



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL MENGGUNAKAN
PRINSIP UJI TARIK KAPAL MODEL DENGAN DAN TANPA
PENEMPELAN KULIT BELUT 25% DAN 20% DARI HALUAN**

SKRIPSI

**AHMAD SYAFIN A L
0606077642**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JANUARI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL MENGGUNAKAN
PRINSIP UJI TARIK KAPAL MODEL DENGAN DAN TANPA
PENEMPELAN KULIT BELUT 25% DAN 20%**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**AHMAD SYAFIN A L
0606077642**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JANUARI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ahmad Syafin A L

NPM : 0606077642

Tanda Tangan : 

Tanggal : 10 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Syafin A L
NPM : 06 06 07 7642
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Studi Hambatan Total Kapal Model Menggunakan Prinsip Uji Tarik Kapal Model dengan dan tanpa Penempelan Belut 25% dan 20% dari Haluan.

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

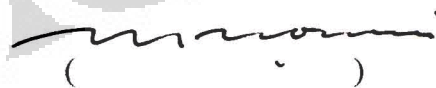
Pembimbing : Ir. Marcus A. Talahatu, M.T

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

Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D

Penguji : Ir. Mukti Wibowo

Penguji : Ir. Hadi Tresna Wibowo



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Januari 2011

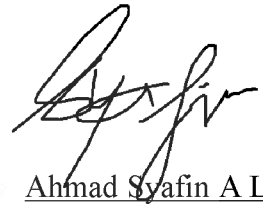
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

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) Ibu, Ibu, Ibu, Bapak, adikku Rima, Mbah Putri, Yang Kung dan keluarga besar saya tercinta yang telah memberikan dukungan berupa dukungan material, moral, dan doa;
- (2) Bapak Marcus A. Talahatu, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Bapak Bapak Sunaryo, Hadi Tresno Wibowo, dan Bapak Yanuar, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran pada skripsi ini;
- (4) Sindi Kharisyani yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa untuk segera menyelesaikan skripsi ini
- (5) Gunawan Atmadja, ST, M. Baqi, ST, Elisabius, Fuad Umar Paisal, Raja Humala Jr, E. Dipta, Dhiki R, Ardiyanto B yang telah membantu dalam pengulitan belut, pengambilan data dan menemani begadang untuk mengolah data;
- (6) Segenap teman-teman angkatan 2006 teknik mesin dan teknik perkapalan yang sudah lulus maupun akan lulus yang telah menghabiskan waktu bersama selama perkuliahan di fakultas teknik;
- (7) Para segenap pegawai DTM FTUI yang telah membantu sehingga percobaan dapat berlangsung dan memberikan dukungan akan pengerjaan skripsi ini;;
- (8) Semua teman-teman yang sudah dengan suka rela menanyakan kabar dari skripsi ini.

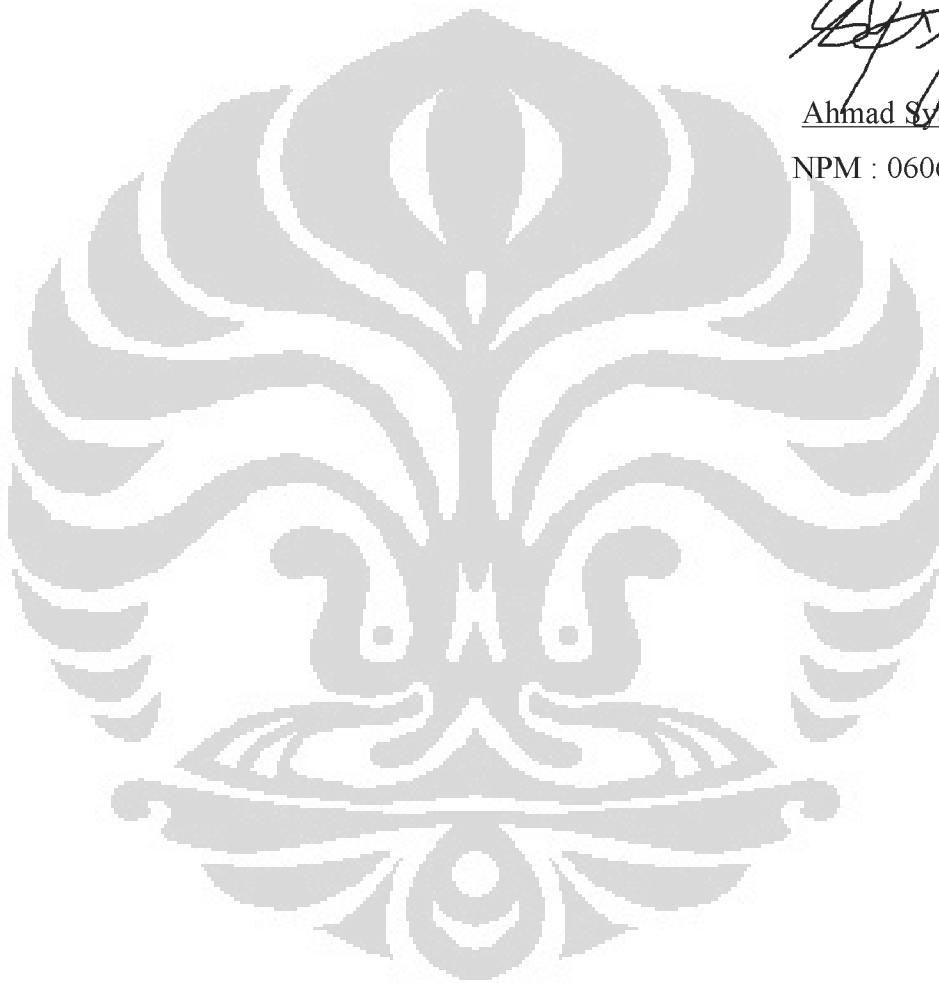
Semoga ALLAH SWT membalas semua segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu. Kupersembahkan skripsi ini kepada sang Khaliq dan orang-orang yang saya cintai.

Depok, 10 Januari 2011



Ahmad Syafin A L

NPM : 0606077642



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

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

Nama : Ahmad Syafin
NPM : 0606077642
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 :

**STUDI HAMBATAN TOTAL KAPAL MODEL MENGGUNAKAN
PRINSIP UJI TARIK KAPAL MODEL DENGAN DAN TANPA
PENEMPELAN KULIT BELUT 25% DAN 20% DARI HALUAN**

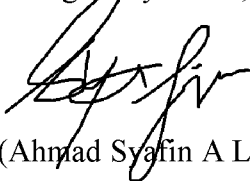
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Januari 2011

Yang menyatakan,



(Ahmad Syafin A L)

ABSTRAK

Nama : Ahmad Syafin A L

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul : Studi Hambatan Total Kapal Model Menggunakan Prinsip Uji
Tarik Kapal Dengan Dan Tanpa Penempelan Kulit Belut 25% dan
20% Dari haluan

Pemanasan global dan krisis energi telah mendorong manusia untuk menemukan cara mengatasinya. Pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan penerapan *green technology* berkembang pesat saat ini. Pada kapal telah diteliti dan ditemukan cara untuk mengurangi hambatan seperti penggunaan *microbubbles*, *surfactant*, dan *polymer*. Penggunaan bahan *surfactant* dan *polymer* sintesis yang berbasiskan rantai karbon yang terbukti mampu mengurangi hambatan kapal. Namun penggunaannya memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, sehingga beberapa polimer alam (*biopolymer*) mulai dikembangkan seperti getah karet latex dan kulit ikan hiu yang menurut hasil penelitian mampu mengurangi hambatan pada kapal. Pada penelitian ini digunakan lendir kulit belut (*Monepterus Albus*) yang ditempelkan sepanjang 25% dan 20% panjang kapal pada bagian haluan kapal model. Metode yang dilakukan adalah melakukan pengujian tarik kapal model pada kolam dengan variasi kecepatan melalui pengaturan voltase yaitu 75V, 85V. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya hambatan total kapal model pada kecepatan tertentu, kemudian dibandingkan dengan hambatan total kapal model kondisi tanpa penempelan kulit belut. Dengan melakukan perbandingan maka akan diketahui seberapa besar pengaruh penempelan kulit belut terhadap pengurangan hambatan total kapal model. Dari hasil penelitian diketahui bahwa kulit belut berpengaruh terhadap pengurangan hambatan kapal model pada saat kecepatan kapal model lebih besar dari 0,85 m/s.

Kata kunci:

Hambatan, Uji Uarik, *Biopolymer*, *DragReduction*, *Monepterus Albus*, Kapal Model

ABSTRACT

Name : Ahmad Syafin A L
Study Program : Naval Engineering
Title : Studies Of Ship Model's Resistance Based On Ship Model's
Pulling Test Principle With And Without Attching Eel Skin 25 %
And 20 % Of Bow

Global warming and energy crisis has prompted people to find ways to overcome them. Reducing fossil fuel consumption and application of green technology thriving today. On the ship has been investigated and found ways to reduce barriers such as the use of microbubbles, surfactant, and polymer. The use of surfactants and polymer materials based on carbon chain sentesis which proved capable of reducing barriers to the ship. However, its use has an adverse impact on the environment, so some natural polymers (biopolymer) began to be developed such as latex rubber, latex and leather shark which, according to research results to reduce barriers to the ship. In this study be used eel skin mucus (*Monepterus Albus*), which posted a 25% and 20% length of the ship on the bow of the ship model. The method is carried out tensile tests on the model boat pond with a variation of speed through the voltage setting is 75V, 85V. Tensile testing conducted to determine the resistance of the total ship model at a certain speed, then compared with total resistance vessel model without annealing conditions eel skin. By doing a comparison would show how much influence eel skin sticking to the reduction in total resistance model ships. From the research result shows that eel skin effect on the reduction of barriers at the speed of the ship model ship model is larger than 0.85 m / s.

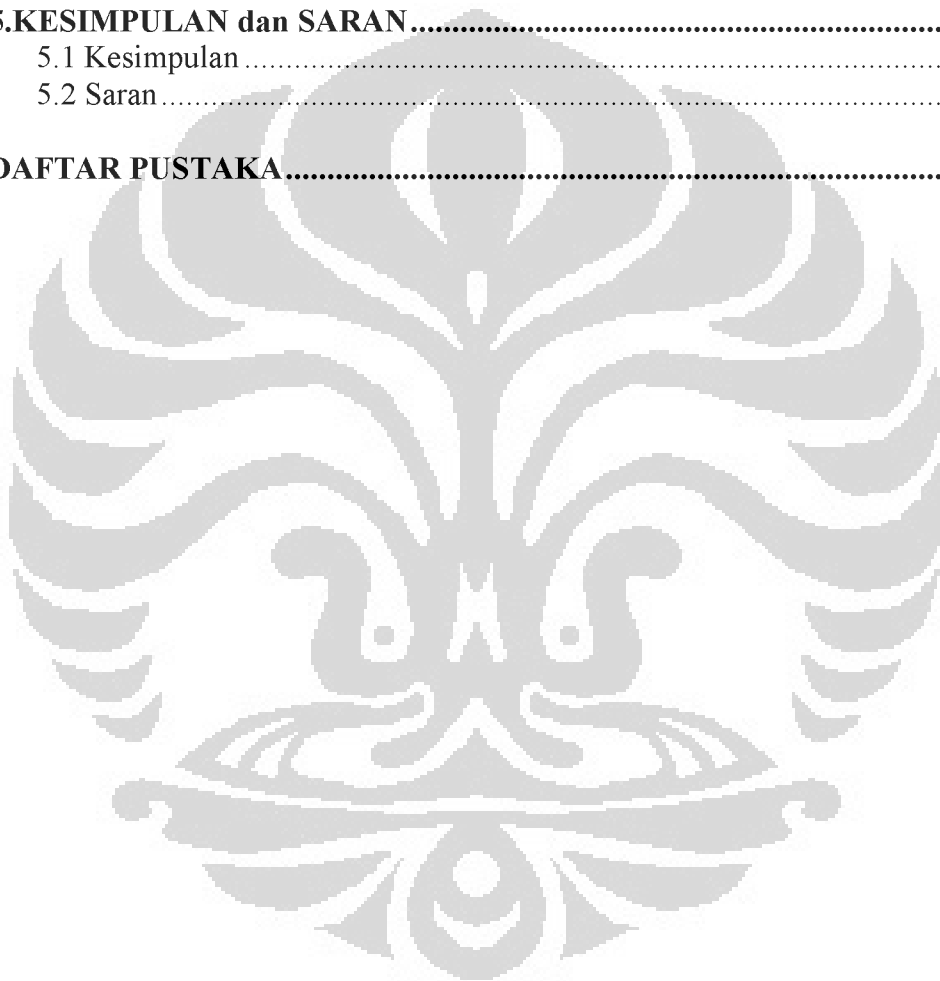
Keywords:

Resistance, Towing test, Biopolymer, Drag Reduction, Monepterus Albus, Ship models

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	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Metode Penelitian	3
1.4.1 Studi Literatur	3
1.4.2 Perancangan Alat Uji Penelitian	3
1.4.3 Proses Fabrikasi dan Instalasi	3
1.4.4 Proses Pengujian dan Modifikasi	4
1.4.5 Proses Pengambilan dan Pengolahan Data	4
1.4.6 Penyusunan Laporan	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. LANDASAN TEORI	6
2.1 Hambatan (<i>Resistance</i>)	6
2.2 Hambatan Gesek	7
2.2.1 Koefisien Gesek	9
2.3 Hambatan Sisa	11
2.4 Bilangan Reynolds	11
2.5 Polimer	12
3. SET UP ALAT DAN HASIL PERCOBAAN	13
3.1 Spesifikasi Uji Tarik	13
3.1.1 Kapal Model	13
3.1.2 Alat Penarik Kapal Model	15
3.1.3 AC Voltage Regulator	17
3.1.4 Pull Force Gauge	17
3.1.5 Beban	17
3.1.6 Digital Kamera	18
3.1.7 Kulit Belut	18
3.2 Prosedur Uji Tarik	19
3.3 Hasil Percobaan	20

4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS	22
4.1 Perhitungan Koefisien Drag dan Bilangan Reynolds pada Kapal Model.....	22
4.2 Analisis Nilai Koefisien Drag dan Bilangan Reynolds pada Kapal model.....	24
4.3 Perhitungan Pengurangan Hambatan Total Kapal Model (DR %).....	25
4.4 Analisis Nilai Hambatan Total (R_{TM}) Terhadap Kecepatan Kapal Model.....	27
4.5 Analisis Percobaan Uji Tarik Menggunakan Lendir Kulit Belut pada Kapal Model.....	28
5.KESIMPULAN dan SARAN.....	29
5.1 Kesimpulan.....	29
5.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	31



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perhitungan (C_D) dan bilangan reynolds	23
Tabel 4.3 .. Gaya tarik dan kecepatan kapal model	25
Tabel 4.5 Hasil perhitungan (C_D) dan Bilangan Reynold	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran pada dua buah pelat	8
Gambar 3.1 Sketsa Percobssn Tarik.....	19
Gambar 3.2 Kapal model	20
Gambar 3.3 Rancangan garis kapal model.....	20
Gambar 3.4 Kurva hidrostatik kapal model	21
Gambar 3.5 Alat penarik kapal model	22
Gambar 3.6 AC voltage regulator.....	23
Gambar 3.7 Kamera digital	25
Gambar 3.9 Proses penempelan kulit belut.....	27

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
R_{TM}	Hambatan Kapal Model Tanpa Penempelan Kulit Belut	Kg
R_{TM}'	Hambatan Kapal Model Dengan Penempelan Kulit Belut	Kg
V	Kecepatan Kapal	m/s
S	Permukaan Basah	m^2
C_D	Koefisien Drag	
ρ	Massa Jenis	Kg/m^3
Re	Bilangan Reynolds	
μ	Viskositas Dinamik	$Kg.s/m^2$
ν	Viskositas Kinematik	Kg^2/s

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Peristiwa terjadinya peningkatan aktivitas manusia di muka bumi telah mendorong terjadinya pemanasan global (*Global Warming*) dan juga krisis energi. Krisis energi dan pemanasan global telah menjadi salah satu permasalahan yang telah memotivasi orang-orang untuk mencari solusi dalam hal pengurangan konsumsi bahan bakar fosil [1].

Pada dasarnya Kapal merupakan salah satu alat transportasi yang cukup vital, sebab dapat mengangkut muatan/barang dengan jumlah besar jika dibandingkan dengan alat transportasi lain. Hal ini disebabkan kapal mampu mengangkut muatan berbagai jenis dan berukuran besar dan berat untuk kebutuhan ekspor maupun impor. Kapal termasuk alat transportasi yang menyumbangkan gas efek rumah kaca, dikarenakan kapal mengkonsumsi bahan bakar fosil dan menghasilkan CO₂.

Hal ini lah yang menjadi latar belakang penelitian ini yaitu untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kapal sehingga mengurangi produksi CO₂. Untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dari kapal, salah satu caranya adalah mengurangi hambatan kapal tersebut. Dengan mengurangi hambatan, maka akan juga menurunkan konsumsi bahan bakar.

Mengurangi hambatan gesek pada lambung kapal telah menjadi salah satu penelitian yang dilakukan dalam beberapa dekade. Gesekan yang dihasilkan antara benda padat dan benda cair yang dikarenakan kekentalan cairan pada *boundary layer* mengakibatkan lebih dari setengah total gesekan pada konstanta Froude yang kecil [2]. Pada zaman sekarang, ada beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi hambatan gesek dan menyimpan energy yang dahulu terbuang sia-sia. Contohnya adalah *cavitation*, *polymer coating*, dan *microbubble injection*. Dengan metode-metode tersebut dapat menurunkan konsumsi bahan bakar fosil dan pencemaran lingkungan. Pada penelitian ini digunakan metode *polymer coating*.

Suatu polimer adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer. Meskipun istilah polimer lebih populer menunjuk kepada plastik, tetapi polimer sebenarnya terdiri dari banyak kelas material alami dan sintetik dengan sifat dan kegunaan yang beragam.

Polimer, berdasarkan sumbernya dibagi dua yaitu polimer sintetis dan polimer alami. Polimer sintetis seperti nilon, karet sintetis, seluloid, dan lain-lain. Polimer alami seperti kayu, kulit binatang, kapas, karet alam dan rambut. Pada penelitian kali ini digunakan polimer alami yaitu menggunakan kulit binatang. Kulit binatang yang dipakai pada penelitian ini adalah kulit ikan belut (*monepterus albus*).

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui fenomena pengurangan hambatan dengan melapisi lambung kapal model yang terletak dibawah air dengan menempelkan biopolimer dari kulit belut (*monepterus albus*).

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari hal-hal yang tidak perlu atau diluar lingkup penelitian. Adapun pembatasan masalah yang dilakukan adalah:

- Kapal Model yang ditarik adalah kapal jenis “Bulk Cargo Motor Vessel” dengan skala 1:70 yang berdimensi:

LPP = 2385 mm

B = 323 mm

T = 185,5 mm

Cb = 0,758

Yang sudah ada tanpa harus merancang dan membuat model dari awal. Kapal model ini merupakan model dari kapal sebenarnya dengan ukuran sebagai berikut:

LPP = 166,95 m

B = 22.61 m

T = 13.30 m

- Motor penarik menggunakan motor listrik dengan rpm 1,400 yang dipasang

inverter, yang dilengkapi dengan dudukan, tali dan gulungan penarik berdiameter 12 cm.

- Kolam percobaan uji tarik bukanlah kolam percobaan towing tank yang standard an baku, tetapi menggunakan kolam renang yang berada di kukusan depok.
- Variasi beban kapal model
- Variasi kecepatan kapal
- Variasi trim memanjang kapal
- Analisa yang digunakan hanya sebatas membandingkan perubahan gaya tarik dan waktu untuk setiap variasi
- Pengukuran gaya tarik yang dipakai adalah *Pull Force Gauge* dengan kekuatan tarik maksimum hingga 20 Kg dan skala terkecil adalah 200 gr.

1.4 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan uji tarik pada kapal model setiap kali uji tarik data yang dianalisa adalah Gaya Tarik (hambatan total), waktu dan tinggi *draught* kapal model. Setelah data-data itu dikumpulkan maka dianalisa dan dipresentasikan dalam grafik untuk diambil kesimpulan. Metode pengumpulan data yang dilakukan meliputi;

1.4.1 Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh data sekunder yang didapat dari buku-buku, bahan kuliah, internet, jurnal, artikel, skripsi dan literatur lainnya. Data sekunder ini berfungsi sebagai informasi yang mendukung penelitian dan hal-hal yang bersifat teoritis.

1.4.2 Perancangan Alat Uji Penelitian

Perancangan awal untuk alat uji tersebut yaitu perancangan alat uji kapal model yang digunakan variasi penempelan kulit belut pada badan kapal terletak 20% dari depan panjang garis air kapal model.

1.4.3 Proses Fabrikasi dan Instalasi

Setelah perancangan langkah selanjutnya adalah pembuatan dan perakitan alat uji menjadi satu kesatuan.

1.4.4 Proses Pengujian dan Modifikasi

Setelah alat uji penelitian terpasang, uji coba dilakukan secara terus menerus dan melakukan beberapa modifikasi dan perubahan untuk mendapatkan pengujian yang maksimal.

1.4.5 Proses Pengambilan dan Pengolahan Data

Kegiatan ini dilakukan di kolam percobaan untuk mendapatkan data primer dari objek penelitian. Tahapan uji tarik meliputi:

- a. Uji tarik kapal model tanpa penempelan kulit belut.
- b. Uji tarik kapal model dengan penempelan kulit belut.

Variasi Sarat (T) : 0.06 m (35 Kg), 0.09 m (50 Kg)

Data yang didapat kemudian diolah lagi agar didapat perbandingan Gaya Tarik pada masing-masing variasi.

1.4.6 Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, seluruh data percobaan berserta literatur-literatur pendukung dirangkum dan di formulasikan kedalam bentuk tulisan, sebagai bentuk laporan hasil penelitian.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

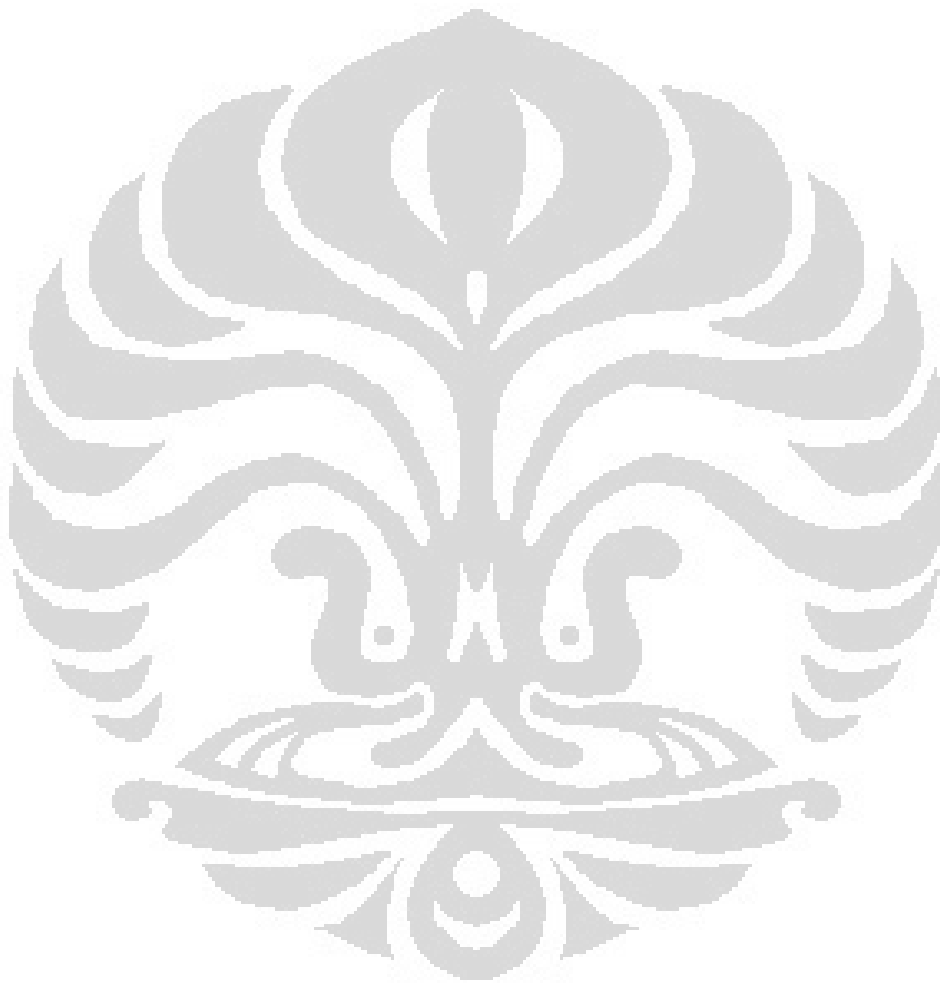
BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan tentang penjelasan teoritis yang berkaitan dengan percobaan yang dilakukan.

BAB III : Bab ini menjelaskan tentang rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 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_D) 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:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

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

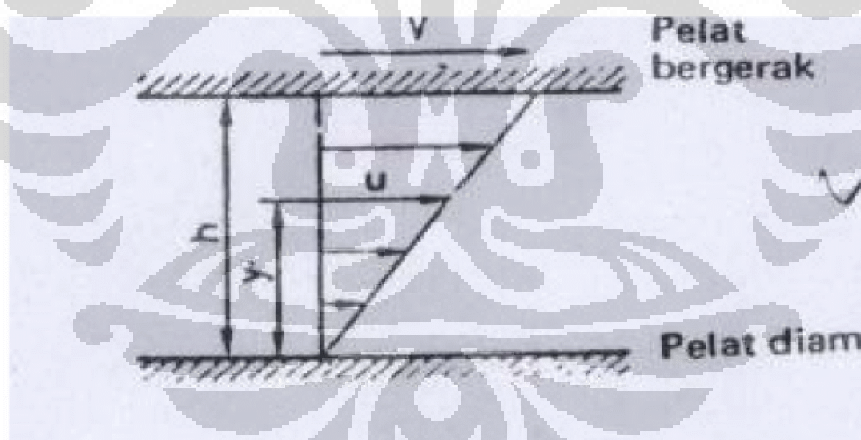
perhitungan hambatan total, dikenal dua buah komponen hambatan, yaitu hambatan gesek dan hambatan sisa.

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 :

$$R_T = R_F + R_R \dots\dots\dots (2.2)$$

2.1.1 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. 2.1. Aliran di antara pelat yang sejajar

Pada gambar percobaan di atas menunjukkan bahwa gaya tersebut berbanding lurus dengan luas pelat (S), kecepatan (v) dan berbanding terbalik dengan jarak kedua pelat (h)

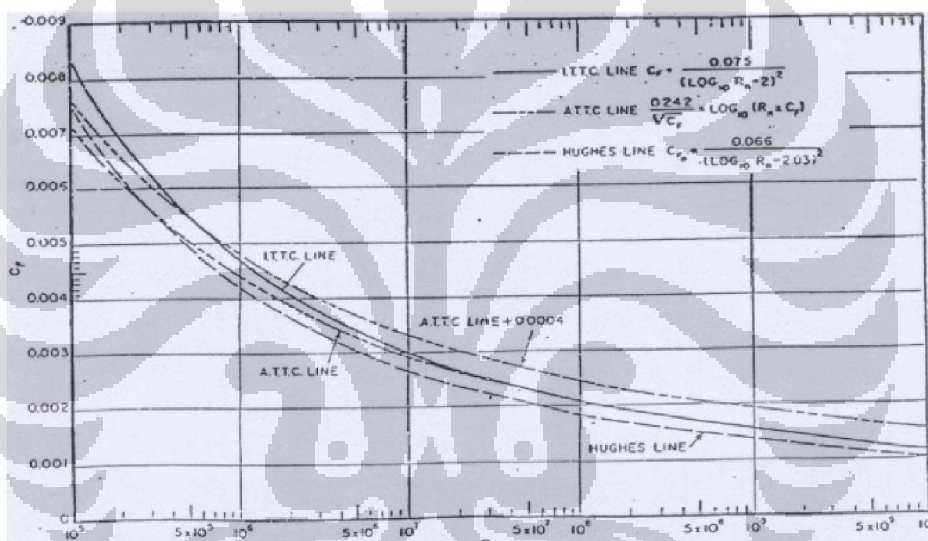
$$F = \mu \frac{S \cdot v}{h} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot C_F \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

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

$$C_F = \frac{0,075}{(\text{Log}Rn - 2)^2} \dots\dots\dots (2.5)$$



Gambar. 2.2. Standart skin frictionless dari ATTC, Hughes dan ITTC

2.1.2 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 :

$$C_T = C_F + C_R \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2 HUKUM KESAMAAN

Pada percobaan dengan memakai kapal model dapat ditunjukkan bahwa dari hasil pengukuran hambatan total kapal model 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 di perairan luas dan biasanya laut berair asin.

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*)

2.2.1 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 kapal model 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.

2.2.2 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 :

$$\frac{V_a(m)}{2\pi r(m)n(m)} = \frac{V_a(s)}{2\pi r(s)n(s)} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.3 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 ditangki 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 :

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

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

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

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 fluida tersebut 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 :

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

Maka,

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

Dimana ; δ = perbandingan density

λ = perbandingan ukuran panjang

β = perbandingan percepatan

Bila ε = perbandingan kecepatan $\left(\frac{V(s)}{V(m)}\right)$ dan τ = perbandingan

waktu ditempuh, maka :

$$\varepsilon = \frac{V(s)}{V(m)} = \frac{\lambda}{\tau} \rightarrow \tau = \frac{\lambda}{\varepsilon}$$

$$\beta = \frac{\varepsilon}{\tau} = \frac{\varepsilon}{\frac{\lambda}{\varepsilon}} = \frac{\varepsilon^2}{\lambda}$$

$$\Phi_i = \delta.\lambda^3.\beta = \frac{\delta.\lambda^3.\varepsilon^2}{\lambda} = \delta.\lambda^2.\varepsilon^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\bullet \Phi_g = \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{m(s).g(s)}{m(m).g(m)} = \frac{\rho(s).\nabla(s).g(s)}{\rho(m).\nabla(m).g(m)}$$

Maka,

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

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 :

$$\frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \frac{F_p(s)}{F_p(m)} \rightarrow \frac{F_g(s)}{F_i(s)} = \frac{F_g(m)}{F_i(m)} \rightarrow \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \Phi_g = \Phi_i \rightarrow \delta \cdot \lambda^3 \cdot \zeta = \delta \cdot \lambda^2 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow \lambda \cdot \zeta = \varepsilon^2 \rightarrow$$

$$\frac{L(s)}{L(m)} \frac{g(s)}{g(m)} = \frac{V(s)^2}{V(m)^2} \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{g(s) \cdot L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{g(m) \cdot L(m)}}$$

Seerti telah diketahui $\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$ 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 :

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

$$V(m) = \frac{V(s)}{\sqrt{\frac{L(m)}{L(s)}}} = \frac{V(s)}{\sqrt{\lambda}} \dots \dots \dots (2.15)$$

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

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

Gaya gravitasi dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$Fg(s) = Cw \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho(s) \cdot S(s) \cdot V(s)^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$Fg(m) = Cw \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho(m) \cdot S(m) \cdot V(m)^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana : Cw = 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 :

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

Φ_g adalah berkaitan dengan perbandingan 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 gayagaya yang bekerja terkait dengan hambatan sisa, besarnya bila dihadapkan dengan apa yang terjadi pada kapal yang sebenarnya adalah sebanding dengan *displacement*-nya. Denga 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 ($F_{nm} = F_{ns}$ yakni model dijalankan dengan kecepatan $V_m = \lambda^{-1/2} \cdot V_s$) maka akan berlaku kesimpulan diatas.

Apa yang telah diuraikan diatas dikenal dengan sebagai Hukum Perbandingan (*law of comparation*) 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*.

$$V(m) = \frac{V(s)}{\sqrt{\lambda}} \rightarrow Rr(s) = Rr(m) = \frac{\Delta(s)}{\Delta(m)} = \left(\frac{\rho(s)}{\rho(m)} \right) \lambda^3 \dots\dots(2.21)$$

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 $(V(m) = \lambda V(s) \frac{V_m}{V(s)})$ bergerak di fluida 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 odalnya 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 dalam 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 :

$$V(m) = \frac{V(s)}{\sqrt{\lambda}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Sedangkan menurut ketentuan Hukum Reynold, model Harus berkecepatan :

$$V(m) = \lambda V(s) \frac{V_m}{V(s)} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan demikian untuk memenuhi kedua persamaan diatas :

$$\frac{V(s)}{\sqrt{\lambda}} = \lambda V(s) \frac{V_m}{V(s)} \rightarrow V(m) = \frac{V(s)}{\lambda \sqrt{\lambda}} \dots\dots\dots(2.24)$$

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

2.3 POLIMER

Polimer merupakan suatumolekul raksasa atau makro molekul. Suatu polimer terbuat dari ribuan satuan berulang dari bagian kecil yang disebut monomer. Selanjutnya monomer-monomer itu akan bereaksi dengan menghasilkan polimerisasi dimer (dua bagian) dan kemudian menjadi trimer, tetramer dan akhirnya setelah sederetan tahap reaksi akan menghasilkan molekul polimer.

Berdasarkan asalnya polimer dapat dibagi menjadi dua yaitu polimer sintetis dan polimer alam. Polimer sintesis adalah polimer buatan seperti nylon, polyester, kantong plastik dan botol. Sedangkan polimer alam adalah polimer yang berasal dari alam seperti

protein, wool, kitin pada kerangka luar serangga, jaring laba-laba, karet, lendir binatang, dan lain-lain. Beberapa penelitian telah dilakukan dan menyimpulkan bahwa penggunaan polimer pada kapal model telah memberikan efek pengurangan hambatan yang cukup signifikan sehingga penelitian tentang penggunaan polimer terus menerus berkembang.

Sifat polimer sintesis tidak terlalu ramah lingkungan untuk digunakan sehingga dikembangkan polimer alam untuk menggantikan polimer sintesis untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan.

Dari hasil pengujian tarik kapal model dengan penempelan kulit belut 25 % pada haluan, terjadi pengurangan hambatan total namun ini terjadi pada kecepatan kapal model $>0,85$ m/s. Kecepatan kapal erat hubungan dengan bilangan reynolds yang menyatakan bentuk aliran yang terjadi. Pada kecepatan $< 0,85$ m/s yang terjadi lebih laminar sehingga pengaruh daripada lendir belut belum terjadi, dan pada saat kecepatan $>0,85$ dimana aliran mulai terdistorsi barulah terlihat efek lendir belut.

Besarnya DR % (persentase pengurangan hambatan) berbanding lurus dengan kecepatannya sehingga seharusnya pada kapal model yang memiliki lambung V (kapal model cepat) namun harus dilakukan kembali percobaan terhadap kapal model dengan lambung V untuk lebih meyakinkan.

Selain kelebihan kulit belut dalam pengurangan hambatan total kapal model, lendir kulit belut juga memiliki kekurangan yakni tidak tahan lama. Lendir belut mentah rentan terhadap bakteri udara bebas, sehingga mudah busuk. Percobaan dilakukan sesaat setelah belut dikuliti dan lendir belut hanya bertahan tidak lebih dari satu hari. Dibutuhkan percobaan yang lebih untuk mengetahui lebih jelas tingkat degradasi atau penurunan performa dari kulit belut terhadap pengurangan hambatan total.

BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 SPESIFIKASI ALAT UJI TARIK

Eksperimen ini dilakukan di kolam renang dengan ukuran sebagai berikut:

- Panjang :
- Lebar :
- Kedalaman :

Alat utama penelitian terdiri dari kapal model, alat uji tarik dan juga kulit belut. Penelitian dilakukan dengan menarik kapal model dengan tali. Simulasi uji tarik kapal model ini dilakukan guna mengetahui nilai hambatan total kapal model tersebut (R_{tm}) 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.



Gambar 3.1 Sketsa Percobaan Uji Tarik

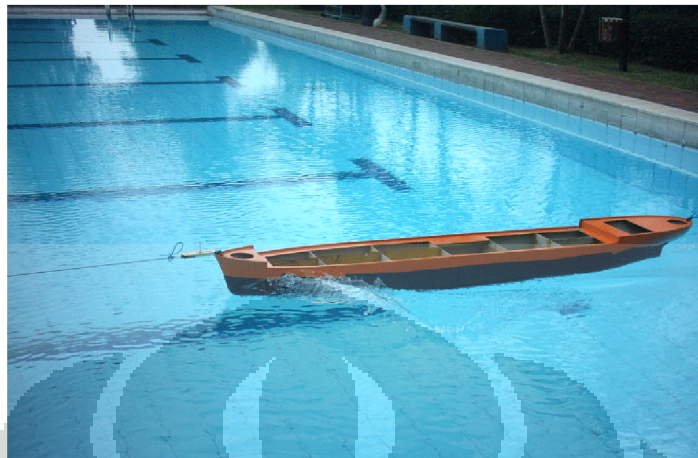
Adapun bagian-bagian utama dari alat penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

3.1.1 Kapal Model

Kapal model sudah tersedia tanpa harus merancang dan membuatnya, spesifikasi dari kapal tersebut adalah:

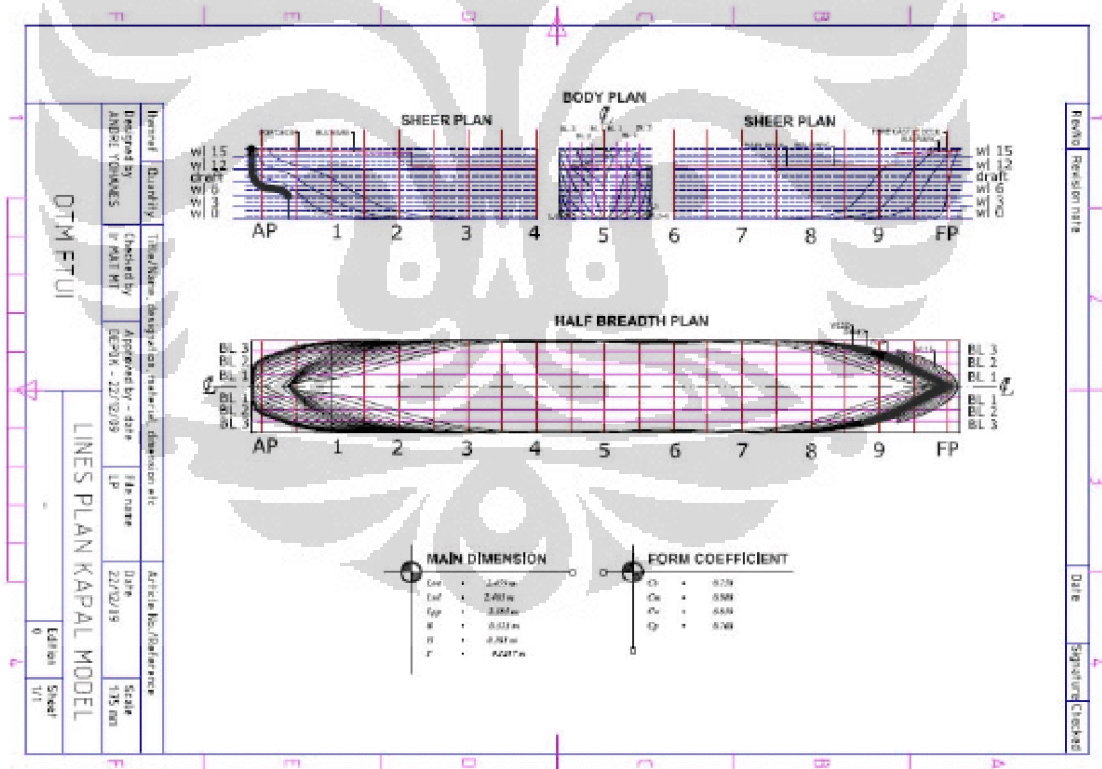
Jenis kapal model	: “Bulk Cargo Motor Vessel”
Skala	: 1:70
LPP	: 2385 mm
LWL	: 2403 mm
LOA	: 2459 mm

B : 323 mm
 T : 185,5 mm
 Cb : 0,758

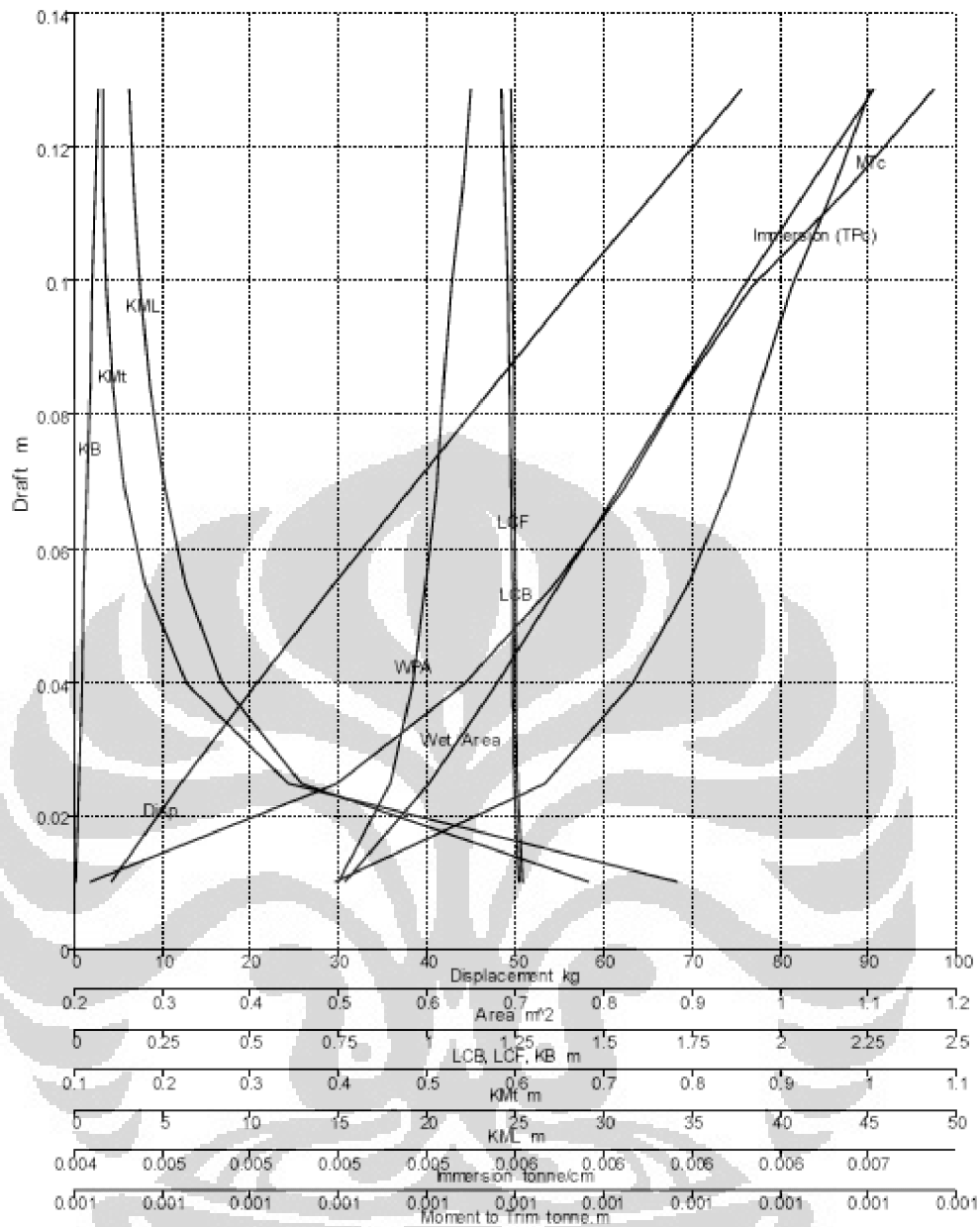


Gambar 3.2 Kapal Model

Berikut ini adalah karakteristik dari kapal model:



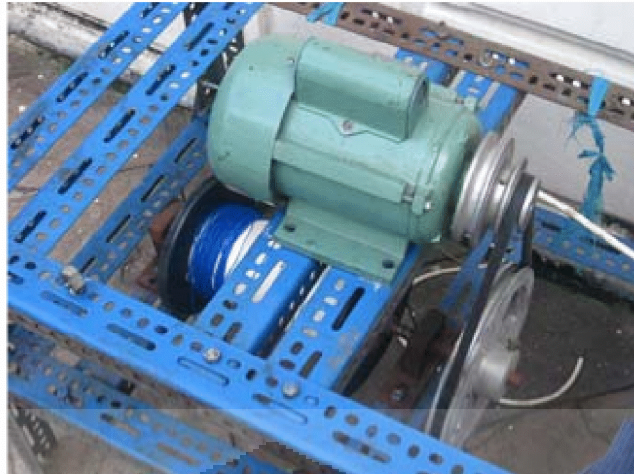
Gambar 3.3 Rancangan Garis Kapal Model



Gambar 3.4 Kurva Hidrostatik Kapal Model

3.1.2 Alat Penarik Kapal Model

Alat ini berfungsi untuk menarik kapal model dengan kecepatan yang telah ditentukan, sebagai asumsi dari gaya dorong (propulsi) dari kapal model. Alat penarik ini memudahkan dalam analisa terhadap tahanan yang dialami oleh kapal model dengan adanya perubahan *Pull Force Gauge* yang dipasang pada ujung kapal model ketika penarikan dilakukan. Komponen-komponen dari alat penarik kapal model adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Alat Penarik Kapal Model

- **Rangka**
Rangka yang digunakan menggunakan besi siku berlubang dengan ukuran total 77x53x50 cm. Pertimbangan penggunaan besi siku berlubang adalah kemudahan perakitan dan rigiditas rangka.
- **Motor Listrik**
Befungsi untuk menggerakkan penarik kapal model dengan spesifikasi sebagai berikut:
Input : 220 – 240 V / 50 Hz
Output : 1/4 HP
Rpm : 1400 rpm
- **Silinder Plastik**
Silinder plastik dengan diameter 120 mm berfungsi untuk menggulung tali yang digunakan untuk menarik kapal model.
- **Pulley**
Dua buah pulley dengan diameter 80 mm dipasang pada silinder plastik dan diameter 120 mm dipasang pada motor listrik, kedua pulley tersebut berfungsi untuk mereduksi putaran motor listrik.
- **Saklar (*switch ON/OFF*)**
Saklar ini berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan motor listrik.

3.1.3 AC Voltage Regulator



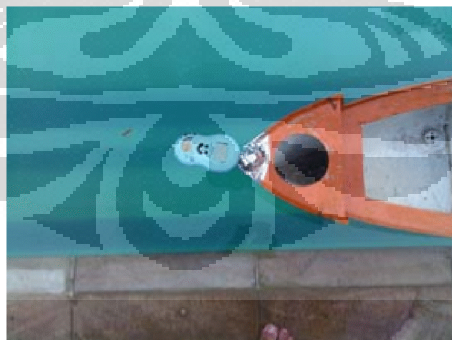
Gambar 3.6 AC Voltage Regulator

AC Voltage Regulator adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengatur voltase keluaran. AC Voltage Regulator yang digunakan berfungsi untuk mengontrol putaran motor dengan merubah voltase masukan sehingga putaran motor dapat diubah sesuai dengan keinginan.

Spesifikasi teknis dari regulator yang digunakan adalah:

Merk : OKI
 Input : 220 V 50/60 HZ
 Output : 0 – 250 V
 Cap : 2000 VA

3.1.4 Pull Force Gauge



Gambar 3.7 Digital Pull Force Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur gaya tarik kapal model ketika ditarik. Pull Force Gauge yang digunakan pada percobaan ini menggunakan Digital Pull force Gauge dengan gaya tarik maksimum 20 Kg dengan tingkat ketelitian awal 0.02 Kg dan

angka kenaikan 0.01 Kg. Pull Force Gauge ini diletakan pada bagian depan kapal dan sebagai bagian yang di ikatkan tali penarik.

3.1.5 Beban

Beban digunakan untuk membuat variasi kedalaman lambung kapal terhadap permukaan air. Beban terbuat dari pasir yang ditempatkan kedalam kantong plastik dengan berat setiap beban 1 – 2 Kg. Beban tersebut dimasukan kedalam *Cargo Hold* kapal model.



Gambar 3.8 Beban Pasir

3.1.6 Kulit Belut

Kulit belut yang digunakan berasal dari kulit belut yang masih segar, dimana masih terdapat lender-lendir yang menempel pada belut tersebut. Hal ini dimaksudkan agar mengetahui perbedaan hambatan total yang terjadi apabila kapal model yang diuji tarik tanpa menempelkan kulit belut pada lambung kapal model, dibandingkan dengan kapal model yang ditempelkan kulit belut pada lambung kapal model.



Gambar 3.9 Kulit Belut

3.1.7 Digital Camera



Gambar 3.10 Digital Camera

Digunakan untuk menangkap foto dan juga merekam video pada saat percobaan. Hasil video kemudian digunakan untuk mengamati tegangan tarik yang terjadi pada kapal model tiap detiknya. Adapun spesifikasi teknis digital camera yang digunakan adalah:

Merk : Nikon

Total Pixels : 3,2 Megapixels

3.2 PROSEDUR UJI TARIK

Selama percobaan uji tarik, kapal model ditarik oleh motor listrik yang telah dirancang sedemikian rupa sehingga putaran motor bisa digunakan untuk menarik kapal model dan gaya tarik diukur secara manual dengan menggunakan sebuah *pull force gauge*, *pull force gauge* tersebut ditempelkan di kapal model dan dihubungkan ke tali penarik. Sewaktu kapal ditarik maka terjadi pergeseran nilai pada *pull force gauge*, dari nilai 0 ke nilai tertentu.

Ada 3 jenis variasi percobaan Uji Tarik yang dilakukan yaitu:

1. Kapal model tanpa penempelan kulit belut
2. Kapal model dengan penempelan kulit belut

Adapun faktor-faktor variasi yang lain adalah:

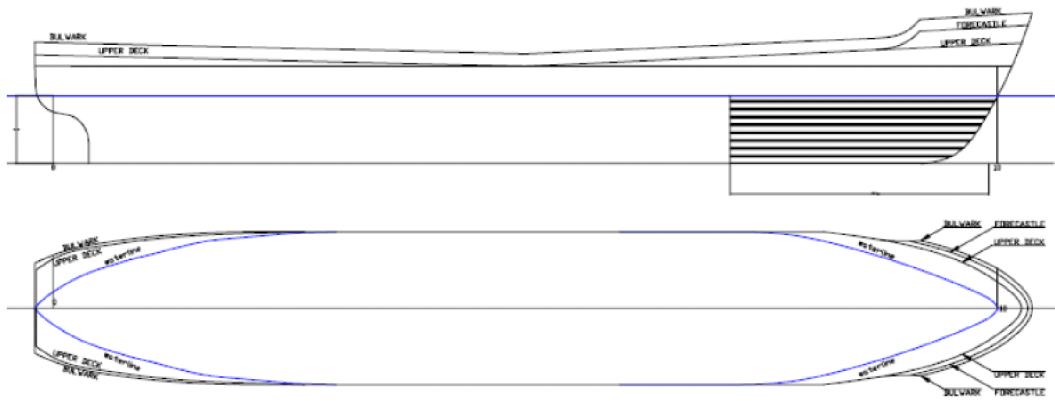
1. Kondisi pemuatan yang terdiri dari 2 kondisi, dimana muatan yang digunakan adalah pasir yang dibungkus dengan plastik dengan berat masing – masing pasir dalam plastik 1 – 2 Kg, untuk kondisi pemuatan adalah sebagai berikut:

- Kondisi I, kapal model dengan penempelan kulit belut 25% haluan
 - Kondisi II, kapal model dengan penempelan kulit belut 20% haluan
2. Variasi kecepatan kapal, dimana variasi kecepatan kapal didapatkan dari jarak percobaan pengambilan data dibagi dengan waktu yang ditempuh oleh kapal untuk mencapai jarak percobaan tersebut. Jarak percobaan data pada percobaan ini adalah 20 m.

Pada saat uji tarik data yang diambil adalah Sarat (T), Gaya Tarik (F), dan Waktu (t). Data - data ini dibandingkan menurut variasi pembebanan dan juga variasi penempelan kulit belut.

Percobaan ini dilakukan dalam kondisi air tenang untuk beberapa kecepatan yang berbeda. Langkah-langkah uji tarik sebagai berikut:

1. Pada setiap percobaan uji tarik kapal model ditempelkan dengan *pull force gauge* pada *forecastle* kapal model, setelah itu *pull force gauge* dihubungkan ke tali penarik.
2. Jarak lintasan percobaan adalah 20 m
3. Untuk memulai penarikan kapal model, motor listrik dinyalakan setelah diberi aba – aba, kapal model dilepas dan perekam video pada kamera digital dinyalakan untuk meneliti perubahan tegangan tarik kapal model pada *pull force gauge* dengan mengikuti pergerakan kapal model dari tepi kolam renang, saat kapal model menyentuh batas di ujung 2 maka countdown timer dimatikan setelah itu dicatat waktunya, begitulah langkah – langkah untuk setiap percobaan.
4. Penempelan kulit belut pada lambung kapal model dilakukan dengan cara menempelkan sepanjang 20% panjang garis air dari depan kapal. Pemasangan kulit belut dengan menggunakan lem. Berikut ini merupakan sketsa penggambarannya:



Gambar 3.11 Sketsa Penempelan Kulit Belut 25% haluan



Gambar 3.12 Sketsa Penempelan Kulit Belut 20% haluan

Berikut ini adalah gambar pemasangan kulit belut pada saat percobaan:



Gambar 3.11 Penempelan Kulit Belut Pada Lambung Kapal

3.3 HASIL PERCOBAAN

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

3.3.1 Uji tarik kapal model tanpa penempelan kulit belut

Draft 75%
Voltase 75

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	0.71	3.4	3.63	0.93664
2	1.14	3.4	3.66	0.92896
3	1.00	3.4	3.72	0.91398
4	1.02	3.4	3.56	0.95506
5	1.28	3.4	3.47	0.97983
Σ	1.03			0.94289

Draft 75%
Voltase 85

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	0.86	3.4	3.72	0.91398
2	1.80	3.4	3.28	1.03659
3	1.32	3.4	3.28	1.03659
4	1.67	3.4	3.32	1.0241
5	1.26	3.4	3.43	0.99125
Σ	1.382			1.0005

Draft 75%
Voltase 100

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	2.48	3.4	2.69	1.26394
2	2.94	3.4	2.56	1.32813
3	1.73	3.4	2.59	1.31274
4	2.98	3.4	2.75	1.23636
5	2.88	3.4	2.75	1.23636
Σ	2.602			1.27551

Draft 75%
 Voltase 100

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	2.48	3.4	2.69	1.26394
2	2.94	3.4	2.56	1.32813
3	1.73	3.4	2.59	1.31274
4	2.98	3.4	2.75	1.23636
5	2.88	3.4	2.75	1.23636
Σ	2.602			1.27551

3.3.2 Uji tarik kapal model dengan penempelan kulit belut 20%

Draft 75%
 Voltase 75

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	0.70	3.4	2.21	1.53846
2	1.10	3.4	2.54	1.33858
3	0.97	3.4	2.32	1.46552
4	1.00	3.4	2.55	1.33333
5	1.20	3.4	2.33	1.45923
Σ	0.994			1.42702

Draft 75%
 Voltase 85

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	0.75	3.4	2.43	1.39918
2	0.74	3.4	2.64	1.28788
3	0.70	3.4	2.45	1.38776
Σ	0.73			1.35827

Draft 75%
 Voltase 100

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	1.86	3.4	2.31	1.47186
2	1.62	3.4	2.25	1.51111
3	1.41	3.4	2.36	1.44068
Σ	1.63			1.47455

3.3.3 Uji tarik kapal model dengan penempelan kulit belut 25%

Draft 100%
 Voltase 75

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	0.92	3.4	4.47	0.76063
2	0.86	3.4	4.56	0.74561
3	1.00	3.4	4.31	0.78886
Σ	0.92667			0.76503

Draft 100%
 Voltase 85

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	1.33	3.4	3.38	1.00592
2	1.69	3.4	3.21	1.05919
3	1.51	3.4	3.21	1.05919
Σ	1.51			1.04143

Draft 100%
 Voltase 100

No	σ (Kg)	s (m)	t (s)	v (m/s)
1	2.94	3.4	2.66	1.2782
2	2.62	3.4	2.72	1.25
3	2.12	3.4	2.72	1.25
Σ	2.56			1.2594

BAB IV

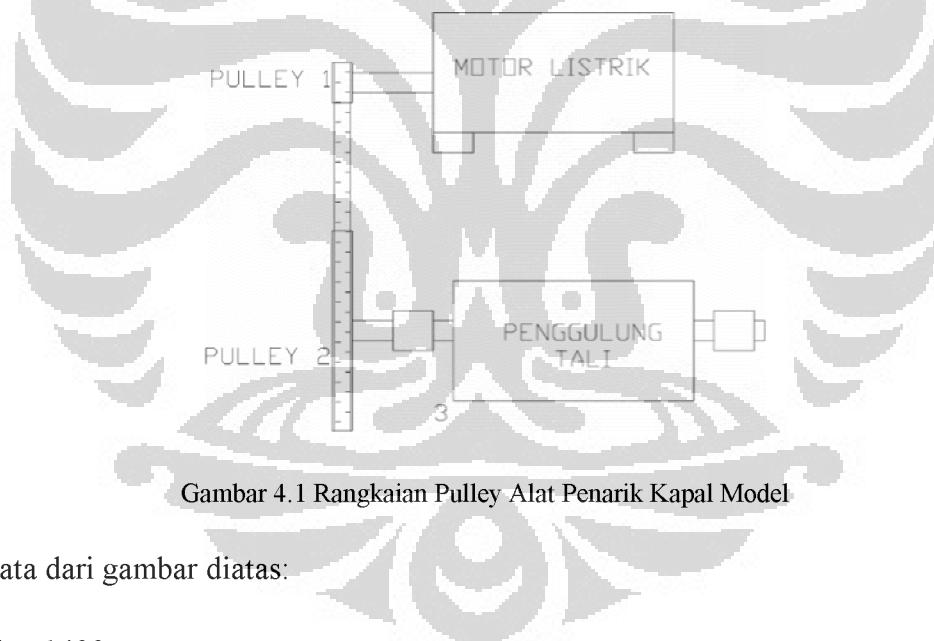
PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN DATA

Pengambilan data untuk mengetahui perubahan tahanan kapal model yang ditunjukkan *pull force gauge* yang mempunyai skala gaya tarik maksimum 20 Kg untuk setiap variasi kecepatan kapal dan variasi beban. Selama pengujian perubahan *pull force gauge* dari 0 sampai tegangan tertentu pada jarak lintasan 7 m di kolam renang direkam oleh kamera digital sehingga setiap detik perubahan gaya tarik dari *pull force gauge* dapat diamati.

4.2 PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA UJI TARIK

Data – data yang akan digunakan sebagai bahan analisa adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Rangkaian Pulley Alat Penarik Kapal Model

Data dari gambar diatas:

$$n_1 = 1400 \text{ rpm}$$

$$D_1 = 0,06 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,21 \text{ m}$$

$$D_3 = 0,12 \text{ m}$$

Sehingga dari diatas dapat kita hitung kecepatan yang terjadi pada penggulung tali.

$$n_2 = \frac{D_2}{D_1} . n_1 = \frac{0,06}{0,021} \times 1400 = 400 \text{ rpm}$$

Suhu air kolam percobaan adalah 32°C, setelah semua alat selesai di set – up, kemudian dilakukan engujian dan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mengatur Rpm motor dengan AC Voltage Regulator yang dipasang pada motor sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.
2. Pemuatan terdiri dari 2 kondisi untuk setiap percobaan
 - Kondisi I = Lambung kapal tanpa dilapisi oleh kulit belut
 - Kondisi II = pelapisan lambung kapal dengan kulit belut 25% haluan
 - Kondisi III = pelapisan lambung kapal dengan kulit belut 20% haluan

Pemuatan dilakukan secara manual dengan menambah kantong pasir yang dimasukan ke dalam cargo hold kapal model.

3. Setiap percobaan menggunakan kondisi kapal model tanpa penempelan kulit belut dan juga menggunakan kapal model dengan penempelan kulit belut. Perubahan dari kondisi kapal model tanpa penempelan kulit belut menjadi kondisi kapal model dengan penempelan kulit belut yaitu dengan cara menempelkan kulit belut pada lambung kapal dengan mengikuti sketsa penggambaran yang telah ditentukan.
4. Setelah kapal model ditarik ke pinggir kolam, kapal siap untuk ditarik, dengan memberikan aba – aba secara bersamaan maka model dilepas, countdown timer diaktifkan dan mesin motor dinyalakan.
5. Pada saat kapal model bergerak di sepanjang lintasan, maka penulis mengamati dan merekam perubahan digital pull force gauge dengan menggunakan kamera digital dari pinggir kolam dengan mengikuti pergerakan kapal.
6. Ketika kapal model mencapai jarak yang ditentukan, diberi aba – aba stop dan countdown timer dimatikan begitu juga motor dimatikan, kemudian dicatat waktunya untuk setiap percobaan.
7. Untuk pengambilan data percobaan berikutnya, terlebih dahulu mematikan motor dan kapal model ditarik lagi secara manual ke tempat awal

percobaan, kemudian mengganti kondisi pemuatan dan penempelan kulit belut pada lambung kapal.

Sehingga masukan data yang didapat sewaktu pengujian adalah:

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. Gaya Tarik | satuan: Kg |
| 2. Waktu yang diukur | satuan: detik |
| 3. Kecepatan | satuan: m/detik |
| 4. Berat Pemuatan | satuan: Kg |

4.3 PENGOLAHAN DATA ANALISA DATA UJI TARIK

Dengan mengamati video yang direkam pada percobaan di atas, maka didapatkanlah kumpulan dari data – data yang akan diolah. Dari data – data yang didapatkan, kemudian tahap selanjutnya adalah menganalisa data tersebut dalam bentuk grafik.

Gaya tarik pada kapal model merupakan hambatan total kapal model, sehingga bisa ditentukan (C_D) dengan menggunakan rumus :

digunakan rumus :

$$C_D = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2}$$

Sedangkan nilai Raynolds dibutuhkan untuk mengetahui jenis aliran yang terjadi pada masing-masing kecepatan kapal model pada saat diuji tarik. Bilangan Raynold dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

Dimana kecepatan (V) dan panjang (L) untuk kapal model dan viskositas kinematik air tawar pada suhu pengujian adalah $0,8 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$.

Dari perhitungan menggunakan microsoft excel diatas didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tanpa kulit belut

Voltage	Non Belut			
	σ (Kg)	v (m/s)	Cd	Re
75	1.1000	0.71	0.040016	1766676.60
85	1.5800	0.88	0.037065	2200000.00
100	2.6700	1.16	0.036047	2900000.00

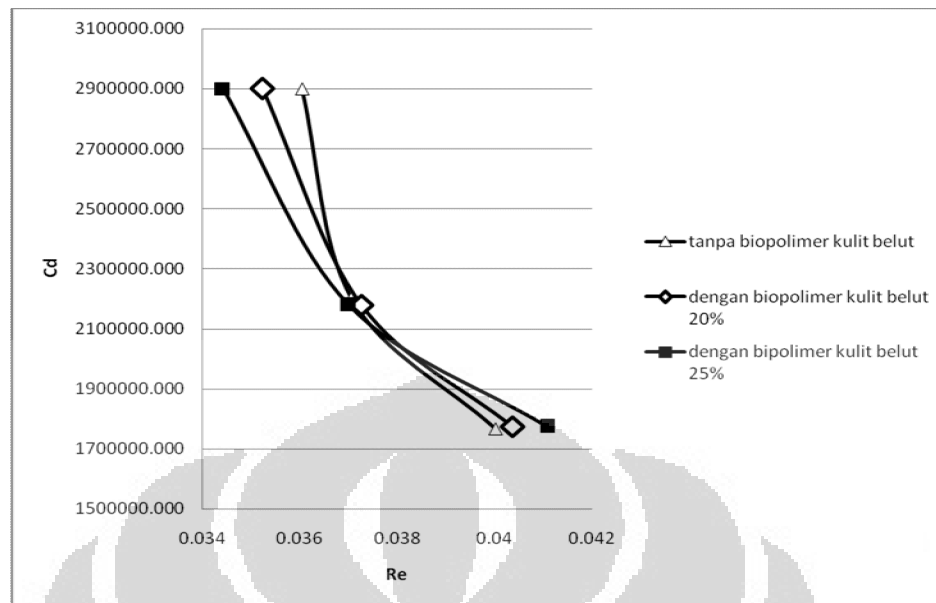
Dengan pelapisan kulit belut 20% haluan

Voltage	Belut 20 %			
	σ (Kg)	v (m/s)	Cd	Re
75	1.1200	0.71	0.040362	1775000.00
85	1.2560	0.87	0.027619	2180000.00
100	2.6100	1.16	0.035237	2900000.00

Dengan pelapisan kulit belut 25% haluan

Voltage	Belut 25 %			
	σ (Kg)	v (m/s)	Cd	Re
75	1.14000	0.7100	0.0410831	1775000.00
85	1.54900	0.8720	0.0370078	2180000.00
100	2.55000	1.1600	0.0344270	2900000.00

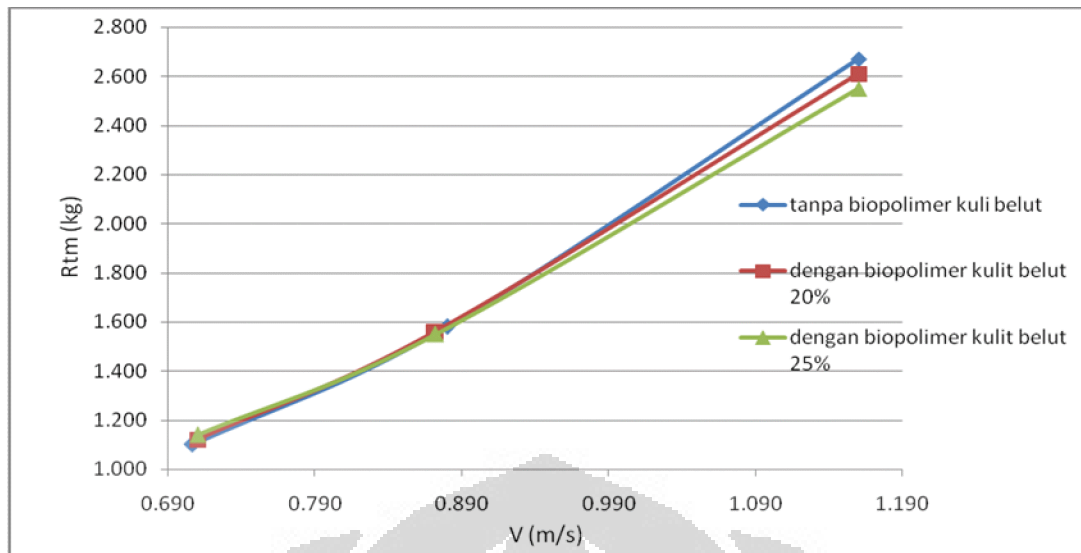
Dari ketiga hasil perhitungan diatas, dibuat grafik sebagai berikut :



Grafik C_d terhadap Bilangan Reynolds untuk kapal model

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa koefisien drag semakin turun berbanding dengan Bilangan Reynold yang merupakan fungsi dari kecepatan. Jadi, semakin rendah nilai koefisien dragnya maka semakin tinggi kecepatan kapal yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena dengan turunya nilai koefisien drag maka nilai hambatan total kapalnya pun semakin kecil, sehingga dengan nilai luasan basah yang sama kecepatan kapal meningkat. Selain itu luasan penempelan juga berpengaruh pada nilai koefisien gesek, dimana penempelan kulit belut 25% kapal yang lebih besar memiliki nilai koefisien drag yang lebih kecil.

Dari data hasil percobaan didapat nilai gaya tarik dan waktu tempuh yang nantinya dapat diketahui kecepatannya untuk kapal model tanpa dan dengan dilapisi belut. Besarnya nilai gaya tarik untuk kapal model tanpa dilapisi belut dan kapal model dengan dilapisi belut kemudian dibandingkan.



Grafik R_{tm} terhadap V untuk kapal model

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat hambatan total kapal model berbanding lurus secara eksponensial terhadap kecepatan. Dapat dilihat juga bahwa terjadi pengurangan hambatan dimulai pada kecepatan 0,85 m/s dimana nilai hambatan total kapal model dilapisi belut dibawah nilai hambatan total kapal model tanpa dilapisi belut. Sehingga besarnya pengurangan hambatan total yang diambil pada kecepatan yang sama dapat dihitung sebagai berikut :

$$DR \% = \frac{R_{TM} - R_{TM}'}{R_{TM}} \times 100\%$$

Dari perhitungan menggunakan microsoft excel serta grafik diatas didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Non Belut	Belut 25 %	DR %
RTM(Kg)	RTM'(Kg)	
1,10	1,14	-3,6364
1,49	1,49	0
2,67	2,55	4,4944

DR % dari R_{tm} tanpa kulit belut vs R_{tm} pelapisan kulit belut 25%

Non Belut	Belut 20 %	DR %
RTM(Kg)	RTM'(Kg)	
1,10	1,12	-1,8181
1,49	1,49	0
2,67	2,61	2,2471

DR % dari Rtm tanpa kulit belut vs pelapisan kulit belut 20%

Dari grafik diketahui bahwa pengurangan hambatan total mulai baru terjadi pada kecepatan 0,85 m/s ($DR \% = 0$), sehingga pada perhitungan kecepatan di bawahnya belum terjadi pengurangan hambatan total sehingga DR % bernilai negatif dan pada kecepatan di atasnya barulah terjadi pengurangan hambatan total sehingga DR bernilai positif yang nilainya semakin besar berbanding lurus dengan kecepatannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian tarik kapal model serta analisis, maka didapat kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

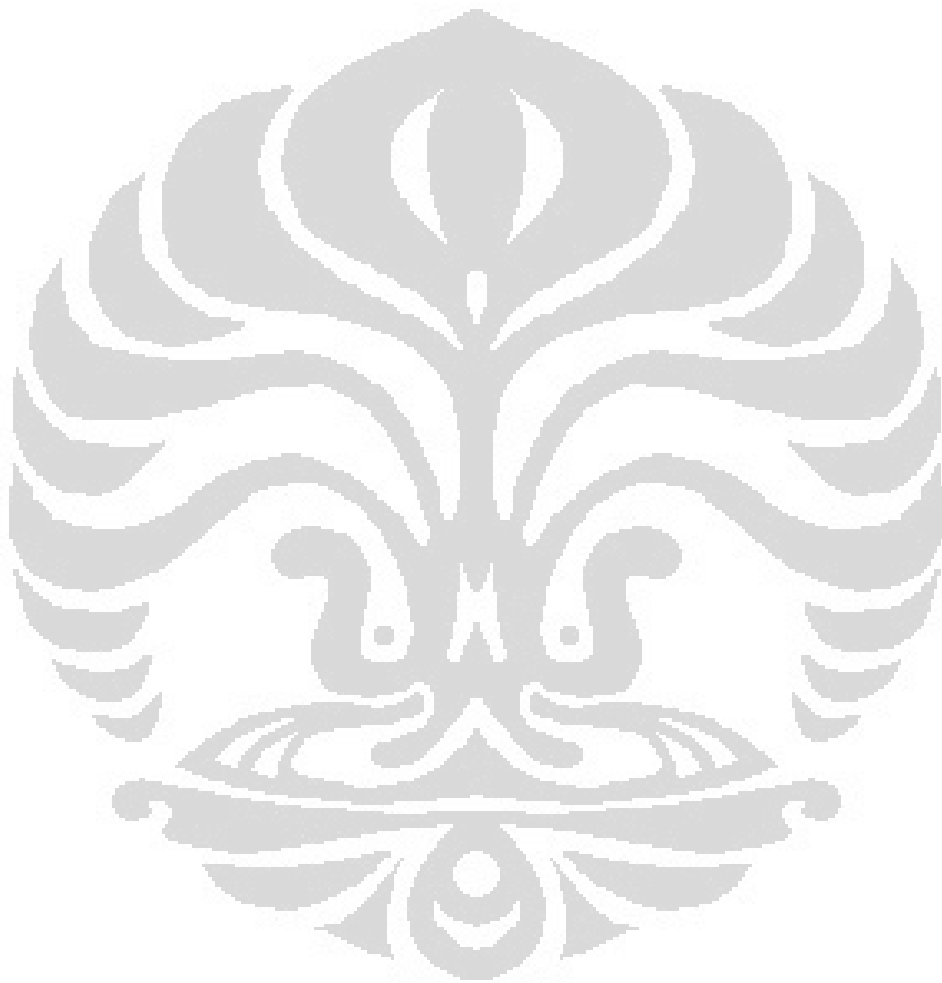
- Gaya tarik yang merupakan hambatan total pada kapal model dengan penempelan belut memiliki nilai yang lebih rendah dibanding kapal model tanpa penempelan belut
- Terdapat hubungan antara kecepatan kapal dengan besarnya hambatan total. Semakin besar kecepatan maka semakin besar pula hambatan totalnya.
- Hambatan total kapal model dengan penempelan belut memiliki nilai lebih rendah dibanding kapal model tanpa penempelan belut, dimulai pada bilangan Reynold $2,15 \times 10^{-6}$ (aliran turbulen) pada kondisi draft 100% dan 75%
- Hambatan total kapal sebenarnya dengan biopolymer memiliki nilai lebih rendah dibanding kapal sebenarnya tanpa biopolymer, dimulai pada saat kecepatan 14 knots. Pada kecepatan tersebut pula daya efektif kapal dengan biopolymer lebih rendah dibanding kapal tanpa biopolymer, karena besar daya efektif berbanding lurus dengan hambatan totalnya
- Besar sudut trim kapal berpengaruh pada nilai hambatan total, dimana semakin besar sudut trim (belakang) maka nilai hambatan totalnya semakin kecil, sehingga pada kapal sebenarnya besar daya semakin kecil juga.

5.2 SARAN

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

- Kondisi perairan tempat dilakukannya percobaan sebaiknya dikondisikan seideal mungkin sehingga tidak ada faktor-faktor eksternal lainnya 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 penjaga agar kapal tidak menabrak dinding kolam.



DAFTAR PUSTAKA

- MT, Ir. Marcus A. Talahatu., *Teori Merancang Kapal*, FT, UI, Jakarta, 1985.
- Harvald, Sv.Aa., *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Airlangga University Press, Surabaya, 1992.
- Kurniawan, Aris, *Pengaruh Microbubble Terhadap Drag Reduction Pada Kapal Model*, FT, UI, Depok, 2008
- Hilmi, *Simulasi Uji Tarik Kapal Model Untuk Mengetahui Hambatan Dan Daya Efektif Pada Kapal Sebenarnya*, FT, UI, Depok, 2009
- Sastrodiwongso, Teguh, *Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak*, 1998
- Smith, Munro R., *Applied Naval Architecture*, Longmans, 1967.
- Tahara Y, Stern F (1996) A large-domain approach for calculating ship boundary layers and wakes for nonzero Froude number. *J Comput Phys* 127:398-411
- McCormick, M.E. and Bhattacharyya, R., 1973, "Drag reduction of a Submersible Hull by Electrolysis", *Naval Engineers Journal*, Vol.85, No.2, pp.11-16.