



UNIVERSITAS INDONESIA

EFEK PELETAKAN INJEKSI *MICROBUBBLE* TERHADAP
KARAKTERISTIK KAPAL MODEL DEWA RUCI

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RUTH GLORIA

07 06 27 5441

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 : Ruth Gloria

NPM : 0706275441

Tanda Tangan : *Ruth*

Tanggal : 23 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ruth Gloria

NPM : 07 06 27 5441

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Efek Peletakan Injeksi *Microbubble* Terhadap Karakteristik Kapal Model Dewa Ruci

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. M. A. Talahatu, M.T ()

Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D ()

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

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo ()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, atas berkat rahmat dan berkah-Nya, saya 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. Ir. M. A. Talahatu, MT Dr selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof .Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng M.T ,Ir. Sunaryo, Ph.D,Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah bersedia membagi ilmu dan pengalamannya;
3. Orang tua dan keluarga serta sahabat yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
4. Muhammad Baqi dan Gunawan Atmaja yang telah memberikan waktu dan ilmu yang besar sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini;dan

Penulis berharap semoga Tuhan YME 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



Ruth Gloria

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

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

Nama : Ruth Gloria
NPM : 07 06 27 5441
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 Peletakan Injeksi *Microbubble* Terhadap Karakteristik Kapal Model Dewa Ruci”

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 : 23 Juni 2011

Yang menyatakan,



Ruth Gloria

ABSTRAK

Nama : Ruth Gloria
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Efek Peletakan Injeksi *Microbubble* Terhadap Karakteristik Kapal Model Dewa Ruci

Pemanasan Global yang terjadi saat ini mendorong manusia untuk mengatasinya. Pengurangan konsumsi bahan bakar menjadi salah satu cara untuk mengurangi pemanasan global. Kapal adalah salah satu transportasi yang memerlukan bahan bakar ketika beroperasi. Pengurangan hambatan kapal sangat penting untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Metode pengurangan hambatan pada kapal salah satunya adalah penambahan mikro gelembung. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efek peletakan injeksi *microbubble* terhadap karakteristik kapal model dewa ruci dengan berbagai posisi. Variasi letak injeksi mikro gelembung dengan cara menarik kapal model diukur menggunakan strain gauge serta perbandingan model kapal dengan dan tanpa injeksi mikro gelembung ditunjukkan pada grafik sebagai fungsi bilangan Froud , bilangan Reynold terhadap koefisien hambatan dan nilai pengurangan hambatan (drag reduction). Letak injeksi mikro gelembung dibelakang mid ship menghasilkan pengurangan hambatan kapal model yang terbaik yaitu sebesar 5%.

Kata kunci : hambatan kapal, injeksi mikro gelembung, strain gauge

ABSTRACT

Nama : Ruth Gloria
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Effect Of Microbubble Injection On Characteristic Dewa Ruci Ship Model

Global warming is happening right now encourage people to overcome them. Reducing fuel consumption is one of so many solutions to reduce global warming. Ship is one of transportation vehicle that requires transport fuel when operates. resistance reduction on ship is very important to reduce fuel consumption. One of the best method to reduce the resistance on ship is addition of micro-bubbles. The purpose of this study was to determine the effects of micro bubble injection laying on the characteristics of the model ships with a variety of position .Variation of micro-bubble injection location by pulling the ship model was measured using a strain gauge and the comparison of ship models with and without micro-bubble injection is shown on the graph as a function of Froud number , Reynolds number on drag coefficient and the reduction of resistance (drag reduction). The location of micro bubble injection behind the mid-ship is the best location to get effective drag reduction for 5%

Keywords: resistance reduction, micro-bubble injection, strain gauge

DAFTAR ISI

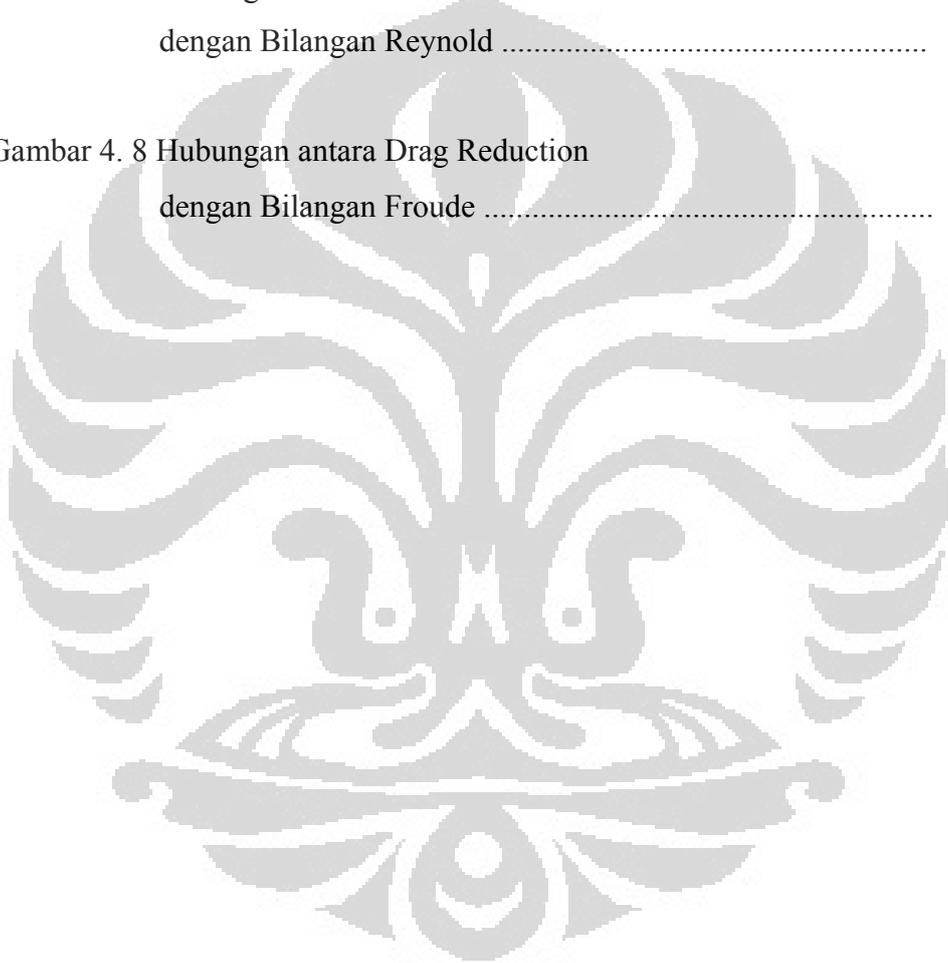
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Tahanan Kapal	7
2.2 Tahanan Gesek	9
2.3 Koefisien Hambatan Gesek Dan Hambatan Fisik.....	11
2.4 Lapisan Batas	13
2.5 Bilangan Reynold	14
2.6 Bilangan Froude	14

2.7 Kecepatan	15
2.8 Drag Reduction	15
2.9 Microbubble Generator (MBG) dan Prinsip Kerja MBG Tipe Spherical Ball In Flowing Water.....	16
BAB 3 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN	
LANDASAN TEORI	17
3.1 Spesifikasi Alat	17
3.1.1 Model Kapal	17
3.1.2 Alat Penarik Model Kapal	18
3.1.3 Kompresor	20
3.1.4 AC voltage regulator	20
3.1.5 Strain Gauge	21
3.1.6 Bola Karet	22
3.1.7 Beban	22
3.1.8 Digital Camera	22
3.2 Prosedur Uji Tarik	23
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA	26
4.1 Metoda Pengambilan Data Uji Tarik	26
4.2 Pengambilan Dan Pengolahan Data Uji Tarik	26
4.3 Pengolahan Data Analisa Data Uji Tarik	27
4.1.1 Muatan Full Loaded (Muatan I)	27
4.1.2 Muatan 75 %Loaded (Muatan II)	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen-komponen terhadap kapal	7
Gambar 2. 2 Metode pengurangan konsumsi bahan bakar	7
Gambar 2. 3 Gaya gesek fluida melalui benda	8
Gambar 2. 4 Aliran Di antara Pelat Sejajar	9
Gambar 2. 5 Lapisan Batas disepanjang permukaan bidang	13
Gambar 2. 6 Pipa Microbubble	16
Gambar 3. 1 Sketsa Pengujian Uji Tarik	17
Gambar 3. 2 Kapal Model	18
Gambar 3. 3 Alat Penarik Model Kapal	18
Gambar 3. 4 Kompresor udara	20
Gambar 3. 5 AC Voltage Regulator	20
Gambar 3. 6 Strain Gauge	21
Gambar 3. 7 Bola Karet	21
Gambar 3. 8 Kamera digital	22
Gambar 3. 9 Sketsa Peletakkan Injeksi Microbubble	23
Gambar 4. 1 Grafik antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	29
Gambar 4. 2 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	30
Gambar 4. 3 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold	32
Gambar 4. 4 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude	33

Gambar 4. 5 Grafik antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	35
Gambar 4. 6 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	36
Gambar 4. 7 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold	38
Gambar 4. 8 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude	39



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	28
Tabel 4. 2 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	30
Tabel 4. 3 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold	31
Tabel 4. 4 Nilai antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude	33
Tabel 4. 5 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	34
Tabel 4. 6 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude	36
Tabel 4. 7 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold	37
Tabel 4. 8 Nilai antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude	39

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
R_t	Hambatan Kapal Model	Kg
V	Kecepatan Kapal	m/s
S	Permukaan Basah	m^2
C_t	Koefisien hambatan total	
C_{t0}	Koefisien Hambatan Total Tanpa Gelembung	
ρ	Massa Jenis	Kg/m^3
Re	Bilangan Reynolds	
Fn	Bilangan Froude	
μ	Viskositas Dinamik	$Kg \cdot s/m^2$
ν	Viskositas Kinematik	Kg^2/s

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 [1].

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. Dua metode yang paling populer adalah penambahan *polymers* dan *micro bubbles* di lambung kapal. Pada penelitian kali ini difokuskan pada pemberian *microbubble*.

Microbubble adalah gelembung dalam fluida cair dengan ukuran diameter dibawah 200 μm [2]. *Microbubble* banyak digunakan juga untuk beberapa aplikasi lain seperti pemisahan minyak dari air, pengolahan limbah, proses pembersihan mikroorganisme pada tiram dan kerang laut, teknologi pemindaian penyakit dan bahkan untuk pembasuhan badan.

Microbubble dapat dihasilkan dengan beberapa metoda dengan karakteristik yang berbeda-beda. Metoda tersebut antara lain dengan *elektrolityc microbubble generator porous plate (PP)*, *ventury tube type bubble generator*, dan *spherical body in a flowing water tube*. Peneliti yang pertama kali melakukan penelitian *microbubble* ini adalah McCormik dan Bhattacharyya[3] pada tahun 1973 dengan menggunakan elektrolisis kawat tembaga . Metode ini dinilai sebagai

metode yang memiliki efisiensi energi tertinggi dan konstruksi yang lebih sederhana dari teknik-teknik lainnya.

Yashiki Kodama[4] dan kawan-kawan melakukan penelitian *flat plate ship* di *towing tank*, dengan menggunakan *microbubble* diperoleh pengurangan *drag* sebesar 23 % pada kecepatan 7 m/s. Steven.L. Ceccio [5] dan kawan-kawan pada tahun 2006 berhasil membandingkan hasil yang diperoleh oleh Ferrante dan Elghobashi serta Xu dengan menggunakan *Microbubble* dapat mencapai pengurangan *drag* sebesar 80% dan menyimpulkan bahwa *microbubble* yang berukuran kecil sangat efektif.

Aris Kurniawan pada tahun 2008 meneliti tentang pengaruh *microbubble* terhadap *drag reduction* pada model kapal yang menyatakan bahwa semakin luas daerah yang menghasilkan *microbubble* semakin besar pula *drag reduction* yang dihasilkan dengan menggunakan elektrolisis [6].

Kato [7] pada tahun 1998 menjelaskan bahwa *microbubble* dapat mengurangi hambatan kapal hingga 80% pada kapal. Namun, energi untuk pasokan udara menjadi besar terutama ketika udara yang diberikan kepada daerah dengan tekanan statis tinggi, seperti bagian bawah sebuah kapal besar.

Martriadhi Laksana pada tahun 2008 melakukan penelitian dengan menguji *Microbubble generator sperical body in a flowing water tube* yang dapat menghasilkan *microbubble* dengan ukuran terkecil yaitu sebesar $0,086 \mu\text{m}$ ($< 200 \mu\text{m}$) dimana ukuran diameter gelembung *microbubble* ini dipengaruhi oleh nilai bilangan Re, semakin besar nilai bilangan Re maka semakin kecil diameter gelembung yang dihasilkan [8].

Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis menggunakan *Microbubble generator sperical body in a flowing water tube* yang diaplikasikan pada kapal model untuk mengetahui efek peletakan injeksi *microbubble* terhadap karakteristik lambung kapal model Dewa Ruci juga terhadap pengurangan hambatan total (*drag reduction*), dalam penelitian ini digunakan teknik *Uji Tarik Model Kapal*.

1.2 Perumusan Masalah

Dari pemaparan masalah di atas maka permasalahan yang dapat diambil :

- a. Bagaimana pengaruh efek peletakan injeksi *microbubble* terhadap pengurangan hambatan total?
- b. Seberapa besar perbedaan nilai tahanan total pada perbedaan draft kapal ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek peletakan injeksi *microbubble* terhadap karakteristik kapal model dewa Ruci dengan berbagai posisi.

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 :

1. Kapal model yang ditarik adalah kapal berjenis “Dewa Ruci” skala 1:25 dengan dimensi:

LPP	=	2285 mm
B	=	372,4 mm
T	=	178,36 mm
Cb	=	0,56

Kapal merupakan kapal model yang sudah ada di laboratorium

2. Motor penarik menggunakan motor listrik dengan rpm 1400 yang dipasang inverter, dilengkapi dengan dudukan, tali, dan gulungan penarik berdiameter 12 cm
3. Kolam percobaan uji tarik bukanlah kolam percobaan towing tank yang standar dan baku, tetapi menggunakan kolam renang umum dengan L : 50m, B : 20 m, D : 2 m
4. Variasi kecepatan kapal model dengan merubah voltage motor.
5. Variasi peletakan posisi *microbubble* pada kapal model
6. Variasi beban pada kapal model (*75% loaded* dan *full loaded*)
7. Analisa yang digunakan hanya sebatas membandingkan perubahan gaya tarik dan waktu untuk setiap variasi

8. Pengukuran gaya tarik yang dipakai adalah *strain gauge* dengan kekuatan tarik maksimum hingga 20 Kg dan skala terkecil adalah 200 gr.

9. Pada penelitian ini penulis tidak menghitung besarnya gelembung mikro yang digunakan.

1.5 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 tingi draft kapal model. Setelah data-data itu dikumpulkan maka dianalisa dan dipresentasikan dalam grafik untuk diambil kesimpulan. Metode pengumpulan data yang dilakukan meliputi;

1.5.1 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.

1.5.2 Perancangan Alat Uji Penelitian

Perancangan awal untuk alat uji tersebut yaitu perancangan alat uji kapal model yang digunakan variasi peletakan posisi microbubble pada badan kapal dengan variasi beban *75% loaded* dan *full loaded*.

1.5.3 Proses Fabrikasi dan Instalasi

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

1.5.4 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.

1.5.5 Proses Pengambilan dan Pengolahan Data

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

- a. Uji tank model kapal pada keadaan standar (tanpa *microbubble*).
- b. Uji tarik model kapal dengan pemakaian *microbubble*

Variasi kecepatan kapal : 50 V, 75 V, 100 V

Variasi beban : 75% loaded dan full loaded

Variasi peletakan posisi *microbubble* : 5 cm di depan midship (posisi 1), tepat pada midship (posisi 2), dan 5 cm di belakang midship (posisi 3)

Data yang didapat kemudian diolah lagi agar didapat perbandingan *Goya Tarik Total* pada masing - masing variasi.

1.5.6 Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, seluruh data percobaan beserta literatur-literatur pendukung dirangkum dan diformulasikan ke dalam bentuk tulisan, sebagai bentuk laporan hasil penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 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 2 LANDASAN TEORI

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

BAB 3 SET - UP ALAT DAN PENGUJIAN

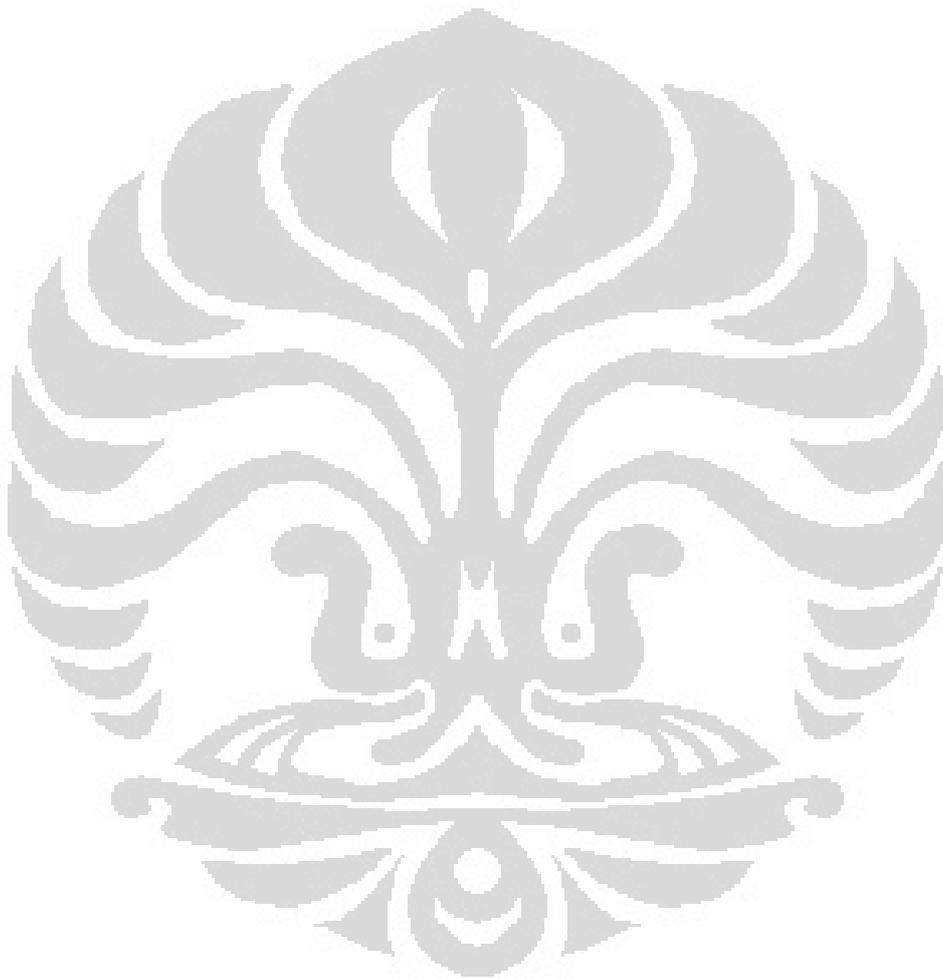
Bab ini merupakan penjelasan tentang rangkaian dan komponen-komponen yang dipakai, bagaimana alat-alat ini bekerja, beserta prosedur pengujian.

BAB 4 METODE PENGAMBILAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA

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

BAB 5 KESIMPULAN

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

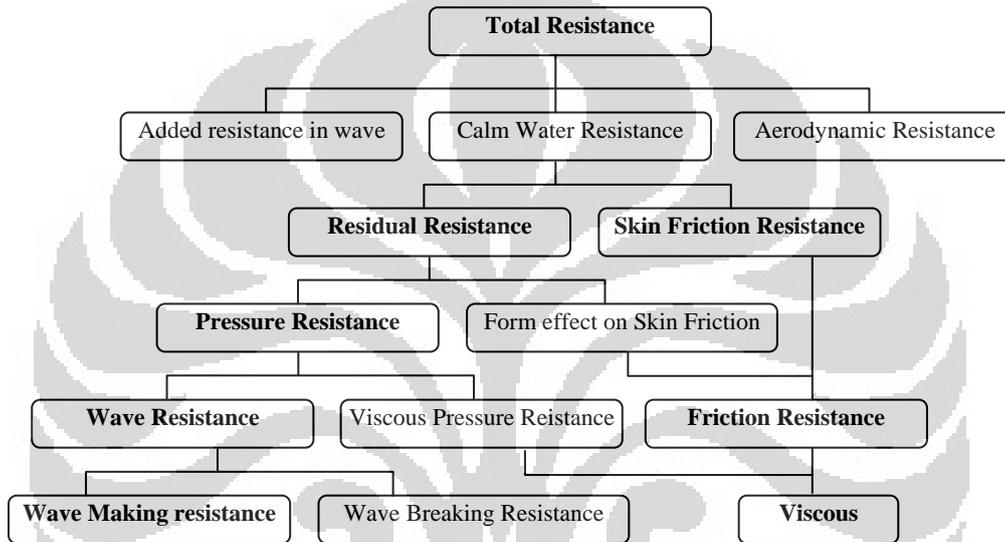


BAB 2

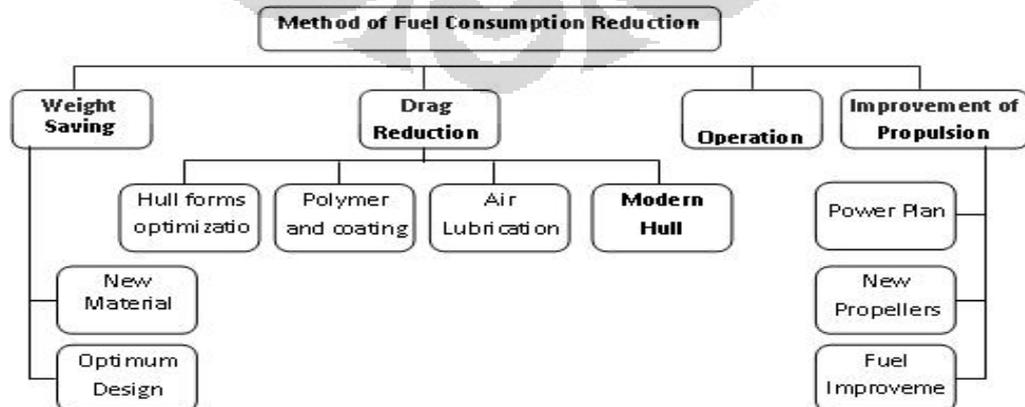
LANDASAN TEORI

2.1 Tahanan Kapal

Tahanan kapal adalah gaya hambat yang dialami oleh sebuah kapal pada saat melaju di atas air pada kecepatan tertentu. Secara garis besar hambatan yang dialami oleh sebuah kapal adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Komponen-komponen terhadap kapal
Hambatan kapal inilah yang mendasari para perancang untuk melakukan banyak penelitian, terutama dalam hubungannya dengan penghematan bahan bakar, Gambar 2.2 adalah seluruh metode yang digunakan untuk melakukan penghematan terhadap bahan bakar.



Gambar 2. 2 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.

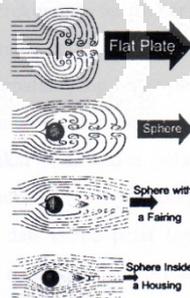
Untuk memudahkan perhitungan, hambatan total (R) dihitung dengan menggunakan Koefisien hambatan C, yang merupakan fungsi dari luas permukaan basah (S), kecepatan kapal (V), dan masa jenis air (p) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

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

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.

$$C_r = C_t - C_f, \dots\dots\dots (2.3)$$

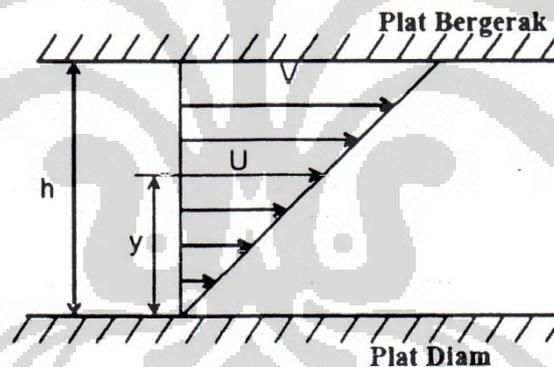


Gambar 2. 3 Gaya gesek fluida melalui benda

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana *Drag* dipengaruhi oleh bentuk dari sebuah benda. Untuk benda plat rata akan mempunyai *drag* yang lebih tinggi bentuk benda yang bulat.

2.2 Tahanan Gesek

Tahanan 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 2.4 di bawah ini :



Gambar 2. 4 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 :

$$U = \frac{y}{h}V \dots\dots\dots (2.4)$$

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 :

$$F = \mu \frac{SV}{h} \dots\dots\dots (2.5)$$

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 :

$$\tau = \mu \frac{\partial U}{\partial y} \dots\dots\dots (2.6)$$

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 :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.7)$$

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.

2.3 Koefisien Hambatan Gesek Dan Hambatan Fisik

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

$$C_F = \frac{R_F}{1/2\rho V^2 \cdot S} \dots\dots\dots (2.8)$$

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 :

$$R_F = f \cdot S \cdot V^n \dots\dots\dots (2.9)$$

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.

dilengkapi oleh *R.E. Froude* menjadi :

$$R_F = F \cdot S \cdot V^{1,825} \dots\dots\dots (2.10)$$

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)* :

$$RF = \frac{\gamma \lambda}{1000} \cdot S \cdot V^{1,825} \dots\dots\dots (2.11)$$

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 :

$$\lambda = 0,1392 + \frac{0,258}{2,86 + L} \dots\dots\dots (2.12)$$

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 :

$$\lambda_t = \lambda(1 + 0,0043\Delta t) \dots\dots\dots (2.13)$$

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

$$C_F = \frac{R_F}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S} = \frac{(\gamma \cdot g \cdot \lambda / 1000) \cdot S \cdot V^{1,825}}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$C_F = 2 \cdot 10^{-3} \lambda \cdot g \cdot V^{-0,175} \dots\dots\dots (2.15)$$

g adalah percepatan grafitasi, 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 :

$$C_F = \frac{0,075}{(\text{Log}R_n - 2)^2} \dots\dots\dots (2.16)$$

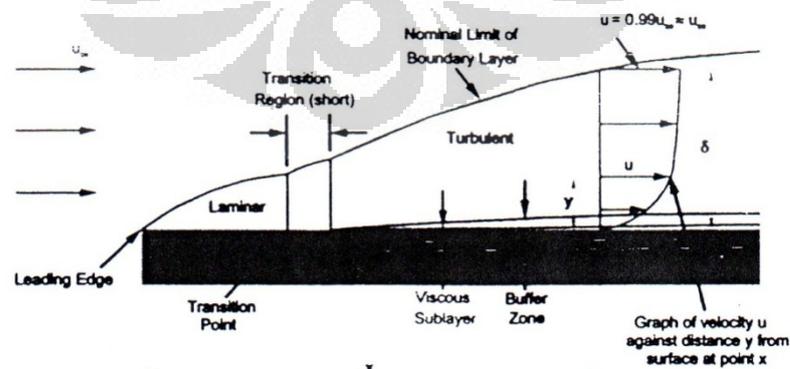
Dimana R_n adalah Reynolds number dengan menggunakan referensi panjang garis air. Setelah mendapat nilai C_F maka persamaan tahanan gesek R_F , dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_F = C_F (1/2 \cdot \rho \cdot V^2) S \dots\dots\dots (2.17)$$

2.4 Lapisan Batas

Lapisan batas diartikan sebagai daerah fluida yang dekat dengan permukaan benda padat. Di dalam daerah ini, gradient lintang (*transverse gradient*) 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 (*frictional belt*).

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 ekuivalen. Dalam praktek, kecepatan ini kadang-kadang diambil sebesar 99% kecepatan aliran tanpa viskositas.



Gambar 2. 5 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.

$$\int_0^{\partial} \rho U (U_m - U) dy = \int_0^x \tau_0 dx = R \dots\dots\dots (2.18)$$

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

$$\tau_0 = \eta \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_0 \dots\dots\dots (2.19)$$

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 :

$$R_F = C_F (1/2 \cdot \rho \cdot V^2) S \dots\dots\dots (2.20)$$

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

2.5 Bilangan Reynold

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.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot l}{\mu} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu} \dots\dots\dots (2.22)$$

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

2.6 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) :

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g.L}} \dots\dots\dots(2.10)$$

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 :

$$C_{RS} = \frac{\rho_S}{\rho_M} . C_{RM} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.7 Kecepatan

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

$$V = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

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

2.8 Drag Reduction

Drag Reduction adalah pengurangan hambatan total yang dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$DR(\%) = \left| \frac{C_t - C_{to}}{C_{to}} \right| x 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

C_t = Koefisien Hambatan total dengan gelembung

C_{t0} = Koefisien Hambatan total tanpagelembung

2.9 Microbubble Generator (Mbg) dan Prinsip Kerja Mbg Tipe Spherical Ball In Flowing Water

Microbubble Generator adalah alat yang dapat menghasilkan gelembung udara dalam aliran air dengan ukuran lebih kecil dari 200 μm . Prinsip kerja dari *microbubble generator* dengan tipe *spherical ball* adalah keberadaan bola pada aliran fluida menyebabkan adanya perbedaan tekanan. Air yang mengalir pada pipa, sesuai dengan persamaan Bernoulli, kecepatannya akan meningkat pada titik tertinggi bola daripada kecepatan aliran pada bagian masuk. Hal ini akan menyebabkan tekanan pada daerah titik tertinggi bola akan lebih rendah dari tekanan atmosfer, sehingga udara dari luar akan terhisap ke dalam *microbubble generator*. Udara yang masuk tersebut akan pecah menjadi *microbubble*. Pada bagian ini diinjeksikan udara dari kompresor sehingga bubble yang terbentuk akan lebih kecil.



Gambar 2. 6 Pipa Microbubble

BAB 3

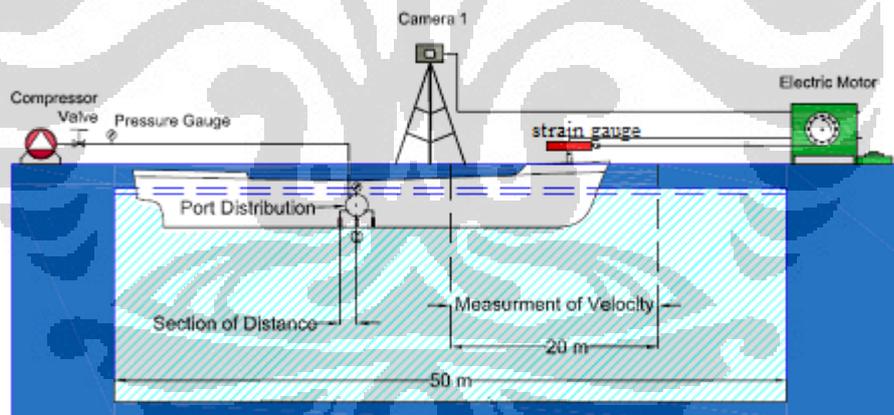
RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

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 kecepatan hingga 6 kali kecepatan dan kompresor yang dihubungkan pada bola karet berfungsi sebagai alat injeksi microbubble.



Gambar 3. 1 Sketsa Pengujian 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 :

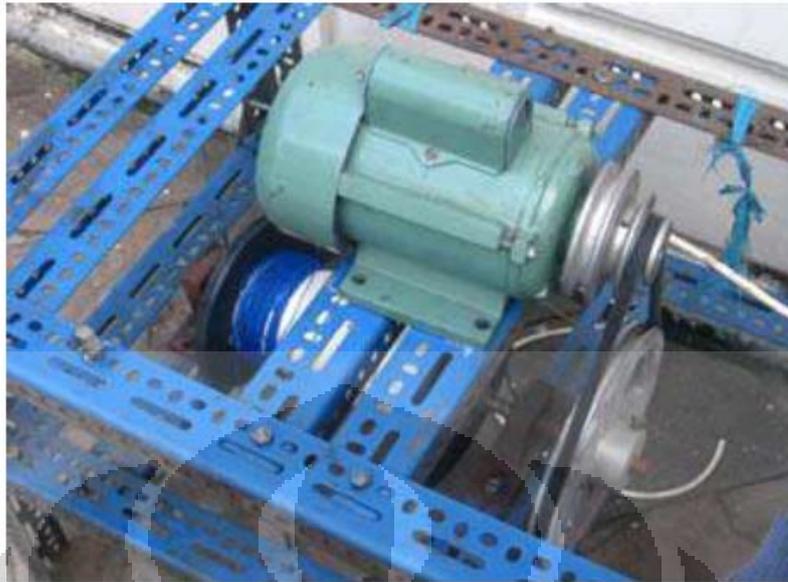
Jenis model kapal : “dewa ruci”
Skala : 1:25
LPP : 2285 mm
B : 372,4 mm
T : 178,36 mm
Displacement : 53,63 Kg



Gambar 3. 2 Kapal Model

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 Kompresor

Kompresor digunakan menyuplai udara pada kapal model dengan *microbubble*. Kompresor ini dihubungkan dengan selang kecil yang terhubung langsung pada kapal model. Kompresor yang digunakan adalah kompresor bertekanan rendah yang biasa digunakan untuk pengecatan.



Gambar 3. 4 Kompresor udara

3.1.4 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. 5 AC Voltage Regulator

3.1.5 Strain Gauge



Gambar 3. 6 Strain Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur gaya tarik kapal model ketika ditarik. Strain Gauge yang digunakan pada percobaan ini memiliki gaya tarik maksimum 20 Kg dengan tingkat ketelitian awal 0.02 Kg dan angka kenaikan

0.01 Kg. Strain Gauge ini diletakan pada bagian depan kapal dan sebagai bagian yang di ikatkan tali penarik.

3.1.6 Bola Karet



Gambar 3. 7 Bola Karet

Bola karet (Port Distribution) ini digunakan sebagai alat pendistribusian dari kompresor untuk peletakan injeksi microbubble, bola ini juga berguna agar microbubble yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan.

3.1.7 Beban

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

3.1.8 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 yang ditarik dengan bantuan software windows media player untuk mengetahui besaran tegangan tarik tiap detik. Adapun spesifikasi teknis digital camera yang digunakan adalah

Merk	: LUMIX Panasonic
Tipe	: DMC-FX10
Total Pixels	: 3.2MP



Gambar 3. 8 Kamera digital

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 *strain gauge*, *strain gauge* tersebut ditempelkan di kapal model dan dihubungkan ke tali penarik. Kompresor yang dihubungkan pada bola karet berfungsi sebagai alat penginjeksi microbubble yang diletakkan pada posisi yang berlawanan dengan posisi alat penarik model kapal. Sewaktu kapal ditarik maka terjadi pergeseran nilai pada *strain gauge*, dari nilai 0 ke nilai tertentu.

Ada 2 jenis variasi percobaan Uji Tarik yang dilakukan yaitu:

1. Kapal model tanpa microbubble
2. Kapal model dengan microbubble

Adapun faktor-faktor variasi yang lain adalah:

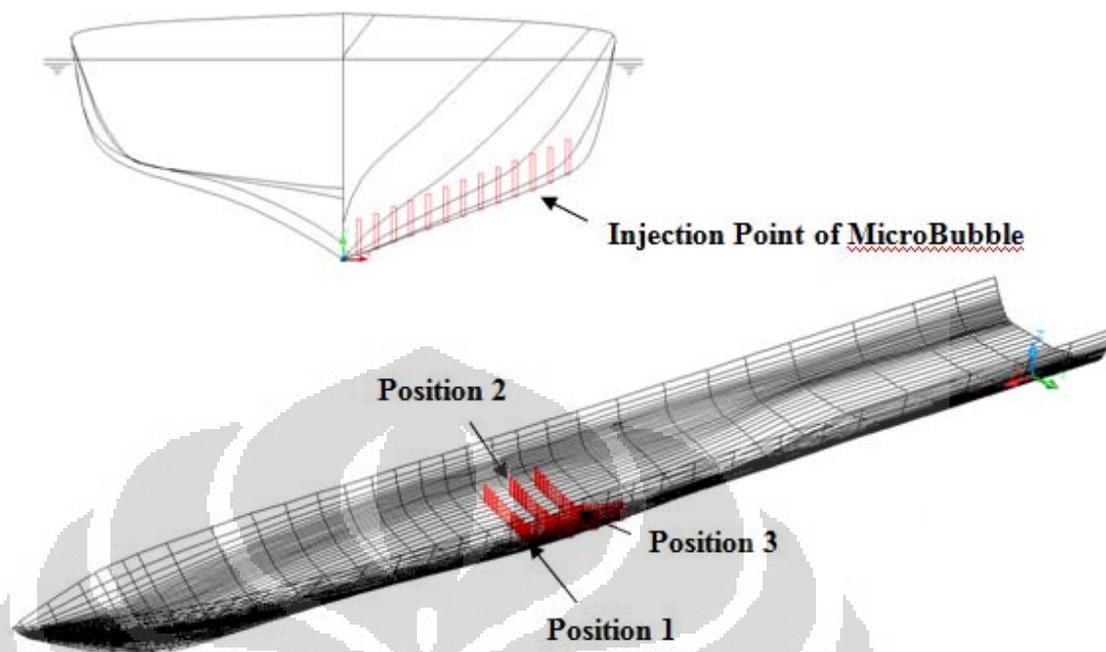
1. Kondisi penempatan letak posisi microbubble 3 tempat, yaitu 5cm di depan midship (posisi 1), tepat pada midship (posisi 2), dan di belakang midship (posisi 3)
2. Kondisi kapal model dengan microbubble dengan perbedaan muatan *full loaded* dan *75%loaded*.
3. Variasi kecepatan kapal, dimana variasi 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

Universitas Indonesia

adalah 4m. Pada saat uji tarik data yang diambil adalah Gaya Tarik (F), dan Waktu (t).

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 *strain gauge* pada *forecastle* kapal model, setelah itu *strain gauge* dihubungkan ke tali penarik.
2. Jarak lintasan percobaan adalah 4 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 *strain 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. Kompresor yang dihubungkan pada bola karet berfungsi sebagai alat penginjeksi microbubble yang diletakkan pada posisi yang berlawanan dengan posisi alat penarik model kapal.
5. Penempelan microbubble dengan 3 posisi yaitu 5 cm di depan midship (posisi 1), tepat pada midship (posisi 2), dan 5 cm di belakang midship (posisi 3) .Berikut ini merupakan sketsa penggambarannya :



Gambar 3. 9 Sketsa Peletakkan Injeksi Microbubble

6. Strain gauge ditempelkan pada anjungan kapal dihubungkan dengan tali penarik yang berasal dari gulungan tali yang nantinya akan diputar oleh motor listrik.
7. Kamera digital ditempatkan pada anjungan kapal sejajar dengan layar strain gauge. Penanda diberikan berupa tulisan keterangan pengujian sesaat kamera mulai merekam. Hal ini dilakukan agar mudah meidentifikasi video pada saat pengeditan di komputer.
8. Pemberian beban batu bata pada ruang muatan kapal model. Besar dan posisi beban disesuaikan dengan variasi muatan yaitu *full loaded* dan *75%loaded*.
9. 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.
10. Posisi kapal model dikondisikan segaris dengan alat penarik sehingga pada saat penarikan kapal model tidak berbelok.
11. Perhitungan waktu tempuh dihitung dengan jarak perhitungan waktu adalah 20 m.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Metoda Pengambilan Data Uji Tarik

Pengambilan data untuk mengetahui perubahan tahanan kapal model yang ditunjukkan *strain gauge* yang mempunyai skala gaya tarik maksimum 20 Kg untuk setiap variasi kecepatan kapal dan variasi beban. Selama pengujian perubahan *strain gauge* dari 0 sampai tegangan tertentu pada jarak lintasan 4m di kolam renang direkam oleh kamera digital sehingga setiap detik perubahan gaya tarik dari *strain gauge* dapat diamati.

4.2 Pengambilan Dan Pengolahan Data Uji Tarik

Pengambilan dan pengolahan data uji tarik dapat dilakukan setelah semua alat selesai di set-up, maka dilakukan pengujian dan pengambilan data 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 = 75 % loaded
 - Kondisi II = full loaded
3. Setiap percobaan menggunakan kondisi kapal model tanpa penggunaan microbubble dan juga menggunakan microbubble pada kapal model. Perubahan dari kondisi kapal model menggunakan microbubble dibagi menjadi 3 posisi yaitu 5cm di depan midship (posisi 1), tepat pada midship (posisi 2), dan 5cm belakang midship (posisi 3) sesuai dengan sketsa pengujian pada bab sebelumnya.
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 strain 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 penggunaan microbubble di 3 variasi posisi.

Sehingga masukan data yang didapat sewaktu pengujian adalah:

1. Gaya Tarik satuan: Kg
2. Waktu yang diukur satuan: detik
3. Kecepatan satuan: m/detik

4.3 Pengolahan Data Analisa Data Uji Tarik

Dengan mengamati video yang direkam pada percobaan, maka didapatkan lah kumpulan dari data – data yang akan diolah. Dari data – data yang didapatkan, kemudian tahap selanjutnya adalah menganalisa data tersebut dalam bentuk grafik. Berikut ini adalah pengolahan data dan analisa pada setiap variasi beban:

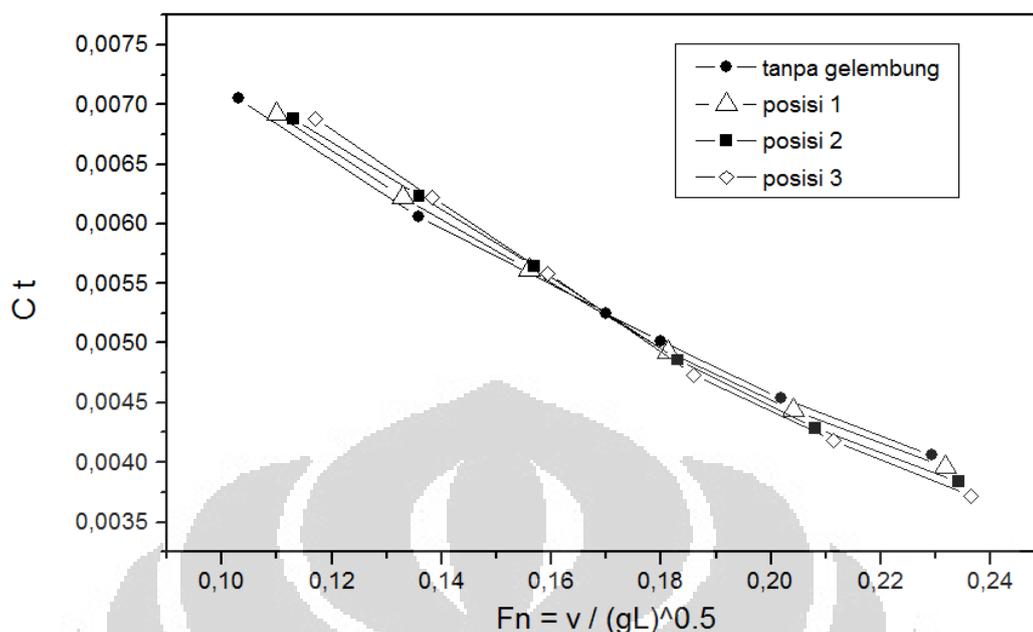
4.3.1 Muatan Full Loaded (Muatan I)

4.3.1.1 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_T dan juga nilai dari F_n seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.1.

Tanpa Gelembung			Posisi 1		
v(m/s)	Ct	Fn	v(m/s)	Ct	Fn
0,481	0,007	0,103	0,481	0,007	0,11
0,533	0,006	0,137	0,533	0,006	0,133
0,612	0,005	0,167	0,612	0,006	0,157
0,73	0,005	0,187	0,73	0,005	0,18
0,869	0,005	0,207	0,869	0,004	0,204
0,97	0,004	0,229	0,97	0,004	0,232
Posisi 2			Posisi 3		
v(m/s)	Ct	Fn	v(m/s)	Ct	Fn
0,511	0,007	0,113	0,537	0,007	0,117
0,56	0,006	0,136	0,582	0,006	0,139
0,616	0,006	0,158	0,629	0,006	0,159
0,736	0,005	0,183	0,747	0,005	0,184
0,884	0,004	0,208	0,906	0,004	0,213
0,988	0,004	0,234	1,006	0,004	0,236

Tabel 4.1 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 1 Grafik antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

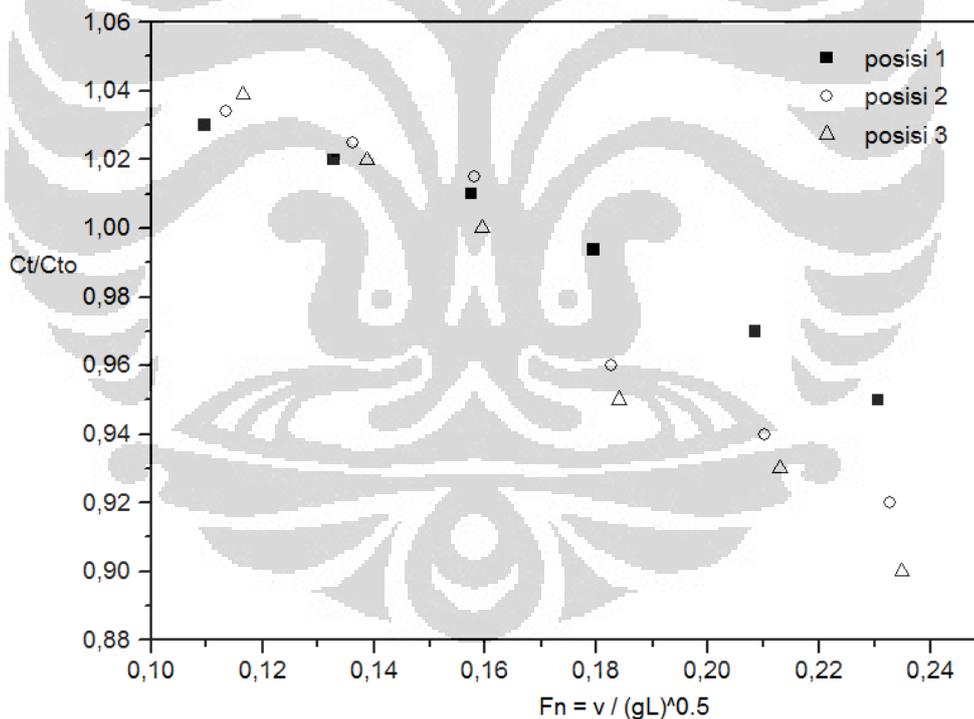
Gambar 4.1 adalah hubungan antara koefisien hambatan total (C_t) dengan bilangan Froude. Dari gambar tersebut diperlihatkan bahwa semakin tinggi nilai bilangan froude maka nilai koefisien hambatan total semakin kecil. Bilangan Froude dipengaruhi oleh kecepatan kapal model yang berubah setiap pengujian uji tarik pada kecepatan yang kita ujikan. Nilai kecepatan sebanding dengan bilangan froude, ini dapat dibuktikan dari persamaan 4.1. Bilangan Froude = 0,19 atau kecepatan kapal model sekitar 9 knot menunjukkan bahwa koefisien hambatan total kapal dengan gelembung mikro lebih kecil dibandingkan tanpa gelembung. Dari 3 variasi penempatan injeksi gelembung didapatkan pada posisi peletakan posisi 3 (5 cm di belakang midship) adalah posisi penempatan yang memiliki koefisien hambatan total paling rendah.

4.3.1.2 Hubungan antara koefisien Hambatan Total pada kapal dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_t/C_{t0} dan juga nilai dari F_n seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.2.

Posisi 1			Posisi 2			Posisi 3		
v(m/s)	Ct/Cto	Fn	v(m/s)	Ct/Cto	Fn	v(m/s)	Ct/Cto	Fn
0,481	1,030	0,110	0,511	1,034	0,113	0,537	1,039	0,117
0,533	1,020	0,133	0,560	1,025	0,136	0,582	1,020	0,139
0,612	1,010	0,157	0,616	1,015	0,158	0,629	1,000	0,159
0,730	0,994	0,179	0,736	0,960	0,183	0,747	0,950	0,184
0,869	0,970	0,208	0,884	0,940	0,210	0,906	0,930	0,213
0,970	0,950	0,230	0,988	0,920	0,233	1,006	0,900	0,235

Tabel 4. 2 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 2 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan antara koefisien hambatan total pada kapal dengan gelembung dibanding dengan kapal tanpa gelembung. Pada grafik ini perlu di ingat jika nilai $Ct/Cto = 1$ maka nilai ini memberikan arti

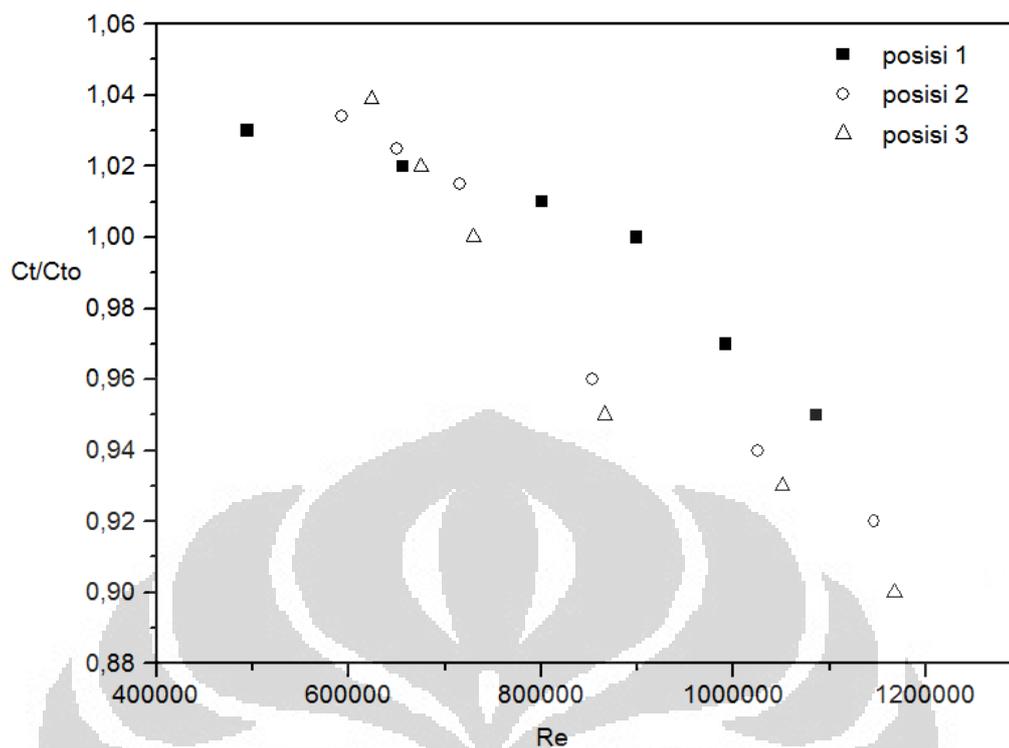
bahwa keadaan seperti ini tidak mengalami perubahan yang signifikan pada kapal yang menggunakan gelembung atau tanpa gelembung. Perubahan disini mengartikan bahwa koefisien hambatan total dengan gelembung memiliki koefisien yang sama dengan koefisien hambatan total tanpa gelembung. Di dalam grafik ini juga memperlihatkan nilai C_t/C_{t0} yang mengalami perubahan misalnya pada sebagai contoh posisi 1 nilai $C_t/C_{t0} = 0,99$ dengan bilangan Froude = 0,18 atau pada kecepatan 0,7 m/s. Jadi dapat dianalisa bahwa setelah $F_n = 0,16$ microbubble dapat berfungsi dengan baik sehingga membuat pengurangan hambatan (drag reduction). Atau dapat dianalisa juga bahwa dari grafik diatas di atas juga terlihat jelas bahwa selisih nilai rasio koefisien hambatan total semakin besar seiring bertambahnya bilangan Froude.

4.3.1.3 Hubungan antara koefisien Hambatan Total pada kapal dengan Bilangan Reynold

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_t/C_{t0} dan juga nilai dari Re seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.3.

Posisi 1		Posisi 2		Posisi 3	
C_t/C_{t0}	Re	C_t/C_{t0}	Re	C_t/C_{t0}	Re
1,03	494995	1,034	593265	1,039	623590
1,02	656843	1,025	649741	1,02	674980
1,01	800841	1,015	715238	1	729633
1	899446	0,96	853670	0,95	866530
0,97	992006	0,94	1025210	0,93	1050833
0,95	1085861	0,92	1146128	0,9	1166953

Tabel 4. 3 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold



Gambar 4. 3 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold

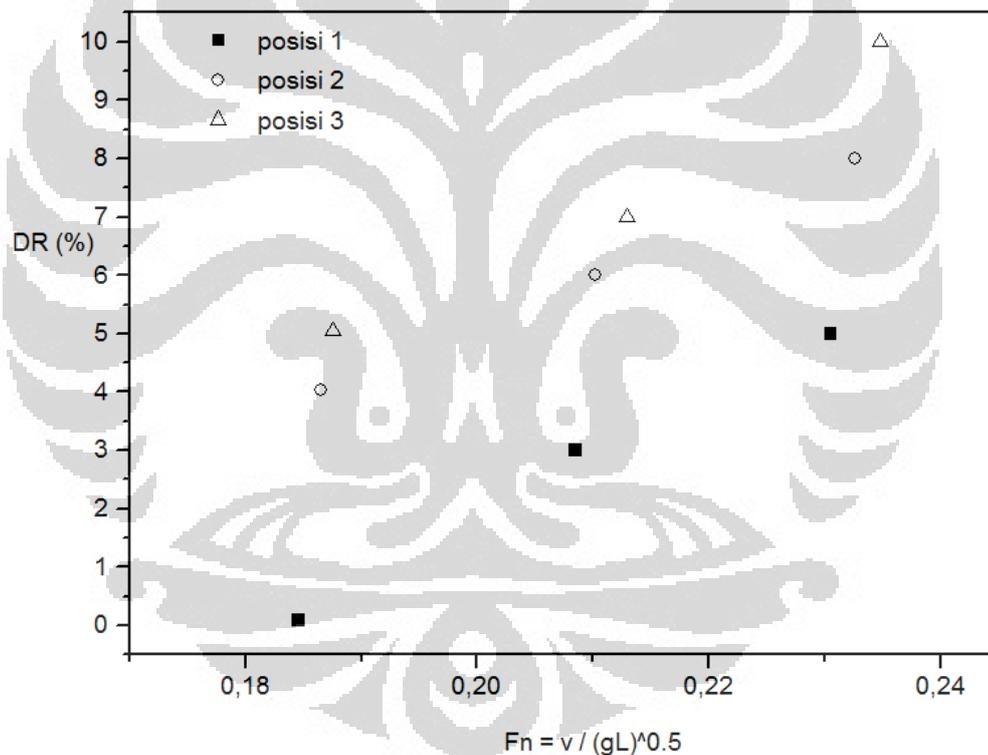
Grafik diatas adalah grafik perbandingan antara koefisien hambatan total pada dengan Bilangan Reynold. Bilangan Reynold berpengaruh pada massa jenis, panjang kapal dan viskositas terlihat pada rumus 4.5. Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa bahwa nilai rasio koefisien hambatan total semakin kecil seiring bertambahnya bilangan Reynold. Ini dibuktikan bahwa pada keadaan nilai $C_t/C_{t0} < 1$ terjadi penambahan bilangan Reynold. Dimana kita tahu bila nilai $C_t/C_{t0} < 1$ berarti penggunaan gelembung pada kapal mengalami suatu pengurangan hambatan total (drag reduction).

4.3.1.4 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari DR dan juga nilai dari F_n seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.4.

Posisi 1		Posisi 2		Posisi 3	
DR(%)	Fn	DR(%)	Fn	DR(%)	Fn
0	0,18202	4	0,18268	5	0,18402
3	0,20845	6	0,2102	7	0,21287
5	0,23045	8	0,23258	10	0,23475

Tabel 4. 4 Nilai antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 4 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude

Gambar 4.4 memperlihatkan besarnya pengurangan hambatan kapal model pada variasi bilangan Froude. Pada grafik ini kita dingatkan bahwa jika nilai $C_t/C_{t0} < 1$ berarti penggunaan gelembung pada kapal mengalami suatu pengurangan hambatan total (drag reduction). Untuk bilangan Froude 0.19 yaitu

Universitas Indonesia

pada kondisi kapal berjalan normal (kecepatan 9 knot) terjadi drag reduction sekitar 5 % dibandingkan kapal model tanpa gelembung udara. Kondisi ini berlaku pada posisi 3 yaitu 5 cm di belakang midship. Untuk posisi pertama dan kedua yaitu pada posisi 1 (5 cm di sebelah depan midship) dan posisi 2 (midship), terjadi *drag reduction* masing-masing sebesar 1 % dan 4 %.

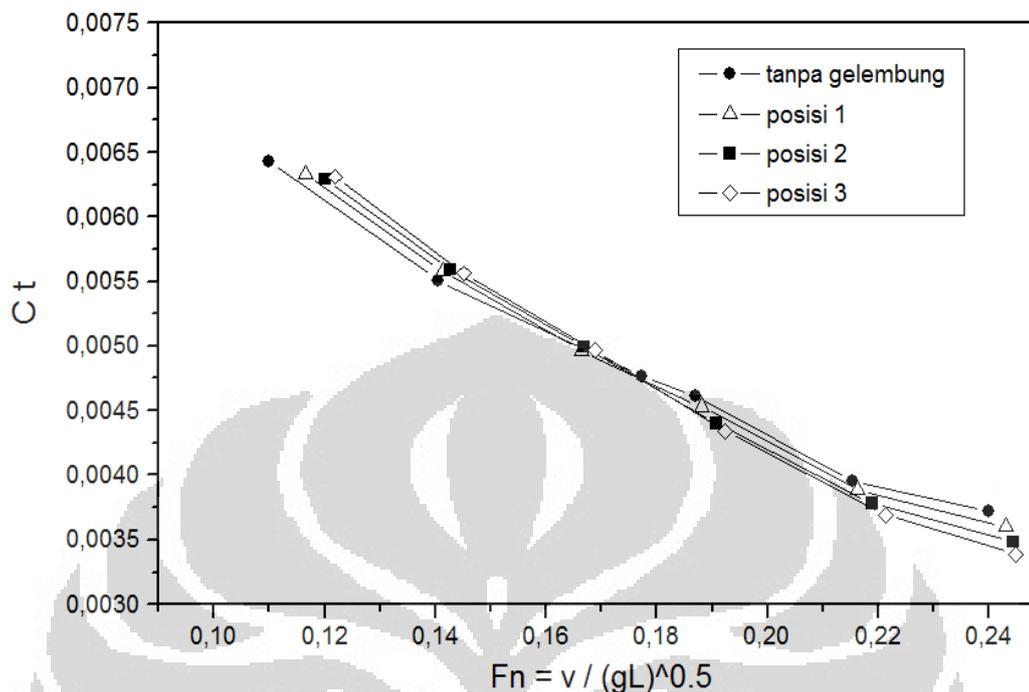
4.3.2 Muatan 75 %Loaded (Muatan II)

4.3.2.1 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_T dan juga nilai dari F_n seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.5.

Tanpa gelembung			Posisi 1		
v(m/s)	C_t	F_n	v(m/s)	C_t	F_n
0,455	0,006	0,11	0,453	0,006	0,117
0,587	0,006	0,14	0,515	0,006	0,141
0,715	0,005	0,173	0,589	0,005	0,166
0,802	0,005	0,19	0,762	0,005	0,188
0,889	0,004	0,218	0,903	0,004	0,216
0,955	0,004	0,24	1,029	0,004	0,243
Posisi 2			Posisi 3		
v(m/s)	C_t	F_n	v(m/s)	C_t	F_n
0,515	0,006	0,12	0,544	0,006	0,122
0,563	0,006	0,143	0,583	0,006	0,145
0,635	0,005	0,167	0,651	0,005	0,169
0,814	0,004	0,193	0,819	0,004	0,192
0,96	0,004	0,221	0,973	0,004	0,221
1,066	0,003	0,244	1,073	0,003	0,245

Tabel 4. 5 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 5 Grafik antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

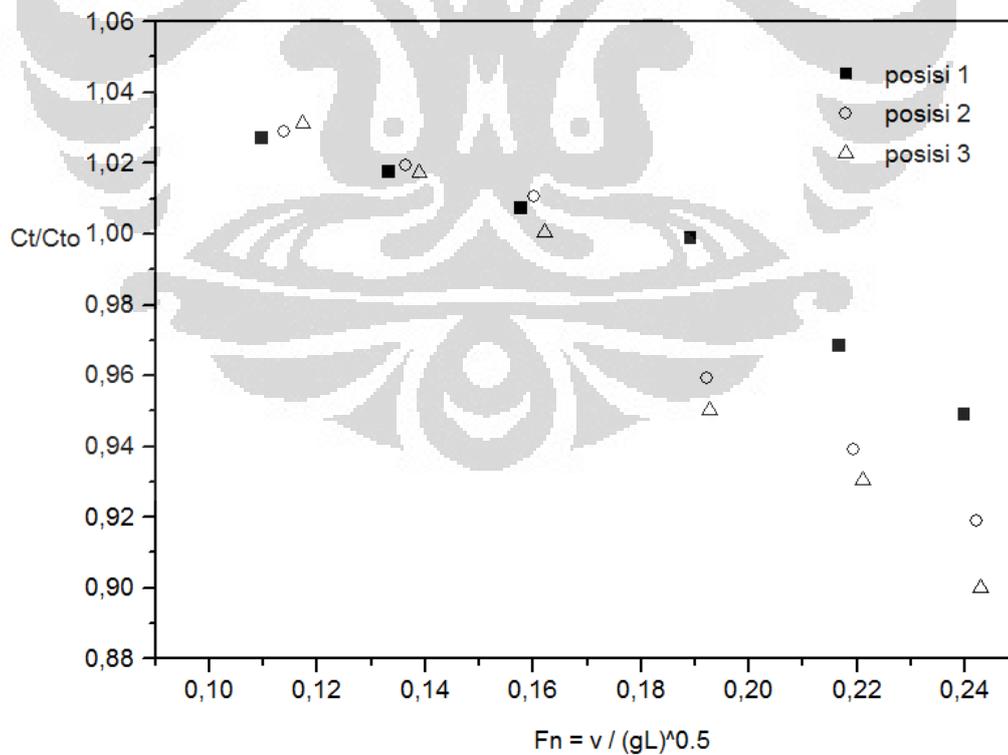
Gambar diatas adalah hubungan antara koefisien hambatan total dengan bilangan froude. Pada muatan 75 % loaded terlihat bahwa nilai bilangan froude akan lebih besar jika dibandingkan dengan muatan full loaded, hal ini disebabkan karena berkurangnya koefisien hambatan total. Dari gambar diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai bilangan froude maka nilai koefisien hambatan total semakin kecil. Kita tahu bahwa Bilangan Froude dipengaruhi oleh kecepatan kapal model yang berubah setiap pengujian uji tarik pada kecepatan yang kita ujikan. Nilai kecepatan sebanding dengan bilangan froude, ini dapat dibuktikan dari persamaan 4.1. Bilangan Froude = 0,18 atau kecepatan kapal model sekitar 8,6 knot menunjukkan bahwa koefisien hambatan total kapal dengan gelembung mikro lebih kecil dibandingkan tanpa gelembung. Dari 3 variasi penempatan injeksi gelembung didapatkan pada posisi peletakan posisi 3 (5 cm di belakang midship) adalah posisi penempatan yang memiliki koefisien hambatan total paling rendah.

4.3.2.2 Hubungan antara koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_d/C_{d0} dan juga nilai dari F_n seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.6.

Posisi 1		Posisi 2		Posisi 3	
C_d/C_{d0}	F_n	C_d/C_{d0}	F_n	C_d/C_{d0}	F_n
1,02705	0,10972	1,02887	0,11386	1,03109	0,1174
1,01755	0,13321	1,01937	0,13652	1,01715	0,13893
1,00724	0,15775	1,01058	0,16024	1,00037	0,16212
0,99885	0,18915	0,95924	0,19216	0,95014	0,19269
0,96843	0,2167	0,93912	0,21941	0,93033	0,22107
0,94903	0,23989	0,91901	0,24207	0,89991	0,2429

Tabel 4. 6 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 6 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Froude

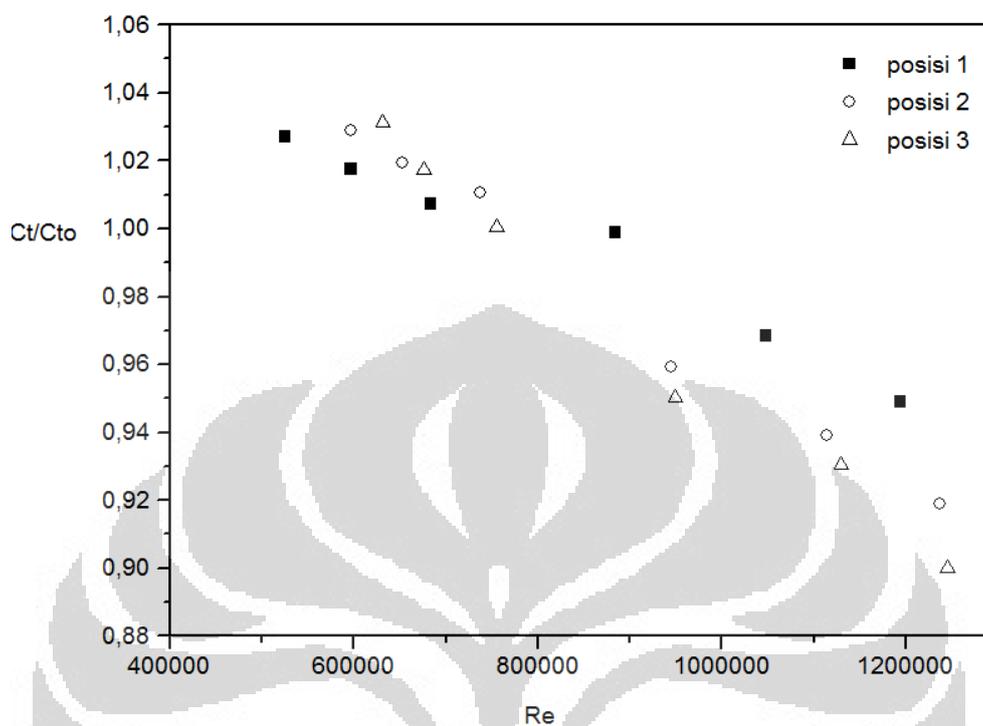
Gambar di atas merupakan grafik rasio hubungan antara koefisien hambatan total dengan bilangan froude. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa meningkatnya kecepatan pada kapal model ditandai dengan meningkatnya bilangan froude akan meningkatkan hambatan total. C_t/C_{t0} pada grafik tersebut adalah pembagian dari koefisien hambatan total dengan gelombang dibagi dengan koefisien hambatan total tanpa gelembung. Efek gelembung mikro sendiri mulai terjadi setelah melewati bilangan froude 0.18, ini menunjukkan terjadi pengurangan hambatan kapal dibuktikan dengan menurunnya nilai rasio C_t/C_{t0} seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Posisi peletakan gelembung mikro juga sangat mempengaruhi rasio C_t/C_{t0} dimana pada posisi ke-3 peletakan gelembung mikro menunjukkan nilai rasio C_t/C_{t0} yang rendah pada posisi ini efek gelembung mikro bekerja secara optimum bila dibanding dengan posisi 1 dan 2.

4.3.1.3 Hubungan antara koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari C_t/C_{t0} dan juga nilai dari Re seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.7.

Posisi 1		Posisi 2		Posisi 3	
C_t/C_{t0}	Re	C_t/C_{t0}	Re	C_t/C_{t0}	Re
1,02705	525129	1,02887	597679,5	1,03109	631651,6
1,01755	597008	1,01937	653292,1	1,01715	676420
1,00724	683761	1,01058	736926,9	1,00037	754968,6
0,99885	884331	0,95924	944646,4	0,95014	949732,6
0,96843	1047954	0,93912	1113595	0,93033	1129526
0,94903	1193728	0,91901	1237200	0,89991	1245166

Tabel 4. 7 Nilai antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold



Gambar 4. 7 Hubungan antara Koefisien Hambatan Total dengan Bilangan Reynold

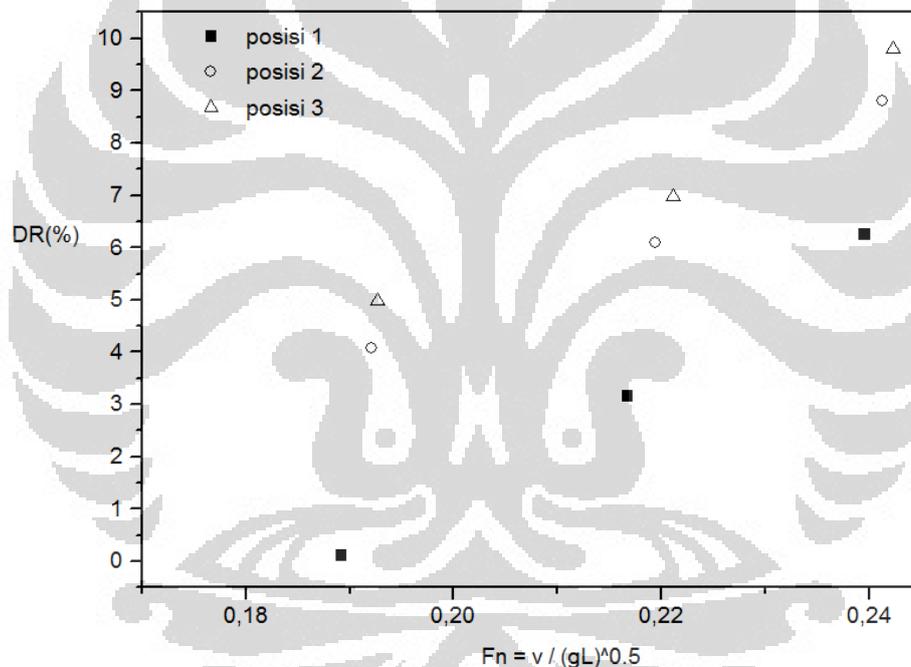
Grafik diatas adalah grafik perbandingan antara koefisien hambatan total pada dengan Bilangan Reynold. Bilangan Reynold berpengaruh pada massa jenis, panjang kapal dan viskositas terlihat pada rumus 4.14. Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa bahwa nilai rasio koefisien hambatan total semakin besar seiring bertambahnya bilangan Reynold. Ini dibuktikan bahwa pada keadaan nilai $Ct/Cto < 1$ terjadi penambahan bilangan Reynold. Dimana kita tahu bila nilai $Ct/Cto < 1$ berarti penggunaan gelembung pada kapal mengalami suatu pengurangan hambatan total (drag reduction).

4.3.1.4 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan nilai dari DR dan juga nilai dari Fn seiring dengan perubahan kecepatan, yang dapat dilihat di tabel 4.8.

Posisi 1		Posisi 2		Posisi 3	
DR(%)	Fn	DR(%)	Fn	DR(%)	Fn
0,115	0,18915	4,076	0,19216	4,986	0,19269
3,157	0,2167	6,088	0,21941	6,967	0,22107
5,097	0,23989	8,099	0,24207	10,009	0,2429

Tabel 4. 8 Nilai antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude



Gambar 4. 8 Hubungan antara Drag Reduction dengan Bilangan Froude

Gambar 4.8 memperlihatkan besarnya pengurangan hambatan kapal model pada variasi bilangan Froude. Pada grafik ini memperlihatkan bahwa semakin besar nilai bilangan froude maka semakin besar juga pengurangan hambatan total di setiap posisi. Nilai pengurangan hambatan total terjadi jika nilai $C_t/C_{t0} < 1$. Dimulai dari nilai $Fn = 0,18$ gelembung microbubble berperan secara optimum. Sebagai contoh, pada $Fn = 0,19$ pengurangan hambatan total yang terjadi pada posisi 3 mencapai 4,8%.

Universitas Indonesia

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penggunaan kapal model injeksi microbubble dan tanpa microbubble memperlihatkan bahwa efek injeksi microbubble sangat berpengaruh pada koefisien hambatan total, bilangan froude dan bilangan reynold. Penggunaan kapal dengan microbubble menghasilkan hambatan total yg lebih kecil dibanding penggunaan kapal tanpa microbubble. Posisi peletakan microbubble juga sangat berpengaruh terhadap pengurangan hambatan total, penempatan posisi microbubble mendekati buritan menghasilkan pengurangan hambatan total semakin besar. Dalam penelitian ini posisi 5 cm di belakang midship (posisi 3) menghasilkan drag reduction sebanyak 5 % .

5.2 Saran

Berikut ini saran dari Penulis:

- Agar mendapatkan data yang mendekati kapal sebenarnya, disarankan menggunakan towing tank yang proporsional untuk melakukan pengujian tarik.
- Untuk mengetahui fenomena yang mungkin lebih baik, hendaknya dilakukan penelitian penempelan microbubble lebih banyak di setiap titik pada lambung kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Murai Y, Fukuda H, Oishi Y, Kodama Y, Yamamoto F. 2007. Skin friction reduction by large air bubbles in a horizontal channel flow. Int J Multiph Flow 33:147–163
- [3] Shen Xiaochun, Ceccio Steven L. Perlin Marc. 2006. Influence of bubble size on micro-bubble drag reduction.
- [4] Kurniawan, Aris. 2008. *Pengaruh Microbubble terhadap Drag Reduction pada model Kapal*
- [5] Hiroharu Kato *Skin Friction Reduction by Microbubble* (Japan: Department of Mechanical Engineering Tokyo University)
- [6] Laksana, Matriadi. 2008. *Microbubble Generator dengan metode Spherical Ball dalam pipa beraliran.*
- [7] Harvald, Sv.Aa. (1992). *Tahanan dan Propulsi Kapal* (Jusuf Susanto, Penerjemah). Surabaya : Airlangga University Pers.
- [8] Sastrodiwongso, Teguh. (1998). *Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak.*