465	4,498	6,352	0,114	1,412
2	21,02	6,513	4,427	6,251	0,262	1,412
3	31,44	7,157	4,571	6,454	0,703	1,412
4	44,37	7,733	4,751	6708	1,024	1,412
5	53,80	7,409	4,767	6,730	0,679	1,412
Full Scale						
No	***C_{Ws} (10^{-3})***	***C_{Vs} (10^{-3})***	***C_{Fs} (10^{-3})***	***C_{Ts} (10^{-3})***	***R_{Ts} (kN)***	***Diff (%)***
1	0,114	3,894	2,758	4,007	143,835	39,18
2	0,262	3,900	2,762	4,162	215,122	39,13
3	0,703	4,189	2,967	4,891	344,118	40,36
4	1,024	4,514	3,197	5,538	508,883	42,91
5	0,679	4,596	3,255	5,275	613,429	49,39

Tabel 4.15 Ekstrapolasi Model Scale - Full Scale pada Kondisi Irregular Roughness

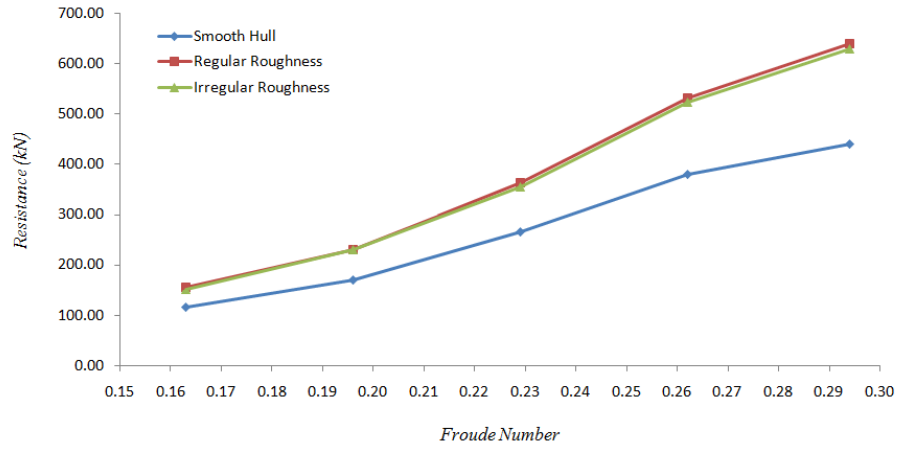
Model Scale						
No	R_{Tm} ***(N)***	C_{Tm} (10^{-3})	C_{Fm} (10^{-3})	C_{Vm} (10^{-3})	C_{Wm} (10^{-3})	***(1+k)***
1	13,39	5,992	4,026	5,684	0,309	1,412
2	19,81	6,157	4,071	5,748	0,409	1,412
3	28,05	6,405	3,819	5,392	1,012	1,412
4	41,77	7,302	4,321	6,100	1,202	1,412
5	51,20	7,072	4,430	6,255	0,817	1,412
Full Scale						
No	C_{Ws} (10^{-3})	C_{Vs} (10^{-3})	C_{Fs} (10^{-3})	C_{Ts} (10^{-3})	R_{Ts} ***(kN)***	***Diff (%)***
1	0,309	3,155	2,235	3,464	124,329	20,31
2	0,409	3,326	2,356	3,735	193,049	24,86
3	1,012	3,056	2,165	4,069	286,242	16,75
4	1,202	3,835	2,716	5,037	462,848	29,98
5	0,817	4,050	2,868	4,867	566,046	37,85

Tabel 4.14 dan 4.15 menunjukkan adanya perbedaan atau selisih nilai hambatan total pada full scale antara pendekatan Froude dengan pendekatan form factor Hughes. Perbedaan atau selisih nilai hambatan total ini diakibatkan karena model tidak di-run pada Re kapal yang sesuai, dimana model memiliki Re yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapal dengan full scale, sehingga menimbulkan konsekuensi seperti nilai C_F pada model yang lebih tinggi daripada C_F full scale yang dapat mengakibatkan kelebihan estimasi (overestimate) terhadap power pada kapal-kapal yang berukuran besar.

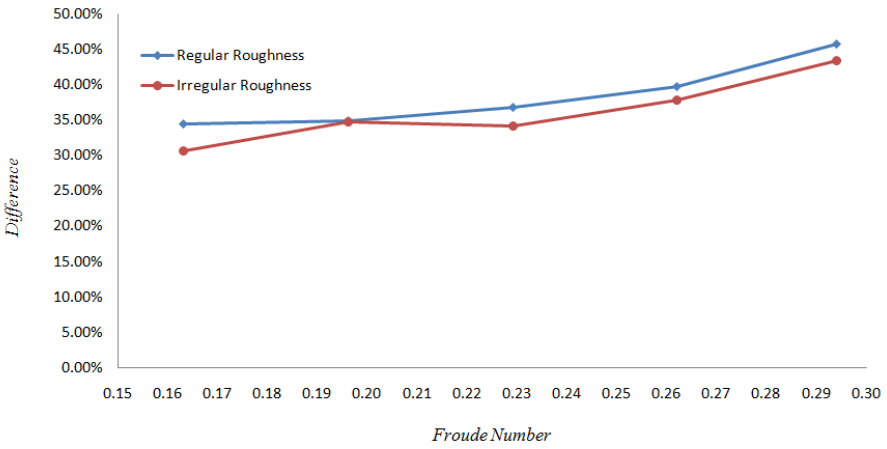
Pada tabel 4.14 dan 4.15 ditunjukkan kenaikan gaya hambat sebesar 40,36 % pada kecepatan servis kapal yang diakibatkan oleh peningkatan koefisen

gesek hingga 29,22 % pada kondisi regular roughness, sedangkan kenaikan gaya hambat sebesar 16,75 % akibat peningkatan koefisien gesek hingga 18,04 % pada kondisi irregular roughness.

Gambar 4.17 merupakan grafik perbedaan total resistance yang bekerja pada kapal full scale pada kondisi smooth hull, regular roughness dan irregular roughness untuk hasil simulasi CFD, sedangkan gambar 4.18 merupakan selisih antara total resistance antara kondisi regular dan irregular roughness.



Gambar 4.17 Perbandingan Total Resistance Smooth Surface, Regular Roughness, dan Irregular Roughness



Gambar 4.18 Perbandingan Total Resistance Regular Roughness dan Irregular Roughness

Dari gambar 4.17 dan 4.18, terdapat perbedaan nilai dari total resistance antara regular roughness dan irregular roughness. Selisih tersebut dikarenakan perbedaan pemodelan kekasaran disepanjang permukaan model.

3.6.6 Komparasi Hasil Simulasi berdasarkan Hasil Eksperiment Towing Tank

Simulasi CFD merupakan sebuah tool yang digunakan untuk memprediksi, sehingga dibutuhkan data validasi untuk mengetahui tingkat keakurasian suatu simulasi. Data simulasi yang digunakan untuk validasi data yaitu data hasil eksperiment dari towing tank.

Table 4.16, 4.17 dan 4.18 menunjukkan data hasil eksperiment towing tank pada model dengan skala perbandingan 1 : 53,03. Model di*running* pada kondisi smooth surface, regular roughness dan irregular roughness dengan hasil ekstrapolasinya menjadi full scale dengan parameter model yang sama dengan parameter model yang disimulasikan melalui bantuan CFD.

Tabel 4.16 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Smooth Surface

No	***Model Scale (Smooth Surface)***					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T ***(N)***
1	0,157	0,706	5,374	4,257	1,117	1,26
2	0,189	0,848	5,225	4,101	1,124	1,76
3	0,220	0,989	5,484	3,975	1,508	2,52
4	0,252	1,130	5,878	3,871	2,007	3,52
5	0,283	1,272	5,308	3,783	1,525	4,02
Full Scale (Smooth Surface)						
No	***Fr***	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T ***(kN)***
1	0,157	5,14	3,154	1,637	1,117	112,906

2	0,189	6,17	3,123	1,599	1,124	161,001
3	0,220	7,20	3,477	1,568	1,508	243,948
4	0,252	8,23	3,949	1,543	2,007	361,902
5	0,283	9,26	3,445	1,520	1,525	399,563

Tabel 4.17 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Regular Roughness

No	***Model Scale (Regular Roughness)***					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T (N)
1	0,157	0,706	6,619	5,502	1,117	1,55
2	0,189	0,848	6,899	5,775	1,124	2,32
3	0,220	0,989	6,758	5,250	1,508	3,10
4	0,252	1,130	6,894	4,887	2,007	4,13
5	0,283	1,272	6,805	5,280	1,525	5,16
Full Scale (Regular Roughness)						
No	***Fr***	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T (kN)
1	0,157	5,14	4,399	2,882	1,117	157,465
2	0,189	6,17	4,797	3,273	1,124	247,302
3	0,220	7,20	4,751	2,843	1,508	333,366
4	0,252	8,23	4,965	2,558	2,007	454,975
5	0,283	9,26	4,942	3,018	1,525	573,243

Tabel 4.18 Data Hasil Eksperiment Towing Tank kondisi Irregular Roughness

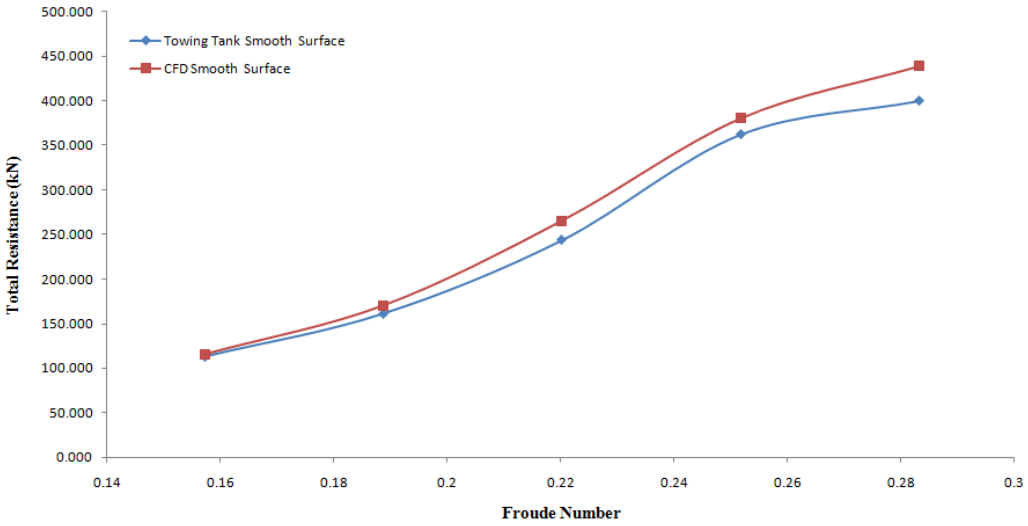
No	***Model Scale (Irregular Roughness)***					
	Fr	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T *(N)*
1	0,157	0,706	8,149	7,032	1,117	1,91
2	0,189	0,848	7,277	6,153	1,124	2,45
3	0,220	0,989	7,122	5,613	1,508	3,27
4	0,252	1,130	7,732	5,725	2,007	4,63
5	0,283	1,272	7,906	6,381	1,525	5,99
Full Scale (Irregular Roughness)						
No	***Fr***	***V (m/s)***	C_T (10^{-3})	C_F (10^{-3})	C_R (10^{-3})	R_T *(kN)*
1	0,157	5,14	5,929	4,412	1,117	212,236
2	0,189	6,17	5,176	3,652	1,124	266,810
3	0,220	7,20	5,115	3,206	1,508	358,876
4	0,252	8,23	5,803	3,396	2,007	531,804
5	0,283	9,26	6,043	4,119	1,525	700,941

Berdasarkan hasil ekstrapolasi dari tabel 4.16, 4.17 dan 4.18, terdapat selisih antara hasil dari hambatan total yang disimulasikan oleh CFD yang ditunjukkan oleh tabel 4.10, 4.11 dan 4.12 dengan hasil *running* dari *Towing Tank*. Secara singkat, selisih antara ekstrapolasi simulasi CFD dengan eksperiment towing tank dapat dilihat pada tabel 4.19, 4.20, dan 4.21.

Tabel 4.19 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Smooth Surface

No	*Smooth Surface (Full Scale)*				
	Fr	C_F		*Selisih (%)*	*Keterangan Tambahan*
		Towing Tank (10^{-3})	*CFD (10^{-3})*		
1	0,157	1,637	1,650	0,792	CFD >
2	0,189	1,599	1,612	0,805	CFD >
3	0,220	1,568	1,581	0,810	CFD >
4	0,252	1,543	1,555	0,741	CFD >
5	0,283	1,520	1,532	0,775	CFD >
No	*Fr*	R_T		*Selisih (%)*	*Keterangan Tambahan*
		Towing Tank (10^{-3})	*CFD (10^{-3})*		
1	0,157	112,906	115,468	2,224	CFD >
2	0,189	161,001	170,464	5,551	CFD >
3	0,220	243,948	264,981	7,937	CFD >
4	0,252	361,902	380,064	4,779	CFD >
5	0,283	399,563	438,924	8,968	CFD >

Tabel 4.19 merupakan perbedaan koefisien hambatan gesek dan hambatan total antara hasil pengujian towing tank dengan CFD pada kondisi smooth surface. Secara detail, Gambar 4.19 menujukkan selisih hambatan total pada skala penuh atau full scale



Gambar 4.19 Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Smooth Surface

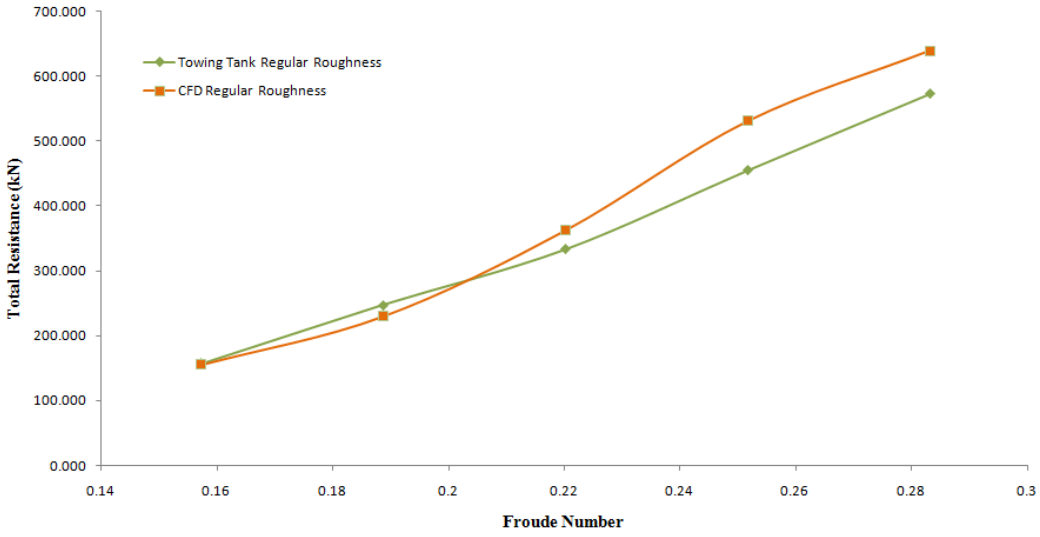
Gambar 4.19 menampilkan selisih hambatan total yang menunjukkan simulasi CFD memiliki nilai yang lebih besar daripada pengujian towing tank dengan selisih rata-rata dibawah 10 %.

Tabel 4.20 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Regular Roughness

No	***Regular Roughness (Full Scale)***				
	Fr	***C_F***		***Selisih (%)***	***Keterangan Tambahan***
		Towing Tank (10^{-3})	***CFD (10^{-3})***		
1	0,157	2,882	2,758	4,513	CFD <
2	0,189	3,273	2,762	18,503	CFD <
3	0,220	2,843	2,967	4,168	CFD >
4	0,252	2,558	3,197	19,98	CFD >
5	0,283	3,018	3,255	7,283	CFD >

No	Fr	R_T		Selisih (%)	Keterangan Tambahan
		Towing Tank (10^{-3})	CFD (10^{-3})		
1	0,157	157,465	155,220	1,446	CFD <
2	0,189	247,302	229,904	7,568	CFD <
3	0,220	333,366	362,478	8,031	CFD >
4	0,252	454,975	530,961	14,311	CFD >
5	0,283	573,243	639,329	10,337	CFD >

Tabel 4.20 merupakan perbedaan koefisien hambatan gesek dan hambatan total antara hasil pengujian towing tank dengan CFD pada kondisi regular roughness.

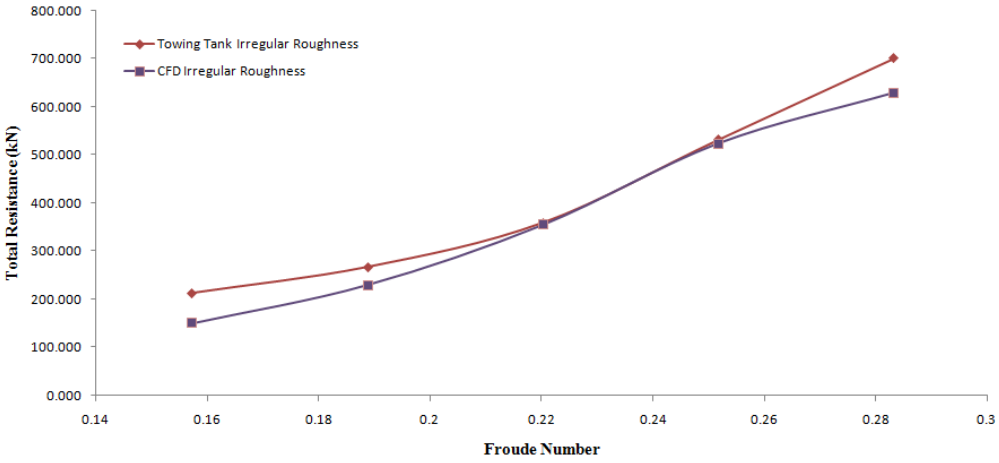


Gambar 4.20 Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Regular Roughness

Gambar 4.20 menampilkan selisih total resistance pada kondisi regular roughness. Pada Gambar 4.20 terlihat pada *Froude Number* tertentu nilai hasil simulasi CFD lebih kecil daripada hasil pengujian towing tank.

Tabel 4.21 Selisih antara Simulasi CFD dengan Eksperiment Towing Tank pada Kondisi Irregular Roughness

No	***Irregular Roughness (Full Scale)***				
	Fr	***C_F***		***Selisih (%)***	***Keterangan Tambahan***
		Towing Tank (10^{-3})	***CFD (10^{-3})***		
1	0,157	4,412	2,235	49,349	CFD <
2	0,189	3,652	2,356	35,501	CFD <
3	0,220	3,206	2,165	32,483	CFD <
4	0,252	3,396	2,716	20,015	CFD <
5	0,283	4,119	2,868	30,366	CFD <
No	***Fr***	***R_T***		***Selisih (%)***	***Keterangan Tambahan***
		Towing Tank (10^{-3})	***CFD (10^{-3})***		
1	0,157	212,236	150,811	28,942	CFD <
2	0,189	266,810	229,570	13,957	CFD <
3	0,220	358,876	355,298	0,963	CFD <
4	0,252	531,804	523,575	1,547	CFD <
5	0,283	700,941	629,230	10,231	CFD <



Gambar 4.21 Perbandingan Total Resistance CFD dan Towing Tank pada Kondisi Irregular Roughness

Pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.21 menyajikan selisih total resistance antara pengujian CFD dengan pengujian towing tank untuk kondisi irregular roughness. Pada kondisi irregular roughness ini, rata-rata hasil pengujian simulasi CFD memiliki nilai yang lebih kecil dari pada pengujian towing tank.

Selisih antara pengujian simulasi dan pengujian secara eksperimen merupakan hal yang wajar dan akan selalu dijumpai. Tabel 4.19, 4.20, dan 4.21 menunjukkan selisih yang cukup signifikan antara pengujian CFD dengan pengujian towing tank. Perbedaan yang paling mendasar antara pengujian towing tank dan CFD yaitu dalam memprediksi nilai koefisien hambatan gesek. Dalam percobaan eksperiment atau pengujian Towing Tank, koefisien hambatan gesek ditentukan dengan pendekataan ITTC. Berbeda dengan pendekatan yang dilakukan oleh CFD. Dalam CFD code CFX, pendekatan terhadap hambatan gesek yang bekerja pada model yang disimulasikan yaitu dengan mengintegralkan area pada *wall shear* pada arah x atau searah dengan aliran fluida (Banks et al, 2010).

L A M P I R A N

Halaman ini sengaja dikosongkan

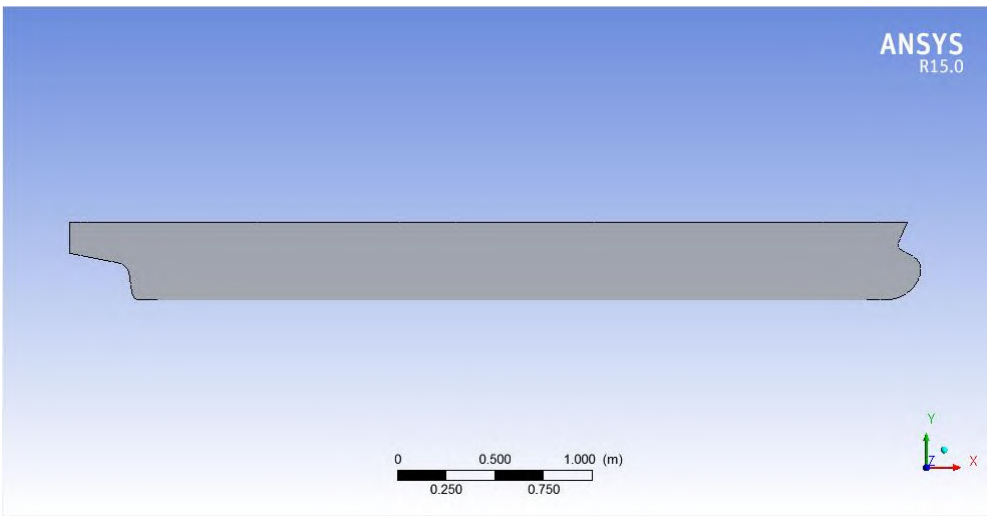
Lampiran 1

***Konfigurasi Settingan CFX* Kondisi Smooth Surface**

Konfigurasi settingan pada *pre-processing* untuk simulasi CFD pada kondisi Smooth Surface.

- Model

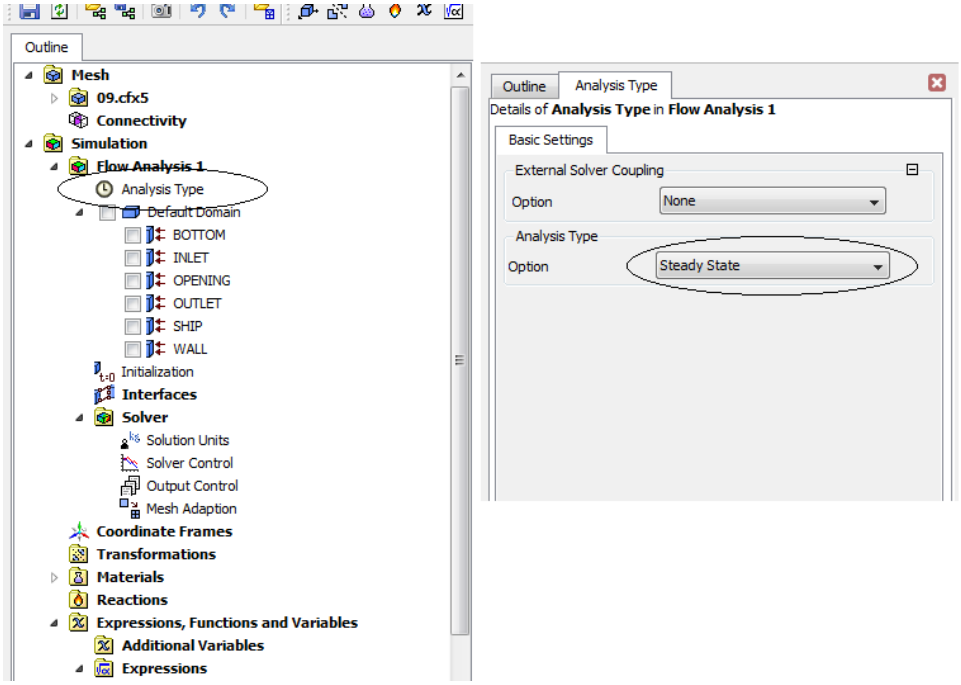
  Model kapal dibuat satu kesatuan tanpa adanya pembagian zona.



Model Scale untuk Kondisi Smooth Surface

- Analysis Type

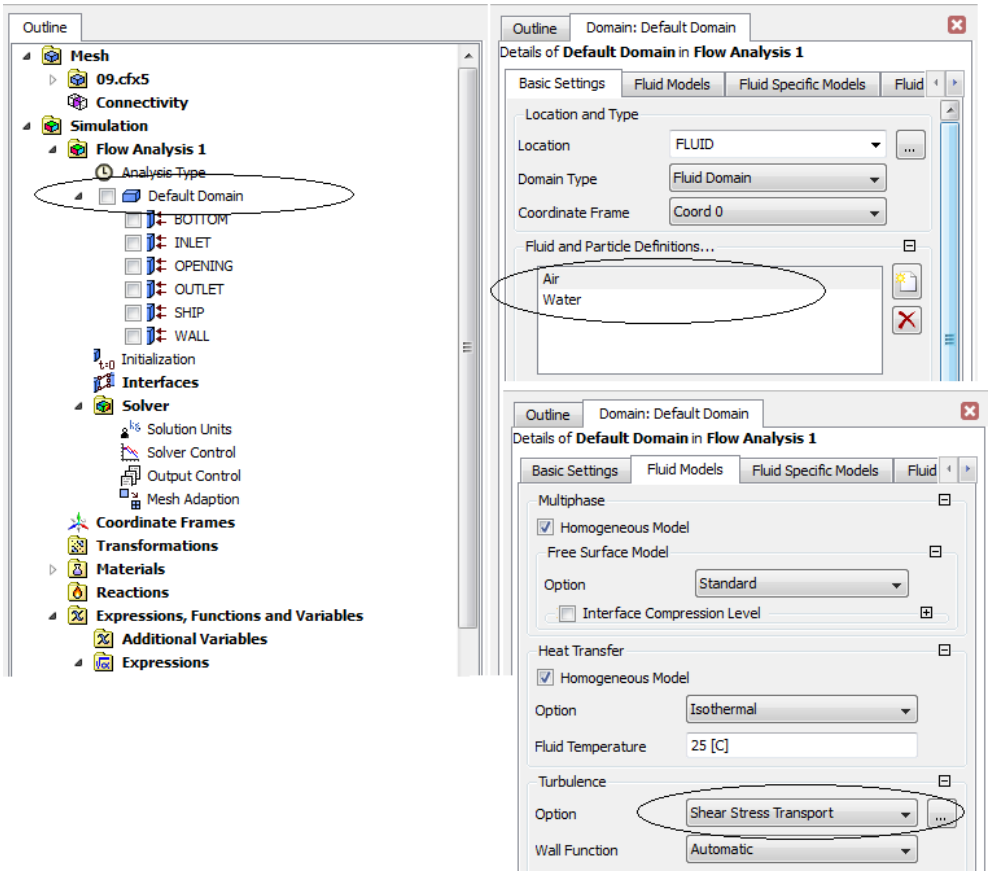
  Analysis type menggunakan stady state, dimana pengaruh terhadap perubahan waktu diabaikan



Analysis Type Steady State

- Domain

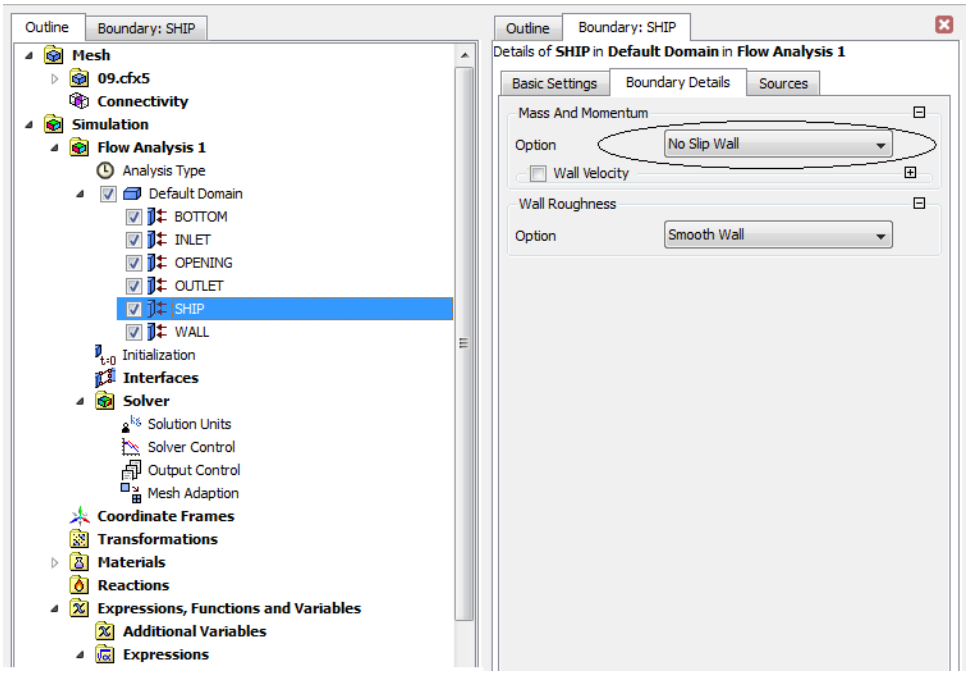
  Didalam default domain akan dimodelkan bahwa fluida yang melewati boundary terdiri dari dua fluida yang berbeda yaitu air dan udara. Pada pengaturan default domain ini juga settingan turbulence model diatur, dalam penilitian ini yaitu SST k-omega



Domain Setting

- Boundary

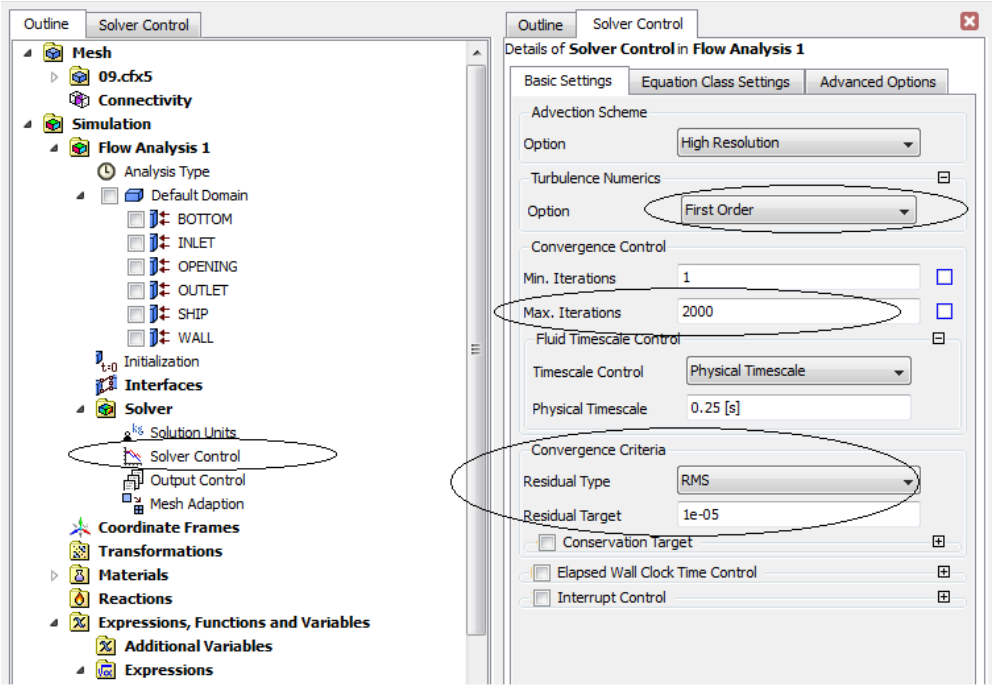
  Pada boundary condition ini diatur kecepatan aliran fluida, kondisi turbulen, dan kekasaran permukaan pada lambung kapal. Untuk kondisi smooth surface, kekasaran diabaikan. Boundary Condition untuk model kapal yaitu *No Slip Wall*.



Boundary Setting untuk model smooth surface

- Solver

  Solver setting merupakan tahapan yang dilakukan untuk menetukan kontrol terhadap konvergensi, menentukan jumlah iterasi, skema numerik, dan monitor point.



Solver Control Setting

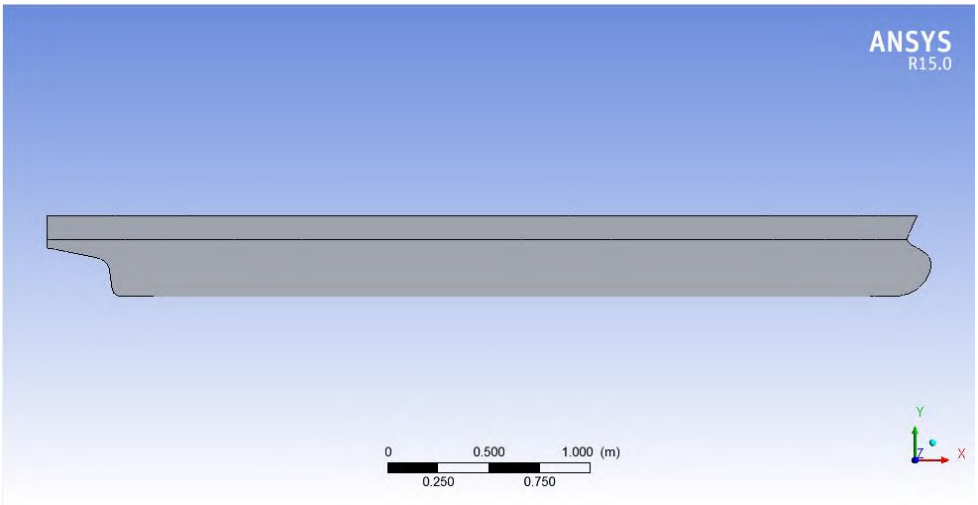
Lampiran 2

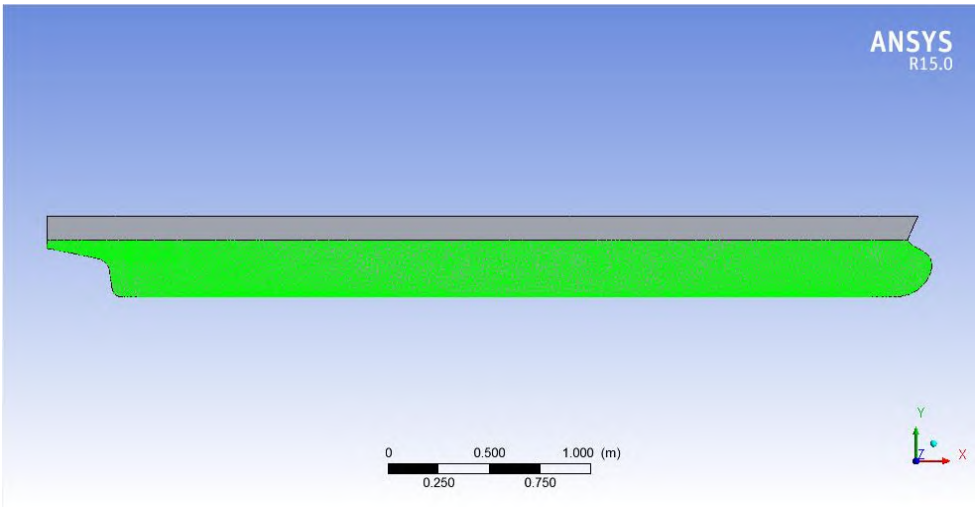
***Konfigurasi Settingan* Kondisi Regular Roughness**

Konfigurasi settingan pada *pre-processing* untuk simulasi CFD pada kondisi Smooth Surface pada dasarnya konfigurasi settingan pada kondisi regular roughness ini sama dengan konfigurasi settingan pada kondisi smooth surface yang membedakan hanyalah pada bagian pemodelan 3D. Pada kondisi regular roughness model dibagi menjadi dua part yaitu part diatas garis air yang tidak mengalami pertumbuhan biofouling dan part dibagian bawah air yang mengalami pertumbuhan biofouling.

- Model

  Model kapal dibuat dibagi menjadi dua zona atau part untuk mengkondisikan model yang berada dibawah garis air memiliki kekasaran dengan nilai tertentu dan model yang berada diatas garis air dengan kondisi tanpa kekasaran.

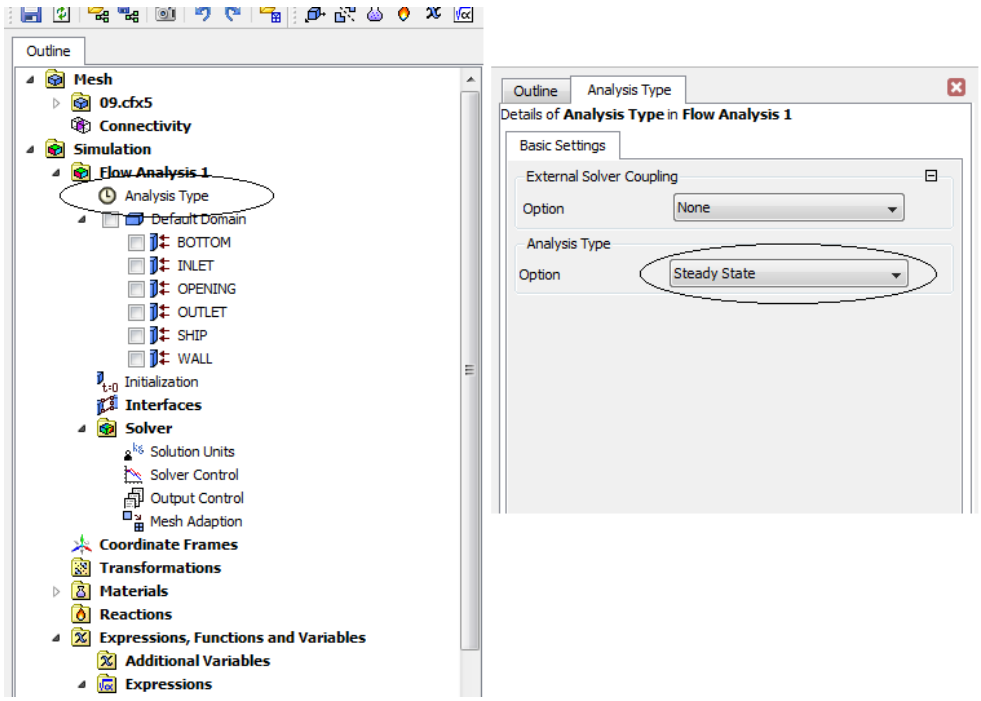




Model Scale untuk kondisi Regular Roughness

- Analysis Type

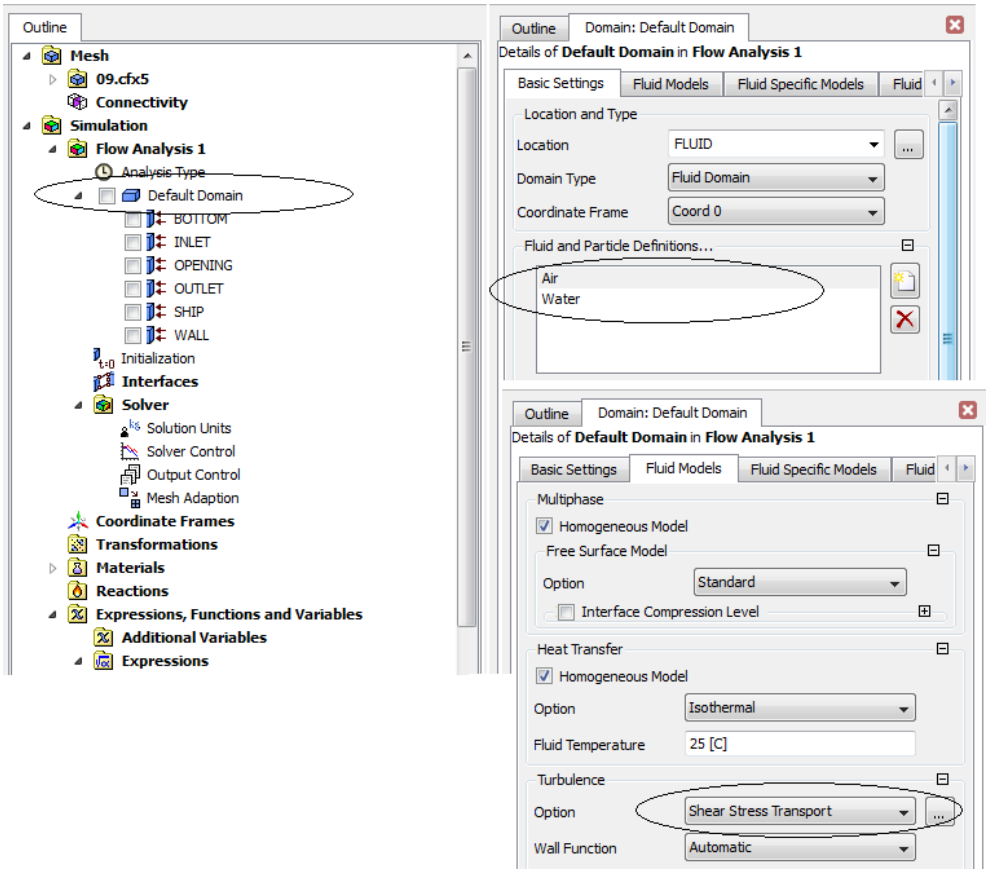
  Analysis type menggunakan stady state seperti pada kondisi smooth surface, dimana pengaruh terhadap perubahan waktu diabaikan



Analysis Type

- Domain

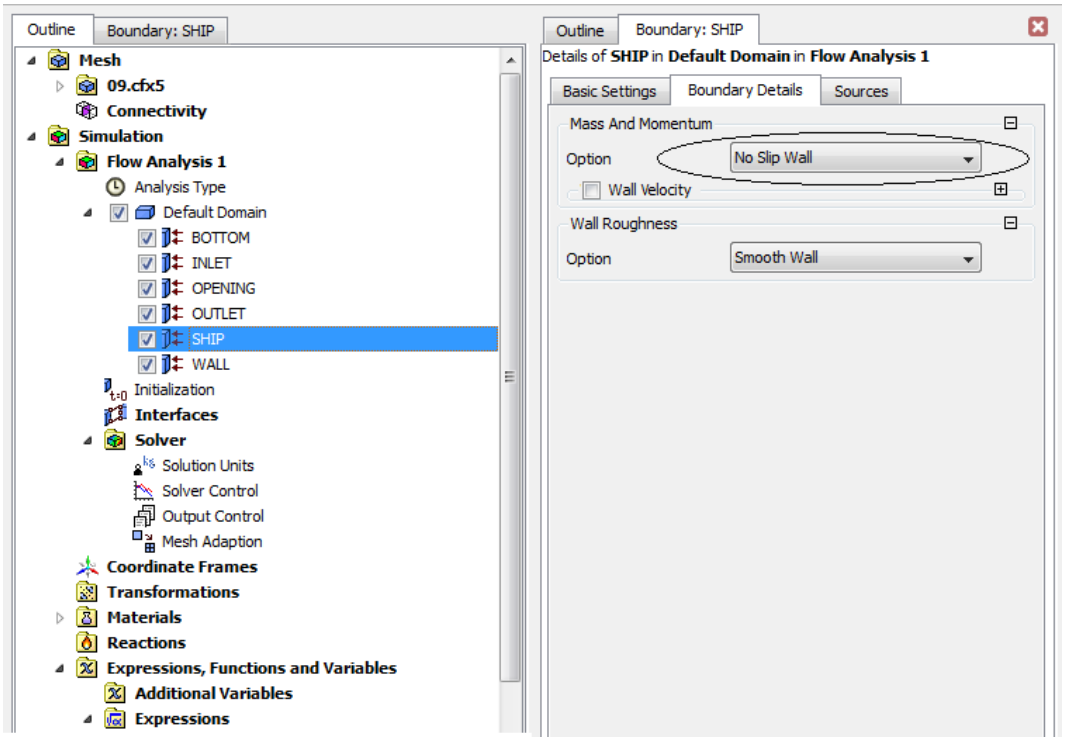
  Didalam default domain akan dimodelkan bahwa fluida yang melewati boundary terdiri dari dua fluida yang berbeda yaitu air dan udara. Pada pengaturan default domain ini juga settingan turbulence model diatur, dalam penilitian ini yaitu SST k-omega



Domain Setting

- Boundary

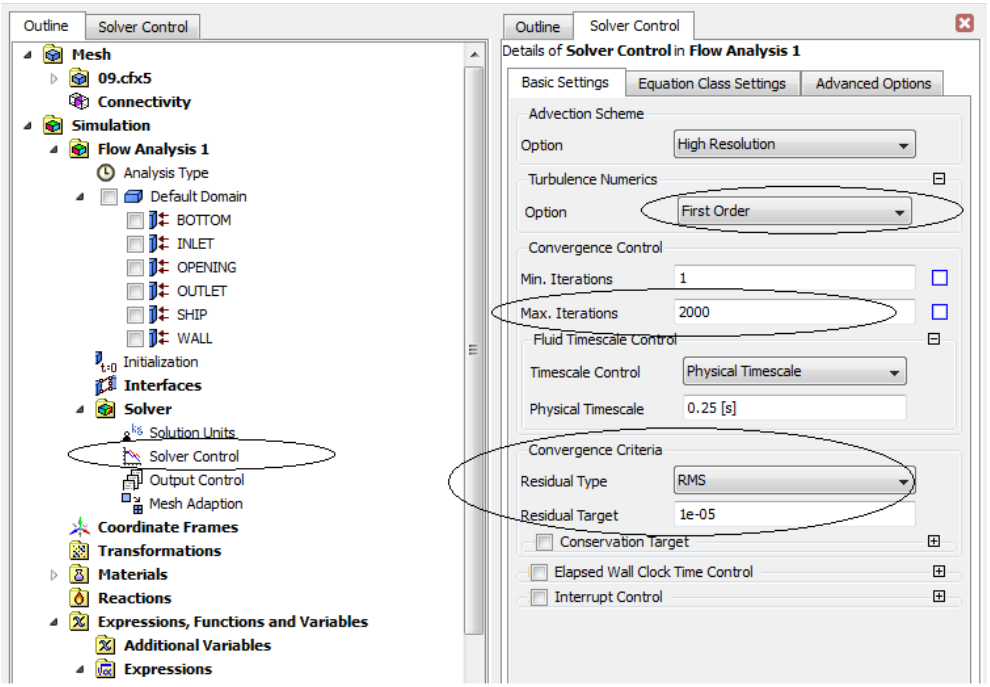
  Pada boundary condition ini diatur kecepatan aliran fluida, kondisi turbulen, dan kekasaran permukaan pada lambung kapal. Pada kondisi regular roughness, *wall roughness option* disetting sebagai permukaan yang kasar dengan ketinggian kekasaran tertentu.



Boundary Setting

- Solver

  Solver setting merupakan tahapan yang dilakukan untuk menetukan kontrol terhadap konvergensi, menentukan jumlah iterasi, skema numerik, dan monitor point.



Solver Control Setting

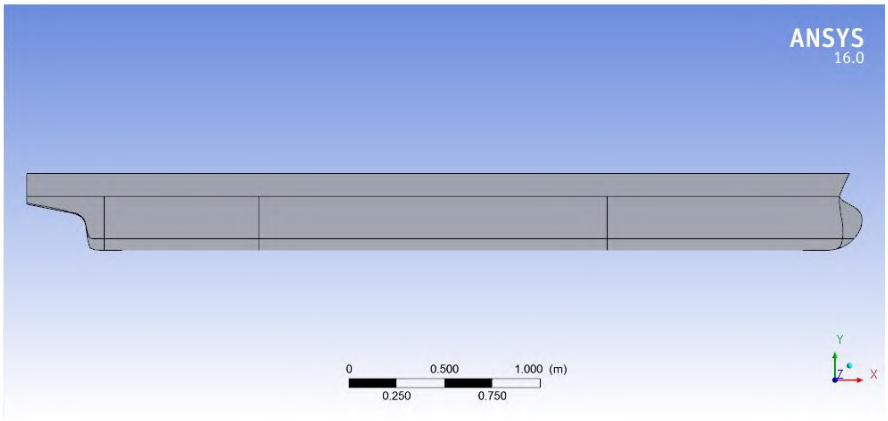
Lampiran 3

***Konfigurasi Settingan* Kondisi Irregular Roughness**

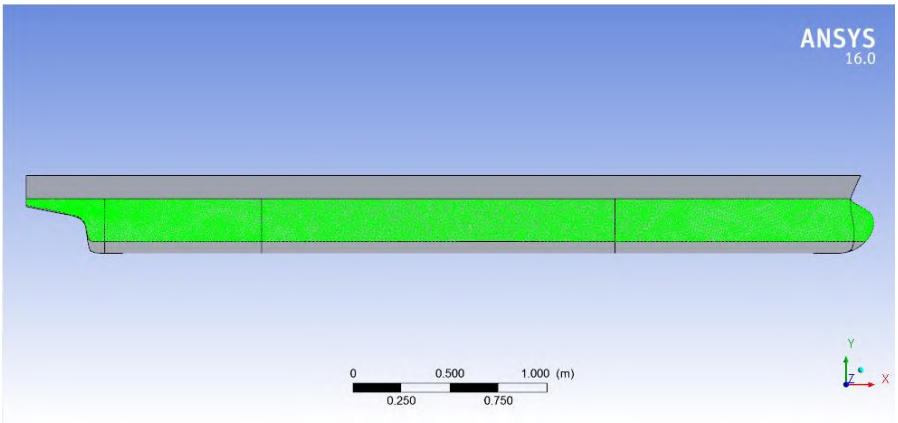
Konfigurasi settingan pada *pre-processing* untuk simulasi CFD pada kondisi Irregular roughness memiliki konfigurasi yang sama dengan kondisi regular roughness. Untuk pemodelan pada Irregular roughness, bagian kapal dibawah garis air dibagi menjadi tiga zona, dimana masing-masing zona dibagi lagi menjadi dua part untuk membedakan bagian sisi kapal dan bagian bottom kapal.

- Model

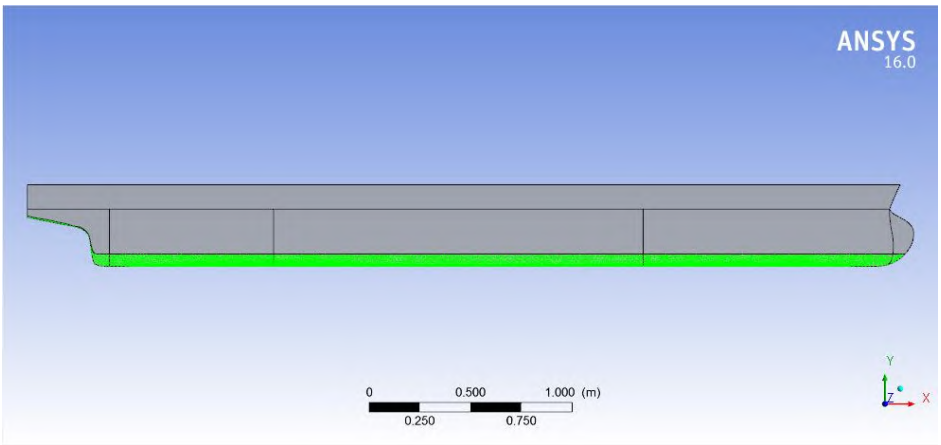
  Model kapal dibuat dengan pembagian zona. Dimana model kapal dibagi menjadi tiga zona atau part, masing-masing part terdiri dari bagian sisi dan bagian bottom. Pembagian part ini dimaksudkan agar pemodelan kekasaran yang tidak merata dapat diaplikasikan.



Model Scale dengan pembagian part (3 zona)



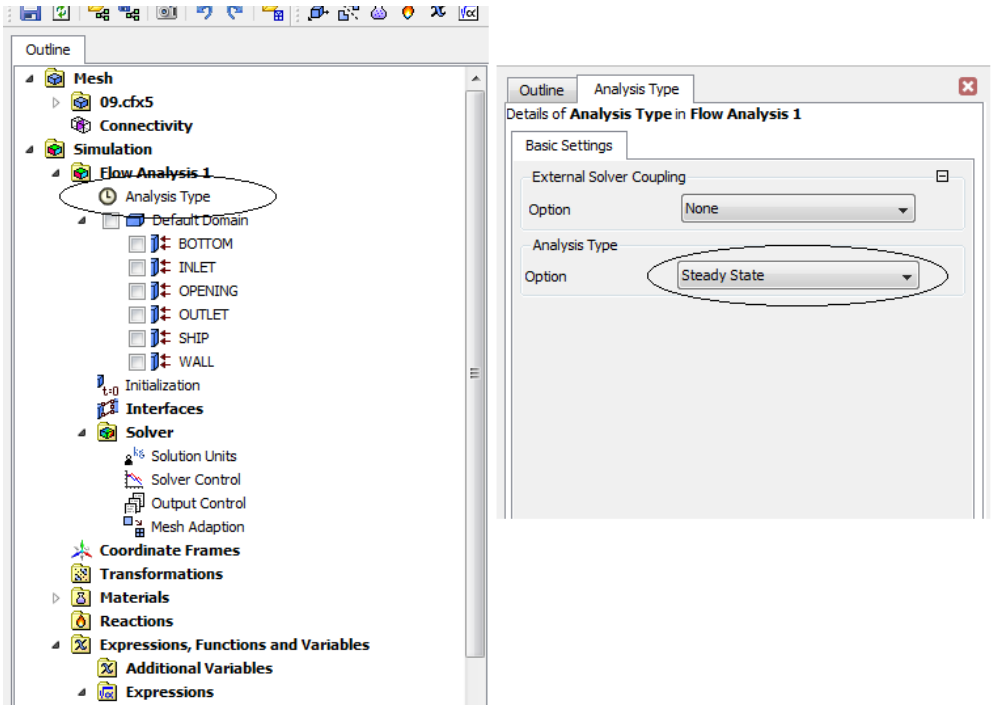
Bagian Sisi dari tiap-tiap part



Bagian Bottom dari tiap-tiap part

- Analysis Type

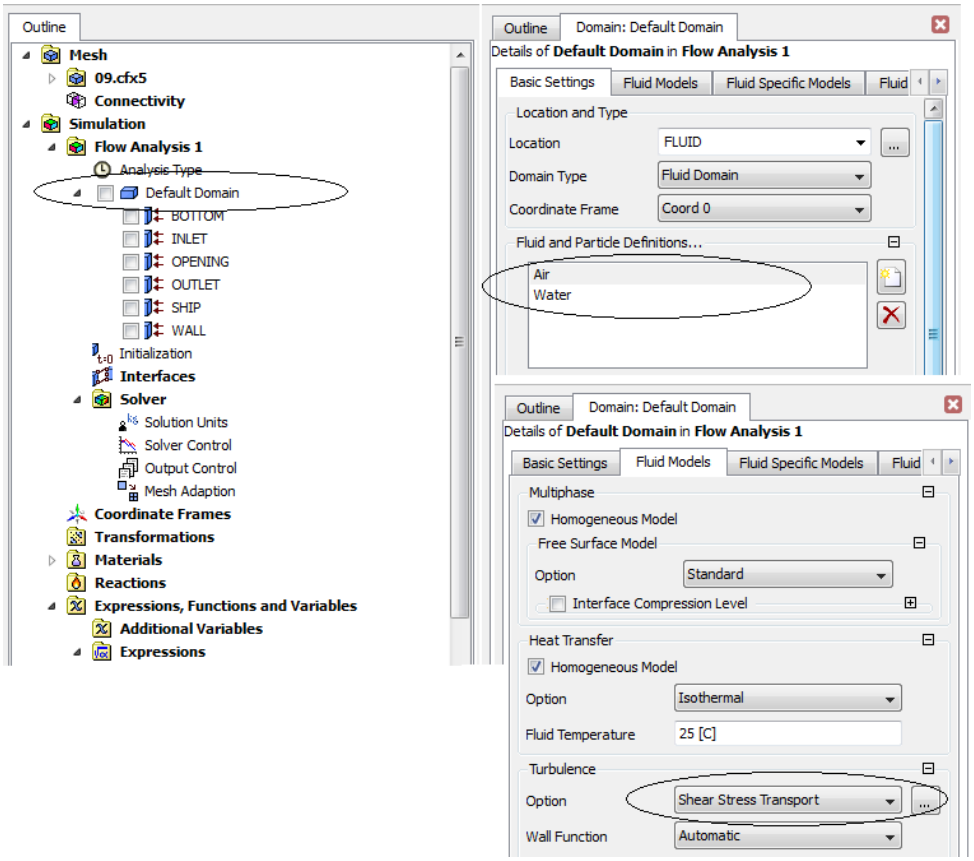
  Analysis type menggunakan stady state, dimana pengaruh terhadap perubahan waktu diabaikan



Analysis Type Setting

- Domain

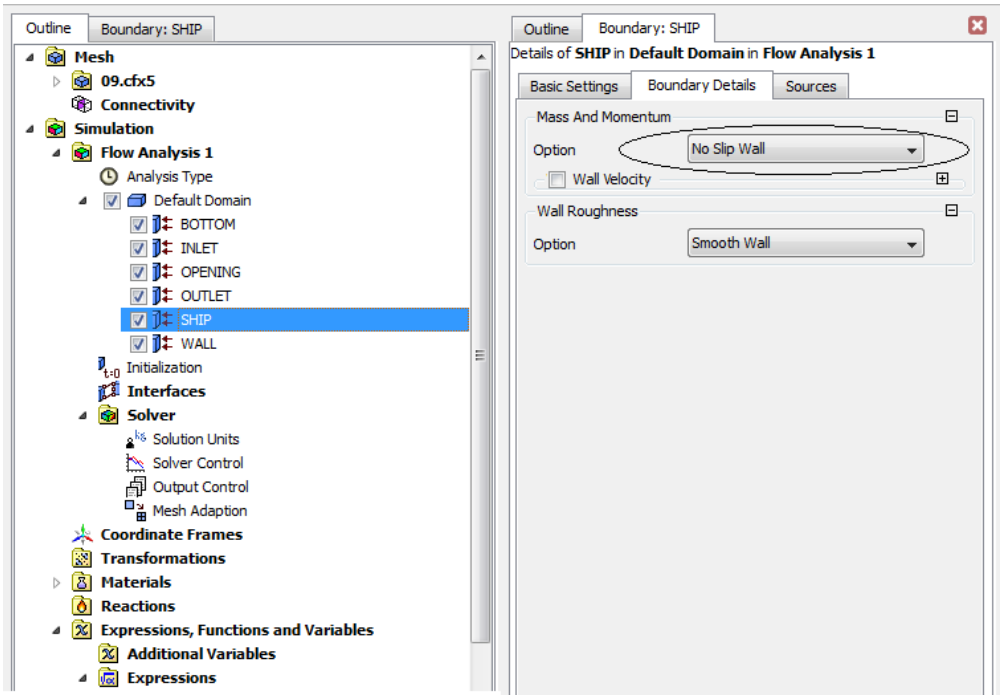
  Didalam default domain akan dimodelkan bahwa fluida yang melewati boundary terdiri dari dua fluida yang berbeda yaitu air dan udara. Pada pengaturan default domain ini juga settingan turbulence model diatur, dalam penilitian ini yaitu SST k-omega



Domain Setting

- Boundary

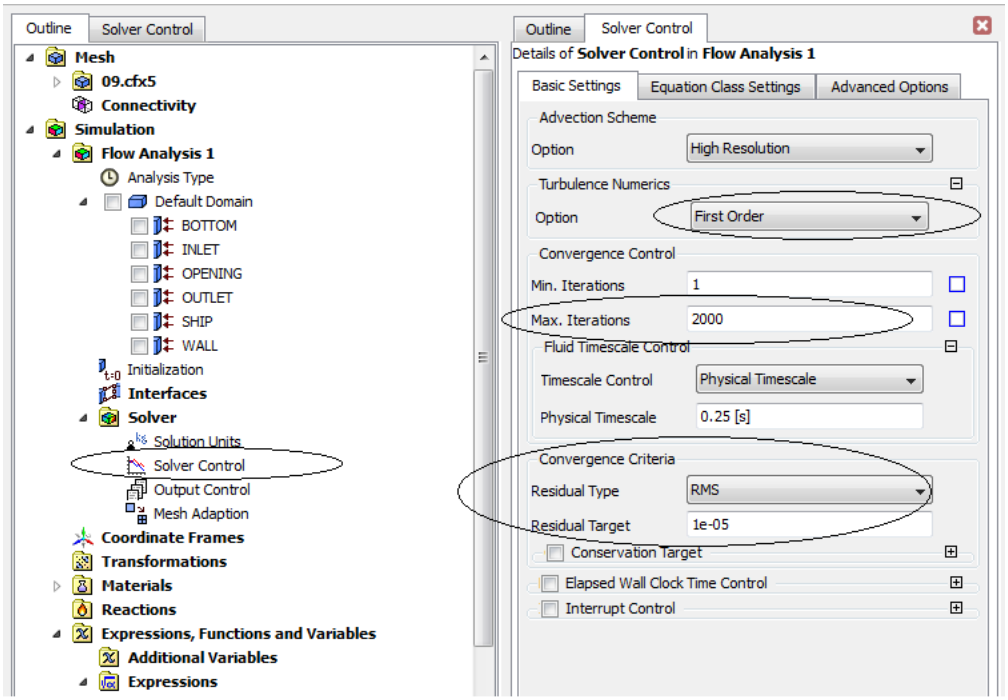
  Pada boundary condition ini diatur kecepatan aliran fluida, kondisi turbulen, dan kekasaran permukaan pada lambung kapal. Kondisi irregular roughness memiliki settingan yang sama dengan kondisi regular roughness, *wall roughness option* disetting sebagai permukaan yang kasar dengan ketinggian kekasaran tertentu.



Boundary Condition Setting

- Solver

  Solver setting merupakan tahapan yang dilakukan untuk menetukan kontrol terhadap konvergensi, skema numerik, dan monitor point.



Solver Control Setting

Lampiran 4

Tabel Perhitungan Ekstrapolasi Model menjadi Skala Penuh

Ekstrapolasi digunakan untuk menskalakan hasil pengujian dengan menggunakan model menjadi skala penuh. Ada dua cara ekstrapolasi yang dapat digunakan yaitu pendekatan berdasarkan Froude (1872) dan pendekatan yang digunakan oleh International Towing Tank Conference (ITTC) berdasarkan form factor Hughes (1954).

- Pendekatan Froude
  - Konsidi Smooth Surface

Particular Data

Type : General Cargo

Scale : 1 : 25

Dimension	Ship	Unit	Model	Unit
LOA	109.00	m	4.36	m
LWL	106.07	m	4.24	m
B	17.80	m	0.71	m
H	10.00	m	0.40	m
T	7.00	m	0.28	m
WSA	2646.84	m^2	4.23	m^2
Displacement	9603.00	ton	614.59	kg

Model								
No	**knot**	**V (m/s)**	**Rt (N)**	**Re (x10^6)**	**C_T**	**C_F**	**C_R**	**Fr**
3	10	1.029	12.12	4.6625.E+06	5.408.E-03	3.441.E-03	1.967.E-03	0.157
4	12	1.235	17.47	5.5950.E+06	5.413.E-03	3.327.E-03	2.086.E-03	0.189
5	14	1.440	25.57	6.5275.E+06	5.821.E-03	3.235.E-03	2.586.E-03	0.220
6	16	1.646	35.23	7.4601.E+06	6.140.E-03	3.159.E-03	2.982.E-03	0.252
7	18	1.852	41.65	8.3926.E+06	5.736.E-03	3.093.E-03	2.642.E-03	0.283

Kapal							
No	**V (m/s)**	**V (knot)**	**Rt (KN)**	**Pwr (EHP)**	**C_F**	**C_T**	**Re (x 10^6)**
3	1.029	10	115.468	796.511	1.650.E-03	3.217.E-03	5.52.E+08
4	1.235	12	170.464	1411.052	1.612.E-03	3.298.E-03	6.62.E+08
5	1.440	14	264.981	2559.010	1.581.E-03	3.766.E-03	7.73.E+08
6	1.646	16	380.064	4194.751	1.555.E-03	4.136.E-03	8.83.E+08
7	1.852	18	438.924	5449.940	1.532.E-03	3.774.E-03	9.93.E+08

- Penentuan Nilai ΔC_F untuk kondisi regular roughness

  Nilai ΔC_F merupakan perubahan nilai C_F karena penambahan kekasaran sehingga nilai C_F pada kondisi regular roughness merupakan hasil penjumlahan antara C_F pada kondisi smooth surface dengan nilai ΔC_F untuk kondisi regular roughness

Regular		
Ks	0.072	cm
	0.00072	m
Lmodel	4.36	m
ΔC_F	$(105*(ks / L)^{1/3}-0,64)*10^{-3}$	
	0.0051	
	0.001174	

- Kondisi Regular Roughness

Model								
No	**knot**	**V (m/s)**	**Rt (N)**	**Rn (x10^6)**	**C_T**	**C_F**	**C_R**	**Fn**
3	10	1.029	14.49	4.6625.E+06	6.465.E-03	4.498.E-03	1.967.E-03	0.1573
4	12	1.235	21.02	5.5950.E+06	6.513.E-03	4.427.E-03	2.086.E-03	0.1888
5	14	1.440	31.44	6.5275.E+06	7.157.E-03	4.571.E-03	2.586.E-03	0.2202
6	16	1.646	44.37	7.4601.E+06	7.733.E-03	4.751.E-03	2.982.E-03	0.2517
7	18	1.852	53.80	8.3926.E+06	7.409.E-03	4.767.E-03	2.642.E-03	0.2832

Kapal							
No	**V (m/s)**	**V (knot)**	**Rt (KN)**	**Pwr (EHP)**	**C_F**	**C_T**	**Rn (x 10^6)**
3	5.144	10	155.220	1070.722	2.758.E-03	4.324.E-03	5.52.E+08
4	6.173	12	229.904	1903.079	2.762.E-03	4.448.E-03	6.62.E+08
5	7.202	14	362.478	3500.575	2.967.E-03	5.152.E-03	7.73.E+08
6	8.230	16	530.961	5860.198	3.197.E-03	5.778.E-03	8.83.E+08
7	9.259	18	639.329	7938.282	3.255.E-03	5.497.E-03	9.93.E+08

- Penentuan Nilai ΔC_F untuk kondisi irregular roughness

  Nilai ΔC_F merupakan perubahan nilai C_F karena penambahan kekasaran sehingga nilai C_F pada kondisi irregular roughness merupakan hasil penjumlahan antara C_F pada kondisi smooth surface dengan nilai ΔC_F untuk kondisi irregu;ar roughness

Irregular		
Ks	0.097	cm
	0.00097	m
Lmodel	4.36	m
ΔC_F	$(105*(ks / L)^{1/3}-0,64)*10^{-3}$	
	0.0057	
	0.00131	

- Kondisi Irregular Roughness

Model								
No	**knot**	**V (m/s)**	**Rt (N)**	**Rn (x10^6)**	**C_T**	**C_F**	**C_R**	**Fn**
3	10	1.029	13.39	4.6625.E+06	5.992.E-03	4.026.E-03	1.967.E-03	0.1573
4	12	1.235	19.81	5.5950.E+06	6.157.E-03	4.071.E-03	2.086.E-03	0.1888
5	14	1.440	28.05	6.5275.E+06	6.405.E-03	3.819.E-03	2.586.E-03	0.2202
6	16	1.646	41.77	7.4601.E+06	7.302.E-03	4.321.E-03	2.982.E-03	0.2517
7	18	1.852	51.2	8.3926.E+06	7.072.E-03	4.430.E-03	2.642.E-03	0.2832

Kapal							
No	**V (m/s)**	**V (knot)**	**Rt (KN)**	**Pwr (EHP)**	**C_F**	**C_T**	**Rn (x 10^6)**
3	1.029	10	150.811	1040.309	2.235.E-03	4.202.E-03	5.89.E+08
4	1.235	12	229.570	1900.317	2.356.E-03	4.441.E-03	7.07.E+08
5	1.440	14	355.298	3431.235	2.165.E-03	5.050.E-03	8.24.E+08
6	1.646	16	523.575	5778.674	2.716.E-03	5.698.E-03	9.42.E+08
7	1.852	18	629.230	7812.887	2.868.E-03	5.411.E-03	1.06.E+09

- Persentase Perubahan Nilai Hambatan Kapal KOndisi Smooth Surface, Regular dan Irregular Roughness

Resistance							
No	Speed	Fn	Smooth Hull	Regular Roughness	Diff.	Irregular Roughness	Diff.
1	10	0.16	131.28	176.80	34.67%	164.26	25.12%
2	12	0.20	208.90	281.89	34.94%	278.61	33.37%
3	14	0.23	295.87	407.85	37.85%	404.42	36.69%
4	16	0.26	398.72	581.02	45.72%	594.92	49.21%
5	18	0.29	554.00	947.36	71.00%	920.41	66.14%

- Pendekatan dengan Simulasi Full Viskos
  - Kondisi Smooth Surface

	CT	CF	CR
Model	0.0054	0.0034	
	0.0057	0.0033	
	0.0058	0.0032	
	0.0059	0.0031	
	0.0063	0.0031	
Ship	0.0037	0.0016	
	0.0040	0.0016	
	0.0042	0.0016	
	0.0043	0.0015	
	0.0048	0.0015	

	C_{TM}	C_{FM}	C_{VM}	C_{WM}	(1+k)
Model	5.42.E-03	3.39.E-03	3.63.E-03	1.79.E-03	1.0703
	5.73.E-03	3.28.E-03	3.51.E-03	2.22.E-03	1.0703
	5.84.E-03	3.19.E-03	3.42.E-03	2.42.E-03	1.0703
	5.92.E-03	3.12.E-03	3.34.E-03	2.59.E-03	1.0703
	6.31.E-03	3.05.E-03	3.27.E-03	3.04.E-03	1.0703

	C_{TS}	C_{FS}	C_{VS}	C_{WS}	(1+k)	R_T
Ship	3.53.E-03	1.63.E-03	1.74.E-03	1.79.E-03	1.0703	126.823
	3.92.E-03	1.59.E-03	1.70.E-03	2.22.E-03	1.0703	202.748
	4.09.E-03	1.56.E-03	1.67.E-03	2.42.E-03	1.0703	287.792
	4.23.E-03	1.53.E-03	1.64.E-03	2.59.E-03	1.0703	388.487
	4.66.E-03	1.51.E-03	1.62.E-03	3.04.E-03	1.0703	541.39

SMOOTH HULL

- Kondisi Regular Roughness

	CT	CF	CR
Model	0.0073	0.0046	
	0.0077	0.0045	
	0.0080	0.0044	
	0.0085	0.0043	
	0.0103	0.0042	
Ship	0.0049	0.0022	
	0.0055	0.0022	
	0.0058	0.0022	
	0.0063	0.0021	
	0.0081	0.0021	

	C_{TM}	C_{FM}	C_{VM}	C_{WM}	(1+k)
Model	7.304.E-03	4.57.E-03	4.89.E-03	2.42.E-03	1.0703
	7.701.E-03	4.46.E-03	4.77.E-03	2.93.E-03	1.0703
	7.989.E-03	4.37.E-03	4.67.E-03	3.32.E-03	1.0703
	8.468.E-03	4.29.E-03	4.59.E-03	3.88.E-03	1.0703
	1.025.E-02	4.23.E-03	4.52.E-03	5.73.E-03	1.0703

	C_{TS}	C_{FS}	C_{VS}	C_{WS}	(1+k)	RT
Ship	4.76.E-03	2.19.E-03	2.34.E-03	2.42.E-03	1.0703	170.797
	5.30.E-03	2.21.E-03	2.36.E-03	2.93.E-03	1.0703	273.719
	5.64.E-03	2.17.E-03	2.33.E-03	3.32.E-03	1.0703	397.004
	6.17.E-03	2.15.E-03	2.30.E-03	3.88.E-03	1.0703	567.159
	7.998.E-03	2.12.E-03	2.27.E-03	5.73.E-03	1.0703	930.146

REGULAR ROUGHNESS

- Kondisi Irregular Roughness

	CT	CF	CR
Model	0.0070	0.0047	
	0.0077	0.0046	
	0.0080	0.0045	
	0.0087	0.0044	
	0.0101	0.0044	
Ship	0.0046	0.0023	
	0.0054	0.0023	
	0.0057	0.0022	
	0.0065	0.0022	
	0.0079	0.0022	

	C_{TM}	C_{FM}	C_{VM}	C_{WM}	(1+k)
Model	7.026.E-03	4.71.E-03	5.04.E-03	1.99.E-03	1.0703
	7.708.E-03	4.59.E-03	4.92.E-03	2.79.E-03	1.0703
	8.010.E-03	4.50.E-03	4.82.E-03	3.19.E-03	1.0703
	8.688.E-03	4.43.E-03	4.74.E-03	3.95.E-03	1.0703
	1.009.E-02	4.36.E-03	4.67.E-03	5.42.E-03	1.0703

	C_{TS}	C_{FS}	C_{VS}	C_{WS}	(1+k)	RT
Ship	4.40.E-03	2.26.E-03	2.41.E-03	1.99.E-03	1.0703	158.076
	5.23.E-03	2.28.E-03	2.44.E-03	2.79.E-03	1.0703	270.19
	5.59.E-03	2.24.E-03	2.40.E-03	3.19.E-03	1.0703	393.232
	6.32.E-03	2.21.E-03	2.37.E-03	3.95.E-03	1.0703	580.614
	7.76.E-03	2.19.E-03	2.35.E-03	5.42.E-03	1.0703	902.638

IRREGULAR ROUGHNESS

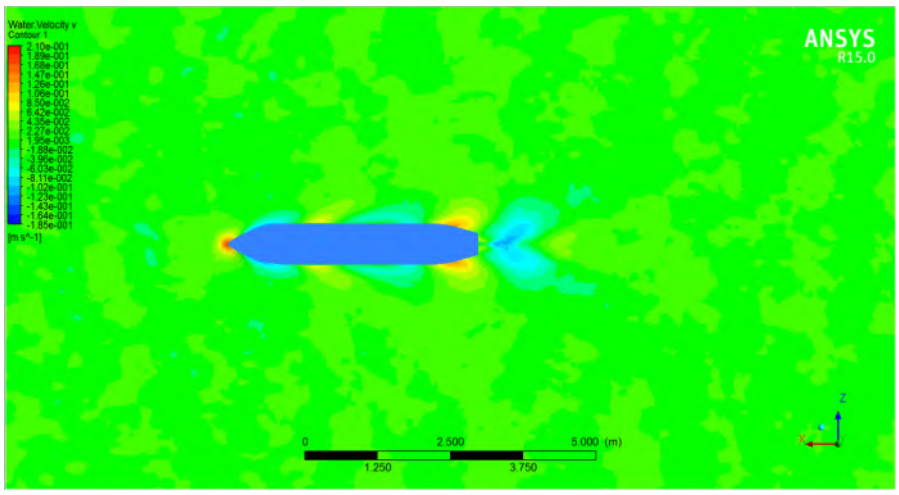
Lampiran 5

Hasil Simulasi CFD

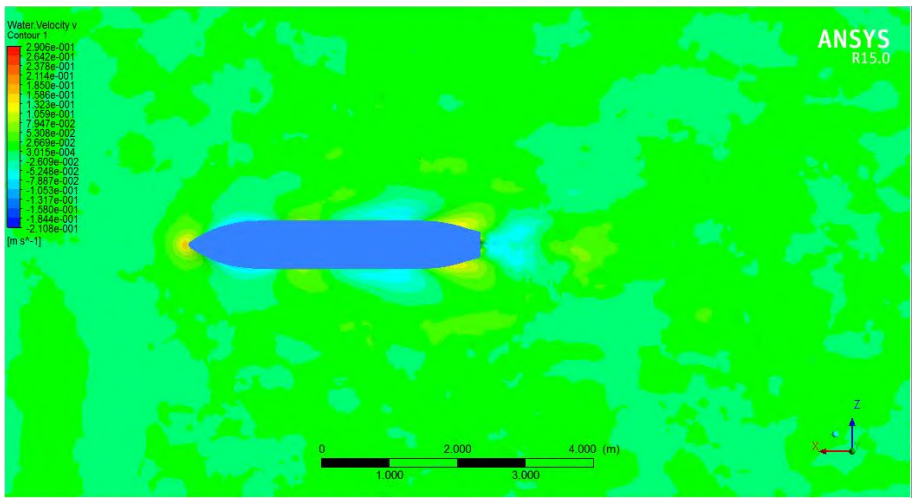
Salah satu kelebihan dari simulasi CFD yaitu kita mampu menampilkan kontur dari kecepatan aliran yang berada disekitar model ataupun fenomena-fenomena lainnya yang tidak mampu dihasilkan oleh pengujian secara eksperiment.

Hasil simulasi pada kondisi smooth surface, regular roughness dan irregular roughness pada Froude Number 0,22.

- Top view free surface

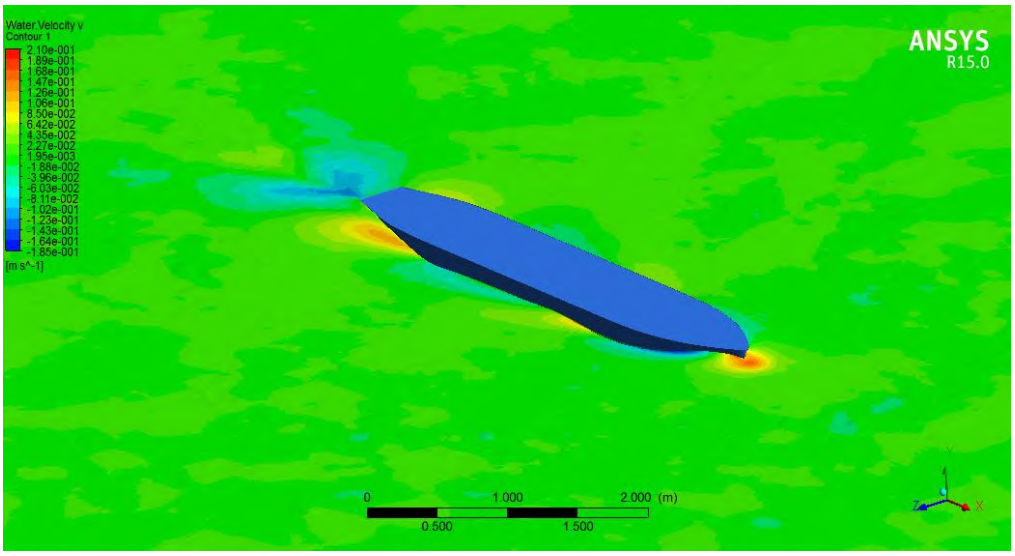


Tampak atas kondisi smooth surface

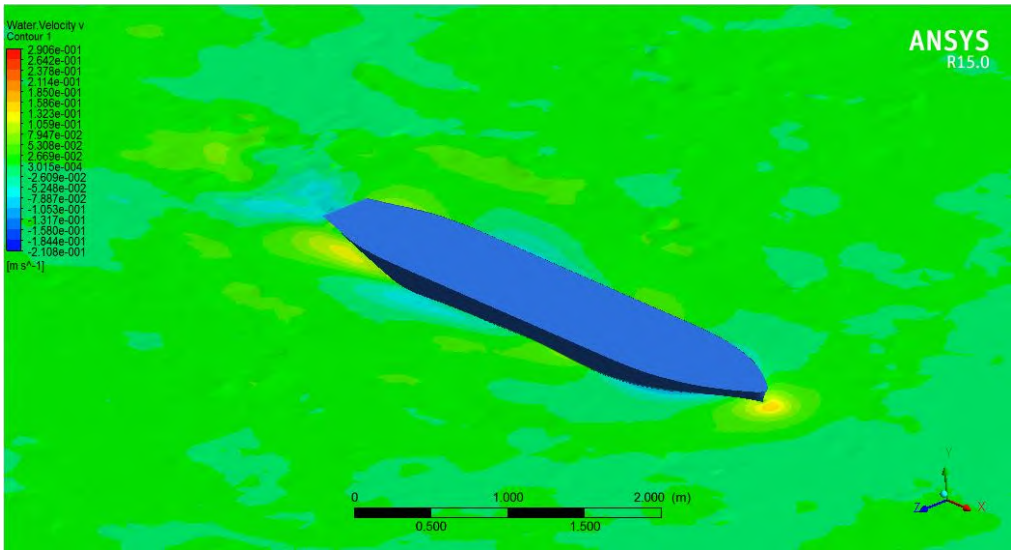


Tampak atas kondisi Regular Roughness

- Kontur Free Surface

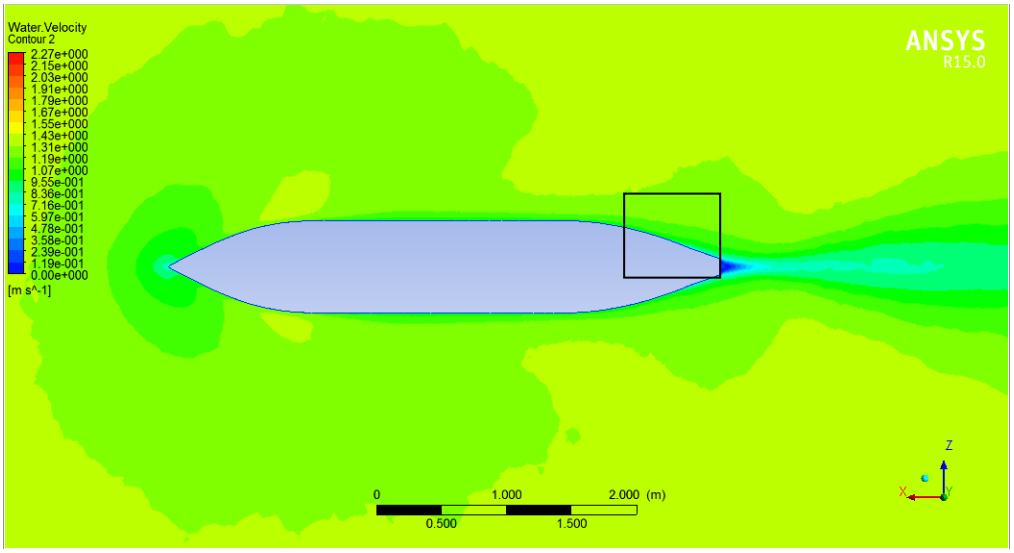


Contour water velocity pada kondisi Smooth Surface

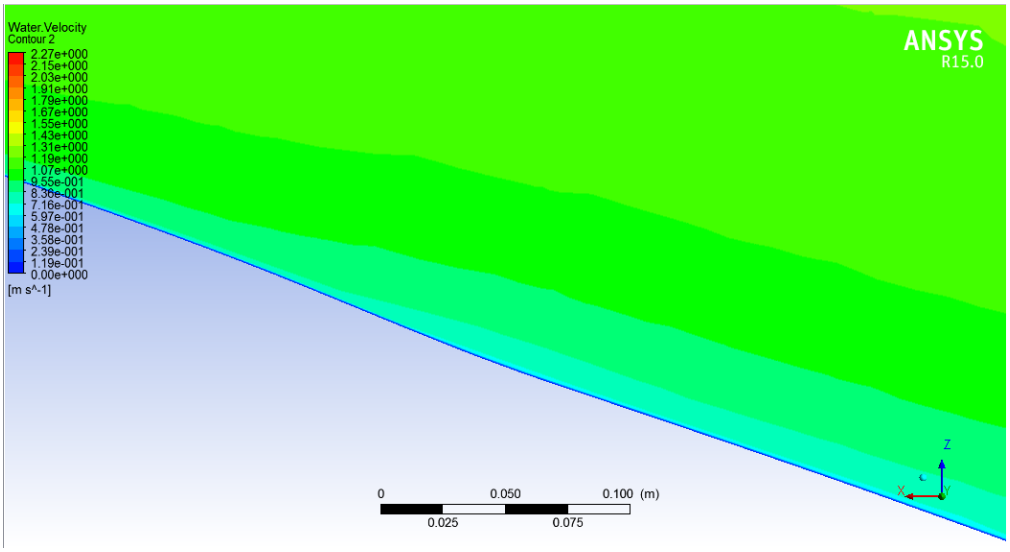


Contour water velocity pada kondisi Regular Roughness

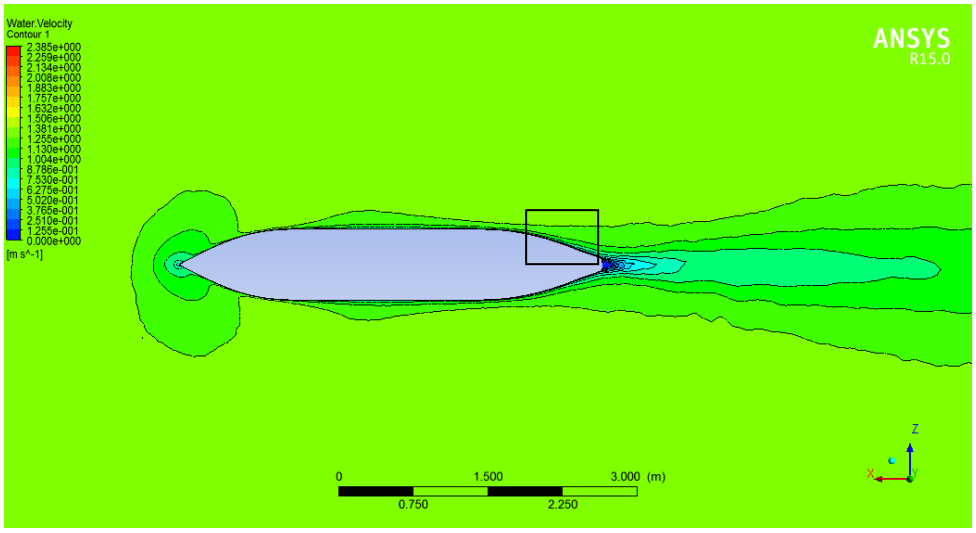
- Kontur Boundary Layer



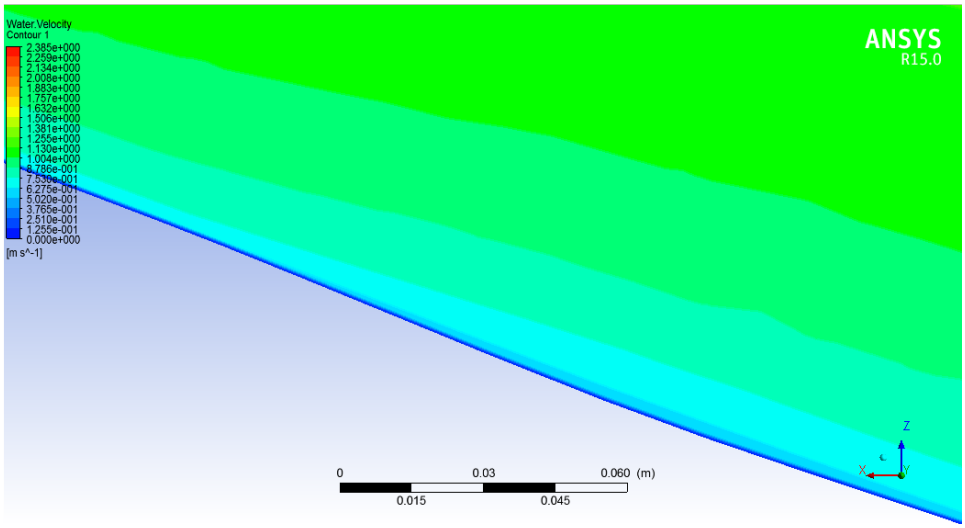
Kontur Boundary Layer kondisi Smooth Surface



Detail Boundary Layer kondisi Smooth Surface

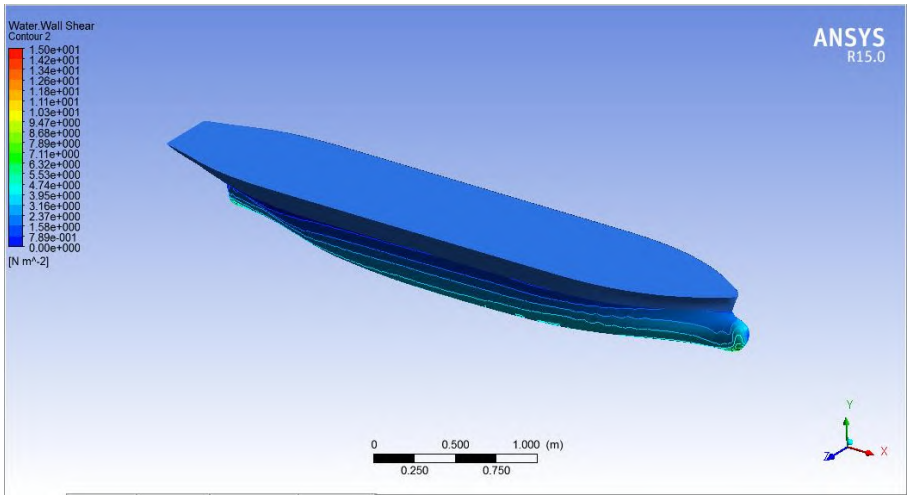


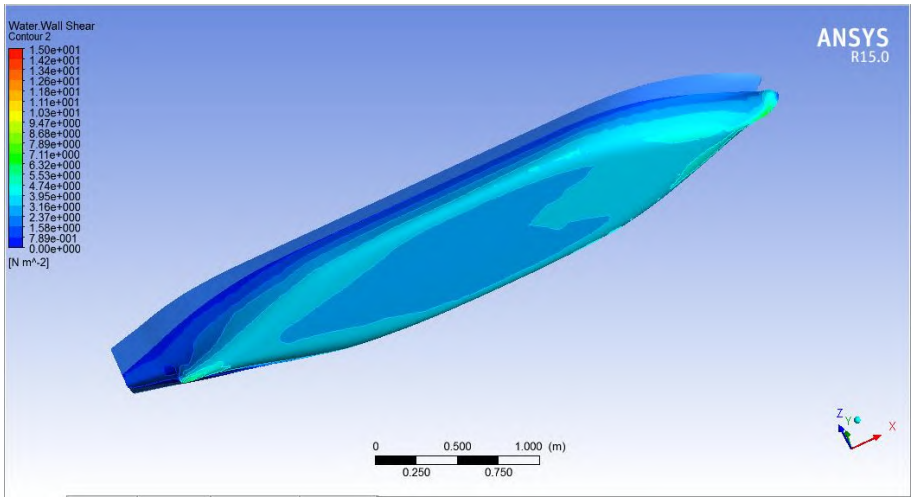
Kontur Boundary Layer kondisi Regular Roughness



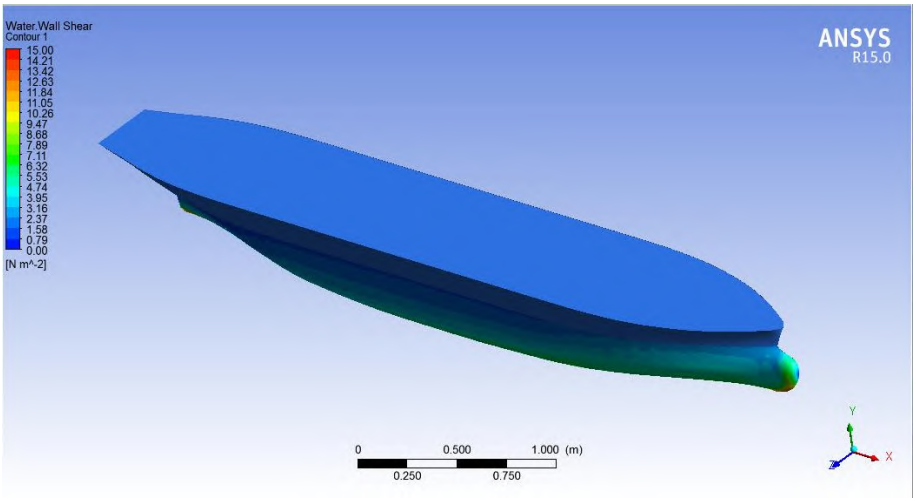
Detail Boundary Layer kondisi Regular Roughness

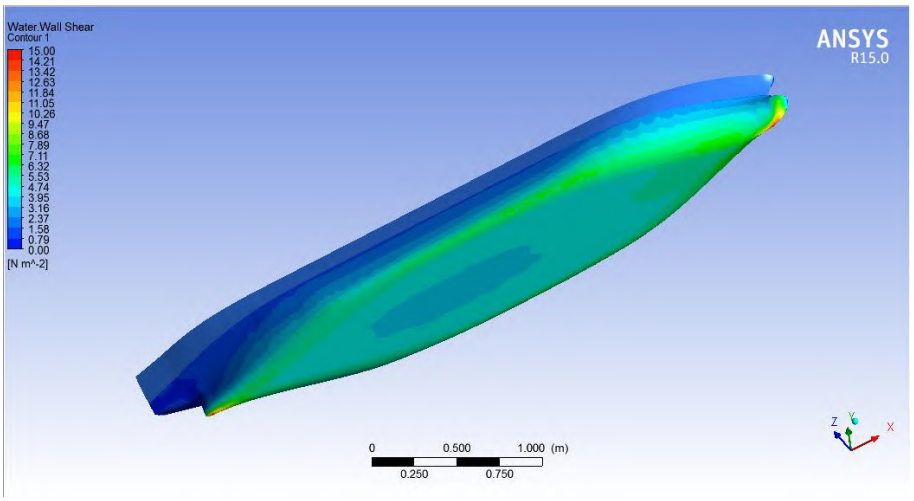
- Kontur Gaya Gesek



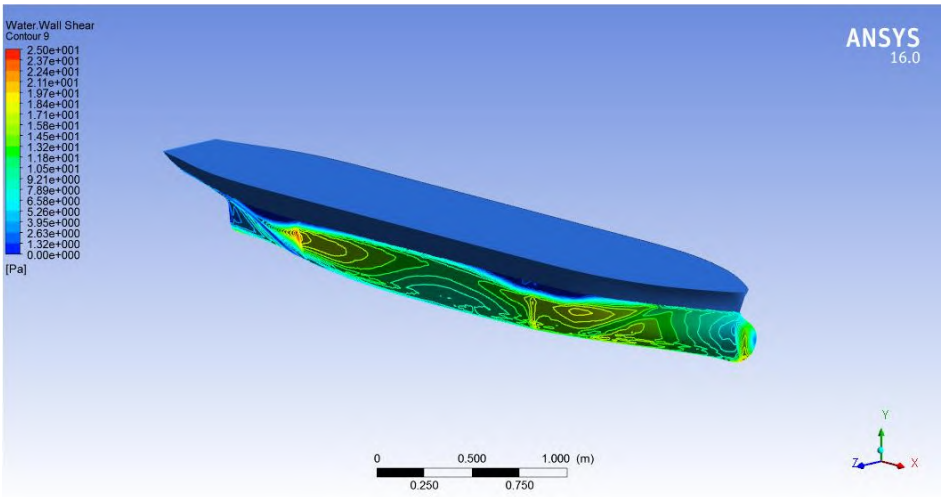


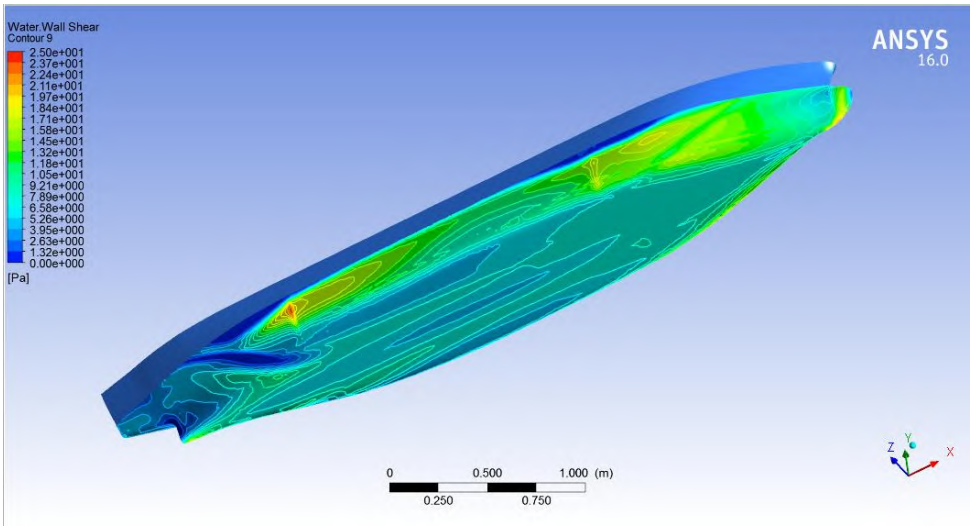
Kontur gaya gesek pada kondisi Smooth Surface





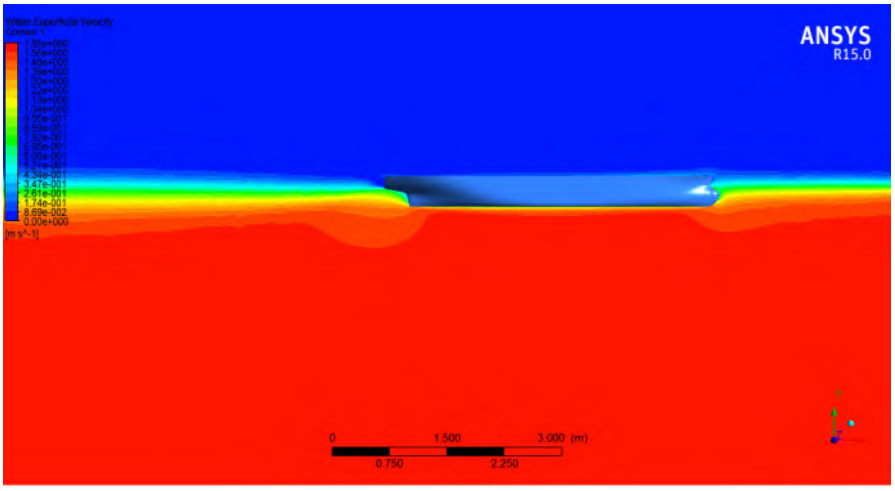
Kontur gaya gesek pada kondisi Regular Roughness



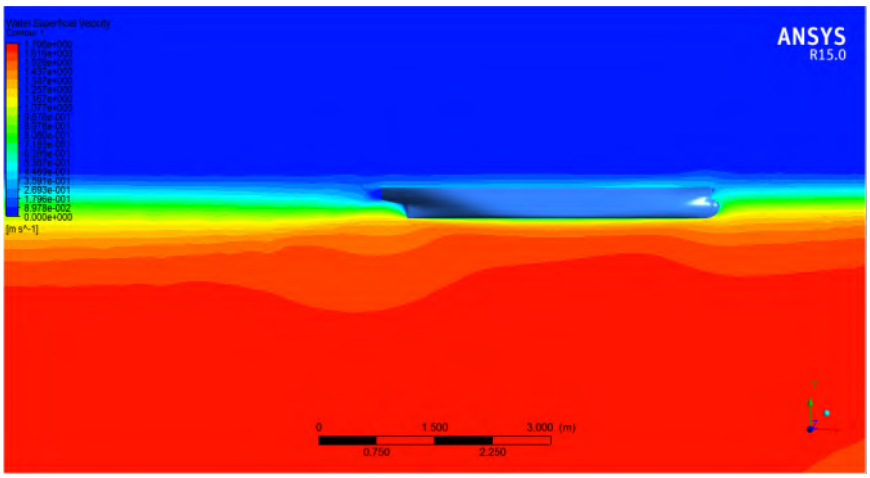


Kontur gaya gesek pada kondisi Irregular Roughness

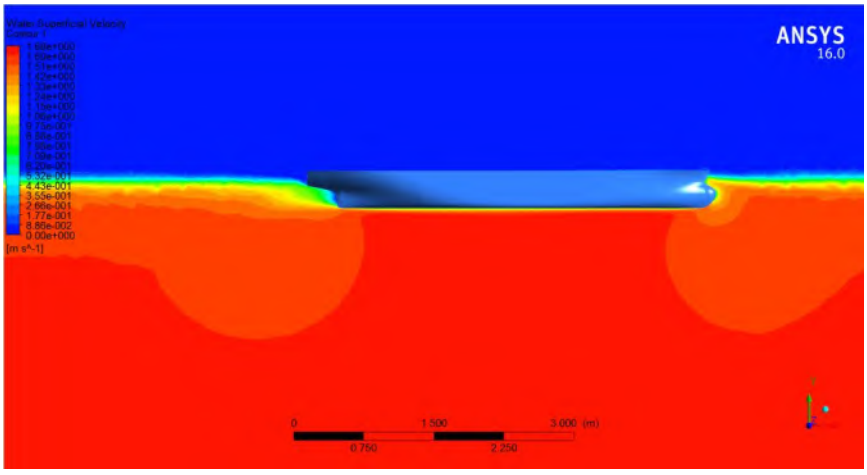
- Side view water superficial velocity



Water velocity pada kondisi Smooth Surface

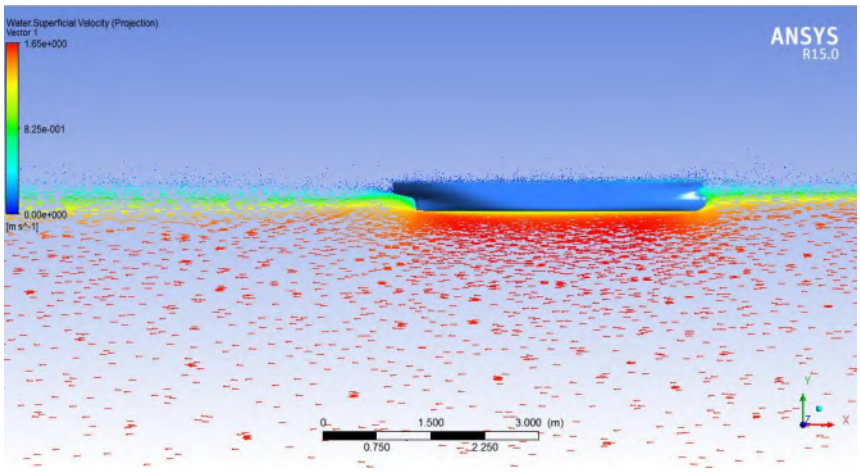


Water velocity pada kondisi Regular Roughness

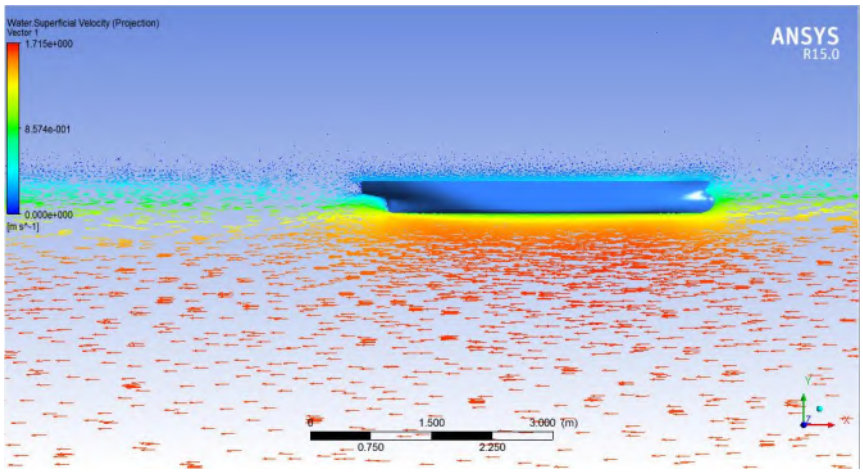


Water velocity pada kondisi Iregular Roughness

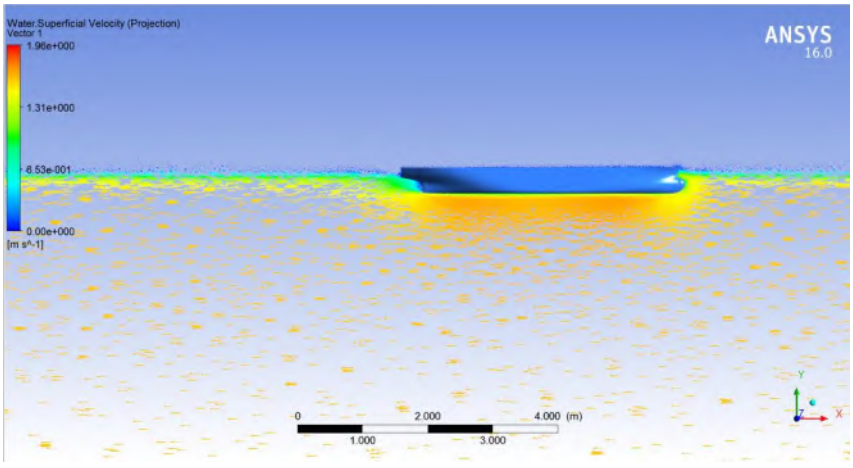
- Kontur Vector



Vector pada kondisi Smooth Surface



Vector pada kondisi Regular Roughness



Vector pada kondisi Irregular Roughness

BAB 5
KESIMPULAN

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation mampu mensimulasikan pengaruh kekasaran terhadap drag kapal dengan mengintegralkan area *wall shear*.
- *Setting*an konfigurasi untuk kondisi regular roughness dan irregular roughness pada dasarnya memiliki settingan konfigurasi yang hampir sama. Perbedaannya hanya pada proses pembagian part pada model sehingga part-part tersebut dapat dijadikan boundary yang *independent* sehingga dapat di*setting* dengan ketebalan kekasaran yang berbeda-beda disetiap part-part tersebut namun tetap menjadi satu bagian yang utuh dengan bagian yang lain.
- Setelah satu tahun masa pelayaran, pelayaran dan berdasarkan kondisi-kondisi yang dimodelkan dalam CFD , total resistance pada kapal untuk kondisi regular roughness meningkat 37,85 % pada kecepatan servis kapal yang diakibatkan oleh peningkatan koefisen gesek hingga 36,80 % pada kondisi regular roughness, sedangkan kenaikan gaya hambat hingga 36,69 % akibat peningkatan koefisien gesek hingga 41,13 % pada kondisi irregular roughness. Peningkatan ini sesuai dengan pernyataan Moland et al (2011) bahwa peningkatan total resistance yang diakibatkan oleh roughness dan biofouling dapat mencapai 30% dalam setahun.

1.2 Saran

Untuk penelitian lanjutan tentang kekasaran, maka perlu diperhatikan hal berikut :

- Perlu adanya penelitian yang lebih mendalam, apakah kondisi regular roughness sudah mampu mewakili pengujian kekasaran pada eksperiment-eksperiment yang menggunakan scale model

- Perlu adanya penelitian yang lebih mendalam tentang selisih yang cukup besar antara pengujian regular roughness dan irregular roughness.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Muhannah, K. and Habib, K. 2012. *Marine bio-fouling of different alloys exposed to continuous flowing fresh seawater by electrochemical impedance spectroscopy*. Journal of Saudi Chemical Society. King Saud University.

Anonymous. 2009. http://www.european-coatings.com/Homepage-news/Nanotechnology-and-anti-fouling. Diakses tanggal 2 September 2015.

Banks, J., Phillips, A. B., and Turnock, S. R. 2010. *Free-Surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS*. 13th Numerical Towing Tank Symposium. Germany.

Bertram, V. 2000. *Practical Ship Hydrodynamics.* Butterworth-Heinemann Publishing Ltd. Oxford.

Candries, M. 2001. *Drag, boundary-layer and roughness characteristics of marine surfaces coated with antifoulings*. PhD Thesis. Department of Marine Technology. University of Newcastle-upon-Tyne. UK.

Candries, M., and Atlar, M. 2003. *On the drag and roughness characteristics of antifouling.* Transaction of the Royal Institution of Naval Architects, Vol.145, pp.107-132.

Chambers, L.D., K.R. Stokes, F.C. Walsh, dan R.J.K. Wood. 2006. *Modern approaches to marine antifouling coating*. Surface & Coatings Technology, 201: 3642–3652.

Demirel, Y. K., Khorasanchi, M., Turan, O., and Incecik, A. 2014. *CFD Approach to Resistance Prediction as a Function of Roughness*. Transport Research Arena. Paris

Ding, Y. 2015. *Scale Effect on the Wake Field of Single Screw Ship*. Master Thesis. Aalesund University College. Norway.

Griffiths, B. 2001. *Manufacturing Surface Technology : Surface Integrity and Functional Performance*. Penton Press. London

Guardiola, Fransisco A., Cuesta, A., Meseguer, J., and Esteban, Maria A. 2011. *Risks of Using Antifouling Biocides in Aquaculture*. Department of Cell Biology and Histology, Faculty of Biology, University of Murcia. Spain.

Iskendar. 2006. *Komponen Gaya Hambat Kapal Cepat.* Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol. 8, No. 2 Hal 92-96. Indonesia.

ITTC. 2002. *Recommended procedure for the resistance test*. Procedure 7.5–0.2-0.2-0.1 Revision 01.

ITTC. 2002. *Recommended procedure for ship models*. Procedure 7.5-01-01-01, Revision 01.

Journee, J.M.J. and Massie, W.W. 2001. *Offshore Hydromechanics*. Delft University of Technology. Netherlands.

Journee, J.M.J. and Meijers, J.H.C. 1980. *Ship Routeing for Optimum Performance*. Delft University of Technology. Netherlands.

Koestowo. 1994. *Pengantar Teknik Perkapalan, Politeknik Perkapalan ITS*. Surabaya.

Larsson, L., Baba, E. 1996. Ship Resistance and Flow Computations. Advances in Marine Hydrodynamics. Southampton: WIT Press. 1–75.

Lewthweit, J. C., Molland, A. F., and Thomas, K. W. 1985. An Investigation into the Variation of Ship Skin Frictional Resistance with Fouling. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol.127, pp.269-284.*

Molland, Anthony F., Turnock, Stephen R., and Hudson, Dominic A. 2011. *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge University Press.

Molland, A.F., and Utama, I. K. A. P. 2002. Experimental and numerical investigation into the drag characteristics of a pair of ellipsoids in close proximity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Engineering for the Maritime Environment, Vol.216, Part M, pp.107-115*.

Nybakken, J.W. 1993. *Marine Biology: An Ecological Approach.* Third Edition. HarperCollins College Publishers.

Raiklin, A. I. 2005. *Marine Biofouling Colonization Processes and Defenses*. CRC PRESS. Boca Raton London New Work Washington D.C.

Rittchof, D. 2001. *Natural product antifoulant and coatings development*. *In:* J.B. Mcclintock, dan B.J. Baker (ed). Marine Chemical Ecology (eds). CRC Press

Schroeder, W. J. and Shephard, M. S. A Combined Octree/Delaunay Method for Fully Automatic 3-D Mesh Generation. InternationalJournal for Numerical Methods in Engineering, Vol.29, 37-55. 1990.

Schultz, M. P., Bendick, J. A., Holm, E. R., and Hertel, W. M. 2011. *Economic Impact of Biofouling on a Naval Surface Ship*. The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research, 27:1, 87-98.

SiES. 2012. http://www.sies.com.sg/Computational_Fluid_Dynamics.html. Diakses tanggal 4 September 2015.

Stout, K.J and Blunt, L. 2000. *Three-Dimensional Surface Topography, Measurement, Interpretation and Applications,* second edition. Penton Press. London.

Thomas, T.R. 1999. *Rough Surfaces,* 2nd edition. Imperial College Press.

Townsin, R. L., Byrne, D., Svensen, T. E., Milne, A. 1981. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. *Trans SNAME 90: 295-318*.

Wesseling, P. 2001. *Principles of Computational Fluid Dynamics*. Springer.

Young, D.F., Munson, B.R., Okiishi, T.H., and Huebsch, W.W. 2010. A Brief Introduction to Fluid Mechanics, fifth edition. John Wiley and Sons Inc. USA.

Yusim, A. K. 2016. *Studi Eksperimental Pengaruh Pertumbuhan Biofouling pada Lambung Kapal Terhadap Skin Friction Drag*. Master Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Indonesia

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Muhammad Sawal Baital lahir di Kota Baubau Pulau Buton Sulawesi Tenggara pada tanggal 4 Juni 1988. Anak pasangan Bapak Baital (alm.) dan Ibu Kasimah. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga orang bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD Negeri 1 Kadolomoko pada tahun 1994 dan lulus pada tahun 2000, berlanjut ke SLTP Negeri 1 Kota Baubau, lulus pada tahun 2003. Kenudian dilanjutkan ke SMA Negeri 1 Kota Baubau dan lulus pada tahun 2006. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar mulai tahun 2006 hingga 2011. Selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, penulis menjadi Asisten Dosen pada Laboratorium Permesinan Kapal dan Laboratorium Perpindahan Panas. Setelah lulus dari Universitas Hasanuddin, penulis menerima pekerjaan sebagai Quantity dan Quality Surveyor di salah satu perusahaan BUMN dan ditugaskan di wilayah Maluku Utara selama dua tahun. Kemudian pada tahun 2013, penulis menerima beasiswa Pra-Saintek dan melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan pada tahun 2014 penulis menerima beasiswa penuh dari DIKTI dan melanjutkan Program Pascasarjana di Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya hingga lulus tahun 2016.