



UNIVERSITAS INDONESIA

**MENGUKUR HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL
DENGAN VARIASI KECEPATAN**

SKRIPSI

**HILMI
0405080149**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**MENGUKUR HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL
DENGAN VARIASI KECEPATAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HILMI
0405080149**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Hilmi

NPM : 0405080149

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hilmi
NPM : 0405080149
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Mengukur Hambatan Total Kapal Model Variasi Kecepatan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. M.A. Talahatu MT ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar M.Eng, M.Sc ()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo Ph.D ()

Penguji : Ir. Hadi Tresna Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Orang tua tercinta (M. Yasin dan Siti) dan keluarga saya (bang Koing, bang Unus, bang Papi, mpo' Nini, Tia dan Fathul) yang telah memberikan segenap jiwa dan raganya, bantuan baik berupa dukungan material, moral, maupun doanya;
- (2) Bapak Ir. M.A. Talahatu, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Bapak Ir. Hadi Tresna Wibowo, DR. Ir. Sunaryo P.hD, dan Prof. DR. Ir. Yanuar M.Eng, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran pada skripsi ini;
- (4) Karyawan dan karyawan Departemen Teknik Mesin
- (5) Andre yohanes dan Andreas (TIM KELAP_KELIP), selaku teman semati sepejuangan yang telah membantu penulis mencari, mengumpulkan, dan mengolah data, serta membantu proses penyusunan skripsi ini;
- (6) Kabun, Yobi, Kilus, Grace, Amat selaku teman se penderitaan dalam mengarungi bahtera "4.5 tahun" di kapal' 05 yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi;
- (7) Rendi dan Loade atas peminjaman segala sarana dan prasarana yang dibutuhkan penulis baik dalam penyusunan skripsi ini maupun selama kuliah;
- (8) Teman-teman teknik mesin angkatan 2005, khususnya teman-teman satu program studi teknik perkapalan; dan

(9) Semua teman-teman (SMFC) yang sudah dengan suka rela menanyakan kabar dari skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2009

Hilmi

NPM : 0405080149



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hilmi
NPM : 0405080149
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**MENGUKUR HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL
DENGAN VARIASI KECEPATAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Desember 2009

Yang menyatakan,

(Hilmi)

ABSTRAK

Nama : Hilmi
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Mengukur Hambatan Total Kapal Model Dengan Variasi Kecepatan

Salah satu cara untuk dapat memprediksi besarnya hambatan pada kapal yang akan kita rancang adalah dengan melakukan eksperimen uji tarik kapal model. Kapal model ialah kapal yang dibuat dengan skala ukuran yang lebih kecil dari kapal sebenarnya dan bentuknya juga mengikuti karakteristik dari kapal sebenarnya.

Dengan melakukan eksperimen uji tarik pada model, kita dapat mengetahui besarnya hambatan yang terjadi pada kapal model tersebut pada berbagai kondisi (kecepatan yang berbeda), setelah itu dengan menggunakan perhitungan teori-teori model yang ada kita dapat memprediksi besarnya hambatan yang terjadi pada kapal sebenarnya (kapal yang ukurannya lebih besar) dan kita juga dapat menentukan besarnya daya efektif yang dibutuhkan pada kapal tersebut.

Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan bahwa untuk kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 7,88 - 32,47$ knot, hambatan total yang terjadi adalah sebesar $R_{T_s} = 60956,63 - 1015352,43$ kg dan daya efektif yang dibutuhkan sebesar $PE = 3293,44 - 226140,47$ HP

Kata kunci :
Kapal model, hambatan kapal, daya efektif

ABSTRACT

Name : Hilmi
Study Program : Naval Architecture
Title : Measuring Ship Model Total Resistance With Speed Variation

One of manner to can predict magnitude of resistance at ship that we shall plan are with doing the towing test simulation of ship model. The ship model's is a ship that made with size smaller scale than the actually ship's and its also following the characteristics of the actually ship's.

With doing the towing test simulation of ship model, we can be measure the magnitude of resistance of ship model in various condition (different speed), afterwards by using existing the model theories calculation we can predicting the magnitude of the resistance that happen in the actually ship's (ship with the bigger size) and we can also determine the effective power that needed in the actually ship.

Based on the result of processing data, we get for the speed of actually ship between $v_s = 7,88 - 32,47$ knot, happened total resistace amounts $R_{T_s} = 60956,63 - 1015352,43$ kg and the effective power than needed amounts $PE = 3293,44 - 226140,47$ HP.

Key words :
Ship model, resistance's ship, effective power

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Rencana garis	7
2.1.1 Dimensi Utama Kapal	7
2.1.2 Bidang-Bidang Yang Memotong Kapal.....	8
2.2 Hambatan	10
2.2.1 Hambatan Gesek	13
2.2.2 Hambatan Sisa	14
2.3 Hukum Kesamaan	14
2.3.1 Kesamaan Geometris	13
2.3.2 Kesamaan Kinematis	13
2.3.3 Kesamaan Dinamis	13
3 SET UP ALAT DAN HASIL PERCOBAAN	24
3.1 Membuat Rencana Garis Dari Kapal Model.....	24
3.1.1 Mengukur Dimensi Utama Kapal Model	24
3.1.2 Membuat Garis-Garis Bantu.....	24
3.1.3 Membuat <i>Off Set Tabel Lines Plan</i>	25
3.1.4 Membuat <i>Lines Plan</i> pada AUTO CAD dan Maxsurf 11.03	28
3.2 Set Up Alat Untuk Simulasi Uji Tarik Kapal Model.	31
3.3 Proses Percobaan Uji Tarik	34
3.3.1 Perencanaan Proses Uji Tarik	34
3.3.2 Proses Uji Tarik	35
3.4 Data Hasil Percobaan Uji Tarik	37
3.5 Faktor Koreksi.....	38
3.6 Grafik Data Akhir Percobaan	41
4 PENOLAHAN DATA DAN ANALISA	43

4.1 Spesifikasi Kapal Model	43
4.2 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal Model Dari Hasil Uji Coba vs Hasil <i>Software Hullspeed</i>	44
4.3 Perhitungan Hambatan Gesek Pada Kapal Model R_{F_m}	45
4.4 Perhitungan Hambatan Sisa Pada Kapal Model R_{R_m}	49
4.5 Perhitungan Kecepatan Kapal Sebenarnya v_s Berdasarkan Kecepatan Kapal Model v_m	49
4.6 Perhitungan Hambatan Sisa Pada Kapal Sebenarnya R_{R_s} Berdasarkan Hambatan Sisa Kapal Model R_{R_m}	52
4.7 Perhitungan Hambatan Gesek Pada Kapal Sebenarnya R_{F_s}	55
4.8 Perhitungan Hambatan Total Pada Kapal Sebenarnya R_{T_s}	59
4.9 Perhitungan Daya efektif Efektif Pada Kapal Sebenarnya PE	60
4.10 Grafik – Grafik Hasil Pengolahan Data Dan Analisanya.....	64
4.11 Analisa Percobaan dan Hasil.....	67
5 PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR REFERENSI	73
DAFTAR LAMPIRAN	74
1. LINES PLAN KAPAL MODEL	
2. HIDROSTATIC CURVE KAPAL MODEL	
3. BONJEAN CURVE KAPAL MODEL	
4. CROSS CURVE KAPAL MODEL	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Off set table untuk lines plan kapal model.....	27
Tabel 3.2 Hasil Percobaan 1, Tanpa <i>regulator switch</i>	37
Tabel 3.3 Hasil Percobaan 2, dengan <i>regulator switch</i> 1.....	37
Tabel 3.4 Hasil Percobaan 3, dengan <i>regulator switch</i> 2.....	37
Tabel 3.5 Hasil Percobaan 4, dengan <i>regulator switch</i> 3.....	37
Tabel 3.6 Hasil Percobaan 5, dengan <i>regulator switch</i> 4.....	37
Tabel 3.7 Hasil Percobaan 6, dengan <i>regulator switch</i> 5.....	38
Tabel 3.8 Hasil data pada percobaan 1 (tanpa <i>regulator switch</i>) setelah dikoreksi	39
Tabel 3.9 Hasil data pada percobaan 2 (dengan <i>regulator switch</i> 1) setelah dikoreksi	39
Tabel 3.10 Hasil data pada percobaan 3 (dengan <i>regulator switch</i> 2) setelah dikoreksi	40
Tabel 3.11 Hasil data pada percobaan 4 (dengan <i>regulator switch</i> 3) setelah dikoreksi	40
Tabel 3.12 Hasil data pada percobaan 5 (dengan <i>regulator switch</i> 4) setelah dikoreksi	40
Tabel 3.13 Hasil data pada percobaan 6 (dengan <i>regulator switch</i> 5) setelah dikoreksi	41
Tabel 3.14 Hasil Data Akhir Percobaan	41
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal model dari Uji Tarik vs <i>Software HullSpeed</i>	44
Tabel 4.2 Koefisien hambatan gesek model kapal di air tawar suhu 15 ⁰ C menurut Froude	46
Tabel 4.3 Hambatan gesek kapal model	48
Tabel 4.4 Hambatan sisa kapal model	50
Tabel 4.5 Kecepatan kapal sebenarnya	51
Tabel 4.6 Hambatan sisa pada kapal sebenarnya	53
Tabel 4.7 Hambatan gesek pada kapal sebenarnya.....	58
Tabel 4.8 Hambatan total pada kapal sebenarnya.....	60

Tabel 4.9 Daya efektif pada kapal sebenarnya	62
Tabel 4.10 Hasil pengolahan data	63
Tabel 4.11 Hasil pengolahan data untuk kapal sebenarnya	64
Tabel 4.12 Persentase perbandingan hambatan gesek vs hambatan sisa	69
Tabel 5.1 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal model dari Uji Tarik vs <i>Software HullSpeed</i>	71
Tabel 5.2 Hasil perhitungan untuk kapal sebenarnya	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dimensi utama kapal	8
Gambar 2.2 Bidang-bidang yang memotong kapal.....	10
Gambar 2.3 Aliran di antara pelat yang sejajar	13
Gambar 2.4 Standart skin frictionless dari ATTC, Hughes dan ITTC	14
Gambar 2.5 Percobaan model kapal pada towing tank	15
Gambar 3.1 Gading- gading bantu.....	25
Gambar 3.2 Garis- garis water line	25
Gambar 3.3 Garis- garis lengkungan Half bread kapal model.....	26
Gambar 3.4 Rencana garis kapal model 2D pada Auto CAD.....	28
Gambar 3.5 Rencana garis kapal model 3D pada Auto CAD.....	29
Gambar 3.6 Rencana garis kapal model pada Maxsurf.....	29
Gambar 3.7 Hidrostatic data kapal model pada Maxsurf	30
Gambar 3.8 Kapal model	31
Gambar 3.9 Kolam percobaan milik PNJ	32
Gambar 3.10 Rangkaian untuk alat tarik kapal model.....	33
Gambar 3.11 Alat pengukur tegangan tali (<i>strain gauge</i>)	33
Gambar 3.12 Ballast pasir yang dibungkus dalam plastik	34
Gambar 4.1 Grafik perbandingan uji tarik vs software hullspeed	45
Gambar 4.2 Grafik kecepatan model V_m vs kecepatan kapal sebenarnya V_s	64
Gambar 4.3 Grafik kecepatan kapal sebenarnya V_s vs hambatan total pada kapal sebenarnya R_Ts	65
Gambar 4.4 Grafik komposisi perbandingan V_s vs (R_f, R_r, R_t)	65
Gambar 4.5 Grafik kecepatan kapal sebenarnya V_s vs daya efektif PE.....	66

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
L_{pp}	Panjang kapal perpendicular	m
L_{wl}	Panjang kapal pada garis air	m
L_{pp}	Panjang kapal keseluruhan	m
B	Lebar kapal	m
H	Tinggi kapal	m
T	Sarat kapal	m
C_b	Koefisien Blok	-
C_p	Koefisien prismatic	-
C_m	Koefisien midship	-
Δ	Displacement	ton
v_m	Kecepatan kapal model	m/s
v_s	Kecepatan kapal sebenarnya	m/s
γ_m	berat jenis air pada kapal model	kg/m ³
γ_s	berat jenis air pada kapal sebenarnya	kg/m ³
ζ_{F_m}	Koefisien hambatan gesek kapal model	-
ζ_{F_s}	Koefisien hambatan gesek kapal sebenarnya	-
S_m	Luas permukaan basah kapal model	m ²
S_s	Luas permukaan basah kapal sebenarnya	m ²
R_{R_m}	Hambatan sisa kapal model	kg
R_{R_s}	Hambatan sisa kapal sebenarnya	kg
R_{F_m}	Hambatan gesek kapal model	kg
R_{F_s}	Hambatan gesek kapal sebenarnya	kg
R_{T_m}	Hambatan total kapal model	kg
R_{T_s}	Hambatan total kapal sebenarnya	kg
PE	Daya efektif kapal sebenarnya	HP
Fn	Froude's number	-

Aku ingin mendaki puncak tantangan, menerjang batu granit kesulitan, menggoda mara bahaya, dan memecahkan misteri dengan sains. Aku ingin menghirup berupa-rupa pengalaman lalu terjun bebas menyelami labirin lika-liku hidup yang ujungnya tak dapat disangka.

Aku mendamba kehidupan dengan kemungkinan-kemungkinan yang bereaksi satu sama lain seperti benturan molekul uranium; meletup tak terduga-duga, menyerap, mengikat, mengganda, berkembang, terurai, dan berpecah ke arah yang mengejutkan.

Aku ingin ke tempat-tempat yang jauh, menjumpai beragam bahasa dan orang-orang asing. Aku ingin berkelana, menemukan arahku dengan membaca bintang gemintang.

Aku ingin mengarungi padang dan gurun-gurun, ingin melepuh terbakar matahari, limbung dihantam angin, dan menciut dicengkeram dingin.

Aku ingin kehidupan yang menggetarkan, penuh dengan penaklukan.

Aku ingin hidup!ingin merasakan sari pati hidup!

(Edensor, hlm. 41-42)

***Skripsi ini kupersembahkan
untuk Enya', Baba',
bang Koing, dan keluarga***

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Benda padat bila digerakkan di suatu media fluida, untuk dapat bergerak pada suatu kecepatan tertentu diperlukan suatu gaya guna mengatasi hambatan (*resistance*) yang dialami benda tersebut. Jadi diperlukan gaya dorong untuk mengatasi 'hambatan' yang timbul agar benda tersebut dapat bergerak pada kecepatan yang dikehendaki. Dapat dikatakan bahwa 'hambatan' tersebut merupakan 'reaksi' dari adanya 'aksi' gaya dorong. Demikian halnya kapal yang berlayar di laut, ia bergerak di permukaan laut yakni di media fluida air laut dan udara akan menghadapi hambatan tersebut diatas.

Pada perancangan kapal berusaha agar pada kecepatan kapal V_s yang diminta pemesan, besarnya hambatan kapal serendah mungkin dan dengan efisiensi dari alat propulsi kapal yang dipilih se-efektif dan se-efisien mungkin, sehingga daya dari mesin induk akan optimal dan pemakaian bahan bakar menjadi hemat. Oleh karena itu, pada tahapan perhitungan hambatan dan propulsi diperlukan perhatian khusus dalam hal perancangan sebuah kapal.

Salah satu alternatif cara untuk dapat memprediksi besarnya hambatan pada kapal yang akan kita rancang adalah dengan melakukan eksperimen uji tarik kapal model. Kapal model ialah kapal yang dibuat dengan skala ukuran yang lebih kecil dari kapal sebenarnya dan bentuknya juga mengikuti karakteristik dari kapal sebenarnya.

Dengan melakukan eksperimen uji tarik pada model, kita dapat mengetahui besarnya hambatan yang terjadi pada kapal model tersebut pada berbagai kondisi (kecepatan yang berbeda), setelah itu dengan menggunakan perhitungan teori-teori model yang ada kita dapat

memprediksi besarnya hambatan yang terjadi pada kapal sebenarnya (kapal yang ukurannya lebih besar) dan kita juga dapat menentukan besarnya daya efektif yang dibutuhkan pada kapal tersebut.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- i. Untuk mengetahui nilai hambatan total kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FTUI,
- ii. Untuk membandingkan hasil perhitungan hambatan secara teoritis dengan hasil dari uji tarik kapal model,
- iii. Untuk memprediksi besarnya hambatan total yang terjadi dan daya efektif yang dibutuhkan pada kapal sebenarnya,
- iv. Sebagai bahan penunjang penelitian program Doktor Ir M.A Talahatu MT,
- v. Sebagai persyaratan kelulusan program Strata 1 Teknik Perkapalan DTM FT UI

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat diadakannya penelitian ini adalah bertujuan untuk penyediaan *data base* dari kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FT UI khususnya berupa *lines plan* (dengan bantuan *software AutoCad* dan *MaxsurfPro 11.03*), *hidrostatic curve* (*HidromaxPro 11.03*), *cross curve* (*HidromaxPro 11.03*), *Resistance and Power* (*HullSpeed 11.03*) yang mana *data base* ini diharapkan bisa membantu mahasiswa lainnya untuk percobaan di laboratorium nantinya.

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Pada skripsi ini, penulis untuk mendapatkan hambatan kapal model dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menghitung secara teoritis (data dari *lines plan* kapal model) yaitu dengan bantuan *software Hull Speed 11.03* dan melakukan uji tarik pada kapal model.

Kapal model yang akan di uji tarik adalah kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FT UI dengan dimensi utama sebagai berikut :

- Tipe kapal = Bulk Cargo Vessel
- Skala model = 1 : 70
- LOA/LWL/LBP = 2.459/2.403/2.385 m
- Lebar B = 0.323 m
- Tinggi H = 0.181 m
- Sarat T = 0.1287 m

Proses uji tarik kapal model dilakukan di kolam milik Politeknik Negeri Jakarta dengan dimensi sebagai berikut :

- Panjang : 20 m
- Lebar : 10 m
- Kedalaman : 1.8 m

Dari hasil uji tarik tersebut akan didapatkan nilai hambatan total kapal model pada berbagai kondisi kecepatan kapal yang mana nilai ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis dari software *Hull Speed 11.03*. Setelah itu dengan menggunakan prinsip Hukum Kesamaan Froude kita bisa memprediksi besarnya hambatan kapal sebenarnya.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat beberapa cara metodologi penelitian yang dipakai untuk menyusun penulisan ini. Metodenya adalah sebagai berikut :

i. Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh data sekunder yang didapat dari buku, bahan kuliah, internet dan literature lainnya. Data sekunder ini berfungsi sebagai informasi yang mendukung penelitian yang bersifat teoritis dan perhitungan.

ii. Studi Objek

Studi objek dalam hal ini adalah pengukuran ulang model kapal yang akan diuji, mengingat kapal yang tersedia tidak memiliki data *lines plan*-nya sehingga diperlukan pengukuran ulang guna mendapatkan nilai-nilai karakteristik bawah air dari kapal model tersebut beserta nilai hambatan dan dayanya secara teoritis. Data ini nantinya digunakan sebagai pembandingan dari hasil percobaan di lapangan.

iii. Percobaan Lapangan

Percobaan lapangan yang dimaksud adalah percobaan uji tarik kapal model. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data primer dari penulisan skripsi ini. Dalam percobaan tersebut obyek dari penulisan ini adalah kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FT UI dengan dimensi utama yang sudah dijelaskan sebelumnya.

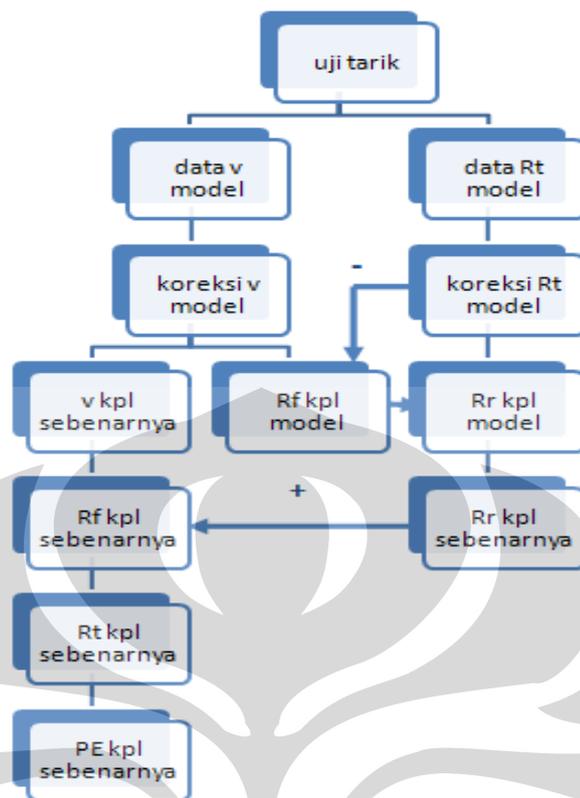
Dengan menggunakan strain gauge akan terukur besar hambatan total pada kapal model. Uji tarik dilakukan pada kondisi kapal *fully loaded* (draft maksimum) dengan variasi kecepatan putar motor listrik yang berbeda sehingga akan didapatkan 6 variasi kecepatan kapal model yang berbeda.

Data - data yang diambil dari hasil percobaan uji tarik kapal model adalah :

- ✓ Tegangan tali yang merupakan hambatan total kapal.
- ✓ Waktu tempuh lintasan kapal hingga titik tertentu (kecepatan).

iv. Pengolahan Data

Data yang didapat dari hasil percobaan berupa besarnya tegangan tali dan kecepatan kapal akan diolah sehingga mendapatkan harga-harga hambatan total, hambatan gesek dan hambatan sisa. Berikut ini adalah alur mengenai sistematika pengolahan data yang digunakan pada skripsi ini :



i. Analisa Hasil Pengolahan Data

Dari hasil pengolahan data dapat dianalisa harga hambatan total yang terjadi di setiap variasi kecepatan kapal model, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis dari *software Hull Speed 11.03*, kemudian dengan menggunakan prinsip Hukum Kesamaan Froude bisa didapatkan besaran hambatan dan daya yang dibutuhkan untuk kapal yang sebenarnya.

ii. Pembuatan Kesimpulan

Dari hasil analisa yang sudah ada dapat ditarik suatu kesimpulan dari percobaan ini.

1.6 Sistematika Penulisan.

Laporan Tugas Akhir atau Penulisan Skripsi ini dibagi dalam beberapa bab yang masing – masing bab dibagi dalam beberapa sub bab. Sistematika alur pembahasan penulisan ini adalah sebagai berikut :

i. **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini akan menjelaskan latar belakang masalah, tujuan penelitian, maksud penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

ii. BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini akan menguraikan penjelasan teoritis mengenai rencana garis, hambatan kapal dan hukum kesamaan pada teori model.

iii. BAB III SET UP ALAT DAN PROSES PERCOBAAN

Bab ini merupakan penjelasan tentang proses pembuatan lines plan kapal model, rangkaian alat-alat yang akan dipakai ketika melaksanakan proses uji tarik kapal model dan merupakan penjelasan mengenai pengumpulan data-data hasil uji tarik dan proses dari uji tarik tersebut.

iv. BAB IV PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL MODEL

Bab ini menjelaskan mengenai proses pengolahan data yang telah didapat, dimana data-data percobaan akan dibuat dalam bentuk grafik. Kemudian dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan.

Yang pertama adalah pengolahan data dari hasil uji tarik kapal model yaitu berupa data hambatan total yang kemudian akan diolah menjadi beberapa pembahasan seperti nilai hambatan gesek dan hambatan sisa.

Dari beberapa variasi yang ada dan beberapa pengumpulan data, maka akan dibuat grafik yang akan menghasilkan kesimpulan.

v. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapat dari hasil percobaan dan juga berisi saran agar percobaan yang akan dilakukan pada semester-semester dan tahun-tahun berikutnya menjadi lebih baik lagi.

BAB 2

LANDASAN TEORI

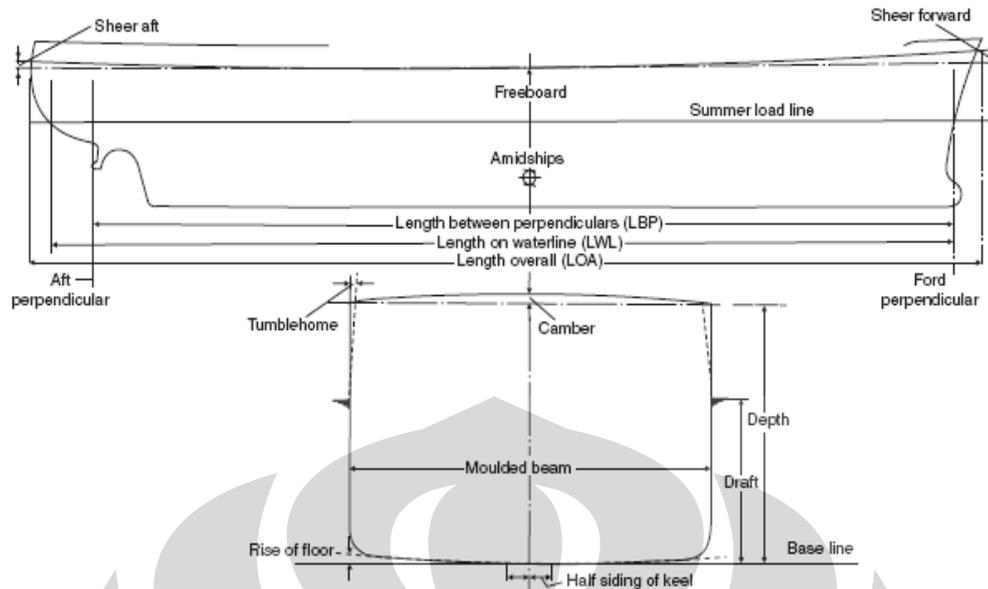
2.1 RENCANA GARIS

Rencana Garis merupakan gambar potongan dan penampang kapal yang di proyeksikan ke bidang diametral, bidang garis air, dan bidang tengah kapal. Gambar Rencana Garis ini menjadi pegangan utama atau merupakan dasar bagi perencana untuk melaksanakan perancangan kapal secara lengkap, mulai dari menghitung karakteristik kapal, menentukan pembagian ruangan di kapal, menentukan daya muat kapal, daya motor induk yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan kapal sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, serta menghitung dan memeriksa kemampuan olah gerak kapal dalam pelayarannya

2.1.1 Dimensi Utama Kapal

Ada beberapa macam istilah yang biasa digunakan untuk menentukan dimensi utama kapal, yaitu seperti sebagai berikut :

- a) *Fore Perpendicular* FP adalah garis tegak yang dibuat tepat pada perpotongan antara garis air muatan penuh dengan sisi luar linggi haluan.
- b) *After Perpendicular* AP adalah garis tegak yang dibuat tepat pada sisi belakang linggi kemudi atau pada sumbu poros kemudi apabila kapal tidak mempunyai linggi kemudi
- c) *Lenght Over All* LOA adalah panjang kapal yang diukur dari ujung belakang sampai keujung depan kapal.
- d) *Lenght Water Line* LWL adalah panjang kapal yang diukur pada bidang garis air, dari ujung belakang ke ujung depan kapal.
- e) *Lenght Beetwen Perpendicular* LBP adalah panjang antara tegak belakang sampai garis tegak depan.



Gambar. 2.1. Dimensi utama kapal

- f) *Bread moulded* B adalah lebar kapal terbesar pada sisi dalam kulit.
- g) *Height moulded* H adalah tinggi kapal yang diukur ditengah panjang kapal dibagian sisi, dari atas lunas sampai sisi bawah.
- h) *Draft* kapal d adalah jarak dari atas lunas sampai permukaan.
- i) *Block Coefficient* C_b adalah harga perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dengan balok yang melingkupinya.
- j) *Midship Coefficient* C_m adalah harga perbandingan antara luas bidang tengah kapal yang tercelup dengan segiempat yang melingkupinya.
- k) *Water Line Coefficient* C_w adalah harga perbandingan antara luas bidang garis air dengan segiempat yang melingkupinya.
- l) *Prismatic Coefficient* C_p adalah harga perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dengan prisma yang dibentuk dari Luas Gading Besar kali panjang kapal

2.1.2 Bidang-Bidang Yang Memotong Kapal

Untuk memudahkan memahami bentuk badan kapal, terutama yang berada dibawah permukaan air (tercelup dalam air), kita dapat membagi

bidang datar kapal menjadi 3 bagian yang memotong badan kapal, yaitu :
bidang diametral, bidang tengah kapal dan bidang garis air.

a) Bidang Diametral

Adalah bidang tegak memanjang yang melalui sumbu kapal (centre line), Bidang ini akan memotong kapal tepat ditengah-tengahnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari samping.

Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang diametral ini, maka akan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari samping, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan samping kapal. Garis-garis ini biasa disebut sebagai garis-garis *buttock line*.

b) Bidang Tengah Kapal (*midship*)

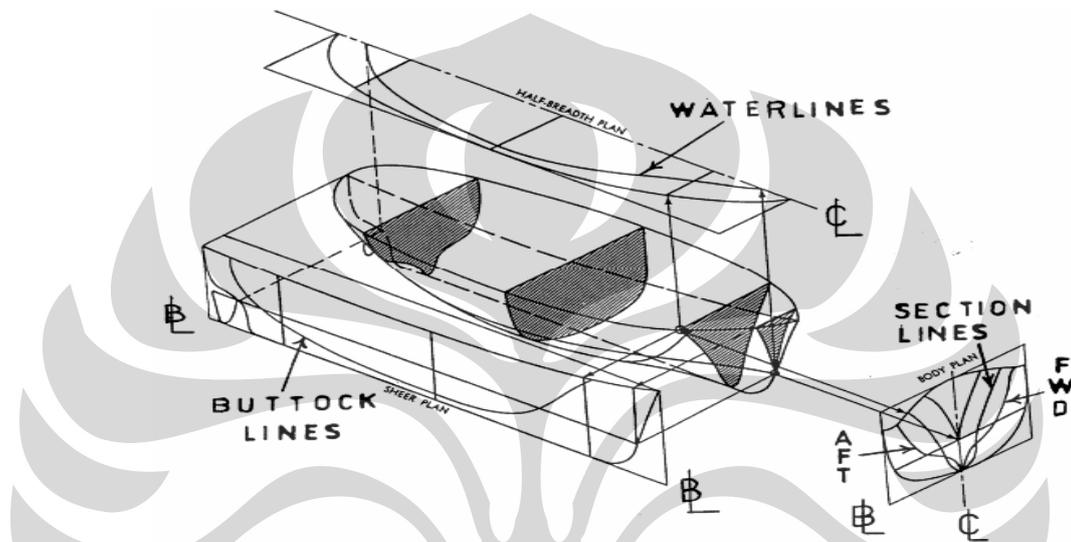
Adalah bidang tegak melintang yang melalui pertengahan panjang Lpp. Bidang ini akan memotong kapal tepat ditengah-tengah panjangnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari depan.

Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang tengah ini, maka akan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari depan, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan depan kapal. Garis-garis ini biasa disebut garis-garis *body plan*.

c) Bidang Garis Air

Adalah bidang horizontal yang melalui permukaan air pada saat kapal muatan penuh. Bidang ini akan memotong kapal dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari atas.

Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang garis air ini, maka akan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari atas pada tinggipermukaan air yang berbeda-beda, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan atas kapal. Garis-garis ini biasa disebut sebagai garis-garis *water line*.



Gambar. 2.2. Bidang-bidang yang memotong kapal

2.2 HAMBATAN

Hambatan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan kapal tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerak kapal.

Untuk memudahkan perhitungan, hambatan total (R_t) dihitung dengan menggunakan Koefisien hambatan (C_t) dan besar hambatan kapal tersebut adalah merupakan fungsi dari luas permukaan basah (S), kecepatan kapal (v), dan masa jenis air (ρ) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_t = \frac{1}{2} \cdot C_t \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (2.1)$$

Hambatan total kapal (R_t) dapat diuraikan menjadi sejumlah komponen yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi dalam cara yang benar-benar rumit. Komponen tersebut antara lain yaitu :

a) Hambatan Gesek

Hambatan gesek ini terjadi karena adanya suatu volume air yang melekat pada badan kapal yang terbentuk pada permukaan bagian yang terendam dari badan kapal yang sedang bergerak, dikenal sebagai lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah lapisan batas tersebut, kecepatan gerak dari pada partikel-partikel zat cair bervariasi dari nol pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum yaitu sama dengan besarnya kecepatan aliran zat cair pada tepi dari lapisan batas tersebut. Perubahan atau variasi kecepatan partikel-partikel zat cair inilah yang mencerminkan adanya pengaruh intensif gaya-gaya viskositas pada lapisan batas yang menimbulkan hambatan gesek pada lambung kapal tersebut.

b) Hambatan Gelombang

Kapal yang bergerak dalam air akan mengalami hambatan sehingga menyebabkan terbentuknya suatu sistem gelombang. Sistem gelombang ini terbentuk akibat terjadinya variasi tekanan air terhadap lambung kapal pada saat kapal bergerak dengan kecepatan tertentu.

Ada tiga jenis gelombang yang biasanya akan terbentuk pada saat kapal bergerak yaitu gelombang haluan, gelombang melintang pada sisi lambung dan gelombang buritan.

Energi yang dibutuhkan untuk membentuk sistem gelombang ini diperoleh dari gerakan kapal itu sendiri. Pemindahan energi ini dianggap menggambarkan adanya suatu gaya yang menghambat gerak maju dari kapal dan dianggap sebagai hambatan gelombang.

c) Hambatan Bentuk

Hambatan ini terjadi karena terbentuknya partikel-partikel air yang bergerak dalam satuan pusaran (*eddy*). Pusaran-pusaran ini terjadi antara lain karena bentuk-bentuk yang tidak stream line, bentuk yang demikian ini terdapat di bagian belakang kapal. Akibat terjadinya arus *eddy* ini, pada bagian buritan tekanan yang terjadi tidak dapat mengimbangi tekanan pada bagian depan sehingga timbullah suatu gaya yang melawan gerak maju dari kapal.

d) Hambatan Udara

Hambatan ini terjadi pada badan kapal yang berada di atas permukaan air. Seperti halnya pada badan kapal yang berada di bawah garis air, maka hambatan udara juga terbagi dua menjadi hambatan gesek dan hambatan bentuk. Kecuali dalam cuaca buruk maka hambatan udara yang dialami kapal hanya berkisar 2% - 4% dari hambatan total.

e) Hambatan Tambahan

Hambatan ini terjadi karena adanya penonjolan daripada alat-alat bantu pada lambung kapal seperti kemudi, lunas sayap, zinc anode, bentuk buritan, dll. Besarnya hambatan ini dapat mencapai sepuluh persen dari hambatan total yang dialami kapal.

f) Hambatan Sisa

Hambatan sisa merupakan gabungan dari hambatan gelombang, hambatan bentuk, hambatan udara dan juga hambatan tambahan. Sehingga dalam berbagai metode perhitungan hambatan total, dikenal dua buah komponen hambatan, yaitu hambatan gesek dan hambatan sisa.

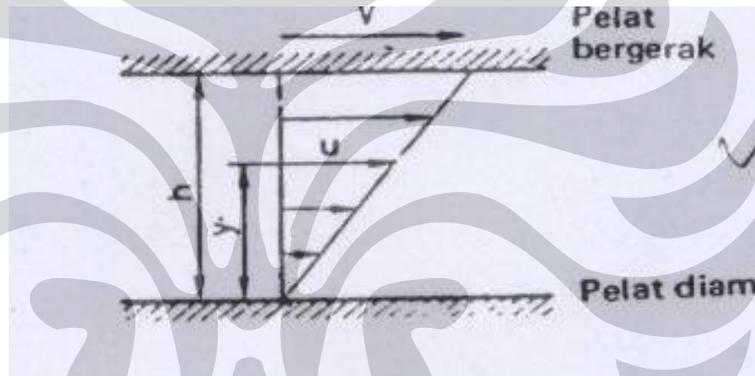
Untuk proses analisa penghitungan cukup menggunakan dua buah komponen hambatan, yang memang saat ini populer digunakan untuk menghitung hambatan total kapal melalui percobaan kapal model, metode

tersebut adalah “Metode Froude”. Yang mana pada metode froude ini hambatan total dibagi menjadi dua buah komponen besar yaitu :

$$R_t = R_f + R_r \quad (2.2)$$

2.2.1 Hambatan Gesek

Hambatan gesek disebabkan oleh kekentalan air dan merupakan fungsi *Reynolds' Number*. Yang mana ketika fluida berada di antara dua buah pelat, dan pada salah satunya dikenai gaya geser maka akan timbul tegangan geser pada fluida. Untuk mempertahankan gerakan maka harus ada gaya F yang bekerja pada pelat yang bergerak.



Gambar. 2.3. Aliran di antara pelat yang sejajar

Percobaan menunjukkan bahwa gaya tersebut berbanding lurus dengan luas pelat (S), kecepatan (v) dan berbanding terbalik dengan jarak kedua pelat (h)

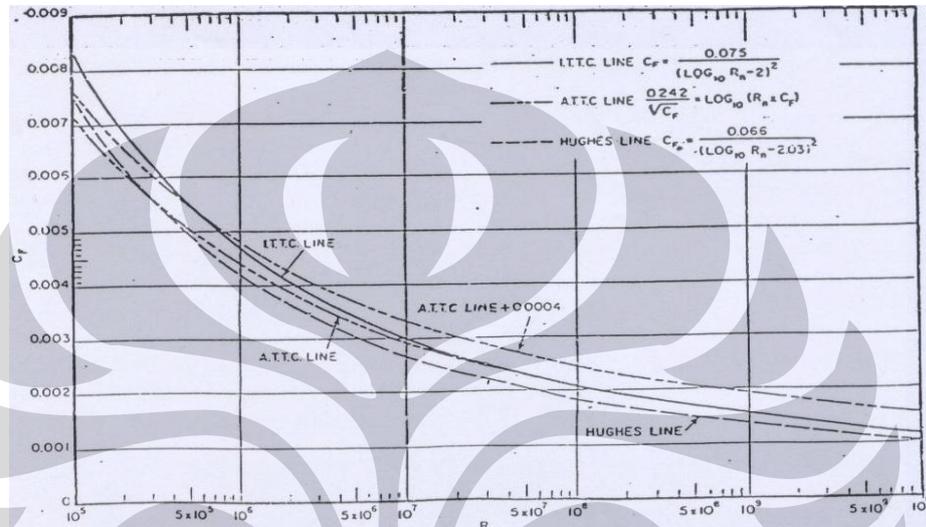
$$F = \mu \frac{S \cdot v}{h} \quad (2.3)$$

Hambatan gesek dipengaruhi oleh kecepatan benda (v), luasan basah (S) dan massa jenis fluida (ρ). Dengan rumus :

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot C_f \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (2.4)$$

Sehingga dibutuhkan koefisien gesek (C_F) untuk dapat mengetahui berapa besarnya nilai hambatan gesek. Menurut ITTC 1957 koefisien gesek dapat diketahui dengan rumus :

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (2.5)$$



Gambar. 2.4. Standart skin frictionless dari ATTC, Hughes dan ITTC

2.2.2 Hambatan Sisa

Hambatan sisa disebabkan oleh terbentuknya gelombang karena gerakan kapal, bentuk lambung, panjang kapal dan juga merupakan fungsi dari Froude number. Jika Froude number-nya konstan, koefisien hambatan sisa dari kapal skala penuh adalah sama besarnya dengan koefisien hambatan sisa model. Seperti juga model, koefisien hambatan gesek dari kapal dihitung berdasarkan koefisien hambatan gesek dari pelat datar yang mempunyai panjang dan luasan yang sama dengan kapal. Sehingga koefisien hambatan sisa dari kapal adalah sebagai berikut :

$$C_r = C_t - C_f \quad (2.6)$$

2.3 HUKUM KESAMAAN

Pada percobaan dengan memakai model kapal dapat ditunjukkan bahwa dari hasil pengukuran hambatan total model kapal tersebut, kemudian hambatan total kapal yang dicari akan dapat dihitung. Umumnya model tersebut berdimensi relative lebih kecil dan di 'operasikan' di air tawar pada tangki percobaan dengan ukuran terbatas, sedangkan kapal berlayar diperairan luas dan biasanya laut berair asin.



Gambar. 2.5. Percobaan model kapal pada towing tank

Tentunya untuk itu harus dipenuhi persyaratan fisika murni dalam percobaan tersebut, yakni persyaratan kesamaan-kesamaan. Percobaan menggunakan model di tangki percobaan guna memperoleh besarnya harga hambatan kapal dikenal sebagai 'percobaan hambatan kapal' (*resistance test = towing test*). Adapun persyaratan kesamaan-kesamaan yang harus dipenuhi adalah :

- ✓ Kesamaan Geometris (*geometrical similiarity*)
- ✓ Kesamaan kinematis (*kinematical similiarity*)
- ✓ Kesamaan dinamis (*dynamical similiarity*)

2.3.1 Kesamaan Geometris

Persyaratan guna memperoleh kesamaan geometris dari sebuah benda terhadap benda lain yang ditinjau adalah harus dipenuhinya secara alamaiah baik kesamaan bentuk maupun kondisi permukaan luar dari kedua benda yang bersangkutan. Untuk memperoleh kesamaan geometris dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut ;

- ✓ Dengan meniru bentuk badan kapal yakni dengan cara memperkecil dengan skala tertentu dan membuat permukaan model kapal agar licin seolah-olah ‘reproduksi’ permukaan kapal yang sebenarnya saat beroperasi.
- ✓ Dengan mengkondisikan permukaan dikolam haruslah seidentik mungkin dengan kondisi permukaan laut dimana kapal akan beroperasi. Biasanya diasumsikan keadaan laut tenang (calm water) sehingga permukaan kolam tangki percobaan dikondisikan benar-benar tenang.

Akan tetapi meskipun kedua persyaratan diatas dapat terpenuhi, tentunya masih ada harga koreksi yang perlu ditambahkan untuk bisa menyerupai harga hambatan total kapal sebenarnya. Harga koreksi ini terjadi akibat adanya beberapa hal misalnya :

- *Boundary layer* yang terjadi pada kapal sebenarnya tidak mungkin dapat direproduksi secara sempurna pada model saat ditarik di tangki percobaan meskipun permukaan model benar-benar merupakan ‘copy’ dari permukaan kapal yang sebenarnya.
- Adanya fenomena ‘pengaruh dinding tangki’ (*wall effect*) dan ‘pengaruh dasar tangki’ (*bottom effect*) yang timbul akibat adanya keterbatasan dimensi kolam tangki percobaan.

2.3.2 Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematis dalam percobaan model di tangki percobaan berarti gerakan partikel-partikel fluida yang meyelubungi model dan kapal yang sesungguhnya haruslah ada kesamaanya. Guna memperoleh kesamaan antara lain aliran air tawar di tangki percobaan yang lewat menyusuri badan kapal terhadap air laut yang menyelubungi kapal saat berlayar, dituntut persyaratan perbandingan kecepatan pada setiap dua titik di lambung model harus sama dengan perbandingan kecepatan dari dua titik pada lambung kapal yang korespon dengan modelnya.

Selain itu harga perbandingan kecepatan maju (*advance speed*) V_a besarnya sama dengan kecepatan partikel-partikel air yang melewati piringan baling-baling (*propeller disc*) dengan kecepatan rotasional dari setiap potongan daun baling-baling dari model dan baling-baling dari kapal yang sebenarnya haruslah sama. Bila yang ditinjau berlokasi r (m) dari sumbu poros baling-baling dan putaran baling-baling n (rps) sedangkan kecepatan maju V_a (m/s), maka persyaratan yang dipenuhi adalah :

$$\frac{v_a(m)}{2\pi r(m)n(m)} = \frac{v_a(s)}{2\pi r(s)n(s)} \quad (2.7)$$

2.3.3 Kesamaan Dinamis

Dinamika merupakan salah satu cabang dari ilmu mekanika yang khusus mempelajari baik tentang gerakan benda maupun gaya-gaya yang bekerja dalam gerakan tersebut. Dalam banyak hal, percobaan-percobaan ditangi percobaan dengan menggunakan model yang telah geometris sama dengan kapalnya dilakukan juga untuk mempelajari segala sesuatu tentang gaya-gaya yang bekerja pada kapal yang sebenarnya.

Ada beberapa jenis gaya yang bekerja pada badan kapal yang bergerak dipermukaan air dan yang berperan dalam hambatan kapal misalnya gaya-gaya inersia F_i , gaya-gaya tekanan F_p , gaya-gaya gravitasi F_g , gaya-gaya viskositas F_v .

Guna memperoleh gambaran hubungan yang mungkin ada antara gaya-gaya yang bekerja pada model dengan kapal yang sebenarnya dimana kedua benda yang dibuat geometris sama tersebut diasumsikan berada didalam aliran yang juga memiliki kesamaan geometris, dapat dipakai 'hukum kesamaan dasar' seperti berikut ini :

a) Hukum Kesamaan Dasar Newton

"Perbandingan harga tiap gaya yang bekerja di titik-titik yang sama (*similar spots*) pada benda-benda berbentuk sama yang berada didalam aliran fluida yang sama, haruslah sama besarnya."

Berdasarkan hukum Newton tersebut diatas, perbandingan gaya inersia dengan gaya gravitasi di titik A, pada kapal dan titik koresponnya pada model titik A_m, gaya inersia dengan gaya viskositas, gaya inersia dengan gaya tekanan berturut-turut adalah sebagai berikut :

$$\left[\frac{F_i}{F_g} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_g} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_g(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_g(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_g(s)}{F_g(m)} \right] \quad (2.8)$$

$$\left[\frac{F_i}{F_v} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_v} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_v(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_v(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_v(s)}{F_v(m)} \right] \quad (2.9)$$

$$\left[\frac{F_i}{F_p} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_p} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_p(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_p(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_p(s)}{F_p(m)} \right] \quad (2.10)$$

b) Hukum Kesamaan Froude

Ditinjau sebuah benda bergerak dipermukaan bebas (*free surface*) di suatu fluida ideal (*non viscous fluid*), diselubung dinding luar benda yang bersangkutan pada bagian dibawah permukaan fluida akan terjadi aliran dan gaya-gaya yang timbul adalah gaya inersia, gaya tekanan dan gaya gravitasi. Karena fluidanya diasumsikan sebagai fluida tidak berviskositas, maka tidak terjadi gaya gesekan. Sedangkan kesemua gaya yang bekerja tersebut secara keseluruhan akan merupakan satu keseimbangan (resultan gaya = 0).

Bila Φ_i , Φ_g dan Φ_p masing-masing adalah harga perbandingan gaya inersia kapal dengan modelnya, perbandingan gaya inersia kapal dengan modelnya, perbandingan gaya gravitasi dengan harga perbandingan gaya tekanannya, maka :

$$\bullet \quad \Phi_i = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \frac{m(s).a(s)}{m(m).a(m)} = \frac{\rho(s).\nabla(s).a(s)}{\rho(m).\nabla(m).a(m)}$$

Maka

$$\Phi_i = \frac{\rho(s) \nabla(s) a(s)}{\rho(m) \nabla(m) a(m)} = \delta \cdot \lambda^3 \cdot \beta \quad (2.11)$$

Dimana ; δ = perbandingan density

λ = perbandingan ukuran panjang

β = perbandingan percepatan

Bila ε = perbandingan kecepatan ($\frac{v'(s)}{v'(m)}$) dan τ = perbandingan waktu ditempuh, maka :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{v'(s)}{v'(m)} = \frac{\lambda}{\tau} \rightarrow \tau = \frac{\lambda}{\varepsilon} \\ \beta &= \frac{\varepsilon}{\tau} = \frac{\varepsilon}{\frac{\lambda}{\varepsilon}} = \frac{\varepsilon^2}{\lambda} \\ \Phi_i &= \delta \cdot \lambda^3 \cdot \beta = \frac{\delta \cdot \lambda^3 \cdot \varepsilon^2}{\lambda} = \delta \cdot \lambda^2 \cdot \varepsilon^2\end{aligned}\quad (2.12)$$

- $$\Phi_g = \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{m(s) \cdot g(s)}{m(m) \cdot g(m)} = \frac{\rho(s) \cdot \nabla(s) \cdot g(s)}{\rho(m) \cdot \nabla(m) \cdot g(m)}$$

Maka

$$\Phi_g = \frac{\rho(s) \cdot \nabla(s) \cdot g(s)}{\rho(m) \cdot \nabla(m) \cdot g(m)} = \delta \cdot \lambda^3 \cdot \zeta \quad (2.13)$$

Dimana ; ζ = perbandingan gravitasi

Seperti telah dijelaskan berdasarkan hukum newton selain harga-harga perbandingan gaya gravitasi, harga-harga perbandingan gaya inersia dan juga perbandingan gaya tekanan haruslah sama untuk kapal dan modelnya ($\Phi_i = \Phi_g = \Phi_p$), sehingga :

$$\begin{aligned}\frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \frac{F_p(s)}{F_p(m)} &\rightarrow \frac{F_g(s)}{F_i(s)} = \frac{F_g(m)}{F_i(m)} \rightarrow \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \Phi_g = \Phi_i \rightarrow \\ \delta \cdot \lambda^3 \cdot \zeta = \delta \cdot \lambda^2 \cdot \varepsilon^2 &\rightarrow \lambda \cdot \zeta = \varepsilon^2 \rightarrow \frac{L(s) \cdot g(s)}{L(m) \cdot g(m)} = \frac{V(s)^2}{V(m)^2} \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{g(s)L(s)}} = \\ \frac{V(m)}{\sqrt{g(m)L(m)}} &\end{aligned}\quad (2.14)$$

Seperti telah diketahui $\frac{v}{\sqrt{gL}}$ adalah angka Froude F_n , maka dengan demikian $F_{n_s} = F_{n_m}$ dan apa yang diuraikan diatas kemudian menjadi dasar dari Hukum Kesamaan Froude.

Angka gravitasi di tangki percobaan biasa diasumsi sama dengan gravitasi di perairan laut dimana kapal akan beroperasi ($\zeta = 1$),

sehingga dengan harga angka Froude kapal sama dengan modelnya, maka :

$$Fn(s) = Fn(m) \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{g(s) \cdot L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{g(m) \cdot L(m)}} \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{L(m)}} \rightarrow$$

$$V(m) = \frac{V(s)}{\sqrt{\frac{L(m)}{L(s)}}} = \lambda^{-\frac{1}{2}} \cdot V(s) \quad (2.15)$$

$$g = \delta \cdot \lambda^3 \cdot \zeta = \delta \cdot \lambda^3 = \frac{\rho(s) \cdot \nabla(s)}{\rho(m) \cdot \nabla(m)} = \frac{\rho(s) \cdot \nabla(s)}{\rho(m) \cdot \nabla(m)} \quad (2.16)$$

$$\Phi_g = \Phi_i = \Phi_p = \frac{\rho(s) \cdot \nabla(s)}{\rho(m) \cdot \nabla(m)} \quad (2.17)$$

Gaya gravitasi dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$F_g(s) = C_w \cdot \frac{1}{2} \rho(s) \cdot S(s) \cdot V(s)^2 \quad (2.18)$$

$$F_g(m) = C_w \cdot \frac{1}{2} \rho(m) \cdot S(m) \cdot V(m)^2 \quad (2.19)$$

Dimana : C_w = konstanta yang harganya bebas terhadap pengaruh harga skala yang dipilih

S = Luas permukaan basah (*wetted surface area WSA*)

Bila γ = berat jenis (*specific weight*), *density* $\rho = \gamma/g$, *displacement* $\Delta = \gamma \cdot \nabla$ dan dengan angka gravitasi $g_m = g_s$ atau harga $\zeta = 1$, maka :

$$\Phi_g = \Phi_i = \Phi_p = \frac{\gamma(s) \cdot \nabla(s)}{\gamma(m) \cdot \nabla(m)} = \frac{\Delta(s)}{\Delta(m)} \quad (2.20)$$

Φ_g adalah berkaitan dengan pebandingan hambatan gelombang yang timbul pada kapal dan modelnya. Sedangkan Φ_p terkait dengan hambatan tekanan, sehingga Φ_g , Φ_p dan Φ_i secara keseluruhan terkait dengan perbandingan hambatan sisa (*residual resistance*) kapal dengan modelnya.

Bila air di kolam towing tank diasumsikan sebagai fluida ideal (sehingga gaya viskositas yang terkait dengan hambatan gesekan tidak

diperhitungkan) dan model dijalankan dengan kecepatan $V_m = \lambda^{-1/2} \cdot V_s$, yang mana badan model tersebut bergerak dengan diselubungi aliran fluida yang memenuhi persamaan Froude, maka semua gaya-gaya yang bekerja terkait dengan hambatan sisa, besarnya bila dihadapkan dengan apa yang terjadi pada kapal yang sebenarnya adalah sebanding dengan *displacement*-nya. Dengan demikian, apabila komponen hambatan gesek dipisahkan dari hambatan total sehingga yang ditinjau hanya komponen hambatan sisanya saja dan model dibuat geometris sama dengan kapal serta memiliki angka Froude sama ($F_{n_m} = F_{n_s}$, yakni model dijalankan dengan kecepatan $V_m = \lambda^{-1/2} \cdot V_s$) maka akan berlaku kesimpulan di atas.

Apa yang telah diuraikan di atas dikenal dengan sebagai Hukum Perbandingan (*law of comparison*) atau Hukum Kesamaan (*law of similarity*) dari Froude yang diberlakukan untuk menghubungkan model dengan kapalnya dalam percobaan *resistance test* di tangki percobaan seperti sebagai berikut :

Apabila model dan kapal geometris sama dan memiliki angka Froude sama, maka besarnya hambatan sisa berbanding lurus dengan besarnya *displacement*.

$$\begin{aligned}
 V(m) &= \lambda^{-\frac{1}{2}} \cdot V(s) \rightarrow Rr(s) = Rr(m) = \frac{\Delta(s)}{\Delta(m)} \\
 &= \left(\frac{\rho(s)}{\rho(m)} \right) \cdot \lambda^3 \qquad (2.21)
 \end{aligned}$$

Dimana : $\rho(s)$ dan $\rho(m)$ masing-masing adalah *density* dari air laut dan air tawar di *towing tank*;

λ = skala model terhadap kapalnya (*linear ratio*)

Prinsip Froude tersebut sampai sekarang masih dianut untuk percobaan hambatan kapal dengan menggunakan model di *towing tank*.

c) Hukum Kesamaan Reynold

Ketentuan-ketentuan dalam Hukum kesamaan Reynold disebutkan seperti sebagai berikut :

- “Bila dua benda yakni kapal dan modelnya geometris sama dengan memiliki Angka Reynold R_n sama ($V(m) = \lambda \cdot V(s) \frac{r'_m}{r'_s}$), bergerak difluida berviskositas dengan lokasi jauh di bawah permukaan sehingga tidak menimbulkan gelombang (dengan demikian gaya gravitasi dapat diabaikan), maka gaya-gaya yang bekerja pada model dapat dikonversi dengan skala gaya yang korespon menjadi masing-masing gaya sejenis pada kapal yang sebenarnya.”

- “Bila gaya yang ditinjau adalah benda yang bergerak dipermukaan bebas suatu fluida yang berviskositas, yakni kapal yang berlayar di laut bebas dan odelya yang ditarik di tangki percobaan, maka gaya-gaya yang akan bekerja adalah empat jenis gaya, yakni gaya inersia, gaya tekanan, gaya gravitasi dan gaya viskositas dimana keempat macam gaya tersebut secara bersamaan daalm keadaan kesetimbangan.”

Untuk dapat mengkonversi besarnya gaya hasil pengukuran pada percobaan dengan model di tangki percobaan menjadi gaya yang korespon pada kapal yang sebenarnya dengan skalanya masing-masing, maka haruslah dipenuhi persyaratan-persyaratan hukum Froude sekaligus dengan Hukum Reynold.

Dengan asumsi angka gravitasi ditangki percobaan sama dengan diperairan dimana kapal akan beroperasi, maka menurut ketentuan Hukum Froude sekaligus Hukum Reynold, model harus dijalankan dengan kecepatan :

$$V(m) = \lambda^{\frac{1}{2}} \cdot V(s) \quad (2.22)$$

Sedangkan menurut ketentuan Hukum Reynold, model Harus berkecepatan :

$$V(m) = \lambda \cdot V(s) \frac{r'_m}{r'_s} \quad (2.23)$$

Dengan demikian untuk memenuhi kedua persamaan diatas :

$$\lambda^{-\frac{1}{z}} \cdot V(s) = \lambda \cdot V(s) \frac{r_m}{r(s)} \rightarrow V(m) = \lambda^{-\frac{s}{z}} \cdot V(s) \quad (2.24)$$

Dimana ;

$V(m)$ = viskositas kinematis fluida yakni air tawar ditangki percobaan
dimana test dilakukan

$V(s)$ = viskositas kinematis fluida yakni air laut/sungai/danau perairan
dimana kapal akan beroperasi



BAB 3

SET UP ALAT DAN HASIL PERCOBAAN

3.1 Membuat Rencana Garis Dari Kapal Model

Pada sub bab ini penulis akan mencoba memaparkan tentang bagaimana cara untuk membuat rencana garis (*lines plan*) dari sebuah kapal yang sudah dibuat modelnya.

3.1.1 Mengukur Dimensi Utama Kapal Model

Adapun langkah pertama yang dilakukan dalam membuat rencana garis kapal model adalah dengan cara mengukur dimensi-dimensi utama kapal model tersebut dengan menggunakan meteran, yaitu dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

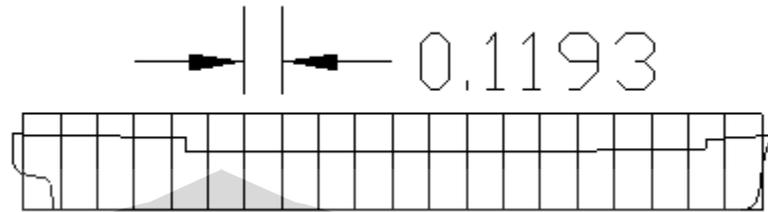
- LOA/LWL/LPP = 2.459/2.403/2.385 m
- Lebar B = 0.323 m
- Tinggi H = 0.181 m
- Sarat T = 0.1287 m

3.1.2 Membuat Garis-Garis Bantu

Setelah kita mendapatkan dimensi-dimensi utama kapal model, langkah selanjutnya adalah kita membuat garis-garis bantu pada kapal model. Garis-garis bantu ini bertujuan untuk memudahkan kita dalam pengukuran dan juga untuk menambah tingkat kepresisian kita dalam membuat lengkungan-lengkungan badan kapal. Adapun garis-garis bantu yang dibuat adalah sebagai berikut :

- Garis gading-gading bantu
Gading-gading bantu ini adalah garis-garis yang dibuat secara vertical pada badan kapal. Jumlah gading-gading bantu yang dibuat berjumlah 21 buah sehingga gading-gading bantu ini akan

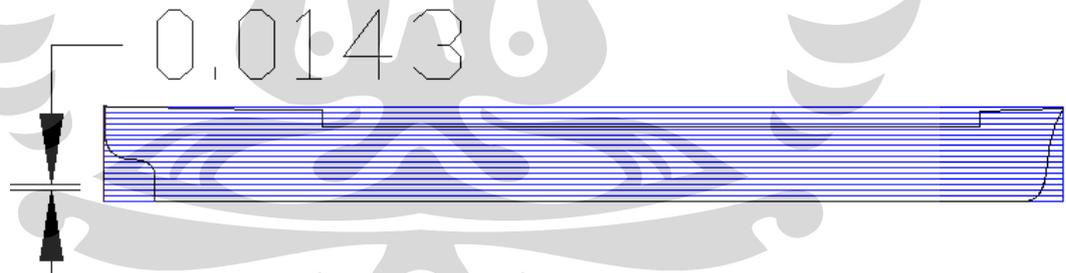
membagi kapal menjadi 20 bagian yang sama besar secara melintang dengan jarak antar gading masing-masing sejauh 0.119 m.



Gambar 3.1 Gading-gading bantu

- **Garis-garis water line**

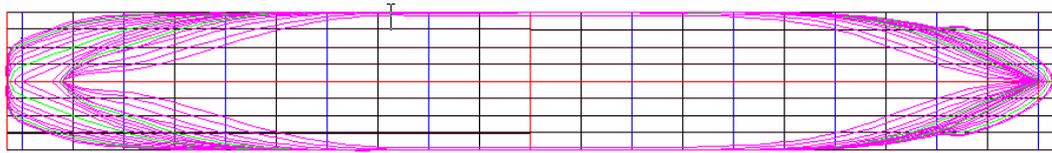
Garis-garis waterline adalah garis-garis yang dibuat secara horizontal pada badan kapal. Jumlah garis-garis waterline yang dibuat berjumlah 18 buah sehingga gading-gading bantu ini akan membagi kapal menjadi 17 bagian yang sama besar secara membujur dengan jarak antar garis water line masing-masing sejauh 0.0143 m.



Gambar 3.2 Garis-garis water line

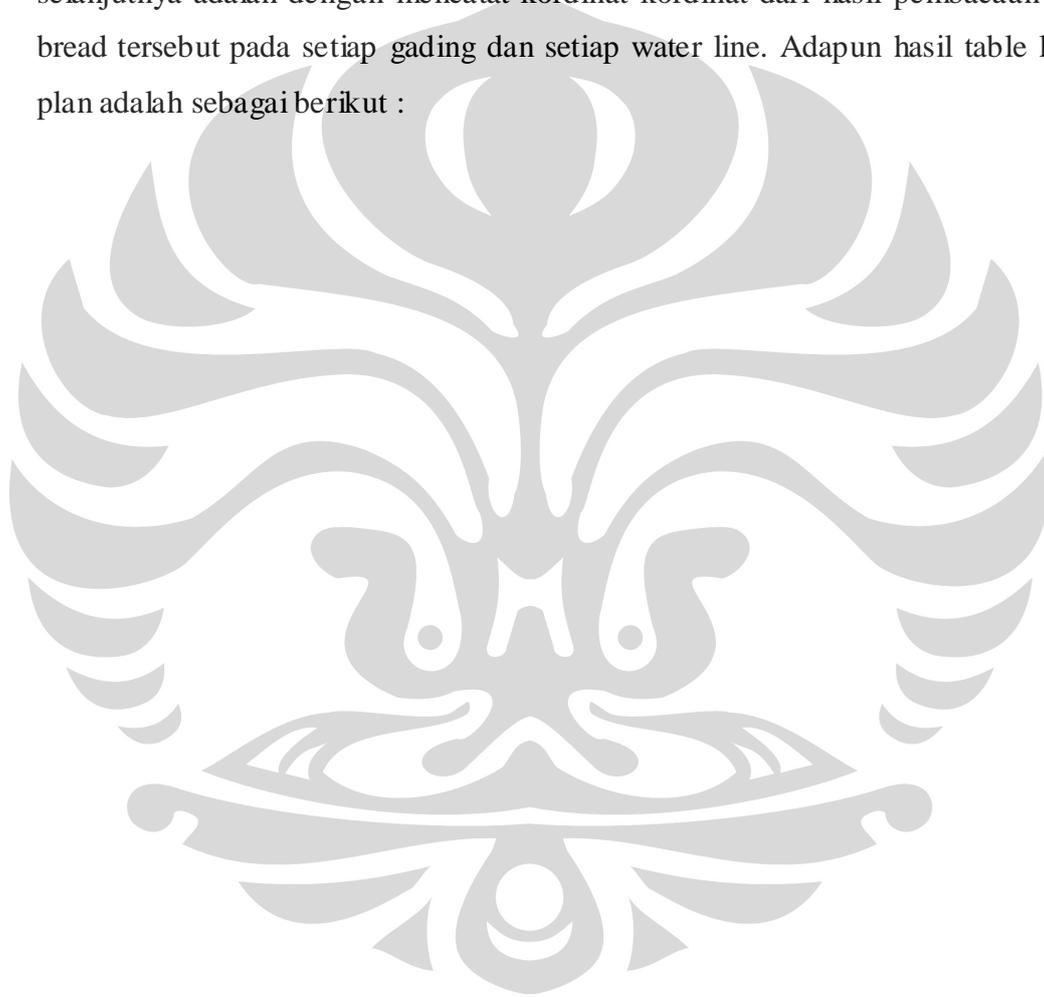
3.1.3 Membuat *Off Set Table Lines Plan*

Setelah kita membuat garis-garis bantu tersebut pada badan kapal maka langkah selanjutnya adalah mengukur bidang-bidang tersebut dengan meteran. Untuk membuat lines plan kapal model ini kami mengasumsikan sebuah kapal adalah sebuah balok sehingga berdasarkan cara tersebut kami bisa mendapatkan lengkungan Half breadth dari kapal tersebut.



Gambar 3.3 Garis-garis lengkungan Half bread kapal model

Setelah didapatkan garis lengkungan Half bread kapal, langkah selanjutnya adalah dengan mencatat kordinat-kordinat dari hasil pembacaan half bread tersebut pada setiap gading dan setiap water line. Adapun hasil table lines plan adalah sebagai berikut :



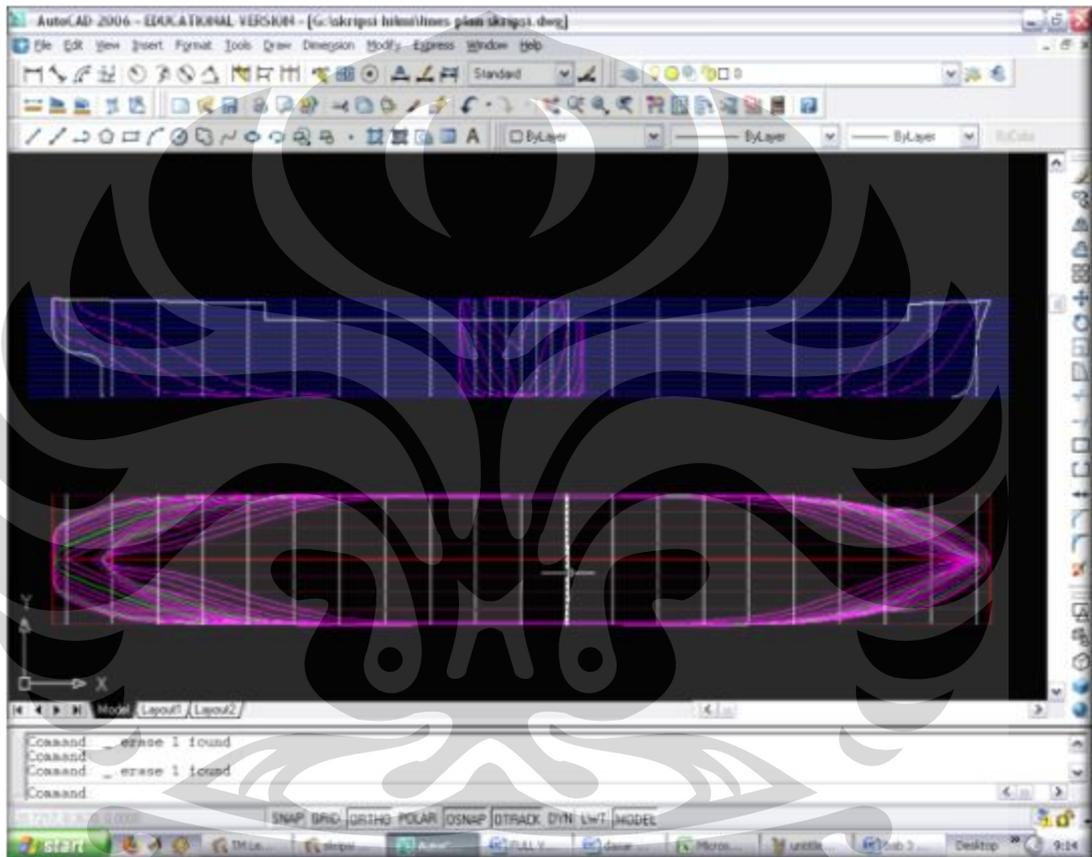
Tabel 3.1 Off set table untuk lines plan kapal model

OFFSET TABLE (dalam satuan mm) Untuk bodi plan

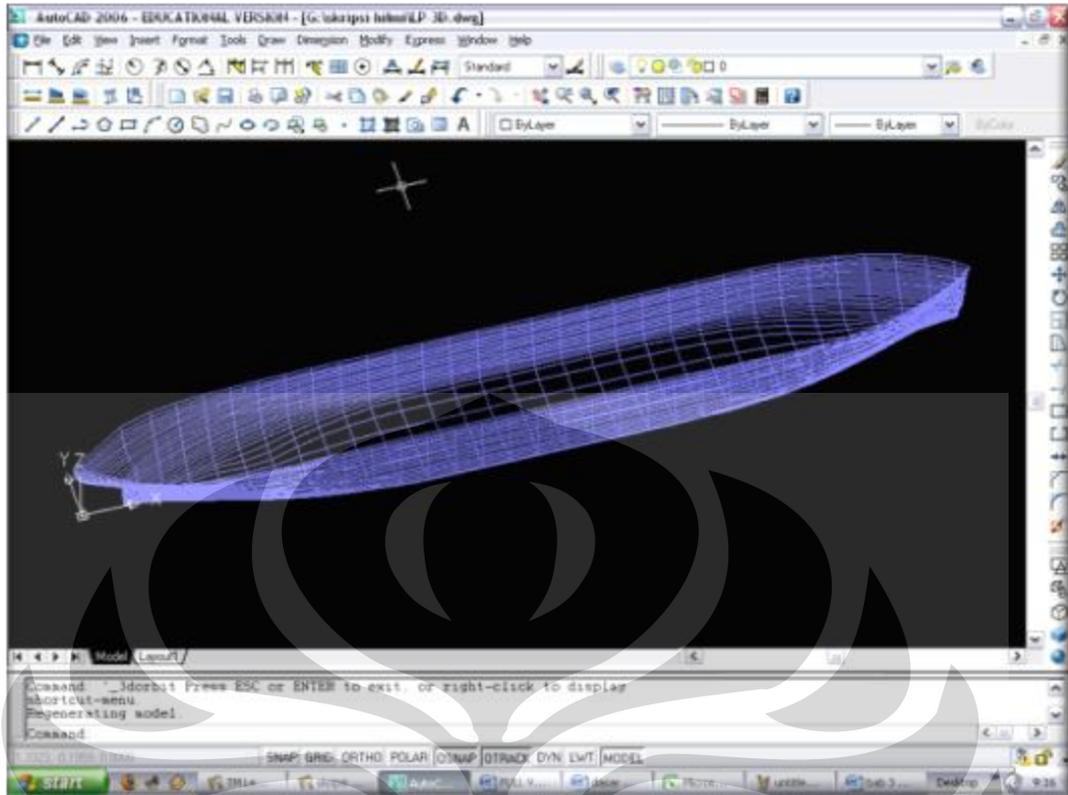
No. Gading	WL 0	WL 1/2	WL 1	WL 2	WL 3	WL 4	WL 5	WL 6	WL 7	WL 8	WL 9	WL 10	WL 11	WL 12	WL 13	WL 14	WL 15	WL 16
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	34	50	63	74	82	89	94
1	0	10	13	18	22	26	30	35	43	53	65	80	95	107	118	126	131	136
2	0	25	36	52	63	72	80	88	96	104	112	120	128	135	142	147	151	154
3	0	50	68	88	101	111	120	126	131	136	141	145	148	152	155	157	159	160
4	0	86	104	123	134	141	146	150	153	155	156.6	158	159	160	160	161	161	161
5	0	119	133	146	153	157	159	160	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
6	0	143	152	159	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
7	0	155	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
8	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
9	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
10	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
11	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
12	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
13	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
14	0	155	158	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
15	0	143	151	158	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
16	0	122	133	144	150	153	155	156	156	157	157	157	157	157	158	158	-	-
17	0	84	99	116	125	131	135	138	140	142	144	145	146	147	148	148	-	-
18	0	41	55	72	83	92	98	103	107	111	114	117	120	123	126	114	120	126
19	0	10	17	27	35	41	46	50	54	58	63	68	73	79	86	93	101	108
FP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	11	17	25	34	45

3.1.4 Membuat *Lines Plan* pada AUTO CAD dan Maxsurf 11.03

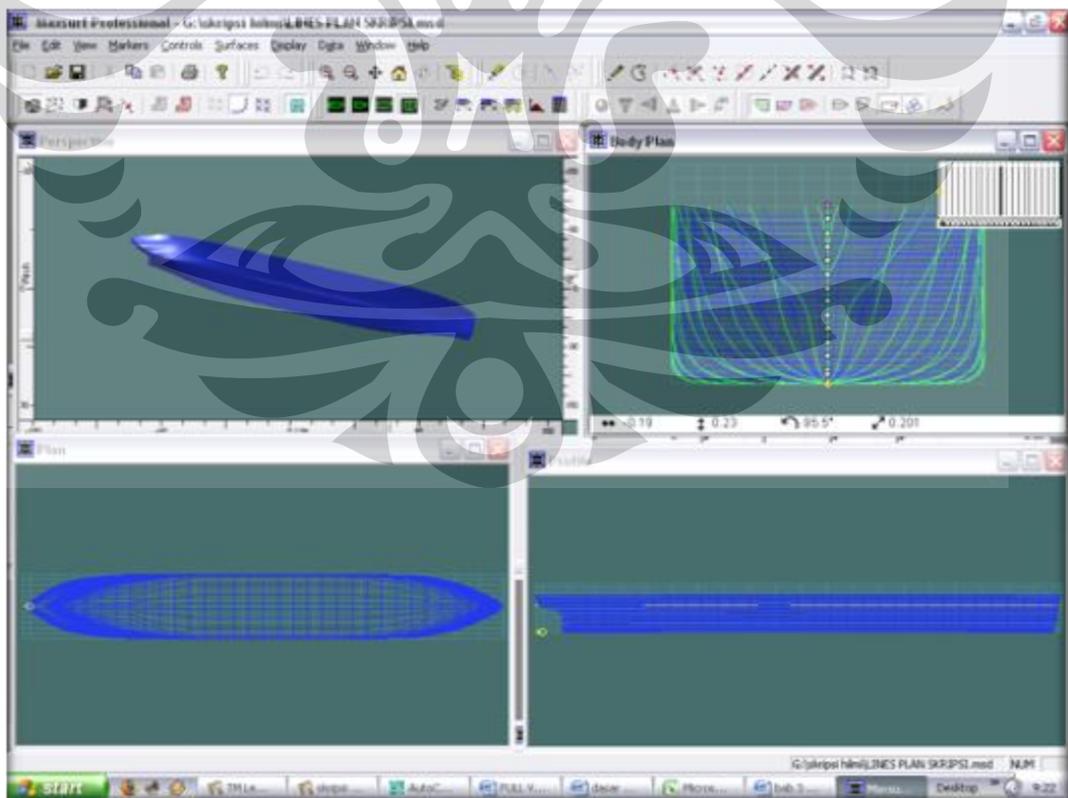
Setelah didapatkan offset table nya maka langkah selanjutnya adalah ‘menerjemahkan’ offset table tersebut menjadi sebuah rencana garis pada AUTOCAD dan Maxsurf. Adapun hasil pembuatan rencana garis pada kedua software tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Rencana garis kapal model 2D pada Auto CAD



Gambar 3.5 Rencana garis kapal model 3D pada Auto CAD



Gambar 3.6 Rencana garis kapal model pada Maxsurf

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	0.076	tonne
2	Volume	0.076	m ³
3	Draft to Baseline	0.129	m
4	Immersed depth	0.129	m
5	Lwl	2.403	m
6	Beam wl	0.323	m
7	WSA	1.118	m ²
8	Max cross sect area	0.041	m ²
9	Waterplane area	0.65	m ²
10	Cp	0.767	
11	Cb	0.758	
12	Cm	0.988	
13	Cwp	0.838	
14	LCB from zero pt	1.238	m
15	LCF from zero pt	1.21	m
16	KB	0.068	m
17	KG	0	m
18	BMT	0.066	m
19	BMI	3.06	m
20	GMT	0.133	m
21	GMI	3.127	m
22	KMT	0.133	m
23	KMI	3.127	m
24	Immersion (TPC)	0.007	tonne/cm
25	MTc	0.001	tonne.m
26	RM at 1 deg = GMT Dis	0	tonne.m
27	Precision	Medium	50 stations

Density: 1 tonne/m³

VEG: 0 m

Gambar 3.7 Hidrostatic data kapal model pada Ma xsurf

3.2 Set Up Alat Untuk Simulasi Uji Tarik Kapal Model.

Simulasi uji tarik kapal model ini dilakukan guna mengetahui nilai hambatan total kapal model tersebut R_{T_m} pada berbagai variasi kondisi kecepatan v_m . Dari hasil percobaan uji tersebut, data-datanya kemudian akan digunakan untuk mengetahui gambaran mengenai karakteristik-karakteristik dari kapal sebenarnya, dalam hal ini nilai hambatan totalnya, hambatan gesek, dan hambatan sisa.

Adapun alat-alat yang digunakan pada uji tarik kapal model ini adalah sebagai berikut.:

- Kapal Model

Kapal model yang digunakan untuk uji tarik ialah kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FT UI dengan dimensi utama seperti yang disebutkan pada bahasan-bahasan sebelumnya.



Gambar 3.8 Kapal model

- Kolam Percobaan

Kolam Percobaan yang digunakan untuk percobaan ini adalah kolam penampungan air milik Politeknik Negeri Jakarta dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Panjang kolam = 20 m
- Lebar kolam = 10 m
- Kedalaman kolam = 1,8 m
- Suhu air kolam pada saat percobaan = 32⁰ C



Gambar 3.9 Kolam percobaan milik PNJ

- Alat Tarik Kapal Model

Sebagai penarik kapal, dirangkai suatu alat penarik sederhana dengan komponen-komponen sebagai berikut :

a) Motor Listrik

Berfungsi sebagai alat penarik kapal model, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Daya = 0,5 HP
- RPM = 1400 RPM
- Arus/Tegangan = 5 A/220V *single phase*

b) *Pulley* Gulungan Tali

Berfungsi untuk untuk menghubungkan *belt* ke *pulley* motor dengan ukuran 9 inchi.

c) *Regulator switch*

Berfungsi untuk mengatur dan menurunkan kecepatan putar RPM motor listrik.

d) Tali

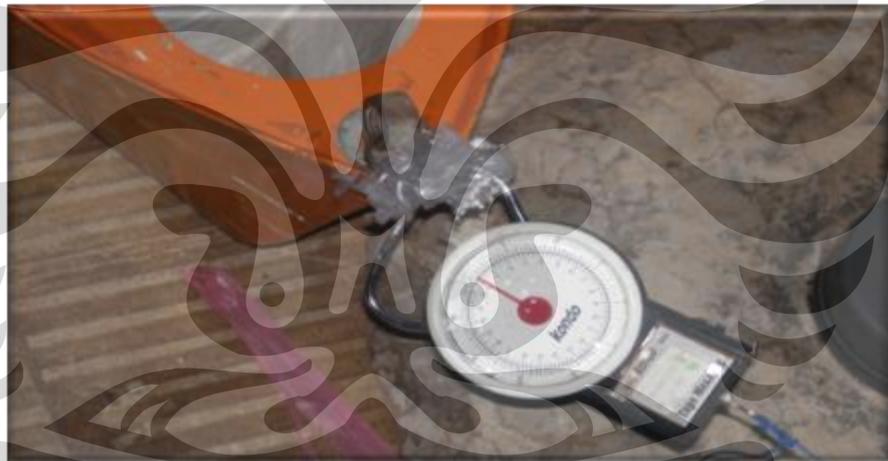
Berfungsi sebagai alat tarik antara kapal dengan motor listrik.



Gambar 3.10 Rangkaian untuk alat tarik kapal model

- Strain Gauge

Sebagai Alat untuk mengukur tegangan tali pada saat kapal ditarik dan dipasang pada ujung haluan kapal model. Jenis strain gauge adalah jenis manual dengan tegangan maksimal 25 kg.



Gambar 3.11 Alat pegukur tegangan tali (*strain gauge*)

- Stopwatch

Alat untuk mengukur waktu tempuh kapal model pada jarak yang ditentukan.

- Beban Pasir

Digunakan sebagai ballast pada kapal model untuk mendapat kondisi kapal pada keadaan *fully loaded* (*draft* maksimum). Jumlah beban

total adalah sekitar 63,5 kg yang dibungkus dengan kantung plastic dengan berat satuan 1-2 kg



Gambar 3.12 Ballast pasir yang dibungkus dalam plastik.

3.3 Proses Percobaan Uji Tarik

3.3.1 Perencanaan Proses Uji Tarik

Sebelum dilakukan proses percobaan uji tarik, perlu dibuat suatu perencanaan variasi kondisi kapal yang akan diujicobakan dan data apa saja yang diambil selama proses percobaan uji tarik.

Perencanaan data-data yang akan diambil selama proses uji tarik adalah waktu tempuh kapal model dalam jarak yang ditentukan yaitu sepanjang 10 m dan tegangan tali dititik tertentu dimana data tegangan tali ini akan menjadi harga dari hambatan total kapal model.

Proses uji tarik dilakukan pada saat kondisi kapal *fully loaded* (kondisi draft maksimum), hal ini sengaja dilakukan untuk mengidealisasikan dengan kondisi kapal sebenarnya dimana biasanya untuk menentukan hambatan total dan daya efektif kapal sebenarnya diasumsikan kondisi kapal pada draft maksimum.

Untuk mendapatkan kecepatan kapal sebenarnya pada kisaran 7-30 knot (kecepatan dinas), maka percobaan uji tarik pada

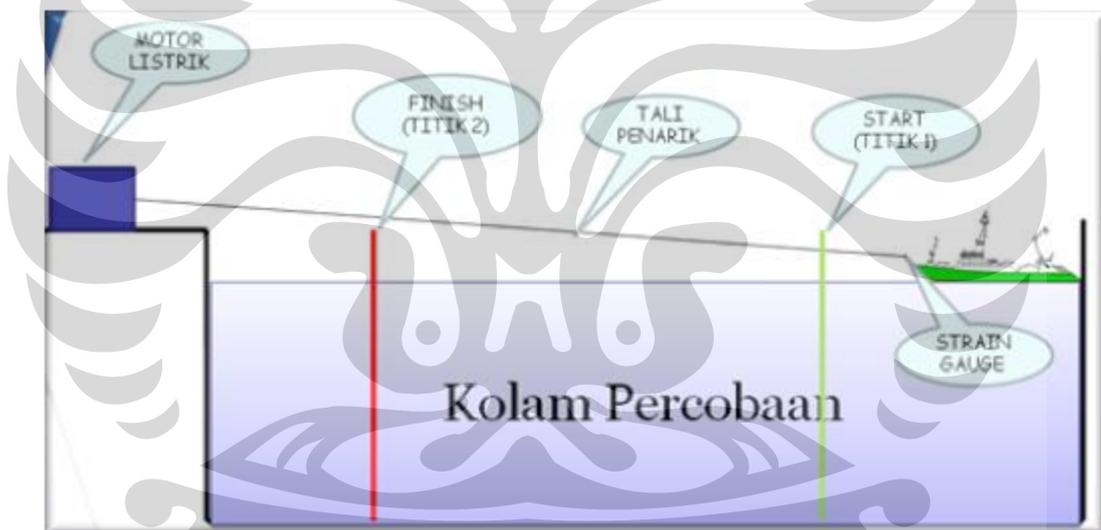
kapal model ini mesti dilakukan kecepatan yang rendah guna mendapatkan harga Froude number yang rendah, yang mana berdasarkan harga Froude number tersebut kita bisa membandingkan secara langsung dengan kecepatan pada kapal sebenarnya. Oleh karena itu untuk mendapatkan variasi kecepatan yang rendah dilakukan dengan cara menambahkan semacam alat pengatur kecepatan putar pada motor listrik yaitu berupa *regulator switch*. *Regulator switch* ini memiliki 5 tingkatan kecepatan yang berbeda sehingga dengan alat ini kita bisa mendapatkan 5 variasi kecepatan yang berbeda pula pada kapal model.

3.3.2 Proses Uji Tarik

Proses pengambilan data pada percobaan uji tarik yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut ;

- a. Persiapan peralatan dan perlengkapan proses uji tarik
 - Alat tarik diletakkan pada salah satu sisi kolam percobaan dan kapal model pada sisi yang berlainan dengan alat tarik.
 - Kapal model diletakkan di kolam dan dihubungkan ke strain gauge, dan strain gauge dihubungkan ke alat tarik dengan tali tambang.
 - Ditentukan jarak lintasan kapal untuk pengambilan waktu yaitu sepanjang 10 meter.
- b. Pengambilan data
 - Setelah semua peralatan dan perlengkapan sudah terpasang, mulai dilakukan percobaan dengan putaran motor pertama yaitu tanpa penggunaan regulator switch pada instalasi motor listrik.
 - Kapal diberi *ballast* pasir hingga mencapai kondisi *fully loaded*

- Kemudian motor listrik dinyalakan dan kapal model akan berjalan melalui lintasan dan pada titik 1 *stopwatch* mulai dinyalakan.
- Kemudian pada sepanjang lintasan tersebut, besarnya tegangan tali pada strain gauge diamati dan dicatat hasilnya.
- Saat kapal model mencapai titik 2 *stopwatch* dimatikan, sehingga didapat waktu tempuh kapal model pada jarak lintasan yang telah ditentukan.
- Sesaat setelah meninggalkan titik 2, motor segera dimatikan untuk mencegah terjadinya tabrakan kapal model terhadap dinding kolam.



Gambar 3.13 Skema proses uji tarik

- Data yang diambil hanya jika kapal model menempuh jalur lintasan yang lurus atau dengan sudut kemiringan kecil, jika sudut kemiringan terlalu besar maka percobaan diulang.
- Percobaan ini dilakukan berulang kali untuk mendapatkan 3 data tegangan tali dan waktu tempuh kapal model pada kondisi yang sama.

- Setelah mendapatkan data pada kecepatan motor pertama (tanpa *regulator switch*), langkah selanjutnya memasang regulator switch pada instalasi motor listrik.
- Percobaan-percobaan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama namun hanya berbeda pada kecepatan motor listriknya saja.

3.4 Data Hasil Percobaan Uji Tarik

Berikut ini adalah data-data yang didapatkan dari hasil percobaan pada uji tarik kapal model :

Tabel 3.2 Hasil Percobaan 1, Tanpa *regulator switch*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	4.94	2.02	3.25
10	4.84	2.07	3.25
10	5.02	1.99	3.25

Tabel 3.3 Hasil Percobaan 2, dengan *regulator switch 1*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	6.21	1.61	2
10	6.12	1.63	2
10	5.96	1.68	2

Tabel 3.4 Hasil Percobaan 3, dengan *regulator switch 2*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	8.89	1.12	0.75
10	8.64	1.16	0.75
10	8.56	1.17	0.75

Tabel 3.5 Hasil Percobaan 4, dengan *regulator switch 3*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	12.78	0.78	0.5
10	12.59	0.79	0.5
10	12.34	0.81	0.5

Tabel 3.6 Hasil Percobaan 5, dengan *regulator switch 4*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	14.85	0.67	0.4
10	15.12	0.66	0.4
10	14.96	0.67	0.4

Tabel 3.7 Hasil Percobaan 6, dengan *regulator switch 5*

jarak s (m)	waktu t (s)	kecepatan v (m/s)	Hambatan R (kg)
10	20.31	0.49	0.2
10	20.56	0.49	0.2
10	20.13	0.50	0.2

3.5 Faktor Koreksi

Pada nilai data hasil percobaan diatas perlu dilakukan koreksi terhadap kesalahan yang terjadi saat dilakukan percobaan dengan metode uji tarik.

Kesalahan yang terjadi adalah:

- i. Sudut tali tarik kapal model

Pada saat perletakan kapal model dan alat tarik terdapat perbedaan tinggi sehingga tali tarik kapal model tidak tegak lurus terhadap kapal model, tetapi memiliki sudut kemiringan.

Sudut kemiringan yang terjadi adalah sebesar $\cos \theta^0 = 0,9886$ sehingga koreksi tersebut adalah sebesar ;

$$R_T = R_0 \cos \theta$$

$$R_T = R_0 0,9886 \dots \dots \dots (3.1)$$

$$v_t = v_0 \cos \theta$$

$$v_t = v_0 0,9886 \dots \dots \dots (3.2)$$

- ii. Kemiringan lintasan kapal model

Ketika kapal model ditarik, lintasannya tidak selalu sempurna lurus, tetapi mengalami kemiringan sebesar 0^0 hingga 5^0 . Pada koreksi ini semua dat dilakukan koreksi terhadap sudut kemiringan lintasan kapal sebesar 5^0 .

Koreksi tersebut adalah sebesar :

$$R_T = R_0 \cos \theta$$

$$R_T = R_0 \cos 5^\circ \dots\dots\dots (3.3)$$

$$v_t = v_0 \cos \theta$$

$$v_t = v_0 \cos 5^\circ \dots\dots\dots (3.4)$$

Setiap hasil data percobaan dilakukan kedua faktor koreksi diatas, setelah itu untuk masing- masing percobaan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Berikut ini adalah hasil data yang telah dikoreksi dengan faktor- faktor koreksi diatas :

Tabel 3.8 Hasil data pada percobaan 1 (tanpa *regulator switch*) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	Vt1=Vo cos θ 1	Vt2=Vt1 cos θ 2	
0.492	0.487	0.485	0.485
0.486	0.481	0.479	0.479
0.497	0.491	0.489	0.489
rata-rata			0.484

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	Rt1=Ro cos θ 1	Rt2=Rt1 cos θ 2	
0.200	0.198	0.197	0.197
0.200	0.198	0.197	0.197
0.200	0.198	0.197	0.197
rata-rata			0.197

Tabel 3.9 Hasil data pada percobaan 2 (dengan *regulator switch* 1) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	Vt1=Vo cos θ 1	Vt2=Vt1 cos θ 2	
1.610306	1.592	1.586	1.586
1.633987	1.615	1.609	1.609
1.677852	1.659	1.652	1.652
rata-rata			1.616

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	Rt1=Ro cos θ 1	Rt2=Rt1 cos θ 2	
2.000	1.977	1.969	1.969
2.000	1.977	1.969	1.969

2.000	1.977	1.969	1.969
		rata-rata	1.969

Tabel 3.10 Hasil data pada percobaan 3 (dengan *regulator switch* 2) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	Vt1=Vo cos θ 1	Vt2=Vt1 cos θ 2	
1.125	1.112	1.108	1.108
1.157	1.144	1.140	1.140
1.168	1.155	1.150	1.150
rata-rata			1.133

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	Rt1=Ro cos θ 1	Rt2=Rt1 cos θ 2	
0.750	0.741	0.739	0.739
0.750	0.741	0.739	0.739
0.750	0.741	0.739	0.739
rata-rata			0.739

Tabel 3.11 Hasil data pada percobaan 4 (dengan *regulator switch* 3) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	Vt1=Vo cos θ 1	Vt2=Vt1 cos θ 2	
0.782	0.774	0.771	0.771
0.794	0.785	0.782	0.782
0.810	0.801	0.798	0.798
rata-rata			0.784

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	Rt1=Ro cos θ 1	Rt2=Rt1 cos θ 2	
0.500	0.494	0.492	0.492
0.500	0.494	0.492	0.492
0.500	0.494	0.492	0.492
rata-rata			0.492

Tabel 3.12 Hasil data pada percobaan 5 (dengan *regulator switch* 4) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	Vt1=Vo cos θ 1	Vt2=Vt1 cos θ 2	
0.673	0.666	0.663	0.663

0.661	0.654	0.651	0.651
0.668	0.661	0.658	0.658
rata-rata			0.658

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	$Rt1=Ro \cos \theta 1$	$Rt2=Rt1 \cos \theta 2$	
0.400	0.395	0.394	0.394
0.400	0.395	0.394	0.394
0.400	0.395	0.394	0.394
rata-rata			0.394

Tabel 3.13 Hasil data pada percobaan 6 (dengan *regulator switch* 5) setelah dikoreksi

Vo	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Vt
	$Vt1=Vo \cos \theta 1$	$Vt2=Vt1 \cos \theta 2$	
0.492	0.487	0.485	0.485
0.486	0.481	0.479	0.479
0.497	0.491	0.489	0.489
rata-rata			0.484

Ro	koreksi θ tali	koreksi θ lintasan	Rt
	$Rt1=Ro \cos \theta 1$	$Rt2=Rt1 \cos \theta 2$	
0.200	0.198	0.197	0.197
0.200	0.198	0.197	0.197
0.200	0.198	0.197	0.197
rata-rata			0.197

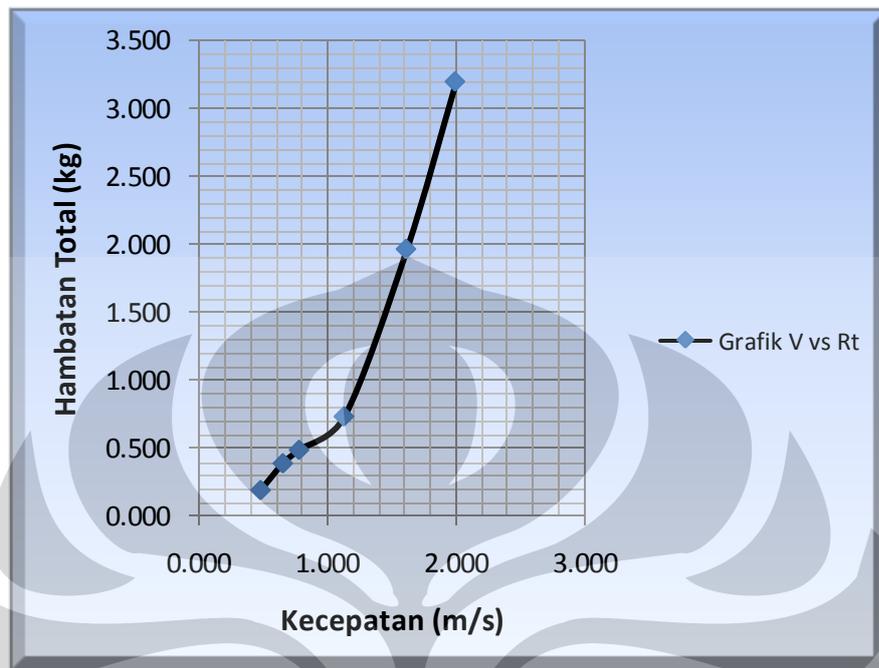
3.6 Grafik Data Akhir Percobaan

Berikut ini adalah hasil data akhir percobaan yang telah dikoreksi dan diambil nilai rata-ratanya :

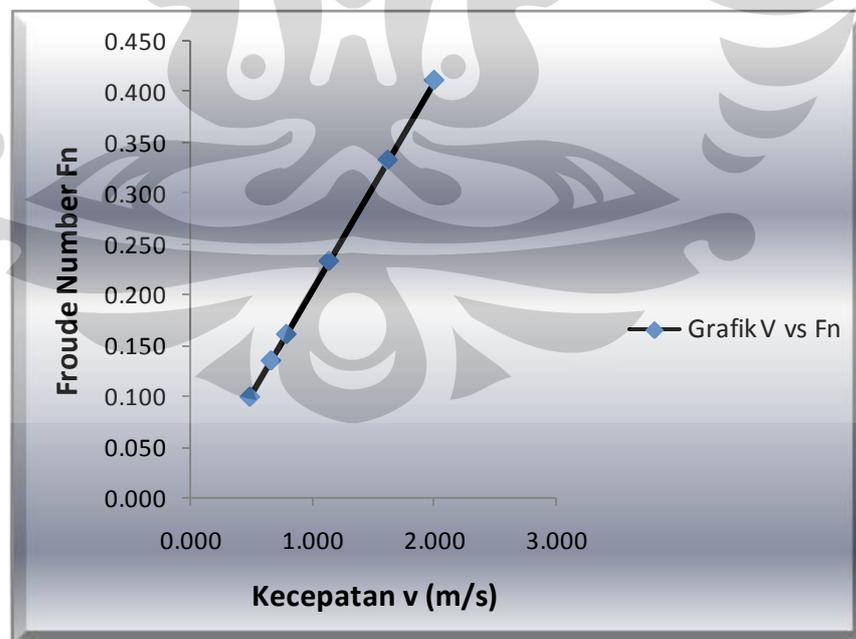
Tabel 3.14 Hasil Data Akhir Percobaan

No percobaan	Kecepatan V (m/s)	Hambatan Rt (kg)	Froude number Fn
Tanpa regulator	1.997	3.200	0.411
Regulator switch 1	1.616	1.969	0.333
Regulator switch 2	1.133	0.739	0.233
Regulator switch 3	0.784	0.492	0.161

Regulator switch 4	0.658	0.394	0.135
Regulator switch 5	0.484	0.197	0.100



Grafik 3.1 Kecepatan Vs hambatan total kapal model



Grafik 3.2 Kecepatan Vs Froude Number kapal model

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

Pada bab ini akan dilakukan pengolahan data berdasarkan hasil uji tarik pada kapal model, yang mana berdasarkan data tersebut akan didapatkan nilai hambatan pada kapal sebenarnya dan untuk kemudian akan dilakukan analisa terhadap hasil yang didapat guna merumuskan kesimpulan.

4.1 Spesifikasi Kapal Model

Kapal model yang digunakan merupakan kapal model yang tersedia pada laboratorium milik Program studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin UI dengan ukuran utama sebagai berikut :

- Tipe kapal = Bulk Cargo Vessel
- Skala model = 1 : 70
- LOA/LWL/LPP = 2.459/2.403/2.385 m
- Lebar B = 0.323 m
- Tinggi H = 0.181 m
- Sarat T = 0.1287 m
- C_b = 0.759 (berdasarkan perhitungan *Hidromax*)
- C_m = 0.988 (berdasarkan perhitungan *Hidromax*)
- C_p = 0.768 (berdasarkan perhitungan *Hidromax*)
- Displacement = 0.0758 ton (berdasarkan perhitungan *Hidromax*)
- Wetted area S = 0.109 m² (berdasarkan perhitungan *Hidromax*)

Sehingga berdasarkan keterangan diatas, maka didapatkan dimensi utama kapal sebenarnya yaitu sebagai berikut :

- LOA/LWL/LPP = 172.13/168.21/166.95 m
- Lebar B = 22.61 m

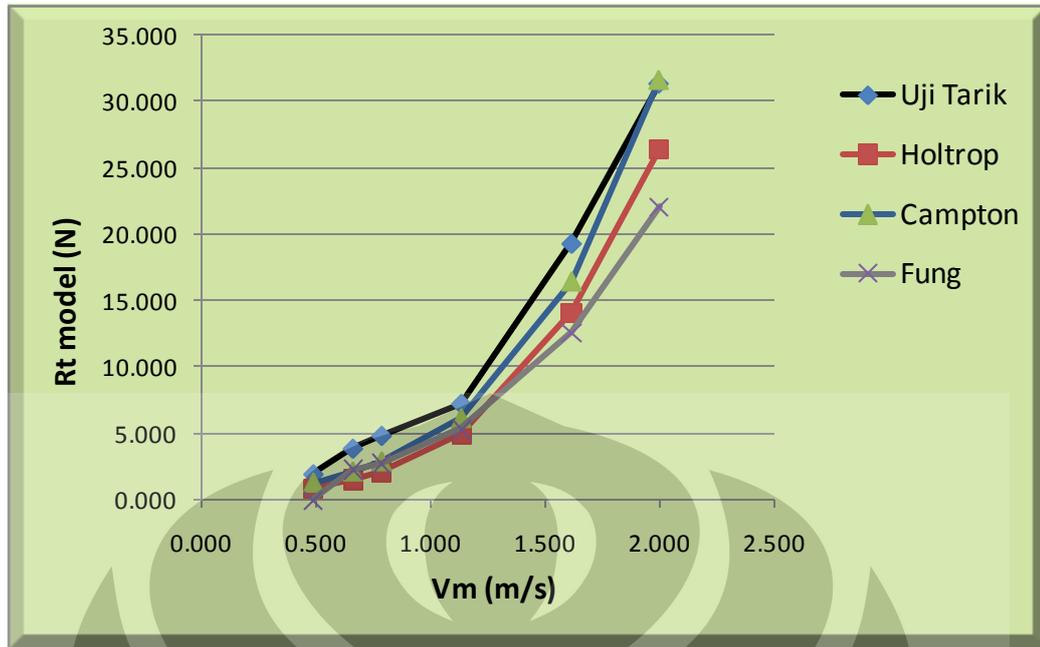
- Tinggi H = 12.67 m
- Sarat T = 9.009 m

4.2 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal Model Dari Hasil Uji Coba vs Hasil *Software Hullspeed*

Untuk dapat membandingkan nilai hambatan total kapal model yang didapat dari uji tarik dengan hasil perhitungan dari *software HullSpeed* maka kita harus *menyeting* kecepataannya sesuai dengan kecepatan yang didapatkan pada hasil uji tarik . Adapun metode yang digunakan untuk menghitung hambatan total pada kapal model ini adalah metode **Holtrop**, **Campton** dan **Fung**. Ketiga metode ini sengaja dipilih karena ketiga metode tersebut merupakan metode yang paling cocok untuk karakteristik dari kapal model ini. Berikut ini adalah table perbandingan hasil perhitungan Hambatan total dari uji tarik dengan hasil *software HullSpeed*

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal model dari Uji Tarik vs *Software HullSpeed*

No	Vm (m/s)	Uji Tarik (kg)	<i>Software HullSpeed</i>		
			Holtrop (kg)	Campton (kg)	Fung (kg)
1	2.00	3.20	2.69	3.23	2.25
2	1.62	1.97	1.44	1.68	1.29
3	1.13	0.74	0.50	0.62	0.54
4	0.78	0.49	0.22	0.29	0.28
5	0.66	0.39	0.16	0.21	0.23
6	0.48	0.20	0.09	0.13	-



Gambar 4.1 Grafik perbandingan uji tarik vs software hullspeed

Analisa grafik

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa nilai hambatan pada hasil uji tarik nilainya tidak berbeda jauh dengan hasil yang didapat dari hasil dengan software HullSpeed, hal ini membuktikan bahwa rencana garis yang dibuat telah memenuhi tingkat kepresisiannya dengan bentuk aslinya (kapal model). Terkait dengan adanya perbedaan nilai antara hasil uji tarik dengan hasil software dikarenakan pada perhitungan software segala parameternya diasumsikan dalam kondisi ideal misalnya kondisi perairannya yang tenang, sedangkan pada percobaan uji tarik kondisi perairan tidak selalu tenang. Selain itu perbedaan hasil ini juga bisa terjadi karena adanya *human error* terutama pada saat pembacaan strain gauge, karena nilai strain gauge diamati pada saat kapal berjalan.

4.3 Perhitungan Hambatan Gesek Pada Kapal Model R_{F_m}

R.E Froude (1888), anak dari W. Froude mengkaji ulang hasil percobaan ayahnya dengan memberi formulasi hambatan gesekan secara umum sebagai :

$$R_{F_m} = \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1.825} \quad (kg) \quad (4.1)$$

yang mana :

γ_m = *specific weight* air tawar tempat percobaan ($\frac{kg}{m^3}$)

ζ_{F_m} = *friction coefficient* pada kapal model

S_m = *wetted area* pada kapal model (m^2)

v_m = kecepatan kapal model ($\frac{m}{s}$)

Nilai koefisien gesekan didapatkan dari hasil interpolasi pada table koefisien hambatan gesek model kapal di air tawar suhu 15⁰ C menurut Froude :

Table 4.2 Koefisien hambatan gesek model kapal di air tawar suhu 15⁰C menurut Froude

Lm (m)	ζ_m	Lm (m)	ζ_m	Ls (m)	ζ_s	Ls (m)	ζ_s
0.50	0.228	4.50	0.17521	10	0.15906	120	0.1415
0.75	0.21982	4.75	0.17391	15	0.1537	130	0.14116
0.10	0.21321	5.00	0.17271	20	0.15709	140	0.14084
1.25	0.20782	5.25	0.17059	25	0.14882	150	0.1405
1.50	0.20332	5.50	0.17057	30	0.14741	160	0.1402
1.75	0.19944	5.75	0.1696	35	0.14642	170	0.13992
2.00	0.19601	6.00	0.16872	40	0.14567	180	0.1364
2.25	0.19297	6.25	0.16789	45	0.14508	190	0.13936
2.50	0.1903	6.50	0.16712	50	0.14461	200	0.1391
2.75	0.18786	6.75	0.16642	55	0.14422	210	0.13884
3.00	0.18564	7.00	0.16575	60	0.14391	220	0.13857
3.25	0.18361	7.25	0.16512	70	0.14342	230	0.13831
3.50	0.18169	7.50	0.16451	80	0.143	240	0.13807
3.75	0.1799	7.75	0.16388	90	0.14261	250	0.13783
4.00	0.17821	8.00	0.16344	100	0.14223	260	0.1376
4.25	0.17664	8.25	0.16294	110	0.14187	270	0.13737

Berdasarkan table diatas, hasil interpolasi untuk panjang kapal model $L_m = 2.403$, nilai koefisien geseknya adalah $\zeta_{F_m} = 0,19134$. Menurut ilmuwan Le

Besnerais, karena suhu air pada percobaan $32^{\circ}\text{C} \neq 15^{\circ}\text{C}$ sehingga perlu ditambahkan koreksi sebagai berikut :

$$\circ \zeta'_{F_m} = \zeta_F \cdot (1 + 0,043 (15^{\circ} - t^{\circ})) \quad (4.2)$$

$$\zeta'_{F_m} = 0,19134 \cdot (1 + 0,043 (15^{\circ} - 32^{\circ}))$$

$$\zeta'_{F_m} = 0,19134 \cdot (1 + 0,043(-17))$$

$$\zeta'_{F_m} = 0,177353$$

$$\circ \gamma_m = 999,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (berat jenis air pada suhu } 32^{\circ}\text{C)}$$

$$\circ S_m = 1,109 \text{ m}^2 \text{ (didapatkan dari perhitungan Maxsurf)}$$

Sehingga nilai hambatan gesek kapal model R_{F_m} untuk masing-masing percobaan adalah sebagai berikut :

- Untuk percobaan 1 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,997 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\ &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 1,997^{1,825} \\ &= 0,694 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 2 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,616 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\ &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 1,616^{1,825} \\ &= 0,472 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 3 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,133 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\ &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 1,133^{1,825} \\ &= 0,247 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 4 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,784 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\
 &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 0,784^{1,825} \\
 &= 0,126 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 5 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,658 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\
 &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 0,658^{1,825} \\
 &= 0,091 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 6 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,484 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_m} &= \frac{\gamma_m}{1000} \cdot \zeta'_{F_m} \cdot S_m \cdot v_m^{1,825} \\
 &= \frac{999,09}{1000} \cdot 0,177353 \cdot 1,109 \cdot 0,484^{1,825} \\
 &= 0,052 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Table 4.3 Hambatan gesek kapal model

KECEPATAN KAPAL MODEL v_m (m/s)	HAMBATAN GESEK KAPAL MODEL R_{F_m} (kg)
1,997 m/s	0,694 kg
1,616 m/s	0,472 kg
1,133m/s	0,247 kg
0,784 m/s	0,126 kg
0,658 m/s	0,091 kg
0,484 m/s	0,052 kg

4.4 Perhitungan Hambatan Sisa Pada Kapal Model R_{R_m}

Hambatan sisa merupakan gabungan dari komponen-komponen hambatan kapal seperti hambatan gelombang R_w , hambatan tekanan R_p , hambatan *appandages* R_{app} , dan hambatan udara R_a . Berdasarkan teori model Froude nilai hambatan sisa adalah sebagai berikut :

$$R_{T_m} = R_{F_m} + R_{R_m}$$

Sehingga,

$$R_{R_m} = R_{T_m} - R_{F_m} \quad 4.3$$

Berdasarkan rumus diatas maka didapatkan nilai hambatan sisa untuk masing-masing percobaan adalah sebagai berikut :

- Untuk percobaan 1 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 3,2 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 3,2 - 0,694 \\ &= 2,506 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 2 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 1,969 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 1,969 - 0,472 \\ &= 1,498 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 3 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 0,739 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 0,739 - 0,247 \\ &= 0,492 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 4 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 0,492 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 0,492 - 0,126 \\ &= 0,366 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 5 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 0,394 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 0,394 - 0,091 \\ &= 0,302 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk percobaan 6 pada hambatan total kapal model $R_{T_m} = 0,197 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} R_{R_m} &= R_{T_m} - R_{F_m} \\ &= 0,197 - 0,052 \\ &= 0,145 \text{ kg} \end{aligned}$$

Table 4.4 Hambatan sisa kapal model

KECEPATAN KAPAL MODEL v_m (m/s)	HAMBATAN SISA KAPAL MODEL R_{R_m} (kg)
1,997 m/s	2,506 kg
1,616 m/s	1,498 kg
1,133 m/s	0,492 kg
0,784 m/s	0,366 kg
0,658 m/s	0,302 kg
0,484 m/s	0,145 kg

4.5 Perhitungan Kecepatan Kapal Sebenarnya v_s Berdasarkan Kecepatan Kapal Model v_m

Berdasarkan Hukum Kesamaan Froude seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya maka nilai kecepatan pada kapal sebenarnya v_s dapat diketahui berdasarkan nilai dari kecepatan kapal model v_m yang didapat dari hasil uji tarik yaitu,

$$v_s = v_m \cdot \sqrt{\lambda} \quad 4.4$$

yang mana $\lambda = \frac{l_s}{l_m} = skala = 70$

sehingga,

- Untuk percobaan 1 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,997 \text{ m/s}$

$$v_s = 1,997 \cdot \sqrt{70} = 16,704 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 32,470 \text{ knot}$$

- Untuk percobaan 2 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,616 \text{ m/s}$

$$v_s = 1,616 \cdot \sqrt{70} = 13,518 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 26,276 \text{ knot}$$

- Untuk percobaan 3 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,133 \text{ m/s}$

$$v_s = 1,133 \cdot \sqrt{70} = 9,476 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 18,420 \text{ knot}$$

- Untuk percobaan 4 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,784 \text{ m/s}$

$$v_s = 0,784 \cdot \sqrt{70} = 6,556 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12,743 \text{ knot}$$

- Untuk percobaan 5 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,658 \text{ m/s}$

$$v_s = 0,658 \cdot \sqrt{70} = 5,501 \frac{m}{s} = 10,694 \text{ knot}$$

- Untuk percobaan 6 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,484 \text{ m/s}$

$$v_s = 0,484 \cdot \sqrt{70} = 4,052 \frac{m}{s} = 7,877 \text{ knot}$$

Table 4.5 Kecepatan kapal sebenarnya

KECEPATAN KAPAL MODEL v_m (m/s)	KECEPATAN KAPAL SEBENARNYA v_s (m/s)
1,997 m/s	16,704 m/s
1,616 m/s	13,518 m/s
1,133 m/s	1,133 m/s
0,784 m/s	9,476 m/s
0,658 m/s	5,501 m/s
0,484 m/s	4,052 m/s

4.6 Perhitungan Hambatan Sisa Pada Kapal Sebenarnya R_{R_s} Berdasarkan Hambatan Sisa Kapal Model R_{R_m}

Berdasarkan Hukum Kesamaan Froude kita bisa memperhitungkan besarnya nilai hambatan sisa yang terjadi pada kapal sebenarnya R_{R_s} dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m} \quad (kg) \quad 4.5$$

dimana,

$$\begin{aligned} \gamma_s &= \text{specific density pada kapal sebenarnya di suhu air } 15^{\circ}\text{C} \\ &= 1025 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya hambatan sisa yang terjadi pada kapal sebenarnya untuk masing-masing percobaan adalah sebagai berikut :

- Untuk Percobaan 1 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 16,704 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$
$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 2,506$$
$$= 881972,31 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 2 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 13,518 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$
$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 1,498$$
$$= 527074,43 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 3 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 9,476 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$
$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 0,492$$
$$= 173099,63 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 4 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 6,556 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$
$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 0,366$$
$$= 128954,31 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 5 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 5,501 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$

$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 0,302$$

$$= 17584,85 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 6 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 4,052 \text{ m/s}$

$$R_{R_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_m} \cdot \lambda^3 \cdot R_{R_m}$$

$$R_{R_s} = \frac{1025}{999,09} \cdot 70^3 \cdot 0,145$$

$$= 50889,40 \text{ kg}$$

Table 4.6 Hambatan sisa pada kapal sebenarnya

KECEPATAN KAPAL SEBENARNYA v_s (m/s)	HAMBATAN SISA KAPAL MODEL R_{R_m} (kg)
16,704 m/s	881972,31 kg
13,518 m/s	527074,43 kg
1,133m/s	173099,63 kg
9,476 m/s	128954,31 kg
5,501m/s	17584,85 kg
4,052 m/s	50889,40 kg

4.7 Perhitungan Hambatan Gesek Pada Kapal Sebenarnya R_{F_s}

Untuk menghitung nilai hambatan gesek yang terjadi pada kapal sebenarnya R_{F_s} , pada prinsipnya sama dengan yang kita gunakan untuk menghitung hambatan gesek pada kapal model yaitu ;

$$R_{F_s} = \frac{\gamma_s}{1000} \cdot \zeta_{F_s} \cdot S_s \cdot v_s^{1,825} \quad 4.6$$

Dimana,

$$\begin{aligned}\gamma_s &= \textit{specific weight} \\ &= 1025 \text{ kg/m}^3 \text{ pada air laut dengan suhu } 15^\circ\text{C} \\ \zeta_{F_s} &= \textit{friction coefficient} \text{ pada kapal sebenarnya} \\ &= 0,13997 \text{ (berdasarkan interpolasi tabel 4.2 untuk } l_s = 168,21) \\ S_s &= \textit{wetted area} \text{ pada kapal sebenarnya (m}^2) \\ &= \lambda^2 \cdot S_m = 70^2 \cdot 1,109 = 5434,1 \text{ m}^2 \\ v_s &= \textit{kecepatan pada kapal sebenarnya (}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{)}\end{aligned}$$

Namun karena adanya pengaruh dari bentuk badan kapal, pengaruh aliran, dan pengaruh kekasaran permukaan kapal model terhadap kapal sebenarnya sehingga diperlukan adanya penambahan suatu faktor koreksi yang disebut dengan *roughness allowances* C_a .

Dimana berdasarkan Hamburg Model Basin,

$$\begin{aligned}C_a &= 0,35 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot L_{pp_s} \cdot 10^{-6} \\ &= 0,35 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 166,95 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,000061\end{aligned}\tag{4.7}$$

Sehingga Froude *coefficient* menjadi,

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_a}{2 \cdot g \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}}\tag{4.8}$$

Maka,

- Untuk percobaan 1 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,997 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}\zeta_{A_s} &= \frac{C_a}{2 \cdot g \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}} \\ &= \frac{0,000061}{2,9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0,0875} \cdot 1,977^{0,175}} = 0,000501\end{aligned}$$

- Untuk percobaan 2 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,616 \text{ m/s}$

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_A}{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}}$$

$$= \frac{0,000061}{2,9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0,0875} \cdot 1,616^{0,175}} = 0,00052$$

- Untuk percobaan 3 pada kecepatan kapal model $v_m = 1,133 \text{ m/s}$

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_A}{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}}$$

$$= \frac{0,000061}{2,9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0,0875} \cdot 1,133^{0,175}} = 0,000554$$

- Untuk percobaan 4 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,784 \text{ m/s}$

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_A}{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}}$$

$$= \frac{0,000061}{2,9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0,0875} \cdot 0,784^{0,175}} = 0,00059$$

- Untuk percobaan 5 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,658 \text{ m/s}$

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_A}{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{0,0875} \cdot v_m^{0,175}}$$

$$= \frac{0,000061}{2,9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0,0875} \cdot 0,658^{0,175}} = 0,000609$$

- Untuk percobaan 6 pada kecepatan kapal model $v_m = 0,484 \text{ m/s}$

$$\zeta_{A_s} = \frac{C_A}{2.9 \cdot 10^{-3} \cdot 1^{0.0875} \cdot v_m^{0.175}}$$

$$= \frac{0.000061}{2.9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 70^{0.0875} \cdot 0,484^{0.175}} = 0,000642$$

Setelah ditambahkan dengan faktor koreksi diatas maka rumus untuk mencari hambatan gesek pada kapal sebenarnya akan berubah menjadi sebagai berikut :

$$R_{F_s} = \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1.825} \quad (kg) \quad 4.9$$

Sehingga untuk masing-masing percobaan bisa diketahui besarnya hambatan gesek pada kapal sebenarnya seperti sebagai berikut :

- Untuk Percobaan 1 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 16,704 \text{ m/s}$

$$R_{F_s} = \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1.825}$$

$$= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,000501) \cdot 5434,1 \cdot 16,704^{1.825}$$

$$= 133380,116 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 2 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 13,518 \text{ m/s}$

$$R_{F_s} = \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1.825}$$

$$= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,00052) \cdot 5434,1 \cdot 13,518^{1.825}$$

$$= 90654,522 \text{ kg}$$

- Untuk Percobaan 3 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 9,476 \text{ m/s}$

$$R_{F_s} = \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1.825}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,000554) \cdot 5434,1 \cdot 9,476^{1,825} \\
 &= 47418,024 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 4 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 6,556 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_s} &= \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1,825} \\
 &= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,00059) \cdot 5434,1 \cdot 6,556^{1,825} \\
 &= 24212,934 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 5 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 5,501 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_s} &= \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1,825} \\
 &= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,0005609) \cdot 5434,1 \cdot 5,501^{1,825} \\
 &= 17584,845 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 6 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 4,052 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{F_s} &= \frac{\gamma_s}{1000} \cdot (\zeta_{F_s} + \zeta_{A_s}) \cdot S_s \cdot v_s^{1,825} \\
 &= \frac{1025}{1000} \cdot (0,13977 + 0,0005642) \cdot 5434,1 \cdot 4,052^{1,825} \\
 &= 10067,232 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Table 4.7 Hambatan gesek pada kapal sebenarnya

KECEPATAN KAPAL SEBENARNYA v_s (m/s)	HAMBATAN GESEK KAPAL SEBENARNYA R_{F_s} (kg)
16,704 m/s	133380,116 kg
13,518 m/s	90654,522 kg
1,133m/s	47418,024 kg

9,476 m/s	24212,934 kg
5,501m/s	17584,845 kg
4,052 m/s	10067,232 kg

4.8 Perhitungan Hambatan Total Pada Kapal Sebenarnya R_{T_s}

Setelah kita mengetahui nilai hambatan gesek R_{F_s} dan hambatan sisa R_{R_s} pada kapal sebenarnya maka secara teori kita juga bisa mengetahui besarnya hambatan total yang terjadi pada kapal sebenarnya R_{T_s} .

Dimana,

$$R_{T_s} = R_{R_s} + R_{F_s} \quad 4.10$$

Sehingga untuk masing-masing percobaan didapatkan besarnya nilai hambatan total pada kapal sebenarnya R_{T_s} seperti sebagai berikut :

- Untuk Percobaan 1 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 16,704 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} R_{T_s} &= R_{R_s} + R_{F_s} \\ &= 881972,31 + 133380,116 \\ &= 1015352,43 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 2 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 13,518 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} R_{T_s} &= R_{R_s} + R_{F_s} \\ &= 527074,43 + 90654,522 \\ &= 617728,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 3 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 9,476 \text{ m/s}$

$$R_{T_s} = R_{R_s} + R_{F_s}$$

$$\begin{aligned}
 &= 173099,63 + 47418,024 \\
 &= 220517,65 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 4 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 6,556 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{T_s} &= R_{R_s} + R_{F_s} \\
 &= 128954,31 + 24212,934 \\
 &= 153167,25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 5 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 5,501 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{T_s} &= R_{R_s} + R_{F_s} \\
 &= 17584,85 + 17584,845 \\
 &= 124019,75 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 6 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 4,052 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}
 R_{T_s} &= R_{R_s} + R_{F_s} \\
 &= 50889,40 + 10067,232 \\
 &= 60956,63 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Table 4.8 Hambatan total pada kapal sebenarnya

KECEPATAN KAPAL SEBENARNYA v_s (m/s)	HAMBATAN TOTAL PADA KAPAL SEBENARNYA R_{T_s} (kg)
16,704 m/s	1015352,43 kg
13,518 m/s	617728,95 kg
1,133m/s	220517,65 kg
9,476 m/s	153167,25 kg
5,501m/s	124019,75 kg
4,052 m/s	60956,63 kg

4.9 Perhitungan Daya Efektif Pada Kapal Sebenarnya PE

Setelah kita mengetahui nilai hambatan total pada kapal sebenarnya maka seterusnya kita juga dapat mengetahui daya efektif PE yang dibutuhkan pada kapal sebenarnya. Daya Efektif PE atau bisa disebut juga dengan *Engine Horse Power* EHP ialah tenaga yang dibutuhkan untuk menarik kapal yang mempunyai hambatan sebesar R kg pada kecepatan kapal V s m/s.

Dimana,

$$PE = \frac{R_T \cdot v}{75} \quad 4.11$$

Sehingga untuk masing-masing percobaan dapat diketahui besarnya Daya Efektif PE yang dibutuhkan pada kapal sebenarnya yaitu :

- Untuk Percobaan 1 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 16,704 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} PE &= \frac{R_T \cdot v}{75} \\ &= \frac{1015352,43 \cdot 16,704}{75} \\ &= 226140,469 \text{ HP} \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 2 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 13,518 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} PE &= \frac{R_T \cdot v}{75} \\ &= \frac{617728,95 \cdot 13,518}{75} \\ &= 111336,122 \text{ HP} \end{aligned}$$

- Untuk Percobaan 3 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 9,476 \text{ m/s}$

$$PE = \frac{R_T \cdot v}{75}$$

$$= \frac{220517,65 \cdot 9,476}{75}$$

$$= 27861,724 \text{ HP}$$

- Untuk Percobaan 4 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 6,556 \text{ m/s}$

$$PE = \frac{R_T \cdot v}{75}$$

$$= \frac{153167,25 \cdot 6,556}{75}$$

$$= 13388,288 \text{ HP}$$

- Untuk Percobaan 5 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 5,501 \text{ m/s}$

$$PE = \frac{R_T \cdot v}{75}$$

$$= \frac{124019,75 \cdot 5,501}{75}$$

$$= 9097,130 \text{ HP}$$

- Untuk Percobaan 6 pada kecepatan kapal sebenarnya $v_s = 4,052 \text{ m/s}$

$$PE = \frac{R_T \cdot v}{75}$$

$$= \frac{60956,63 \cdot 4,052}{75}$$

$$= 3293,442 \text{ HP}$$

Table 4.9 Daya efektif pada kapal sebenarnya

KECEPATAN KAPAL SEBENARNYA v_s (m/s)	DAYA EFEKTIF PADA KAPAL SEBENARNYA PE (HP)
16,704 m/s	226140,469 HP

13,518 <i>m/s</i>	111336,122 <i>HP</i>
1,133 <i>m/s</i>	27861,724 <i>HP</i>
9,476 <i>m/s</i>	13388,288 <i>HP</i>
5,501 <i>m/s</i>	9097,130 <i>HP</i>
4,052 <i>m/s</i>	3293,442 <i>HP</i>



Table 4.10 Hasil pengolahan data

No	Vm	Fn	Vs	Vs	Rt model	Rt model	Rf model	Rr model	Rr kpl	Rf kpl	Rt kpl	Rt kpl	PE kpl	PE kpl
	(m/s)		(m/s)	(knot)	(kg)	(N)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kN)	(HP)	(kW)
1	2.00	0.41	16.70	32.47	3.20	31.40	0.69	2.51	881972.31	133380.12	1015352.43	9960.61	226140.47	166382.85
2	1.62	0.33	13.52	26.28	1.97	19.32	0.47	1.50	527074.43	90654.52	617728.95	6059.92	111336.12	81915.55
3	1.13	0.23	9.48	18.42	0.74	7.25	0.25	0.49	173099.63	47418.02	220517.65	2163.28	27861.72	20499.26
4	0.78	0.16	6.56	12.74	0.49	4.83	0.13	0.37	128954.31	24212.93	153167.25	1502.57	13388.29	9850.43
5	0.66	0.14	5.50	10.69	0.39	3.86	0.09	0.30	106434.90	17584.84	124019.75	1216.63	9097.13	6693.21
6	0.48	0.10	4.05	7.88	0.20	1.93	0.05	0.14	50889.40	10067.23	60956.63	597.98	3293.44	2423.15

Keterangan :

Vm = Kecepatan Kapal Model

Fn = Froude Number

Vs = Kecepatan Kapal Sebenarnya

Rt = Hambatan Total

Rf = Hambatan Gesek

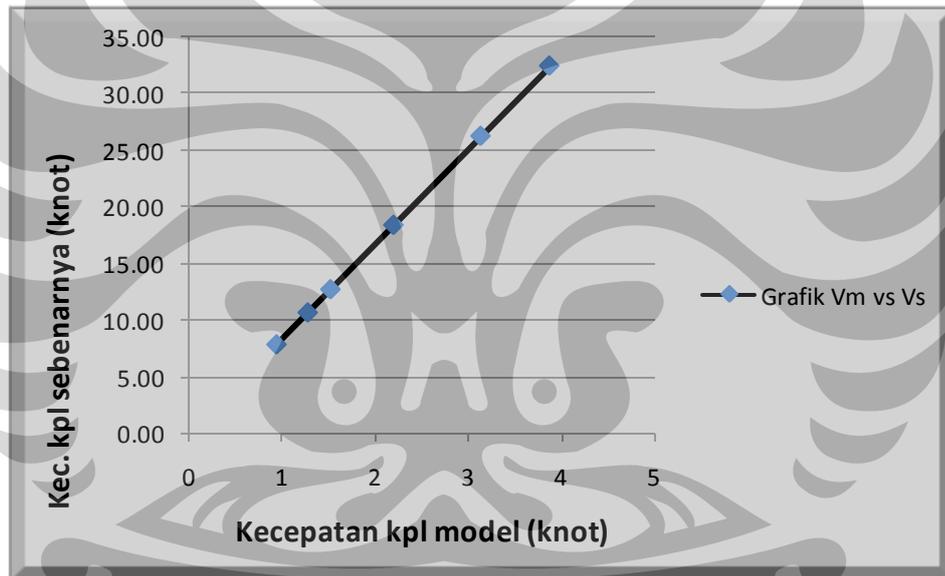
Rr = Hambatan Sisa

PE = Daya Efektif Kapal

4.9 Grafik – Grafik Hasil Pengolahan Data Dan Analisanya

Tabel 4.11 Hasil pengolahan data untuk kapal sebenarnya

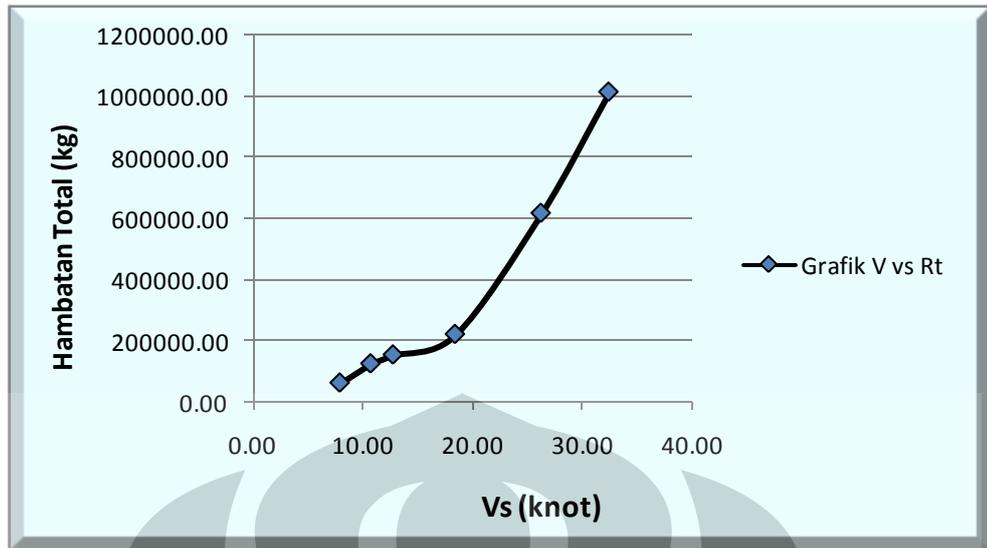
No	Fn	Vm (knot)	Vs (knot)	Rfs kpl (kg)	Rrs(kg)	Rts (kg)	PE (HP)
1	0.41	3.880928	32.47	133380.12	881972.31	1015352.43	226140.47
2	0.33	3.140597	26.28	90654.52	527074.43	617728.95	111336.12
3	0.23	2.201602	18.42	47418.02	173099.63	220517.65	27861.72
4	0.16	1.523117	12.74	24212.93	128954.31	153167.25	13388.29
5	0.14	1.278167	10.69	17584.84	106434.90	124019.75	9097.13
6	0.10	0.941463	7.88	10067.23	50889.40	60956.63	3293.44



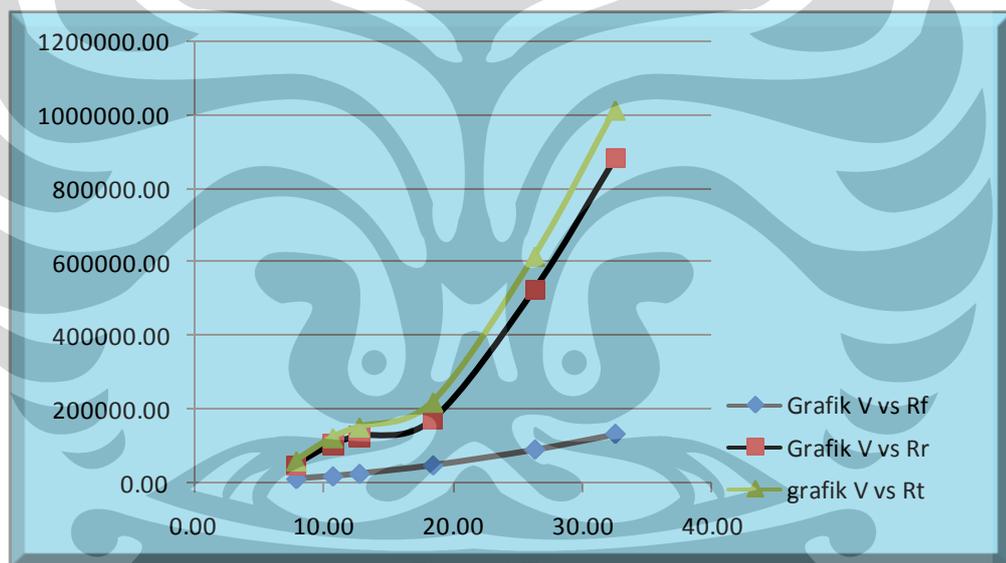
Gambar 4.2 Grafik kecepatan model Vm vs kecepatan kapal sebenarnya Vs

Analisa Grafik

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa kecepatan kapal model Vm berbanding lurus secara eksponensial dengan kecepatan kapal sebenarnya Vs karena berdasarkan hukum kesamaan Foude besarnya nilai $v_s = v_m \sqrt{\lambda}$, artinya nilai kecepatan kapal sebenarnya akan semakin besar perbedaannya dengan kecepatan kapal model apabila nilai ramdanya semakin besar, dimana nilai λ adalah perbandingan panjang kapal sebenarnya dengan panjang kapal model.



Gambar 4.3 Grafik kecepatan kapal sebenarnya Vs vs hambatan total pada kapal sebenarnya RTs

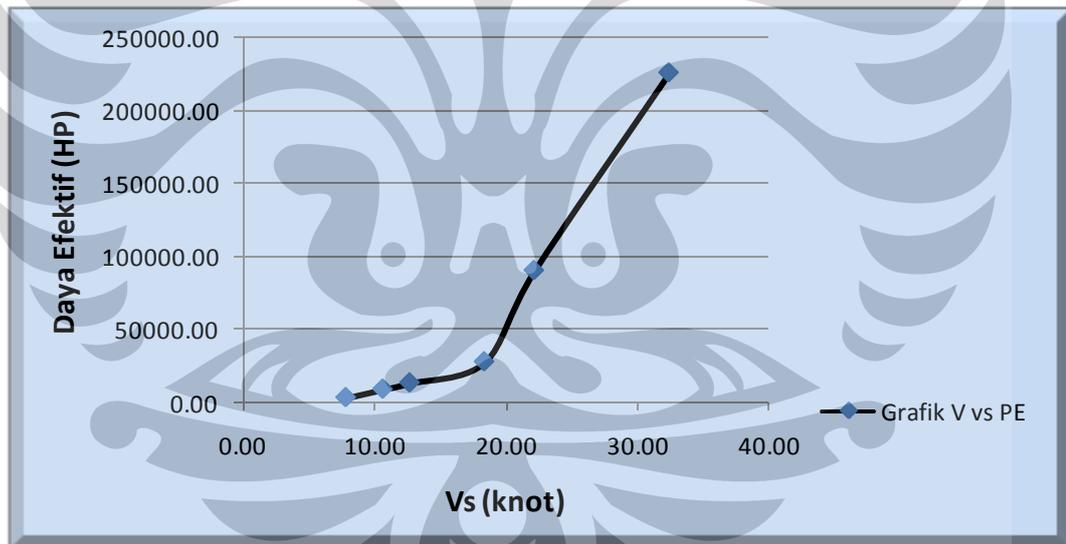


Gambar 4.4 Grafik komposisi perbandingan Vs vs (Rf,Rr,Rt)

Analisa Grafik

Berdasarkan pada grafik pertama diatas terlihat bahwa komponen kecepatan sangat berpengaruh terhadap besarnya hambatan total yang terjadi pada kapal dimana semakin tinggi kecepatan kapal maka nilai hambatan total yang terjadi juga akan semakin besar dimana kenaikan setiap kecepatan akan mempengaruhi kenaikan hambatan totalnya secara eksponensial. Sedangkan pada

grafik dibawahnya memperlihatkan komposisi antara komponen hambatan gesek dan komponen hambatan sisa pada kapal sebenarnya terhadap hambatan totalnya. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa komponen hambatan sisa memegang kontribusi terbesar terhadap hambatan total yang terjadi bila dibandingkan dengan hambatan gesek, hal ini terjadi karena hambatan sisa merupakan gabungan dari beberapa komponen hambatan seperti hambatan bentuk, hambatan gelombang, hambatan udara dan lain-lain yang mana komponen-komponen hambatan tersebut hanya dapat kita hitung apabila melalui uji laboratorium yang canggih (*towing tank*). Grafik diatas juga menunjukkan bahwa hambatan gesek yang terjadi pada kapal model sangat kecil persentasenya bila dibandingkan dengan hambatan sisa, hal ini dikarenakan badan kapal model dikondisikan semulus mungkin sehingga mereduksi adanya faktor-faktor yang dapat menambah gesekan antara badan kapal dengan fluida.



Gambar 4.5 Grafik kecepatan kapal sebenarnya Vs vs daya efektif PE

Analisa Grafik

Berdasarkan grafik diatas, terlihat nilai kecepatan kapal berbanding lurus dengan daya efektif kapal dimana secara definisi daya efektif kapal ialah tenaga yang dibutuhkan untuk menarik kapal yang mempunyai hambatan sebesar R kg

pada kecepatan kapal Vs m/s sehingga berdasarkan definisi tersebut kita dapat menyimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapalnya maka akan semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan kapal tersebut, Selain itu grafik diatas terlihat pula bahwa kurva yang terbentuk menyerupai kurva yang terbentuk pada grafik kecepatan vs hambatan total, hal ini menunjukkan perbandingan (antara kecepatan vs hambatan total dan kecepatan vs daya efektif) keduanya memiliki hubungan yang sama besarnya.

4.10 Analisa Percobaan dan Hasil

Secara garis besar percobaan yang dilakukan telah memenuhi kaedah-kaedah yang disyaratkan dalam percobaan kapal model, dimana tempat kondisi dilaksanakannya percobaan dikondisikan seideal mungkin misalnya seperti kondisi perairan yang tenang, tanpa gelombang dan tanpa adanya hembusan angin yang kencang. Namun meskipun kita telah mengkondisikan seideal mungkin tentunya masih ada hal-hal menyebabkan ketidak-telitian (error) dari hasil yang didapat pada kapal sebenarnya terutama kaitannya dengan hambatan gesek, hal ini terjadi dikarenakan beberapa hal yaitu :

- Pengaruh dari bentuk badan kapal

Akibat dari aliran fluida yang bergerak menyelubungi badan kapal, maka terjadilah suatu keadaan dimana kecepatan partikel-partikel air yang menyelubungi badan kapal besarnya melebihi kecepatan maju kapal (advance speed). Keadaan tersebut terjadi pada sebagian besar daerah dari luas permukaan bidang basah kapal dan menyebabkan koefisien hambatan gesek kapal yang sebenarnya memiliki harga lebih besar bila dibandingkan terhadap modelnya.

- Pengaruh kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan dinding dari permukaan basah kapal yang sebenarnya jauh lebih besar dari kondisi kekasaran permukaan kapal model. Hal tersebut mengarah bahwa hambatan gesekan kapal yang sebenarnya menjadi lebih besar harganya.

- Pengaruh pemisahan aliran diburitan kapal.

Adanya *boundary layer separation* akan menimbulkan keadaan didaerah buritan kapal menjadi daerah pusaran-pusaran air (*zone of eddying water*). Keadaan ini menyebabkan kecepatan partikel-partikel fluida lebih rendah dan berakibat hambatan gesek kapal yang sebenarnya harganya menjadi lebih kecil terhadap harga yang didapatkan dari hasil percobaan dengan model.

- Pengaruh aliran

Aliran fluida yang menyelubungi kapal model dalam percobaan, tidak selalu berupa turbulen penuh. Padahal aliran yang sebenarnya terjadi pada kapal selalu berupa aliran turbulen penuh. Hal tersebut mengakibatkan hambatan gesek kapal yang sebenarnya, akan lebih besar dari harga yang didapatkan berdasarkan hasil percobaan kapal model.

Oleh karena adanya faktor-faktor ketidak telitian tersebut maka dalam perhitungan hambatan gesek kapal sebenarnya diperlukan adanya penambahan faktor koreksi *roughness allowances* C_a sebagai kompensasi dari *error-error* tersebut.

Berdasarkan hasil yang didapat (lihat table 4.12) terlihat bahwa komponen hambatan yang paling besar terjadi adalah komponen-komponen hambatan sisa, dimana hambatan sisa adalah nilai gabungan dari hambatan gelombang, hambatan tekanan, hambatan udara, hambatan bentuk, hambatan appendages, dan lain-lain. Khusus dalam hal percobaan kapal model biasanya komponen hambatan sisa yang paling dominan adalah dari hambatan gelombang.

Tabel 4.12 Persentase perbandingan hambatan gesek vs hambatan sisa.

Kecepatan (knot)	Froude Number	Hambatan Total (kg)	Hambatan Gesek (kg)	Hambatan Sisa (kg)	% Hambatan Gesek	% Hambatan Sisa
32.47	0.41	1015352.43	133380.12	881972.31	13.136	86.864
22.21	0.33	593762.42	66687.99	527074.43	11.231	88.769
18.42	0.23	220517.65	47418.02	173099.63	21.503	78.497
12.74	0.16	153167.25	24212.93	128954.31	15.808	84.192
10.69	0.14	124019.75	17584.84	106434.90	14.179	85.821
7.88	0.10	60956.63	10067.23	50889.40	16.515	83.485

Hambatan gelombang adalah hambatan yang terjadi akibat adanya pergerakan kapal tersebut sehingga menimbulkan gelombang disekelilingnya, hal ini mengakibatkan kapal harus mengeluarkan energy yang tidak bermanfaat dan malahan menjadi hambatan bagi gerakannya dan akan terjadi meskipun fluidanya ideal. Besar kecilnya hambatan gelombang umumnya terjadi karena pengaruh bentuk badan kapal khususnya bagian depan badan kapal. Dimana hal ini berkaitan langsung dengan sudut masuk (*angle of entrance*) dari garis air yang mana hal tersebut sangat mempengaruhi besar kecilnya gelombang haluan yang ditimbulkannya, sehingga erat kaitannya dengan besarnya gelombang yang dialami kapal. Umumnya sudut masuk dengan harga besar membentuk penampang “V” sedangkan sudut masuk kecil lebih sesuai dengan bentuk penampang “U”. Sehingga apabila penampang badan kapal bagian depan berbentuk “V” maka akan menghasilkan hambatan gelombang menjadi lebih besar. Hal ini terbukti mengingat bentuk bagian depan badan kapal model memiliki penampang “V” sehingga hambatan gelombang yang dihasilkan menjadi besar dan implikasinya adalah hambatan sisa yang dihasilkan juga menjadi sangat besar.

Terkait dengan besarnya nilai hambatan sisa yang terjadi pada percobaan uji tarik ini, hal ini mengindikasikan bahwa kapal model ini merupakan kapal dengan kategori kapal cepat (karena Froude Numbernya tinggi) dimana komponen hambatan gelombang R_w atau hambatan sisa R_r nya lebih besar bila dibandingkan hambatan gesek R_f ($R_r > R_f$). Umumnya kapal dengan jenis ini (kapal cepat) biasanya cocok untuk tipe-tipe kapal patroli, kapal *Freegate*, kapal penumpang dan lain-lain. Sedangkan berdasarkan modul dari kapal model ini, disebutkan bahwa kapal model ini merupakan tipe kapal *bulk cargo* (dimana *bulk cargo* masuk kedalam kategori kapal non-cepat), sehingga dapat disimpulkan bahwa kapal model ini tidak cocok apabila digunakan pada tipe kapal tersebut (*bulk cargo*) terkait dengan hal-hal diatas. Namun apabila kita ingin menggunakannya sebagai kapal *bulk cargo* maka diperlukan penambahan-penambahan khususnya berkaitan dengan bentuk badan kapal yaitu misalnya dengan penambahan *bulbous bow*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun data uji tarik yang didapat dari kapal model adalah sebagai berikut dimana hasilnya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari software HullSpeed.

Tabel 5.1 Perbandingan Nilai Hambatan Total Kapal model dari Uji Tarik vs *Software HullSpeed*

No	Vm (m/s)	Uji Tarik (kg)	Software HullSpeed		
			Holtrop (kg)	Campton (kg)	Fung (kg)
1	2.00	3.20	2.69	3.23	2.25
2	1.62	1.97	1.44	1.68	1.29
3	1.13	0.74	0.50	0.62	0.54
4	0.78	0.49	0.22	0.29	0.28
5	0.66	0.39	0.16	0.21	0.23
6	0.48	0.20	0.09	0.13	-

Setelah melakukan proses uji tarik maka didapat data-data hambatan total beserta daya efektif yang dibutuhkan pada kapal sebenarnya dengan berbagai variasi kondisi kecepatan. Adapun hasil-hasilnya sebagai berikut :

Tabel 5.2. Hasil perhitungan kapal sebenarnya

No	Fn	Vm (knot)	Vs (knot)	Rfs kpl (kg)	Rrs(kg)	Rts (kg)	PE (HP)
1	0.41	3.880928	32.47	133380.12	881972.31	1015352.43	226140.47
2	0.33	3.140597	26.28	90654.52	527074.43	617728.95	111336.12
3	0.23	2.201602	18.42	47418.02	173099.63	220517.65	27861.72
4	0.16	1.523117	12.74	24212.93	128954.31	153167.25	13388.29
5	0.14	1.278167	10.69	17584.84	106434.90	124019.75	9097.13
6	0.10	0.941463	7.88	10067.23	50889.40	60956.63	3293.44

Dengan melakukan perhitungan yang berkenaan dengan teori hambatan kapal, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Besarnya nilai R_T sangat dipengaruhi oleh besarnya V , semakin besar nilai V maka akan semakin besar pula nilai R_T .
- Komponen hambatan yang paling dominan yang terjadi pada kapal adalah komponen hambatan sisa dimana persentasenya mencapai rata-rata 80% dari komponen hambatan totalnya, sehingga besarnya hambatan sisa lebih besar daripada komponen hambatan geseknya ($R_r > R_f$).

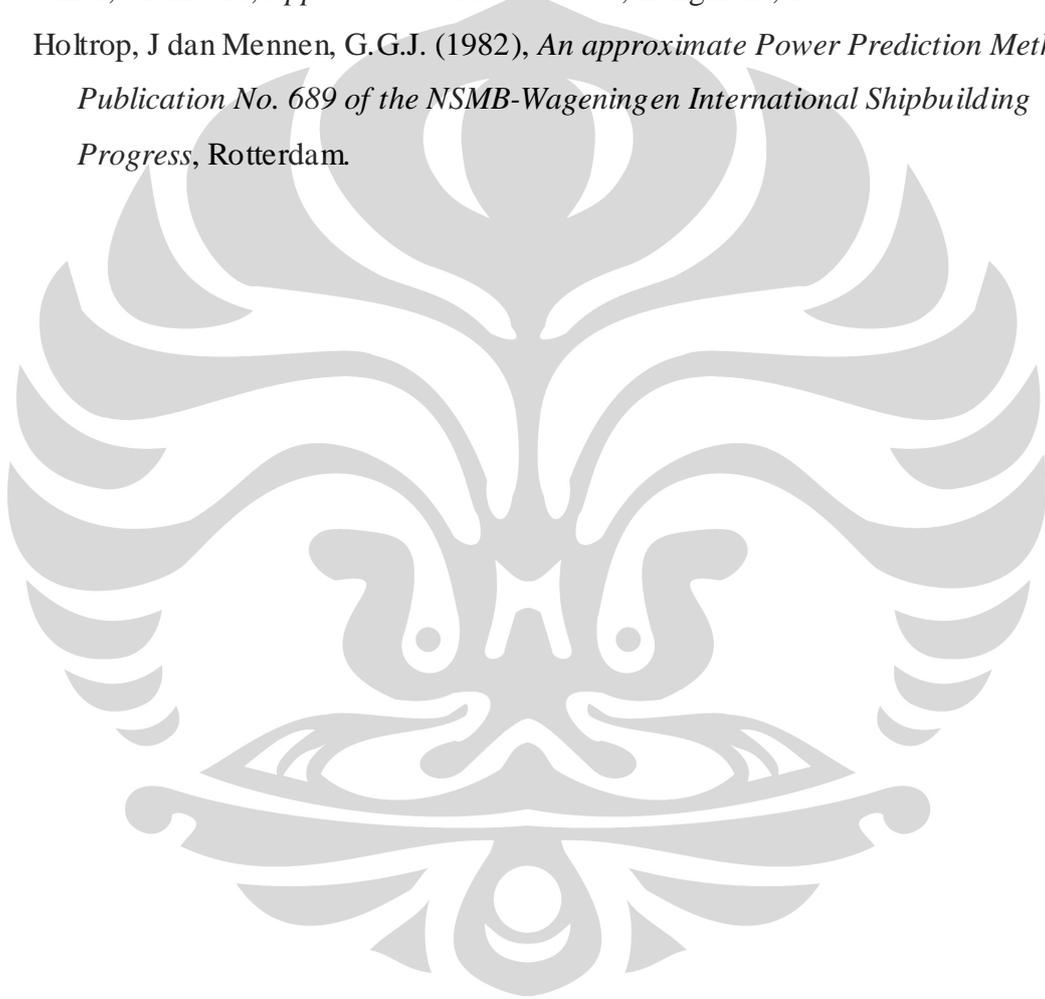
5.2 Saran

Adapun saran-saran yang mesti dilakukan untuk percobaan uji tarik kapal model kedepannya adalah sebagai berikut :

- Penggunaan alat pengukur yang standard dan telah dikalibrasi, terutama dalam hal penggunaan *strain gauge*. Sebaiknya *Strain gauge* yang digunakan adalah jenis digital sehingga lebih mudah dan lebih presisi dalam hal pengamatannya
- Kondisi perairan tempat dilakukannya percobaan sebaiknya dikondisikan seideal mungkin sehingga tidak ada faktor-faktor eksternal lainya yang mempengaruhi hasil pengamatan, misalnya kondisi perairan yang tenang dan tidak ada gelombang.
- Diperlukan jumlah personil yang lebih dalam percobaan ini yaitu minimal 4 orang dimana satu orang sebagai pengamat *strain gauge*, satu orang pencatat stopwatch, satu orang pengontrol motor listrik, dan satu orang lagi sebagai menjaga agar kapal tidak menabrak dinding kolam.

DAFTAR PUSTAKA

- MT, Ir. Talahatu Marcus A., *Teori Merancang Kapal*, FT, UI, Jakarta, 1985.
- Harvald, Sv.Aa., *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Airlangga University Press, Surabaya, 1992.
- Sastrodiwongso, Teguh, *Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak*, 1998
- Smith, Munro R., *Applied Naval Architecture*, Longmans, 1967.
- Holtrop, J dan Mennen, G.G.J. (1982), *An approximate Power Prediction Method*, Publication No. 689 of the NSMB-Wageningen International Shipbuilding Progress, Rotterdam.

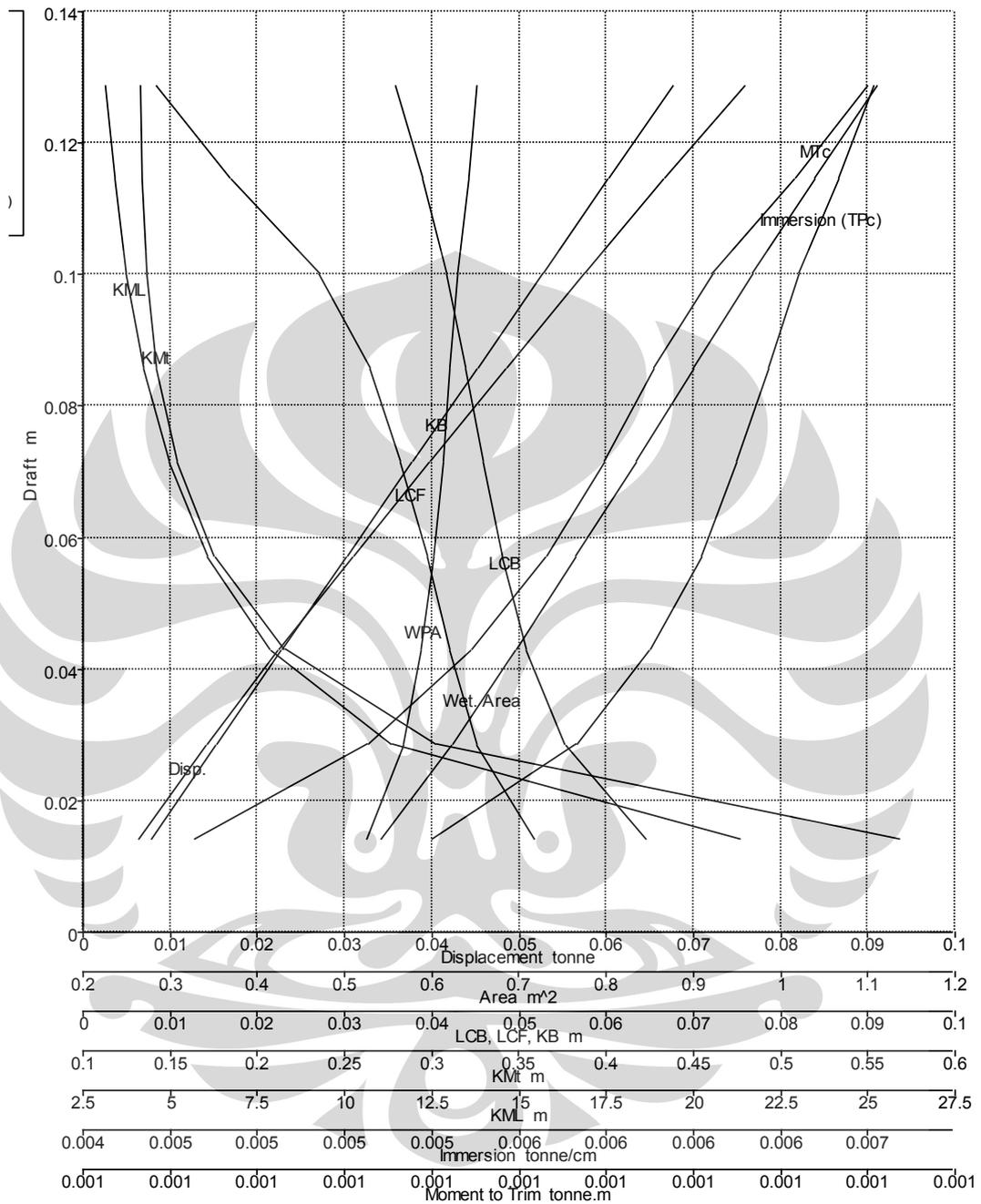


DAFTAR LAMPIRAN

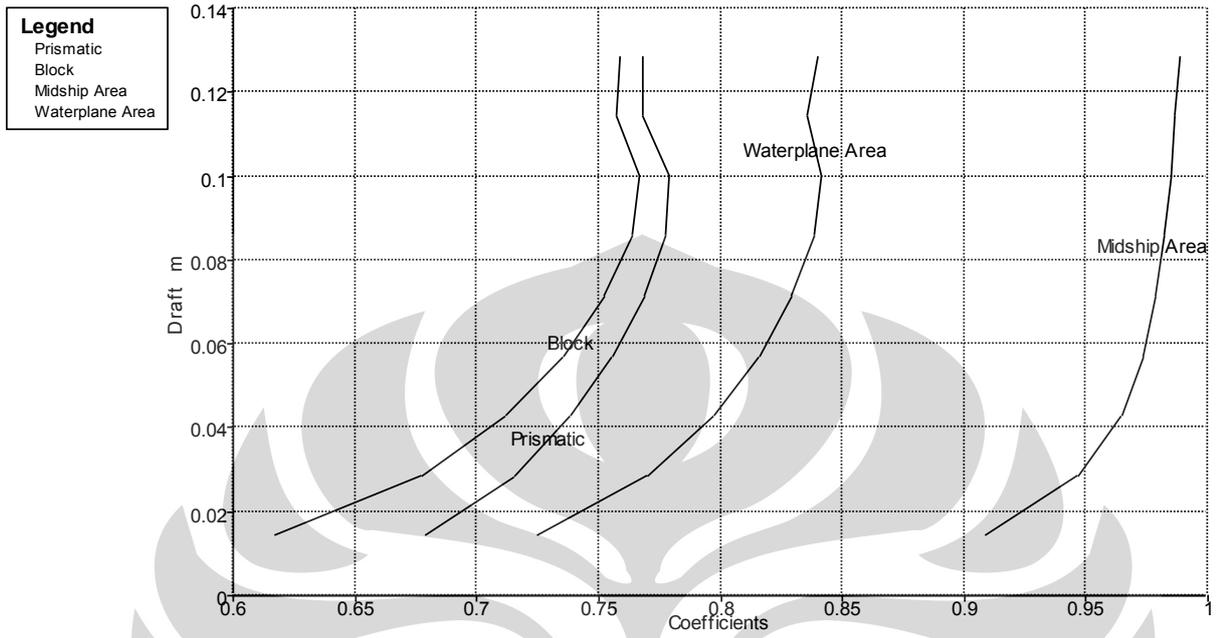
1. LINES PLAN KAPAL MODEL
2. HIDROSTATIC CURVE KAPAL MODEL
3. BONJEAN CURVE KAPAL MODEL
4. CROSS CURVE KAPAL MODEL



LAMPIRAN 2. HIDROSTATIC CURVE KAPAL MODEL



LAMPIRAN 2. HIDROSTATIC CURVE KAPAL MODEL (LANJUTAN)



LAMPIRAN 4. CROSS CURVE KAPAL MODEL

