



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK KEKASARAN KHUSUS (KULIT KERANG) PADA
DINDING KAPAL MODEL TERHADAP HAMBATAN KAPAL**

SKRIPSI

VIGNER TESSARIO

04 05 08 0246

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK KEKASARAN KHUSUS (KULIT KERANG) PADA
DINDING KAPAL MODEL TERHADAP HAMBATAN KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

VIGNER TESSARIO

04 05 08 0246

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPOK

JUNI 2011

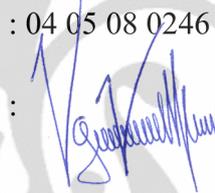
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : VIGNER TESSARIO

NPM : 04 05 08 0246

Tanda Tangan :



Tanggal : 23 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : VIGNER TESSARIO

NPM : 04 05 08 0246

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : EFEK KEKASARAN KHUSUS (KULIT KERANG) PADA DINDING KAPAL MODEL TERHADAP HAMBATAN KAPAL

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

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo ()

Penguji : Ir. M.A. Talahatu, MT ()

Penguji : Ir. Hadi Tresna Wibowo ()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada TUHAN YANG MAHA ESA , atas berkat rahmat dan berkah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. TUHAN YESUS KRISTUS , TUHAN dan Jurus selamat penulis;
2. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. M. A. Talahatu, MT, Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah bersedia membagi ilmu dan pengalamannya;
4. Muhammad Baqi S.T dan Gunawan Admaja S.T selaku Asisten pembimbing skripsi ini dan atas kerja sama pengorbanan waktu nya yang bersedia menerima keluhan- kesah , memberikan ide – ide untuk melengkapi karya tulis ini;
5. Papi , Mami, engkong dan kakak yang telah mau menyisipkan sepenggal nama penulis disetiap doa-doanya agar penulis bisa menyelesaikan skripsi ini;
6. Reola Ribka Margaka S.E yang dengan setia mendorong moril penulis untuk tetap melanjutkan skripsi ini;
7. Bpk. Kasnadi Margaka beserta jajaran management PT.MARGO INDONESIA SERVICESTAMA yang memberikan penulis kesempatan baik waktu, dan dukungan moril untuk penulis dapat meneruskan kuliah ini;
8. EDWIN dan RAGIL (kapal'08) terima kasih atas bantuan waktu , tenaga dan pikirannya untuk pengambilan data ini, kalian adalah junior-junior yang berjiwa besar “*keep going man !!!*”;
9. KAMAL, AYAT, ELSABIUS atas waktu dan kerja sama nya didalam mengambil data bersama-sama.
10. Ibu pemilik Kost an FIRMAN, terima kasih atas ijin dan kesempatan menguji di kolam hijau nya.

11. Rekan –rekan mahasiswa Teknik Perkapalan 2005,2006, dan 2007 yang telah menemani penulis berkuliah di KAMPUS KUNING TERCINTA UNIVERSITAS INDONESIA;
12. Murid-murid serta orang tua yang selama ini dibimbing penulis , terima kasih atas kesempatan untuk dapat mengajar kalian;
13. Semua Pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis

Penulis berharap semoga TUHAN YANG MAHA KUASA membalas segala kebaikan saudara-saudara semua. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima kritikan dan saran dari pembaca sekalian. Akhir kata, semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

VIGNER TESSARIO

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : VIGNER TESSARIO

NPM : 04 05 08 0246

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 Rights**) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ EFEK KEKASARAN KHUSUS (KULIT KERANG) PADA DINDING KAPAL MODEL TERHADAP HAMBATAN KAPAL ”

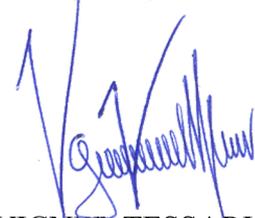
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juni 2011

Yang menyatakan,



VIGNER TESSARIO
NPM : 0405080246

ABSTRAK

Nama : Vigner Tessario Lukas
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : *EFEK KEKASARAN KHUSUS (KULIT KERANG) PADA DINDING KAPAL MODEL TERHADAP HAMBATAN KAPAL*

Hambatan kapal merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu kapal. Nilai hambatan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya bentuk lambung, tingkat streamline dan kekasaran lambung. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh pemberian kekasaran khusus pada lambung kapal terhadap koefisien hambatan total dan aliran transisi yang terjadi. Kapal model crude oil tanker digunakan dalam penelitian ini. Dimensi kapal model yaitu $L_{pp} = 2,6$ m $B = 0,24$ m dan $T = 0,18$ m. Kapal tersebut dibuat bervariasi kekasaran permukaan lambungnya dengan memberikan tempelan kulit kerang. Kerang yang digunakan yaitu kerang hijau, kerang tahu dan kerang dara. Motor listrik digunakan untuk menarik kapal model tersebut. Tegangan tali yang merupakan hambatan total kapal model diukur menggunakan load cell anemometer yang dihubungkan dengan data akusisi. Penggunaan kekasaran khusus cangkang kerang hijau dapat menurunkan koefisien hambatan total sekitar 4,2% pada nilai bilangan Reynolds $1,6 \times 10^6$. Kecepatan transisi dari aliran laminar menuju turbulensi pun dapat diteliti dengan melihat fenomena trend koefisien hambatan total yang terjadi.

Kata kunci: kekasaran permukaan, cangkang kerang, hambatan kapal, aliran transisi, load cell anemometer.

ABSTRAK

Name : Vigner Tessario Lukas
Program Study : Teknik Perkapalan
Title : *Special Roughness Effects (Scallop shell) to reduce resistance on the wall's ship model*

Ship Resistance is something that should be considered in a ship design. The value of these resistances is influenced by several factors, including hull shape, and roughness levels on fully streamlined. The purpose of this research is to know the effect of hull roughness, specifically the total resistance coefficient and flow transition that appear. Crude oil tanker ship model used in this study, Dimensions of ship model is $L_{pp} = 2.6$ m, $B = 0.24$ m and $T = 0.18$ m. This ship model is given the differences in surface roughness of the hull with a scallop shell.

Shells used in this research are *kerang hijau (Mytilus edulis)*, *kerang darah (Anadara granosa)* and *kerang tahu (Reticulate venus)*. The ship models is pull by electric motor which the motor speed can be various. Pull force was measured by using a load cell anemometer that affixed to the vessel and connected to the rope model puller. The use of special roughness *kerang hijau* can decrease the total drag coefficient about 4.2% in the value of Reynolds number 1.6×10^6 . The speed of transition from laminar to turbulent flow can be studied by looking at the phenomenon of total drag coefficient trend is happening.

Keywords: surface roughness, scallop shell, Resistance, Flow transition, load cell anemometer.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Metodologi Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Fluida	8
2.1.1 Fluida Newtonian.....	8
2.1.2 Fluida Non- Newtonian.....	8
2.1.3 Power Law Index	12
2.2 Hambatan	13
2.3 Hambatan Gesek	15
2.4 Koefisien Hambatan Gesek.....	18
2.5 Lapisan Batas	20
2.6 Bilangan Reynolds	22
2.7. Bilangan Froude.....	22
2.8 Kecepatan.....	23
2.9 Kekasaran Khusus Permukaan.....	23
BAB III RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....	24
3.1 Spesifikasi alat	24

3.1.1 Model kapal	25
3.1.2 Alat penarik model kapal	26
3.1.3 Ac Voltage regulator	27
3.1.4 Beban	28
3.1.5 Digital Camera	28
3.1.6 Load cell Anemometer	29
3.2 Prosedur Uji Tarik	29
BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA	33
4.1 Metode Pengambilan data	33
4.2 Pengolahan data uji tarik	33
4.2.1 Data uji tarik kapal tanpa kerang	33
4.2.2 Data uji tarik kapal dengan penempelan kerang hijau	36
4.2.3 Data uji tarik kapal dengan penempelan kerang tahu	38
4.2.4 Data uji tarik kapal dengan penempelan kerang dara	41
4.2.5 Nilai Drag Reduction pada kapal	43
4.3 Analisis data	44
BAB V KESIMPULAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antara shear stress-shear rate pada fluida non-newtonian	9
Gambar 2.2	Distribusi kecepatan Bingham plastic fluid pada pipa.....	10
Gambar 2.3	Hubungan shear stress (τ) - shear rate ($\dot{\gamma}$) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu.....	11
Gambar 2.4	Komponen-komponen hambatan kapal	13
Gambar 2.5	Metode pengurangan konsumsi bahan bakar	14
Gambar 2.6	Gaya gesek fluida melalui benda	15
Gambar 2.7	Aliran di antara pelat sejajar	15
Gambar 2.8	Lapisan batas disepanjang permukaan bidang	20
Gambar 3.1	Lay out proses uji tarik.....	23
Gambar 3.2	Model kapal dan kable listrik	24
Gambar 3.3	Alat penarik model kapal	25
Gambar 3.4	AC voltage regulator	26
Gambar 3.5	Kamera digital	27
Gambar 3.6	Loadcell Anemometer	27
Gambar 3.7	Penempelan kerang dara pada kapal model	29
Gambar 3.8	Penempelan kerang hijau pada kapal model	29
Gambar 4.1	Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan tanpa penempelan kerang	33
Gambar 4.2	Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang hijau dan tanpa penempelan kerang	35
Gambar 4.3	Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang tahu dan tanpa penempelan kerang.....	38
Gambar 4.4	Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang dara dan tanpa penempelan kerang.....	41
Gambar 4.5	Drag Reduction untuk kapal dengan penempelan kerang hijau	42
Gambar 4.6	C_t untuk kapal dengan penempelan kerang hijau	43
Gambar 4.7	C_t untuk kapal dengan penempelan kerang Tahu	44
Gambar 4.8	C_t untuk kapal dengan penempelan kerang dara	44
Gambar 4.9	C_t DR yang terjadi	45
Gambar 4.10	Rasio C_f / C_t	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan aktivitas manusia di muka bumi telah mendorong terjadinya pemanasan global (*Global Warming*). *Global Warming* adalah peningkatan suhu dipermukaan bumi dikarenakan adanya peningkatan efek rumah kaca terutama disebabkan oleh pencemaran udara. Salah satu komponen yang mencemari udara adalah gas CO₂, semakin banyak produksi CO₂ maka udara semakin tercemar. Kapal adalah salah satu penghasil CO₂ ketika dioperasikan.

Hal inilah yang menjadi latar belakang penelitian ini yaitu untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kapal sehingga mengurangi produksi CO₂, yaitu dengan cara mengurangi hambatan kapal (*Drag reduction*).

Drag reduction adalah salah satu masalah terpenting dalam bidang teknik (*Engineering*) terutama bagi para peneliti hidrodinamik kapal. Banyak sekali metode yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu metode yaitu dengan memberikan kekasaran khusus pada lambung kapal. Namun, metode yang paling banyak digunakan yaitu dengan penambahan polimer.

Modifikasi dari permukaan benda untuk mengatasi turbulensi dinamakan pasif kontrol. Hasil dari percobaan untuk mengurangi tingkat turbulensi yang terjadi pada batas padat permukaan menunjukkan pengurangan hambatan sebesar 7 % terjadi untuk *riblets rib* memanjang alur-V tertentu. Pada permukaan bola golf yang di kasarkan menghasilkan arus ikut (*wake*) yang terbentuk di belakang aliran mengecil sehingga menghasilkan lintasan bola golf tersebut lebih jauh. Aktif kontrol merupakan metode yang paling efektif untuk mendapatkan pengurangan hambatan pada lambung kapal, kapal selam dan torpedo dengan aplikasi menggunakan cat jenis polimer untuk mengurangi hambatan gesek, sehingga laju kecepatan kapal akan meningkat. Gambar 1 menunjukkan ikan hiu (*grey reef shark*) dimana lendir kulit ikan merupakan sejenis polimer bila dilekatkan pada permukaan benda padat, akan menghasilkan pengurangan hambatan. Rasio pengurangan hambatan dengan aditif polimer dapat mencapai maximum 70 %.

Sejak lebih dari 60 tahun lalu hingga sekarang pengurangan hambatan merupakan fenomena luas, sehingga masih tetap diteliti oleh para peneliti dunia. Aliran turbulen dengan modifikasi polimer telah mendapat banyak perhatian untuk kepentingan teknis maupun industri. Studi yang dilakukan akhir-akhir ini menunjukkan bahwa aliran-aliran ini sangatlah rumit. Untuk memanfaatkan larutan polimer yang unik secara efektif, penelitian dasar perlu dilakukan untuk menggambarkan mekanisme dari penurunan gesekan pada aliran turbulen, juga untuk melengkapi data hasil eksperimen yang diharapkan data tersebut dapat digunakan untuk aplikasi yang lain. Berbagai pengujian menunjukkan bahwa *poly (ethylene oxide)* yang berbobot molekul besar adalah polimer paling efektif untuk mengurangi hambatan. Eksperimen yang dilakukan oleh E.D. Swanson dari Naval Undersea Center menunjukkan pengurangan hambatan untuk larutan *Polyox WSR-301* dalam jangkauan ribuan ppm. Pengurangan hambatan terbukti dengan jelas pada konsentrasi larutan sampai 7800 ppm. Masih banyak material lain yang dipakai untuk menghasilkan sifat reduksi drag pada pelarutnya.

Pengurangan hambatan yang besar dengan penambahan larutan polimer *viscoelastic* telah menjadi perhatian untuk pemakaian praktis dibanyak industri. Pemberian zat aditif yang dapat mengurangi pemakaian energi adalah berdasarkan perubahan sifat fisika kimia ke aspek hidrodinamik dari larutan terkait dengan karakteristik kurva aliran sebagai fluida *Non-Newtonian*. Hal ini berkembang dalam ilmu *rheology*. Ilmu *rheology* adalah ilmu yang mempelajari perubahan sifat fluida saat mengalir. Perubahan kekentalan dalam aliran fluida *Non-Newtonian* sangat penting untuk diketahui terhadap perubahan gradient kecepatan (*shear rate*) dan hubungan *shear stress* dengan *shear rate* yang tidak proportional.

V.T. Truong (tahun 2001) menggunakan *polymer* dan *surfactant* untuk mengurangi koefisien gesek. Penggunaan zat tersebut menimbulkan terjadinya polutan karena berdampak buruk bagi lingkungan (bersifat racun) sehingga *microbubble* menjadi pilihan yang menarik sebab nonpolutan. Dari riset dengan *injection microbubble* menghasilkan pengurangan *drag* 10 % sampai 15 %. Namun, pengurangan hambatan gesek ini terjadi pada kapal model, pada kapal sesungguhnya (*full-scale ships*) sangat sulit didapatkan *drag reduction*.

Metode pengujian dengan kapal model yang dilakukan didalam tangki percobaan (towing tank) sangat baik dan umum dilakukan oleh para peneliti dunia karena penelitian kapal skala penuh tidak dimungkinkan. Pengujian model kapal dalam tangki percobaan bertujuan untuk dapat mengetahui hambatan total kapal dalam segala kondisi dan karakteristik sistem propulsinya. Teknik dasar yang dipakai pertama kali ditemukan oleh Froude pada akhir 1800-an. Model didorong dengan kecepatan V sehingga mendapatkan koefisien hambatan gelombang atau bilangan tidak berdimensi Froude $= V/\sqrt{gL}$, dimana L adalah panjang dan koefisien hambatan gesek atau bilangan tidak berdimensi Reynolds $= \rho VL/\mu$ yang dapat dibandingkan dengan kapal skala penuh bila memenuhi hukum kesamaan tidak berdimensi (non-dimension law). Hambatan total kapal skala penuh akan dapat diperkirakan. Vogel dan Patterson menyimpulkan bahwa efek reduksi drag dapat dihasilkan pada lambung kapal dengan menyemprotkan larutan polimer kental dari lokasi dekat hidung kapal. Vogel dan Patterson menyemprotkan larutan poly (ethylene oxide) pada berbagai macam bobot molekul dan konsentrasi dari sebuah slot dekat hidung kapal yang berdiameter 5,08 cm dan panjangnya 41,3 cm. Mereka menemukan reduksi drag terukur dalam saluran air. Pengurangan hambatan terbesar terjadi dengan menyemprotkan larutan Polyox WSR-301 berkonsentrasi 500 ppm.

Dove menyemprotkan larutan polimer dari haluan kapal dan lokasi lain pada model kapal fregat yang panjangnya 16,4 kaki. Dengan memakai larutan Polyox WSR-301, dia memperoleh reduksi drag sebesar 30%. Larutan polimer disemprotkan pada 5% dan 25% panjang dari haluan kapal. Bilangan Reynolds yang digunakan sebesar $17,7 \times 10^6$, sama dengan kecepatan 30 knots kapal skala penuh. Diperoleh data bahwa 1 gallon per menit larutan Polyox WSR-301 600 ppm menghasilkan reduksi drag 21%. Hambatan total, termasuk drag pembuatan gelombang, pada model dapat dikurangi sekitar 10%.

Kekasaran khusus merupakan salah satu upaya dalam mengurangi hambatan pada kapal. Permukaan yang dibuat kasar sebenarnya hampir mirip dengan bentuk ribblet yaitu berupa kekasaran khusus yang terpola. Kekasaran khusus tersebut sering kita jumpai pada beberapa hewan bercangkang baik yang

hidup di air tawar maupun air laut. Kerag adalah salah satu contohnya. Bentuk kekasaran pada kulitnya diduga dapat menyebabkan aliran fluida mengalami turbulensi dan memperkecil arus ikut. Prinsip ini hampir sama dengan prinsip dimple yang terdapat pada bola golf.

1.2 Perumusan Masalah

Modifikasi dari permukaan benda untuk mengatasi turbulensi dinamakan pasif kontrol. Hasil dari percobaan untuk mengurangi tingkat turbulensi yang terjadi pada batas padat permukaan menunjukkan pengurangan hambatan sebesar 7 % terjadi untuk *riblets rib* memanjang alur-V tertentu. Pada permukaan bola golf yang di kasarkan menghasilkan arus ikut (*wake*) yang terbentuk di belakang aliran mengecil sehingga menghasilkan lintasan bola golf tersebut lebih jauh. Aktif kontrol merupakan metode yang paling efektif untuk mendapatkan pengurangan hambatan pada lambung kapal, kapal selam dan torpedo dengan aplikasi menggunakan cat jenis polimer untuk mengurangi hambatan gesek, sehingga laju kecepatan kapal akan meningkat.

Penelitian ini menggunakan modifikasi kekasaran khusus menyerupai ribblet yaitu dengan menggunakan cangkang kerang. Cangkang kerang merupakan suatu bentuk kekasaran khusus. Kerang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ada tiga jenis: kerang hijau, kerang tahu dan kerang dara. Diharapkan dengan penempelan kerang tersebut dapat diketahui efek yang terjadi. Efek yang terjadi meliputi perubahan aliran transisi dari laminar ke turbulenta dan juga untuk mengetahui efek hambatan yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek pelekatan cangkang kerang terhadap nilai batas transisi aliran maupun hambatan yang ditimbulkan. Pelekatan cangkang kerang pada 20% Lpp kapal dari haluan. Dengan memvariasikan jenis-jenis kerang yang digunakan diharapkan dapat diketahui efek yang berbeda dari tiap kerang tersebut.

1.4 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 berjenis Crude Oil Tanker dengan skala 1:70 dengan dimensi:

LPP	=	2,6 m
B	=	0,42 m
T	=	0,18 m
Cb	=	0,75

Kapal merupakan kapal model yang sudah ada di laboratorium

Motor penarik menggunakan motor listrik dengan rpm 1400 yang dipasang inverter, dilengkapi dengan dudukan, tali, dan gulungan penarik berdiameter 12 cm. Kolam percobaan uji tarik bukanlah kolam percobaan towing tank yang standar dan baku, tetapi menggunakan kolam renang umum dengan $L = 50$ m, $B = 20$ m dan $D = 2$ m. Variasi kecepatan kapal model dengan merubah voltage motor dengan menggunakan 12 variasi kecepatan. Load cell digunakan untuk pengukuran tegangan tali yang terjadi ketika kapal ditarik. Load cell tersebut terhubung dengan data akusisi untuk pembacaan tegangannya. Percobaan ini dengan kondisi muatan penuh (draft penuh) dan berada pada sudut trim 2° .

1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Tujuan daripada konsultasi dengan dosen pembimbing untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat dan merakit alat uji laboratorium (uji tarik) sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian tersebut selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literatur (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan tim skripsi dan dosen pembimbing.

4. Pengolahan data

Data mentah dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis terjadinya hambatan kapal model maupun daerah transisi. Dengan mengetahui hambatan kapal model, diharapkan hasil yang didapatkan menunjukkan fenomena pengurangan hambatan sehingga dapat digunakan sebagai acuan pengurangan pemakaian energi.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi dalam beberapa bab dan hal ini dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisikan antara lain alasan-alasan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini merupakan penjelasan teoritis tentang hal - hal yang berkaitan dengan percobaan yang dilakukan.

BAB III SET - UP ALAT DAN PENGUJIAN

Bab ini merupakan penjelasan tentang rangkaian dan komponen-komponen yang dipakai, bagaimana alat-alat ini bekerja, beserta prosedur pengujian.

BAB IV METODE PENGAMBILAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini merupakan penjelasan tentang analisa dari data yang sudah didapat dan diplot dalam grafik.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini merupakan kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian dan mendapatkan analisisnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Fluida

Fluida adalah suatu zat yang bentuknya dapat berubah secara terus menerus dimana perubahan tersebut diakibatkan adanya suatu tegangan geser. Fluida dikatakan diam jika tidak ada tegangan geser yang bekerja pada fluida tersebut. Fluida akan mengalami pergerakan relatif antara satu partikel dengan partikel lain akibat gaya geser.

Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

2.1.1 Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva shear stress dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dengan persamaan :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.1)$$

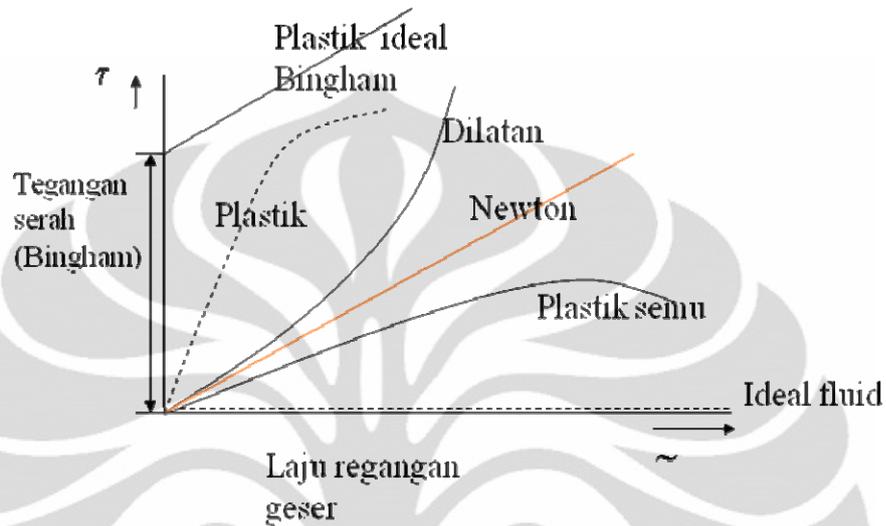
Dimana :

- τ = Tegangan geser pada fluida
- μ = Viskositas fluida
- $\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida

2.1.2 Fluida Non-Newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (shear stress), gradient kecepatan (shear rate), dan temperature seperti

cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dll. Viskositas fluida Non-Newtonian merupakan fungsi dari waktu dimana gradient kecepatannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.



Gambar 2.1 Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian

Ada beberapa model pendekatan untuk fluida Non-Newtonian , antara lain :

a) Bingham plastic

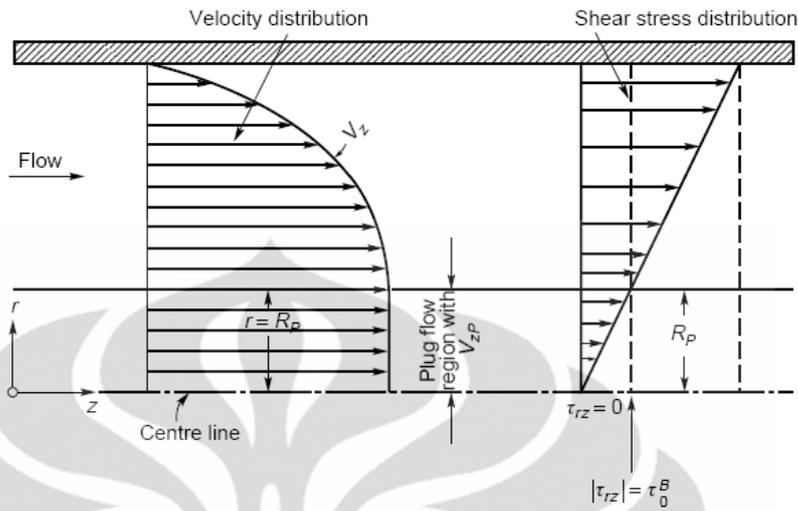
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya sangat bergantung pada shear stress dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$$\tau < \tau_y = \text{zat padat}$$

$$\tau > \tau_y = \text{fluida Newton}$$



Gambar 2.2 Distribusi Kecepatan *bingham plastic fluid* pada pipa

b) Pseudoplastic (plastic semu)

Pseudoplastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya cenderung menurun tetapi shear stress dari fluida ini akan semakin meningkat, misalnya vinil acetate/vinylpyrrolidone copolymer (PVP/PA). Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

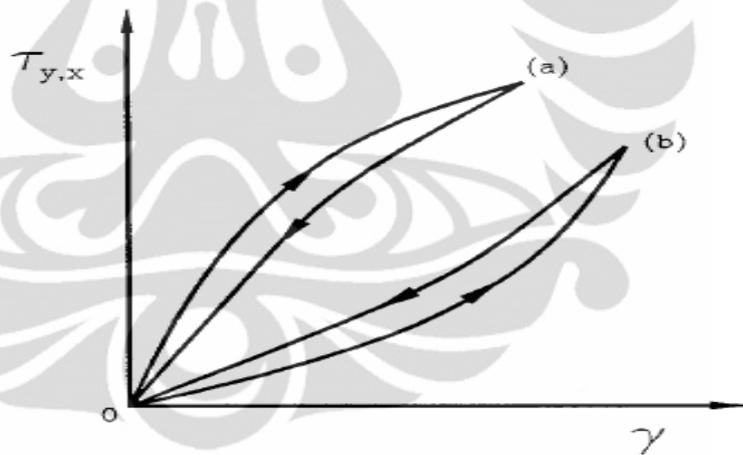
c) Dilatant

Dilatant adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositas dan shear stress dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan, misalnya pasta. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

d) Penggolongan lain

- Thixotropic (shear thinning), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.
- Rheopectic (shear thickening), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar, misalnya minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang akan bekerja padanya maka viskositasnya akan bertambah.



Gambar 2.3 Hubungan shear stress (τ) - shear rate (γ) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu

Pada fluida Non-Newtonian secara umum hubungan tegangan geser (shear stress) dan gradient kecepatan (shear rate) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K (\gamma)^n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

K = Indeks konsistensi

τ = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

$\frac{\partial u}{\partial y} = \gamma$ = Laju aliran

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.1.3 Power Law Index

Dari nilai tegangan geser (shear stress) dan laju aliran dari fluida tersebut maka power law index (n) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{d \ln \frac{D\Delta P}{4L}}{d \ln \frac{8V}{D}}$$

atau

$$n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan mengetahui besar tegangan geser yang terjadi, profil kecepatannya, dan power law index (n) maka nilai K (η) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.5). jika nilai K sudah diketahui maka

Generalized Reynolds Number dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Re^* = \frac{\rho_m D_h^n U^{2-n}}{\mu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

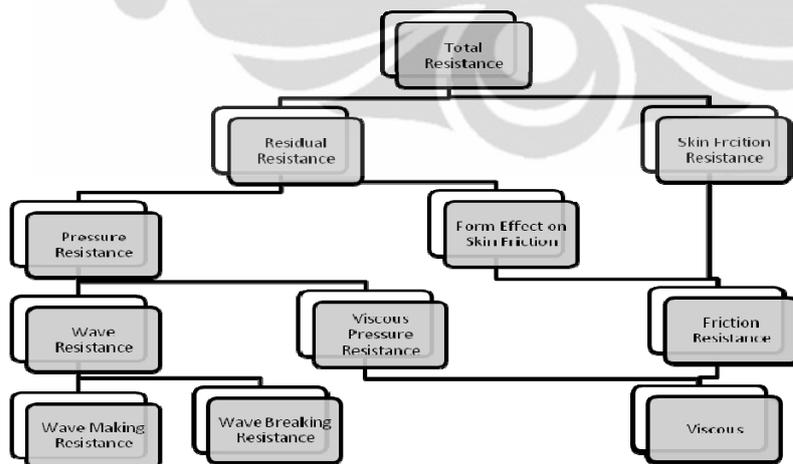
$$\mu = K8^{n-1}$$

Friction loses (f) dapat diketahui jika nilai tegangan geser, kecepatan aliran dan density fluida kerja sudah diketahui, maka digunakan persamaan fanning sebagai berikut :

$$f = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho_m V^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

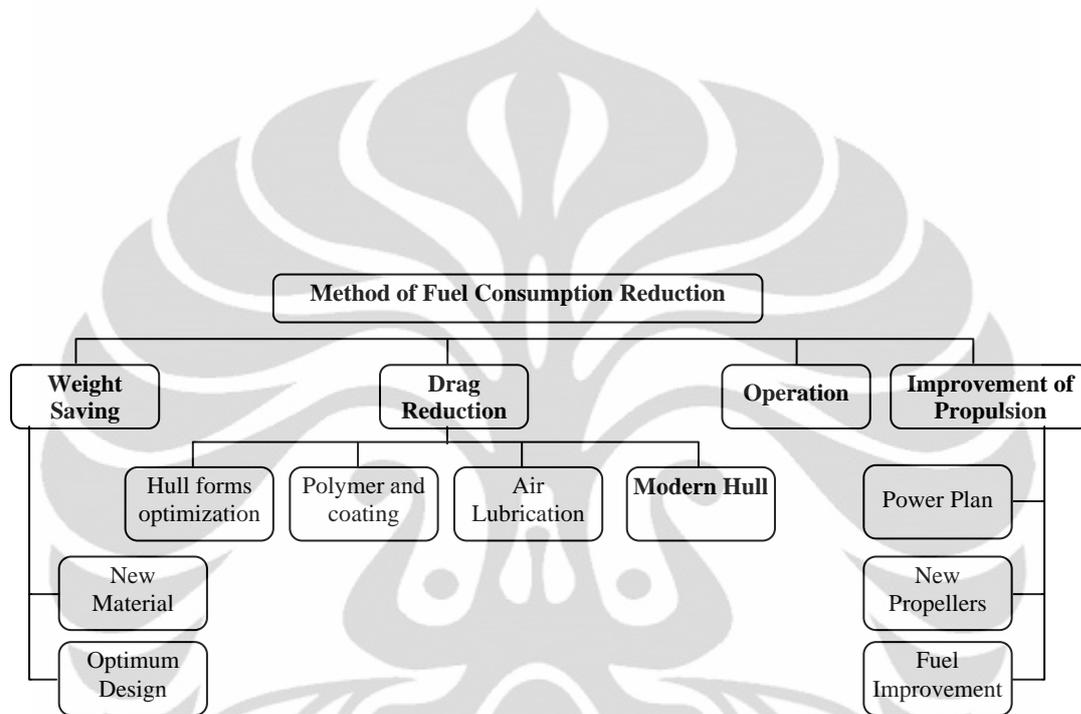
2.2 Hambatan (*Resistance*)

Hambatan (*resistance*) adalah gaya hambat yang dialami oleh sebuah kapal pada saat melaju di atas air atau fluida pada kecepatan tertentu. Secara garis besar hambatan yang dialami oleh sebuah kapal adalah sebagai berikut.



Gambar 2.4 Komponen-komponen hambatan kapal

Hambatan kapal inilah yang mendasari para perancang untuk melakukan banyak penelitian, terutama dalam hubungannya dengan penghematan bahan bakar, Gambar 2.5 adalah seluruh metode yang digunakan untuk melakukan penghematan terhadap bahan bakar.



Gambar 2.5 metode pengurangan konsumsi bahan bakar

Cara yang digunakan untuk analisa hambatan sebuah kapal adalah dengan “Metode Froude”. Froude menganggap bahwa tahanan suatu kapal atau model dapat dipisahkan ke dalam dua bagian : (1) hambatan gesek dan (2) hambatan sisa.

Dua bagian hambatan menurut metode froude tersebut adalah :

1. **Hambatan gesek** (*skin friction resistance*) disebabkan oleh kekentalan air dan merupakan fungsi reynouls number.
2. **Hambatan sisa** (*residuary resistance*), disebabkan oleh terbentuknya gelombang karena gerakan kapal dan merupakan fungsi froude number.

Untuk memudahkan perhitungan, hambatan total (R) dihitung dengan menggunakan Koefisien hambatan C , yang merupakan fungsi dari luas permukaan basah (S), kecepatan kapal (V), dan masa jenis air (ρ) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$R_t = R_f + R_r \dots\dots\dots(2.12)$$

Koefisien C menunjukkan Komponen hambatan yaitu t (hambatan total); f (hambatan gesek); r (hambatan sisa). Koefisien hambatan gesek dari model dihitung berdasarkan koefisien hambatan gesek dari suatu plat datar yang mempunyai panjang dan luasan yang sama sedangkan hambatan total didapatkan dari pengukuran di kolam renang. Selanjutnya koefisien hambatan sisa didapat dari pengurangan hambatan total dengan hambatan gesek model tersebut.

$$C_r = C_t - C_f, \dots\dots\dots(2.13)$$



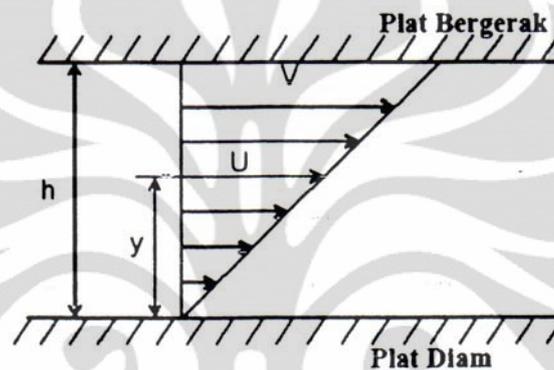
Gambar 2.6 Gaya gesek fluida melalui benda

Gambar 2.6 menunjukkan bagaimana *Drag* dipengaruhi oleh bentuk dari sebuah benda. Untuk benda plat rata akan mempunyai *drag* yang lebih tinggi bentuk benda yang bulat.

2.3 Hambatan Gesek

Tahanan atau hambatan gesek adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegrasikan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal. Semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas ini

menimbulkan gesekan. Pentingnya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Jika gesekan tersebut dapat diabaikan maka alirannya disebut ideal. Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Pandang suatu fluida viskos dalam jumlah yang cukup diantara dua buah plat sejajar yang berjarak h seperti pada gambar 2.7 di bawah ini :



Gambar 2.7 Aliran Di antara Pelat Sejajar.

Kedua pelat yang berukuran besar itu berada dalam gerakan relative yang tunak (*steady*) sementara jarak h selalu tetap. Fluida diantara kedua pelat tersebut akan mempunyai profil kecepatan yang linier jika sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan dalam arah gerakan pelat tersebut. Penyelidikan menunjukkan bahwa fluida viskos melekat pada kedua pelat tersebut. Lapisan fluida yang langsung menyentuh pelat tidak mempunyai kecepatan relatif terhadap pelat yang bersangkutan-antara fluida dan kedua pelat tersebut tidak terjadi slip. Fluida didesak demikian rupa sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam (*uniform*). Kecepatan lapisan yang berjarak y dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \frac{y}{h}V \dots\dots\dots(2.14)$$

V adalah kecepatan pelat yang bergerak.

Untuk mempertahankan gerakan, harus ada gaya F yang bekerja pada pelat yang bergerak. Percobaan menunjukkan bahwa gaya tersebut berbanding lurus dengan luas pelat dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat. Ini dapat ditulis sebagai :

Universitas Indonesia

$$F = \mu \frac{SV}{h} \dots\dots\dots (2.15)$$

S adalah luas pelat dan n adalah Koefisien viskositas dinamis. Gaya F secara numeric sama dengan tahanan yang dihasilkan oleh perpindahan pelat, dan dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa di seluruh fluida viskos yang bergerak terdapat tegangan tangensial gaya geser yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang sedang dalam keadaan bergeseran dengan lainnya maka Pers. (2.5) akan dapat ditulis kembali menjadi :

$$\tau = \mu \frac{\partial U}{\partial y} \dots\dots\dots (2.16)$$

τ adalah tegangan geser dan $\partial U/\partial y$ adalah laju perubahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak y dari pelat yang diam gradient kecepatan. Dengan demikian maka koefisien, viskositas dinamis dapat didefinisikan sebagai tegangan geser per satuan gradient kecepatan. Dimensinya viskositas adalah $ML^{-1} T^{-1}$. Rasio antara viskositas dengan masa jenis disebut koefisien viskositas kinematik dan dapat ditulis sebagai :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.17)$$

yang mempunyai dimensi $L^2 T^{-1}$ dan satuan $m^2 \text{det}^{-1}$.

Viskositas cairan akan turun jika suhunya naik. Viskositas juga tergantung pada tekanan, tetapi ketergantungan ini umumnya tidak penting bagi masalah tahanan. *Faktor yang menentukan laminar atau turbulent pada suatu aliran fluida* adalah, *kecepatan, bentuk dan ukuran* benda yang diletakan di dalam aliran, ke dalaman air dan jika aliran tersebut berada didalam kanal, konfigurasi serta ukuran kanal. Baik aliran laminar maupun aliran turbulen ada dalam kenyataan, tetapi aliran turbulen adalah keadaan yang lebih umum. Bila kecepatan bertambah, aliran akan berubah dari laminar ke turbulen, melalui daerah transisi. Dengan demikian, dalam percobaan model, aliran di suatu daerah yang tak diketahui di model dapat saja bersifat laminar yang berarti bahwa kecepatan percobaan sering tidak sebaik yang diinginkan.

Viskositas juga mempunyai pengaruh pada aliran turbulen, tetapi pengaruh tersebut biasanya dikalahkan oleh dominasi tegangan geser turbulen.

2.4 Koefisien Hambatan Gesek

Seperti disebutkan di atas analisis percobaan model dilakukan menurut metode *froude* dimana tahanan gesek R_F adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegral tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.

Selanjutnya, tahanan gesek spesifik atau koefisien drag C_F didefinisikan sebagai

$$C_F = \frac{R_F}{1/2 \rho \cdot V^2 \cdot S} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dari percobaan yang dilakukan *froude* dengan memakai sejumlah papan dan ditarik dikolam dengan kecepatan yang berbeda yang dilapisi beberapa dengan berbagai bahan dan tahanan masing-masing diukur dengan beberapa modifikasi berdasarkan gambar, maka tahanan gesek permukaan dinyatakan dalam rumus :

$$R_F = f \cdot S \cdot V^n \dots\dots\dots (2.19)$$

- Dimana :
- S = luas permukaan papan.
 - f = koefisien gesek papan.
 - V = adalah kecepatan papan.
 - n = adalah indeks bias yang merupakan pangkat dari V yang menunjukkan kenaikan.

Kemudian dilengkapi oleh *R.E. Froude* menjadi :

$$R_F = F \cdot S \cdot V^{1,825} \dots\dots\dots (2.20)$$

setelah beberapa percobaan yang dilakukan dengan lapisan cat dan dipernis, didapat keduanya mempunyai tahanan gesek yang sama, rumus diatas disempurnakan lagi oleh *R.E. Froude* menjadi dalam *kg (gaya)* :

$$R_F = \frac{\gamma \lambda}{1000} . S . V^{1,825} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana : γ = Berat jenis dalam kg/m
 X = Koefisien tahanan gesek.
 S = Luas permukaan basah.
 V = Kecepatan dalam m/detik.

Le Besnerais menyatakan koefisien gesekan A . pada suhu $15^\circ C$ dalam rumus sebagai berikut :

$$\lambda = 0,1392 + \frac{0,258}{2,86 + L} \dots\dots\dots (2.22)$$

L adalah panjang model kapal dalam meter. Jika koefisien gesek tersebut akan dipakai untuk suhu selain $15^\circ C$ maka koreksi dapat dilakukan dengan memakai rumus sebagai berikut :

$$\lambda_t = \lambda(1 + 0,0043\Delta t) \dots\dots\dots (2.23)$$

$\Delta t = 15^\circ C - t$ (harga negative jika $t > 15^\circ C$, penggabungan persamaan 2.8 dengan persamaan 2.11 menghasilkan hubungan sebagai berikut :

$$C_F = \frac{R_F}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S} = \frac{(\gamma \cdot g \cdot \lambda / 1000) \cdot S \cdot V^{1,825}}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$C_F = 2.10^{-3} \lambda \cdot g \cdot V^{-0,175} \dots\dots\dots (2.25)$$

g adalah percepatan gravitasi, harga ini harus diikuti dalam rumus tersebut sesuai definisi dan satuan yang dipakai.

Tangki percobaan diseluruh dunia telah memikirkan untuk membuat suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke kapal keukuran sebenarnya dan sesuai kesepakatan bersama maka koefisien hambatan gesek dihitung menurut formula yang dikeluarkan oleh ITTC (International Towing Tank Conference) 1957 sebagai berikut :

$$C_F = \frac{0,075}{(\text{Log}R_n - 2)^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

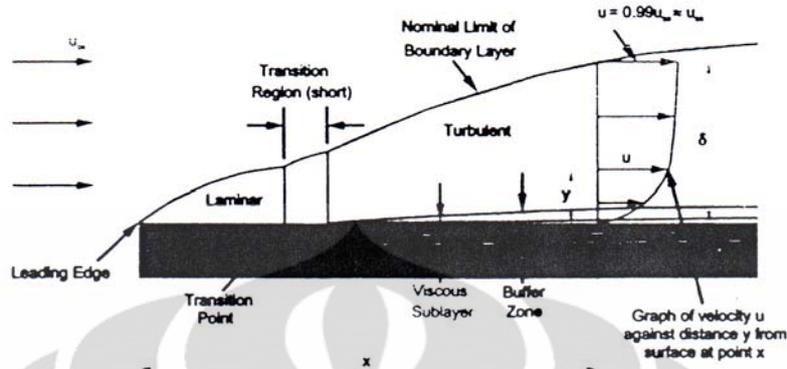
Dimana R_n adalah Reynolds number dengan menggunakan referensi panjang garis air. Setelah mendapat nilai C_F maka persamaan tahanan gesek R_F , dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_F = C_F (1/2 \cdot \rho \cdot V^2) \cdot S \dots\dots\dots (2.27)$$

2.5 Lapisan Batas

Lapisan batas diartikan sebagai daerah fluida yang dekat dengan permukaan benda padat. Di dalam daerah ini, gradient lintang (*transerse gradieri*) kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesemnya mempunyai arti yang penting. Lapisan batas bisa laminar, turbulen atau transisional, dan kadang-kadang disebut sabuk gesekan (*frictionalbeli*).

Bila di sepanjang suatu pelat datar terdapat aliran yang homogen, maka kecepatan fluida tepat pada permukaannya adalah nol Karena adanya gaya gesek yang memperlambat gerakan fluida, sehingga terjadi lapisan tipis di dekat pelat tersebut. Di dalam lapisan batas, kecepatan fluida U naik dari nol di pelat hingga mencapai harga maksimumnya yang sesuai dengan kecepatan di dalam aliran luar tanpa gesekan U (Gb. 2.5). Tebal lapisan batas, Adalah jarak dari dan tegak lurus permukaan benda ke titik yang di titik tersebut kecepatan aliran mencapai harga yang sama dengan harga kecepatan aliran tanpa viskositas (*inviscid flow*) yang ekivalen. Dalam praktek, kecepatan ini kadang-kadang diambil sebesar 99% kecepatan aliran tanpa viskositas.



Gambar 2.8 Lapisan Batas disepanjang permukaan bidang

Penerapan hukum momentum untuk element volume yang berbeda tepat di belakang pelat menunjukkan bahwa momentum yang hilang persatuan waktu harus sama dengan tahanan yang dialami pelat tersebut.

$$\int_0^\delta \rho U (U_m - U) dy = \int_0^x \tau_0 dx = R \dots\dots\dots(2.28)$$

R adalah tahanan pada bagian pelat yang terletak antara 0 dan x, τ_0 adalah tegangan geser pada dinding dan sama dengan :

$$\tau_0 = \eta \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_0 \dots\dots\dots(2.29)$$

Angka nol di bawah menunjukkan harga pada dinding, yaitu untuk $y = 0$. Di sini R sama dengan tahanan gesek R_F , yang juga dapat dinyatakan sebagai :

$$R_F = C_F (1/2 \cdot \rho \cdot V^2) S \dots\dots\dots(2.30)$$

- Dimana :
- CF = Koefisien tahanan gesek spesifik atau Koefisien drag
 - ρ = Masa jenis
 - V = Kecepatan pelat relatif terhadap aliran
 - S = Permukaan basah pelat

2.6 Bilangan Reynolds

Parameter yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen adalah bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos didalam fluida.

$$Re = \frac{\rho.V.l}{\mu} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$Re = \frac{V.l}{\nu} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana :

- Rn = Reynolds Number
- l = Panjang Model Kapal
- μ = Viskositas Dinamik
- ν = Viskositas Kinematik

2.7 Bilangan Froude

Tahanan menurut Froude merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas. Untuk menyatakan besarnya tahanan gesek maka berhubungan dengan viskositas dan bilangan reynoldnya. Sedangkan untuk menyatakan besarnya gelombang yang terbentuk berhubungan dengan gaya gravitasi yang terjadi akibat dari bentuk lambung kapal. Maka untuk menyatakan besarnya tahanan bentuk atau tahanan sisa dapat menggunakan *Froude's Number* (Fn), dimana Fn dipengaruhi oleh kecepatan (v), gaya gravitasi (g) dan panjang kapal (L) :

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g.L}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dari penjelasan diatas maka dengan diketahui besarnya Fn kapal model, maka dapat diketahui juga besarnya Fn kapal skala penuh. Sehingga nilai koefisien sisa kapal penuh (C_{RS}) dapat diketahui jika koefisien kapal model (C_{RM}) telah diketahui dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$C_{RS} = \frac{\rho_S}{\rho_M} \cdot C_{RM} \dots\dots\dots(2.34)$$

2.8 Kecepatan

Besarnya kecepatan kapal (V) tersebut dapat dihitung menggunakan perubahan jarak (s) yang ditempuh per satuan waktu (t).

$$V = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana :

- V = Kecepatan kapal model (meter/detik)
- s = Perubahan jarak kapal model (meter)
- t = Waktu tempuh kapal model (detik)

2.9 Kekasaran Khusus Permukaan

Pembahasan hambatan gesek biasanya hanya pada permukaan yang halus, tetapi sebenarnya permukaan lambung kapal tidak selamanya halus. Bahkan setiap harinya kekasaran permukaan kapal akan selalu bertambah. Berbagai penelitian tentang kekasaran telah banyak dilakukan. Dari berbagai penelitian tersebut maka didapat suatu penjelasan bagaimana kekasaran itu dihubungkan dengan hambatan kapal.

Kekasaran yang timbul itu dapat mengubah besarnya nilai koefisien gesek, semakin besar nilai kekasaran maka semakin besar pula nilai koefisien geseknya. Namun, jika kekasaran dibuat khusus (menyerupai ribblet) dimungkinkan akan terjadi pengurangan hambatan pada daerah turbulents tertentu.

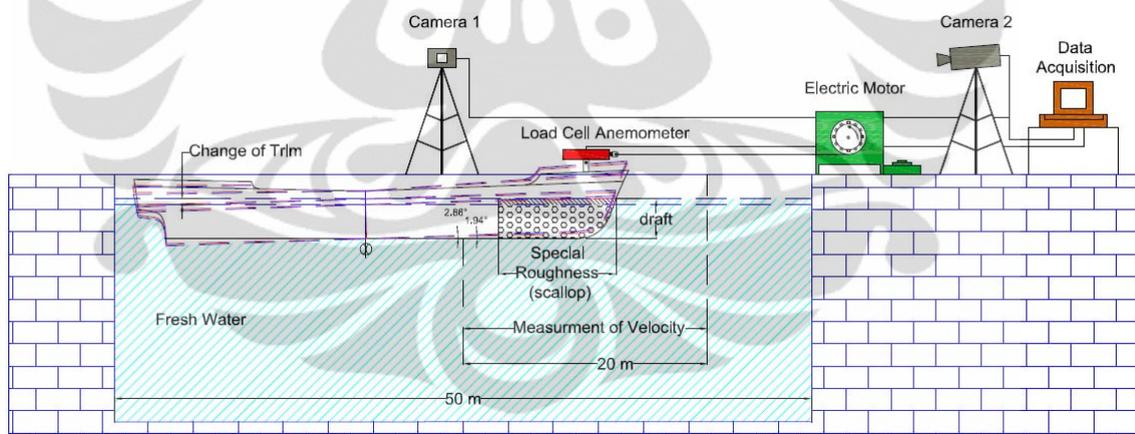
BAB 3 SET-UP ALAT DAN PENGUJIAN

3.1 Spesifikasi Alat

Eksperimen ini dilakukan di kolam renang umum milik BUPERTA CIBUBUR dengan ukuran kolam percobaan sebagai berikut :

- Panjang : 50 meter
- Lebar : 20 meter
- Kedalaman : 1 - 1,8 meter

Pengujian dilakukan dengan cara menarik kapal menggunakan tali dimana gulungan tali dihubungkan pada motor yang diatur tegangannya guna mendapatkan variasi putaran motor.



Gambar 3.1 Lay Out Proses Uji Tarik

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

3.1.1 Model Kapal

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

Jenis model kapal : Crude oil tanker

Skala : 1:70

LPP : 2,6 mm

B : 0,24 m

T : 0,18 m

Cb : 0,75



Gambar 3.2 Model Kapal dan Kabel Listrik

3.1.2 Alat Penarik Model Kapal

Alat penarik berfungsi untuk menarik kapal model dengan kecepatan yang dapat diatur sebagai asumsi kapal model bergerak dengan gaya dorong (propulsi). Alat penarik ini merupakan satu rangkaian komponen-komponen yang dirakit menjadi satu kesatuan. Komponen-komponen tersebut adalah :



Gambar 3.3 Alat Penarik Model Kapal

✓ Rangka

Rangka yang digunakan adalah besi siku berlubang yang disambung dengan menggunakan baut dan disusun sedemikian sehingga kokoh untuk menahan berat dari motor listrik dan gulungan tali.

✓ Motor Listrik

Motor listrik disambungkan dengan gulungan tali yang dihubungkan dengan belt. Fungsi dari motor listrik ini nantinya adalah untuk memutar gulungan tali dimana tali tersebut akan menarik kapal model.

✓ Gulungan Tali

Gulungan tali yang menggunakan silinder hollow berbahan plastik dengan diameter 120 mm

✓ Tali

Tali yang digunakan adalah berbahan serat nylon yang mampu menahan tegangan tali pada saat menarik kapal

✓ Pulley

Dua buah pulley digunakan untuk mereduksi putaran motor listrik. Pulley dihubungkan pada gulungan tali dan pada poros motor listrik.

✓ Saklar (switch ON/OFF)

Saklar digunakan untuk menghidupkan dan mematikan motor listrik.

3.1.3 Ac Voltage Regulator

AC Voltage Regulator adalah suatu alat yang dapat mengatur voltase keluaran. AC voltage regulator digunakan untuk mengatur putaran motor dengan mengatur voltase masukan yang dapat diubah sesuai keinginan. Spesifikasi teknik dari AC voltage regulator yang digunakan adalah :

Merk : OKI

Input : 220V 50/60 Hz

Output : 0 – 250V

Cap : 2000 VA



Gambar 3.4 AC Voltage Regulator

3.1.4 Beban

Beban digunakan untuk membuat variasi kedalaman lambung kapal terhadap permukaan air. Beban terbuat dari batu dengan variasi beban 1 kg dan 2 kg.

3.1.5 Digital Camera

Digunakan untuk merekam jalannya pengujian dan untuk pengambilan gambar selama pengujian.

Merk : LUMIX Panasonic
Type : DMC-FX10
Total Pixels : 10 MP



Gambar 3.5 Kamera digital

3.1.6 Load Cell Anemometer

Load cell digunakan untuk mengukur besarnya tegangan tali. Besarnya tegangan tali pada dasarnya merupakan hambatan total kapal saat ditarik. Load cell yang digunakan merupakan jenis tension load cell dengan kapasitas maksimum 5 kg.



Gambar 3.6 Load Cell Anemometer

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 dengan menggunakan sebuah *load cell*. *Load cell* tersebut ditempelkan di kapal model dan dihubungkan ke tali penarik. Load Cell juga

dihubungkan ke data akusisi untuk pembacaan tegangan yang terjadi dengan bantuan komputer.

Ada 4 jenis variasi percobaan Uji Tarik yang dilakukan yaitu:

1. Kapal model tanpa penambahan apa-apa
2. Kapal model dengan penempelan kerang hijau
3. Kapal model dengan penempelan kerang tahu
4. Kapal model dengan penempelan kerang dara

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 5 m. Pada saat uji tarik data yang diambil adalah Gaya Tarik (F), dan Waktu (t).

Percobaan ini dilakukan dalam kondisi air tenang untuk 12 kecepatan yang berbeda.

Langkah-langkah uji tarik sebagai berikut:

1. Pada setiap percobaan uji tarik kapal model ditempelkan dengan *load cell* pada *forecastle* kapal model, setelah itu *load cell* dihubungkan ke tali penarik.
2. Jarak lintasan percobaan adalah 5 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 mengetahui besarnya tegangan tali, maka data akusisi dihidupkan sehingga data percobaan akan terekam sesuai dengan kemauan kita. Digunakan 200 data tiap detik. Stopwatch juga dihidupkan begitu ujung kapal melewati tali pembatas 1. Saat kapal model menyentuh batas di ujung 2 maka countdown timer dimatikan setelah itu dicatat waktunya, begitulah langkah – langkah untuk setiap percobaan.
4. Penempelan kerang hijau, kerang tahu dan kerang dara sesuai seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.7 Penempelan kerang dara pada kapal model



Gambar 3.8 Penempelan kerang hijau pada kapal model

5. Load cell ditempelkan pada anjungan kapal dihubungkan dengan tali penarik yang berasal dari gulungan tali yang nantinya akan diputar oleh motor listrik.
6. Load cell dihubungkan juga dengan data akuisisi yg tersambung ke komputer untuk merekam data tegangan tali.
7. Pemberian beban batu bata pada ruang muatan kapal model.
8. Motor listrik dinyalakan dengan aba-aba dan diatur voltase nya dengan menggunakan AC voltage regulator. Setelah kapal model melewati batas perhitungan waktu, motor listrik dimatikan.
9. Posisi kapal model dikondisikan segaris dengan alat penarik sehingga pada saat penarikan kapal model tidak berbelok.
10. Perhitungan waktu tempuh dihitung dengan jarak perhitungan waktu adalah 5 m.

BAB 4

ANALISIS PENGOLAHAN DATA

4.1 Metode Pengambilan

Pengambilan data untuk mengetahui perubahan tahanan kapal model yang ditunjukkan *load cell* dengan skala gaya tarik maksimum 5 Kg untuk setiap variasi kecepatan kapal dan variasi kerang. Pengujian dilakukan dengan merekan hasil tegangan tali pada load cell melalui data akusisi yang terbaca pada komputer.

4.2 Pengolahan Data Uji tarik

Dibawah ini disajikan data-data berupa dimensi kapal da juga properties fluida yang digunakan:

Lpp : 2,6 m

B : 0,42 m

T : 0,18 m

Cb : 0,75

S : 1,17 m²

μ : 0,0014

4.2.1 Data Uji Tarik Kapal tanpa kerang

v model (m/s)	Rt (kg)
0,18	0,15
0,23	0,21
0,27	0,30
0,38	0,53
0,45	0,73

0,50	0,88
0,56	1,06
0,67	1,45
0,76	1,82
0,88	2,39
0,96	2,80
1,00	3,00

Kemudian data berupa kecepatan kapal dan tegangan tali diolah dengan bantuan rumus di bawah ini:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

$$R_t = \frac{1}{2} C_t \rho V^2 S$$

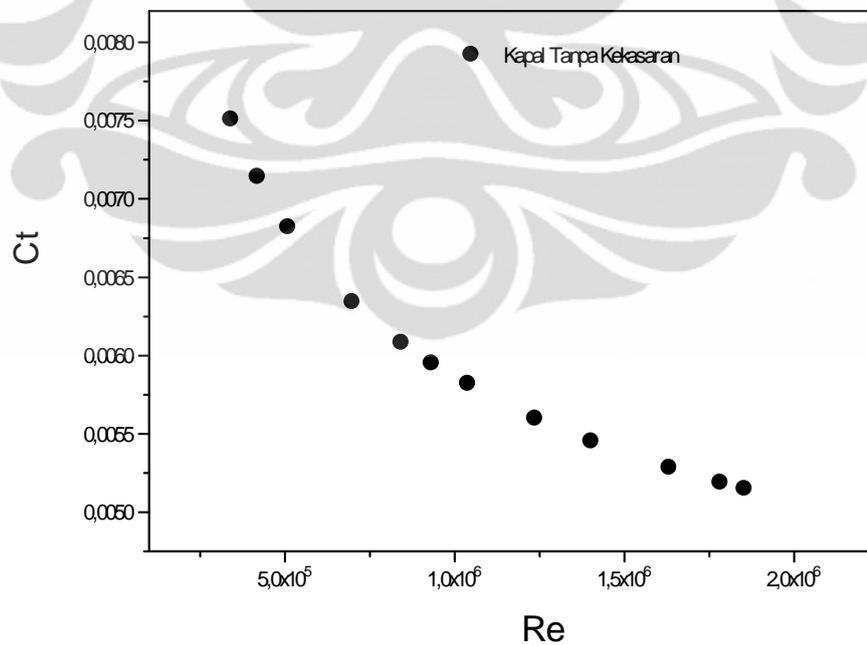
$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Re	Fn	v s (knot)	Ct	Cf
342027	0,03	3,00	0,0075	0,0060
420032	0,04	3,68	0,0071	0,0057
510340	0,05	4,47	0,0068	0,0055

700051	0,07	6,13	0,0063	0,0051
843853	0,09	7,39	0,0061	0,0049
932765	0,10	8,17	0,0059	0,0048
1037632	0,11	9,09	0,0058	0,0047
1237521	0,13	10,84	0,0056	0,0045
1402782	0,15	12,29	0,0055	0,0044
1632975	0,17	14,30	0,0053	0,0042
1783213	0,19	15,62	0,0052	0,0041
1854328	0,20	16,24	0,0051	0,0041

Dari data di atas kemudian dibuat grafik C_t vs Re untuk kapal tanpa kerang sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hubungan C_t dengan Re pada kapal tanpa penempelan kerang

4.2.2 Data Uji Tarik Kapal Dengan Penempelan Kerang Hijau

Data yang dihasilkan pada percobaan dengan penempelan kerang hijau adalah sebagai berikut:

v model (m/s)	Rt (kg)
0,21	0,19
0,23	0,23
0,26	0,28
0,36	0,51
0,45	0,80
0,48	0,86
0,55	1,07
0,62	1,30
0,71	1,61
0,83	2,08
0,93	2,55
1,00	2,86

Kemudian data berupa kecepatan kapal dan tegangan tali diolah dengan bantuan rumus di bawah ini:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

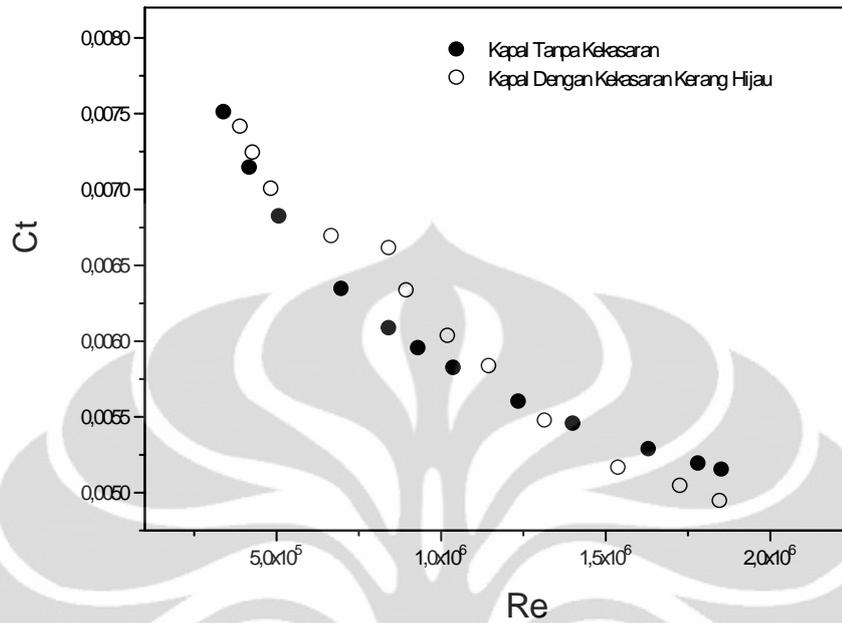
$$R_t = \frac{1}{2} C_i \rho V^2 S$$

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Re	Fn	v s (knot)	Ct	Cf
392027	0,04	3,43	0,0074	0,0058
430054	0,05	3,77	0,0072	0,0057
485759	0,05	4,25	0,0070	0,0054
669197	0,07	5,86	0,0067	0,0050
843642	0,09	7,39	0,0066	0,0048
896696	0,10	7,85	0,0063	0,0048
1022585	0,11	8,96	0,0060	0,0046
1147574	0,12	10,05	0,0058	0,0045
1317524	0,14	11,54	0,0055	0,0043
1540527	0,16	13,49	0,0052	0,0042
1728461	0,18	15,14	0,0050	0,0041
1848954	0,20	16,19	0,0049	0,0041

Kemudian hasil grafiknya dibandingkan dengan kapal tanpa kerang sebagai berikut:



Gambar 4.2 Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang hijau dan tanpa penempelan kerang

4.2.3 Data Uji Tarik Kapal Dengan Penempelan Kerang Tahu

Data yang dihasilkan pada percobaan dengan penempelan kerang hijau adalah sebagai berikut:

v model (m/s)	Rt (kg)
0,21	0,20
0,27	0,29
0,31	0,39
0,36	0,50
0,48	0,88
0,41	0,64

0,51	0,93
0,55	1,04
0,62	1,29
0,74	1,82
0,85	2,25
0,98	3,00

Kemudian data berupa kecepatan kapal dan tegangan tali diolah dengan bantuan rumus di bawah ini:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

$$R_t = \frac{1}{2} C_t \rho V^2 S$$

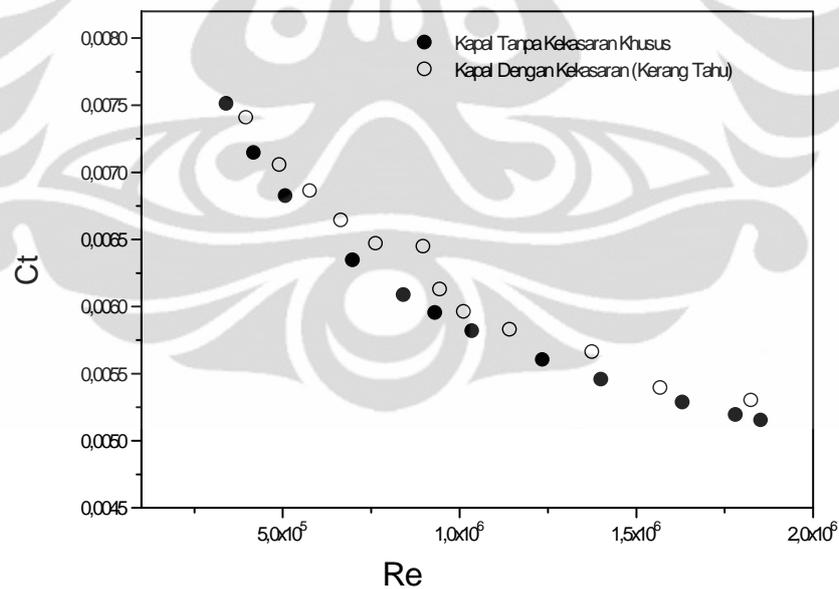
$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Re	Fn	v s (knot)	Ct	Cf
397992	0,04	3,49	0,0074	0,0058
492555	0,05	4,31	0,0071	0,0057
579172	0,06	5,07	0,0069	0,0054
666583	0,07	5,84	0,0066	0,0050

899414	0,10	7,88	0,0064	0,0048
765119	0,08	6,70	0,0065	0,0048
946299	0,10	8,29	0,0061	0,0046
1013844	0,11	8,88	0,0060	0,0045
1144166	0,12	10,02	0,0058	0,0043
1376997	0,15	12,06	0,0057	0,0042
1570096	0,17	13,75	0,0054	0,0041
1826767	0,19	16,00	0,0053	0,0041

Kemudian hasil grafiknya dibandingkan dengan kapal tanpa kerang sebagai berikut:



Gambar 4.3 Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang tahu dan tanpa penempelan kerang

4.2.4 Data Uji Tarik Kapal Dengan Penempelan Kerang Dara

Data yang dihasilkan pada percobaan dengan penempelan kerang hijau adalah sebagai berikut:

v model (m/s)	Rt (kg)
0,22	0,22
0,26	0,28
0,28	0,32
0,34	0,46
0,44	0,72
0,41	0,62
0,53	1,02
0,57	1,14
0,63	1,35
0,73	1,74
0,82	2,13
0,93	2,71

Kemudian data berupa kecepatan kapal dan tegangan tali diolah dengan bantuan rumus di bawah ini:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Universitas Indonesia

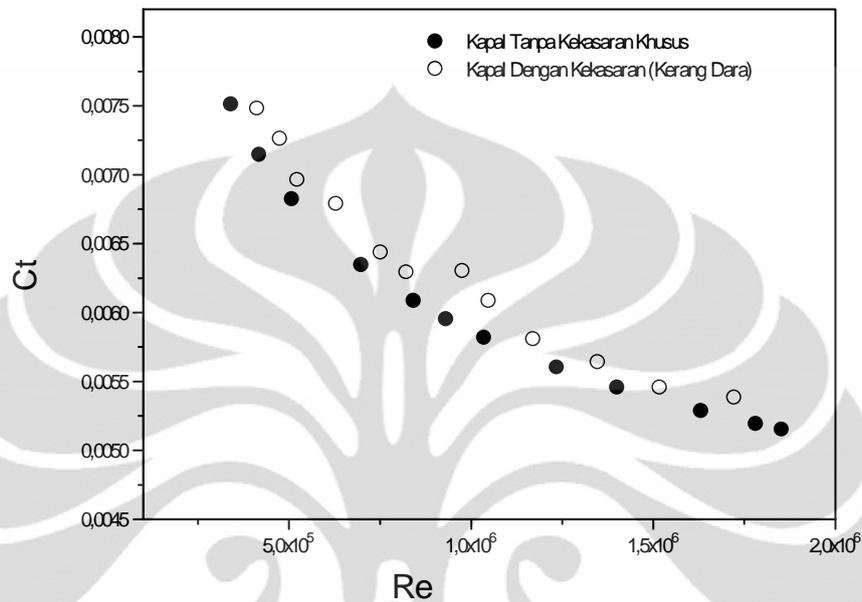
$$R_t = \frac{1}{2} C_t \rho V^2 S$$

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Re	Fn	v s (knot)	Ct	Cf
413885	0,04	3,62	0,0075	0,0058
476662	0,05	4,17	0,0073	0,0057
524341	0,06	4,59	0,0070	0,0054
630824	0,07	5,52	0,0068	0,0050
823923	0,09	7,22	0,0063	0,0048
753199	0,08	6,60	0,0064	0,0048
978084	0,10	8,57	0,0063	0,0046
1049603	0,11	9,19	0,0061	0,0045
1171978	0,12	10,26	0,0058	0,0043
1349184	0,14	11,82	0,0056	0,0042
1519239	0,16	13,31	0,0055	0,0041
1724258	0,18	15,10	0,0054	0,0041

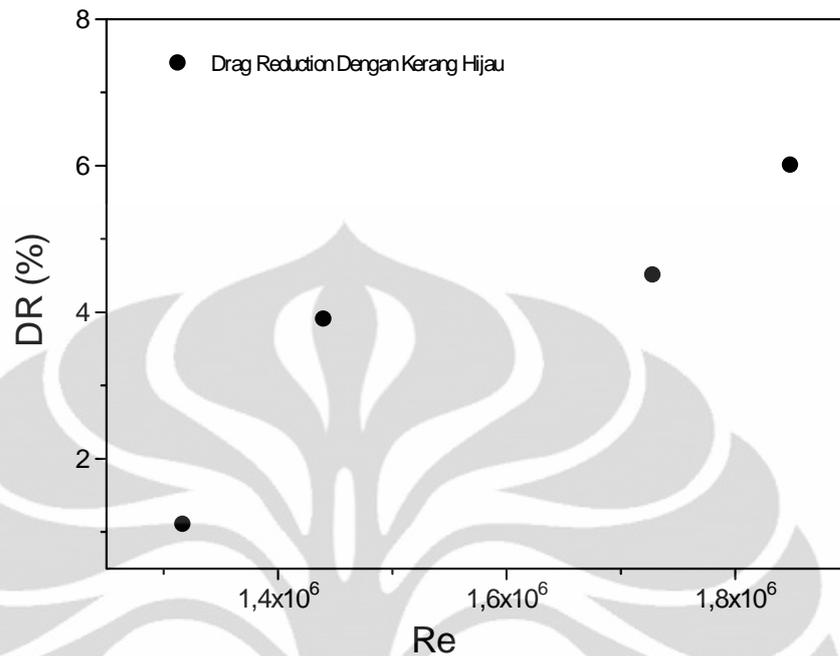
Kemudian hasil grafiknya dibandingkan dengan kapal tanpa kerang sebagai berikut:



Gambar 4.4 Hubungan C_t dengan Re pada kapal dengan penempelan kerang dara dan tanpa penempelan kerang

4.2.5 Nilai Drag Reduction Pada Kapal Dengan Penempelan Kerang

Nilai hambatan total untuk kapal dengan penempelan kerang ternyata lebih besar dari kapal tanpa penempelan. Namun, untuk penempelan kerang hijau terjadi pengurangan koefisien hambatan dibandingkan kapal tanpa penempelan. Hasil grafik drag reduction untuk kerang hijau adalah sebagai berikut:

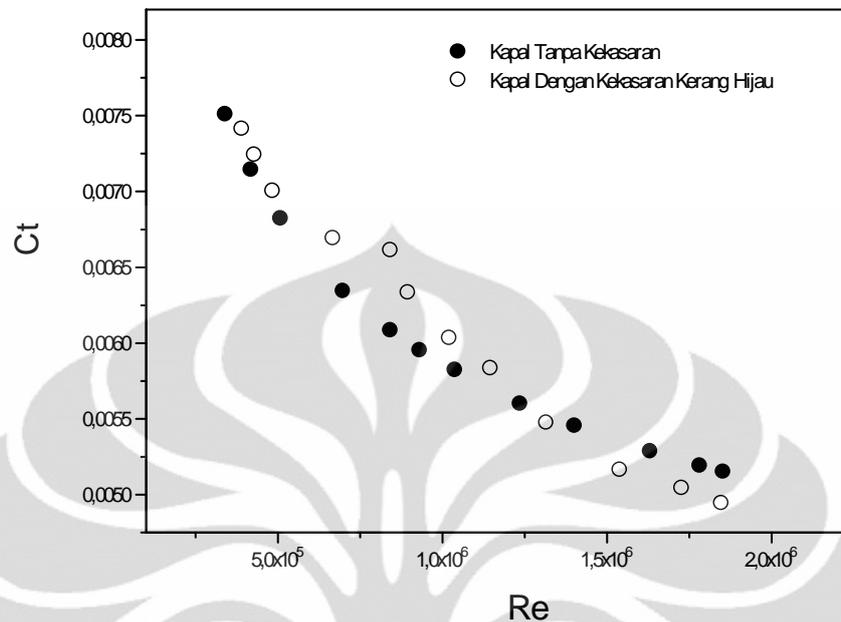


Gambar 4.5 Drag reduction untuk kapal dengan penempelan kerang hijau

4.3 Analisis Data

Dari pengolahan data di atas dapat dianalisis sebagai berikut:

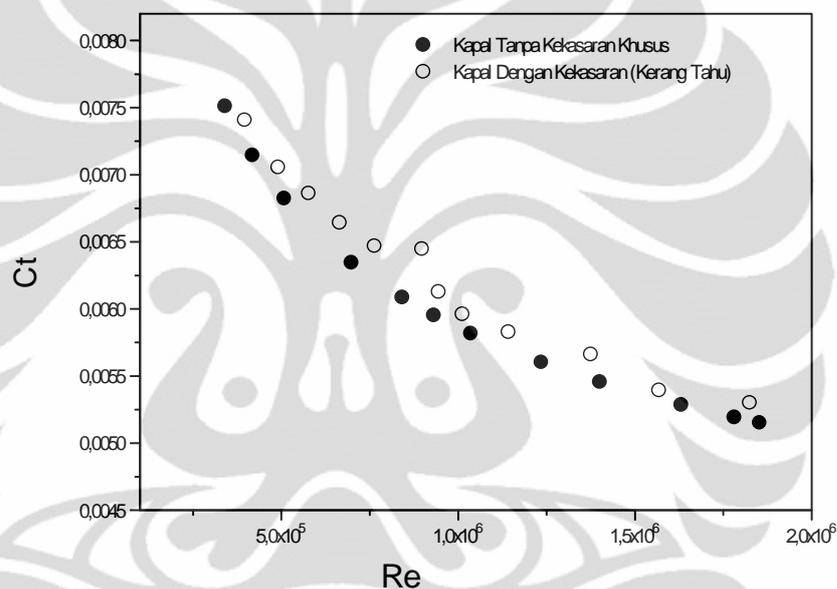
Penempelan kerang pada lambung kapal ternyata berpengaruh terhadap dua hal. Pertama yaitu berpengaruh terhadap kecepatan transisi dari aliran laminar ke aliran turbulenta. Ke dua yaitu berpengaruh terhadap nilai koefisien hambatan total dari kapal model. Kekasaran permukaan yang dibuat khusus memiliki pengaruh yang cukup jelas. Di bawah ini akan dijelaskan pengaruh tersebut.



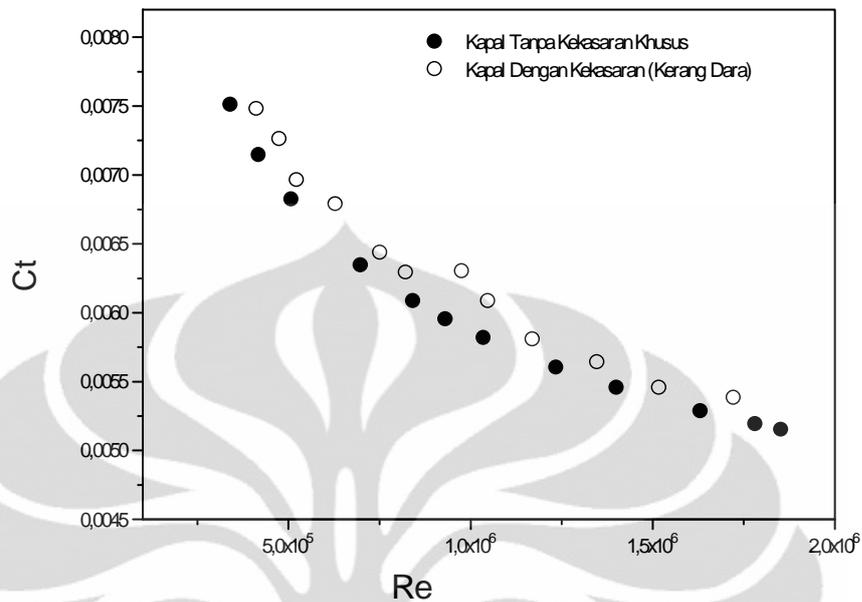
Gambar 4.6 Ct untuk kapal dengan penempelan kerang hijau

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara koefisien hambatan total dengan bilangan Reynolds. Semakin tinggi bilangan Reynolds maka semakin kecil nilai koefisien hambatan totalnya. Pada daerah laminar (untuk aliran luar normalnya pada daerah $Re < 5 \times 10^5$) terlihat bahwa penambahan kerang hijau tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai koefisien hambatan total yang terjadi. Koefisien hambatan total pada daerah laminar hampir sama dengan nilai hambatan total pada kapal tanpa penempelan. Namun, pada nilai bilangan Reynolds sekitar $1,3 \times 10^6$ nilai koefisien hambatan total mengalami penurunan hingga lebih kecil dari kapal tanpa penempelan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi drag reduction pada penggunaan kerang hijau untuk daerah turbulente dengan nilai bilangan Reynolds tertentu. Jika kita tinjau, kapal tanker tersebut beroperasi pada kecepatan dinas sekitar 14 knot dimana pada kecepatan tersebut memiliki nilai bilangan Reynolds sebesar $1,6 \times 10^6$. Artinya pada kecepatan dinas, kapal tanker dengan penempelan kerang hijau cukup efektif karena terjadi pengurangan koefisien hambatan total.

Disamping terjadi pengurangan hambatan, hal lain yang menarik untuk diteliti yaitu terjadi transisi antara aliran laminar dan turbulent yang cukup terlihat. Hal ini dibuktikan dengan penurunan nilai hambatan total tidak proporsional. Dimana pada kapal tanpa penempelan kerang tidak mengalami masa transisi yang terlihat jelas. Pada kapal dengan penempelan kerang hijau, terlihat nilai transisi dari laminar ke turbulent berada pada Reynolds number sekitar $5,2 \times 10^6$. Kecepatan transisi inilah yang berbeda-beda antara kerang yang satu dengan kerang yang lainnya.



Gambar 4.7 C_t untuk kapal dengan penempelan kerang tahu



Gambar 4.8 Ct untuk kapal dengan penempelan kerang dara

Gambar 4.7 dan 4.8 memperlihatkan hubungan nilai koefisien hambatan total dengan bilangan Reynolds. Gambar 4.7 merupakan grafik pada kapal dengan penempelan kerang tahu, sedangkan gambar 4.8 merupakan grafik pada kapal dengan penempelan kerang dara. Pada aliran laminar, ketiga data menunjukkan hal yang sama yaitu bahwa pengaruh penempelan kerang tidak terlalu signifikan terhadap nilai koefisien hambatan totalnya. Nilai koefisien hambatan total hampir sama dengan nilai koefisien hambatan total kapal tanpa penempelan.

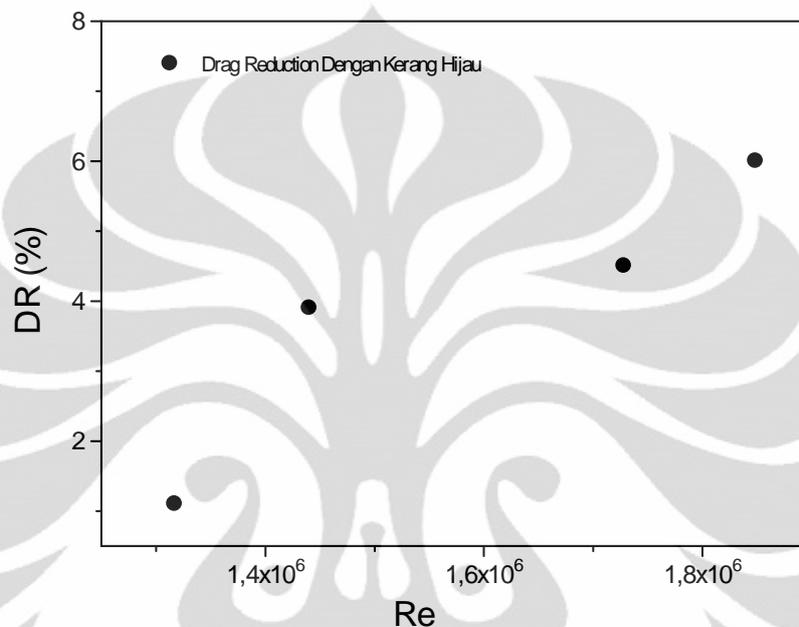
Hal yang menarik untuk ditinjau yaitu bahwa pada kerang tahu dan kerang dara tidak terjadi drag reduction seperti pada kerang hijau. Meskipun bilangan Reynolds menunjukkan pada aliran turbulente, nilai koefisien hambatan total pada kapal dengan kerang tahu dan kerang dara tidak pernah lebih rendah dari kapal tanpa penempelan. Nilai koefisien hambatan total selalu lebih tinggi dari kapal tanpa penempelan.

Disamping itu, hal yang juga menarik bahwa pengaruh kekasaran khusus permukaan ternyata lebih kepada cepat tidaknya kapal tersebut mengalami masa transisi aliran dari laminar ke turbulente. Untuk kerang hijau mengalami masa transisi yang

Universitas Indonesia

paling cepat kemudian diikuti oleh kerang tahu dan yang terakhir adalah kerang dara. Hal ini disebabkan karena bentuk permukaan masing-masing kerang berbeda.

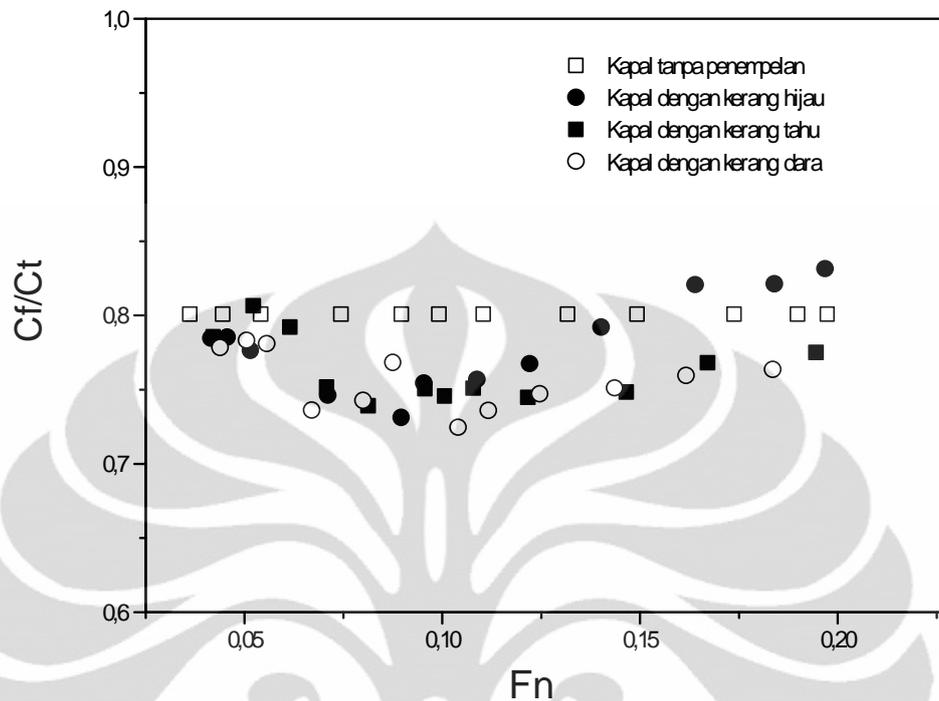
Nilai pengurangan hambatan yang terjadi pada kapal dengan penempelan kerang hijau adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Ct DR yang terjadi

Gambar 4.9 memperlihatkan nilai drag reduction pada kapal dengan penempelan kerang hijau. Dari grafik terlihat bahwa pada nilai bilangan Reynolds sekitar $1,6 \times 10^6$ terjadi pengurangan hambatan sebesar 4,2 %. Hal ini cukup masuk akal karena memang metode pengurangan hambatan dengan pasif kontrol terutama dengan kekasaran khusus memiliki tingkat keberhasilan hingga menurunkan hambatan maksimum 8%. Semakin besar bilangan Reynolds semakin besar pula nilai drag reduction yang terjadi. Namun, hal ini tidak bisa dilakukan mengingat kecepatan kapal tanker pada umumnya pada 14 knot. Jika melebihi kecepatan tersebut, penggunaan bahan bakar sangat tidak ekonomis.

Perbandingan nilai koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek pada ke empat variasi kapal disajikan pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.10 Rasio C_f/C_t

Gambar 4.10 memperlihatkan rasio koefisien hambatan gesek dengan hambatan total. Terlihat bahwa pada kapal tanpa penempelan, komponen hambatan gesek sekiytar 20% dari hambatan total. Hal ini sesuai dengan literatur bahwa komponen hambatan gesek untuk kapal dengan bentuk lambugn U dan denga kecepatan rendah memiliki komponen hambatan gesek sekitar 70-80%. Namun, pada kapal dengan penempelan kerang, nilai rasio sedikit berubah. Nilai koefisien gesek mengalami penambahan meskipun tidak terlalu signifikan. Hanya pada kerang hijau yang memiliki rasio kurang dari 20% untuk bilangan reynolds tertentu.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil pebelitian yang dilakukan, penulis dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan khusus pada lambung kapal model berpengaruh terhadap nilai koefisien hambatan total dan kecepatan transisi aliran laminer – turbulent.
2. Nilai koefisien hamabatan total pada daerah laminer hampir sama baik pada kapal tanpa penempelan maupun untuk penempelan semua variasi kerang.
3. Pada penempelan kerang hijau, dengan area 20% Lpp dari haluan kapal mendapatkan pengurangan hambatan (drag reduction) sebesar 4,2% pada bilangan Reynolds $1,6 \times 10^6$ yang jika dikonversikan ke kecepatan sebenarnya kapal adalah 14 knot.
4. Penempelan kerang tahu dan kerang dara tidak menyebabkan drag reduction.
5. Kecepatan aliran transisi dengan penempelan kerang dimulai pada kerang hijau yaitu sekitar $5,3 \times 10^5$ dan diikuti oleh kerang tahu dan kerang dara.

5.2 SARAN

Berikut ini saran dari Penulis:

1. Agar mendapatkan data yang mendekati kapal sebenarnya, disarankan menggunakan towing tank yang proporsional untuk melakukan pengujian tarik.
2. Variasi luasan penempelan kerang seharusnya dilakukan untuk mengetahui efek luasan kerang.
3. Penggunaan kekasaran khusus jenis lainnya, misalnya memperbanyak variasi kerang, menambah benda yang memiliki kekasaran khusus lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Sv. Aa Harvald. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Surabaya. Airlangga University Press. 1984

Harald, Poehls. *Lecture On Ship Design & Ship Theory*. University of Hanouer.

Sastrodiwongso, Teguh. *Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak*. Jakarta. ImarE. 2005

Canham, H.J.S., Cathchpole, J.P., and Long, R.F., “*Boundary Layer Additives to Reduces Ship Resistance.*”

Talahatu. Marcus .A. *Teori Merancang Kapal*. Jakarta. Universitas Indonesia. 1985.

White, Frank. M. *Mekanika Fluida Edisi Kedua Jilid 1*. Jakarta. Erlangga. 1994.

Tobing, Fauzi Cokie Lumban. *Uji Tarik Model Kapal Dengan Variasi Kekasaran Kulit Lambung*. Jakarta. Skripsi FT UI. 2006.