

TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)
TERHADAP PENGARUH *INCLINING KEEL* PADA
HAMBATAN DAN KECEPATAN KAPAL IKAN**

MOH. NAWAWI
4110100 702

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, MSc, Ph. D

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

FINAL PROJECT - MN 141581

**COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ANALYSIS
INTO THE EFFECT OF INCLINING KEEL ON THE
RESISTANCE AND SPEED OF MONOHULL FISHING
VESSEL**

MOH. NAWAWI
4110 100 702

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, MSc, Ph. D

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISACFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)
TERHADAP PENGARUH *INCLINING KEEL* PADA
HAMBATAN DAN KECEPATAN KAPAL IKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOH. NAWAWI

NRP. 4110 100 702

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I Ketut Ari Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19651002 198901 1 001

SURABAYA, 15 JANUARI 2015

LEMBAR REVISI

ANALISA CFD (*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*) TERHADAP PENGARUH *INCLINING KEEL* PADA HAMBATAN DAN KECEPATAN KAPAL IKAN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 08 Januari 2015

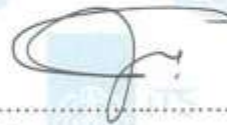
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MOH. NAWAWI
NRP. 4110 100 702

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. I Ketut Suastika.
3. Dony Setyawan, S.T., M. Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 15 JANUARI 2015

ANALISA CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) TERHADAP PENGARUH INCLINING KEEL PADA HAMBATAN DAN KECEPATAN KAPAL IKAN

Nama mahasiswa : Moh. Nawawi
NRP : 41101000702
Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D.

ABSTRAK

Kapal ikan merupakan kapal yang sering menggunakan *Inclining Keel* yang bertujuan untuk memperkecil hambatan kapal (terutama hambatan viscos viskos). Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *Inclining Keel* dan *Keel* datar terhadap hambatan total (R_t), hambatan viscos (R_v) dan volume ruang muat. Metode yang digunakan dalam analisa tersebut adalah perhitungan numerik dengan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Terdapat variasi bentuk *keel* yaitu 1 *keel* datar dan 3 variasi terhadap sudut *Inclining Keel* yaitu 3° , 5° dan 7° . Dari hasil pengujian dengan simulasi CFD dapat disimpulkan bahwa pengaruh *Inclining Keel* terhadap besarnya nilai hambatan total (R_t) adalah jika sudut *Inclining Keel* semakin besar maka nilai hambatan total (R_t) menjadi lebih kecil, yaitu pada sudut 3° nilai R_t sebesar 23.7 KN, pada sudut 5° sebesar 22.5 KN serta pada sudut 7° sebesar 21.1 KN sedangkan pada keel datar adalah sebesar 24.0 KN. *Inclining Keel* juga mempengaruhi volume ruang muat kapal ikan dengan pengurangan keel 3° sebesar 8.4%, keel 5° sebesar 13% dan keel 7° sebesar 15.3% terhadap keel datar tetapi tidak menurunkan hasil tangkapan ikan karena menurut PPS (Pelabuhan perikanan Samudera) kapal ikan berukuran 15 GT mendapatkan 7 ton/hari dan kapasitas volume kamar mesin setiap bentuk sudut keel besarnya sama yaitu 8.5 M^3 .

Kata kunci : *inclining keel*, hambatan (*resistance*), *CFD*, volume ruang muat

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ANALYSIS INTO THE EFFECT OF INCLINING KEEL ON THE RESISTANCE AND SPEED OF MONOHULL FISHING VESSEL

Author : Moh. Nawawi
ID No : 41101000702
Supervisor : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama., M.Sc.,Ph.D.

ABSTRACT

Fishing vessel is a kind of vessel which frequently uses inclining keel in order to reduce the resistance of ship (in particular viscous component). The Project is aimed to investigate the effect of variation of inclining keel on viscous resistance and cargo capacity. The use method is Computational Fluid Dynamics (CFD). There are 4 variation, namely (1) even keel, (2) 3°, (3) 5° and (4) 7°. It was shown from CFD results that the bigger the inclining keel angle, the smaller the resistance is. In this case 0° gives 24.0 KN, 3° gives 23.7 KN, 5° gives 22.5 KN, 7° gives 21.1 KN, of furthermore, inclining keel also influence cargo capacity of the fishing vessel. Angle 3° cause a reuction of capacity about 8%, Angle 5° cause a reuction of capacity about 13% and Angle 7° cause a reuction of capacity about 15.3%. It is still acceptable because statistics showed that each vessel normally catch 7 tonnes fish per day and the highest inclining keel angel (7°) can load 11.2 tonnes fish.

Keywords: inclining keel, resistance, CFD, cargo capacity.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat yang dianugerahkan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dan semoga shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah membimbing umat manusia kepada jalan yang diridhai Allah SWT.

Tiada kata yang bisa penulis sampaikan selain terima kasih setulus hati kepada:

1. Kedua orang tua, Mashuri dan Hj. Umaroh, serta segenap keluarga besar penulis, yang selalu memberi motivasi dan do'a yang terbaik untuk penulis.
2. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan sekaligus dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan kesabarannya untuk membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Totok Yulianto ST, MT selaku dosen wali penulis semasa menempuh pendidikan di Teknik Perkapalan FTK ITS serta segenap dosen & karyawan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
4. Mas Sutiyo atas bimbingan mengenai software yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini, serta Simo, Panijon, Firman, Pepi, Kribo dan teman seperjuangan prodi Hidro yang selalu memberi masukan didalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Segenap rekan-rekan mahasiswa ITS pada umumnya, dan mahasiswa Teknik Perkapalan FTK-ITS pada khususnya, yang telah belajar, berkarya dan berjuang bersama penulis. Serta spesial untuk *dulur-dulur* CAPTAIN.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia perkapalan Indonesia.

Surabaya, 2 Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR REVISI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Latar Belakang.....	1
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Maksud dan Tujuan	3
1.6 Manfaat.....	4
1.7 Hipotesis.....	4
2.1 Pendahuluan.....	5
2.2 Kapal Ikan.....	5
2.3 Jenis Kapal Ikan.....	6
2.4 Definisi dan Karakteristik Fluida	9
2.5 Komponen Hambatan Kapal	10
2.6 <i>Konsep Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	16
1.6.1 <i>Metode beda hingga (Finite Difference method)</i>	16
2.6.2 Hukum Kekekalan Momentum	17
2.6.3 Persamaan Navier Stokes.....	19
2.6.4 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	21
2.6.5 Metode Spektral (<i>Spektral Method</i>)	21
2.6.6 Metode Volume Hingga (<i>Finite Volume Method</i>).....	21
2.6.7 Simulasi CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>).....	22
2.6.8 Persamaan Dasar Dinamika Fluida pada CFD	23
2.6.9 Pemodelan dan Simulasi Numerik	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29

3.1 Flowchart (Alur) Penelitian.....	29
3.3 Studi Literatur	30
3.4 Simulasi Komputer (Evaluasi Hambatan) <i>Bentuk Variasi Keel 0°, 3°, 5° dan 7°</i> dengan <i>tools</i> CFD	30
3.4.1 Evaluasi Hambatan Viskos dengan CFD.....	30
3.4.1 Evaluasi Hambatan Total dengan CFD	31
3.5 Validasi Data.....	32
3.6 Bentuk Keel Optimum untuk Hambatan Minimum	35
BAB IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI AWAL	37
4.1 Pendahuluan.....	37
4.2 Pembuatan Model	37
4.2.1 Simulasi CFD 1 Fluida.....	37
4.2.2 Simulasi CFD 2 Fluida.....	42
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	51
5.1 Pendahuluan.....	51
5.2 Nilai Hambatan Total Hasil Simulasi CFD	52
5.2.1 Keel Datar (0°).....	53
5.2.2 Keel 3°	54
5.2.3 Keel 5°	56
5.2.4 Keel 7°	57
5.3 Analisa Hambatan Viscos Hasil Simulasi CFD.....	58
5.3.1. Kecepatan dan Tekanan	62
5.4 Analisa Hambatan Gelombang Hasil Simulasi CFD	65
5.5 Volume Ruang Muat.....	66
5.6 Perbandingan keel datar dengan Inclining Keel	69
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
6.1 Pendahuluan.....	71
6.2 Kesimpulan	71
6.3 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A LINES PLAN MODEL

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil pada simulasi 2 fluida	33
Tabel 2 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil pada simulasi 1 fluida	34
Tabel 3 Dimensi kapal	38
Tabel 4 Eskpresi-ekspresi pada CEL (CFX, 2007)	45
Tabel 5 Perubahan Dimensi Kapal.....	51
Tabel 7 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel Datar (0°)	53
Tabel 8 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel Datar (0°).....	54
Tabel 9 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 3°	54
Tabel 10 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 3°	55
Tabel 11 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 5°	56
Tabel 12 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 5°	56
Tabel 13 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 7°	57
Tabel 14 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 7°	58
Tabel 15 Nilai Koefisien Hambatan Viskos.....	60
Tabel 16 Karakteristik Kelas Pelabuhan PPS, PPN, PPP, dan PPI.....	66
Tabel 17 Volume Ruang muat	67
Tabel 18 Volume Ruang muat	67
Tabel 19 Volume Ruang muat	67
Tabel 20 Volume Ruang muat	68
Tabel 21 Volume Kamar Mesin.....	68
Tabel 22 perbandingan kel datar dengan inclining keel	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Kapal ikan	5
Gambar 2	Kapal purse sein	6
Gambar 3	Pole and line.....	7
Gambar 4	Long line	8
Gambar 5	Kapal pukat	9
Gambar 6	percobaan untuk mengetahui keberadaan fluida.....	10
Gambar 7	Komponen-komponen <i>resistance</i> (Bertram, 2000).....	11
Gambar 8	grafik pengaruh kecepatan laju kapal terhadap total hambatan (ITTC, 1957)	12
Gambar 9	Komponen Hambatan Viskos (Carlton, 2007)	14
Gambar 10	Perbandingan ulekan antara lambung bentuk slender dan full ship (Carlton,2007)	15
Gambar 11	Puncak gelombang dari kelompok gelombang Kelvin yang ditimbulkan oleh usikan yang bergerak di P(Harvald, 1992).....	16
Gambar 12	Aliran massa pada elemen fluida.....	18
Gambar 13	komponen tegangan kearah sumbu x.....	18
Gambar 14	Alur (<i>Flowchart</i>) Penelitian	29
Gambar 15	Grafik konvergensi.....	32
Gambar 17	Grid independence study 2 fluida	34
Gambar 18	Grid independence study 1 fluida	34
Gambar 19	Lines Plan Model	38
Gambar 20	Kapal keel datar.....	39
Gambar 21	Kapal Inclining keel	39
Gambar 22	Kondisi batas domain 2 fluida	43
Gambar 23	Meshing kapal	44
Gambar 24	Batas inlet.....	46
Gambar 25	Batas Outlet.....	47
Gambar 26	Batas Wall	47
Gambar 27	Batas Openig	48
Gambar 28	Batas Model	48
Gambar 29	Grafik Proses <i>Running</i> pada Tahapan Solver	49
Gambar 30	Fitur “Function Calculator”.....	50
Gambar 31	Grafik Hambatan Keel Datar.....	53
Gambar 32	Grafik Koefisien Hambatan Keel Datar.....	54
Gambar 33	Grafik Hambatan Keel 3°	55
Gambar 34	Grafik Koefisien Hambatan Keel 3°	55
Gambar 35	Grafik Hambatan Keel 5°	56
Gambar 36	Grafik Koefisien Hambatan Keel 5°	57
Gambar 37	Grafik Hambatan Keel 7°	58
Gambar 38	Grafik Koefisien Hambatan Keel 7°	58
Gambar 39	Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel Datar	61
gambar 40	Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 3°	61

Gambar 41	Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 5°	62
Gambar 42	Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 7°	62
Gambar 43	Kecepatan 4 knot.....	63
Gambar 44	Kecepatan 6 knot.....	64
Gambar 45	Kecepatan 8 knot.....	64
Gambar 46	Kecepatan 10 knot.....	65
Gambar 47	Grafik Hambatan Gelombang.....	65
Gambar 48	Grafik Volume Ruang Muat keel Datar dan Inclining Keel (3°, 5° dan 7°).....	69
Gambar 49	Grafik perbandingan keel 3 dengan keel datar	69
Gambar 50	Grafik perbandingan keel 5° dengan keel datar	70
Gambar 51	Grafik perbandingan keel 7° dengan keel datar	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Pada Bab Pendahuluan ini akan dijelaskan gambaran umum penelitian yang akan dikerjakan pada Tugas Akhir ini terkait pengaruh bentuk keel kapal terhadap hambatan kapal. Bab ini terdiri dari beberapa subbab, di antaranya adalah: latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, manfaat, serta hipotesis. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan dasar teori yang akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab II dan metodologi yang akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab III.

1.2 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim yang terbesar di Asia dan memiliki banyak pulau sehingga Indonesia disebut dengan negara kepulauan dari sabang sampai merauke dengan luas lautan mencapai 5,8 juta km² yang terdiri dari 0,8 juta km² teritorial, 2,3 juta km² laut nusantara dan 2,7 juta km² zona ekonomi eksklusif Indonesia. Dengan garis pantai terpanjang di dunia sebesar 81.000 km dan gugusan pulau – pulau sebanyak 17.508, Indonesia memiliki potensi ikan yang diperkirakan terdapat sebanyak 6,36 juta ton pertahun yang dapat dikelola secara lestari dengan rincian sebanyak 4,4 juta ton pertahun dapat ditangkap di perairan Indonesia. Namun dengan kondisi nelayan yang serba terbatas terutama dalam segi ilmu pengetahuan mengenai perkapaln dan peralatan melaut (dalam hal ini kapal ikan), potensi tersebut tidak termanfaatkan secara maksimal.

Perikanan tangkap merupakan salah satu sektor bidang perikanan yang cukup menjanjikan. Indonesia, dengan potensi sumber daya perairan yang melimpah merupakan peluang yang sangat baik. Banyak spesies ikan ekonomis penting yang berada di Indonesia, antara lain Tuna dan Cakalang. Komoditi ini sangat dilirik pasar, baik secara regional hingga internasional.

Secara umum kapal ikan mempunyai karakteristik yang tidak jauh dengan kapal jenis lainnya. Adapun perbedaannya terletak pada fungsinya, kapal ikan menurut fungsinya dapat dibedakan menjadi :

1. Kapal penangkap ikan
2. Kapal penampung dan pengolahan ikan
3. Kapal penelitian dan latihan penangkap ikan

Kapal ikan sesuai dengan fungsinya untuk menangkap ikan memiliki karakteristik khusus untuk mendukung operasional, antara lain adalah :

1. Kecepatan kapal

Kapal ikan pada umumnya didesain memiliki kecepatan yang cukup tinggi karena kapal ikan harus sampai ditempat penangkapan ikan (*fishing ground*) secepat mungkin agar tidak kehilangan waktu yang tepat untuk menangkap ikan. Selain itu juga dapat melakukan pemasangan alat tangkap secepat mungkin agar dapat mengatasi kecepatan ikan yang ditangkap, oleh karena itu perencanaan kapal ikan dengan bentuk *multi chine* ini sangat efisien dalam hal penghematan waktu pelayaran menuju *fishing ground*.

2. Kelaikan laut

Aspek kelaikan laut pada kapal ikan harus diperhatikan karena kapal kapal ikan harus dapat beroperasi dalam berbagai kondisi cuaca. Kapal ikan pada umumnya beroperasi pada daerah yang jauh dari pantai serta cenderung berpindah – pindah untuk mendapatkan hasil tangkapan yang baik. Hal tersebut menyebabkan kapal ikan harus mampu menghadapi segala kondisi cuaca yang akan dihadapi pada saat beroperasi dilaut. Untuk itu maka kapal ikan harus memiliki stabilitas dan kekedapan yang baik, daya apung yang cukup serta *rolling* dan *trim* yang sekecil mungkin.

Kapal ikan merupakan kapal yang sering menggunakan *inclining keel* yang bertujuan untuk memperkecil hambatan akibat dari gerak kapal sendiri maupun dari viskos. Saat ini nelayan belum mengetahui pengaruh *inclining keel* terhadap hambatan kapal dan kapasitas ruang muat kapal.

Dengan kemajuan teknologi yang sudah berkembang pesat hingga saat ini, ada banyak *software* yang dapat dengan mudah digunakan untuk menghitung dan mensimulasi hambatan yang terjadi ketika kapal sedang beroperasi, salah satu di antaranya adalah CFD.CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan perangkat komputer yang dapat digunakan

untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. CFD dapat mengestimasi hambatan total kapal dengan mengikutsertakan faktor bentuk lambung kapal dalam perhitungan hambatan kapal dan juga dapat mensimulasikan aliran yang mengalir melewati lambung kapal dengan cukup akurat sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan desain bentuk lambung kapal.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *inclining keel* terhadap hambatan kapal ikan dengan 4 variasi bentuk keel yaitu keel datar (0° , 3° , 5° dan 7°) ?
2. Bagaimana menganalisa hambatan total dan hambatan viskos dengan menggunakan software CFD ?
3. Berapa selisih nilai hambatan antar variasi bentuk keel ?

1.4 Batasan Masalah

Masalah dibatasi guna menyederhanakan proses perhitungan. Adapun batasan masalah untuk permasalahan ini adalah:

1. Objek penelitian yang digunakan adalah model kapal ikan pole and line.
2. Data kapal menggunakan data yang telah ada.
3. Tujuan analisa difokuskan pada aspek hambatan.
4. Analisa dilakukan dengan metode simulasi numerik dengan bantuan komputer.
5. Analisa hambatan dilakukan dengan 4 variasi bentuk keel yaitu keel datar (0°) dan *inclining keel* (3° , 5° dan 7°)

1.5 Maksud dan Tujuan

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk mevariasikan bentuk keel kapal ikan untuk menurunkan hambatan. Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memvariasikan 4 bentuk keel yaitu keel datar (0°) dan *inclining keel* (3° , 5° dan 7°) untuk kemudian diprediksikan dengan hambatannya menggunakan metode numerik.
2. Membandingkan hasil prediksi hambatan dari hasil numerik 4 variasi bentuk keel yaitu keel datar (0°) dan *inclining keel* (3° , 5° dan 7°).
3. Untuk mendapatkan hasil hambatan yang paling optimum dari beberapa bentuk keel.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh setelah studi ini berakhir adalah tulisan ini mampu:

1. Memberikan penjelasan bagi mahasiswa mengenai prosedur dan tahapan dalam menghitung hambatan kapal melalui simulasi metode numerik dengan bantuan *tools* CFD.
2. Memberikan rekomendasi bentuk keel kapal ikan yang lebih optimal dengan hambatan yang minimal, yang pada gilirannya akan menurunkan konsumsi bahan bakar

1.7 Hipotesis

Dengan menggunakan CFD hambatan kapal dapat dianalisa untuk mendapatkan hambatan yang minimum secara mudah dan murah yang pada akhirnya akan mengurangi konsumsi bahan bakar.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Pada Bab I sebelumnya telah dijelaskan secara garis besar tentang gambaran umum penelitian yang akan dikerjakan pada Tugas Akhir ini. Pada Bab II ini akan dijelaskan mengenai pengertian dasar *kapal ikan* dan teori dasar mengenai hambatan, *tools* CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Pemaparan pada Bab ini akan dijadikan sebagai acuan untuk menyusun metodologi penelitian yang akan dipaparkan pada Bab III serta mendukung hasil analisa yang akan dipaparkan pada Bab V.

2.2 Kapal Ikan

Kapal ikan pada umumnya didesain memiliki kecepatan yang cukup tinggi karena kapal ikan harus sampai ditempat penangkapan ikan (*fishing ground*) secepat mungkin agar tidak kehilangan waktu yang tepat untuk menangkap ikan. Selain itu juga dapat melakukan pemasangan alat tangkap secepat mungkin agar dapat mengatasi kecepatan ikan yang ditangkap, oleh karena itu perencanaan kapal ikan dengan bentuk *multi chine* ini sangat efisien dalam hal penghematan waktu pelayaran menuju *fishing ground*



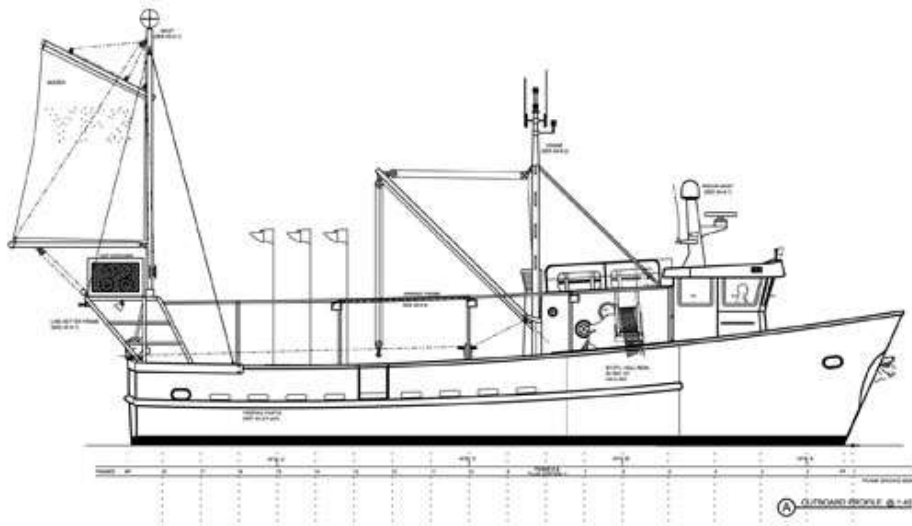
Gambar 1 Kapal ikan

2.3 Jenis Kapal Ikan

1. Kapal purse sein

Purse seine sering disebut pukat jaring, pukat cincin atau pukat kantong, karena bentuk jaring tersebut waktu dioperasikan berbentuk seperti kantong. Purse seine juga disebut jaring kolor karena pada bagian bawah jaring (taliris bawah) dilengkapi dengan tali kolor yang gunanya untuk menyatukan bagian bawah jaring sewaktu operasi.

Purse seine digunakan untuk menangkap ikan yang bergerombol di permukaan laut. Oleh karena itu, jenis-jenis ikan yang tertangkap dengan alat penangkapan purse seine adalah jenis-jenis ikan pelagis yang hidupnya bergerombol, seperti layang, lemuru, kembung, sardinella, tuna, dan lain-lain. Gambar kapal dengan alat tangkap purse seine seperti ditunjukkan dalam gambar 2. Kapal ikan dengan alat tangkap purse seine disebut purse seiner.



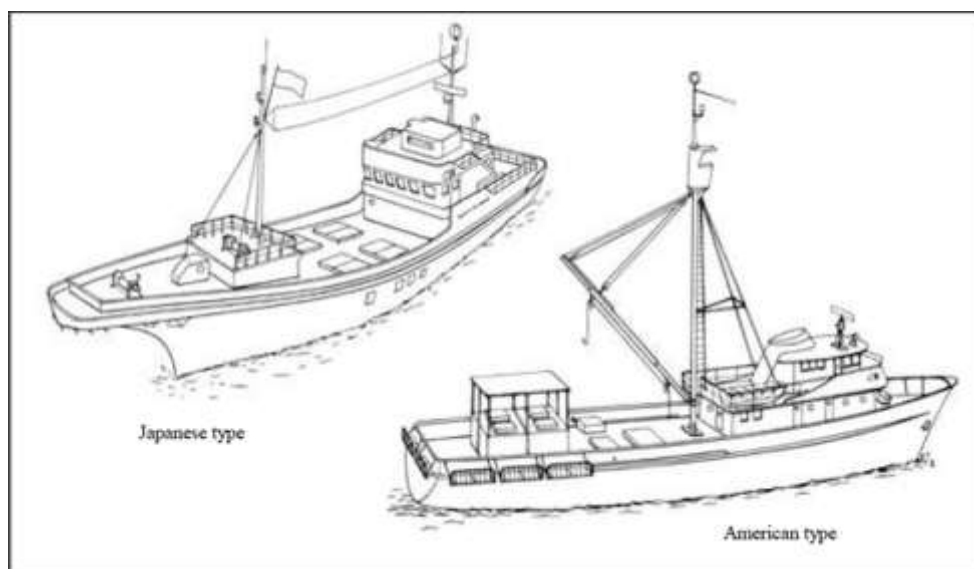
Gambar 2 Kapal purse sein

2. Kapal pole and line

Huhate (*pole and line*) merupakan salah satu jenis alat penangkap ikan yang dapat diklasifikasikan sebagai alat pancing yang biasanya khusus dipakai dalam penangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Alat tersebut digunakan secara perorangan, sehingga salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan penangkapan ikan adalah keterampilan individu awak kapal, dan masalah-masalah lainnya, seperti tersedianya umpan hidup dan kepadatan gerombolan ikan cakalang pada daerah penangkapan ikan. Hasil tangkapan berupa ikan-ikan pelagis, terutama ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) walaupun ada ikan

tuna yang tertangkap. *Pole and line* disebut juga “pancing gandar” karena pancing ini menggunakan gandar, walesan, joran atau tangkal (*rod or pole*). Jadi, semua pancing yang menggunakan gandar sebenarnya adalah *pole and line*. Pada pengoperasiannya, alat ini dilengkapi dengan umpan, baik umpan benar (*true bait*) dalam bentuk mati atau hidup maupun umpan tipuan (*imitasi*).

Menurut Direktorat Kapal Perikanan dan Alat Penangkap Ikan (2009), berdasarkan Statistik Indonesia alat tangkap huate termasuk dalam kelompok pancing. Alat tangkap ini disebut juga pancing “gandar” karena menggunakan gandar “walesan” atau “joran” atau tangkin. Sedangkan berdasarkan FAO, penggolongan alat tangkap ikan menurut (Nedelec, 1996); dalam International Standart Statistical Classification On Fishing Gear (ISSCFG) Pole and Line termasuk dalam kelompok alat tangkap pancing berjoran biasa.



Gambar 3 Pole and line

3. Kapal long line (rawai)

Kapal Longline kapal secara khusus dirancang untuk menangkap ikan dengan alat tangkap jenis *long line* atau sering juga disebut rawai dan sekaligus untuk menyimpan, mendinginkan, dan mengangkut hasil tangkapan sampai ke pelabuhan. Kapal longline yang berukuran 30-100 GT pada umumnya dioperasikan untuk menangkap ikan jenis tuna dengan hasil sampingan ikan cucut, sehingga sering pula kapal tersebut disebut kapal tuna *long line*. Kapal rawai (*longliner*) adalah kapal yang menggunakan satu atau lebih tali atau kail dengan rangkaian umpan dan kait. Panjang dan jumlah kail, umpan, dan kait bervariasi tergantung pada ukuran kapal, jumlah kru, dan level mekanisasi kapal. Jenis ikan yang ditangkap pun bergantung pada umpan

yang digunakan. Kail dapat diulur dan ditarik menggunakan drum berputar yang besar, yang biasanya diletakkan di buritan kapal. Kapal rawai ukuran kecil dapat menggunakan tangan untuk mengulur dan menarik kail. Kecepatan kapal menentukan seberapa dalam dan seberapa jauh jangkauan kail.

Troller adalah salah satu jenis *longliner* dengan kail yang tergantung di sisi kapal yang bergerak. *Squid jigger* menggunakan kail yang panjang untuk menangkap cumi-cumi. *Squid jigger* biasanya dilengkapi dengan cahaya lampu yang terang untuk menarik perhatian cumi-cumi.



Gambar 4 Long line

4. Kapal trawl (pukat)

Kapal Trawl adalah kapal yang secara khusus dirancang dan dibangun untuk menangkap ikan dengan alat tangkap jenis Trawl atau sering disebut juga pukat harimau. Tujuan utama penangkapan adalah udang dengan hasil sampingan ikan demersal, sehingga sering disebut juga pukat udang.

Kata “trawl” berasal dari bahasa Prancis “trouler” dari kata “trailing” adalah dalam bahasa Inggris, mempunyai arti yang bersamaan, dapat diterjemahkan dalam bahasa Indonesia dengan kata “tarik” ataupun “mengelilingi seraya menarik”. Ada yang menterjemahkan “trawl” dengan “jaring tarik”, tapi karena hampir semua jaring dalam operasinya mengalami perlakuan tarik ataupun ditarik, maka selama belum ada

ketentuan resmi mengenai peristilahan dari yang berwenang maka digunakan kata” trawl” saja.

Dari kata “ trawl” lahir kata “trawling” yang berarti kerja melakukan operasi penangkapan ikan dengan trawl, dan kata “trawler” yang berarti kapal yang melakukan trawling.

Jadi yang dimaksud dengan jaring trawl (trawl net) disini adalah suatu jaring kantong yang ditarik di belakang kapal menelusuri permukaan dasar perairan untuk menangkap ikan, udang dan jenis demersal lainnya. Jaring ini juga ada yang menyangkut sebagai “jaring tarik dasar”.

Stern trawl adalah otter trawl yang cara operasionalnya (penurunan dan pengangkatan) jaring dilakukan dari bagian belakang (buritan) kapal atau kurang lebih demikian. Penangkapan dengan system stern trawl dapat menggunakan baik satu jaring atau lebih.



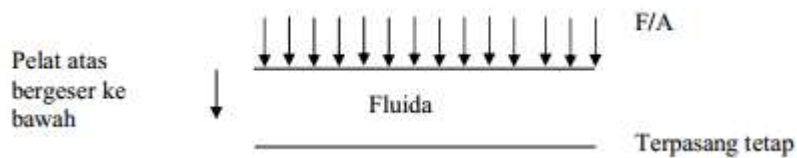
Gambar 5 Kapal pukat

2. 4 Definisi dan Karakteristik Fluida

Fluida (fluid atau dikenal dengan istilah zalir) adalah zat (substance) yang berubah bentuk secara terus-menerus bila terkena tegangan geser (shear stress), betapapun kecilnya tegangan geser itu. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan suatu benda Nugroho (2010).

Definisi fluida secara teknis dapat diilustrasikan melalui percobaan berikut ini. Suatu zat ditempatkan di antara dua buah pelat sejajar dengan jarak antara yang kecil dan luas bidang tak terhingga sehingga keadaan pada tepi-tepi pelat diabaikan. Pelat bawah terpasang tetap, dan suatu gaya F di terapkan pada pelat atas, yang mengerahkan tekanan F/A pada zat apapun yang terdapat diantara pelat-pelat itu.

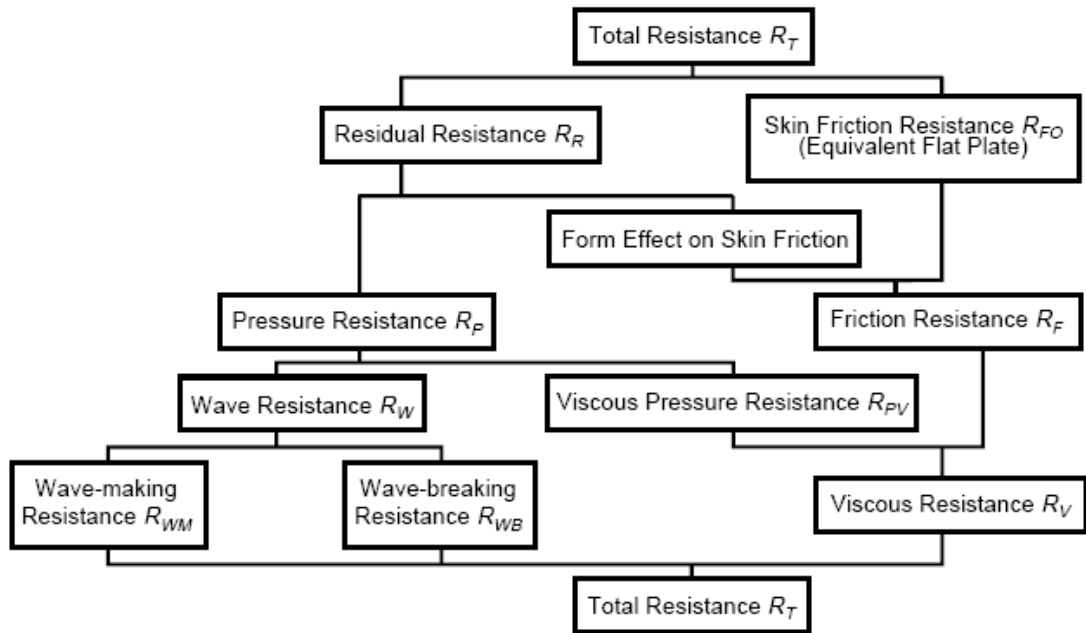
A adalah luas pelat atas. Bila gaya F menyebabkan pelat atas bergerak dengan suatu kecepatan (bukan nol) yang steady, betapapun kecilnya F , maka kita dapat menyimpulkan bahwa zat di antara kedua pelat tersebut adalah suatu fluida. Fluida yang langsung bersentuhan dengan suatu batas benda padat mempunyai kecepatan yang sama dengan batas itu; yakni, pada batas yang tidak terdapat gelinciran. Hal ini adalah kenyataan eksperimental yang telah dikaji dalam percobaan berbagai percobaan ilmiah (lihat Gambar 6).



Gambar 6 percobaan untuk mengetahui keberadaan fluida

2. 5 Komponen Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besar hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida dan juga kecepatan kapal. Nilai hambatan kapal akan meningkat apabila angka *Froude* mengalami kenaikan (Harvald, 1992).



Gambar 7 Komponen-komponen *resistance* (Bertram, 2000)

Besar hambatan total akan naik secara kontinu seiring bertambahnya kecepatan kapal, hingga pada kecepatan tertentu hambatan akan sangat besar pada kenaikan kecepatan yang tidak begitu signifikan. Secara umum, hambatan total dihitung dengan menguraikan ke dalam komponen-komponennya, seperti yang ditunjukkan pada (Bertram, 2000). Rumusan hambatan total dapat ditulis melalui persamaan 2.1:

$$R_T = R_V + R_W + R_A \quad (1.1)$$

di mana:

- R_T = Hambatan Total
- R_V = Hambatan Viskos
- R_W = Hambatan Gelombang Kapal
- R_A = Hambatan Udara

Hambatan total merupakan total dari keseluruhan gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Nilainya didapatkan pada kondisi air tenang. Untuk mengetahui nilai hambatan total secara praktis, diperlukan suatu rumusan pendekatan yang di dapatkandari suatu metode empiris. Pendekatan ini diperlukan karena persamaan yang menyertainya lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan dengan kondisi mendekati sebenarnya. Pada umumnya

besaran hambatan kapal dapat dideskripsikan melalui koefisien non dimensionanal yang dapat mewakili, sebagai contoh hambatan total (RT) dapat ditulis sebagai koefisien C_t (ITTC57)

C_t = Koefisien hambatan total pada air tenang

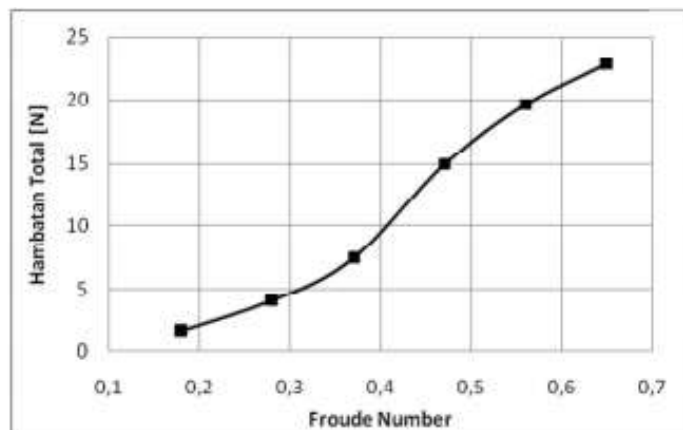
RT= Besar hambatan total (N)

RO = Kerapatan fluida (Kg/m³)

Vs= Kecepatan kapal (m/s)

S = Permukaan basah (m²)

Besar hambatan total akan naik secara kontinu seiring bertambahnya kecepatan kapal, hingga pada kecepatan tertentu hambatan akan sangat besar pada kenaikan kecepatan yang tidak begitu signifikan. Apabila digambarkan secara grafis, kenaikan hambatan akan membentuk persamaan hiperbolik seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 8 grafik pengaruh kecepatan laju kapal terhadap total hambatan (ITTC, 1957)

Secara umum hambatan total terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah hambatan viskos, gelombang dan udara. Rumusan hambatan total dapat ditulis melalui persamaan,

$$RT = RV + RW + RA \quad (1.2)$$

Dimana :

RT= Hambatan Total (N)

RV = Hambatan Viskos (N)

RW= Hambatan Gelombang (N)

RA = Hambatan Udara (N)

Sedangkan berdasarkan Standar International Towing Tank Conference (ITTC) hambatan total (RT) dibagi menjadi hambatan kekentalan (RV) dan hambatan gelombang (RW), sedangkan hambatan oleh udara diabaikan. Menurut Shoji (2009), hambatan total juga dapat dijabarkan kedalam komponen sebagai berikut :

- Total Resistance = Water Resistance + Air Resistance
- Water Resistance = Frictional Resistance + Eddy Resistance + Wave Making Resistance
- Water Resistance = Frictional Resistance + Residuary Resistance
- Water Resistance = Viscous Resistance + Wave Making Resistance
- Residuary Resistance = Eddy Resistance + Wave Making Resistance
- Viscous Resistance = Frictional Resistance + Eddy Making Resistance

Menurut Lewis (1988), hambatan total yang bekerja pada kapal dapat dibagi dalam empat komponen utama yaitu:

1. Hambatan *viskos*, merupakan hambatan yang muncul karena adanya efek viskositas fluida. Secara teoritis, hambatan viskos atau sering dipresentasikan sebagai koefisien C_V memiliki 2 komponen utama yaitu *friction* dan *pressure resistance* (Utama, 2011). Komponen tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda, satu komponen bekerja pada arah mengikuti garis *stream line* lambung kapal membentuk sudut terhadap aliran normal fluida (arah tangensial) disebut sebagai *friction resistance* (hambatan gesek), sedangkan komponen lainnya bekerja sebagai gaya normal yang arahnya tegak lurus dengan lambung kapal *pressure resistance* (hambatan bentuk/tekan).

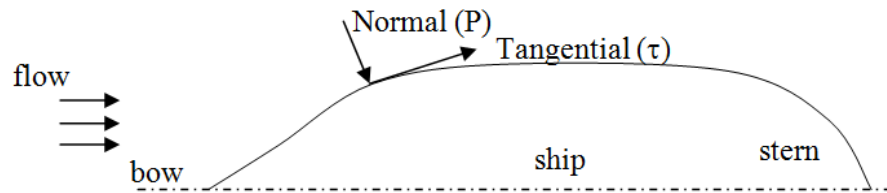
$$C_V = C_F + KC_F = (1+K) C_F \quad (1.3)$$

di mana:

C_F = Tangential component

KC_F = Normal component

$(1+K)$ = Faktor Bentuk



Gambar 9 Komponen Hambatan Viskos (Carlton, 2007)

2. Hambatan gesek (*frictional resistance*), merupakan salah satu komponen dari hambatan viskos. Hambatan ini terjadi akibat gesekan antara molekul fluida dan nilainya dipengaruhi oleh viskositas, kecepatan kapal dan luas permukaan basah. Rumus umum hambatan gesek kapal ditulis pada Persamaan 2.3 (ITTC 1957) :

$$R_f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_f \cdot S \cdot v^2 \quad (1.2)$$

di mana :

R_f = Hambatan Gesek

ρ = Kerapatan fluida

C_f = koefisien gesek

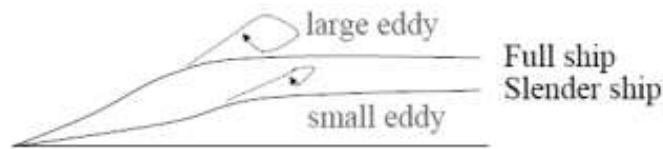
S = *Wetted Surface Area*

V = Kecepatan Kapal

3. Komponen kedua dari hambatan viskos adalah komponen yang bekerja ke arah normal lambung kapal yang disebut hambatan pressure, nilainya dipengaruhi oleh tekanan yang bekerja pada lambung kapal di bawah permukaan air. Besarnya tekanan pada bagian depan sangat besar karena lambung langsung berhadapan dengan fluida, kecepatan fluida akan bertambah ketika fluida mengalir melewati lambung kapal, dan ketika melewati ujung belakang fluida akan mengalami tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan tekanan di daerah haluan. Tekanan yang bekerja ke arah normal akan menghasilkan eddy atau ulekan di daerah belakang lambung kapal. Menurut Lewis (1988), eddy making resistance dibedakan menjadi salah satu bagian yang berdiri sendiri dari hambatan total.

Untuk kebutuhan pustaka teori, banyak percobaan dilakukan dengan menggunakan model lambung berbentuk silinder, yaitu lambung berbentuk elips streamline yang

simetris antara bagian belakang dan depan, namun padakenyataannya bentuk ini tidak selamanya dapat diaplikasikan untuk mewakili kondisi lapangan. Salah satu sebabnya adalah tekanan yang bekerja pada lambung bentuk slender jauh lebih kecil apabila kita menggunakan lambung kapal yang umum digunakan.



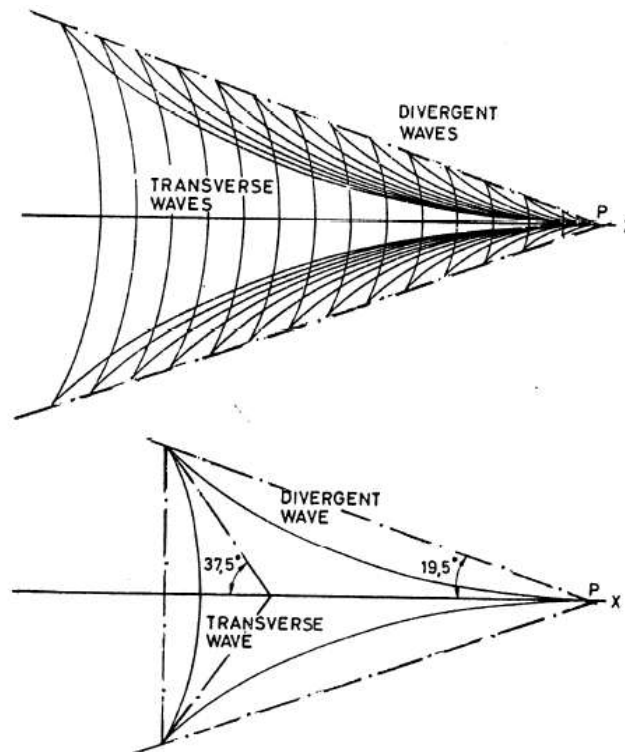
Gambar 10 Perbandingan ulekan antara lambung bentuk slender dan full ship (Carlton,2007)

4. Hambatan gelombang (*wave-making resistance*). Sebuah benda yang bergerak di dalam fluida akan menghasilkan medan tekanan di sekitar benda tersebut dimana dengan adanya permukaan bebas (misalnya pertemuan air dengan udara) akan menghasilkan suatu bentuk sistem gelombang. Gelombang terbentuk dengan konstan dan bergerak meninggalkan kapal ke arah belakang ketika kapal bergerak maju ke depan dan selanjutnya menjadi sumber atau komponen hambatan kapal.

Gelombang yang terjadi merupakan akibat gerakan titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air, menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk suatu pola yang khas. Pola ini terdiri dari sistem (sejumlah) gelombang melintang (*transverse waves*) dan sistem gelombang divergen yang menyebar dari titik tersebut. menunjukkan pola gelombang demikian itu. Seluruh bagian pola itu berada di antara dua garis lurus yang berawal dari titik tersebut dan masing-masing, pada sisi yang berbeda, membentuk sudut $19,5^\circ$ dengan garis gerakan. Jarak antara satu gelombang melintang dengan gelombang melintang berikutnya sangat tergantung pada kecepatan gerakan titik itu sendiri (Harvald, 1992).

Pola gelombang Kelvin tersebut memberikan banyak gambaran dan kejelasan mengenai ciri khas (features) kapal-sistem gelombang. Di depan kapal ada daerah yang bertekanan tinggi, sehingga di situ timbul gelombang haluan yang cukup mencolok. Gelombang ini merupakan bagian dari sistem gelombang melintang dan gelombang divergen. Di dekat lambung garis puncak (crest line) gelombang melintang mempunyai kedudukan yang tegak lurus arah gerakan kapal. Begitu mendekati sistem gelombang divergen garis puncak tersebut berbelok balik dan akhirnya lenyap di

dalam sistem divergen. Pada bahu lambung dan pada buritan juga terbentuk sistem gelombang (Harvald, 1992).



Gambar 11 Puncak gelombang dari kelompok gelombang Kelvin yang ditimbulkan oleh usikan yang bergerak di P(Harvald, 1992)

5. Hambatan udara (*air resistance*), adalah hambatan yang disebabkan oleh pengaruh gaya dari udara atau angin. Besarnya dipengaruhi oleh proyeksi luas penampang, bentuk kapal diatas garis air, kecepatan dan arah angin.

2.6 Konsep Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational fluid dynamics, biasanya disingkat sebagai CFD, adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi antara zat cair dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas (Anderson, 1995).

1.6.1 Metode beda hingga (Finite Difference method)

Fungsi potensial aliran ϕ yang tidak diketahui ditentukan pada titik-titik simpul grids. ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk memperoleh pendekatan dalam

bentuk finite difference turunan dari potensial aliran ϕ tersebut. Dengan mensubstitusikan setiap turunan yang ada pada persamaan aliran melalui pendekatan tersebut, maka akan diperoleh suatu persamaan aljabar untuk setiap titik grid Fox & Mc.Donald's (1998)

Persamaan-persamaan dasar yang digunakan dalam analisa aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \quad (2.6)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut:

Sehingga

Persamaan (2.7) merupakan persamaan kekekalan massa atau persamaan kontinuitas pada titik di dalam fluida yang dapat dimampatkan (*compressible*). Suku pertama merupakan

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} &= 0 \\ \therefore \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= 0 \\ \therefore \frac{D\rho}{Dt} + \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho v) = 0$$

perubahan rata-rata kerapatan fluida persatuan waktu (massa per satuan volume). Suku kedua merupakan massa aliran yang meninggalkan elemen fluida, dikenal juga dengan suku konveksi. Pada fluida yang bersifat incompressible (misalnyacairan),kerapatannya bersifat tetap sehingga persamaan (2.7) menjadi

$$\text{div}(U) = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

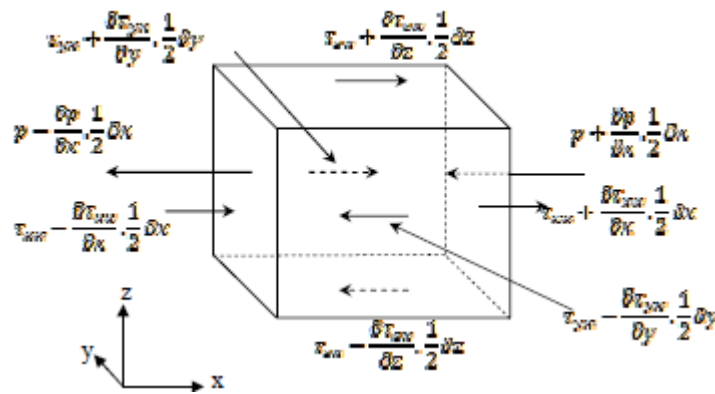
2.6.2 Hukum Kekekalan Momentum

Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada partikel tersebut. Pertambahan momentum persatuan volume pada partikel fluida diberikan oleh persamaan (2.9).

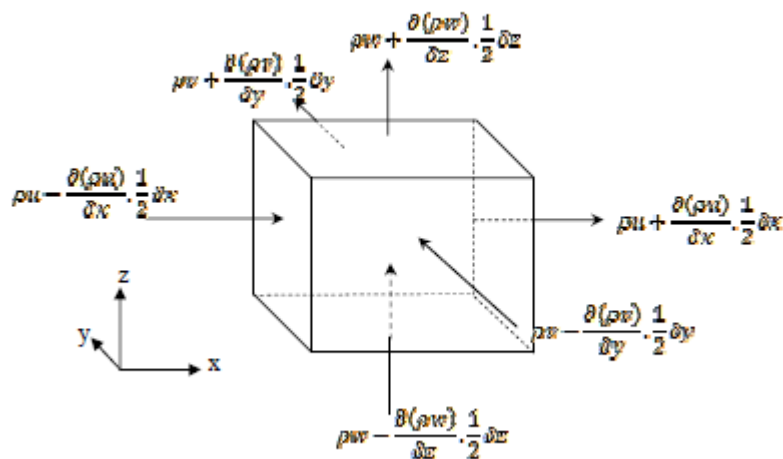
$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (2.9)$$

Gaya yang bekerja pada fluida dibedakan menjadi dua macam yaitu *surface force* dan *body force*. *Surface force* terdiri dari gaya akibat tekanan dan gaya akibat kekentalan. Sedangkan *body force* terdiri dari gaya gravitasi, gaya sentrifugal dan gaya elektromagnetik. Pada penurunan persamaan kekekalan momentum, peranan gaya tekanan (p) dan gaya kekentalan (τ) sangat penting. Pada Gambar 2.14 diperoleh komponengaya pada elemen fluida yang bekerja searah sumbu x dimana diperoleh selisihgaya sebesar:

$$\left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}\right) \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z = 0 \quad (2.10)$$



Gambar 12 Aliran massa pada elemen fluida



Gambar 13 komponen tegangan kearah sumbu x

Bila Persamaan 2.13 dibagi dengan volume Δx , Δy , Δz , maka akan diperoleh

$$\frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} = 0 \quad (2.11)$$

Bila pengaruh *body force* dinyatakan sebagai besaran *source*, S_{MX} . Sedangkan persamaan momentum untuk arah sumbu x diperoleh sebagai hubungan perubahan momentum pada partikel fluida sama dengan jumlah gaya – gaya akibat tegangan permukaan. Persamaan (2.11) bila ditambah dengan perubahan momentum akibat adanya *source*, maka persamaan momentum dengan arah sumbu x dinyatakan dalam persamaan (2.12).

Sedangkan komponen persamaan momentum arah sumbu y dinyatakan dalam Persamaan 2.13

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + S_{MX} \quad (2.13)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p+\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zy}}{\partial z} + S_{MY}$$

Dan komponen persamaan momentum arah sumbu z dinyatakan dalam Persamaan 2.14.

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p+\tau_{zz})}{\partial z} + S_{MZ} \quad (2.14)$$

2.6.3 Persamaan Navier Stokes

Persamaan penentu dalam aliran fluida mengandung besaran yang tidak diketahui yaitu komponen tegangan kekentalan τ_{ij} (Fox dkk, 1998). Dalam aliran fluida, tegangan kekentalan tersebut dapat dinyatakan sebagai fungsi deformasi lokal. Pada analisa tiga dimensi, deformasi lokal tersebut terdiri dari deformasi linear dan deformasi volumetrik. Deformasi linear dibedakan menjadi :

1. Komponen deformasi elongasi, dinyatakan sebagai

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div} \mathbf{u} \quad (2.16)$$

2. Komponen deformasi geser dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned}
 e_{xy} = e_{yx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\
 e_{xz} = e_{zx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\
 e_{yz} = e_{zy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

3. Sedangkan deformasi volumetric dinyatakan sebagai

Pada fluida yang bersifat Newtonian, tegangan kekentalan berbanding lurus terhadap deformasi. Dengan memasukkan besaran-besaran viskositas μ untuk deformasi linear dan untuk deformasi volumetric, maka diperoleh komponen tegangan kekentalan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} u \\
 \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \operatorname{div} u \\
 \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \operatorname{div} u \\
 \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\
 \tau_{xz} = \tau_{zx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\
 \tau_{yz} = \tau_{zy} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

Dengan substitusi persamaan (2.18) ke dalam persamaan (2.12) hingga (2.14) akan menghasilkan persamaan Navier-Stokes yang akan digunakan dalam metode *finite volume*.

$$\begin{aligned}
\rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot v) + S_{My} \\
\rho \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot w) + S_{Mz} \\
\rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} \cdot u) + S_{Mx}
\end{aligned} \tag{2.19}$$

2.6.4 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (residual) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

2.6.5 Metode Spektral (*Spektral Method*)

Metode ini didekati dengan deret Fourier atau deret *polynomial* Chesbyshev. Metode ini dilakukan dengan pendekatan valid melalui computational domain, berbeda dengan metode beda hingga dan elemen hingga yang pendekatannya tidak lokal. Pada metode ini persamaan-persamaan yang tidak diketahui diturunkan ke dalam persamaan pengendali dengan fungsi deret.

2.6.6 Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*)

Metode ini dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi

CFD *code* meliputi teknik-teknik pendiskritan yang cocok untuk menyelesaikan fenomena perpindahan, konveksi (akibat aliran fluida) dan difusi (akibat adanya perbedaan antara satu titik dengan titik lainnya), serta *source* (berhubungan dengan muncul dan

hilangnya). Kekekalan variabel aliran *dalam finite control* volume dapat diekspresikan dengan persamaan keseimbangan bahwa perubahan dalam control volume terhadap waktu sama dengan penjumlahan perubahan dari konveksi ke dalam kontrol volume, dan difusi ke dalam kontrol volume serta perubahan ke dalam kontrol volume.

2.6.7 Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) merupakan metode perhitungan menggunakan kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputer. Prinsip perhitungan CFD diawali dengan membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen terintegrasi. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya – gaya yang bekerja pada model ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu. Kondisi batas dalam hal ini diperlukan sebagai input. Prinsip ini sering dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip tersebut adalah Finite Element Analysis (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah penemuan CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai dikenal pada tahun 70 an, awal pemakaian konsep CFD hanya terbatas pada aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD semakin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Sebagai contoh adalah semakin berkembangnya software CAD yang memiliki kompatibilitas tinggi dengan CFD, baik dalam kelengkapan tool maupun dalam pendukung konsep perhitungan untuk menganalisa gaya yang terjadi pada model analisa. Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai untuk memprediksi :

1. Aliran suatu fluida beserta distribusi temperaturnya
2. Transfer massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti oksidasi (pembakaran)
5. Gerakan mekanis seperti piston, fan dan propeller pada kapal
6. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
7. Gelombang elektromagnet.

CFD menerapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip – prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa,

perhitungan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses perhitungan CFD dapat diawali dengan mendefinisikan suatu model menjadi elemen – elemen kecil. Setiap elemen yang terbentuk akan dikontrol dengan menggunakan konsep persamaan dinamika fluida. Seperti pada persamaan matematis lainnya, persamaan dinamika fluida memerlukan variabel inputan untuk mendapatkan suatu nilai hasil. CFD memanfaatkan kondisi batas (Boundary Conditions) pada domain fluida sebagai variabel inputan guna menjalankan persamaan tersebut. Sebagai contoh, ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur maka perhitungan yang dilakukan akan menggunakan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa inisialisasi awal dari persamaan dinamika fluida adalah boundary condition.

2.6.8 Persamaan Dasar Dinamika Fluida pada CFD

Pada dasarnya semua jenis CFD menggunakan persamaan dasar (*governing equation*) dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika :

1. Hukum Kekekalan Massa (*The Conservation of Mass*)
2. Hukum Kedua Newton (*Newton's Second Law of Motion*)
3. Hukum kekekalan Energi

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut selalu diikuti:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum–hukum fisika (Hukum Kekekalan Massa, Hukum Kedua Newton, Hukum Kekekalan Energi).
2. Menerapkan prinsip-prinsip fisika di dalam model aliran. Dari penerapan, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip - prinsip fisika dasar.

Metodologi pengerjaan tugas akhir ini secara garis besar dibagi menjadidua tahap utama, yaitu analisa geometri dan analisa *software*. Untuk analisa geometri diawali dari studi literatur yang diperoleh dari data yang didapat dari referensi berupa buku sebagai acuan untuk konsep desain. Setelah tahap pertama selesai dilanjutkan ketahap kedua yaitu analisa *software*, pada tahap ini diawali dengan pembuatan model kapal, dan bila syaratnya sudah memenuhi kemudian dilakukan tahap analisa dengan *software*.

2.6.9 Pemodelan dan Simulasi Numerik

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan *software* antara lain:

1. Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.

2. Memiliki kemampuan system studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan scenario kecelakaan).
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Aplikasi dari *software* untuk penyelesaian masalah aliran pada kapal telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir – akhir ini. Bahkan pada saat initeknik *software* merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perencanaan. Dengan *software* memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan kedalam *software* dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat – sifat fluida yang ada disekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam *solver 32 problem* yang ada akan dihitung. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil *output* dari *running* program. Computational Fluid Dynamics merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait. Seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (*numeric*). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non-industri. Code *software* terstruktur atas *logaritma numeric*, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida.

Secara umum proses simulasi dengan menggunakan CFD dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu *Pre Processor*, *Solver Manager (flow solution)*, *PostProcessor (Analyse and Visualise)*, yang akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut :

1. *Pre Processor*

Proses ini dapat dimulai dengan membuat model yang akan dianalisa, kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian domain dan kondisi batas (*boundary condition*). Pada tahap ini model beserta ruangan yang akan dianalisa dibagi – bagi sejumlah grid tertentu atau juga disebut dengan *meshing*.

Pada tahap awal pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran untuk *software* melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan pada *software* meliputi :

- a. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai *domain* komputasi

- b. Membentuk *Grid Generation* atau membagi *domain* yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (*subdomain*)
- c. Penentuan fenomena fisika dan kimia dari model
- d. Penentuan sifat-sifat fluida (*boudary condition*), seperti
 - pendefinisian harga *densitas*, kekentalan, suhu fluida dan lain-lain
- e. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan
- f. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *Grid (Mesh)*

Analisa masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap cell. Jumlah cell dalam *grid (mesh)* menentukan akurasi penyelesaian *software*. Pada umumnya semakin banyak cell semakin akurasi penyelesaiannya. Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan cell tidak mempengaruhi hasil dari analisa. Untuk itu pengguna software dituntut untuk menentukan jumlah cell atau elemen yang optimum. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses *meshing* dilakukan dengan sangat halus, sedang untuk daerah yang lain dilakukan dengan sedikit lebih kasar.

2. *Solver Manager* (Penyelesaian Perhitungan)

Tahap selanjutnya adalah processor /solver, pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume control dengan proses integrasi persamaan diskrit. Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum metode numerik solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- b. Diskretisasi dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika
- c. Penyelesaian dari persamaan aljabar Metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formulasi *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada berbagai code CFD komersi seperti : PHOENICS, CFX, FLUENT, NUMECA, FLOW3D dan STARCD.

Pada tahap ini input dari *boundary condition* sangat diperlukan guna menterjemahkan elemen-elemen beserta kondisinya agar dapat dimengerti oleh software sehingga perhitungan dapat

dilaksanakan. Macam *boundary condition* terdiri dari terjemahan fluida, kapal, wall *inlet* dan *outlet*.

1. Massa dan Momentum

Momentum yang terjadi pada aliran fluida yang dipengaruhi oleh massa dan kecepatan dengan vector kecepatan U, V dan W. Arah yang diambil dalam perlakuan terhadap boundary adalah arah normal terhadap domain. Komponen kecepatan aliran (*Cartesian Velocity Vector*) adalah dengan resultant:

$$U_{inlet} = U \text{ spec}^j + V \text{ spec}^i + W \text{ spec}^k$$

2. Tekanan Total

Tekanan Total, P_{tot} , untuk fluida didefinisikan sebagai

$$P_{tot} = P_{static}$$

3. Kecepatan Laju Aliran Massa

Batas laju aliran massa, ditentukan sepanjang arah komponen, dimana influx massa dihitung menggunakan rumus : $\rho U = m / \int_s dA$

a. *Boundary Condition Outlet*

1. Kecepatan outlet

Komponen kecepatan outlet boundary adalah velocity

$$U_{outlet} = U \text{ spec}^j + V \text{ spec}^i + W \text{ spec}^k$$

2. Tekanan Outlet Fluida

Tekanan outlet fluida adalah tekanan static inlet ditambah perubahan tekanan yang terjadi

$$P_{tot} = P_{stat} + 1/2 \rho U^2$$

b. *Boundary Condition Wall*

1. Tekanan Statis rata-rata

Wall Relativ Static Pressure adalah

$$P_{av} = P_{dA} \int P_{dA}$$

2. Mass Flow Rate Out

Distribusi massa di daerah wall ditentukan oleh aliran berat massa

3. Heat Transfer

4. Perpindahan panas di tentukan adiabatic pada *wall boundary* kapal karena pengaruh energi panas yang begitu kecil terhadap nilai lift sehingga.

$$Q_{wall} = 0$$

3. *Post Processor (Analyse and visualize)*

Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualise aliran fluida pada model. Data numeric yang diambil adalah data nilai variable sifat fluida, data sifat fluida yang dapat di ambil adalah sebagai berikut:

- a. Densiti
- b. Kekentalan densiti
- c. Eddy Viscosity
- d. Koefisien perpindahan panas
- e. Nilai dari *mach*
- f. Tekanan
- g. Tekanan *Gradient*
- h. *Shear Strain rate*
- i. *Specific Capacity Heat Transfer Rate*
- j. Entalpi statis
- k. Suhu
- l. *Termal Conductivity*
- m. Total entalpi
- n. Total suhu
- o. Total tekanan
- p. Turbulen energi kinetik
- q. Kecepatan
- r. *Wall Heat flux*
- s. Gaya sesek
- t. Y_{plus}
- u. Koordinat

Dan data visualisasi model yang bisa ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- a. Gambar geometri model
- b. Gambar *surface* sifat fluida
- c. Animasi aliran fluida
- d. Tampilan *vector* kecepatan
- e. Gerakan *rotasi*, translasi dan penyekalaan

- f. Arah aliran fluida
- g. *Hardcopy output*

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma (AIAA, 1998) yaitu :

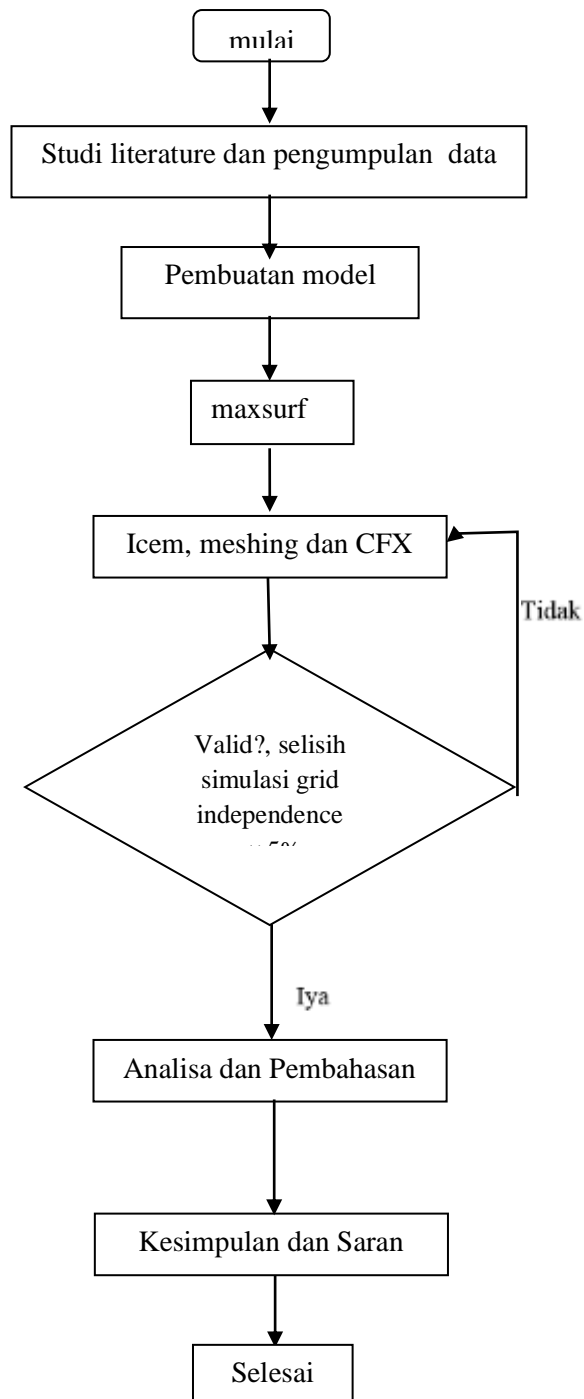
1. *Konvergensi*, yaitu property metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai grid spacing, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk kondisi lapangan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linear memerlukan konvergensi.
2. *Konsistensi*, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan system persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (equivalen) dengan persamaan pengendali sebagai jarak grid mendekati nol.
3. *Stabilitas*, yaitu penggunaan factor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan path data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

CFD memberikan hasil fisik yang realistis dengan akurasi yang baik pada simulasi dengan grid yang berhingga. Ada tiga sifat perhitungan finite volume, yaitu *conservativeness*, *Boundedness*, dan *Transportiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Disamping itu ketiganya umumnya digunakan sebagai alternatif untuk konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *conservativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan sifat-sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaian. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekentalan property fluida CFD untuk tiap control volume. Proses aliran terdiri dari dua, yaitu konveksi dan difusi. Keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagian finite volume, yaitu *transportiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart (Alur) Penelitian



Gambar 14 Alur (*Flowchart*) Penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan survey untuk mencari teori dan data pendukung yang berkaitan dengan kondisi atau permasalahan yang terjadi pada kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini. Teori dan data-data pendukung dapat bersumber dari buku-buku teks, jurnal-jurnal, maupun penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai interes yang sama dengan bidang penelitian ini.

Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan konsep hambatan kapal ikan yang menggunakan keel datar dan hambatan kapal yang menggunakan inclining keel (3° , 5° dan 7°) diantara empat variasi keel tersebut dibandingkan hambatan yang paling optimum atau yang paling kecil dan tidak terlalu memperkecil ruang muat kapal ikan. Adapun referensi yang dicari adalah sebagai berikut :

- Kapal Ikan
- Definisi dan Karakteristik Fluida
- Komponen Hambatan Kapal
- Konsep CFD (*Computational Fluid Dynamics*)
- Simulasi CFD *Ansys CFX*

3.4 Simulasi Komputer (Evaluasi Hambatan) *Bentuk Variasi Keel 0°, 3°, 5° dan 7°* dengan *tools* CFD

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan variasi bentuk *keel* untuk kemudian dianalisa hambatannya dengan bantuan *tools* CFD. Simulasi awal ini dilakukan guna memverifikasi Hasil simulasi dikatakan valid apabila selisih antara *grid independen* kurang dari 5%. Apabila hasil simulasi melebihi 5%, maka perlu dilakukan simulasi ulang dengan memperbaiki *meshing*. Evaluasi dengan menggunakan CFD disimulasikan dengan menggunakan 4 (empat) variasi kecepatan.

3.4.1 Evaluasi Hambatan Viskos dengan CFD

Evaluasi hambatan viskos menggunakan 1 macam domain, dapat berupa air maupun udara. Pada kasus ini air dipilih sebagai domainnya. Kemudian, karena bagian model yang bergesek dengan air adalah bagian di bawah sarat, Luasan WSA (*Wetted Surface Area*), maka batas domain atas adalah sarat kapal. Ukuran domain optimum berdasarkan penelitian Utama (1999) ditulis pada point di bawah ini yaitu

1. Jarak sisi depan (inlet) terhadap model berkisar 2L – 3L

2. Jarak samping ke sisi model $\geq 2L$
3. Jarak sisi belakang (outlet) terhadap model berkisar 3L-5L

Kondisi batas domain di-*setting* berdasarkan kondisi menyerupai kondisi sebenarnya, di antaranya:

- Inlet, area masuknya fluida diset agar memiliki kecepatan sama dengan kecepatan gerakan model
- Outlet, tempat keluarnya fluida atau bisa disebut hilir. Daerah ini dianggap dalam kondisi tidak bertekanan sehingga disimulasikan bahwa outlet berada pada kondisi *static pressure* dan nilainya diset 0 untuk memastikan tidak terjadi gangguan ke hulu (belakang) atau dikenal dengan istilah *no upstream disturbances* (Mitchell dan Webb, 2008).
- Wall, Dinding domain dianggap tidak ada gesekan, *free slip*, yang berarti fluida bebas bergerak.
- Bottom disetting *no slip* untuk menunjukkan pengaruh kedalaman.
- Model, sama halnya dengan bottom model harus diatur *no slip* agar pengaruhnya dapat dianalisa.

3.4.1 Evaluasi Hambatan Total dengan CFD

Evaluasi hambatan total harus menggunakan 2 medium, air dan udara, karena dalam simulasinya terdapat efek *free surface*, yaitu fluida 1 memasuki area fluida lainnya. Efek ini biasa disebut sebagai gelombang kapal. Ukuran domain tidak berbeda jauh dengan domain yang digunakan pada simulasi hambatan viskos, hanya terdapat penambahan ketinggian domain udara. Adapun kondisi batas yang diterapkan adalah:

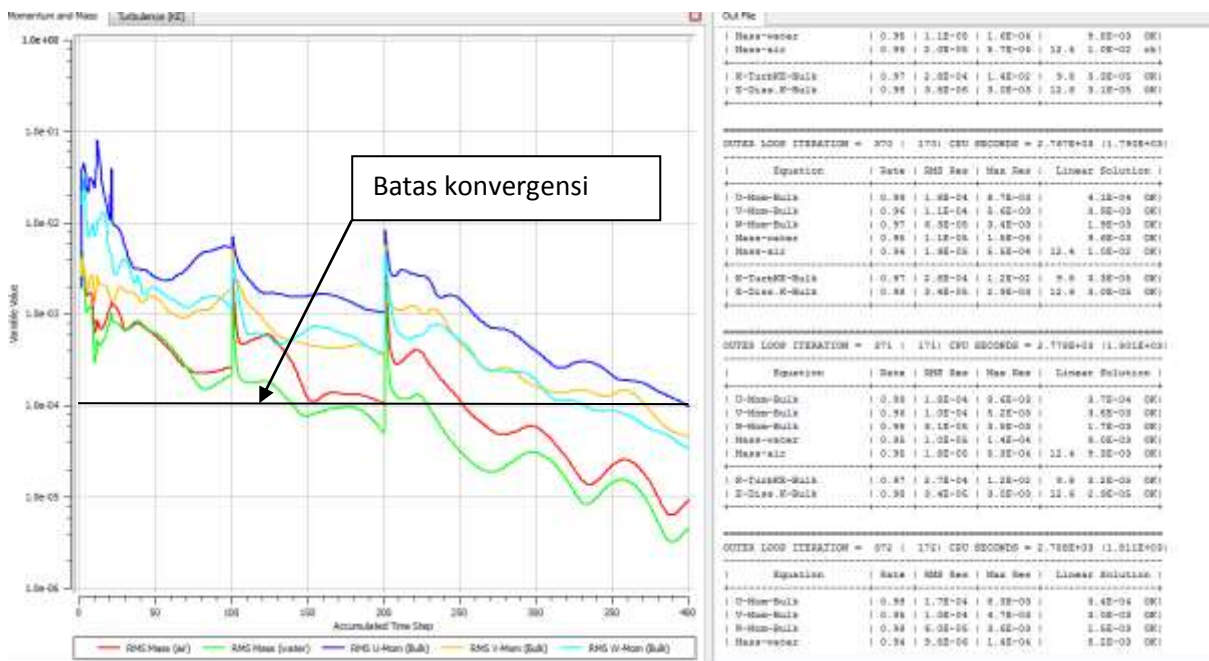
- Inlet, diset senilai kecepatan air masuk sesuai dengan kecepatan kapal
- Outlet, Tekanan pada outflow dianggap statis, mengikuti tekanan hidrostatik fluida, merupakan fungsi 'DownPres' CCL (CFX, 2007).
- Model, No slip, tidak terjadi selip
- Wall, *free slip*, tidak terjadi gesekan
- Bottom, No slip, tidak terjadi selip
- Top, bagian dinding atas, di set sebagai *opening* atau dinding terbuka yang artinya tidak ada pengaruh tekanan dari mana pun.(CFX, 2007)

3.5 Validasi Data

Untuk memastikan bahwa metode dan hasil dari simulasi CFD adalah benar, maka diperlukan proses validasi. Ada 2 proses dalam validasi hasil yaitu;

1. Convergence

Merupakan pengaturan persamaan solver control untuk meminimalisir error pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah 10^{-4} (lihat Gambar 15). Yang artinya proses perhitungan atau running akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan seperti disebutkan pada gambar 15 mencapai hasil dengan tingkat error sebesar 10^{-4} .



Gambar 15 Grafik konvergensi

2. Grid Independence

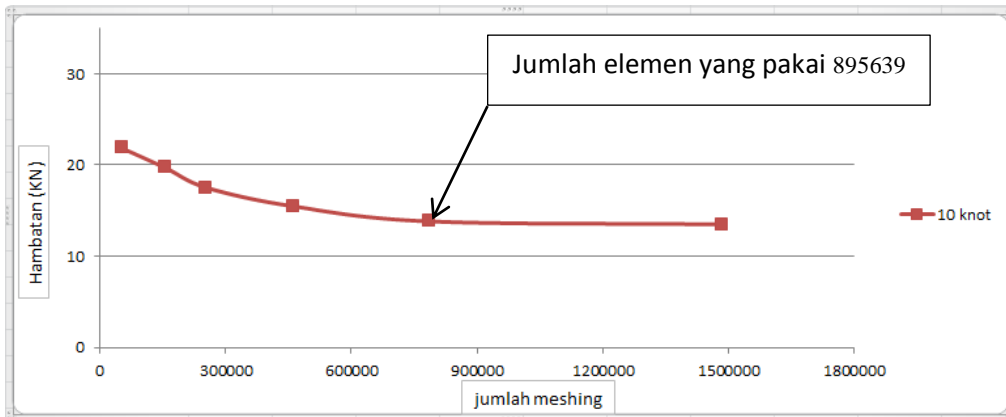
Sebelum melangkah ke bagian analisis, penulis perlu memastikan bahwa metode simulasi CFD yang digunakan adalah benar. Tahap ini disebut sebagai tahap validasi. Salah satu cara untuk membuktikan keakuratan hasil simulasi adalah dengan menggunakan *Grid Independence*. Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa hasil yang ditampilkan oleh CFD sangat bergantung pada ukuran meshing dari model. Semakin kecil ukuran mesh maka jumlah elemen model yang terbentuk semakin banyak. Jumlah elemen yang besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang banyak menjamin optimalisasi simulasi. Proses simulasi dapat dinilai optimal tidak hanya karena hasil yang akurat, melainkan juga waktu yang digunakan dapat dibatasi. Penggunaan waktu yang minimum dapat diatur melalui pemilihan jumlah elemen. Proses running akan semakin singkat apabila jumlah elemen sangat sedikit.

Namun perlu diingat bahwa jumlah elemen juga mempengaruhi hasil. Hal yang dilakukan adalah melaksanakan simulasi secepat mungkin dengan hasil seakurat mungkin. Posisi di mana hal tersebut dapat diaplikasikan adalah titik optimum simulasi. Titik optimum secara deskripsi digambarkan sebagai berikut. CFD sudah dapat menjangkau nilai dari hasil yang akurat pada jumlah elemen tertentu, dan apabila jumlah elemen diperbanyak maka hasil yang diperoleh tidak akan jauh berbeda. Keuntungan pemilihan elemen optimum juga menjadi pertimbangan keterbatasan kemampuan komputer yang terbatas.

Berikut ini adalah hasil *Grid Independence* yang dioperasikan pada salah satu kondisi batas yaitu model bergerak pada kecepatan 10 knot untuk R_T 2 fluida sebagai parameter hasil (lihat Tabel 1). Menurut Utama (2002) Grid independence mencapai posisi optimum apabila selisih perbedaan nilai hambatan antara suatu jumlah elemen dengan elemen sebelumnya kurang dari 5% .

Tabel 1 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil pada simulasi 2 fluida

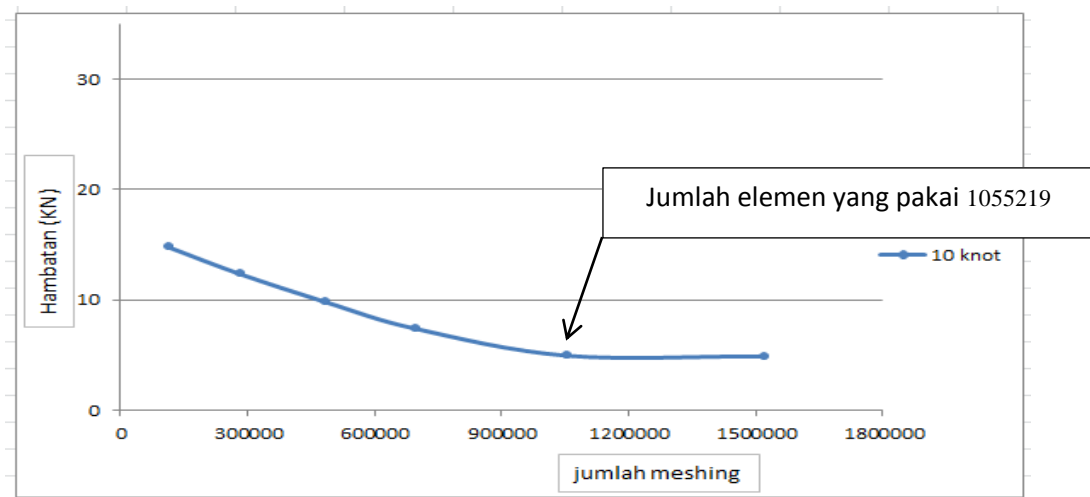
Simulasi ke-	1	2	3	4	5	6
Jumlah elemen	51373	154401	253386	461692	895639	1485681
Hambatan Total [KN]	30,853	29,231	27,576	26,451	24,969	23,934
Selisih	0,053	0,057	0,052	0,056	0,041	1,000



Gambar 16 Grid independence study 2 fluida

Tabel 2 Pengaruh Jumlah Elemen Terhadap Hasil pada simulasi 1 fluida

Simulasi ke-	1	2	3	4	5	6
Jumlah elemen	113721	281691	485614	695512	1055219	1519372
Hambatan Viscos [KN]	14,751	12,336	9,770	7,385	4,932	4,784
selisih	0,164	0,208	0,244	0,332	0,030	1,000



Gambar 17 Grid independence study 1 fluida

Dari tabel dan grafik di atas kita dapat membaca bahwa nilai optimum penggunaan elemen berada pada percobaan ke-5. Pemilihan ini didasarkan karena posisi tersebut menunjukkan selisih seperti yang diterangkan oleh Utama (2002). Sebagai catatan bahwa grid tertrahedral digunakan untuk bentuk-bentuk *unstructural* yang digunakan dengan *the viscous flow code* untuk komputasi domain dan menggunakan grid quadrilateral dengan *the potential flow code* untuk pemodelan kapal dan permukaan air disekitar badan kapal (Jamaluddin dkk, 2010).

3.6 Bentuk Keel Optimum untuk Hambatan Minimum

Hasil akhir yang diharapkan pada Tugas Akhir ini adalah *bentuk sudut keel* yang optimum untuk hambatan yang minimum yang pada akhirnya akan menurunkan konsumsi bahan bakar dan lebih cepat didalam penangkapan ikan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI AWAL

4.1 Pendahuluan

Pada Bab III sebelumnya telah disinggung bahwa pada penelitian ini hambatan yang akan diprediksi dengan bantuan *tools* CFD adalah hambatan viskos dan hambatan total. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan *variasi sudut keel* 0° , 3° , 5° dan 7° untuk kemudian dianalisa hambatannya menggunakan metode numerik. Prosedur dan tahapan dalam menghitung hambatan kapal melalui simulasi metode numerik juga akan dijabarkan pada Bab ini. Simulasi awal ini dilakukan guna memverifikasi hambatan yang diperoleh melalui CFD

4.2 Pembuatan Model

4.2.1 Simulasi CFD 1 Fluida

1. Tahapan pada proses *Pre Processor*

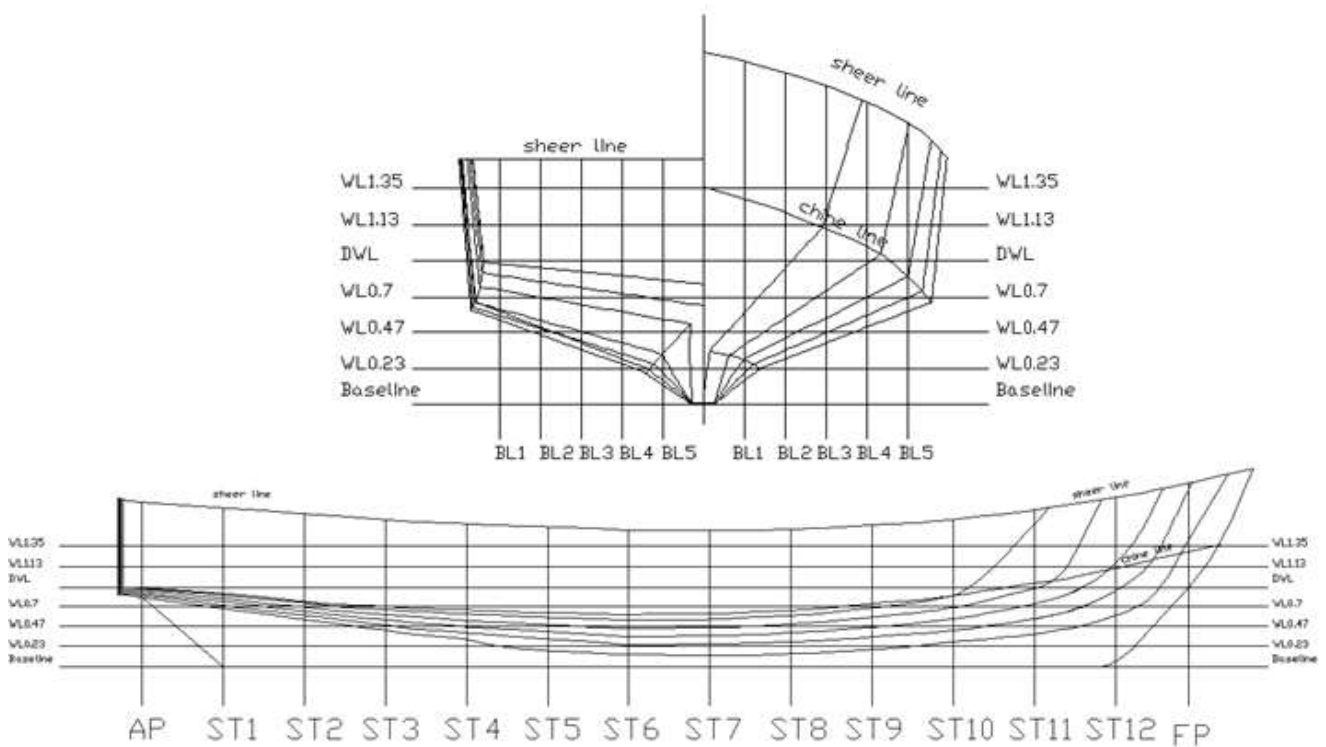
Langkah ini dilakukan sebelum melakukan perhitungan. Proses pada tahapan *pre processor* dimaksudkan untuk membuat objek beserta deskripsi karakteristiknya agar dapat dimengerti oleh software. Setiap keputusan desain model akan dapat berpengaruh pada hasil simulasi sehingga kesalahan modeling perlu dihindari. Berikut adalah tahapan yang perlu dilakukan ;

Untuk menghitung hambatan kapal dengan menggunakan bantuan *tools* CFD, langkah pertama yang harus dikerjakan adalah memodelkan kapal ke dalam bentuk 3D melalui ICEM CFD. Untuk dapat memodelkan kapal ke dalam bentuk 3D, sebelumnya kita sudah harus mempunyai desain *lines plan* dari kapal tersebut. *Lines plan* dapat dibuat baik dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf maupun autoCAD. Model lambung kapal yang digunakan pada penelitian ini digambar menggunakan bantuan *software* Maxsurf. Model yang digunakan pada penelitian ini merupakan *variasi keel* dengan skala 1:1 dimensi model ditunjukkan pada Tabel 3 berikut:

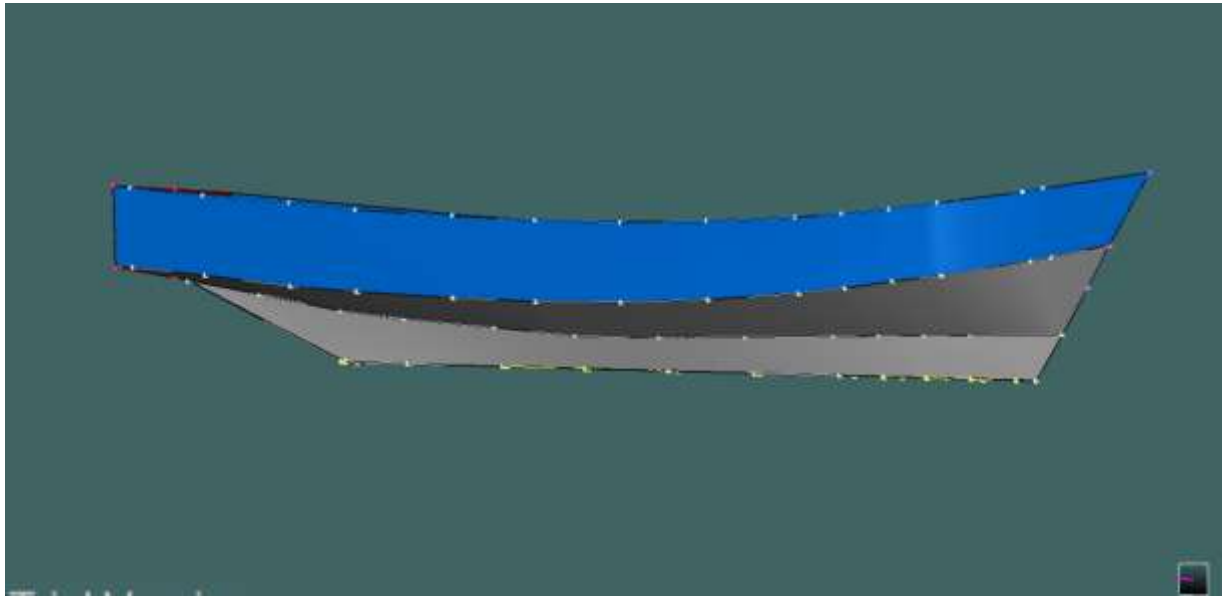
Tabel 3 Dimensi kapal

Dimensi Kapal	Keel datar	Keel 3°	Keel 5°	Keel 7°
Loa (m)	13.39	13.39	13.39	13.39
Lwl (m)	12.56	12.56	12.56	12.56
Lpp (m)	12.34	11.56	11.56	11.56
B (m)	4	4	4	4
H (m)	1.62	1.62	1.62	1.62
T (m)	0.94	0.92	0.9	0.88
Cb	0.45	0.42	0.41	0.39
V (m ³)	46.41	42.54	41.67	40.69
WSA (m ³)	36.382	31.133	29.732	27.653

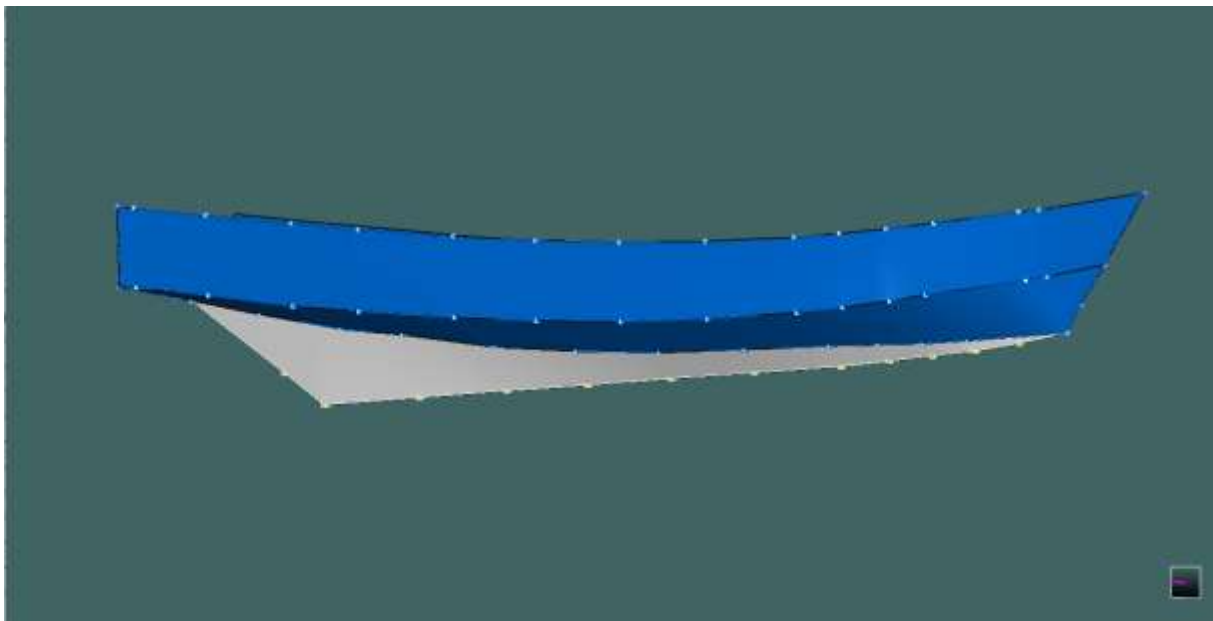
Gambar *lines plan* model serta bentuk 3D lambung kapal yang dihasilkan oleh *software* Maxsurf dapat dilihat pada gambar 18 serta gambar 19 dan 20. Untuk *lines plan* inclining keel lihat Lampiran A.



Gambar 18 Lines Plan Model



Gambar 19 Kapal keel datar



Gambar 20 Kapal Inclining keel

Setelah model kapal selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah meng-*export* file .msd (*default software* Maxsurf) ke dalam bentuk file .igs agar dapat dibaca oleh ICEM CFD untuk kemudian dilakukan pembagian elemen ke dalam bentuk yang lebih kecil (*meshing*).

2. Tahapan pada proses flow solver

Salah satu langkah sebelum proses running perhitungan berjalan adalah penentuan kondisi batas dari model. Kondisi batas itu sendiri dapat didefinisikan sebagai keadaan atau karakteristik dari bagian objek penelitian yang dilakukan. Seperti penentuan jenis fluida dan besar temperturnya, penentuan metode perhitungan yang dipakai, penentuan tekanan pada dinding fluida dan lain-lain. Berikut adalah kondisi batas yang dipakai pada di dalam Tugas Akhir ini.

a. Kondisi batas inlet

Pada bagian sisi tempat fluida masuk disebut inlet, pada sisi ini dicantumkan kecepatan dari aliran fluida yang disamakan dengan kecepatan gerak kapal. Pada simulasi ini fluida diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan kapal pada posisi seolah-olah diam.

Kecepatan kapal yang dimaksud divariasikan menjadi 6 kecepatan sebagai berikut;

- 1) Kecepatan : 4 knot
- 2) Kecepatan : 6 knot
- 3) Kecepatan : 8 knot
- 4) Kecepatan : 10 knot

b. Kondisi batas outlet

Outlet adalah bidang sisi keluarnya fluida. Daerah ini dianggap dalam kondisi tidak bertekanan sehingga disimulasikan bahwa outlet berada pada kondisi *static pressure* dan nilainya diset 0 untuk memastikan tidak terjadi gangguan ke hulu (belakang) atau dikenal dengan istilah *no upstream disturbances* (Mitchell dan Webb, 2008).

c. Kondisi batas wall

Dinding fluida dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan sehingga boundary detail diisikan *free slip wall*.

d. Kondisi batas objek simulasi (ship)

Berbeda dengan keadaan yang diterapkan pada area dinding-dinding fluida. Permukaan kapal akan mengalami gesekan dengan fluida akibat terjadinya kontak langsung dari keduanya. Sehingga pada simulasi ini kapal dikondisikan sebagai *no slip wall* (tidak terjadi slip).

e. Kondisi domain

Domain dapat didefinisikan sebagai tempat atau media di mana kapal bergerak. Dalam hal ini media gerak kapal adalah air tawar dengan density 1000 kg/m^3 disesuaikan dengan keadaan tempat uji tarik di laboratorium *towing tank*. Morfologi yang dipakai adalah *continous fluid* yang mewakili sifat fluida pada umumnya dengan tekanan sebesar 1 atm karena kapal berada pada permukaan air.

Setelah penerapan kondisi batas pada setiap bagian dari domain, langkah selanjutnya adalah pemilihan model turbulen yang digunakan dan penentuan batas kriteria konvergensi. Pemilihan model turbulen didasarkan bahwa untuk memecahkan persamaan yang mengatur fluida, domain fluida dibagi kedalam jumlah sel yang terbatas dan persamaannya dirubah kedalam bentuk aljabar melalui proses diskritisasi, dimana menggunakan metode *finite volume* (Jamaluddin, 2012). Model turbulensi k-epsilon merupakan model semi empiris yang dikembangkan oleh Launder dan Spalding (Tuakia, 2010).

Model k-epsilon merupakan model dua dimensi yang cukup lengkap dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen dan skala panjang ditentukan secara independen. Kestabilan, ekonomis (dari sisi komputasi) dan akurasi yang memadai merupakan keunggulan model k-epsilon dalam simulasi aliran fluida dan perpindahan panas. Beberapa peneliti (Perez, 2008) juga menggunakan model ini untuk melakukan simulasi dengan menggunakan CFD untuk menghitung komponen hambatan. Aliran turbulen dikenali dengan adanya medan kecepatan yang berfluktuasi. Fluktuasi tersebut membawa berbagai besaran seperti momentum, energi, konsentrasi partikel dan menyebabkan besaran tersebut turut berfluktuasi.

Namun menurut beberapa peneliti, model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam diskusi NASA Technical Memorandum (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000).

f. Solver control

Pada tahap solver control dikenal istilah RMS (*Root Mean Square*) yang merupakan salah satu komponen dari proses konvergensi pada tahap validasi. RMS menggambarkan jumlah iterasi yang diinginkan. Jumlah iterasi tersebut dapat diungkapkan pada jumlah residual target yang ingin dicapai, yaitu tingkat kesalahan yang mungkin terjadi selama iterasi. Apabila nilainya diperkecil akan berakibat pada semakin akurat nilai dari hasil yang akan dikeluarkan.

Pada simulasi Tugas Akhir ini dipakai *residual target* value 1E-04 yang berarti tingkat penyimpangan pencapaian hasil akan sangat kecil. Nilai ini merupakan nilai konvergensi terbaik dan telah banyak digunakan pada berbagai perhitungan aplikasi teknik (Ansys, 2007; Dinham dkk., 2008). Meskipun sebenarnya residual target untuk tahap konvergensi cukup sampai 1E-04.

g. Initialisation

Initialisation merupakan gambaran dari kondisi fluida yang mencakup kecepatan, tekanan dan jenis aliran. Fluida dianggap bergerak hanya pada satu arah yaitu berlawanan dengan arah hadap kapal pada sumbu x atau sumbu u, pada sumbu u diisikannilai kecepatankapal sedangkan kecepatan pada sumbu lain dianggap nol.

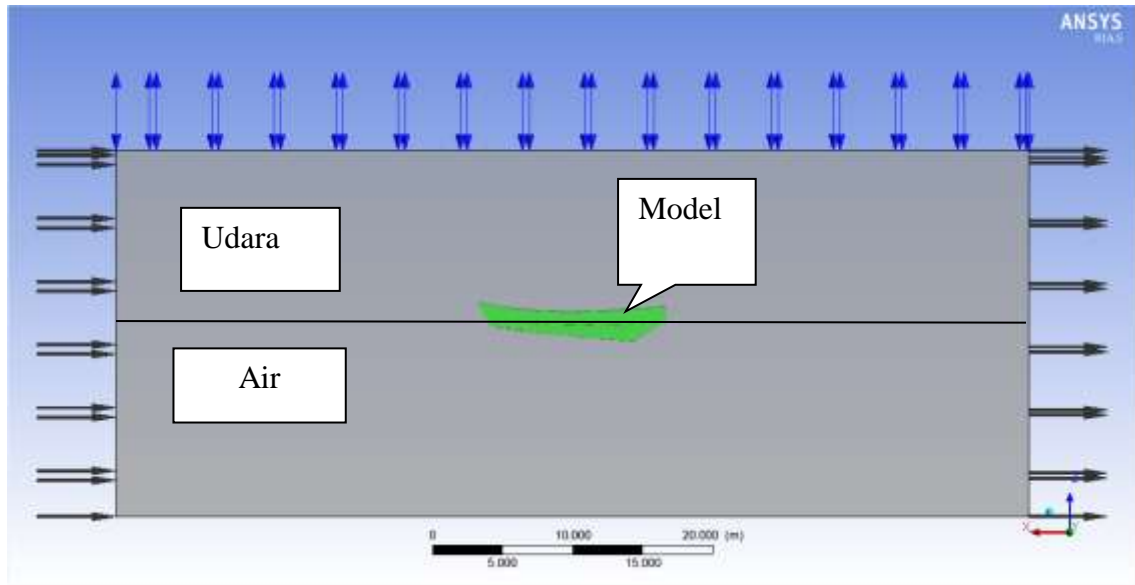
4.2.2 Simulasi CFD 2 Fluida

Definisi 2 fluida adalah mengacu pada 2 material atau bahan yang digunakan sebagai domain pada simulasi ini, air dan udara merupakan fluida sebagai tempat model kapal bergerak. Tujuan utama dari simulasi ini adalah mencari hambatan total, hambatan tidak hanya dihasilkan oleh kerja fluida melainkan juga oleh udara. Produk lainnya adalah visualisasi pola gelombang yang terbentuk akibat aktivitas model.

1. Tahapan proses *Pre Processor*

a. Pemodelan

Sama halnya seperti simulasi dengan 1 fluida untuk mendapatkan hambatan viskos, di dalam simulasi dengan kondisi 2 fluida tahap pre processor diawali dengan pemodelan kapal di dalam domain. Perbedaan dari kedua model adalah keberadaan domain udara yang tidak dimiliki pada simulasi untuk mendapatkan hambatan viskos, sehingga memungkinkan keberadaan area free surface (daerah bebas) yaitu pada batas kedua fluida (lihat Gambar 21). Bentuk ini sesuai dengan penelitian Utama dkk (2009).



Gambar 21 Kondisi batas domain 2 fluida

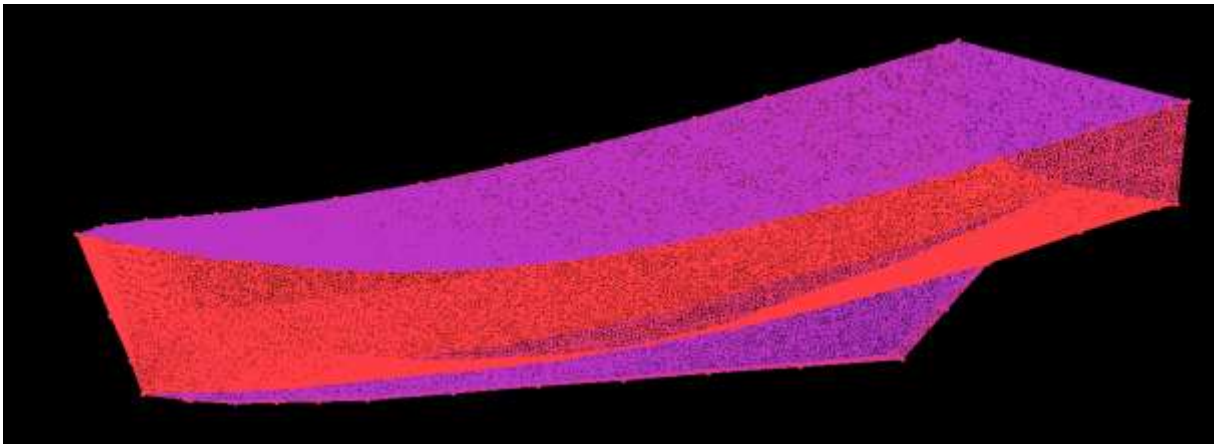
Selanjutnya bidang-bidang sisi domain diberi nama untuk memudahkan pembuatan kondisi batas (lihat Gambar 4.6). Perintah yang digunakan adalah klik kanan pada “part” – create part – nama boundary condition.

- 1) Inlet, sebagai bagian tempat masuknya fluida (air tawar), terletak di sisi depan kapal
- 2) Outlet, sebagai sisi keluarnya fluida di belakang arah gerakan kapal.
- 3) Wall, yang didefinisikan sebagai batasan fluida yang sifatnya free slip, yang berarti wall itu sendiri tidak memiliki pengaruh yang berarti terhadap nilai gaya yang bekerja pada kapal
- 4) Fluida diterjemahkan sebagai body yang pada proses meshing tidak perlu diberi grid karena bagian ini sudah terbaca sebagai sebuah kumpulan elemen. Perintah operasionalnya adalah create body – select bagian yang didefinisikan. Berbeda dengan simulasi sebelumnya, fluida di sini akan dibagi menjadi 2 pada proses pembuatan kondisi batas yaitu air dan udara.

b. Proses meshing

Pembuatan mesh berarti melakukan proses *convert* dari model ke sebuah struktur yang dapat dihitung. Meshing dilakukan dengan hanya menambahkan mesh tambahan (melakukan *merging*) di atas domain air yang sebelumnya telah dibuat. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan kondisi domain fluida air agar tidak berubah. Dengan demikian jumlah elemen akan menjadi lebih besar, yang jumlahnya berasal dari jumlah tetap elemen domain air dari simulasi 1 fluida ditambah dengan hasil *merging* fluida udara di atas (lihat Gambar 22). Namun tetap grid independen harus dilakukan lagi pada simulasi ke dua. Grid

independen pada kondisi 1 fluida tidak berlaku pada kondisi ini. Selanjutnya akan didapatkan jumlah elemen optimum yaitu 1487453 elemen



Gambar 22 Meshing kapal

2. Tahapan pada proses *flow solver*

Penentuan kondisi batas pada dinding-dinding domain dan pada kapal perlu dilakukan sebelum menjalankan proses solver. Mengingat kondisi domain dengan 2 fluida lebih kompleks dan rumit dari simulasi 1 fluida maka perlu dilakukan pemakaian fungsi atau persamaan untuk mempermudah pekerjaan. Fungsi itu disebut CCL (*CFX Expression Language*) yang mana dapat di-*recall* ketika kita memerlukannya.

UpH adalah Upstream yaitu ketinggian sarat air dari bottom pada hulu asal arah fluida bergerak, sedangkan DownH merupakan tinggi sarat dari bottom pada hilir atau disebut juga bagian *outflow*. Kondisi batas dari simulasi *free surface* terdiri dari beberapa bagian yaitu *inlet*, *outlet*, *wall* dan model katamaran (Jamalluddin dkk, 2010)

Kondisi batas *inlet* didefinisikan sebagai tempat masuknya fluida atau disebut sebagai hulu (*downstream*) pada proses simulasi. Pada kondisi ini besarnya kecepatan fluida (sama dengan kecepatan model) dan ketinggian aliran didefinisikan pada bagian ini. Kondisi batas *outlet* didefinisikan sebagai tempat keluarnya fluida dan besarnya komponen tekana hidostatis perlu didefinisikan pada daerah ini dan diasumsikan *an undisturbed free surface* (Jamalluddin dkk, 2010).

Ekspresi-ekspresi untuk *boundary* dan *initial conditions* yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel di bawah berikut:

Tabel 4 Eskpresi-ekspresi pada CEL (CFX, 2007)

	Nama	Definisi
tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	13.8 [m]
tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	13.8 [m]
densitas air	DenWater	1000 [kg m ⁻³]
densitas udara	DenRef	1.185 [kg m ⁻³]
densitas air–densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater*(UpH-y)
fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater*(DownH-y)

a. Kondisi batas Domain

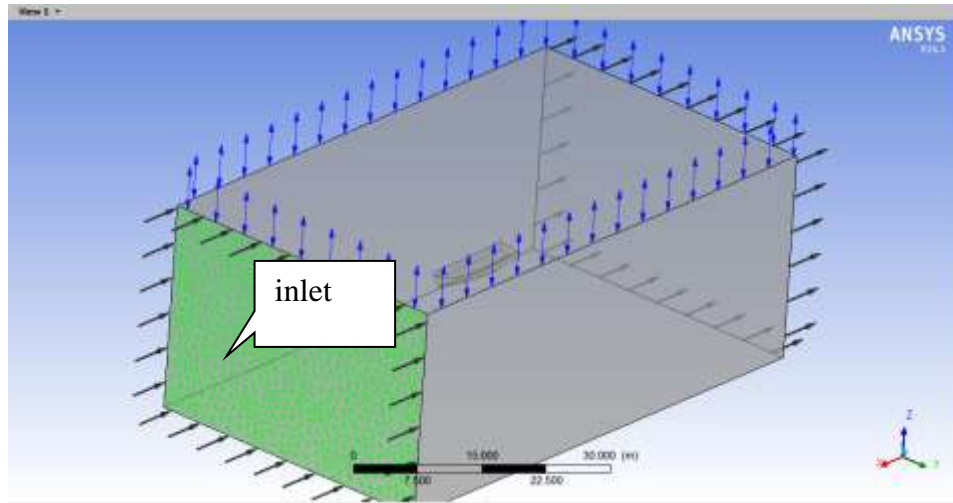
Ada 2 domain yang perlu dibentuk, yaitu Air dan Fluida diasumsikan berada pada suhu ruang 250C dan tekanan 1 atm pada batas keduanya (sarat model kapal). Model yang digunakan untuk menganalisa domain adalah *shear stress transport* pada keadaan *isothermal* seperti pada proses simulasi sebelumnya. Pengaruh adanya gravitasi diperhitungkan dalam tahap ini senilai 9.8 m/s² (CFX, 2007). Metode turbulensi *shear stress transport* merupakan salah satu pendekatan dalam pemodelan turbulensi dengan metode RANS (*Reynolds Average Navier*).

b. Kondisi batas *inflow*

Air diasumsikan bergerak sedangkan kapal diam. Hal ini cukup mewakili keadaan yang sesungguhnya yang seharusnya model lah yang bergerak. Kecepatan fluida, dalam hal ini udara dan air, bergerak dengan kecepatan sama dengan kecepatan kapal. Sesuai variasi kecepatan ada 6 proses *running* yang dilakukan setelahnya. Pada tahap ini dikenal *Volume fraction*, yaitu ratio antara volume domain udara atau fluida dan volume total domain untuk menentukan kondisinya dapat dengan menggunakan CCL (CFX, 2007).

Kecepatan kapal yang dimaksud divariasikan menjadi 4 kecepatan sebagai berikut;

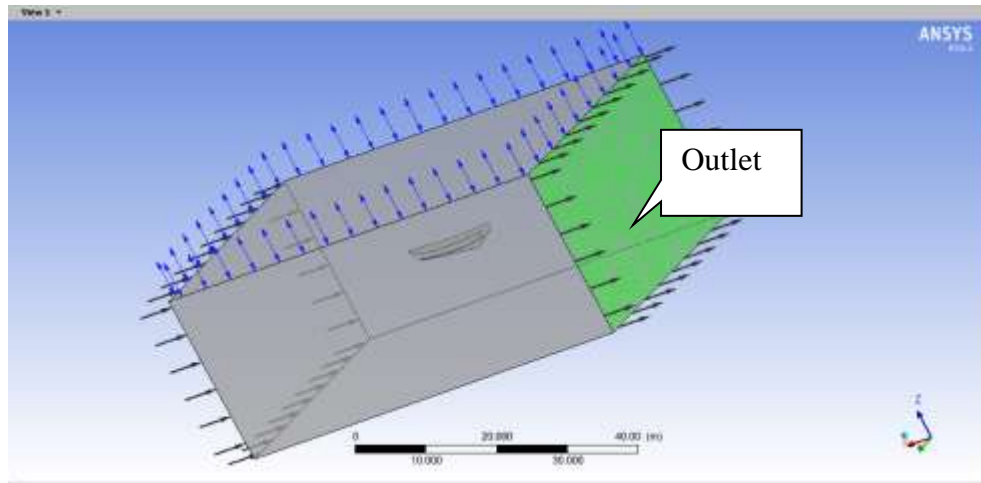
- 1) Kecepatan : 4 knot
- 2) Kecepatan : 6 knot
- 3) Kecepatan : 8 knot
- 4) Kecepatan : 10 knot



Gambar 23 Batas inlet

c. Kondisi batas *outflow*

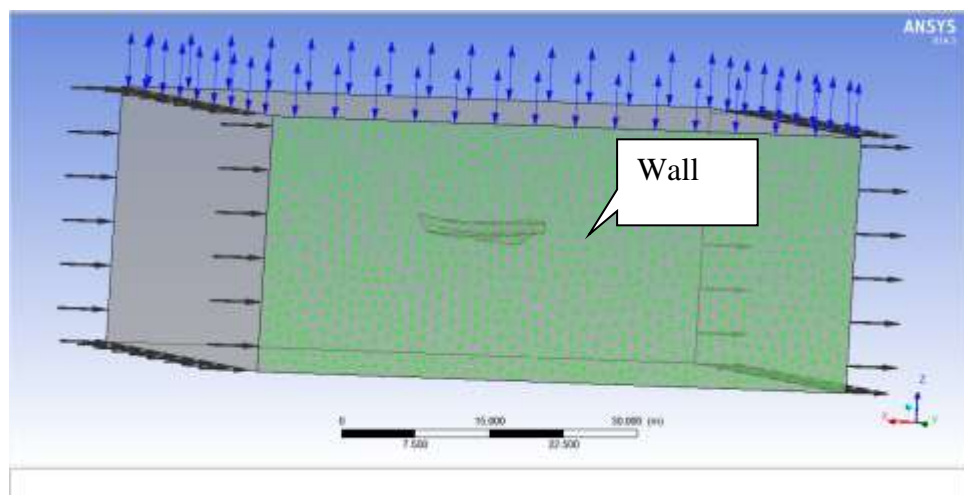
Outflow adalah sisi tempat fluida keluar atau dapat juga disebut hulu pada sungai. Tekanan pada outflow dianggap statis dan merupakan fungsi 'DownPres' CCL (CFX, 2007). Jenis tekanan pada bagian domain ini menggunakan static pressure yang berarti tekanan statis krena tidak adanya tekanan yang timbul akibat gelombang yang dihasilkan oleh badan kapal (lihat Gambar 24).



Gambar 24 Batas Outlet

d. Kondisi batas wall

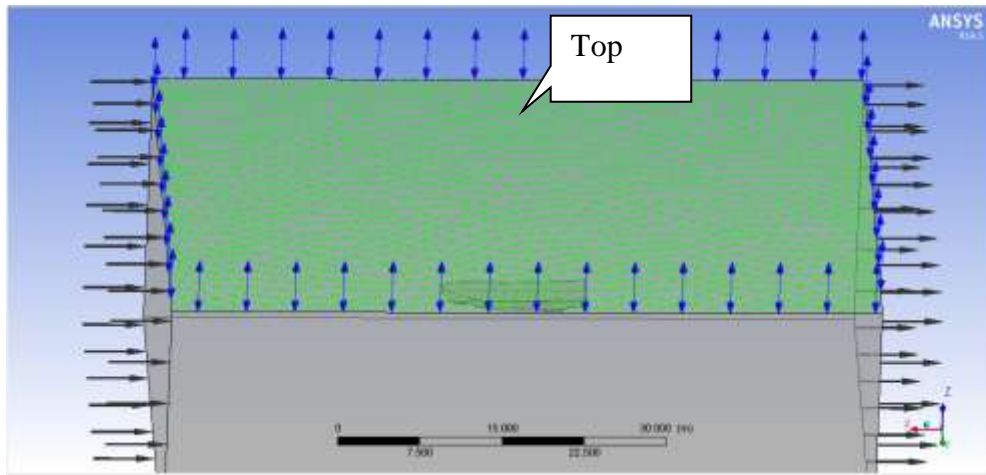
Sisi yang termasuk wall adalah sisi kanan dan kiri domain serta bottom dari box domain. Wall diasumsikan sebagai *free slip*, yaitu kondisi tanpa gesekan, dapat diartikan bahwa pada bagian ini gesekan adalah tidak ada. Pengaruh kekasaran dari dinding tidak memiliki pengaruh terhadap aliran fluida. Dalam hal ini kecepatan fluida yang mendekati dinding tidak mengalami perlambatan sehingga bagian ini tidak memiliki kekasaran. Tidak adanya pengaruh kekasaran maka domain ini tidak memiliki pengaruh tekanan. Kondisi lain yang bisa digunakan adalah Symetry, namun kondisi ini dipakai untuk mendapatkan bentuk 2 dimensi dari aliran fluida sehingga tidak dipakai (CFX, 2007).



Gambar 25 Batas Wall

d. Kondisi batas opening

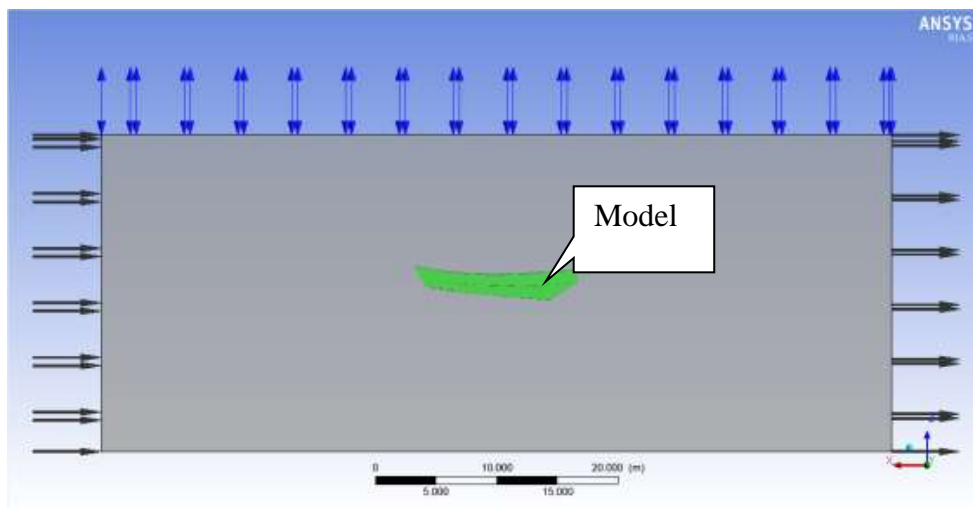
Top didefinisikan sebagai opening yang berarti volume udara dibagian atas terbuka. Sisi 'top' tidak mengalami gaya dan tekanan Turbulensi ditempat ini adalah nol (CFX, 2007).



Gambar 26 Batas Openig

f. Kondisi model

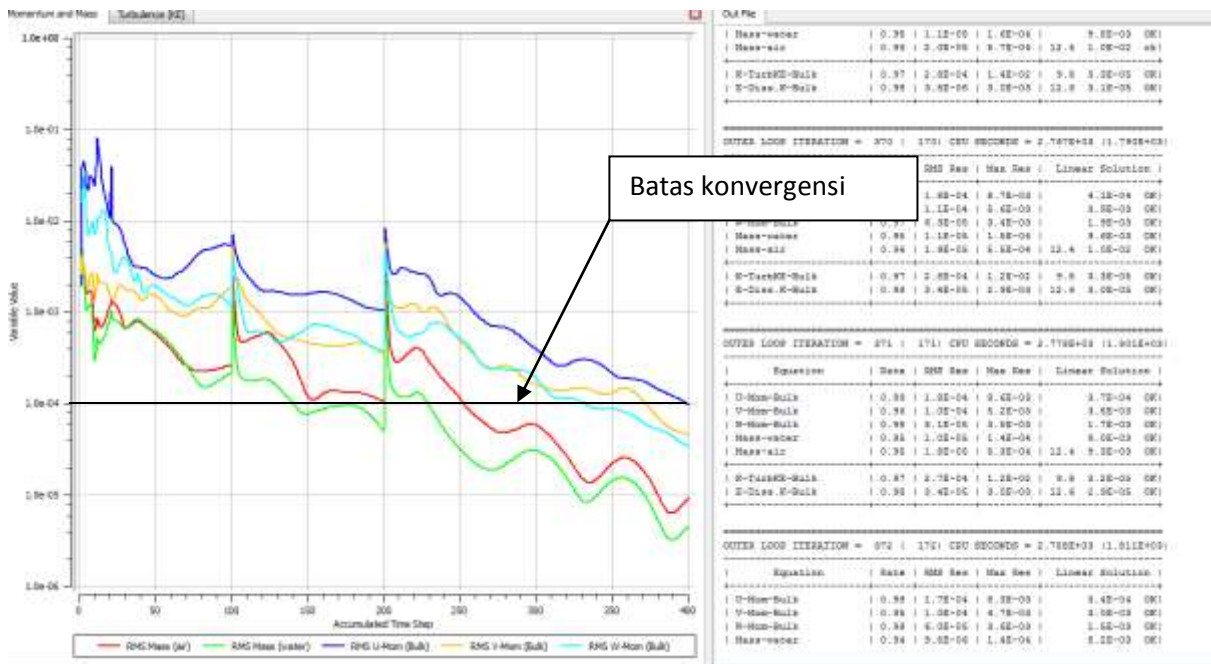
Model diasumsikan sebagai wall yang tidak slip gesekan. Sehingga kapal mengalami interaksi dengan air dan udara. Kondisi ini disebut *no slip condition* (CFX, 2007). Pada domain ini tingkat kekasarannya adalah *smooth wall*. Domain ini memiliki tingkat kekasaran yang berpengaruh terhadap aliran fluida di sekitar kapal. Kecepatan fluida yang mendekati badan kapal pada penerapan kondisi ini akan mengalami perlambatan yang kemudian menghambat laju kapl sehingga dapat diketahui besarnya gaya yang menghambat laju kapal.



Gambar 27 Batas Model

f. Tahap solver

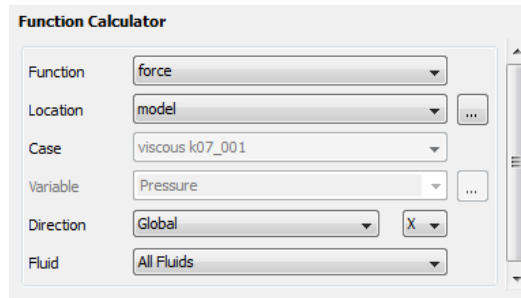
Setelah file def sebagai input untuk proses *running* dibuat, maka proses selanjutnya adalah *running* pada tahap Solver. Dengan iterasi yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya, pada proses ini langkah adaptasi (*adaption step*) pertama dilakukan. Informasi yang ditulis ke file out meliputi jumlah elemen yang telah dihaluskan dan ukuran *mesh* baru. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *accumulated time step* sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai 10^{-6} yang ditentukan pada saat tahap pre-processor ditentukan batas *variable value* adalah 10^{-4} . Gambar grafik proses *running*



Gambar 28 Grafik Proses *Running* pada Tahapan Solver

g. Tahap solver

Tahap berikutnya setelah model selesai di-*running* adalah tahap Post Processor. Pada tahap ini hambatan yang ingin diketahui pada masing-masing kecepatan dapat diketahui. Bukan hasil proses *running* yang sudah selesai melalui CFD Post, kemudian pilih tab “Calculators” diikuti dengan “Function Calculator”. Pada fitur “Function Calculator” hambatan yang terjadi pada model dapat diketahui baik hambatan pada arah X, Y, maupun Z.



Gambar 29 Fitur “Function Calculator”

4.2. Proses validasi

Sebelum melakukan simulasi untuk objek yang sebenarnya, dalam hal ini *trimaran* dengan semua kondisi batasnya, diperlukan tahap validasi hasil untuk memastikan bahwa metode yang akan digunakan adalah benar, misalnya untuk menjamin ketepatan jumlah grid dan elemen. Sehingga dapat menghindari kesalahan hasil pada saat simulasi objek penelitian yang sebenarnya. Proses validasi dapat dilakukan pada salah satu varian penelitian dengan salah satu objek yang dipakai. Adapun tahap validasi terdiri dari 3 macam (AIA, 1998), yaitu:

1. *Convergence*

Pada tahap ini proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan. (dibahas detail di Bab III)

2. *Grid Independence*

Pada tahap meshing telah dilakukan proses penerjemahan dari model ke dalam sejumlah elemen. Besarnya jumlah *cell* atau elemen yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat karena jumlah elemen juga dapat mempengaruhi perubahan bentuk geometri pada saat dilakukan *defineite*.

Tetapi tidak selamanya dengan jumlah *cell* yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah *elemen* yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar. Untuk mendapatkan jumlah elemen yang optimum sebenarnya dapat dilakukan metode trial and error. jumlah elemen pada tahap meshing dapat dilakukan dengan cara “menebak” apabila konfigurasi grid yang digunakan diketahui. Perbedaan jumlah grid akan mempengaruhi hasil yang ditampilkan CFD.

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Setelah simulasi awal untuk memverifikasi hasil hambatan yang diperoleh melalui metode numerik seperti yang telah dijelaskan pada Bab sebelumnya dilakukan, langkah selanjutnya adalah menganalisa hambatan total dari beberapa variasi bentuk sudut keel dan variasi kecepatan yang diperoleh dengan metode numerik. Serta menganalisa pengaruh inclining keel terhadap kapasitas ruang muat kapal.

Inclining keel (keel miring) sudah banyak digunakan dikapal tunda maupun kapal yang berukuran besar seperti cargo dan container yang bertujuan untuk mengurangi atau memperkecil hambatan yang terjadi pada kapal dan luas permukaan basah (WSA). Pada kapal komersial *inclining keel* juga dijadikan sebagai ballas karena saat kapal muatan penuh kapal akan *even keel*. Dalam hal ini *inclining keel* juga digunakan pada kapal ikan yang bertujuan sama yaitu untuk mengurangi hambatan dan meningkatkan daya dorong kapal didalam penangkapan ikan (Utama dan Molland, 2012).

Inclining keel (keel miring) bertujuan untuk memperkecil nilai hambatan yang terjadi pada kapal akan tetapi *Inclining keel* juga mempengaruhi dimensi kapal seperti terlihat dalam Tabel 5.

Tabel 5 Perubahan Dimensi Kapal

Dimensi Kapal	Keel datar	Keel 3°	Keel 5°	Keel 7°
Loa (m)	13.39	13.39	13.39	13.39
Lwl (m)	12.56	12.56	12.56	12.56
Lpp (m)	12.34	11.56	11.56	11.56
B (m)	4	4	4	4
H (m)	1.62	1.62	1.62	1.62
T (m)	0.94	0.92	0.9	0.88
Cb	0.45	0.42	0.41	0.39
V (m ³)	46.41	42.54	41.62	40.69
WSA (m ³)	36.382	31.133	29.732	27.653

5.2 Nilai Hambatan Total Hasil Simulasi CFD

Perhitungan hambatan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus umum hambatan seperti di bawah ini;

$$R = \frac{1}{2} \rho C WSA V^2 \quad (5.1)$$

Dimana :

R = Hambatan Kapal (N)

ρ = Densitas Fluida (kg/m³)

C = Koefisien Hambatan

WSA = Luas bidang basah lambung (m²)

V = Kecepatan Kapal (m/s)

Sedangkan besarnya nilai hambatan gelombang merupakan selisih antara hambatan total dan viskos,

$$R_T = R_v + R_w \quad (5.2)$$

Dimana :

R_T = Hambatan Total (N)

R_v = Hambatan Viskos (N)

R_w = Hambatan Gelombang (N)

Setelah data hasil simulasi CFD terbukti valid secara umum. Tahap selanjutnya yang bisa dilakukan adalah analisa data nilai hambatan baik data hasil uji tarik maupun hasil simulasi CFD. Setiap metode memiliki keuntungan dan kekurangan masing-masing, menurut Seif dan Amini (2004), prediksi nilai hambatan menggunakan pengujian towing tank merupakan metode yang sangat populer digunakan, dengan alasan bahwa percobaan dapat direalisasikan menggunakan model skala, yang kemudian hasilnya dapat ditransformasikan ke dalam benda sebenarnya pada skala normal. Namun yang menjadi permasalahan selama ini adalah keterbatasan data dari benda skala normal untuk acuan validasi. Sedangkan metode lainnya, dalam hal ini adalah simulasi CFD, memiliki keuntungan yang banyak termasuk keunggulan yang dimiliki towing tank, juga memiliki keuntungan lain seperti misalnya masalah biaya dan keefisienan. Di sisi lain penggunaan CFD pada proses pendekatan ini juga memiliki keterbatasan terkait tentang tingkat akurasi yang diharapkan.

Hambatan total terdiri dari 2 komponen hambatan, yaitu hambatan viskos dan gelombang, seperti juga diungkapkan oleh Sahoo dkk (2003). Telah dijelaskan sebelumnya pada bab simulasi CFD, bahwa untuk menentukan 2 komponen hambatan tersebut diperlukan 2 tahap

simulasi, yaitu simulasi 2 dimensi atau tanpa *free surface* yang digunakan untuk menentukan hambatan viskos dan simulasi 3 dimensi *free surface flow* atau juga bisa disebut simulasi 2 fluida, dipakai untuk menentukan hambatan total, sedangkan hambatan gelombang merupakan selisih dari kedua hambatan di atas. Simulasi dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD-ANSYS CFX. Penerapan kondisi *free surface* direkomendasikan pada perhitungan hambatan kapal dengan analisa CFD sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan oleh Jamaluddin dkk (2010). Penetapan kondisi batas dilakukan pada CFX-pre untuk selanjutnya didefinisikan sebagai input pada tahap solver. Setelah itu hasilnya dapat dimunculkan pada *post-processor*.

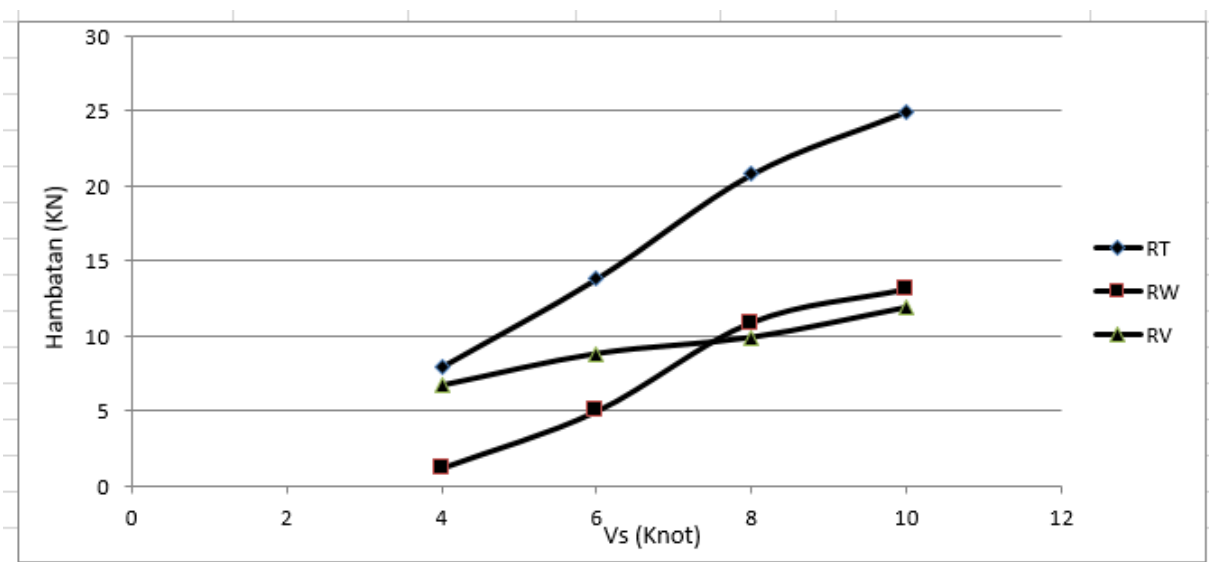
5.2.1 Keel Datar (0°)

Dari hasil simulasi diperoleh pada Tabel 5 Hambatan total keel datar dan Tabel 6 Koefisien Hambatan kapal Trimaran komponen-komponen hambatan yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 30

Tabel 6 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel Datar (0°)

Keel Datar

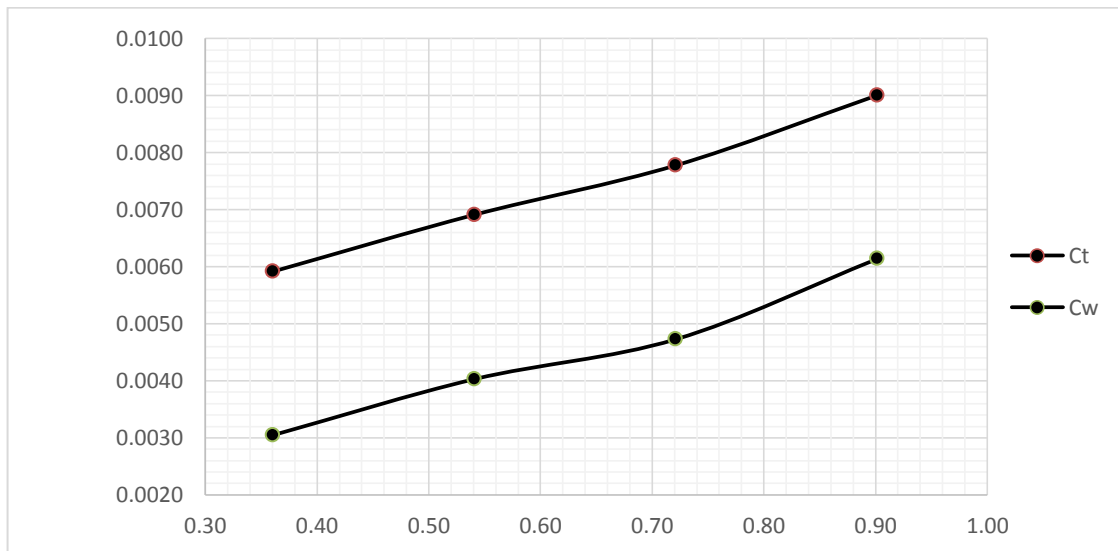
kecepatan (knot)	Rv (KN)	Rw (KN)	Rt (KN)
4	6.733	1.229	7.962
6	8.825	5.004	13.829
8	9.897	10.889	20.786
10	11.872	13.097	24.969



Gambar 30 Grafik Hambatan Keel Datar

Tabel 7 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel Datar (0°)

Vs	Fr	CW (x 10 ⁻³)	CT (x 10 ⁻³)
4	0,360	3,1	5,9
6	0,541	4,0	6,9
8	0,721	4,7	7,8
10	0,901	6,1	9,0



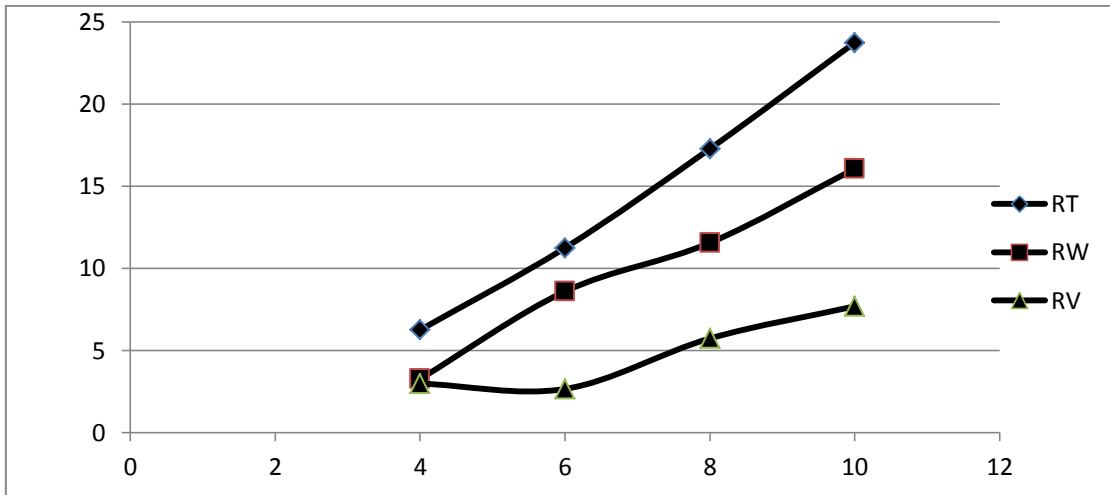
Gambar 31 Grafik Koefisien Hambatan Keel Datar

5.2.2 Keel 3°

Dari hasil simulasi diperoleh pada Tabel 7 Hambatan Total keel 3° dan Tabel 8 Koefisien Hambatan kapal Keel 3° komponen-komponen hambatan yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 32.

Tabel 8 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 3°

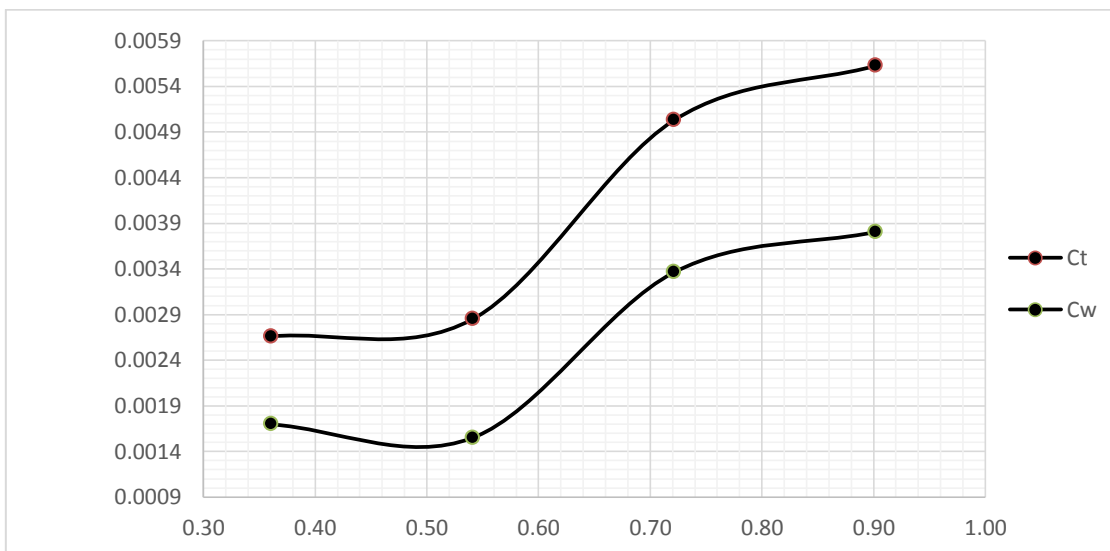
kecepatan (knot)	Rv (KN)	Rw (KN)	Rt (KN)
4	2,983	3,263	6,246
6	2,654	5,594	11,243
8	5,726	11,550	17,276
10	7,683	16,059	23,742



Gambar 32 Grafik Hambatan Keel 3°

Tabel 9 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 3°

Vs	Fr	CW (x10 ⁻³)	CT(x10 ⁻³)
4	0,36	1,7	2,7
6	0,54	1,5	2,8
8	0,72	3,4	5,0
10	0,90	3,8	5,6



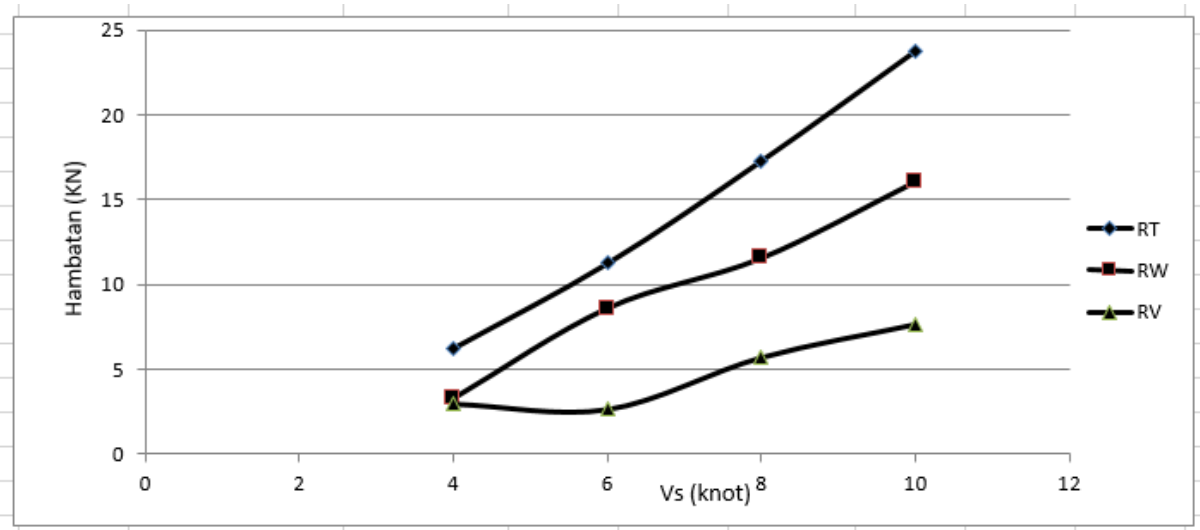
Gambar 33 Grafik Koefisien Hambatan Keel 3°

5.2.3 Keel 5°

Dari hasil simulasi diperoleh pada Tabel 9 Hambatan Total keel 5° dan Tabel 10 Koefisien Hambatan kapal Keel 5° komponen-komponen hambatan yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.5

Tabel 10 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 5°

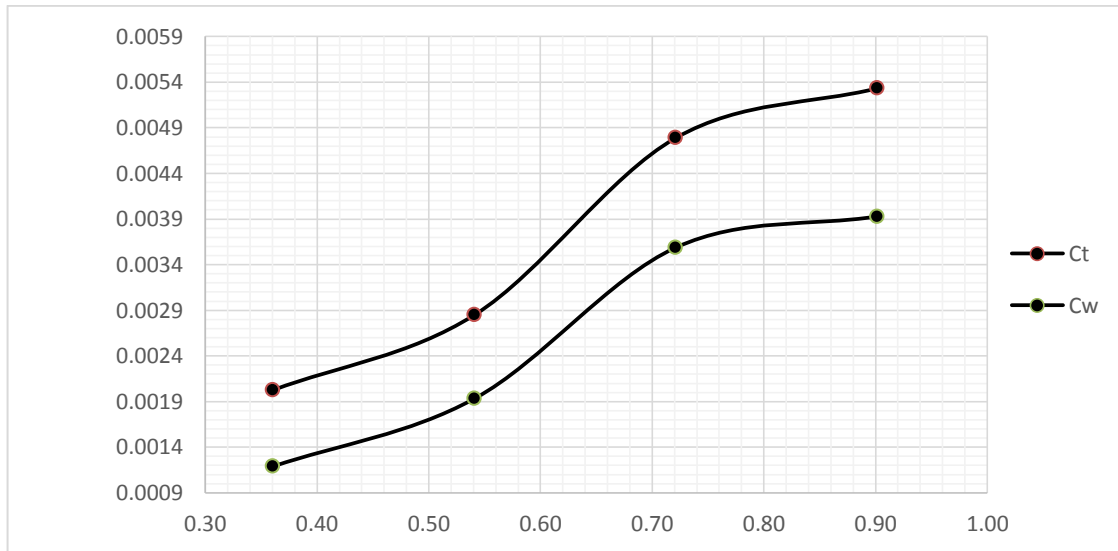
kecepatan (knot)	Rv (KN)	Rw (KN)	Rt (KN)
4	1.964	2.792	4.756
6	2.654	5.594	8.248
8	4.127	12.326	16.453
10	5.924	16.582	22.506



Gambar 34 Grafik Hambatan Keel 5°

Tabel 11 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 5°

Vs	Fr	CW (x10 ⁻³)	CW (x10 ⁻³)
4	0.36	1,2	2,0
6	0.54	1,9	2,8
8	0.72	3,6	4,8
10	0.90	3,9	5,3



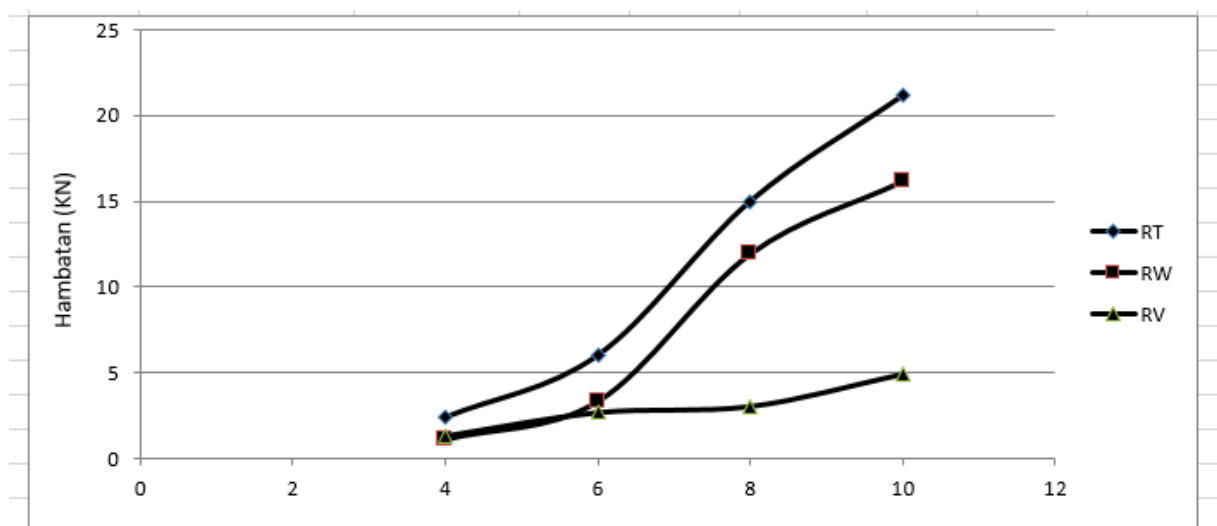
Gambar 35 Grafik Koefisien Hambatan Keel 5°

5.2.4 Keel 7°

Dari hasil simulasi diperoleh pada Tabel 11 Hambatan Total keel 5° dan Tabel 12 Koefisien Hambatan kapal Keel 7° komponen-komponen hambatan yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 36

Tabel 12 Nilai Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 7°

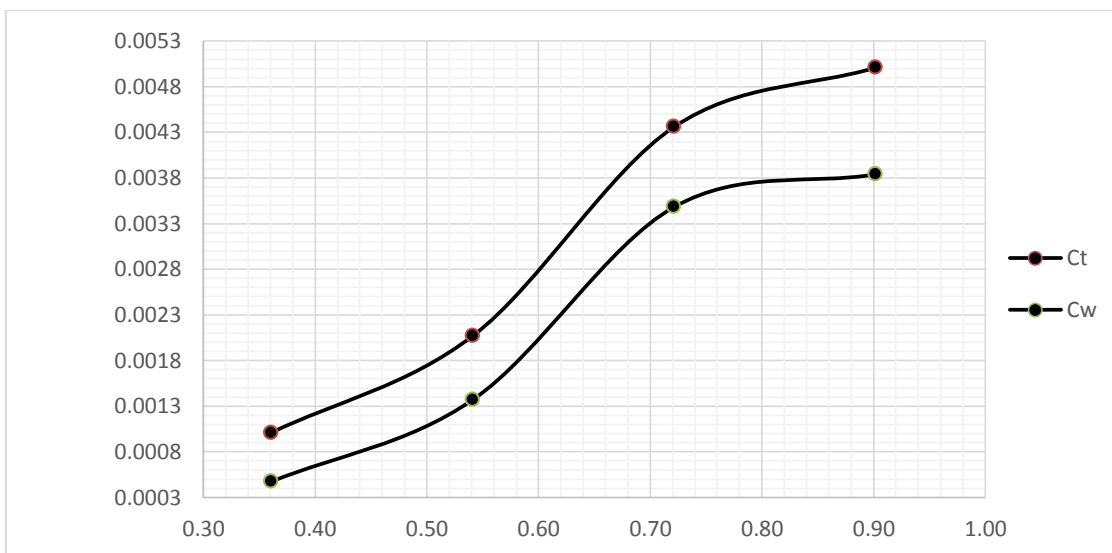
kecepatan (knot)	Rv (KN)	Rw (KN)	Rt (KN)
4	1.260	1.108	2.368
6	2.654	3.333	5.987
8	3.013	11.96	14.973
10	4.932	16.204	21.136



Gambar 36 Grafik Hambatan Keel 7°

Tabel 13 Nilai Koefisien Hambatan Hasil Simulasi CFD Keel 7°

Vs	Fr	CW (x10 ⁻³)	CW (x10 ⁻³)
4	0.36	0,5	1,0
6	0.54	1,4	2,1
8	0.72	3,5	4,4
10	0.90	3,8	5,0



Gambar 37 Grafik Koefisien Hambatan Keel 7°

Dari gambar grafik koefisien komponen hambatan (total dan gelombang) terlihat bahwa Cw (koefisien gelombang) pada keel datar lebih besar daripada inclining keel (3°, 5° dan 7°) dan semakin besar Fr maka semakin besar pula komponen hambatan kapal, hambatan terbesar terjadi ketika $Fr = 91 \times 10^{-3}$ dan $Cw = 61 \times 10^{-3}$

5.3 Analisa Hambatan Viscos Hasil Simulasi CFD

Hambatan gesek (frictional resistance), merupakan komponen hambatan yang terkait dengan gaya yang timbul akibat dari gesekan antara lambung kapal dengan fluida. Penyebab utama hambatan ini adalah viskositas, kecepatan kapal dan luas permukaan basah.

Rumus umum dari hambatan gesek kapal adalah (ITTC 1957) :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho \cdot C_f \cdot s \cdot v^2 \quad (5.1)$$

Dimana : C_f = Koefisien gesek
 S = Wetted Surface Area (m^2)
 V = Kecepatan Kapal (m/s)

Hambatan ini sebenarnya merupakan bagian dari hambatan viskos (viscous resistance), namun dalam aplikasi keduanya sering dianggap sama karena diabaikannya komponen lain yang menyertai hambatan viskos. Kondisi ini berlaku untuk pelat datar.

C_f bekerja sepanjang lambung kapal dan menghasilkan gesek antara lambung kapal dengan fluida, sehingga sering disebutkan bahwa C_f dipengaruhi oleh kekentalan dari fluida didaerah sekitar lambung, ditambah lagi pengaruh WSA dan kecepatan kapal. Nilai atau besaran C_f didapatkan melalui eksperimen yang panjang di mana eksperimen yang dilakukan mengansumsikan luasan daerah lambung kapal yang tercelup air sebagai luasan dari pelat datar yang besarnya adalah sama (ITTC, 1957).

Nilai C_f memiliki arah gerak searah tangensial dan dipengaruhi oleh besarnya angka Reynolds. Aliran laminar diaplikasikan pada bilangan Reynolds yang kecil sedangkan untuk Reynolds number yang besar digunakan untuk pola aliran yang lebih kompleks yang disebut turbulen flow. Besarnya bilangan Reynolds bergantung pada tingkat kemulusan permukaan lambung kapal serta bentuk aliran fluida. Untuk angka Reynolds kurang dari 2×10^5 aliran fluida bersifat laminar, membentuk garis tipis yang mengalir teratur dengan arah streamline lambung kapal. Aliran fluida akan berubah menjadi mixed laminar dan turbulen saat memasuki angka Reynolds pada range $2 \times 10^5 - 3 \times 10^5$. Kemudian aliran akan menjadi full turbulen untuk angka Reynolds melebihi 3×10^5 . Aliran turbulen ditandai dengan arah gerakan molekul fluida yang acak satu sama lain. Konsep boundary layer masih dipakai namun yang membedakan adalah adanya transfer massa antar garis alir fluida. Secara konsep mekanisme aliran turbulen tidak dapat diperhitungkan secara pasti, tapi secara mendasar variasi kecepatan aliran fluida sifatnyasama dengan laminar flow (Carlton, 2007).

Bilangan Reynold merupakan salah satu bilangan yang tidak berdimensi yang sangat penting dalam mekanika fluida dan dapat digunakan seperti halnya dengan bilangan yang tidak berdimensi lainnya. Untuk memberikan kriteria dalam menentukan dynamic similitude. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir

yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tidak berdimensi yang relevan dan keduanya disebut mempunyai kemiripan dinamis.

Angka Reynold didefinisikan sebagai berikut :

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (5.2)$$

Dimana : V = kecepatan kapal

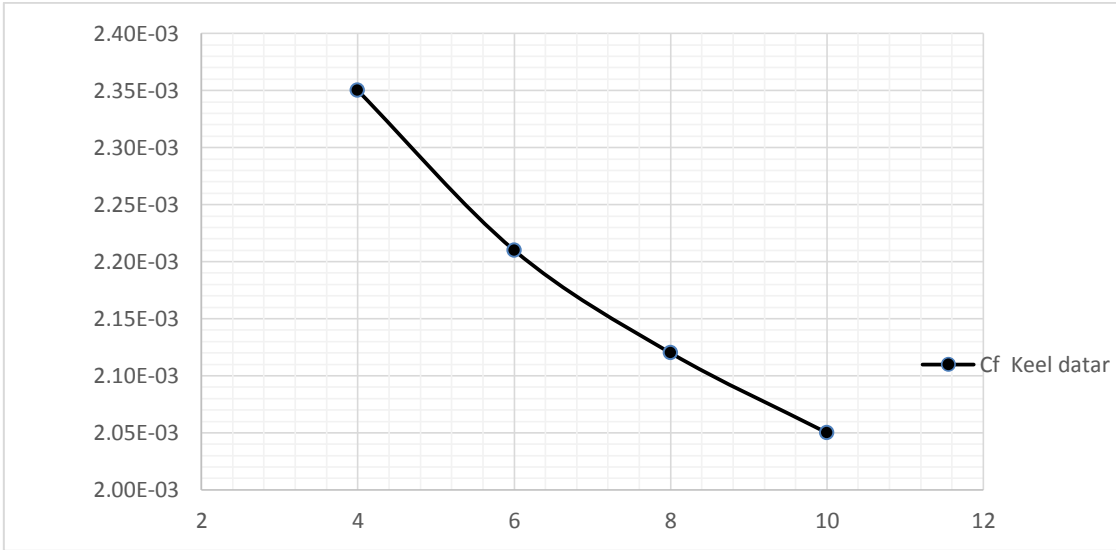
L = panjang kapal

ν = viskositas kinematis

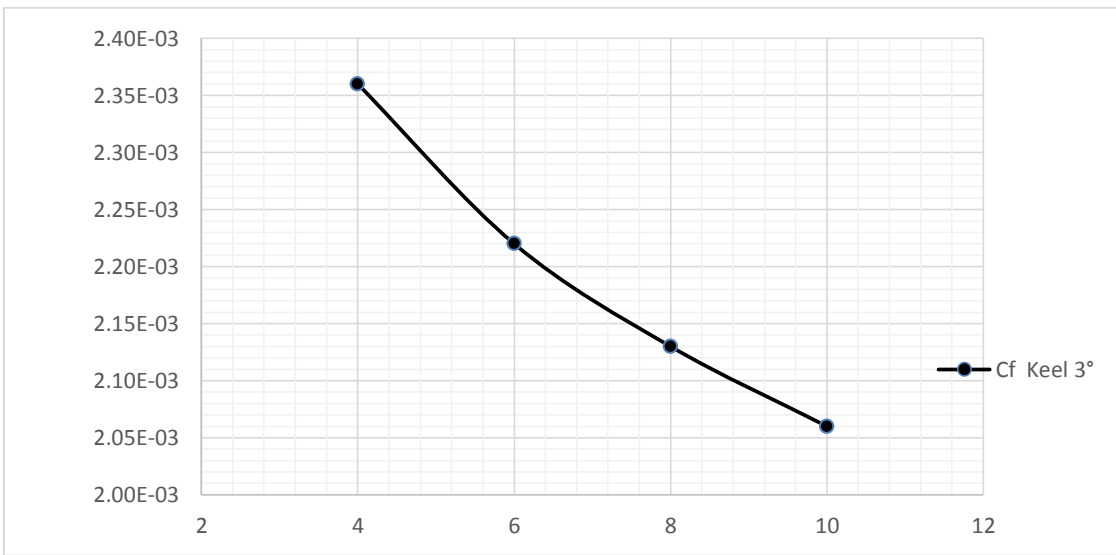
Pada kapal yang menggunakan keel datar memiliki Angka Reynold lebih besar dibandingkan kapal yang menggunakan *Inclining Keel* karena LWL keel datar lebih besar daripada *Inclining Keel*. LWL *Inclining Keel* berkurang disebabkan pengaruh sudut dari *Inclining Keel* yang semakin besar sudut maka LWL kapal akan berkurang.

Tabel 14 Nilai Koefisien Hambatan Viskos

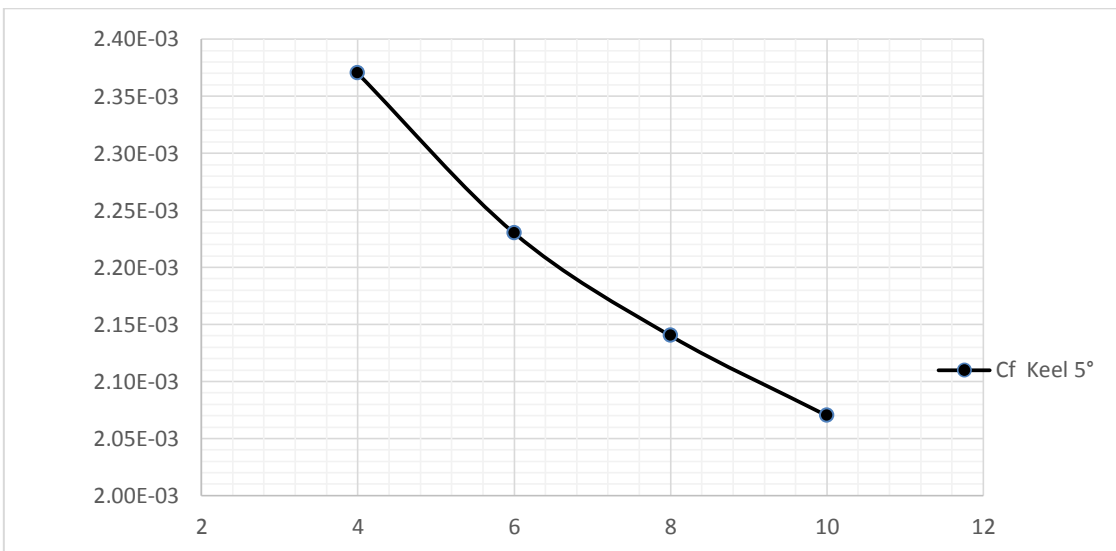
Vs	Cf (x10 ⁻³)			
	Keel D	Keel 3°	Keel 5°	Keel 7°
4	2,35	2,36	2,37	2,38
6	2,21	2,22	2,23	2,24
8	2,12	2,13	2,14	2,15
10	2,05	2,06	2,07	2,08



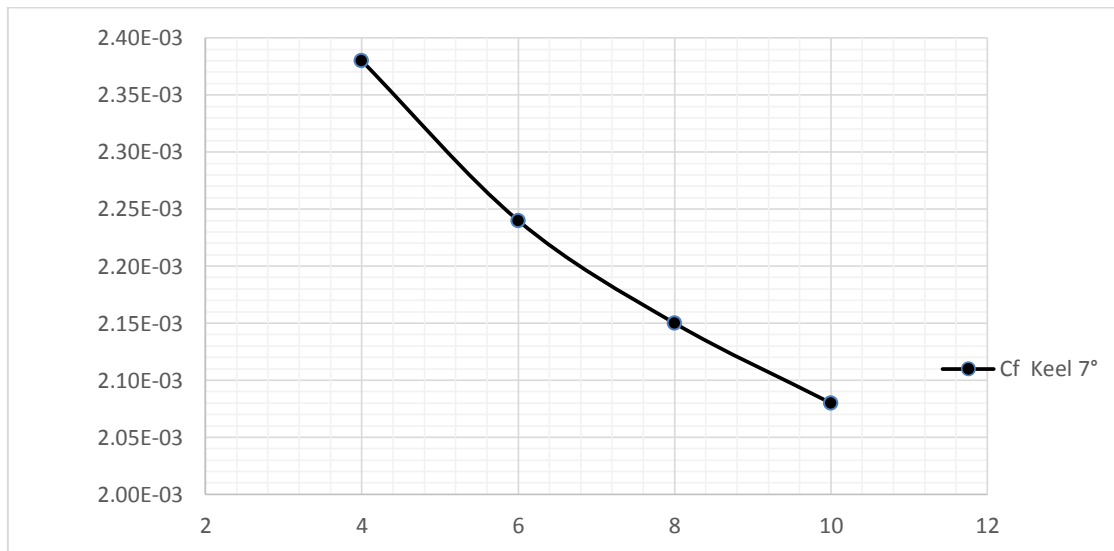
Gambar 38 Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel Datar



gambar 39 Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 3°



Gambar 40 Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 5°



Gambar 41 Grafik Koefisien Hambatan Viscos Keel 7°

Dari Grafik diatas terlihat bahwa semakin besar kecepatan maka semakin kecil koefisien viskos sedangkan pada koefisien gelombang (C_w) dan koefisien total (C_t) kebalikan dari koefisien viskos karena semakin besar kecepatan maka koefisien gelombang dan koefisien total bertambah besar

5.3.1. Kecepatan dan Tekanan

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli. Dalam bentuknya yang sudah disederhanakan, secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli, yang pertama berlaku untuk aliran tak-termampatkan (incompressible flow)

Aliran tak-termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak-termampatkan adalah: air, berbagai jenis minyak, emulsi, dll.

Persamaan bernoulli :

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (5.3)$$

Keterangan:

P = Tekanan fluida (Pascal)

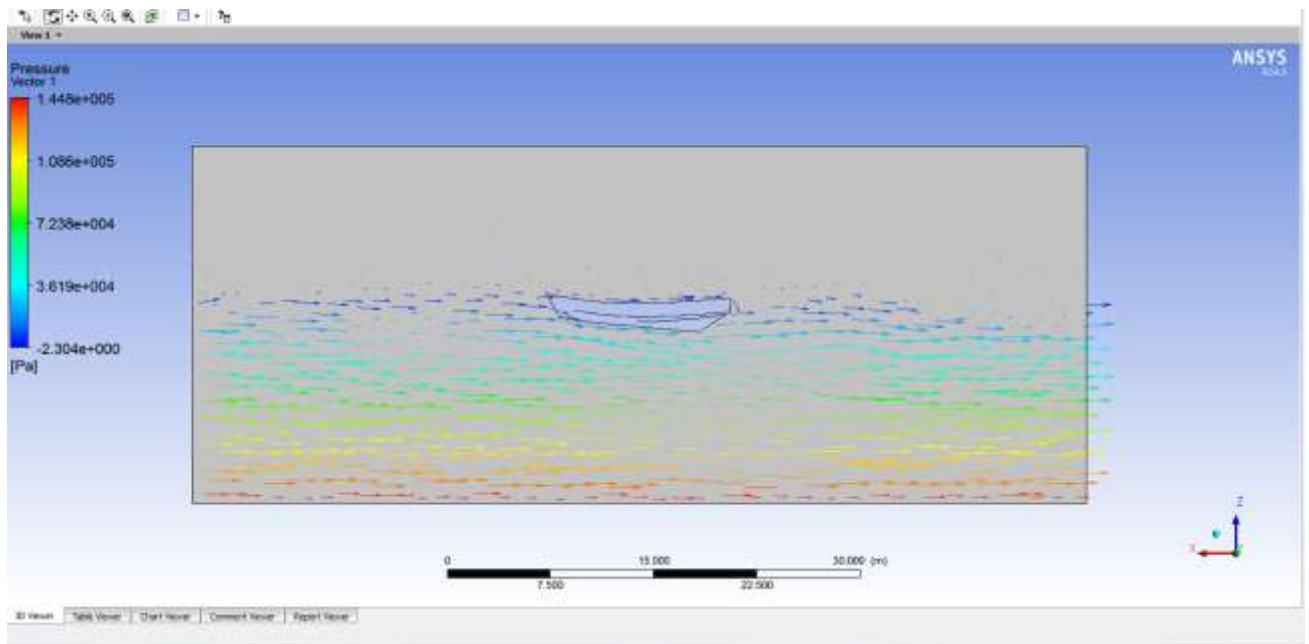
v = kecepatan (m/s)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

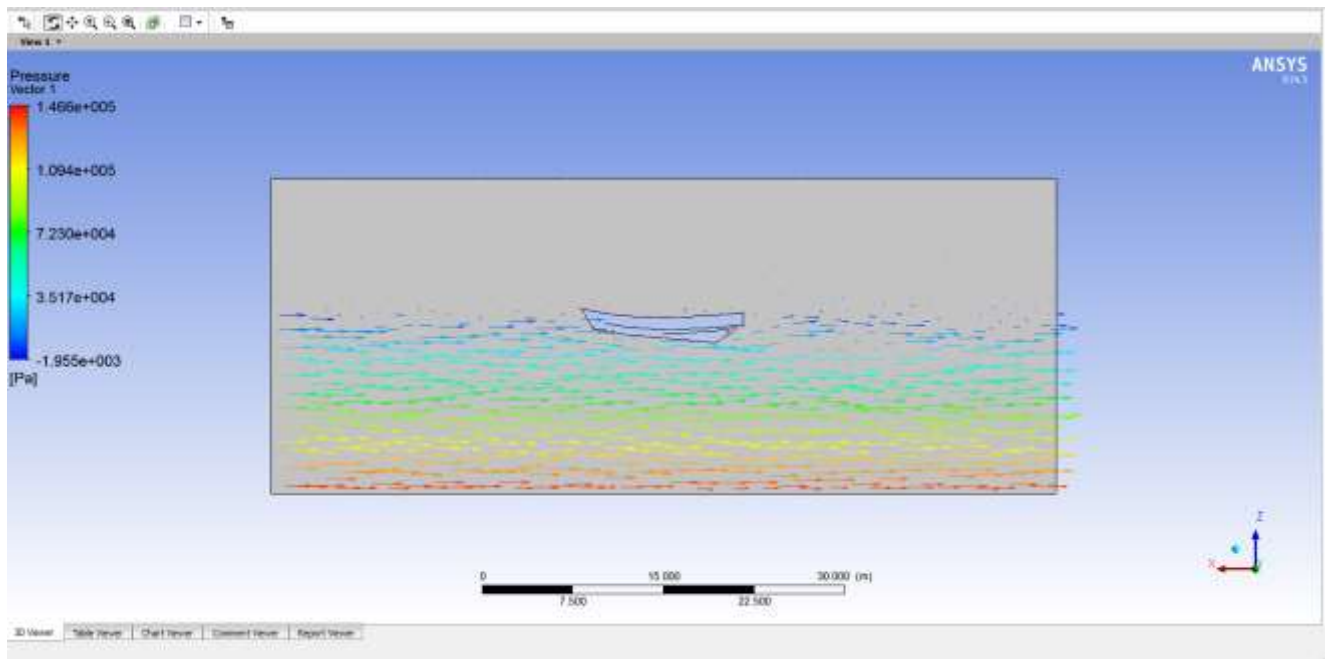
h = ketinggian (m)

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

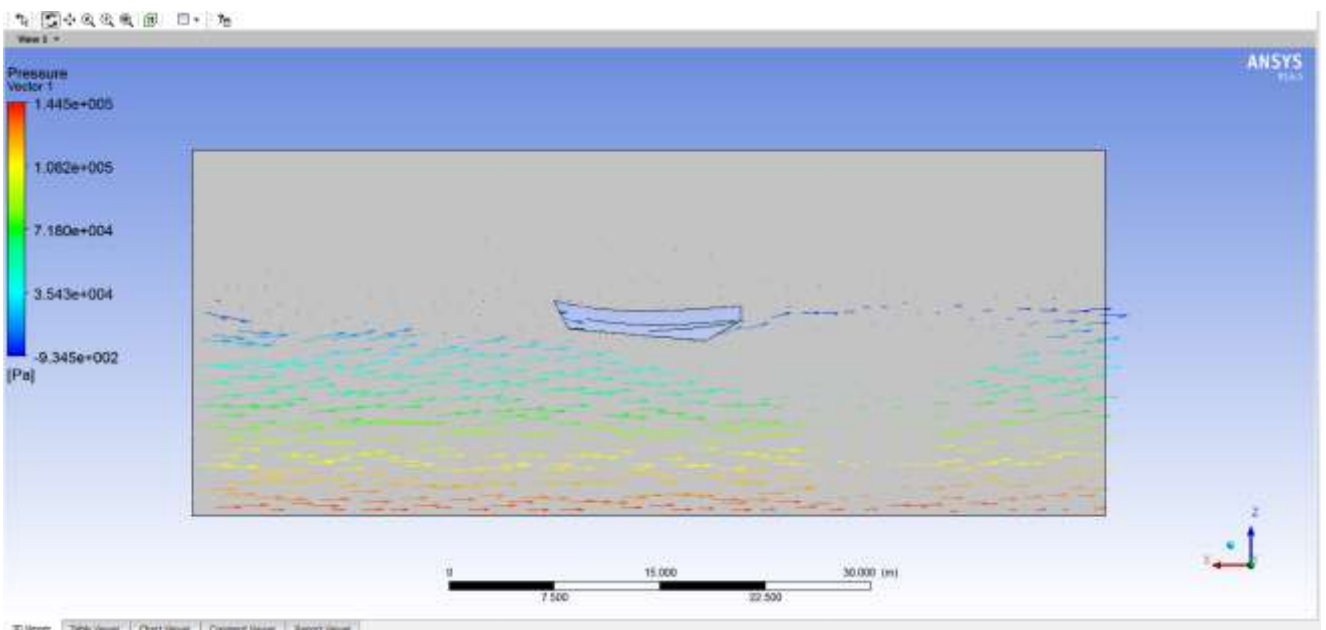
Menurut teori aliran potensial, pada penampang elips akan terjadi distribusi tekanan tinggi dan kecepatan rendah pada bagian depan, kemudian pada bagian tengah penampang terjadi distribusi tekanan berkurang dan kecepatan tinggi, sedangkan pada penampang bagian belakang distribusi tekanan kembali naik dan kecepatan berkurang. Akibat adanya viskositas, aliran fluida sepanjang penampang tersebut akan mempunyai bentuk yang bermacam-macam. Turunnya kecepatan pada bagian belakang menjadi sangat rendah bahkan mencapai nol tergantung pada bentuk bagian belakang. Distribusi tekanan ditunjukkan oleh Gambar (42 - 46).



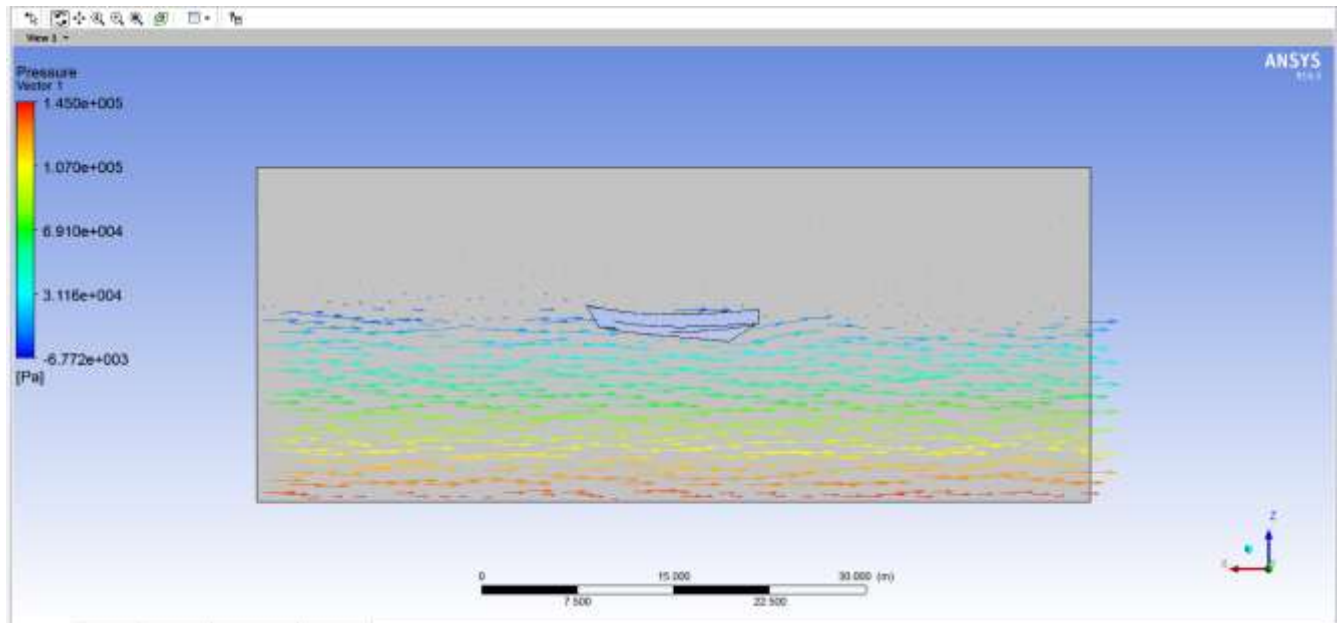
Gambar 42 Kecepatan 4 knot



Gambar 43 Kecepatan 6 knot

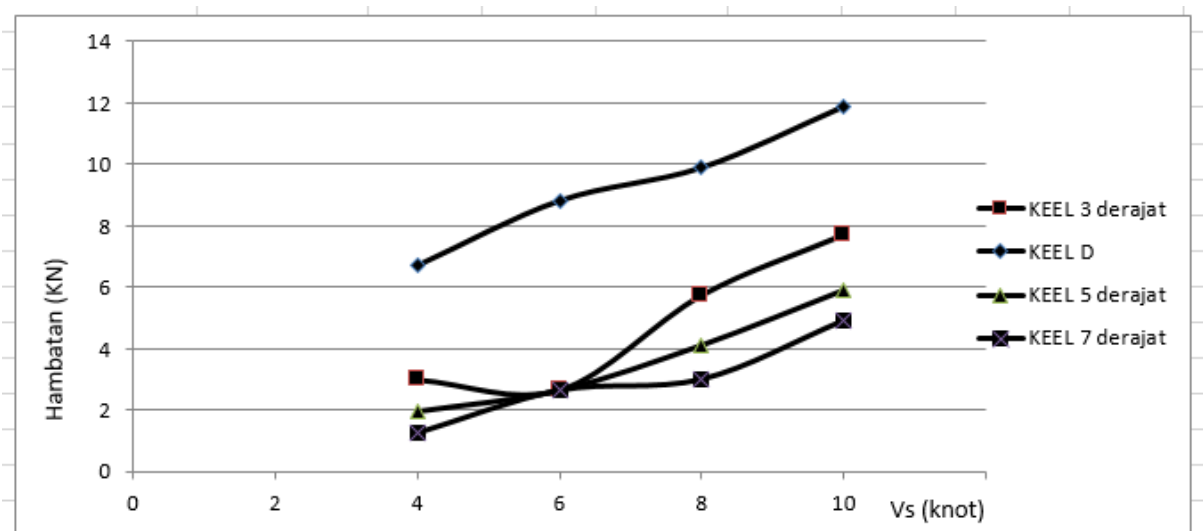


Gambar 44 Kecepatan 8 knot



Gambar 45 Kecepatan 10 knot

5.4 Analisa Hambatan Gelombang Hasil Simulasi CFD



Gambar 46 Grafik Hambatan Gelombang

Kapal yang bergerak di permukaan air akan menimbulkan pola gelombang aliran yang bergerak dengan lambung. Pola gelombang ini akan menimbulkan gaya/hambatan. Lambung kapal yang terbenam dan bergerak mengalami tekanan yang bervariasi di sekitar lambung.

Hambatan gelombang mempunyai komponen yang terdiri dari *wave making wave spray* dan *wave breaking* yang dihasilkan dari pola gelombang yang ditimbulkan lambung kapal.

Hambatan gelombang keel datar lebih besar daripada inclining keel (3°, 5° dan 7°) dikarenakan semakin cepat kapal maka semakin besar hambatan gelombang yang dihasilkan dari gerak kapal dan tergantung dari bentuk keel. Selama proses kenaikan nilai hambatan viskos dari $Fr = 0.2-0.9$, nilai R_w model Keel Datar selalu berada pada posisi tertinggi, diikuti model keel 3 berikutnya model keel 5, diikuti dan kemudian model keel 7 tetapi pada $Fr = 0.6 - 0.9$ nilai C_w pada setiap model hampir sama semua.

5.5 Volume Ruang Muat

Pelabuhan perikanan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan sistem bisnis perikanan yang digunakan sebagai tempat kapal perikanan bersandar, berlabuh, dan /atau bongkar muat ikan yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang perikanan.

Pelabuhan perikanan mempunyai fungsi pemerintahan dan perusahaan guna mendukung kegiatan yang berhubungan dengan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya ikan dan lingkungannya mulai dari pra produksi, produksi, pengolahan sampai dengan pemasaran.

Kapal ikan mempunyai kapasitas ruang muat yang harus cukup untuk menampung hasil tangkapannya. Banyak permasalahan yang ada didalam volume ruang muat kapal karena tidak semua kapal ikan saat beroperasi mendapatkan ikan yang banyak tapi tidak menutupi kemungkinan hasil tangkapannya bisa melebihi kapasitas volume ruang muat atau sebaliknya hanya setengahnya dari volume ruang muatnya yang diakibatkan dari beberapa faktor diantaranya cuaca yang buruk, kehabisan bahan bakar dan pada saat musim ikan.

Tabel 15 Karakteristik Kelas Pelabuhan PPS, PPN, PPP, dan PPI

No	Kriteria Pelabuhan Perikanan	PPS	PPN	PPP	PPI
1	Daerah operasional kapal ikan yang dilayani	Wilayah laut teritorial, Zona Ekonomi Eksklusif (ZEEI) dan perairan internasional	Perairan ZEEI dan laut teritorial	Perairan pedalaman, perairan kepulauan, laut teritorial, wilayah ZEEI	Perairan pedalaman dan perairan kepulauan

2	Fasilitas tambat/labuh kapal	>60 GT	30-60 GT	10-30 GT	3-10 GT
3	Panjang dermaga dan Kedalaman kolam	>300 m dan >3 m	150-300 m dan >3 m	100-150 m dan >2 m	50-100 m dan >2 m
4	Kapasitas menampung Kapal	>6000 GT (ekivalen dengan 100 buah kapal berukuran 60 GT)	>2250 GT (ekivalen dengan 75 buah kapal berukuran 30 GT)	>300 GT (ekivalen dengan 30 buah kapal berukuran 10 GT)	>60 GT (ekivalen dengan 20 buah kapal berukuran 3 GT)
5	Volume ikan yang didaratkan	rata-rata 60 ton/hari	rata-rata 30 ton/hari	- rata-rata 7 ton/hari	- rata-rata 5 ton/hari
6	Ekspor ikan	Ya	Ya	Tidak	Tidak
7	Luas lahan	>30 Ha	15-30 Ha	5-15 Ha	2-5 Ha
8	Fasilitas pembinaan mutu hasil perikanan	Ada	Ada/Tidak	Tidak	Tidak
9	Tata ruang (zonasi) pengolahan/pengembangan industri perikanan	Ada	Ada	Ada	Tidak

1. Keel Datar

Tabel 16 Volume Ruang muat

	Kapasitas	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit Volume (m3)	Total Volume (m ³)
Ruang Muat	100%	22.155	22.155	22.155	22.155
Total Loadcase			22.155	22.155	22.155

2. Keel 3°

Tabel 17 Volume Ruang muat

	Kapasitas	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit Volume (m3)	Total Volume (m ³)
Ruang Muat	100%	20.303	20.303	20.303	20.303
Total Loadcase			20.303	20.303	20.303

3. Keel 5°

Tabel 18 Volume Ruang muat

	Kapasitas	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit Volume (m3)	Total Volume (m ³)
Ruang Muat	100%	19.274	19.274	19.274	19.274
Total Loadcase			19.274	19.274	19.274

4. Keel 7°

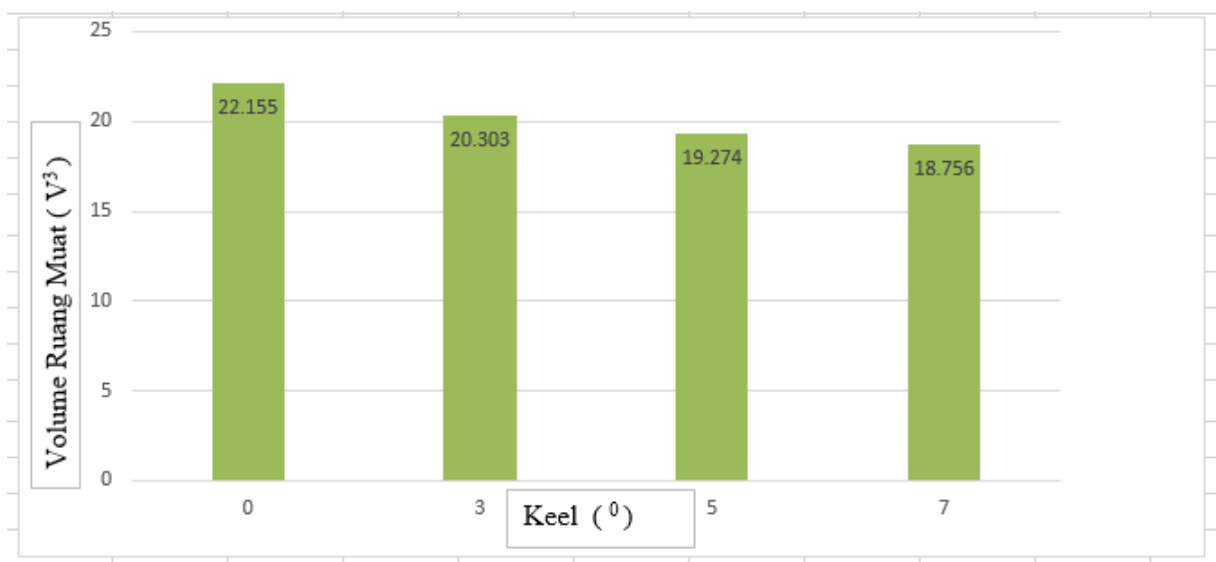
Tabel 19 Volume Ruang muat

	Kapasitas	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit Volume (m3)	Total Volume (m ³)
Ruang Muat	100%	18.756	18.756	18.756	18.756
Total Loadcase			18.756	18.756	18.756

Dari tabel diatas terlihat bahwa volume ruang muat keel datar lebih besar dari pada Inclining keel (3°, 5° dan 7°) karena pada ruang muat keel datar cenderung sama dari sekat ruang muat dibelakang sampai sekat ruang muat depan sedangkan ruang muat Inclining keel (3°, 5° dan 7°) mengikuti perubahan dari bentuk sudut keel semakin sudut keel dimiringkan sebesar 7° maka kapasitas volume ruang muat semakin berkurang, pengurangan volume ruang muat inclining keel terhadap keel datar yaitu keel 3° sebesar 8%, keel 5° sebesar 13% dan keel 7° sebesar 15.3%. Tetapi pada volume kamar mesin dari setiap variasi keel sama yang terlihat dalam tabel .

Tabel 20 Volume Kamar Mesin

	Kapasitas	Unit mass tonne	Total mass tonne	Unit Volume (m3)	Total Volume (m ³)
kamar mesin	100%	8.552	8.552	8.552	8.552
Total Loadcase			8.552	8.552	8.552



Gambar 47 Grafik Volume Ruang Muat keel Datar dan Inclining Keel (3°, 5° dan 7°)

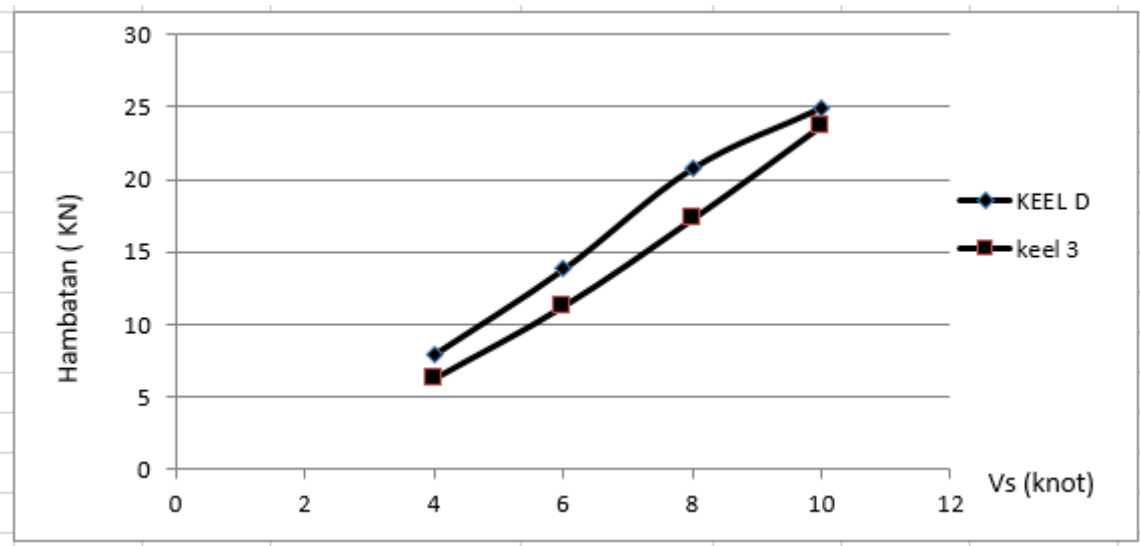
5.6 Perbandingan keel datar dengan Inclining Keel

Tabel 21 perbandingan keel datar dengan inclining keel

Kecepatan	Keel Datar	Keel 3 ⁰	Keel 5 ⁰	Keel 7 ⁰	selisih		
(Vs)	Rt (KN)	Rt (KN)	Rt (KN)	Rt (KN)	Keel 3 ⁰	Keel 5 ⁰	Keel 7 ⁰
4	7,962	6,246	4,756	2,368	0,216	0,403	0,703
6	13,829	11,243	8,248	5,987	0,187	0,404	0,567
8	20,786	17,276	16,453	14,973	0,169	0,208	0,280
10	24,969	23,742	22,506	21,136	0,049	0,099	0,154

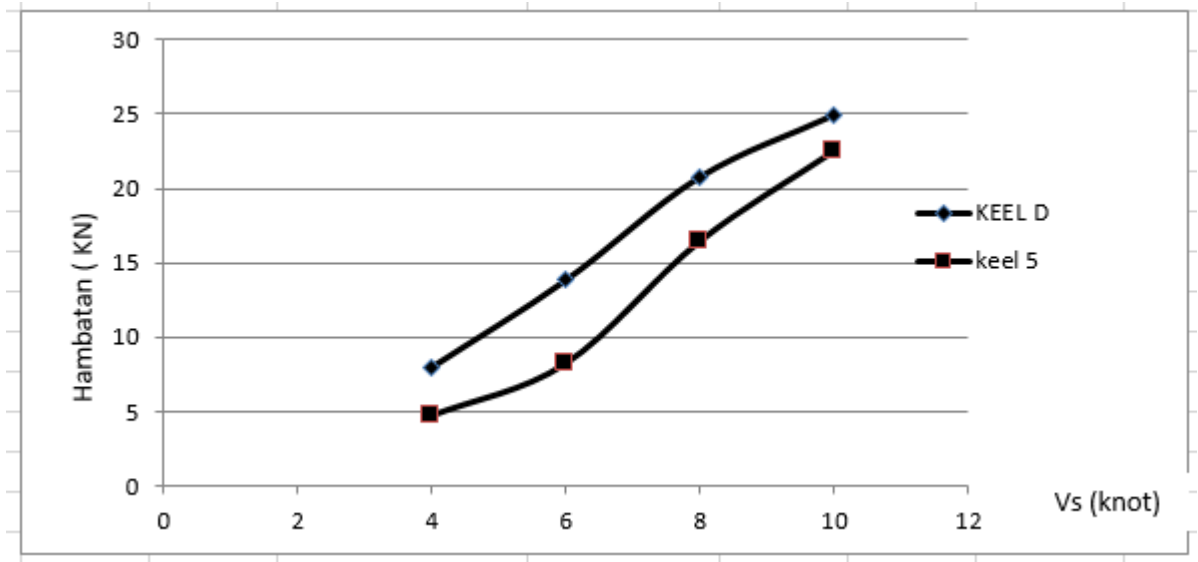
Dari tabel perbandingan keel datar dan inclining keel terlihat bahwa semakin cepat kecepatan kapal maka semakin besar hambatan yang terjadi pada kapal. Bentuk keel yang paling optimum adalah keel 3° dengan selisih paling kecil diantara keel 5° dan keel 7° yaitu sebesar 4.9%.

1. Keel 3°



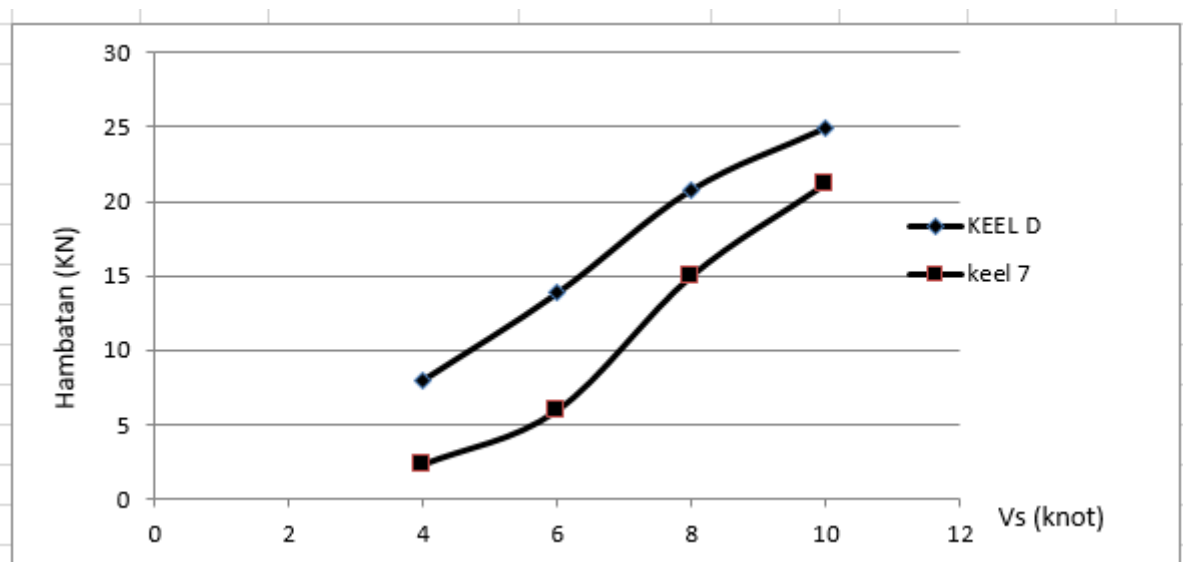
Gambar 48 Grafik perbandingan keel 3 dengan keel datar

2. Keel 5°



Gambar 49 Grafik perbandingan keel 5° dengan keel datar

3. Keel 7°



Gambar 50 Grafik perbandingan keel 7° dengan keel datar

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Pendahuluan

Setelah semua hasil penelitian didapat dan dianalisa pada pembahasan yang telah dijabarkan pada Bab-bab sebelumnya, pada Bab penutup ini akan dirangkum seluruh hasil yang telah dicapai dari penelitian Tugas Akhir ini. Pada Bab ini juga akan diberikan saran-saran berupa hal-hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut serta hal-hal yang belum dapat diselesaikan pada pengerjaan Tugas Akhir ini. Saran-saran tersebut perlu diperhatikan dan dapat digunakan sebagai pertimbangan bagi penelitian selanjutnya yang memiliki interes yang sama di masa yang akan datang agar hasilnya lebih sempurna.

6.2 Kesimpulan

Setelah membahas beberapa aspek yang berkaitan dengan pengaruh variasi bentuk sudut keel Datar dan Inclining Keel (3° , 5° dan 7°) terhadap Hambatan kapal yang melewati simulasi numerik pada Bab-bab sebelumnya, berikut ini merupakan rangkuman dari hasil seluruh pembahasan tersebut. Adapun kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi CFD bentuk sudut keel berpengaruh terhadap hambatan kapal yaitu R_t keel datar = 24.9 KN sedangkan R_t Inclining Keel ($3^\circ = 23.7$ KN, $5^\circ = 22.5$ KN dan $7^\circ = 21.1$ KN) semakin besar sudut Inclining keel maka semakin kecil hambatan yang terjadi pada kapal.
2. Hambatan viscos (R_v) Keel datar lebih besar dari pada Inclining Keel (3° , 5° dan 7°) karena luasan permukaan basah Keel datar lebih besar daripada Inclining Keel (3° , 5° dan 7°).
3. Dari simulasi CFD semakin besar kecepatan kapal (V_s) maka semakin besar Hambatan yang terjadi pada kapal.
4. Inclining keel mengurangi volume ruang muat dari dengan besar pengurangannya keel 3° berkurang 8.4%, keel 5° berkurang 13% dan keel 7° berkurang 15.3% dan mempengaruhi dimensi kapal seperti WSA, Lpp dan Cb.

5. Bentuk variasi sudut keel tidak mengurangi volume kamar mesin Karena volume ruang mesin keel datar maupun Inclining Keel (3° , 5° dan 7°) sama semua yaitu $= 8.552 \text{ m}^3$.
6. Hambatan kapal inclining keel lebih kecil daripada keel yang datar karena WSA inclining keel lebih kecil daripada keel yang datar.

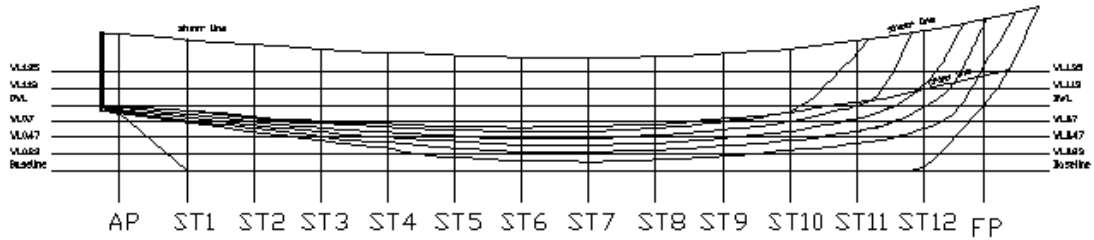
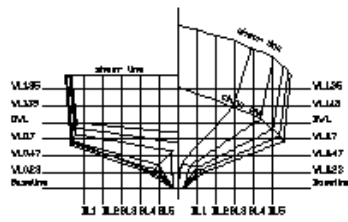
6.3 Saran

Di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau pada pembahasan pada penelitian ini. Diharapkan hal tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk itu pada bagian ini dituliskan beberapa saran sebagaimana dituliskan sebagai berikut :

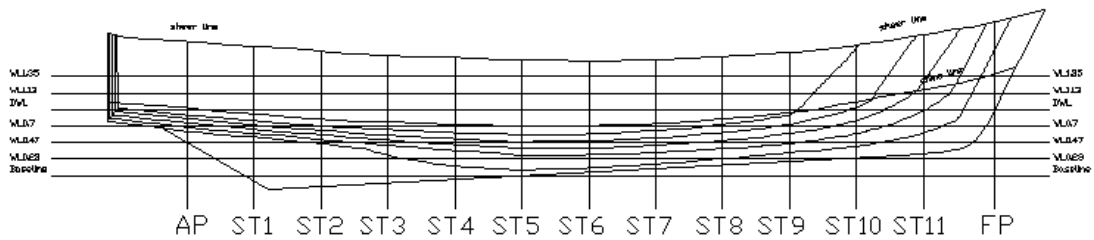
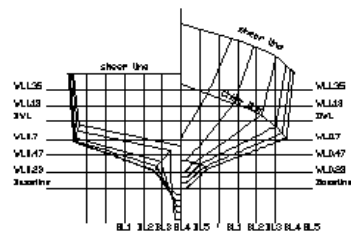
1. pada penelitian Tugas Akhir ini hanya dilakukan jumlah meshing maksimal 1575291 untuk mendapatkan nilai yang paling optimum harus dilakukan meshing diatas 1575291 pertimbangan pada penelitian yang selanjutnya.
2. Pada penelitian Tugas Akhir ini, penulistidak dapat memperlihatkan visualisi gelombang karena keterbatasan software yang digunakan. Untuk penelitian selanjutnya gunakan software yang berlisensi (asli) untuk bisa memperlihatkan visualisasi gelombang.
3. Untuk memperlancar proses simulasi dianjurkan menggunakan spesifikasi komputer yang lebih bagus.
4. Untuk mengetahui pengaruh inclining keel lebih akurat terhadap hambatan kapal maka dilakukan lines plan dan WSA yang sama dari setiap model untuk penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN A
LINES PLAN MODEL

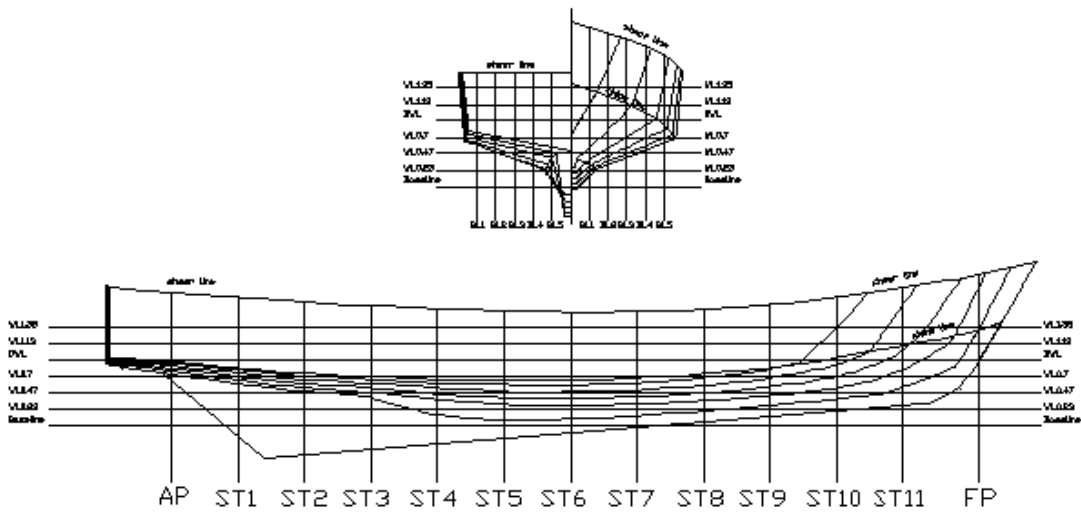
Keel Datar



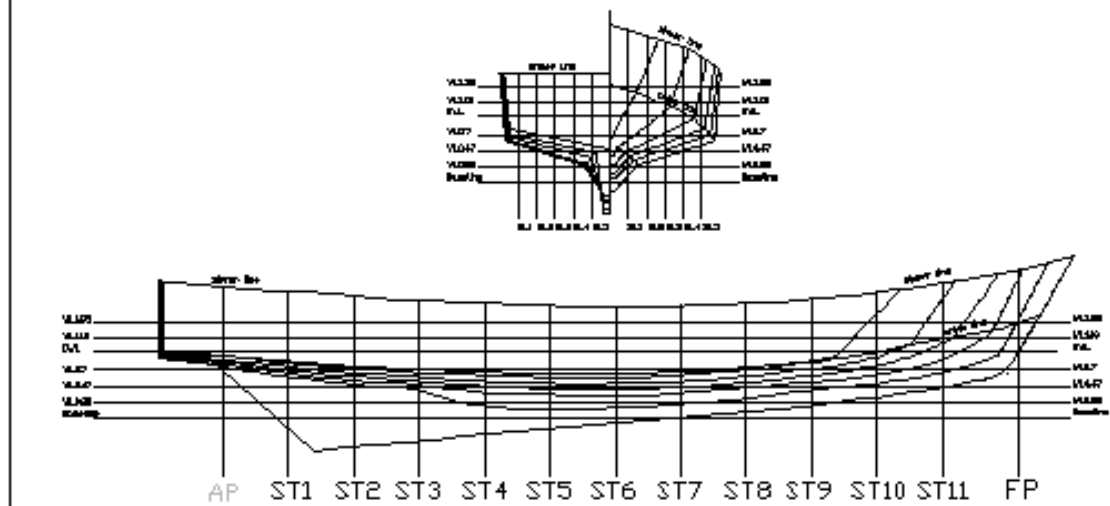
Keel 3°



Keel 5°



Keel 7°



DAFTAR PUSTAKA

- Utama, I. K. A. P. and Molland, A. F. 2010.***The Powering of Future Ship Taking Into Consideration Economic Vability And Eviromental Issue*. International Conference on Ship and Offshore Technology (ICSOT)-Indonesia 2010. Surabaya, Indonesia
- Seo, K.C., Atlar, Chun, H. H. & Kim, H. J., (2009b).** ‘*The inclined keel concept – resistance analysis*’, International Marine Design Conference, Trondheim, Norway.
- Seo, K.C., Atlar, M. & Mesbahi, E., (2006a).** ‘*Efficient propulsion of a container ship using the “Inclined Keel” concept*’, International Conference on Marine Design and Operation of Container Ships, London, UK.
- ITTC. (2008).** *International Towing Tank Conference-Recommended Procedures and Guidelines – Testing and Data Analysis Methods Resistance Test*, 7.5-02-02-01.
- Anderson, John D.1995.** *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications*. Science/Engineering/Math. McGraw-Hill Science.
- Bertram, V. 2002.***Practical Ship Hydrodynamics*. Butterworth Heinemann.
- Carlton, J. 2007.***Marine Propellers and Propulsion, 2nd edition, Chapter 12: Ship Resistance and Propulsion*. Butterworth-Heinemann.
- CFX. 2007.** CFX Manual XIII Chapter 9: *Free Surface Flow Over a Bump*. Ansys.
- Couser, P. R., Molland, A. F., Amstrong, N. A. and Utama, I. K. A. P. 1997.***Calm Water Powering Prediction for High Speed Catamarans*. In Fast '97. Sydney, Australia.
- Harvald, Sv. Aa. 1992.***Tahanan dan Propulsi Kapal (Terjemahan)*. Surabaya : Airlangga Press.
- Lewis, Edward V. 1988.***Principles of Naval Architecture Volume II: Resistance, Propulsion and Vibration*. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Murdijanto. 2005.** *Diktat Motor Penggerak Kapal dan Mesin Bantu*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Panunggal, Eko Petrus. 2010. Handout. *Pengantar Teknologi Kelautan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Siswanto, Digul. 2011. Handout. *Tahanan Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Utama, I. K. A. P., Murdijanto, and Setyawan, Dony. 2011. *Ship Resistance and Propulsion, Teaching Grant*. ITS

Watson, D.G. M. 1998.*Practical Ship Design (Vol. 1)*. (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.

Nugroho, Joko. 2010. Parameter Fisik Fluida”. Mekanika Fluida & Hidolika

Prima, Andika. 2009. Pelabuhan perikanan Indonesia. <http://andikaprima.wordpress.com>. Diakses tanggal 14-11-2014 pukul 12:45.

Badan Riset Perikanan Tangkap. 2006. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya dan Penangkapan*. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Jakarta.

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Bangkalan pada 11 Mei 1991, Penulis merupakan anak ketiga dari enam bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal Sekolah Dasar di SDN 01 Desa Tolbuk Kec. Klampis. Kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Arosbaya dan MA Nurul Ulum Desa Ijuring Kec. Arosbaya. Setelah lulus MA, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2010 melalui jalur program Beasiswa Santri Berprestasi dari Kementerian Agama Indonesia.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama kuliah di ITS Penulis pernah mengikuti kegiatan ORMAWA, Pengurus UKM Maritime Challenge, Pengurus CSS MoRA ITS dan Pengurus HIMA TEKPAL.

Email: moh.Nawawi91@gmail.com