



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UJI COBA PENGGUNAAN *WATER TUNNEL* PADA KAPAL  
PELAT DATAR UNTUK MENINGKATKAN PROPULSI  
KAPAL**

**SKRIPSI**

**ALVIN SETIAWAN**

**0706275220**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPOK**

**JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

UJI COBA PENGGUNAAN *WATER TUNNEL* PADA KAPAL  
PELAT DATAR UNTUK MENINGKATKAN PROPULSI  
KAPAL

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ALVIN SETIAWAN

0706275220

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 : Alvin Setiawan**

**NPM : 07 06 275 220**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 23 Juni 2011**





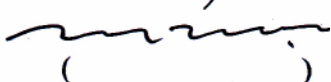
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Alvin Setiawan  
NPM : 0706275220  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul Skripsi : Uji Coba Penggunaan *Water Tunnel* Pada Kapal  
Pelat Datar Untuk Meningkatkan Propulsi 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 : Ir. Hadi Tresno Wibowo (  )  
Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D (  )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng (  )  
Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T (  )  
Penguji : Ir. Mukti Wibowo (  )

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Tanggal : 23 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. 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. Hadi Tresno Wibowo selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. M. A. Talahatu, MT, Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya;
3. orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
4. sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 5 Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Alvin Setiawan  
NPM : 07 06 27 52 20  
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:

“Uji Coba Penggunaan *Water Tunnel* Pada Kapal Pelat Datar Untuk Meningkatkan Propulsi 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 : 6 Juni 2011

Yang menyatakan,



Alvin Setiawan

## ABSTRAK

Nama : Alvin Setiawan  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul : Uji Coba Penggunaan *Water Tunnel* Pada Kapal Pelat Datar  
Untuk Meningkatkan Propulsi Kapal.

Kapal pelat datar memiliki bentuk lambung kapal yang tidak *streamline* (*flat hull*) agar proses pembuatan lambung kapal lebih mudah dibandingkan dengan kapal yang berbentuk lambung *streamline*, dimana pada kapal pelat datar tidak memerlukan tahapan proses penekukan pelat. Namun kapal pelat datar memiliki tahanan yang lebih besar dibandingkan dengan kapal berbentuk lambung *streamline*. Sehingga untuk mengurangi tahanan tersebut diperlukan modifikasi tambahan diantaranya dengan penggunaan *water tunnel*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *water tunnel* dapat meningkatkan propulsi kapal, dimana propulsi kapal akan mempengaruhi kecepatan kapal. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan percobaan dengan menggerakkan kapal model dengan motor listrik pada kolam percobaan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan *speed trap* untuk mendapatkan nilai kecepatan. Hasil dari percobaan akan menunjukkan apakah kecepatan kapal bertambah ketika menggunakan *water tunnel*, dengan teori bahwa kapal model dengan *water tunnel* akan memberikan aliran air tambahan yang lebih banyak dan meningkatkan kecepatan aliran air yang masuk ke baling-baling.

Kata kunci : Kapal pelat datar, kecepatan, tahanan, *water tunnel*

## ABSTRACT

Name : Alvin Setiawan  
Study Program: Naval Architecture  
Title : Trial Use of Water Tunnel In Flat Plate Ship To Improve Ship Propulsion

Flat plate ship has a shape that is not streamlined hull (flat hull) for the process of making the hull more easily than with a streamlined ship-shaped hull, where the ship does not require a phase plate bending process. But the flat plate ship has more resistance than the ship-shaped hull streamlined. So to reduce the resistance is required additional modifications such as by using a water tunnel. The purpose of this research is to know how big the influence of a water tunnel to increase the ship propulsion, where the ship propulsion will affect the speed of the ship. The method used is to experiment with moving the ship model with a electrical motor on the pond experiment. Experiments carried out by using a speed trap to get the speed value. Results from the experiment will show whether the ship speed increases when using a water tunnel, with the theory that the ship model with a water tunnel will provide additional water flow for more and increases the speed of water flow into the propeller.

Keywords: Flat plate ship, speed, resistance, water tunnel



# DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	01
1.2 Perumusan Masalah .....	03
1.3 Tujuan Penelitian .....	03
1.4 Batasan Masalah .....	03
1.5 Metodologi Penelitian.....	04
1.6 Sistematika Penulisan .....	06
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Tahanan Kapal .....	07
2.2 Gaya Dorong Kapal .....	08
2.3 Daya Dorong Kapal .....	08
2.4 Efisiensi Sistem Penggerak .....	10

## BAB III RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Pembuatan Kapal Model .....	16
3.1.1 Desain Kapal Model .....	16
3.1.2 Bentuk Rancangan Kapal Model .....	17
3.1.3 Proses Pembuatan Kapal Model .....	18
3.2 Rancangan Alat Uji .....	20
3.2.1 Kolam Uji Tarik .....	20
3.2.2 Pengukur Kecepatan .....	21
3.2.3 DC Power Supply .....	22
3.2.4 Pasir Muatan .....	23
3.2.5 Timbangan .....	23
3.2.6 Saklar Listrik .....	23
3.2.7 Motor Listrik .....	24
3.2.8 Stopwatch Digital .....	24
3.3 Uji Coba Kapal Model .....	25

## BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Data .....	30
4.1.1 Kapal model dengan <i>water tunnel</i> (di dalam towing tank) .....	31
4.1.2 Kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup (di dalam towing tank) .....	32
4.1.3 Kapal model dengan <i>water tunnel</i> (di dalam prototype kapal) .....	33
4.1.4 Kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup (di dalam prototype kapal) .....	35
4.2 Analisa Data .....	37

BAB V KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN .....	41
5.2 SARAN .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	43



## DAFTAR GAMBAR

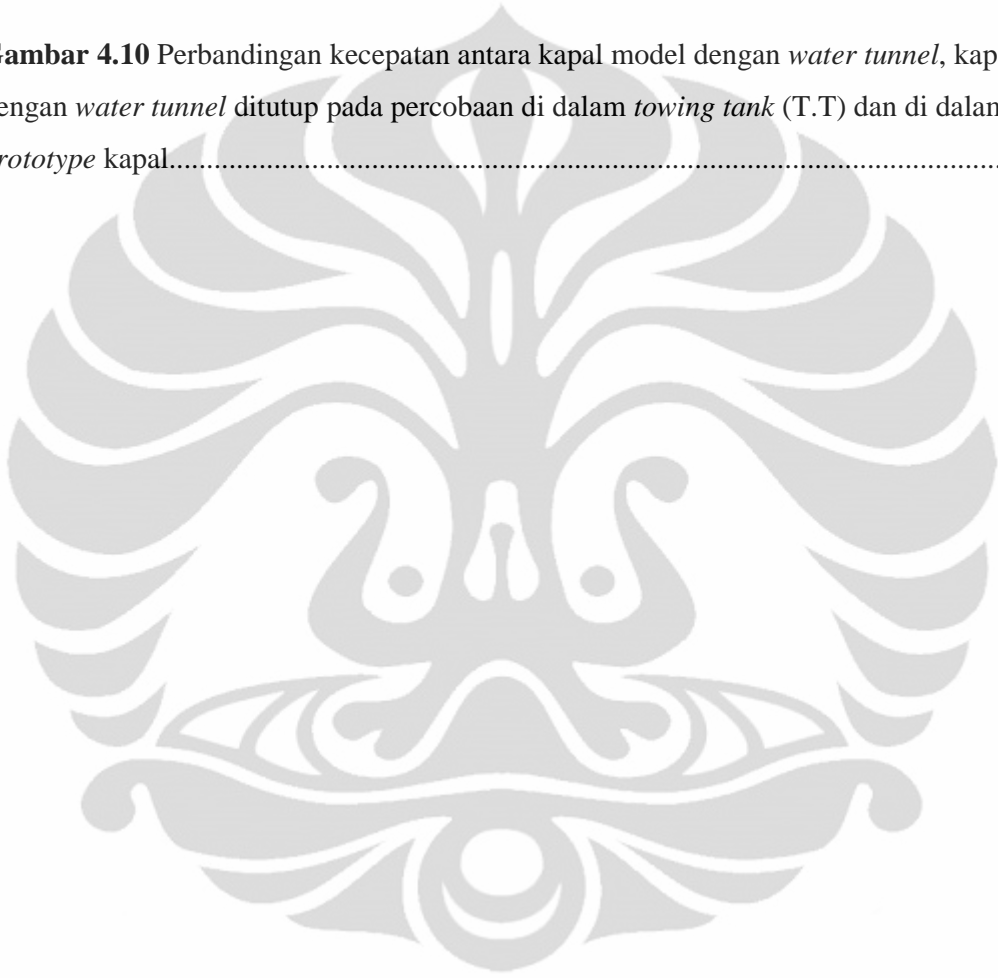
	halaman
<b>Gambar 1.1</b> Rancangan badan kapal serta profil buritan untuk kapal dengan gading lurus (patah – patah).....	1
<b>Gambar 1.2</b> Prinsip konsep asli Kort <i>nozzle</i> .....	2
<b>Gambar 1.3</b> Rancangan tiga dimensi menggunakan software CATIA®.....	5
<b>Gambar 2.1</b> Karakteristik tahanan kapal.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Gaya – gaya yang bekerja pada sistem penggerak kapal.....	8
<b>Gambar 2.3</b> Distribusi arus ikut.....	12
<b>Gambar 2.4</b> Prinsip kerja <i>water tunnel</i> .....	13
<b>Gambar 3.1</b> Disain kapal dengan <i>water tunnel</i> menggunakan CAD®.....	16
<b>Gambar 3.2</b> Disain kapal dengan <i>water tunnel</i> yang ditutup menggunakan CAD®.....	17
<b>Gambar 3.3</b> Rancangan tiga dimensi menggunakan software CATIA®.....	17
<b>Gambar 3.4</b> Bukaan kulit rancangan kapal menggunakan software CATIA®.....	18
<b>Gambar 3.5</b> Kapal model percobaan tampak bawah dan tampak atas.....	19
<b>Gambar 3.6</b> Kapal model dengan <i>water tunnel</i> tampak belakang dan tampak bawah.....	20
<b>Gambar 3.7</b> Kapal model dengan <i>water tunnel</i> yang ditutup tampak belakang dan tampak bawah.....	20
<b>Gambar 3.8</b> Kolam uji tarik.....	20
<b>Gambar 3.9</b> Wadah air pada <i>prototype</i> kapal.....	21
<b>Gambar 3.10</b> <i>Speed Counter</i> .....	22
<b>Gambar 3.11</b> Sensor Infra Merah.....	22
<b>Gambar 3.12</b> <i>Display</i> saat pembacaan kecepatan.....	22

<b>Gambar 3.13</b> <i>DC Power Supply</i> .....	22
<b>Gambar 3.14</b> Pasir Muatan.....	24
<b>Gambar 3.15</b> Timbangan.....	23
<b>Gambar 3.16</b> Saklar listrik.....	24
<b>Gambar 3.17</b> Motor listrik.....	24
<b>Gambar 3.18</b> <i>Stopwatch Digital</i> dengan menggunakan <i>Blackberry</i> ®.....	25
<b>Gambar 3.19</b> Rancangan pemasangan pengukur kecepatan.....	26
<b>Gambar 3.20</b> Rancangan alat percobaan pada tempat percobaan di <i>towing tank</i> .....	27
<b>Gambar 3.21</b> Titik awal dan akhir pengukuran dengan <i>stopwatch</i> digital pada tempat percobaan di <i>prototype</i> kapal.....	28
<b>Gambar 3.22</b> Rancangan alat percobaan pada tempat percobaan di <i>prototype</i> kapal.....	29
<b>Gambar 4.1</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> pada percobaan di dalam <i>towing tank</i> .....	31
<b>Gambar 4.2</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup pada percobaan di dalam <i>towing tank</i> .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> dan kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup pada percobaan di dalam <i>towing tank</i> .....	33
<b>Gambar 4.4</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> pada percobaan di dalam <i>prototype</i> kapal.....	35
<b>Gambar 4.5</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup pada percobaan di dalam <i>prototype</i> kapal.....	36
<b>Gambar 4.6</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> , dan kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup pada percobaan di dalam <i>prototype</i> kapal.....	37
<b>Gambar 4.7</b> Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> , pada percobaan di dalam <i>towing tank</i> (T.T) dan di dalam <i>prototype</i> kapal.....	37

**Gambar 4.8** Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup, pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype*.....38

**Gambar 4.9** Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel*, kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.....39

**Gambar 4.10** Perbandingan kecepatan antara kapal model dengan *water tunnel*, kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.....39



## DAFTAR TABEL

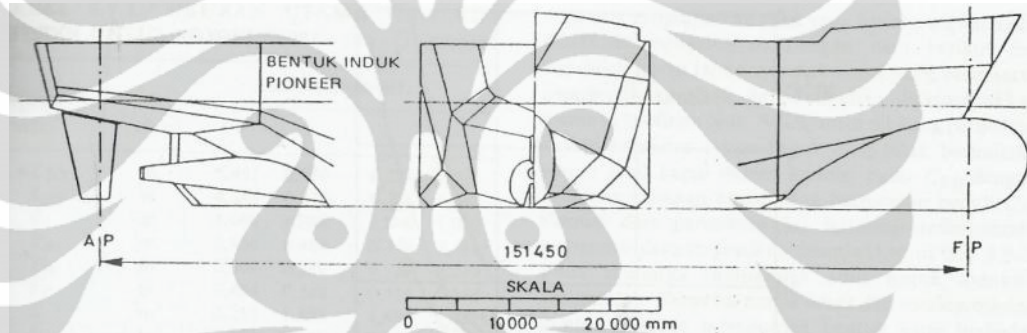
	halaman
Tabel 4.1 Pengolahan daya yang digunakan.....	30
Tabel 4.2 Perhitungan data pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> di dalam <i>towing tank</i> .....	31
Tabel 4.3 Perhitungan data pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup di dalam <i>towing tank</i> .....	32
Tabel 4.4 Data hasil percobaan kapal model dengan <i>water tunnel</i> di dalam <i>prototype kapal</i> .....	33
Tabel 4.5 Perhitungan data pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> di dalam <i>prototype kapal</i> .....	34
Tabel 4.6 Data hasil percobaan kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup di dalam <i>prototype kapal</i> .....	35
Tabel 4.7 Perhitungan data pada kapal model dengan <i>water tunnel</i> ditutup di dalam <i>prototype kapal</i> .....	36

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Kapal pelat datar (*flat hull*) merupakan salah satu bentuk kapal alternatif selain kapal berbentuk lengkung (*streamline*). Kapal ini pertama kali dirancang oleh Prof. Gallin dari TU Delft pada tahun 1977 – 1979 dikenal dengan nama Kapal “**Pioneer**”, kapal lambung pelat datar ini dipasang pada gading-gading yang lurus. Seluruh pelat dan gading-gadingnya dibuat tanpa alat pelengkung atau pembengkok.



Gambar 1.1 Rancangan badan kapal serta profil buritan untuk kapal dengan gading lurus (patah – patah)

Sumber: Harvald, Sv. Aa. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. 1992

Gambar diatas menunjukkan bentuk badan kapal demikian itu. Banyak uji model yang dilakukan dengan mengatur posisi patahan (sambungan) demikian rupa sehingga tersusun mengikuti garis aliran. Dengan mengatur secara seksama seluruh letak sambungan tersebut sehingga mengikuti bentuk garis aliran dan membatasi besarnya sudut antara dua permukaan datar yang saling bertemu maka dapat diperoleh tahanan yang besarnya mendekati tahanan untuk kapal berbentuk bundar yang ekuivalen. Pada kecepatan dinas, kapal patah-patah mempunyai kecepatan 0,1 m /det lebih rendah, atau tahanan sebesar 6% lebih



tinggi, daripada kecepatan atau tahanan kapal yang bundar (Harvald, Sv. Aa, 1992, p.92).

Lambung kapal pelat datar (*flat hull*) dapat memberi kemudahan dalam proses pembuatan, *assembly* dan memungkinkan pengurangan pekerjaan *bending* dan *curving*, seperti pada produksi kapal konvensional yang cukup memakan biaya. Namun dengan adanya tahanan sebesar 6% lebih tinggi dibanding kapal berbentuk lengkung (*streamline*) maka diperlukan suatu modifikasi untuk mengurangi tahanan tersebut dengan meningkatkan sistem propulsi salah satunya seperti yang dilakukan oleh Ludwig Kort (1888 – 1958) pada tahun 1924 dengan memakai kapal yang dilengkapi *internal propeller* di dalam suatu *tunnel*. Gelombang pada haluan kapal berkurang dengan adanya aliran yang masuk ke dalam *tunnel*, namun tambahan tahanan gesek dari tabung yang tinggi berdampak pada meningkatnya tahanan kapal. (H.Schneekluth, V.Bertram, 1998, p.118)



Gambar 1.2 Prinsip konsep asli Kort *nozzle*

Sumber: H. Schneekluth, V. Bertram. *Ship Design for Efficiency and Economy*. 1998

Pada penelitian kali ini akan menerapkan sistem *water tunnel* pada kapal rancangan pelat datar. Sistem *water tunnel* akan menghubungkan *flat bottom* kapal dengan bagian belakang kapal yang mengarah ke baling-baling, diharapkan akan terjadi peningkatan energi kinetis dari aliran yang masuk ke lingkaran baling-baling. Peningkatan energi kinetis ini disebabkan oleh : Perbedaan tekanan antara *bottom* kapal dan *center line* baling-baling yang lebih keatas, serta adanya perubahan luas penampang masuk dan keluar *water tunnel* yang mengecil.

Dengan adanya *tunnel* ini , kecepatan aliran ( $V_A$ ) yang masuk ke baling-baling dapat lebih besar dari kecepatan kapal ( $V$ ). Melalui percobaan dengan

kapal model dapat diketahui efektivitas sistem *water tunnel* terhadap bertambahnya tahanan kapal karena pemasangan *tunnel* tersebut dengan membandingkan nilai kecepatan laju kapalnya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan diatas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

- a. Bagaimana pengaruh *water tunnel* pada kapal pelat datar dapat mempengaruhi kecepatan laju kapal.
- b. Seberapa besar perbedaan nilai kecepatan laju kapal dengan kapal yang menggunakan *water tunnel*, dengan kapal yang *water tunnel* ditutup atau *water tunnel* tidak difungsikan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *water tunnel* yang akan mempengaruhi kecepatan laju kapal.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui besarnya nilai kecepatan laju kapal pada kapal pelat datar dengan penggunaan *water tunnel* dengan melakukan pengukuran.
- b. Memberikan gambaran cara kerja *water tunnel* dan seberapa besar perbandingan terhadap sistem propulsi dan tahanan kapal dengan penggunaan *water tunnel*.
- c. Untuk memenuhi syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Universitas Indonesia.
- d. Sebagai pendukung penelitian dari Tesis oleh Ir. Hadi Tresno Wibowo

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi agar pembahasan permasalahan tidak meluas, maka perlu untuk memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Percobaan dilakukan di laboratorium hidrodinamika Teknik Perkapalan UI dengan peralatan yang ada pada saat penelitian.
2. Percobaan dilakukan dengan menggunakan kapal model yang tidak dibandingkan secara *similarity* dengan kapal yang sebenarnya, yaitu kapal

model dengan *water tunnel*, dan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup.

3. Percobaan dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi daya pada motor elektrik dengan menggunakan DC *power supply* yang dapat diatur *voltage*-nya pada setiap model kapal.
4. Percobaan dilakukan pada kondisi air tenang.
5. Analisa dilakukan adalah mengenai pengaruh *water tunnel* terhadap kecepatan laju kapal.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metodologi dan analisa model sebagai berikut :

#### 1. Studi literatur

Penulisan Tugas Akhir ini berdasarkan beberapa literatur yang didapatkan diantaranya :

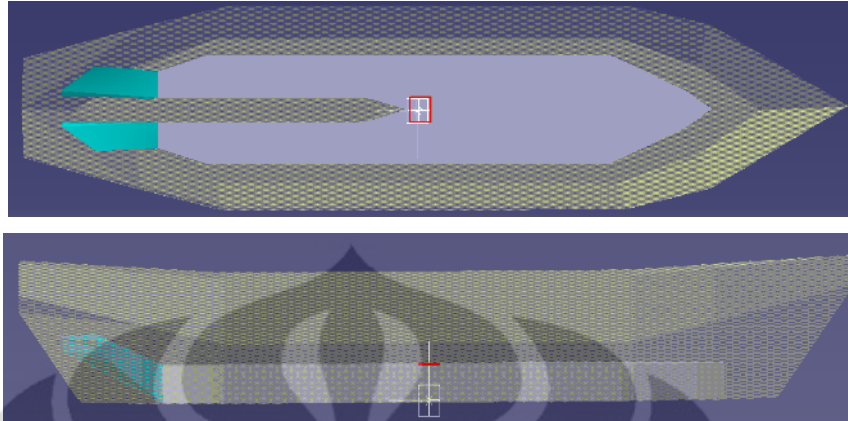
- Penjelasan mengenai karakteristik kapal pelat datar yang mempunyai kelebihan dan kekurangan
- Penjelasan mengenai cara kerja *water tunnel*
- Proses perubahan nilai kecepatan kapal sesuai dengan perubahan daya yang diberikan sebagai tenaga dorong.

#### 2. Percobaan di Laboratorium

Percobaan di laboratorium digunakan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian.

- Percobaan dilakukan dengan menggunakan kapal model pelat datar
 

Panjang Kapal (Loa)	: 60 cm
Lebar (B)	: 20 cm
Tinggi (H)	: 10 cm
Draft (T)	: 4 cm
Skala	: 1 : 1



Gambar 1.3 Rancangan tiga dimensi menggunakan software CATIA®

- Percobaan dilakukan dengan melakukan uji gerak dengan mengalirkan listrik pada dinamo motor listrik. Aliran listrik dari *DC Power Supply* yang mengalir diatur dengan cara dirubah *voltage*, yang terdiri atas 8volt, 10volt, 12volt, dan 14volt. Proses pengambilan kecepatan dilakukan dengan menggunakan sensor perangkat kecepatan dengan infra merah.

### 3. Pengumpulan data

- a. Data laju kecepatan kapal model hasil pengujian diambil dengan menggunakan sensor perangkat kecepatan infra merah dan stop watch digital
- b. Data perhitungan dari hasil pengujian kapal model.

### 4. Pengolahan dan analisa data meliputi :

- a. Analisa mengenai perubahan kecepatan pada saat dilakukan uji tarik.
- b. Analisa mengenai pengaruh *water tunnel* pada kapal model.
- c. Kesimpulan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian.

### **BAB II. LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi mengenai dasar teori yang akan dipakai dan berhubungan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas

### **BAB III. RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

Bab ini berisi mengenai proses pembuatan alat dan cara-caranya serta hasil dari data tersebut diperoleh

### **BAB IV. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA**

Bab ini berisi pengolahan data dari masalah yang dibahas dan analisa dari hasil pembahasan yang telah dilaksanakan.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan dan saran dari penulis

### **DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini memuat sumber data dan referensi yang digunakan sebagai acuan pembuatan skripsi ini.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Suatu kapal yang bergerak akan mengalami hambatan atau tahanan dari air (untuk bagian yang tercelup air) dan udara (untuk bagian yang berada diatas air). Gaya yang menahan kapal tersebut harus diatasi dengan gaya dorong ke depan yang diberikan oleh suatu mekanisme penghasil gaya dorong, yaitu baling-baling kapal. Ada beberapa parameter yang penting dalam hubungan antara kapal, mesin dan baling-baling.

#### 2.1 Tahanan Kapal

Tahanan kapal ( $R$ ) merupakan gaya hambat dari media fluida yang dilalui oleh kapal saat beroperasi dengan kecepatan tertentu. Besarnya gaya hambat total merupakan jumlah dari semua komponen gaya hambat (tahanan) yang bekerja di kapal, meliputi tahanan gesek, tahanan gelombang, tahanan *appendages*, tahanan udara, dsb. Secara sederhana tahanan total ( $R_T$ ) kapal dapat diperoleh dengan persamaan, sebagai berikut:

$$R_T = 0,5 * \rho * C_T * S * V_S^2 \quad (2.1)$$

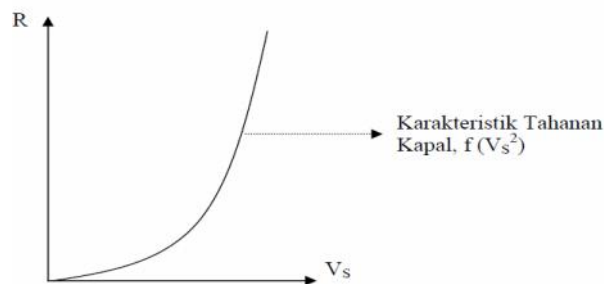
$\rho$  = massa jenis fluida (Kg/m<sup>3</sup>);

$C_T$  = koefisien tahanan total kapal;

$S$  = luasan permukaan basah dari badan kapal (m<sup>2</sup>).

Dan jika  $0,5 * \rho * C_T * S$  tersebut adalah *constant* ( $\alpha$ ), maka Persamaan (2.1) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R_T = \alpha * V_S^2 \quad (2.2)$$



Gambar 2.1 Karakteristik tahanan kapal

Sumber : Adji,S.W, 2005

## 2.2 Gaya Dorong Kapal

Gaya dorong (*thrust*) kapal merupakan komponen yang sangat penting, yang mana digunakan untuk mengatasi tahanan (*resistance*) atau gaya hambat kapal. Pada kondisi yang sangat ideal, besarnya gaya dorong yang dibutuhkan mungkin sama besar dengan gaya hambat yang terjadi dikapal. Namun kondisi tersebut sangat tidak realistis, karena pada faktanya di badan kapal tersebut terjadi fenomena hidrodinamis yang menimbulkan degradasi terhadap nilai besaran gaya dorong kapal.

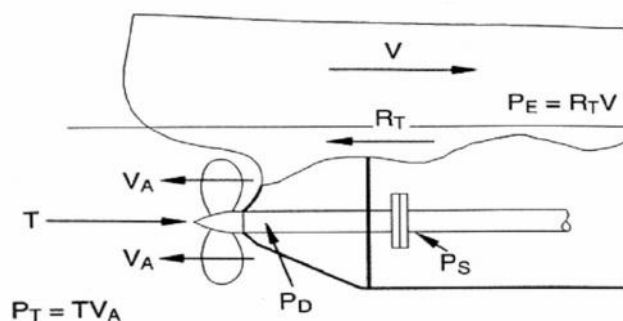
$$T = \frac{R}{(1-t)} \quad (2.3)$$

,dimana  $t$  adalah *thrust deduction factor*.

## 2.3 Daya Dorong Kapal

Daya yang disalurkan ( $P_D$ ) ke baling - baling adalah berasal dari Daya Poros ( $P_S$ ), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem ( $P_B$ ) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal. Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan didalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain :

- 1) Daya Efektif (*Effective Power*- $P_E$ )
- 2) Daya Dorong (*Thrust Power*- $P_T$ )
- 3) Daya yang disalurkan (*Delivered Power*- $P_D$ )
- 4) Daya Poros (*Shaft Power*- $P_S$ )
- 5) Daya Rem (*Brake Power*- $P_B$ ), dan
- 6) Daya yang diindikasi (*Indicated Power*- $P_I$ )



Gambar 2.2 Gaya – gaya yang bekerja pada sistem penggerak kapal

Sumber : Adji, S.W, 2005

Daya Efektif ( $P_E$ ) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak di air dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar  $V_S$ . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Dengan persamaan:

$$P_E = R_T \cdot V_S \quad (2.4)$$

$P_E$  = Daya efektif (kWatt)

$R_T$  = hambatan kapal secara total (kN)

$V$  = kecepatan kapal (Knot)

Daya Dorong ( $P_T$ ) adalah besarnya daya yang disalurkan oleh baling – baling kapal untuk mendorong badan kapal. Daya Dorong merupakan fungsi dari gaya dorong dan laju aliran fluida yang terjadi saat alat gerak kapal bekerja. Dengan persamaan:

$$P_T = T \cdot V_A \quad (2.5)$$

$P_T$  = Daya dorong (kWatt)

$T$  = gaya dorong baling-baling (kN)

$V_A$  = Kecepatan *advanced* aliran fluida di bagian Buritan kapal [m/det]

=  $V_S (1 - w)$ ; yang mana  $w$  adalah *wake fraction* (fraksi arus ikut)

Daya yang disalurkan ( $P_D$ ) adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan daya dorong sebesar  $P_T$ , atau dengan kata lain,  $P_D$  merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (*propeller*) yang kemudian dirubahnya menjadi Daya Dorong kapal ( $P_T$ ). Variabel yang berpengaruh pada daya ini adalah Torsi Yang Disalurkan dan Putaran baling-baling,

$$P_D = 2 \cdot Q \cdot N_p \quad (2.6)$$

$P_D$  = Daya Yang Disalurkan (kWatt)



$Q$  = torsi baling-baling (kNm)

$N_p$  = putaran baling-baling (rps)

Daya Poros ( $P_S$ ) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal yang berpengerak dengan Turbin Gas, pada umumnya, daya yang digunakan adalah  $P_S$ . Sementara itu, istilah Daya Rem (*Brake Power,  $P_B$* ) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (*main engine*) dengan tipe *marine diesel engines*.

$$P_B = 2 \quad M \cdot n \quad (2.7)$$

$M$  = torsi yang disalurkan dari mesin penggerak ke poros.

$N$  = putaran mesin penggerak.

#### 2.4 Efisiensi Sistem Penggerak

Sistem penggerak kapal memiliki beberapa definisi tentang daya yang ditransmisikan mulai dari daya yang dikeluarkan oleh motor penggerak hingga daya yang diberikan oleh alat gerak kapal ke fluida sekitarnya. Rasio dari daya-daya tersebut sering dinyatakan dengan istilah efisiensi, meskipun untuk beberapa hal sesungguhnya bukanlah suatu nilai konversi daya secara langsung.

Efisiensi Keseluruhan (*Overall Efficiency,  $\tau$* ), dikenal juga dengan sebutan *Propulsive Efficiency*, atau ada juga yang menyebutnya efisiensi total adalah merupakan hasil dari keseluruhan efisiensi di masing-masing *phrase* daya yang terjadi pada sistem propulsi kapal (sistem penggerak kapal). Efisiensi Keseluruhan dapat diperoleh dengan gabungan persamaan, sebagai berikut :

Indikator daya dari mesin penggerak adalah :  $P_1$

Hubungan dari masing-masing komponen sebagai berikut :

$$\frac{PE}{PI} = \frac{PE}{PT} \cdot \frac{PT}{PD} \cdot \frac{PD}{PB} \cdot \frac{PB}{PI} \quad (2.8)$$

$$T = H \cdot B \cdot s \cdot m$$

$H$  = efisiensi badan kapal.

$$= \frac{RV}{TV_A} = \frac{R/T}{V_A/V} = \frac{1-t}{1-w} \quad (2.9)$$

$w$  = wake fraction

$$\begin{aligned}
 t &= \text{thrust deduction fraction} \\
 s &= \text{Effisiensi Poros} \\
 M &= \text{Effisiensi Mekanis} \\
 B &= \text{effisiensi baling-baling} \\
 &= \frac{T \cdot V_A}{2\pi Q n} \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

$t$  dan  $w$  merupakan *propulsion parameters*, dimana  $t$  adalah *Thrust Deduction Factor* yang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = 1 - \frac{R}{T} \quad (2.11)$$

$t$  = *thrust deduction fraction*

$R$  = Hambatan

$T$  = Gaya Dorong (kN)

Sedangkan,  $w$  adalah *wake fraction* yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$w = 1 - \frac{V_A}{V_S} \quad (2.12)$$

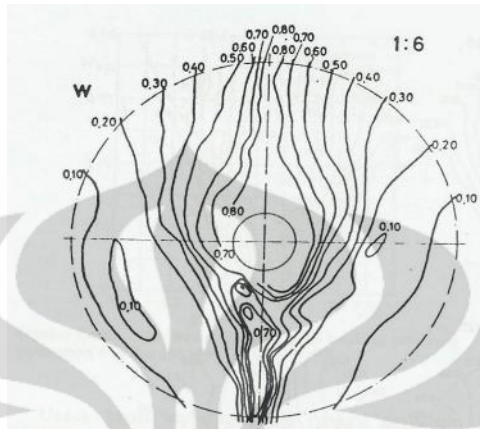
,dimana :

$w$  = *wake fraction* (fraksi arus ikut)

$V_a$  = Kecepatan *advanced* aliran fluida di bagian Buritan kapal [m/det]

$V_S$  = Kecepatan Servis kapal [{Kec. dlm Knots} \* 0.5144 = {Kec. dlm m/det}]

Hubungan antara baling-baling dan lambung kapal sangat unik, putaran baling-baling dan gaya dorongnya menghasilkan hambatan ( $R_T$ ) dan kecepatan kapal ( $V$ ). Bentuk lambung bagian belakang kapal akan mempengaruhi besarnya aliran yang masuk ke baling-baling kapal.



Gambar 2.3 Distribusi arus ikut

Sumber: Harvald, Sv. Aa. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. 1992

Gambar 2.3 menunjukkan distribusi arus ikut; distribusi arus ikut sangat melebar pada diskus baling-baling sebelah atas, dibandingkan distribusi arus ikut pada diskus baling-baling sebelah bawah. Hal ini yang menjadi salah satu alasan Prof. Schneekluth menempatkan wake equalizing duct nya pada bagian atas.

Tujuan memasang *water tunnel* ini untuk meningkatkan kecepatan arus yang masuk ke baling-baling ( $V_A$ ), dengan demikian :

$$w = \frac{V - V_A}{V} \quad (2.13)$$

$w$  = wake fraction

$V$  = kecepatan kapal.

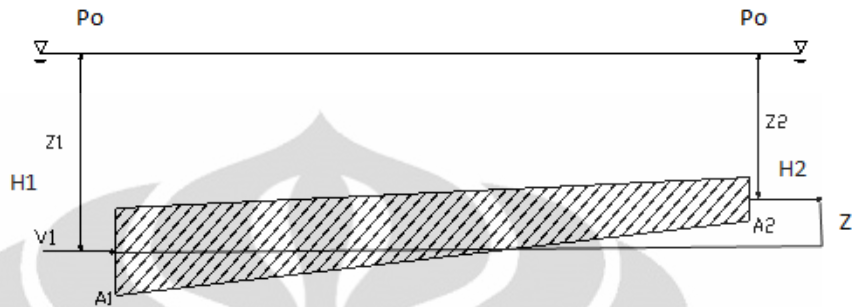
$V_A$  = kecepatan arus yang masuk ke baling-baling.

Dengan meningkatnya  $V_A$ , wake fraction ( $w$ ) yang masuk ke baling-baling diharapkan menjadi lebih kecil sehingga terdapat perbaikan arus ikut, mengecilnya  $w$ , maka  $V_A$  menjadi lebih besar; dengan bertambah besarnya  $V_A$ , maka efisiensi baling-baling juga meningkat karena :

$$B = \frac{T \cdot V_A}{2\pi Q n} \quad (2.14)$$

Prinsip kerja *water tunnel* adalah menaikkan arus ikut  $V_A$  yang mengalir melalui sebuah *tunnel* yang menembus kapal. Air masuk *water tunnel* dari dasar

kapal dengan kecepatan  $V$ , air keluar badan kapal dengan kecepatan  $V_A$  yang mengarah ke baling-baling kapal. Persamaan aliran dalam *tunnel* :



Gambar 2.4 Prinsip kerja *water tunnel*

Persamaan diatas menunjukkan hubungan tekanan permukaan *tunnel* pada titik 1 dan titik 2, jika pada masing-masing titik tersebut dikalikan dengan luas permukaannya akan menunjukkan besarnya gaya dorong yang masuk *tunnel* dan gaya dorong yang keluar *tunnel*.

$$\bullet \frac{1}{\rho} (P_{\text{ke luar}}) + \frac{1}{2} V_{\text{ke luar}}^2 + g Z_{\text{ke luar}} = \frac{1}{\rho} (P_{\text{ke dalam}}) + \frac{1}{2} V_{\text{ke dalam}}^2 + g Z_{\text{ke dalam}} + W_{\text{poros ke dalam}} - \text{kehilangan} \quad (2.15)$$

$$\bullet \frac{1}{\rho} (P_0 + H_2 \rho g) + \frac{1}{2} V_2^2 + g Z = \frac{1}{\rho} (P_0 + H_1 \rho g) + \frac{1}{2} V_1^2 + g Z_0 + T \cdot V_A - R \cdot V \quad (2.16)$$

$$\bullet \frac{1}{\rho} P_0 + g H_2 + \frac{1}{2} V_2^2 + g Z = \frac{1}{\rho} P_0 + g H_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + T \cdot V_A - R \cdot V \quad (2.17)$$

$$\bullet g (H_2 + Z) + \frac{1}{2} V_2^2 = g H_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + T \cdot V_A - R \cdot V ; (H_2 + Z = H_1) \quad (2.18)$$

$$\bullet \frac{1}{2} V_2^2 = \frac{1}{2} V_1^2 + T \cdot V_A - R \cdot V ; RV / T V_A = (1 - t) / (1 - w) \quad (2.19)$$

$$\bullet \frac{1}{2} V_2^2 = \frac{1}{2} V_1^2 + T \cdot V_A - (1 - t) / (1 - w) \cdot T V_A \quad (2.20)$$

$$\bullet \frac{1}{2} V_2^2 = \frac{1}{2} V_1^2 + T \cdot V_A \left( \frac{t-w}{1-w} \right) \quad (2.21)$$

Dimana,

$P_0$  = tekanan atmosfer.

$H_1$  = kedalaman air sampai permukaan masuk *water tunnel*.

$H_2$  = kedalaman air sampai permukaan keluar *water tunnel*.

$V_1$  = kecepatan air masuk ke *water tunnel*.

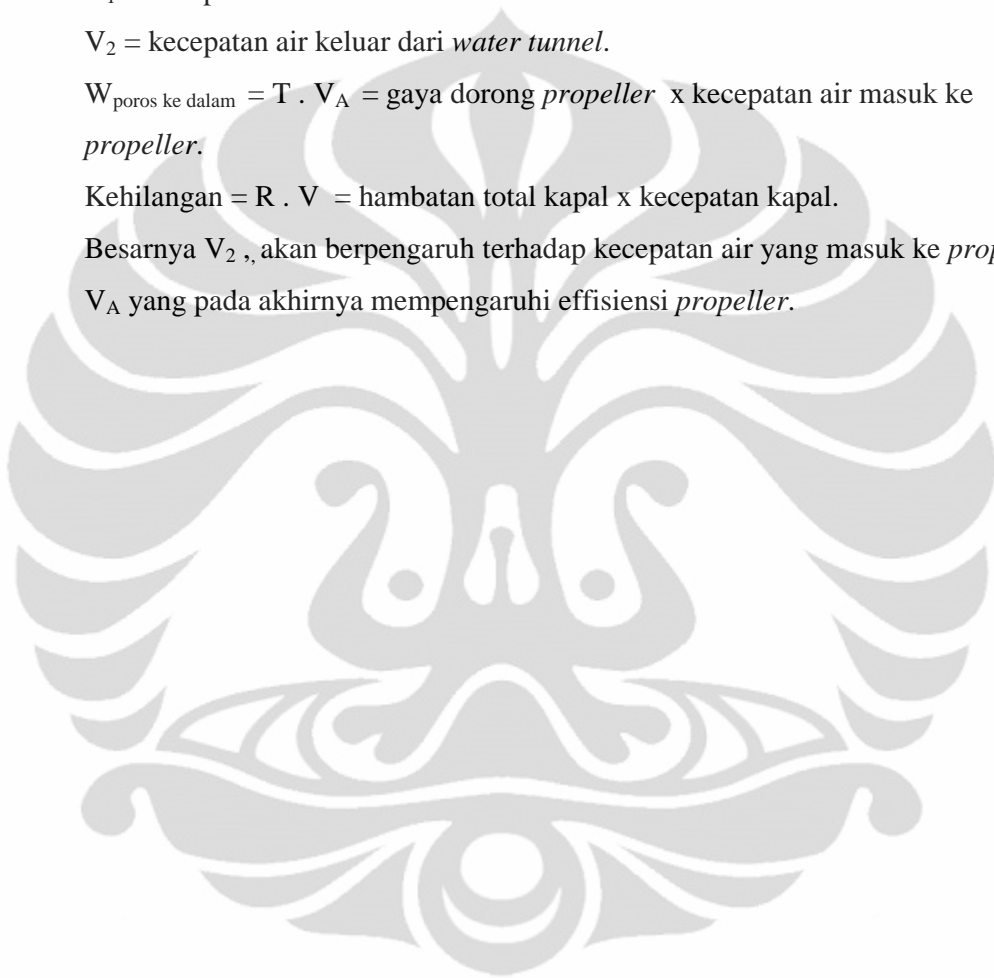
$V_2$  = kecepatan air keluar dari *water tunnel*.

$W_{\text{poros ke dalam}} = T \cdot V_A = \text{gaya dorong } \textit{propeller} \times \text{kecepatan air masuk ke } \textit{propeller}$ .

Kehilangan =  $R \cdot V = \text{hambatan total kapal} \times \text{kecepatan kapal}$ .

Besarnya  $V_2$ , akan berpengaruh terhadap kecepatan air yang masuk ke *propeller*

$V_A$  yang pada akhirnya mempengaruhi efisiensi *propeller*.



### **BAB III**

## **RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

Untuk dapat membandingkan besarnya kecepatan antara kapal model dengan penggunaan *water tunnel* dan yang tidak, dilakukan percobaan dengan memutar propulsi kapal model sehingga kapal model dapat bergerak maju akibat gaya dorong aliran air. Perputaran propulsi tersebut dilakukan dengan menggunakan motor listrik yang terpasang di buritan kapal model sebagai mesin utama pada kapal tersebut.

Percobaan uji kecepatan dilakukan dengan cara sederhana dengan menggunakan *DC Power Supply* yang diatur *voltage* dan *ampere* pada motor listrik yang terpasang dengan kabel listrik bersaklar. Untuk pengambilan datanya dilakukan pada kolam uji tarik (*towing tank*) milik Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia untuk tempat melakukan uji kecepatan kapal model tersebut. Kemudian dilakukan pengambilan data kembali di tempat yang berbeda sebagai data pembanding yaitu pada *prototype kapal*.

Rancangan alat uji kecepatan terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama adalah pembuatan kapal model yang meliputi disain kapal model, disain *water tunnel* pada buritan kapal model. Tahap kedua adalah rancangan alat uji yang akan digunakan untuk menguji kapal model yang telah dibuat. Tahap ketiga adalah uji coba kapal model dan pengambilan data.

Proses pengujian dilakukan dengan dua bentuk kapal model, pertama yaitu kapal model dengan *water tunnel*, dan kedua kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup. Pengujian dilakukan pada *towing tank* pada saat kondisi air yang tenang, hal ini bertujuan untuk mengurangi adanya hambatan baru yang diakibatkan gelombang air. Posisi kapal model sebelum diuji harus ditempatkan pada kawat tembaga yang berfungsi sebagai pemandu arah gerak kapal serta diletakkan di tengah *towing tank* agar pergerakan kapal model yang tertangkap alat pengukur kecepatan berjalan lurus. Kapal model tersebut harus bebas bergerak pada kawat tembaga agar tidak adanya hambatan tambahan pada proses pengujian. Oleh karena itu pemasangan dudukan kabel listrik pada motor serta

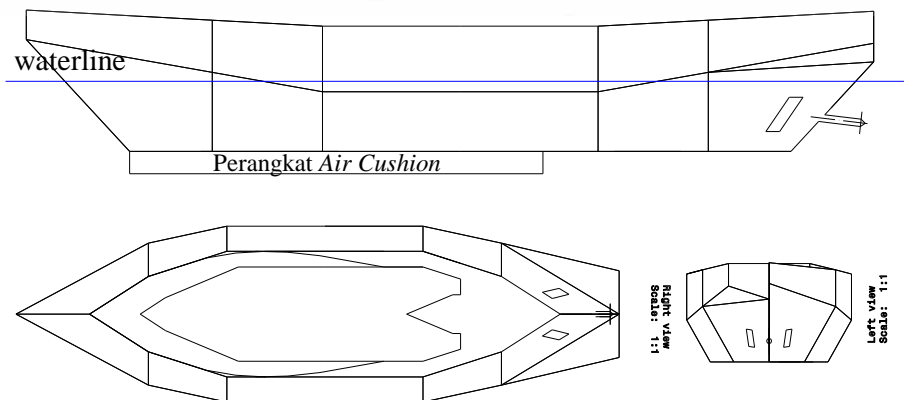
dudukan pada pemandu arah harus dirancang bebas hambatan saat berjalannya kapal.

Pengambilan data dilakukan setelah semua alat sudah terpasang sesuai dengan rancangan. Kapal model siap dijalankan apabila sudah sesuai dengan kondisi pengujian yang ditetapkan. Setelah kapal model melewati pengukur kecepatan yang terpasang pada sisi *towing tank*, pada saat itu kecepatan kapal model akan tertangkap dengan ketelitian 0,001 m/sec. Kecepatan yang tertangkap akan langsung disimpan di memori komputer. Percobaan dilakukan dengan menggunakan kondisi muatan pada sama percobaan, tetapi *voltage* yang dialirkan ke motor listrik dilakukan dengan empat tahapan yaitu 8volt, 10volt, 12volt, dan 14volt.

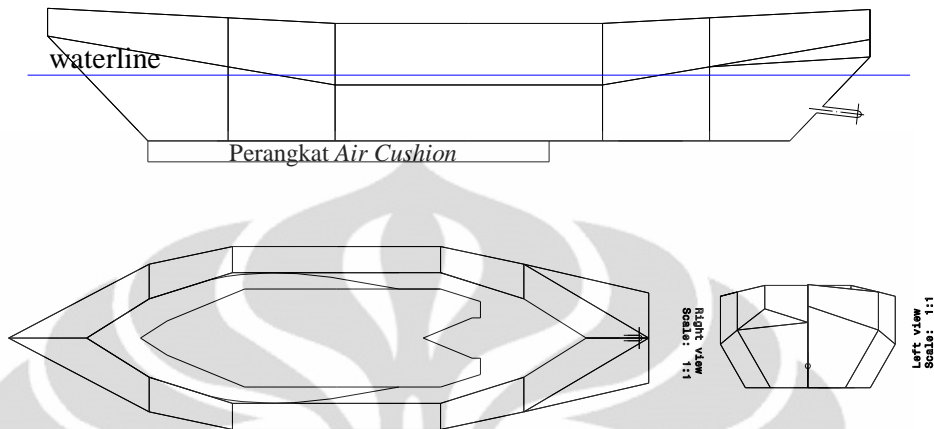
### 3.1 PEMBUATAN KAPAL MODEL

#### 3.1.1 Desain Kapal Model

Kapal model yang akan dilakukan pengujian adalah jenis kapal model berukuran panjang 60 cm, lebar 20 cm dan tinggi 10 cm, dilengkapi dengan *water tunnel* dari *flat buttom* menuju ke *propeller* dan dilengkapi juga dengan perangkat *air cushion*, yang pada pengujian kali ini belum digunakan. Disain kapal tersebut dibuat menggunakan metode aljabar linear untuk mencari koordinat garis patahan yang tepat sesuai alur aslinya. Kapal model kemudian akan digerakkan oleh *DC Power Supply* beraliran 8volt , 10 volt, 12volt, dan 14volt dengan baling-baling berdaun dua berdiameter 3cm. Berikut adalah perkembangan disain kapal model dengan *water tunnel* dan dengan *water tunnel* yang ditutup.



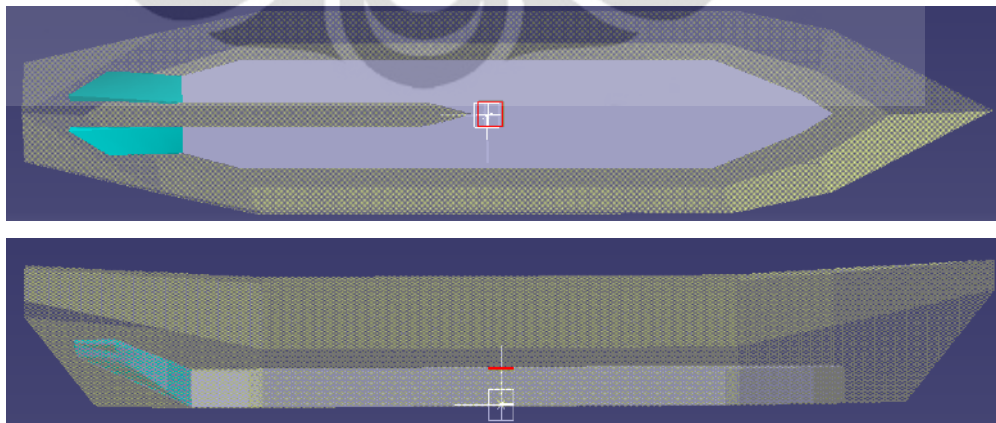
Gambar 3.1 Disain kapal model dengan *water tunnel* menggunakan CAD®



Gambar 3.2 Disain kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup menggunakan CAD®

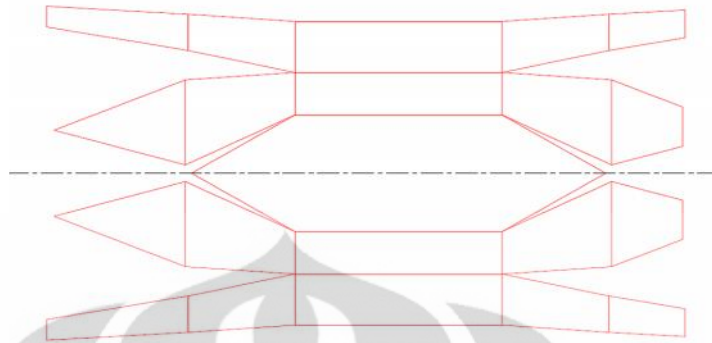
### 3.1.2 Bentuk Rancangan Kapal Model

Dari desain yang telah dibuat maka langkah selanjutnya yaitu membuat rancangan dari koordinat patahan garis kedalam sebuah gambar sehingga dapat dibuat dalam bentuk model dengan skala yang diinginkan. Dalam pembuatan rancangan ke dalam bentuk gambar dibantu menggunakan software CATIA®. Dengan software ini koordinat-kordinat patahan garis dibuat menjadi sebuah gambar tiga dimensi dan dapat dicetak langsung bukaan kulitnya sehingga memudahkan dalam proses pembuatan model nyata.



Gambar 3.3 Rancangan tiga dimensi menggunakan *software CATIA®*





Gambar 3.4 Bukaan kulit rancangan kapal menggunakan *software CATIA®*

### 3.1.3 Proses pembuatan kapal model

Proses pembuatan kapal model membutuhkan waktu sekitar 1 bulan. Pembuatan kapal model pada pengujian ini menggunakan bahan dasar dari triplex kemudian diperhalus dengan dempul dan cat. Berikut langkah pembuatan kapal model pengujian :

- a. Bukaan kulit yang telah dibuat dalam software CATIA® kemudian di cetak kedalam kertas sesuai dengan skala kapal model yang ingin kita uji. Pada pengujian ini skala kapal model yaitu 1 :1
- b. Dari hasil cetakan bukaan kulit yang berada dikertas kemudian jiplak cetakan tersebut kedalam lembaran triplex dengan ukuran yang sama, berikan tanda jiplakan agar pada proses penyambunagn tidak salah. Metode penjiplakan dapat menggunakan kertas karbon ataupun melakukan pengukuran manual.
- c. Setelah bukaan kulit sudah di jiplak pada lembaran triplex langkah selanjutnya yaitu memotong triplex sesuai dengan garis jiplakan sehingga menjadi bagian-bagian yang siap untuk dirangkai.
- d. Rangkaialah hasil potongan sesuai dengan gambar awal hingga membentuk sebuah kapal model yang kasar. Proses perangkaian dapat menggunakan lem perekat kayu yang kuat.
- e. Dari hasil rangkaian kapal model kasar tahapan selanjutnya yaitu penghalusan. Penghalusan dilakukan dengan cara melapisi permukaan yang kasar menggunakan dempul kemudian dihaluskan dengan amplas

halus. Proses pendempulan dan pengaplasan dilakukan berkali-kali sehingga mendapatkan hasil yang bagus.

- f. Proses terakhir setelah kulit kapal model halus yaitu dilakukan pengecatan. Sebelum dilakukan pengecatan kulit kapal dilapisi hardener agar air tidak merembes kedalam triplek. Setelah selesai dilapis hardener barulah dilakukan pengecatan.

Proses diatas merupakan pembuatan kapal model (kapal tanpa tunnel), kemudian kapal model tersebut dilakukan modifikasi pada bawah kapal. Letak modifikasi kapal model selanjutnya yaitu adanya terowongan air yang terdapat pada dasar kapal model. Terowongan air menyatu dengan badan kapal yang menjorok ke arah propeller.

#### Spesifikasi Kapal Model :

- |                        |         |    |
|------------------------|---------|----|
| a. Panjang Kapal (Loa) | : 60    | cm |
| b. Lebar (B)           | : 20    | cm |
| c. Tinggi (H)          | : 10    | cm |
| d. Draft (T)           | : 4,7   | cm |
| e. Skala               | : 1 : 1 |    |



Gambar 3.5 Kapal model percobaan tampak bawah dan tampak atas



Gambar 3.6 Kapal model dengan *water tunnel* tampak belakang dan tampak bawah

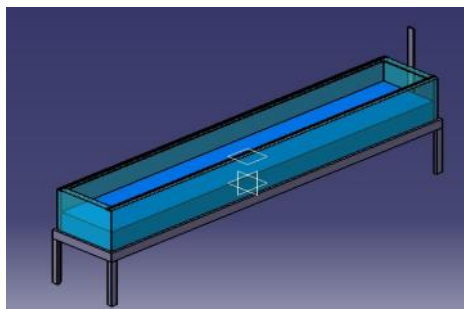


Gambar 3.7 Kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup tampak belakang dan tampak bawah

### 3.2 RANCANGAN ALAT UJI

Pada proses pengujian ini rancangan alat uji terdiri dari :

#### 3.2.1 Kolam Uji Tarik



Gambar 3.8 Kolam uji tarik

Kolam uji tarik (*towing tank*) ini merupakan salah satu fasilitas yang terdapat di Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Indonesia. Kolam uji tarik ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Dimensi : panjang 300 cm, lebar 80 cm dan tinggi 60 cm.

Material : kaca tembus pandang, tebal 12 mm.

Kedalaman : 40cm (maksimal)

Fungsi kerja kolam uji tarik pada percobaan ini adalah sebagai media berjalan kapal agar dapat mengamati gerakan aliran air disekitar badan kapal atau disekitar *tunnel*.

Untuk perkembangan percobaan selanjutnya dilakukan pada sebuah tempat di dalam *prototype* kapal yang panjangnya 7 meter dan lebar 3,2 meter yang diisi air sedalam 0,5 meter, jalur lintasan dapat mencapai 5 meter.



Gambar 3.9 Wadah air pada *prototype* kapal

### 3.2.2 Pengukur Kecepatan

Pengukur kecepatan ini dipakai untuk mengukur kecepatan kapal model, menggunakan sensor infra merah. Waktu dan kecepatan ditampilkan pada display LCD dengan ketelitian 0,001 m/sec. Hasil pengukuran dapat ditampilkan langsung di komputer melalui terminal.

Gambar 3.10 *Speed Counter*

Gambar 3.11 Sensor Infra Merah

Gambar 3.12 *Display* saat pembacaan kecepatan.

### 3.2.3 DC Power Supply

Alat ini berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

Merek	:	ATTEN
Input	:	110/220 V
Voltage	:	0 – 30 volt
Ampere	:	0 – 30 ampere

Gambar 3.13 *DC Power Supply*

### 3.2.4 Pasir Muatan

Pasir digunakan sebagai muatan pada kapal model agar kapal memiliki beban yang cukup ketika bergerak. Pembebanan pasir tersebut ditempatkan pada kantong plastik dengan massa yang bervariasi.



Gambar 3.14 Pasir Muatan

### 3.2.5 Timbangan

Timbangan digital digunakan untuk menghitung massa kapal model yang telah bermotor listrik dan muatan pasir yang akan dimasukkan ke dalam kapal model sebagai muatan. Ketelitian timbangan 0,001 gram.



Gambar 3.15 Timbangan

### 3.2.6 Saklar Listrik

Saklar listrik digunakan sebagai pemutus dan penyambung aliran listrik dari *DC Power Supply* ke motor listrik. Alat ini dipasangkan dengan maksud mempermudah menjalankan dan memberhentikan kapal model saat melaju serta menjaga *DC Power Supply* agar tetap menyala konstan.



Gambar 3.16 Saklar listrik

### 3.2.7 Motor Listrik

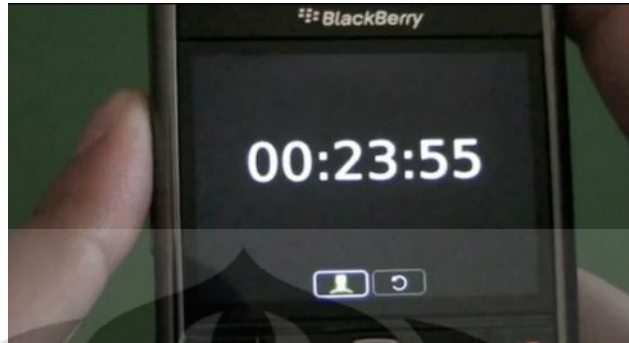
Motor listrik digunakan sebagai mesin utama pada kapal model saat percobaan. Motor listrik yang diberikan aliran listrik dari DC Power Supply akan memutar *propeller* sehingga kapal dapat melaju. Motor listrik ini biasanya dipakai untuk memutar *helikopter remote control*.



Gambar 3.17 Motor Listrik

### 3.2.8 Stopwatch Digital

Stopwatch digunakan untuk membaca catatan waktu saat kapal model melewati jarak tempuh tertentu pada kolam *prototype* kapal 7 meter. Stopwatch tersebut berdisplay digital sehingga lebih akurat dalam pembacaan serta memiliki ketelitian hingga 0,001 sekon. Stopwatch ini dipakai karena infra merah pada alat pengukuran kecepatan sangat sensitive terhadap sinar matahari sehingga tidak dapat pada kolam *prototype* kapal.



Gambar 3.18 *Stopwatch Digital* dengan menggunakan *Blackberry®*

### 3.3 UJI COBA KAPAL MODEL

Proses pengujian ini bertujuan untuk membandingkan kecepatan serta olah gerak yang ditimbulkan pada kapal model percobaan dengan menggunakan *water tunnel* dengan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup pada kedua ujung keluar *tunnel*nya.

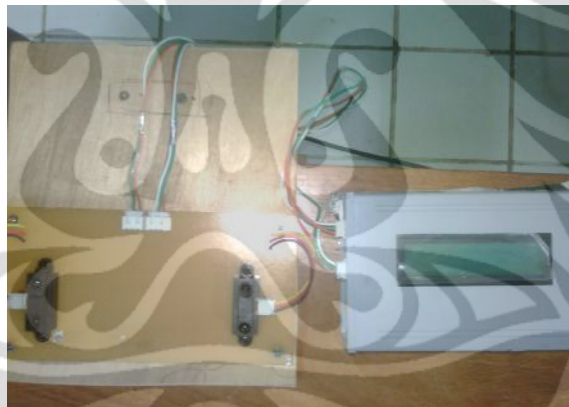
Kecepatan kapal model tersebut didapatkan dari hasil pergerakan motor listrik yang dialiri aliran listrik tertentu dari *DC Power Supply*, sehingga dapat memutar baling – baling, putaran baling – baling tersebut akan menggerakkan kapal model hingga melewati alat pengukur kecepatan. Kecepatan akan tertangkap oleh sensor infra merah yang kemudian akan diolah menjadi data kecepatan bersatuan m/sec dan langsung tersimpan di komputer.

Percobaan dilakukan pada dua tempat yaitu pada *towing tank* dan pada *prototype* kapal. Hal ini dikarenakan jarak tempuh yang kurang panjang karena keterbatasan panjangnya *towing tank* sehingga diperlukan tempat yang lebih panjang untuk dilakukan percobaan yaitu dengan percobaan di *prototype* kapal. Percobaan yang dilakukan di *towing tank* dilakukan terlebih dahulu dengan percobaan pada kapal model dengan penggunaan *water tunnel* serta kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup. Sedangkan pada tempat percobaan pada *prototype* kapal, dilakukan percobaan yang sama dengan yang dilakukan pada percobaan di *towing tank*.



Berikut langkah percobaan dalam uji coba kapal model ini :

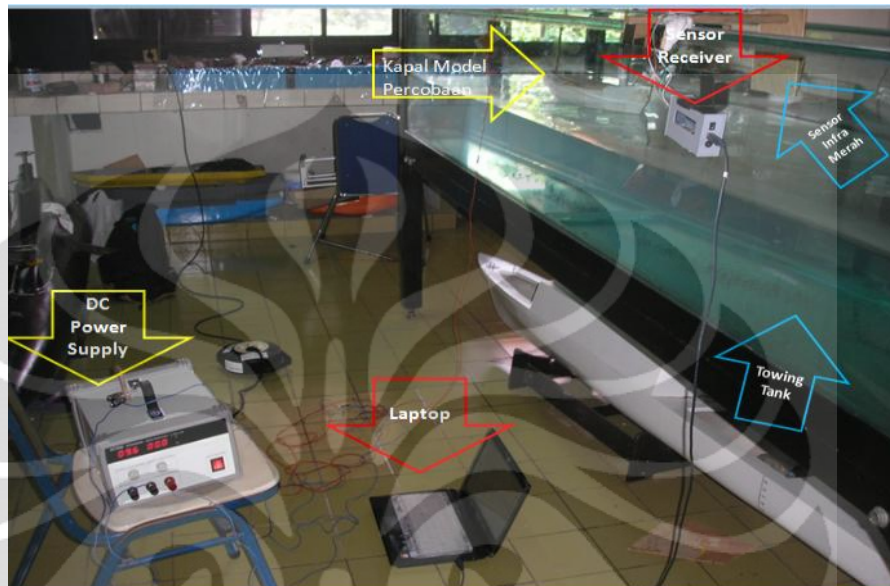
1. Siapkan semua peralatan alat uji sesuai dengan rancangan alat uji dan pastikan semua alat dalam kondisi yang baik.
2. Mempersiapkan kolam uji tarik, dengan memasang kawat sebagai pemandu arah pada tengah kolam uji tarik. Jarak sisi pemasangan kawat harus disesuaikan agar ketika kapal bergerak tidak menabrak ke alat pengukur kecepatan. Pastikan kawat lurus dan ketegangan disesuaikan.
3. Menyiapkan pengukur kecepatan sehingga siap digunakan. Pastikan semua kabel-kabel penghubung antara sensor ke terminal serta terminal ke komputer terpasang benar serta memposisikan sensor dengan tepat pada sisi dinding kolam uji. Hal ini dimaksudkan agar hasil yang tertangkap tidak mengalami *error* saat pengambilan serta tidak terjadi tabrakan saat kapal berjalan melewati sensor. Berikut adalah rancangan pemasangannya:



Gambar 3.19 Rancangan pemasangan pengukur kecepatan

4. Hubungkan kabel listrik yang menghubungkan dinamo motor listrik pada kapal model percobaan dengan DC Power Supply
5. Kemudian kapal ditaruh didalam *towing tank* dan kemudian diberikan pemberat dari pasir sebagai pembeban agar kapal mencapai sarat air atau *draft* yang sesuai.
6. Kemudian kapal yang sudah dipasang pemandu dipaskan kepada kawat pengarah.

7. Siap untuk melakukan percobaan kapal model yaitu dengan kapal model dengan *water tunnel*. Berikut ini gambar rancangan pengujian pada tempat percobaan di *towing tank*:



Gambar 3.20 Rancangan alat percobaan pada tempat percobaan di *towing tank*

8. Pada setiap melakukan pengujian, data yang tersimpan di pengukur kecepatan sensor infra merah terhubung langsung dengan komputer yang kemudian digunakan untuk melakukan pengolahan data selanjutnya.
9. Setelah pengujian dengan menggunakan kapal percobaan dengan *water tunnel* selesai maka kemudian kapal percobaan dilakukan modifikasi dengan menutup aliran keluar dari *water tunnel* yang mengarah ke propeller. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh aliran yang keluar dari *water tunnel* akan mempengaruhi laju kecepatan kapal model.
10. Setelah proses modifikasi selesai barulah dilakukan proses pengujian kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup.
11. Secara keseluruhan proses pengujian ini hampir sama dengan langkah pengujian yang pertama. Perbedaannya yaitu ditutupnya pengaruh keluar dari *water tunnel*.

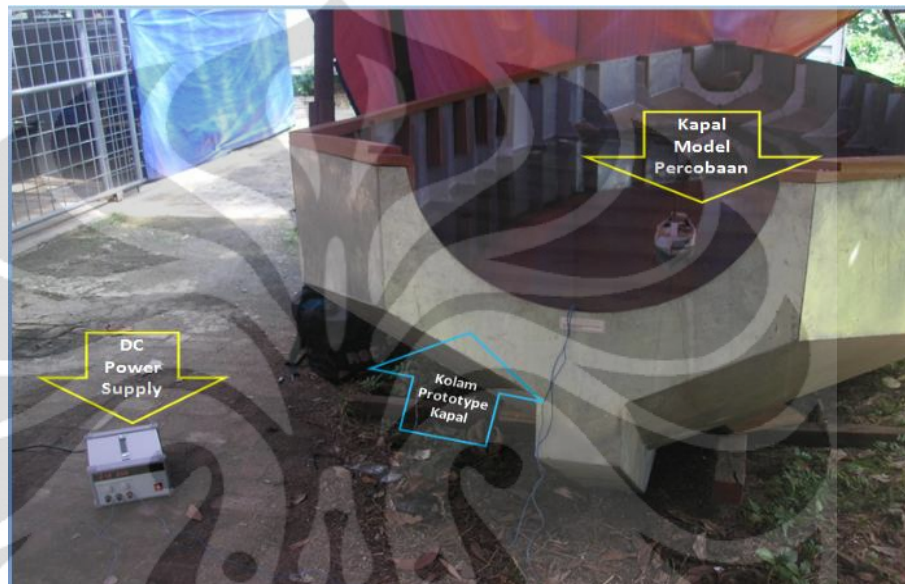
12. Setelah pengujian dengan menggunakan kapal percobaan pada *towing tank* selesai, maka pengujian dilakukan pada *prototype* kapal.
13. Pada *prototype* kapal sebelumnya sudah diisikan air sebagai kolam percobaan. Dipasangi kawat sebagai pemandu arah pada tengah kolam uji tarik,serta dipastikan kawat lurus dan ketegangan disesuaikan.
14. Pada percobaan ini alat penangkap kecepatan dengan sensor infra merah tidak bisa dipakai dikarenakan pengaruh pantulan efek sinar matahari sehingga alat tidak bisa membaca dengan benar.
15. Pengukuran dilakukan dengan mengukur waktu tempuh yang diperlukan dari satu titik awal ke titik akhir dengan menggunakan *stopwatch* digital secara manual. Titik awalnya yaitu 1,17 meter sebelum titik akhir.



Gambar 3.21 Titik awal dan akhir pengukuran dengan *stopwatch* digital pada tempat percobaan di *prototype* kapal

16. Sehingga data kecepatan didapat dari jarak tempuh dibagi dengan waktu tempuh.
17. Kemudian kapal model percobaan ditaruh di dalam kolam *prototype* kapal, diberikan pembebanan pasir dengan jumlah yang sama pemberat dari pasir sebagai pembeban agar kapal mencapai sarat air atau *draft* yang sesuai., kemudian memasang pemandu yang dipaskan kepada kawat pengarah.

18. Hubungkan kabel listrik yang menghubungkan dinamo motor listrik pada kapal model percobaan dengan DC Power Supply
19. Siap untuk melakukan percobaan kapal model yaitu dengan kapal model dengan menggunakan *water tunnel*. Berikut ini gambar rancangan pengujian pada tempat percobaan di *prototype* kapal:



Gambar 3.22 Rancangan alat percobaan pada tempat percobaan di *prototype* kapal

20. Setelah pengujian dengan menggunakan kapal percobaan dengan *water tunnel* selesai maka kemudian kapal percobaan dilakukan modifikasi dengan menutup aliran keluar dari *water tunnel* yang mengarah ke propeller. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh aliran yang keluar dari *water tunnel* akan mempengaruhi laju kecepatan kapal model.
21. Setelah proses modifikasi selesai barulah dilakukan proses pengujian kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup.
22. Secara keseluruhan proses pengujian ini hampir sama dengan langkah pengujian yang sebelumnya. Perbedaannya yaitu ditutupnya pengarah keluar dari *water tunnel*.

## BAB IV

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

#### 4.1 Perhitungan Data

Dari percobaan yang dilakukan pada *towing tank* yang menggunakan alat penangkap kecepatan sensor infra merah didapatkan data langsung dalam bentuk kecepatan dalam satuan meter/second, sedangkan pada percobaan di *prototype* kapal yang menggunakan alat stopwatch digital didapatkan waktu tempuh (t) dari satu titik awal ke titik akhir, yang kemudian untuk mendapatkan kecepatan laju kapal (v) akan didapatkan dari jarak tempuh (s) dibagi oleh waktu tempuh(t). Pada percobaan ini menggunakan variasi voltage dengan besaran 8 volt, 10 volt, 12 volt dan 14 volt. Selain voltage akan didapatkan juga data arus listrik (*ampere*) dari DC *Power Supply*, dimana arus dan voltage ini akan menghasilkan besaran daya (watt) yang diberikan kepada dinamo motor listrik.

Dari voltage (V) dan arus/Ampere (I) yang didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari daya (P) pada dinamo motor listrik. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (4.1)$$

Dimana :

- $P$  = Daya (watt)
- $V$  = Voltage (Volt)
- $I$  = Arus (Ampere)

Tabel 4.1 Pengolahan daya yang digunakan

V	I	P = V x I
Voltage (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
8	8,6	68,8
10	10,8	108
12	13,2	158,4
14	15,4	215,6

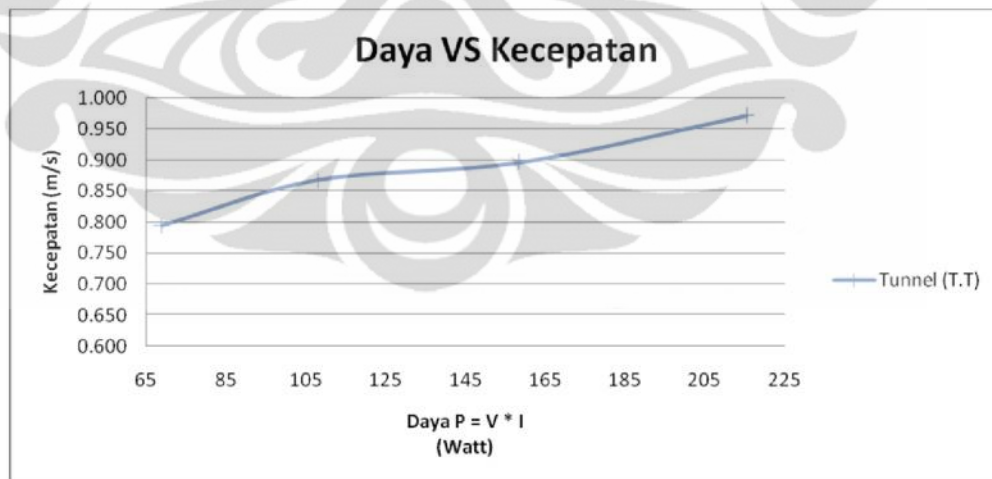
#### 4.1.1 Kapal model dengan *water tunnel* (di dalam *towing tank*)

Percobaan dilakukan di *towing tank* dengan alat penangkap kecepatan sensor infra merah dengan kapal model yang sudah dilengkapi dengan *water tunnel* dan diberikan pembebanan yang sama. Berikut ini data hasil percobaannya:

Tabel 4.2 Perhitungan data pada kapal model dengan *water tunnel* di dalam *towing tank*

Kapal Model Dengan Water Tunnel (T.T)								
P = V * I	Kecepatan (m/s)					Average	Standar Deviasi	Standar Error
Daya (Watt)	1	2	3	4	5			
68,8	0,740	0,780	0,790	0,810	0,852	0,795	0,037	0,016
108	0,781	0,970	0,806	0,813	0,969	0,868	0,084	0,037
158,4	0,813	0,844	0,934	0,941	0,950	0,896	0,056	0,025
215,6	0,898	0,903	0,930	0,930	1,198	0,972	0,114	0,051

Dari data kecepatan yang didapat maka dapat didapatkan grafik perbandingan antara kecepatan laju kapal (meter/second) dengan daya yang masuk pada dinamo motor listrik (Watt).



Gambar 4.1 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* pada percobaan di dalam *towing tank*.

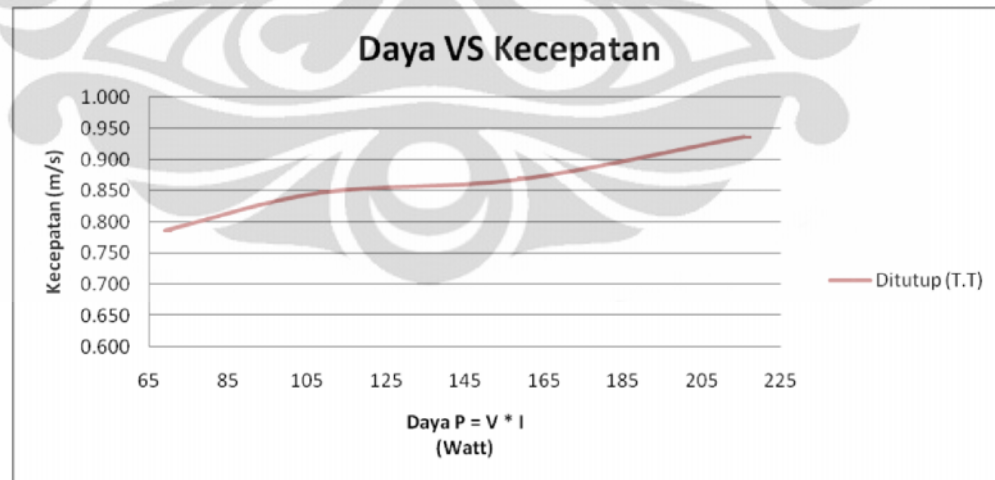
#### 4.1.2 Kapal model dengan *water tunnel* ditutup (di dalam *towing tank*)

Percobaan dilakukan di *towing tank* dengan alat penangkap kecepatan sensor infra merah dengan kapal model yang sudah dilengkapi dengan *water tunnel* yang ditutup pada bagian *tunnel* keluarannya yang mengarah ke propeller dan diberikan pembebanan yang sama. Berikut ini data hasil percobaannya:

Tabel 4.3 Perhitungan data pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup di dalam *towing tank*

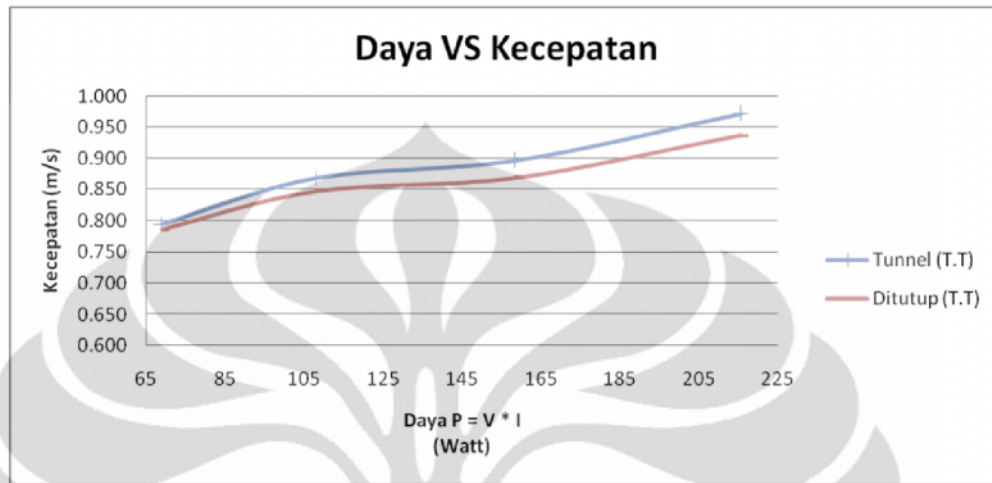
Kapal Model Dengan Water Tunnel Ditutup (T.T)								
$P = V * I$	Kecepatan (m/s)					Average	Standar Deviasi	Standar Error
Daya (Watt)	1	2	3	4	5			
68,8	0,744	0,785	0,781	0,807	0,813	0,786	0,024	0,011
108	0,792	0,836	0,878	0,904	0,825	0,847	0,040	0,018
158,4	0,832	0,889	0,909	0,904	0,810	0,869	0,040	0,018
215,6	0,893	0,977	0,984	0,838	0,994	0,937	0,061	0,027

Dari data kecepatan yang didapat maka dapat didapatkan grafik perbandingan antara kecepatan laju kapal (meter/second) dengan daya yang masuk pada dinamo motor listrik (Watt).



Gambar 4.2 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank*.

Didapatkan grafik daya terhadap kecepatan pada kapal dengan *water tunnel* dan dengan *water tunnel* yang ditutup pada percobaan di dalam *towing tank*.



Gambar 4.3 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* dan kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank*.

#### 4.1.3 Kapal model dengan *water tunnel* (di dalam *prototype* kapal)

Percobaan dilakukan di *prototype* kapal dengan alat stopwatch digital untuk mendapatkan waktu tempuh (t) dengan kapal model yang sudah dilengkapi dengan *water tunnel* dan diberikan pembebanan yang sama. Berikut ini data hasil percobaannya:

Tabel 4.4 Data hasil percobaan kapal model dengan *water tunnel* di dalam *prototype* kapal

Kapal Model Dengan Water Tunnel				
No	Waktu (second)			
	14 volt	12 volt	10 volt	8 volt
1	1.26	1.31	1.58	1.62
2	1.26	1.37	1.54	1.66
3	1.33	1.40	1.56	1.61
4	1.22	1.38	1.54	1.67
5	1.30	1.37	1.50	1.68
AVERAGE	1.274	1.3646	1.5446	1.6498



Dari waktu yang didapatkan diatas maka perhitungan selanjutnya yaitu mencari besarnya kecepatan kapal tersebut. Besarnya kecepatan kapal ( $V$ ) tersebut dapat dihitung menggunakan perubahan jarak ( $s$ ) yang ditempuh per satuan waktu ( $t$ ).

$$V = \frac{s}{t} \quad (4.2)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan kapal model (meter/detik)

$s$  = Perubahan jarak kapal model (meter)

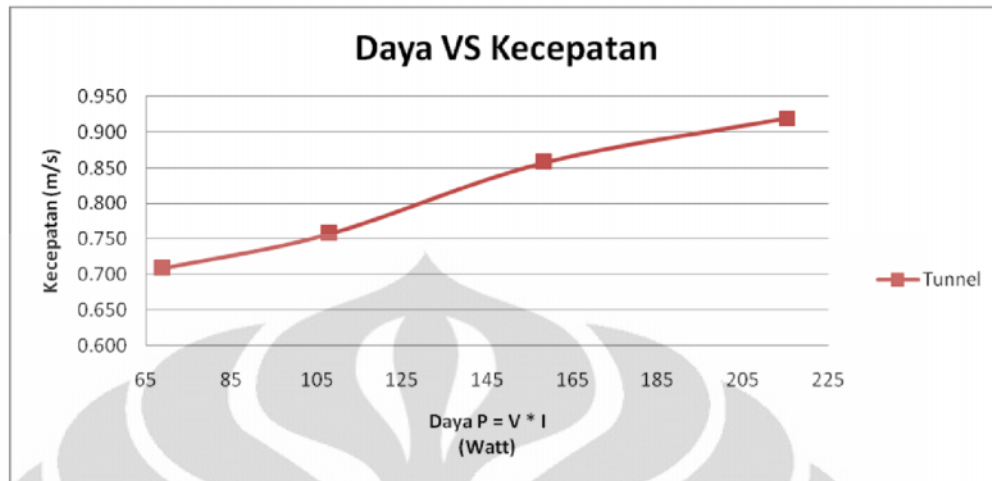
$t$  = Waktu tempuh kapal model (detik)

Dari menggunakan rumus diatas maka didapatkan kecepatan kapal model dengan *water tunnel*

Tabel 4.5 Perhitungan data pada kapal model dengan *water tunnel* di dalam *prototype* kapal

Kapal Model Dengan Water Tunnel								
$P = V * I$	Kecepatan (m/s)					Average	Standar Deviasi	Standar Error
Daya (Watt)	1	2	3	4	5			
68,8	0,723	0,703	0,725	0,699	0,697	0,709	0,012	0,005
108	0,740	0,761	0,750	0,759	0,778	0,758	0,013	0,006
158,4	0,897	0,855	0,838	0,846	0,855	0,858	0,020	0,009
215,6	0,930	0,926	0,878	0,957	0,903	0,919	0,027	0,012

Dari data kecepatan yang didapat maka dapat didapatkan grafik perbandingan antara kecepatan laju kapal (meter/second) dengan daya yang masuk pada dinamo motor listrik (Watt).



Gambar 4.4 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* pada percobaan di dalam *prototype* kapal.

#### 4.1.4 Kapal model dengan *water tunnel* ditutup (di dalam *prototype* kapal)

Percobaan dilakukan di *prototype* kapal dengan alat stopwatch digital untuk mendapatkan waktu tempuh ( $t$ ) dengan kapal model yang sudah dilengkapi dengan *water tunnel* yang ditutup dan diberikan pembebanan yang sama. Berikut ini data hasil percobaannya:

Tabel 4.6 Data hasil percobaan kapal model dengan *water tunnel* ditutup di dalam *prototype* kapal.

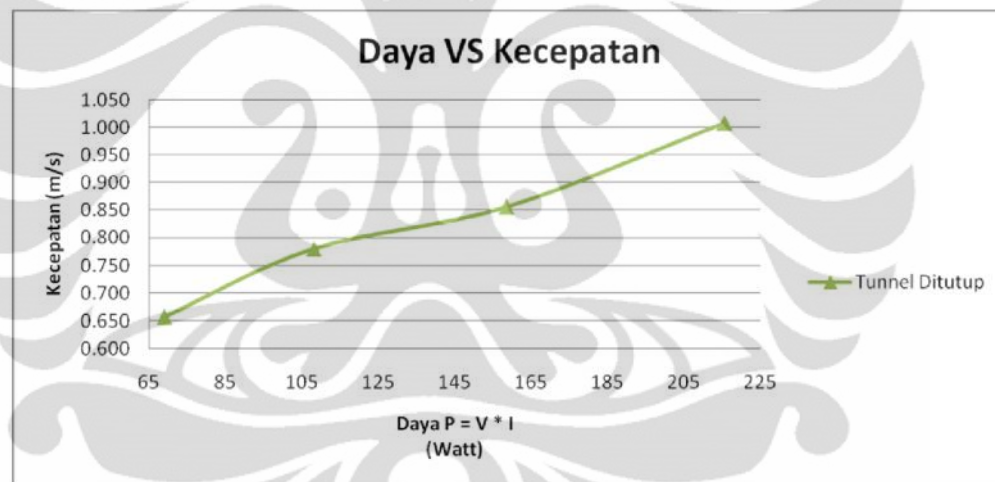
Kapal Model Dengan Water Tunnel Ditutup				
No	Waktu (second)			
	14 volt	12 volt	10 volt	8 volt
1	1.18	1.37	1.41	1.80
2	1.10	1.44	1.60	1.78
3	1.12	1.36	1.43	1.87
4	1.18	1.24	1.51	1.74
5	1.22	1.44	1.58	1.72
AVERAGE	1.1614	1.3708	1.5038	1.782

Dengan menggunakan rumus (4.2) diatas maka didapatkan kecepatan kapal model dengan *water tunnel* ditutup

Tabel 4.7 Perhitungan data pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup di dalam *prototype* kapal

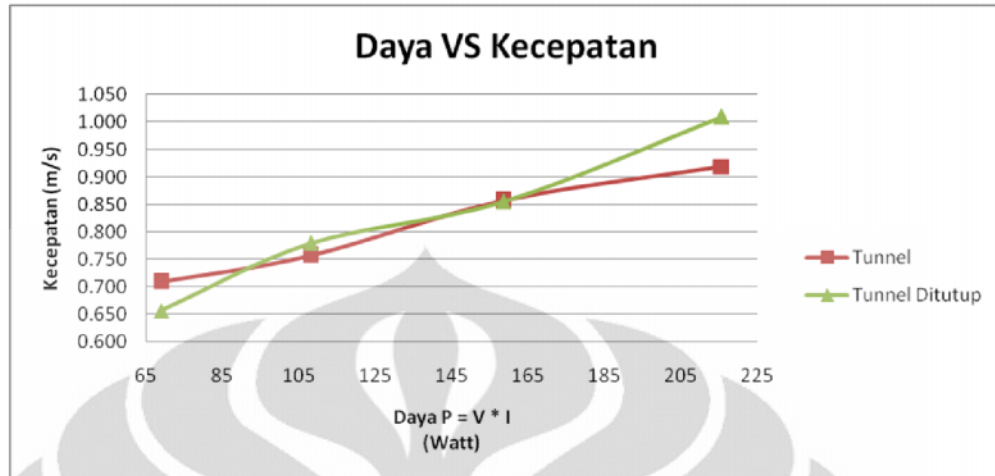
Kapal Model Dengan Water Tunnel Ditutup								
$P = V * I$	Kecepatan (m/s)					Average	Standar Deviasi	Standar Error
Daya (Watt)	1	2	3	4	5			
68,8	0,649	0,657	0,625	0,673	0,682	0,657	0,020	0,009
108	0,832	0,734	0,816	0,776	0,742	0,780	0,039	0,017
158,4	0,855	0,811	0,863	0,941	0,811	0,856	0,048	0,021
215,6	0,995	1,062	1,041	0,988	0,958	1,009	0,037	0,017

Dari data kecepatan yang didapat maka dapat didapatkan grafik perbandingan antara kecepatan laju kapal (meter/second) dengan daya yang masuk pada dinamo motor listrik (Watt).



Gambar 4.5 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *prototype* kapal.

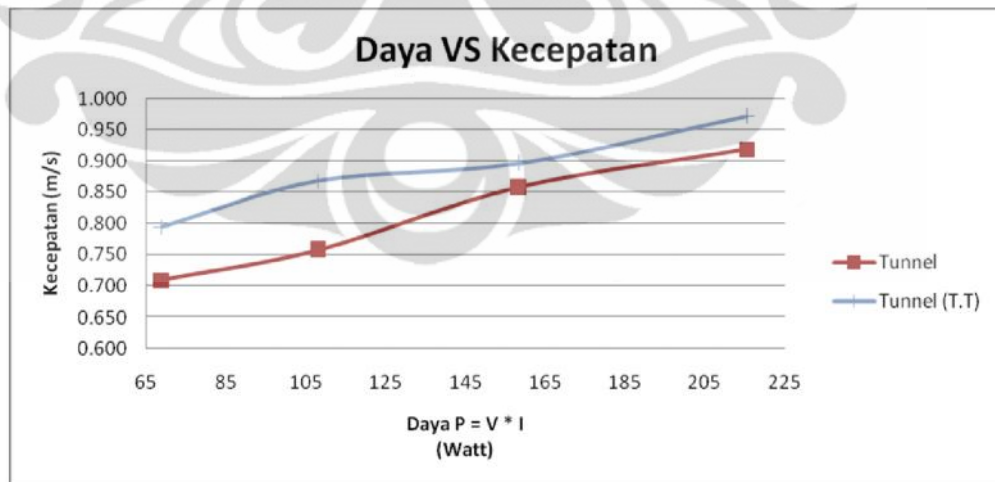
Didapatkan grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel*, dan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup pada percobaan di dalam *prototype* kapal.



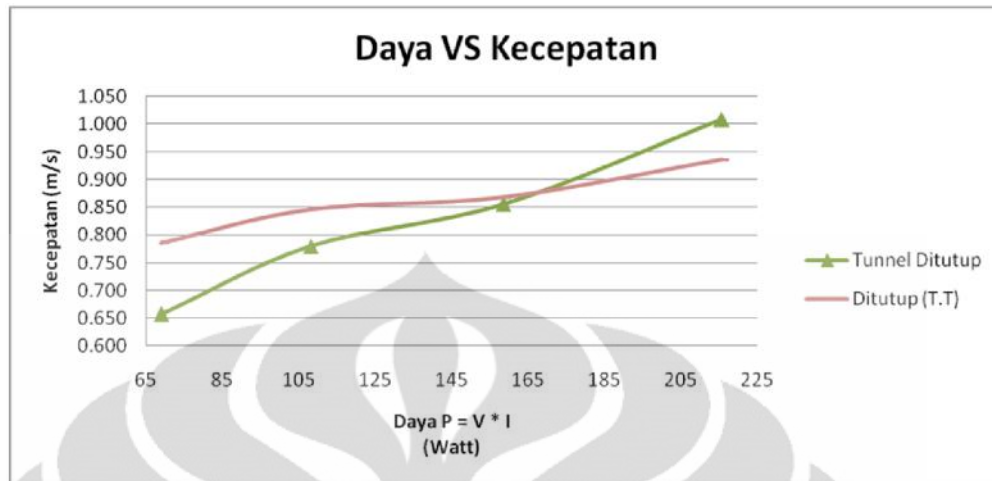
Gambar 4.6 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel*, dan kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *prototype* kapal.

#### 4.2 Analisa Data

Dari data yang diperoleh dengan kapal model yang sama, terlihat adanya perbedaan dari dua tempat percobaan, antara percobaan yang dilakukan di dalam *towing tank* dan di dalam *prototype* kapal.



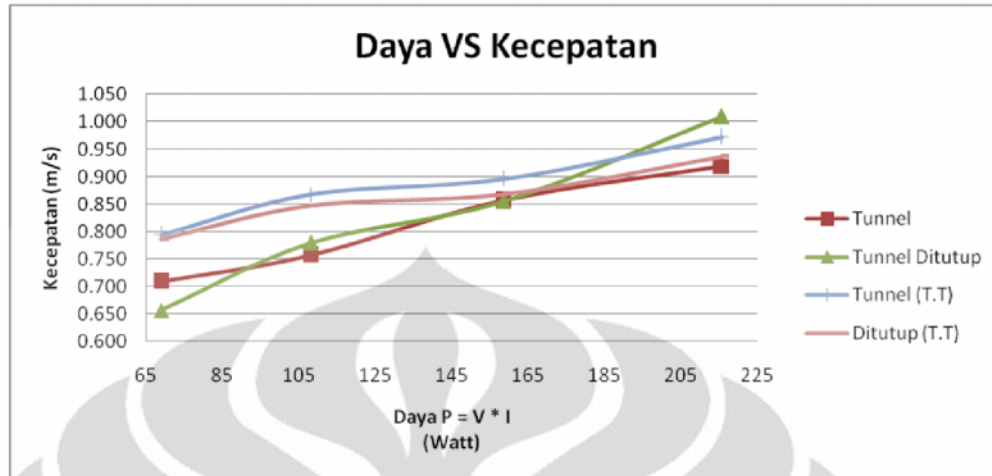
Gambar 4.7 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel*, pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.



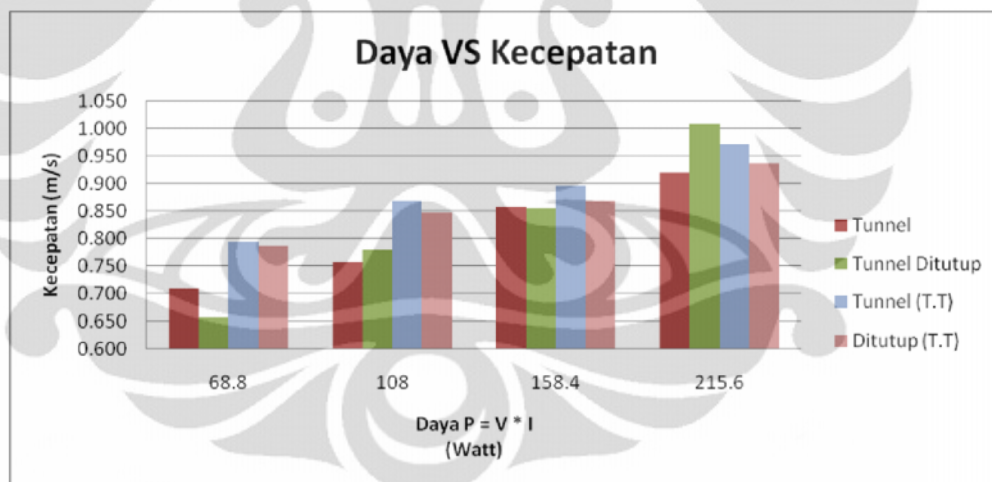
Gambar 4.8 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel* ditutup, pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.

Hal ini dapat terlihat pada grafik perbandingan diatas antara kapal model dengan *water tunnel* pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal, terlihat bahwa grafik hasil percobaan di *towing tank* lebih diatas atau lebih tinggi kecepatannya dibandingkan dengan yang dicoba di dalam *prototype* kapal, begitu juga dengan grafik perbandingan pada kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup, grafik percobaan di *towing tank* lebih tinggi sebelum akhirnya memotong grafik dari hasil percobaan di *prototype* kapal.

Hal ini menunjukkan bahwa hasil percobaan di *towing tank* mempunyai kecepatan lebih tinggi namun grafik hasil percobaannya tidak teratur dengan adanya grafik yang memotong, hal ini dikarenakan jarak tempuh yang relatif singkat pada *towing tank*, sebelum kapal akhirnya mempunyai kecepatan yang stabil dan efek dari aliran fluida pada *water tunnel* belum bekerja secara optimal, selain itu gelombang balik yang terpantul dari dinding *towing tank* juga dapat mempengaruhi hasil percobaan. Sedangkan percobaan di *prototype* kapal grafiknya lebih baik dan menunjukkan adanya peningkatan kecepatan yang konstan, dikarenakan jarak tempuh yang lebih panjang, dan aliran fluida yang masuk ke dalam *water tunnel* sudah bekerja secara optimal.



Gambar 4.9 Grafik daya terhadap kecepatan pada kapal model dengan *water tunnel*, kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.



Gambar 4.10 Perbandingan kecepatan antara kapal model dengan *water tunnel*, kapal model dengan *water tunnel* ditutup pada percobaan di dalam *towing tank* (T.T) dan di dalam *prototype* kapal.

Dari grafik hasil percobaan secara keseluruhan dapat terlihat bahwa kapal model dengan *water tunnel* tidak lebih cepat dibandingkan dengan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup. Hal ini tidak sesuai dengan teori awal bahwa aliran dari *water tunnel* akan memberikan tambahan kecepatan kapal dan

meningkatkan kinerja baling-baling dengan mendapatkan aliran air yang lebih banyak dan kecepatan aliran air yang meningkat.

Analisa yang dapat dilakukan yaitu kinerja aliran dari *water tunnel* tidak bekerja dengan sebagaimana yang diinginkan atau tidak memberikan tambahan kecepatan dan meningkatkan kinerja baling-baling kapal, hal ini dikarenakan arah aliran yang keluar dari *water tunnel* tidak mengarah ke propeller namun hanya keluar pada bagian samping buritan kapal, sehingga dapat terjadi aliran yang saling bertabrakan antara aliran air dari lambung kapal dan aliran yang keluar dari *water tunnel*, yang menyebabkan besar aliran dan kecepatan aliran yang dihasilkan dari penggunaan *water tunnel* menjadi tidak berpengaruh. Tahanan bentuk serta tahanan gesek dari penggunaan *water tunnel* masih lebih besar dibandingkan daya dorong tambahan yang diharapkan akan masuk baling-baling kapal dari pengaruh kerja *water tunnel*, sehingga mengakibatkan kecepatan laju kapal model dengan *water tunnel* tidak lebih unggul, dibandingkan dengan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari percobaan ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Kapal model dengan *water tunnel* tidak lebih cepat dibandingkan dengan kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup.
2. Dengan tidak lebih cepatnya kapal model dengan *water tunnel* terhadap kapal model dengan *water tunnel* yang ditutup, menunjukkan bahwa aliran dari *water tunnel* yang digunakan tidak efektif dan meningkatkan kinerja dari baling-baling kapal yang diharapkan dapat meningkatkan kecepatan laju kapal.
3. Dikarenakan dari arah aliran yang keluar dari *water tunnel* tidak langsung mengarah kepada propeller, besarnya aliran dan kecepatan aliran yang seharusnya masuk ke baling-baling menjadi tidak berpengaruh, sehingga ada yang perlu diperhitungkan mengenai cara mengarahkan aliran air yang keluar dari *water tunnel*.

#### 5.2 Saran

Dari percobaan ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Bentuk dan kondisi dari *water tunnel* masih belum rapih atau belum baik sehingga akan menjadi tahanan tersendiri pada pemakaiannya pada kapal model.
2. Perlu dilakukan modifikasi ulang pada *water tunnel* bagaimana bentuk, letak, sudut yang paling optimal atau dengan penambahan modifikasi lainnya sehingga dapat memperbaiki kinerja aliran serta mengarahkan aliran yang masuk ke baling-baling kapal model.



3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan *water tunnel* terhadap kestabilan serta olah gerak kapal, serta penggunaan dari *air cushion* dimana perangkatnya sudah tersedia namun belum dapat digunakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Harvald, Sv. Aa. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Airlangga University Press. Surabaya. 1992.
- Bertram, Volker. *Practical Ship Hydro Dynamics*. Butterworth Heinemann. Oxford. 1999.
- Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. *Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 2*. Erlangga. Jakarta. 2002.
- H. Schneekluth, V. Bertram. *Ship Design for Efficiency and Economy Second Edition*. Butterworth Heinemann. Oxford. 1998.
- Emin Korkut. *A case study for the effect of a flow improvement device ( a partial wake equalizing duct) on ship powering characteristics*. 2005. Science Direct: Ocean Engineering 33 (2006) 205 – 218.
- Fahri Celik. *A numerical study for effectiveness of a wake equalizing duct*. 2007. Science Direct: Ocean Engineering 34 (2007) 2138 – 2145.