



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**STUDI EKSPERIMEN *DRAG REDUCTION* DENGAN  
PENERAPAN METODE *AIR BUBBLE-LUBRICATED  
SYSTEM* PADA LAMBUNG KAPAL *OFFSHORE SUPPLY  
VESSEL***

**Wizura Akmal Mahardika  
NRP 0411154000061**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**STUDI EKSPERIMEN *DRAG REDUCTION* DENGAN  
PENERAPAN METODE *AIR BUBBLE-LUBRICATED*  
SYSTEM PADA LAMBUNG KAPAL *OFFSHORE SUPPLY*  
*VESSEL***

**Wizura Akmal Mahardika  
NRP 0411154000061**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



---

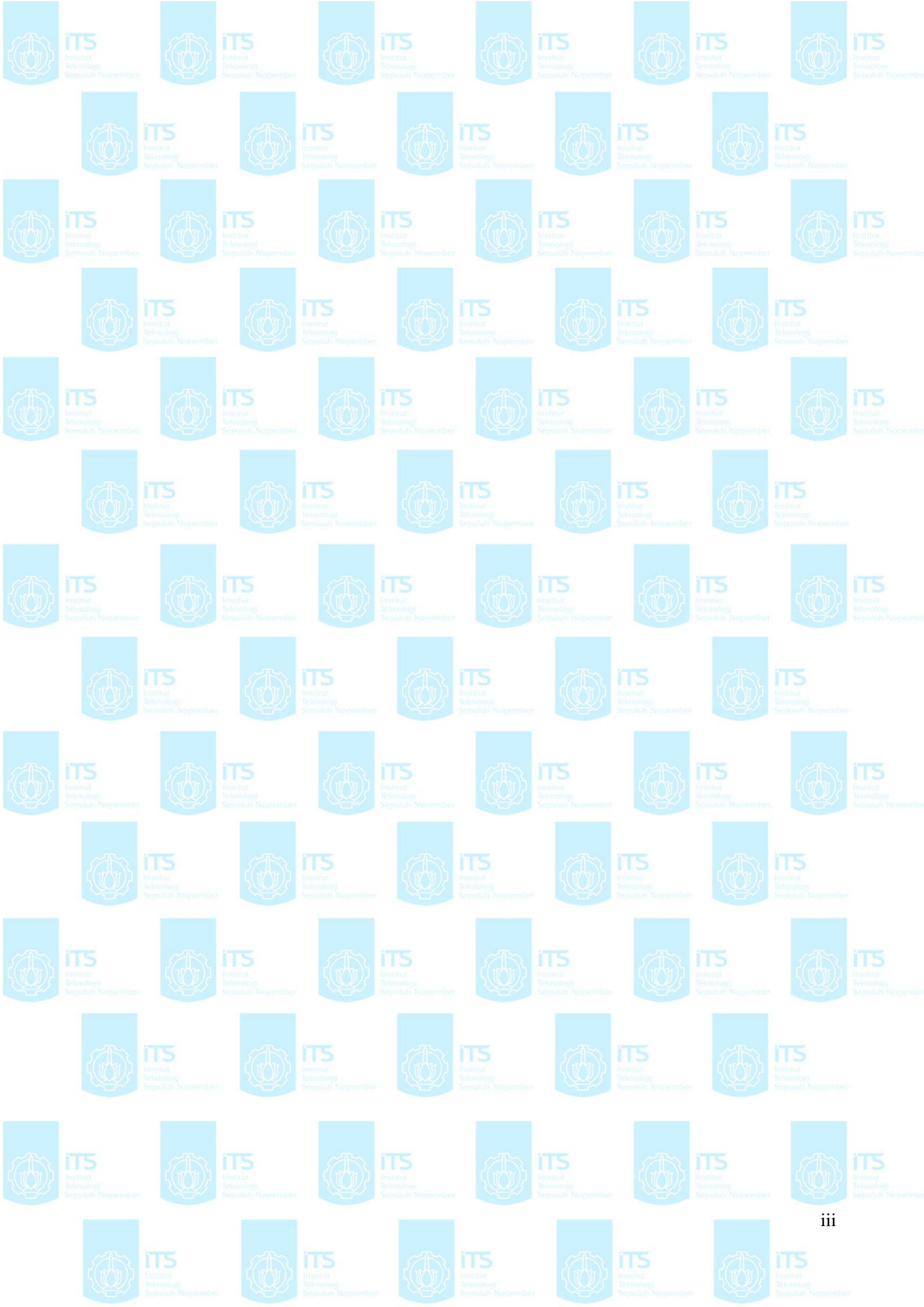
**FINAL PROJECT - MN 184802**

**EXPERIMENT STUDY OF AIR BUBBLE LUBRICATION  
SYSTEM ON OFFSHORE SUPPLY VESSEL'S HULL AS A  
MEANS FOR DRAG REDUCTION**

**Wizura Akmal Mahardika  
NRP 0411154000061**

**Supervisor  
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2019**



# LEMBAR PENGESAHAN

## STUDI EKSPERIMEN *DRAG REDUCTION* DENGAN PENERAPAN METODE *AIR BUBBLE-LUBRICATED SYSTEM* PADA LAMBUNG KAPAL *OFFSHORE SUPPLY VESSEL*

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**WIZURA AKMAL MAHARDIKA**  
NRP 0411154000061

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D  
NIP 1967 04061 9920 31001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Wasik Dwi Arsyawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210198903 1 001

SURABAYA, JULI 2019

# LEMBAR REVISI

## STUDI EKSPERIMEN *DRAG REDUCTION* DENGAN PENERAPAN METODE *AIR BUBBLE-LUBRICATED SYSTEM* PADA LAMBUNG KAPAL *OFFSHORE SUPPLY VESSEL*

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 5 Juli 2019

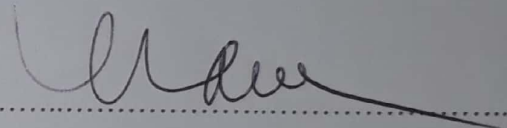
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

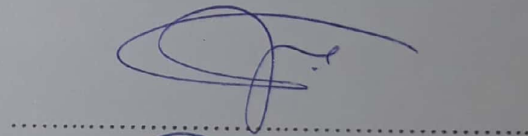
**WIZURA AKMAL MAHARDIKA**  
NRP 0411154000061

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

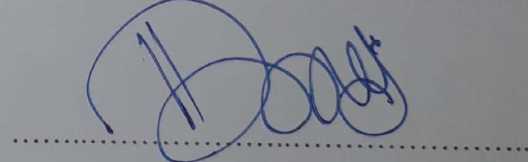
1. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng



2. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D

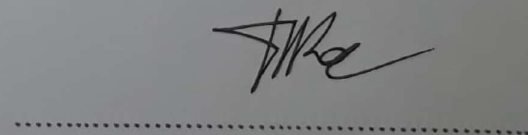


3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D



SURABAYA, JULI 2019

*Allah-lah yang menundukkan lautan untukmu supaya kapal-kapal dapat berlayar padanya dengan seizin-Nya dan supaya kamu dapat mencari karunia -Nya dan mudah-mudahan kamu bersyukur. (Q.S. Al-Jathiyah: 12).*

***Untuk Ibu dan Bapak yang untaian kasihnya tiada henti.***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Ibu Dian Choiriah Soamole dan Bapak Destyawan selaku orang tua dari penulis yang telah memberikan dukungan, bimbingan, doa serta kasih sayang kepada Penulis;
2. Adik-adikku, Pelangi Raihan dan Nafisa Tahar yang saya banggakan, Nenek Widji , Abah Radjak dan Nin Yeni serta seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat untuk studi;
3. Prof.Ir I Ketut Aria Pria Utama ,M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng , Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D, Dony Setyawan, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan;
5. Ines Nasywa Aulia, S.T yang senantiasa memberi dukungan;
6. Bapak Langgeng Condro, S.T dan Bapak Rudi Amienudin A.md selaku pranata Laboratorium Hidrodinamika, juga mahasiswa doktoral , Mas Dendy Satriyo yang sudah seringkali membantu dan memberi masukan;
7. Bapak Soegeng Riyadi, S.T, M.T representatif dari PT. Orela Shipyard yang telah berbaik budi memberikan data pendukung untuk penyelesaian Tugas Akhir ini;
8. P55 Samudraraksa yang selalu siap memberikan bantuan kepada penulis,
9. Saudara saudara seperjuangan RMK Hidrodinamika , Ariel Boediman , Rizki Alia , Wiryah Dharmata , Pramodana Haekal , Adit Bagas , Adit P W , Trevin Kuma , Ihsan Fadlurrohman, Zambili Ahmad , dan Audia Naomi;
10. Rekan rekan Bandung ITS yang banyak membantu proses pengerjaan model kapal; Ridho , Tangguh , Bahar ;
11. Tim MSBT ITS dan BSO-Hydromodeling yang telah bersedia meminjamkan inventarisnya;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Dengan segala kerendahan hati, Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak serta ikut memberikan sumbangsih literatur guna memajukan sains dan teknologi bangsa.

Surabaya,

Wizura Akmal Mahardika

# **STUDI EKSPERIMEN *DRAG REDUCTION* DENGAN PENERAPAN METODE *AIR BUBBLE-LUBRICATED SYSTEM* PADA LAMBUNG KAPAL *OFFSHORE SUPPLY VESSEL***

Nama Mahasiswa : Wizura Akmal Mahardika  
NRP : 0411154000061  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D

## **ABSTRAK**

Industri pelayaran disinyalir sebagai salah satu kontributor utama emisi gas buang. Dalam rangka menurunkan tingkat emisi dan meminimalisir biaya operasional, studi rekayasa lambung kapal dengan sistem injeksi udara dilakukan oleh banyak peneliti. Sistem injeksi udara bekerja dengan prinsip mengurangi gaya gesek akibat viskositas fluida pada hambatan kapal. Eksperimen uji tarik kapal yang dilengkapi generator gelembung mikro dijalankan untuk mengetahui nilai pengurangan hambatan yang dapat diperoleh. Sebuah kapal model dan sistem injektor gelembung dibuat secara khusus untuk memenuhi kebutuhan eksperimen. Perhitungan sigma pengurangan hambatan menunjukkan terjadi pengurangan hambatan maksimum sebesar 33,49%. Penambahan kebutuhan kompressor untuk mengetahui nilai efisiensi menunjukkan kebutuhan daya kompressor tidak lebih besar dibanding pengurangan yang terjadi

Kata kunci: *Hambatan , Gelembung mikro , injektor pelat berlubang*

# **EXPERIMENT STUDY OF AIR BUBBLE LUBRICATION SYSTEM ON OFFSHORE SUPPLY VESSEL'S HULL AS A MEANS FOR DRAG REDUCTION**

Author : Wizura Akmal Mahardika  
Student Number : 04111540000061  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc.,Ph.D

## **ABSTRACT**

Shipping industry is considered as one of major global gas emission factor. In order to pursue shipping with lower gas emission and less cost operation, air lubricated system on a ship's hull has been developed throughout the world. *Air lubricated system* works by reducing the skin friction. In this study, a towing experiment of an Offshore Supply Vessel model complied with microbubble generator is conducted to investigate the drag reduction. A ship's model and array-holes plate bubble generator spesifically made to accomodate the needs of the experiment. 33,49% drag reduction is attained in this study and a further calculation shows the power reduced is bigger compared to added power due to compressor installment.

Key words : *drag , microbubble , array-holes plate injector*

## DAFTAR ISI

I.1.	Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.	Perumusan Masalah.....	2
I.3.	Tujuan.....	2
I.4.	Batasan Masalah.....	2
I.5.	Manfaat.....	3
I.6.	Hipotesis.....	3
II.1.	Dasar Teori.....	5
II.1.1.	Komponen Hambatan berdasarkan ITTC.....	6
II.2.	Tinjauan Pustaka.....	8
II.2.1.	Mekanisme Pengurangan Hambatan Kapal dengan Gelembung Udara.....	9
II.2.2.	Karakteristik Gelembung Udara.....	10
II.2.3.	Lapisan Batas.....	12
II.2.4.	<i>Reynolds Number</i> .....	13
II.2.5.	Froude Number.....	14
II.2.6.	Estimasi <i>Injection Rate</i> .....	14
II.2.7.	<i>Towing Tank</i> .....	15
II.2.8.	<i>Net Work Ratio</i> .....	16
III.1.	Metode.....	19
III.2.	Bahan dan Peralatan.....	21
III.2.1.	Model Kapal.....	21
III.2.2.	Sistem Udara.....	22
III.3.	Perancangan dan Pembuatan Spesimen uji.....	22
III.3.1.	Rancangan Sistem Udara.....	22
III.3.2.	Desain Injektor.....	23
III.3.3.	Pembuatan Model Kapal.....	25
III.3.4.	Pembuatan Injektor.....	27
III.3.5.	Pembuatan <i>Port Distributor</i> .....	28
III.3.6.	Pengujian Ukuran Gelembung.....	29
III.3.7.	Perakitan, <i>Finishing</i> dan Pengukuran Dimensi Model.....	30
III.4.	Skala Dasar dan Faktor Korelasi Model.....	31
III.5.	Perhitungan Kebutuhan Tegangan Listrik pada motor.....	32
III.6.	Lokasi Pengerjaan.....	33
III.7.	Lokasi Pengujian.....	33
III.8.	Bagan Alir.....	34
IV.1.	Prosedur Pengujian.....	35
IV.1.1.	Pemasangan Model Kapal pada Kereta.....	35
IV.1.2.	Penempatan Rangkaian Sistem Udara pada Kereta.....	36
IV.1.3.	Kalibrasi Instrumen <i>Loadcell</i> .....	37
IV.1.4.	Pengujian.....	40
IV.1.5.	Metoda Pengambilan Data.....	41
IV.2.	Hasil dan Analisa Model Kapal.....	43
IV.2.1.	Hambatan Total Model dan Persentase Pengurangan Hambatan.....	43
IV.2.2.	Koefisien Hambatan Total.....	45
IV.2.3.	Koefisien Hambatan Residual Model.....	49

IV.2.4.	Daya Efektif <i>Bare Hull</i> Model Kapal.....	50
IV.2.5.	Penambahan Daya Akibat Kompresor pada Model kapal .....	51
IV.2.6.	Nilai Efisiensi Daya pada Model.....	52
IV.3.	Hasil dan Analisa Kapal Skala Sebenarnya.....	54
IV.3.1.	Hambatan Total Kapal dan Harga Pengurangan Hambatan.....	54
IV.3.2.	Daya efektif <i>bare hull</i> pada kapal skala sebenarnya .....	56
IV.3.3.	Penambahan Daya Akibat Kompresor pada Kapal Sebenarnya .....	57
IV.3.4.	Nilai Efisiensi Daya pada Kapal .....	57
V.1.	Kesimpulan .....	59
V.2.	Saran .....	59

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Komponen Hambatan. ....	5
Gambar II.2 Tegangan Geser pada Fluida.....	6
Gambar II.3 Perbedaan Debit Injeksi Memberikan Variasi Ukuran Gelembung.....	11
Gambar II.4 Perbedaan Diameter Lubang <i>Punch Hole</i> Memberikan Variasi Ukuran Gelembung .....	11
Gambar II.5 Pembentukan <i>Boundary Layer</i> pada <i>Airfoil</i> .....	12
Gambar II.6 Bentuk <i>Trace</i> dari Aliran untuk Kecepatan Fluida Berbeda.....	13
Gambar II.7 Gambar skema penarikan model uji di <i>Towing Tank</i> .....	16
Gambar III.1 (a) Body Plan Kapal (b) Sheer Plan (c) Half Breadth Plan .....	20
Gambar III.2 Rancangan Diagram Sistem udara .....	22
Gambar III.3 (a). Desain <i>Array holes Plate</i> (b) <i>Desain Casebox</i> .....	24
Gambar III.4 Lokasi penempatan injektor pada lambung kapal .....	24
Gambar III.5 <i>Section Profile</i> .....	25
Gambar III.6 Sheer Plan Profile dan Half Breadth Profile.....	25
Gambar III.7 Hasil <i>Assembly</i> Menggunakan Perakat .....	26
Gambar III.8 Penandaan Bagian yang akan Dipotong .....	26
Gambar III.9 Lubang yang Dibentuk pada Lambung Kapal .....	27
Gambar III.10 Case dari Injektor.....	28
Gambar III.11 3 <i>Array Holes Plate</i> .....	28
Gambar III.12 Port Distributor .....	29
Gambar III.13 Gelembung udara yang dihasilkan .....	29
Gambar III.14 Pemasangan Injektor ke lambung kapal .....	30
Gambar III.15 <i>Holder</i> poros pengarah .....	31
Gambar III.16 (a) Fasilitas Kolam Uji Tarik di Laboratorium Hidrodinamika (b) Kereta Tarik .....	33
Gambar IV.1 Penempatan Pemberat di Sepanjang Badan Model Kapal .....	35
Gambar IV.2 Poros Pengarah .....	36
Gambar IV.3 Proses Penempatan Sistem Udara .....	37
Gambar IV.4 Pengikatan <i>Loadcell</i> menggunakan Tali .....	37
Gambar IV.5 <i>Strip Chart Recorder</i> .....	38
Gambar IV.6 Proses Kalibrasi .....	38
Gambar IV.7 Kurva Kalibrasi dari <i>Loadcell</i> .....	39
Gambar IV.8 Rancangan Variasi Pengujian.....	40
Gambar IV.9 Pembacaan Simpangan <i>Chart Recorder</i> pada Pengujian C2 .....	41
Gambar IV.10 Kurva Hasil Rataan Simpangan Puncak dan Lembah.....	42
Gambar IV.11 Perbandingan nilai $R_{tm}(A,B,C,D,E,F)$ terhadap $Fr$ .....	44
Gambar IV.12 Grafik perbandingan $C_t (B,C,D,E,F)$ dengan $C_t A$ .....	46
Gambar IV.13 Grafik Hubungan $C_t$ dengan $Re$ .....	48
Gambar IV.14 Koefisien Hambatan Gesek $C_{fm}$ .....	50
Gambar IV.15 Proyeksi Depan Profil Terluar dari Bodyplan Kapal .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Ukuran Utama.....	19
Tabel III.2 Bahan untuk model Kapal.....	21
Tabel III.3 Alat untuk Pembuatan Model Kapal.....	21
Tabel III.4 Bahan untuk Sistem Udara.....	22
Tabel III.5 Dimensi Utama Model Kapal .....	31
Tabel III.6 Korelasi Kecepatan Model.....	32
Tabel III.7 Kebutuhan Voltase Motor Linear .....	32
Tabel IV.1 Spesifikasi <i>Loadcell</i> .....	37
Tabel IV.2 Tanggal Pelaksanaan Pengujian .....	41
Tabel IV.3 Sifat Fisik Air dan Air Laut .....	42
Tabel IV.4 Hasil Nilai Hambatan pada Pengujian Kapal Model Kosong(A) dan Kapal Model Injeksi (B,C,D,E,F) .....	43
Tabel IV.5 Persentase pengurangan hambatan .....	44
Tabel IV.6 Besar Reduksi Hambatan.....	45
Tabel IV.7 Nilai Ctm Model Kapal .....	45
Tabel IV.8 Perbandingan Nilai Ct (B,C,D,E) dengan Ct A .....	46
Tabel IV.9 Cr Model Kapal .....	50
Tabel IV.10 EHP Model Kapal.....	51
Tabel IV.11 Kebutuhan Daya Pompa pada Model .....	52
Tabel IV.12 W net model.....	53
Tabel IV.13 Rasio Efisiensi Daya rW pada Model.....	53
Tabel IV.14 Cfs Kapal .....	54
Tabel IV.15 Cts Kapal dengan Penambahan Koreksi <i>Allowance</i> .....	56
Tabel IV.16 Nilai hambatan kapal pada skala sebenarnya .....	56
Tabel IV.17 Harga EHP .....	57
Tabel IV.18. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Pompa pada Kapal .....	57
Tabel IV.19 W net pada Kapal.....	58
Tabel IV.20 Rasio Efisiensi Daya rW pada Kapal Sesungguhnya .....	58

## DAFTAR SIMBOL

$Q_a$	=	debit injeksi fluida ( $m^3$ )
$Q_w$	=	debit <i>boundary layer</i> ( $m^3$ )
$P$	=	Tekanan (Pa)
$V$	=	Voltase (Volt)
$v$	=	Kecepatan (Amperem/s)
$\lambda$	=	skala $L_s/L_m$ ( non-dimensional)
$\rho$	=	Massa jenis fluida ( $kg.m^{-3}$ )
$Fr$	=	Bilangan Froude (non-dimensional)
$R_{ts}$	=	Hambatan kapal (N)
$R_{tm}$	=	Hambatan total model (N)
$R_r$	=	Hambatan sisa (N)
$Re$	=	Bilangan Reynolds
$Fr$	=	Bilangan Froude
$\alpha$	=	Rasio Injeksi $Q_a/Q_w$
$W$	=	Daya ( watt )
$\nu$	=	Viskositas Kinematik
$\tau$	=	Tegangan geser ( $N/ m^2$ )
$F$	=	Gaya (N)
$S/W_{sa}$	=	Luas permukaan basah ( $m^2$ )
$C_t$	=	Koefisien Hambatan Total
$C_r$	=	Koefisien Hambatan Residual
$\delta$	=	Tebal displasmen (m)
$C_w$	=	Koefisien gelombang
$C_p$	=	Koefisien tekanan
$C_a$	=	Koefisien kekasaran permukaan
$C_{aa}$	=	Koefisien hambatan udara
$r_W$	=	Rasio efisiensi daya





# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Pengembangan dari kapal yang hemat dalam penggunaan energi diharapkan dapat menjadi jawaban dari isu-isu tentang emisi, tingginya biaya kebutuhan bahan bakar dan permasalahan lingkungan serta ekonomi. Sebagai pemegang peran utama dalam distribusi perdagangan, industri pelayaran disinyalir berkontribusi terhadap 3,1 persen emisi global karbon berdasarkan *Third GHG Study (International Maritime Organization, 2015)*. Berkaitan dengan hal tersebut pada April 2018, Komite Perlindungan Lingkungan Laut (MEPC) dibawah IMO (*International Maritime Organization*) yang berperan menjadi payung utama organisasi dunia di bidang kemaritiman mengeluarkan resolusi dan strategi penurunan emisi total industri pelayaran hingga 50% pada tahun 2050.

Lebih lanjut, penelitian membuktikan jika lebih dari 80% energi pada kapal digunakan sebagai energi untuk melawan gaya hidrodinamis (*National Research Council Office of Naval Research, 2002*). Hal itulah yang mendorong arsitek kapal dan peneliti di dunia berlomba-lomba mendesain kapal yang hemat akan energi. Dalam tiga dasawarsa terakhir penelitian mengenai kapal yang lebih efisien menjadi topik gencar dikaji. (*Hashim, Yakob, KOH, Ismail, & Ahmed, 2015*). Pengurangan tersebut bisa dicapai dengan beragam metode. Secara umum jumlah energi yang dibutuhkan kapal untuk dapat bergerak dengan kecepatan servisnya merupakan fungsi dari gaya hambatan *counter* yang terjadi pada kapal tersebut.

*Air bubble-lubricated system* merupakan metode dimana gelembung udara ditiupkan ke lapisan batas yang terbentuk di sekitar daerah permukaan basah kapal. Udara yang ditiupkan berupa gelembung-gelembung dengan ukuran mikro, sehingga sistem sejenis acapkali disebut juga dengan *microbubble*. Dikarenakan viskositas udara lebih rendah daripada air, gaya gesek yang terjadi antara lambung kapal dapat tereduksi, sehingga nilai *drag* yang dihasilkan juga dapat diminimalisir (*Thomas, Krisnan, S, & Mohan, 2016*). Pengurangan nilai hambatan ini berimbas langsung terhadap daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut, terbentuk rumusan masalah yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana perbandingan antara hasil dari uji tarik kapal model yang dilengkapi *air bubble-lubricated system* dengan kapal dengan model yang tidak dilengkapi sistem tersebut ?
2. Berapakah nilai debit injeksi yang paling efektif mengurangi hambatan ?
3. Berapa nilai efisiensi daya yang dapat dicapai ?

## **I.3. Tujuan**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui karakteristik perbedaan hasil hambatan yang dihasilkan model kapal yang dilengkapi dengan lambung *air bubble-lubricated system* dibanding model kapal dengan lambung standar.
2. Mengetahui nilai debit injeksi paling efektif pada kapal model dan kapal sesungguhnya yang dilengkapi *air bubble-lubricated system*
3. Mengetahui nilai efisiensi daya yang dapat dicapai

## **I.4. Batasan Masalah**

Didalam penelitian ini batasan masalah dibuat untuk menghindari hal-hal yang lingkungannya diluar dari penelitian dengan objektif agar penelitian dapat efektif dan tepat sasaran

1. Terdapat 1 variasi model kapal

Model kapal yang digunakan merupakan model dari kapal OSV 48 m- EKALYA PURNAMASARI. Skala perbandingan ukuran dimensi model ialah 1 : 23,85 dengan kapal asli. Model dibuat khusus oleh penulis untuk penelitian ini.

2. *Array holes plate* dipilih sebagai media untuk generasi gelembung. Terdapat 3 buah *array holes plate* yang digunakan dan ketiganya memiliki dimensi serupa.

3. Metode yang digunakan untuk mengetahui nilai hambatan adalah metode uji tarik model di Towing Tank dan eksperimen laboratorium. Laboratorium yang digunakan merupakan Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

4. Variasi arah gerak kapal yaitu *Heading 180°*

Pada penelitian ini, hanya dilakukan analisis hambatan, dengan satu nilai derajat kebebasan kapal pada axis gerak translasi maju kapal untuk mengetahui nilai hambatan yang terjadi ,

variasi gerakan *rolling, pitching, heaving, surging, sway* serta perhitungan *stability* tidak diikutsertakan didalam penelitian ini.

5. Injektor ditempatkan dengan satu variasi peletakan. Udara di keluarkan dalam bentuk gelembung dengan debit yang dikeluarkan 10 L/m , 20 L/m, 30 L/m, 40 L/m, 50 L/m
6. Kecepatan kapal yang digunakan adalah Fr. 0.15-0.34  
Kecepatan kapal yang digunakan merupakan rentang kecepatan antara 6-12 knot dan 100 % dari kecepatan dinas Kapal sebenarnya. Pada pengujian, kecepatan ini bisa didapat dengan menaik-turunkan voltase dari motor kereta tarik.

#### **I.5. Manfaat**

Manfaat penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi berupa data eksperimen untuk memperkaya literatur terhadap instalasi perangkat *air lubricated system* pada lambung kapal.

#### **I.6. Hipotesis**

Pemasangan instalasi dari *air bubble-lubricated system* berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi daya.

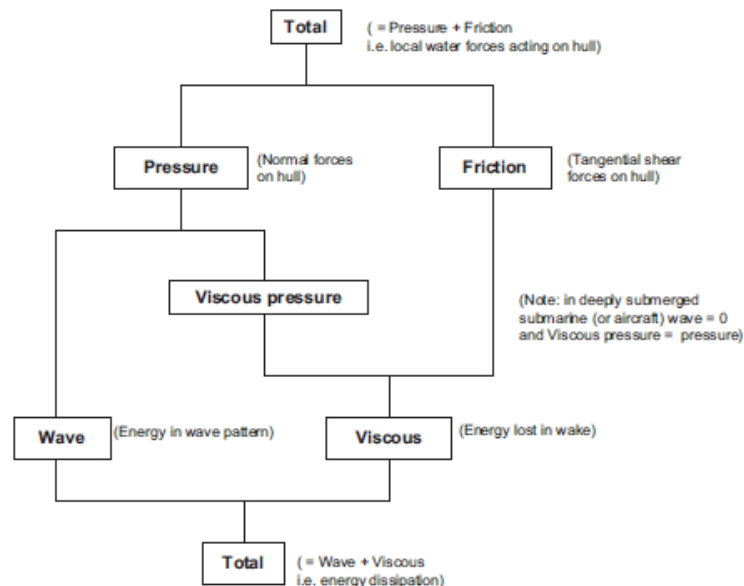
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. Dasar Teori

Semua objek yang bergerak didalam fluida akan mengalami gaya yang menghambat gerakan tersebut. Hambatan tidak akan terjadi apabila objek tersebut bergerak dalam fluida yang memiliki viskositas sama dengan nol. Namun pada kenyataannya, fluida memiliki viskositas sehingga setiap benda yang bergerak di dalam fluida akan mengalami gaya gesek. (Cengel, 2006)

Hambatan yang terjadi pada kapal yang bergerak pada fluida dibagi menjadi dua bagian utama berdasarkan komponen pengukuran fisisnya; hambatan yang terjadi akibat gaya gesek pada permukaan (*skin friction*) dan hambatan yang terjadi akibat adanya tekanan (*pressure*). (Molland, Turnock, & Hudson, 2011). Hambatan gesek pada permukaan (*skin friction*) merupakan pengejawantahan dari integrasi tegangan geser yang bekerja pada lambung kapal di setiap titik lambung. Dikarenakan tegangan yang bekerja merupakan tegangan geser maka arah gaya yang bekerja bersifat tangensial terhadap permukaan lambung. Sedangkan pada hambatan tekanan, tekanan bekerja dalam bentuk gaya normal.



Gambar II.1 Komponen Hambatan.  
Sumber : (Molland, Turnock, & Hudson, 2011)

hambatan kapal didefinisikan sebagai

$$C_t = \frac{R_t}{\frac{1}{2}\rho S V^2} \dots\dots\dots (II-1)$$

Dengan

- Rt = hambatan kapal
- S = luas permukaan basah kapal
- V = kecepatan kapal
- Ct = koefisien hambatan total

Perhatikan Gambar II.1, komponen  $R_t$  dapat didapatkan menggunakan penjumlahan yang dilakukan antara  $R_{friction}$  dengan  $R_{wave}$  dan  $R_{viscous pressure}$ . (Molland, Turnock, & Hudson, 2011). Diformulasikan dengan

$$R_t = R_f + R_{vp} + R_w \dots\dots\dots (II-2)$$

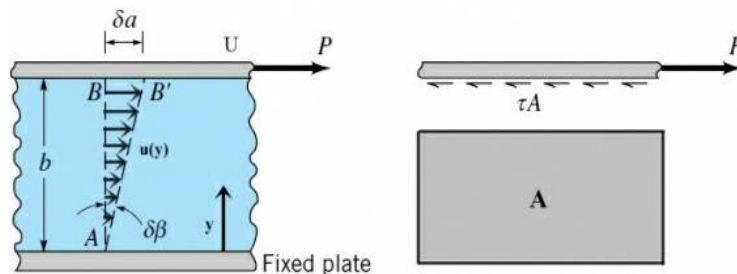
Hambatan gesek ( $R_f$ ) memiliki persentase paling besar diantara hambatan yang lainnya oleh karena itu komponen hambatan tekanan viskos dan hambatan gelombang seringkali juga disebut sebagai tahanan  $R_r$  (*residuary*).

**II.1.1. Komponen Hambatan berdasarkan ITTC**

ITTC ( *International Towing Tank Conference* ) sebagai organisasi kredibel dalam menetapkan performansi hidrodinamika dari kapal dan bangunan air menetapkan definisi tentang hambatan serta komponennya sebagai berikut :

- Hambatan gesek

Komponen hambatan ini seperti yang telah dijelaskan sebelumnya merupakan hasil integrasi dari tegangan tengensial di seluruh permukaan basah kapal pada arah gerak kapal. Kapal yang bergerak mendapatkan hambatan gesek dikarenakan adanya viskositas dari fluida. Dalam kasus ini , terdapat nilai viskositas dari 2 fluida yaitu air dan udara.



Gambar II.2 Tegangan Geser pada Fluida  
 Sumber : (Cengel, 2006)

Untuk dapat mengerti tegangan geser yang terjadi pada fluida dapat dipandang sebuah fluida dengan nilai viskositas tertentu diantara dua buah pelat sejajar. Apabila salah

satu pelat diberi gaya dorong konstan lalu bergerak translasi pada arah  $x$  dengan kecepatan  $U$  dan pelat yang lain diam, dengan jarak  $b$  yang selalu sama, maka Fluida diantara kedua pelat tersebut akan memiliki profil kecepatan yang linear. Pada titik berjarak nol dari pelat yang diam, fluida akan memiliki kecepatan nol pula apabila tidak terjadi *slip condition*. Pada jarak  $y$  di pelat yang bergerak fluida akan memiliki nilai kecepatan tertinggi. Dikarenakan profil kecepatan pada fluida tersebut terdistribusi linear maka nilai tegangan geser yang terjadi pada jarak  $u$  adalah

$$\tau = U \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (II-3)$$

Pada kapal nilai hambatan gesek di rumuskan dengan

$$R_f = C_f \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \right) S \dots \dots \dots (II-4)$$

- Hambatan Gelombang

Diatas permukaan air gerakan dari kapal menghasilkan gelombang. Tentu diperlukan energi untuk dapat menghasilkan gelombang. Energi yang dikeluarkan untuk mengeluarkan gelombang tersebut dipandang sebagai energi yang terdisipasi dari gerakan kapal. Sangatlah sulit untuk menentukan nilai  $R_w$  dikarenakan terdapat banyak perbedaan hambatan gelombang di sekitar kapal. Sebagai contoh bagian haluan dan buritan kapal memiliki tekanan yang tinggi. Sedangkan pada bagian *parallel middle body* tekanannya rendah

- Hambatan *Appendages*

Hambatan *Appendages* merupakan hambatan yang terjadi akibat terdapatnya tonjolan-tonjolan atau bentuk tidak *streamline* di bagian bagian badan kapal. Hambatan *Appendages* umumnya terjadi karena bentuk *bilge keel* atau poros *rudder*.

- Hambatan Udara

Kapal bergerak pada dua medium fluida yang berbeda, air dan udara. Hambatan udara merupakan hambatan yang terjadi pada bagian lambung dan struktur bangunan di atas permukaan air.

- Hambatan kekasaran permukaan

Setiap benda memiliki kekasaran yang berbeda beda. Kekasaran secara makroskopis dapat terlihat pada bentuk *riblet* atau tidak rata nya permukaan. Hal yang sama juga terjadi pada badan kapal.



## II.2. Tinjauan Pustaka

Terdapat banyak metode yang tersedia untuk dapat mengurangi kebutuhan gaya dorong kapal. Setidaknya terdapat tiga metode yang paling sering ditemukan untuk mencapai hal tersebut. Metode pertama ialah dengan optimasi pada bentuk lambung kapal. Bentuk lambung kapal akan memengaruhi besarnya hambatan yang terjadi. Dengan optimasi bentuk lambung diperoleh kemungkinan untuk mendapatkan kapal dengan displasmen yang sama tetapi memiliki nilai *drag* yang lebih kecil. Optimasi bentuk lambung kapal seringkali digunakan terutama pada industri pelayaran untuk transportasi, militer dan kontes balap. Contoh hasil yang dapat dilihat dari optimasi bentuk kapal ialah pada kapal berlambung ganda (*multihull : trimaran, catamaran*), *planning craft* ataupun *hydrofoil craft*. (Ahmadzadehtalatapeh & Mousavi, 2015)

Metode kedua yang cukup sering digunakan untuk mengurangi gaya gesek permukaan ialah dengan melakukan *treatment* khusus pada lambung kapal. Hal ini dilakukan agar kekasaran lambung akibat biota laut ataupun akibat fisik material dapat diminimalisir. Pelapis khusus (*coating*) atau penggunaan *marine anti fouling* seringkali menjadi pilihan. Kekasaran lambung kapal bertambah seiring berjalannya waktu operasi dari kapal. Baital dan Utama (2017) melakukan penelitian numerik terhadap efek *fouling* pada kapal kargo dan didapati peningkatan hambatan total sebesar 37 % pada kecepatan servis. (Baital & Utama, 2017).

Metode terakhir yang dewasa ini mengalami perkembangan yang sangat pesat ialah menggunakan sistem *air lubricated*. *Air lubricated system* merupakan sebuah pendekatan dimana sebagian dari permukaan lambung kapal yang bergerak ditutupi oleh lapisan udara. Lapisan udara dapat berbentuk *cavity*, *sheet* atau juga *bubble* (Ahmadzadehtalatapeh & Mousavi, 2015). Penutupan permukaan lambung tersebut berimbas pada berkurangnya nilai luas permukaan basah. Metode *cavity* dan *sheet* bekerja dengan cara mengurangi luas permukaan basah kapal menggunakan *layer* udara bertekanan dan menggantikan viskositas fluida di sekitar kapal. Metode dengan menggunakan *air bubble* ini akan dibahas secara lebih terperinci, mengingat metode tersebut yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini. Cara pembentukan gelembung bermacam-macam dimulai dari penggunaan pelat yang disusun memiliki rongga (*porous plate*), penggunaan pelat berlubang tersusun (*array holes plate*), tabung venturi (*orifice*), dan elektrolisis melalui penempatan anoda dan katoda pada lambung kapal.

### II.2.1. Mekanisme Pengurangan Hambatan Kapal dengan Gelembung Udara

Pengurangan hambatan pada kapal mampu terjadi ketika gelembung udara diinjeksikan ke *boundary layer* dari badan kapal. Umumnya gelembung udara yang digunakan memiliki diameter yang kecil sehingga disebut juga sebagai *microbubbles*. *Microbubble* merupakan gelembung udara yang memiliki diameter dibawah 2 mm (Murai, Fukuda, Oishi, Kodama, & Yamamoto, 2007). Hambatan yang tereduksi ialah komponen hambatan gesek pada kapal. Mekanisme yang menyebabkan mengapa hal tersebut dapat terjadi ialah faktor densitas. (Thomas, Krisnan, S, & Mohan, 2016).Ketika gelembung udara diinjeksikan densitas air dan pada daerah sekitarnya menjadi turun

$$\rho_b = \frac{\rho_a Q_a + \rho_w Q_w}{Q_a + Q_w} \dots\dots\dots( II-5)$$

di mana

$\rho_b$  = densitas campuran air dan udara ( $kg/m^3$ )

$\rho_a$  = densitas udara ( $kg/m^3$ )

$\rho_w$  = densitas air ( $kg/m^3$ )

$Q_a$  = debit udara yang diinjeksikan ( $m^3$ )

$Q_w$  = debit *boundary layer* ( $m^3$ )

Dengan cara serupa dapat diketahui nilai viskositas dinamis

$$\mu_b = \frac{\mu_a Q_a + \mu_w Q_w}{Q_a + Q_w} \dots\dots\dots( II-6)$$

$\mu_b$  = viskositas dinamis campuran air dan udara ( $Kg.m/s^{-1}$ )

$\mu_a$  = viskositas dinamis udara ( $Kg.m/s^{-1}$ )

$\mu_w$  = viskositas air ( $Kg.m/s^{-1}$ )

Tegangan geser merupakan fungsi dari viskositas dinamis maka dengan turunnya nilai viskositas dinamis terjadi juga penurunan pada tegangan geser. Meskipun secara teoritis terjadi pengurangan pada hambatan gesek *skin friction* tetapi gelembung udara juga memiliki kemungkinan menambah hambatan apabila tidak diinjeksikan secara tepat . Penggunaan gelembung udara akan memiliki tingkat efisiensi maksimum yang baik apabila digunakan untuk kapal berkecepatan rendah dan bentuk badan yang *bluff* seperti tanker atau bulk carrier . Ditinjau dari aspek komponen hambatan, kapal yang berbentuk bluff memiliki komponen

hambatan *friction* yang lebih besar. Pada kapal kapal cepat dengan bentuk yang lebih *streamline* sehingga komponen hambatan terbesarnya biasanya adalah *wavemaking*.

### II.2.2. Karakteristik Gelembung Udara

Ukuran dari *bubble* udara merupakan faktor utama penentu dari *frictional resistances*. Perbedaan ukuran diameter dari gelembung udara yang dihasilkan dapat menyebabkan kenaikan dari gaya gesek, hal tersebut dapat terjadi akibat adanya turbulensi yang terjadi pada *wake* yang diakibatkan gelembung tersebut. Ukuran gelembung udara yang dilontarkan dari *hole* atau *porous plate* nya, ditentukan oleh kecepatan alir udara tersebut dan *airflow* nya, pada umumnya nilai *drag reduction rate* akan meningkat dengan semakin kecilnya ukuran gelembung (Ceccio, 2009). Diameter dari gelembung berkorespondensi secara langsung terhadap trayektori *outflow*, konsentrasi dari gelembung pada aliran, serta lokasi nya pada *boundary layer*. (Merkle & Deutsch, 1990)

Setelah memasuki daerah *boundary layer*, terjadi proses nukleasi (pembentukan inti) pada gelembung, selanjutnya gelembung akan tumbuh dan lalu bereaksi spontan dengan melepaskan diri dari substratnya. Apabila proses keruntuhan ini terjadi pada tekanan dibawah tekanan uap jenuh substrat maka akan terjadi kavitasi. Kecepatan pembentukan gelembung dipengaruhi oleh beragam faktor yaitu; *Rate diffusion*, inersia fluida, dan juga viskositas serta *surface tension*. (Jones, F. Evans, & Galvin, 1999)

Dengan kata lain , jika satu buah gelembung terbentuk didalam fluida berfasa cair dibawah tekanan atmosfer tertentu, maka selanjutnya gelembung tersebut akan berekspansi secara bebas dan bergerak ke permukaan akibat adanya tekanan hidrostatis. Jika diasumsikan bahwa gelembung tidak pecah sebelum menyentuh permukaan atau tidak terjadi proses keruntuhan di dalam fluida berfasa cair, maka menurut prinsip isothermal dalam fluida ideal maka

$$P V = \text{Konstan} \dots \dots \dots ( \text{II-7} )$$

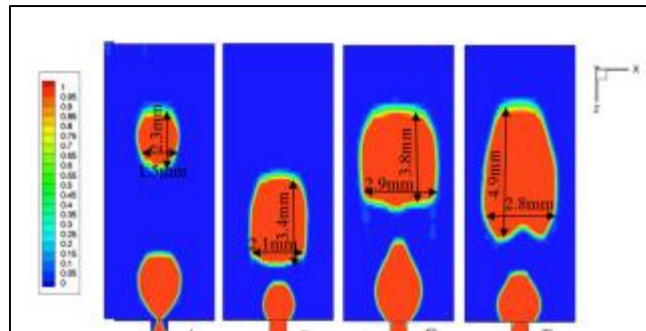
Dengan

$P$  = Tekanan (Pa)

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

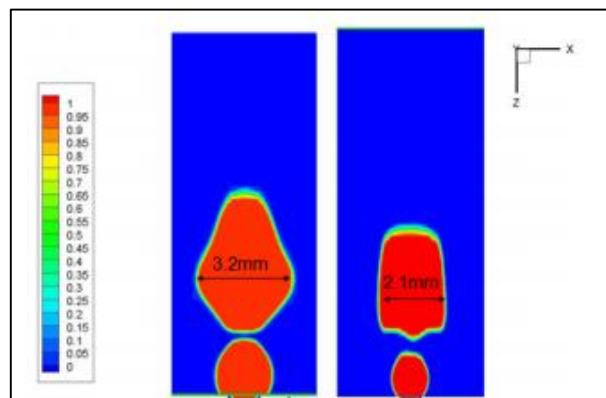
Alkhaidi dan Amano (2011) meneliti secara numerik dan eksperimen tentang faktor yang menyebabkan ukuran gelembung udara berbeda. Sebuah *diffuser membrane* disiapkan untuk melakukan eksperimen. *Diffuser membrane* memiliki Lubang (*punch hole*) membran memiliki bentuk oval dengan diameter mayor 0,62 mm dan diameter minor 0,14 m. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa debit injeksi memiliki efek paling tinggi terhadap ukura

dari bubble yang dihasilkan. Semakin tinggi debit disinyalir akan menghasilkan ukuran gelembung yang lebih tinggi. Warna merah pada gambar **Gambar II.3** merupakan gelembung yang tercipta dan warna biru merupakan kolom air. **Gambar II.3** menjelaskan ukuran gelembung yang didapat dengan debit dari gambar kiri ke kanan berturut turut 1,5 , 3, 6 , dan 9 scfm.



Gambar II.3 Perbedaan Debit Injeksi Memberikan Variasi Ukuran Gelembung  
 Sumber : (Alkhalidi & Amano, 2011)

Hasil yang didapatkan oleh penelitian tersebut rupanya tervalidasi dengan eksperimen yang dilakukan. Selanjutnya Alkhalidi dan Amano (2011) kembali meneliti perbedaan yang terjadi akibat variasi ukuran diameter lubang *punch hole*. Hasilnya digambarkan pada gambar berikut



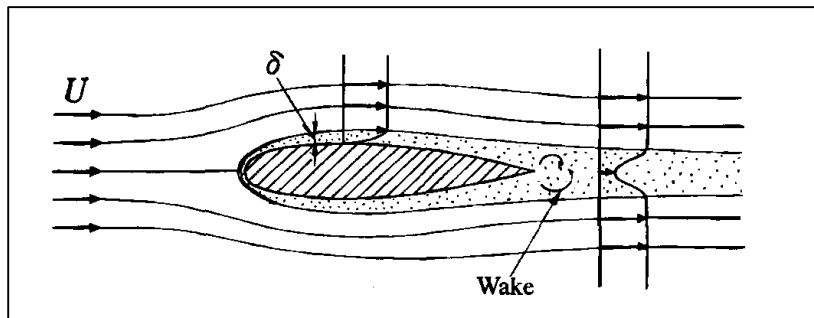
Gambar II.4 Perbedaan Diameter Lubang *Punch Hole* Memberikan Variasi Ukuran Gelembung  
 Sumber : (Alkhalidi & Amano, 2011)

Pada Gambar II.4, lubang sebelah kiri memiliki diameter mayor 0,945 mm dan lubang sebelah kanan memiliki diameter mayor 0,62 mm. Didapatkan hasil bahwa lubang dengan diameter lebih besar menghasilkan gelembung dengan ukuran 15 % lebih besar pula. Walaupun begitu, diketahui bahwa lubang yang lebih kecil justru membutuhkan daya generasi yang lebih besar sehingga secara praktikal kurang baik. Fenomena terjadi akibat adanya gaya dorong balikan (*back-pressure*) dari udara yang merupakan fluida mampu mampat (*compressible*).

### II.2.3. Lapisan Batas

Apabila sebuah benda padat bergerak didalam fluida atau sebaliknya maka akan terdapat gaya gesek yang terbentuk akibat kekentalan fluida. Walaupun demikian, tidak semua titik dari aliran terpengaruh gaya gesek. Lapisan batas atau *boundary layer* merupakan daerah didekat dinding permukaan benda solid (*wall*) yang terpengaruh dengan gaya gesek. Daerah diluar dari *boundary layer* yang tidak terpengaruh oleh gaya gesek didefinisikan sebagai *mainflow*.

Secara praktik sangat sulit untuk mendefinisikan batas titik dari region *mainflow* dan *boundary layer* sehingga lazimnya tebal dari lapisan *boundary layer* didefinisikan sebagai jarak tangensial dari permukaan benda solid dengan titik dimana aliran memiliki kecepatan 0,99% dari kecepatan *mainflow*. Tebal ini akan bertambah dengan semakin panjangnya lintasan yang dilalui.

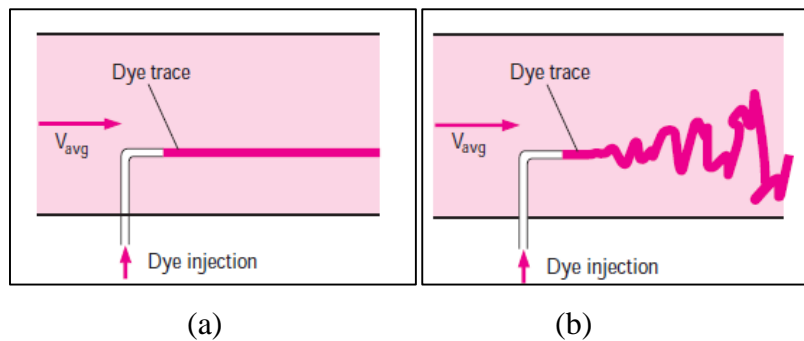


Gambar II.5 Pembentukan *Boundary Layer* pada *Airfoil*  
Sumber : (Nakayama & Boucher, 2000)

Untuk dapat memahami boundary layer lebih baik, pandanglah potongan *foil* di **Gambar II.5**. Mula-mula fluida bergerak dengan kecepatan  $U$  terhadap *foil*. Kecepatan aliran tersebut uniform di semua titik sepanjang tidak adanya gangguan. Fluida akan menyentuh badan *foil* pertama kali di bagian *leading edge*. Pada titik *leading edge* kecepatan lokal fluida memiliki harga sama dengan nol atau seringkali disebut *stagnation point*. Pada fluida incompressible, *stagnation point* terjadi jika nilai tekanan lokal sama bernilai sama dengan tekanan aliran fluida. Setelah itu, fluida akan bergerak kembali pada arah  $U$ . Perhatikan bahwa selama bergerak di permukaan *camber foil* kecepatan fluida di *boundary layer* semakin bertambah mendekati nilai dari kecepatan  $U$ . Nilai kecepatan tersebut berimplikasi pada semakin tebalnya *boundary layer* yang terbentuk di bagian belakang *foil*. Apabila diasumsikan terjadi keadaan *no slip condition* maka pada seluruh permukaan solid di harga kecepatan akan nol (Nakayama & Boucher, 2000).

**II.2.4. Reynolds Number**

*Reynolds number* merupakan sebuah bilangan tidak berdimensi yang menjadi parameter untuk menentukan jenis aliran yang terjadi. Dinamakan demikian, untuk menghargai jasa Osborne Reynolds (1842-1912). Reynolds bereksperimen menggunakan sebuah tabung kaca yang dialiri sebuah fluida. Fluida tersebut dihubungkan dengan sebuah pipa yang berisikan *dye liquid*. Kecepatan fluida yang dialirkan dapat diatur menggunakan sebuah *valve*. Dari percobaan tersebut rupanya ditemukan bahwa pada kecepatan fluida yang berbeda terjadi perubahan karakteristik *trace* aliran *coloured liquid*.



Gambar II.6 Bentuk *Trace* dari Aliran untuk Kecepatan Fluida Berbeda  
 Sumber : (Cengel, 2006)

Pandanglah Gambar II.6 diatas, aliran pada *trace* (a) memiliki *streamline* yang halus dan gerak yang teratur, aliran yang memiliki karakteristik seperti itu selanjutnya disebut sebagai aliran yang laminar . Sedangkan pada *trace* (b) didapatkan aliran yang tidak beraturan, selanjutnya disebut sebagai aliran turbulen. Reynolds lalu merumuskan bahwa batas dari aliran dapat disebut sebagai laminar atau turbulen ditentukan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Gaya viskos}} \dots\dots\dots( II-8)$$

Bentuk penampang yang dilalui fluida akan menjadi fungsi tersendiri untuk rumus besarnya gaya inersia. Pada kapal, dirumuskan dengan

$$Re = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots( II-9)$$

Dimana :

- V = Kecepatan kapal (m/s)
- L = Panjang garis air kapal/*LWL* (m)
- $\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

**II.2.5. Froude Number**

Hambatan gesek pada kapal sebelumnya telah dijelaskan sebagai fungsi dari luas permukaan, kecepatan dan viskositas. Pada tahun 1872, seorang ilmuwan bernama William Froude merumuskan bahwa hambatan lainnya dapat diklasifikasikan sebagai hambatan sisa. Eksperimen yang dilakukan menunjukkan bahwa hambatan per ton displasmen akan tetap konstan terhadap kecepatan. (Froude, 1872). Untuk menjelaskan hambatan sisa dapat digunakan formulasi berikut, menurutnya hambatan merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas dirumuskan sebagai

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \dots\dots\dots( II-10)$$

Di mana

- V = kecepatan kapal (m/s)
- g = percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/s)
- L = Panjang garis air kapal (m)

**II.2.6. Estimasi Injection Rate**

Faktor penting dari uji eksperimental gelembung udara ialah estimasi dari *injection rate* yang paling efektif. Sampai saat ini belum ditemukan *direct established method* yang dapat digunakan sebagai rumusan untuk mengestimasi *air injection rate* yang paling efektif. parameter ini dapat didekati sebagai indeks dari *boundary water flow*, yang bisa dihitung dengan memperhatikan hubungan hubungan aliran turbulen dalam fluida (Sayyaadi & Nematollahi, 2013) Koefisien rasio injeksi  $\alpha$  didefinisikan sebagai rasio antara debit udara yang keluar dengan boundary layer

$$\alpha = \frac{Q_a}{Q_w} \dots\dots\dots( II-11)$$

$Q_a$  merupakan debit udara yang diinjeksikan dan  $Q_w$  merupakan debit air pada boundary layer. Berdasarkan *turbulent boundary theory*, debit air pada layer pelat dapat dihitung dengan :

$$Q_w = U_f \times (\delta - \delta'') \times b \dots\dots\dots( II-12)$$

- $U_f$  = kecepatan aliran (m/s)
- $\delta$  = tebal boundary layer /jarak dari *wall* dengan velocity 0,99  $U_f$  (m)
- $\delta''$  = tebal displasmen (m)

$$\delta'' = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U_f}\right) dy \dots\dots\dots( II-13)$$

$$\delta'' = 0,125 \times \delta \dots\dots\dots( II-14)$$

*Seventh power velocity distribution* di asumsikan sebagai distribusi kecepatan disepanjang boundary layer

$$\frac{U}{U_f} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots( II-15)$$

- U : kecepatan fluida pada boundary layer (m/s)
- U<sub>f</sub> : kecepatan arus diluar boundary layer (m/s)
- y : jarak dari dinding (m)

Persamaan ketebalan *boundary layer schlichting* digunakan untuk mengestimasi ketebalan dari *boundary layer*

$$\delta = \frac{0.3 \times x}{Re_x^{0.2}} \dots\dots\dots( II-16)$$

$$Re_x = \frac{U_f}{\nu} \times x \dots\dots\dots( II-17)$$

Dengan

- U<sub>f</sub> = jarak dari pelat (m)
- ν = viskositas kinematik fluida (m<sup>2</sup>/s)

Maka dengan mensubstitusi tiap tiap formulasi tersebut, kita dapat menyelesaikan persamaan debit tersebut menjadi

$$Q_w = 0.3238 \times U_f \times b \times x \times Re_x^{-0.2} \dots\dots\dots( II-18 )$$

Dapat diasumsikan bahwa pada *trailing edge* tekanannya ialah nol maka panjang kapal dapat mensubstitusikan nilai x (Sayyaadi & Nematollahi, 2013)

$$Q_w = 0.293 \times L^{\frac{4}{5}} \times \left(\frac{\theta}{V}\right)^{\frac{1}{5}} \times w \times V \dots\dots\dots( II-19)$$

$$Q_w = 0.293 \times L^{0.8} \times \theta^{0.2} \times V^{0.8} \times w \dots\dots\dots( II-20)$$

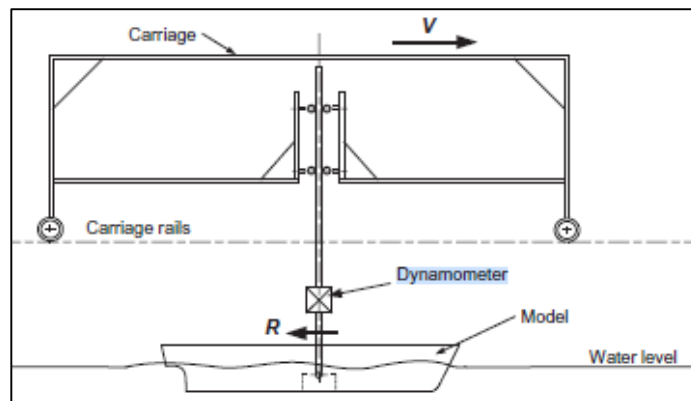
Persamaan tersebut sangat praktikal, dengan mengetahui parameter parameter umum seperti nilai Panjang (L), lebar (W) dan kecepatan (V), aliran boundary dapat diketahui.

### **II.2.7. Towing Tank**

Pengukuran hambatan total model kapal yang bergerak dapat diukur di sebuah tangki uji atau seringkali disebut sebagai *Towing Tank*. Tangki pertama yang digunakan untuk melakukan tes seperti itu dibuat oleh William Froude pada 1871. (Molland, Turnock, & Hudson, 2011) Sebuah model di tempatkan didalam kereta (*carriage* ) yang bergerak lalu



ditarik pada kecepatan konstan. Gaya tarik diberikan sejajar dengan *shaft propeller* untuk meminimalisir terjadinya trim selama pengujian.



Gambar II.7 Gambar skema penarikan model uji di *Towing Tank*  
 Sumber : (Molland, Turnock, & Hudson, 2011)

Skema penarikan uji menggunakan *Towing Tank* dapat digambarkan pada **Gambar II.7**. Ukuran dari kolam uji bervariasi dengan kecepatan maksimum kereta antara 3 m/s hingga 15 m/s. Kecepatan dari model dapat diukur berdasarkan kecepatan kereta (kecepatan terhadap tanah) ataupun menggunakan sebuah tabung pitot (kecepatan terhadap air). Total gaya hambat hidrodinamis dapat diukur menggunakan dynamometer. Dynamometer yang digunakan bisa berjenis mekanik (menggunakan *spring blance/counterbalance*) atau elektromekanikal, dimana perubahan yang terjadi pada fleksur dibaca oleh voltmeter.

Pada pengujian tarik, aliran yang terbentuk di bagian depan model cenderung laminar sedangkan pada kondisi sesungguhnya kapal akan mengalami aliran yang turbulen. Oleh karena itu, untuk dapat mensimulasikan aliran yang lebih mendekati kondisi nyata, dipasang sebuah *turbulence simulator*. *Turbulence Simulator* dapat berjenis *stud*, *wire*, dan *sand grit paper*. *Turbulence simulator* haruslah memiliki sudut serang yang sesuai serta ditempatkan pada jarak 0,5 LPP.

**II.2.8. Net Work Ratio**

*Net work ratio* menjelaskan perbandingan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal yang menggunakan sistem *air bubble* dengan kapal dengan desain generik yang tidak menggunakan sistem tersebut (Kodama, Kakugawa, Takhashi, & Kawashima, 2000)

$$rW = \frac{W_{net}}{W_o} = \frac{R_t U + W_{pompa}}{R_{toU}} \dots\dots\dots (II-21)$$

Dengan

- $W$  = EHP non *air bubble* (Watt )
- $W_{net}$  = EHP dengan *air bubble* (Watt )
- $R_{to}$  = *drag* kapal tanpa injeksi ( Newton)
- $R_t$  = *drag* kapal dengan injeksi ( Newton )
- $U$  = kecepatan kapal ( m/s)
- $W_{pompa}$  = daya yang dibutuhkan untuk menginjeksikan *bubble* ( Watt)

Nilai  $rW = 1$  memiliki arti bahwa tidak ada pengurangan hambatan yang terjadi. Apabila nilai  $rW$  didefinisikan  $< 1$  maka terjadi penurunan nilai hambatan. Kebutuhan daya pompa merupakan fungsi dari

$$W_{pompa} = Qa(\rho g d + C_p \times \frac{1}{2} \rho U^2) \dots \dots \dots (II-22)$$

- $C_p$  = koefisien tekanan
- $Qa$  = debit injeksi ( $m^3/s$ )
- $\rho$  = massa jenis air ( $kg/m^3$ )
- $g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $d$  = kedalaman injeksi (m)

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB III METODOLOGI

### III.1. Metode

- **Studi Literatur**

Pada tahap ini dilakukan pengkajian dan pengumpulan teori-teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan *drag reduction*. Pertama-tama, diperlukan pemahaman konsep serta pengertian teori hambatan dan hambatan kapal, untuk selanjutnya dilanjutkan dengan memahami teori dasar nukleasi gelembung udara serta pengertian dari konsep tegangan permukaan dan tekanan pada gelembung udara. Selain itu dilakukan juga kajian pustaka dari penelitian penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya.

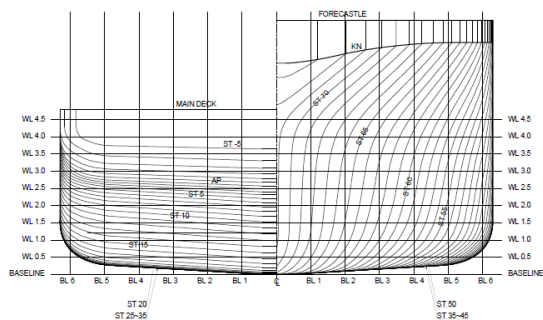
- **Pengumpulan Data**

Data kapal yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini berupa data dari kapal *Offshore Supply Vessel* 1430 DWT. Data dari kapal *Offshore Supply Vessel* ini didapat dari kapal milik PT Pelayaran Nasional Ekalya Purnamasari yang dibangun di galangan PT ORELA SHIPYARD. Data yang diberikan dari pihak Orela Shipyard memuat *linesplan* dan *hydrostatic table*.

Tabel III.1 Ukuran Utama

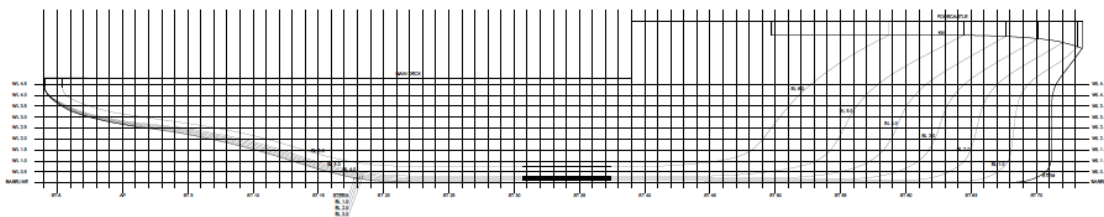
UKURAN UTAMA		
Loa	47,70	m
Lwl	45,90	m
B	12,00	m
T	3,80	m
H	4,80	m

### BODY PLAN



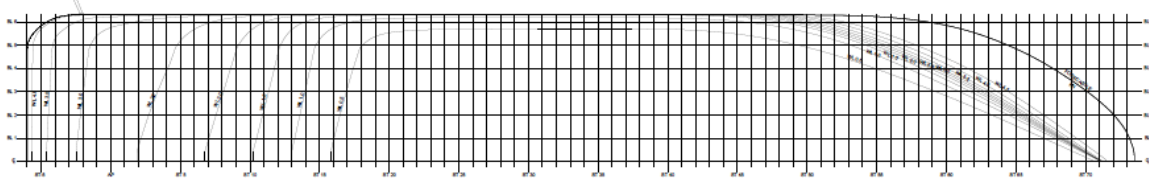
(a)

### SHEER PLAN



(b)

### HALF BREADTH PLAN



(c)

Gambar III.1 (a) Body Plan Kapal (b) Sheer Plan (c) Half Breadth Plan

- **Pengolahan Data Kapal serta Konversi ke Skala Model**

Setelah didapat data dari kapal sesungguhnya, konversi ke bentuk skala dilakukan. Penentuan skala mempertimbangkan dimensi dan spesifikasi perangkat yang tersedia di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS.

- **Pembuatan Spesimen Uji**

Pembuatan spesimen pengujian untuk uji tarik terdiri atas dua komponen utama ; model kapal dan sistem udara. Pembuatan model kapal mengikuti skala yang telah ditentukan sebelumnya. Pada pembuatan instalasi gelembung udara mula-mula dilakukan proses desain lalu secara bertahap dikembangkan dan dikerjakan berdasarkan kalkulasi dan penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya.

- **Pengujian**

Pengujian dilakukan untuk memperoleh data hambatan kapal dengan injeksi gelembung dan hambatan kapal tanpa injeksi gelembung.

- **Akuisisi Perolehan Data dan Analisa**

Hasil data eksperimen diolah untuk mendapatkan hubungan antar variabel-variabel yang ada berdasarkan fakta fakta dan hasil pembacaan yang ditemukan selama proses pengujian. Data hasil pengujian tersebut lalu dihitung menggunakan rumus pendekatan untuk mendapatkan nilai daya yang dibutuhkan .

### III.2. Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang perlu dipersiapkan dibagi berdasarkan 2 bagian komponen yang akan dibuat yaitu model kapal dan injektor udara sistem rangkaian udara

#### III.2.1. Model Kapal

Tabel III.2 Bahan untuk model Kapal

Bahan			
No	Material	Kuantitas	Satuan
Model Kapal			
1	Plywood 2 mm	2	lembar 4 m x 1,2 m
2	Plywood 4 mm	2	lembar 4 m x 1,2 m
3	Plywood 8 mm	1	lembar 4 m x 1,2 m
4	<i>Cyanoacrylate Adhesive</i>	10	buah
5	Gambar station skala 1:1	1	buah
6	Gambar Half breadth skala 1:1	1	buah
7	Gambar Centerline profile 1:1	1	buah
8	<i>Plastic filler/dempul</i>	2	kaleng 2,5 Liter
9	<i>Mate</i>	3	m <sup>2</sup>
10	resin	2	Liter

Adapun alat untuk pembuatan model kapal ialah sebagai berikut

Tabel III.3 Alat untuk Pembuatan Model Kapal

Alat			
Nomor	Material	Kuantitas	Satuan
Model Kapal			
1	<i>Cutting grinder</i>	1	buah
2	<i>Sand grit paper</i>	8	lembar
3	<i>Cutter</i>	4	buah

### III.2.2. Sistem Udara

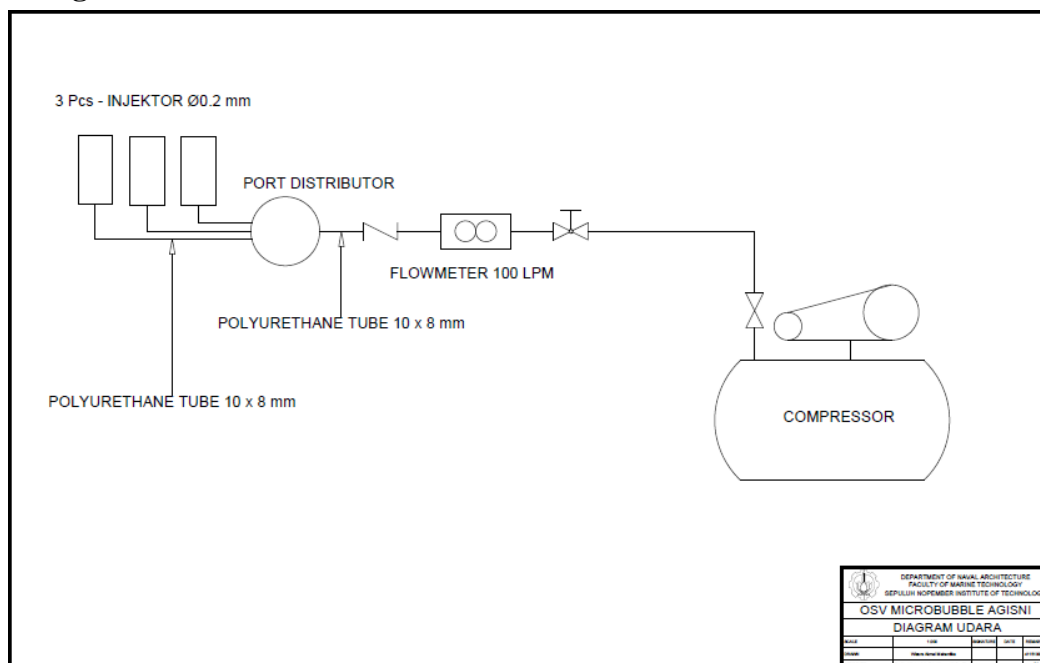
Tabel III.4 Bahan untuk Sistem Udara

Bahan			
Nomor	Uraian Kerja	Kuantitas	
<i>Injektor</i>			
1	Acrylic 5 mm	3	Lembar
2	Acrylic 5 mm	1	Lembar
3	PVC 600 mm	1	buah
4	Sealant	2	buah
5	Push in fittings PL 10 mm	2	buah
6	Push in fittings PL 8 mm	6	buah
7	Polyurethane Tube	1	buah
8	Pressure Gauge	1	buah
9	Needle valve	1	buah
10	Flow meter	1	buah

### III.3. Perancangan dan Pembuatan Spesimen uji

Pekerjaan perancangan dan pembuatan spesimen uji dibagi menjadi ; Desain perancangan sistem udara , desain perancangan injektor, pembuatan model kapal , pembuatan injektor dan perangkaian model kapal dan instalasi menjadi suatu kesatuan.

#### III.3.1. Rancangan Sistem Udara

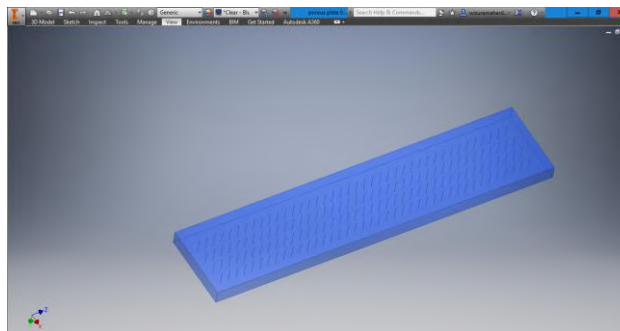


Gambar III.2 Rancangan Diagram Sistem udara

Pada Gambar III.2 digambarkan sebuah Sistem udara. Sistem udara ialah seluruh komponen yang akan mendistribusikan udara dimulai dari injektor, *tube*, alat ukur flowmeter, *port distributor* dan seluruh alat *fitting equipment* lainnya. Udara akan dipasok menggunakan sebuah kompressor. Kompressor tersebut akan tersambung dengan beberapa peralatan lainnya yang pertama ialah *pressure regulator*. *Pressure regulator* berfungsi untuk mengatur tekanan udara. Selanjutnya *pressure regulator* akan berhubungan dengan *flowmeter* yang berfungsi untuk mengetahui debit yang mengalir didalam rangkaian. Flowmeter lalu akan terhubung pada sebuah *port distributor*, dimana udara akan dibagi sama merata pada 3 buah injektor. Yang terakhir udara akan dikeluarkan pada injektor. Injektor ini akan terpasang pada bagian lambung dari kapal

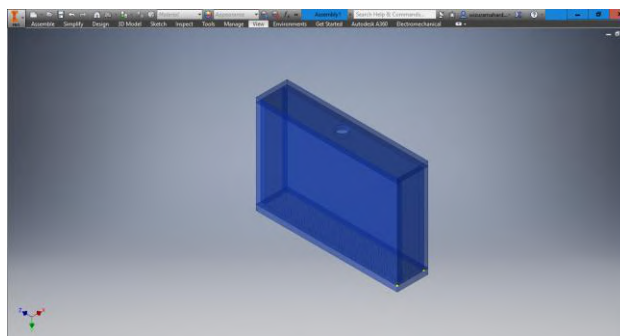
### III.3.2.Desain Injektor

Proses desain injektor gelembung udara meliputi proses penentuan dimensi utama, lokasi penempatan, bahan dan material. Injektor udara akan menggunakan media *array holes plate* sebagai alat untuk mengenerasikan gelembung. *Array holes plate* merupakan pelat yang diberikan lubang dalam jumlah jamak dengan rentang jarak teratur. *Array holes plate* ini dibuat menggunakan material akrilik dengan dimensi 120 mm x 20 mm dengan masing masing sisi ditambahkan *offset* 4 mm untuk memudahkan pemasangan *casebox*. Jarak antar lubang dari *array holes plate* merupakan dimensi yang didapat berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu ditentukan 3 mm kearah melintang dan 5 mm kearah memanjang (Kawamura, et al.). Lubang memiliki diameter yang belum ditentukan. Ketebalan yang diberikan untuk *array holes plate* ialah 5 mm. Ketebalan ini mengacu pada nilai *entrance region* aliran didalam pipa yang menjelaskan nilai minimal panjang pipa terhadap diameter untuk dapat menghasilkan aliran yang laminar. *Casebox* berdimensi 900 mm x 128 x 28 mm yang terbuat dari material akrilik dengan ketebalan 4 mm, pada bagian sisi penutup diberi lubang 12 mm. Lalu diberikan tap pada sisi atas untuk mendapatkan drat.



(a)

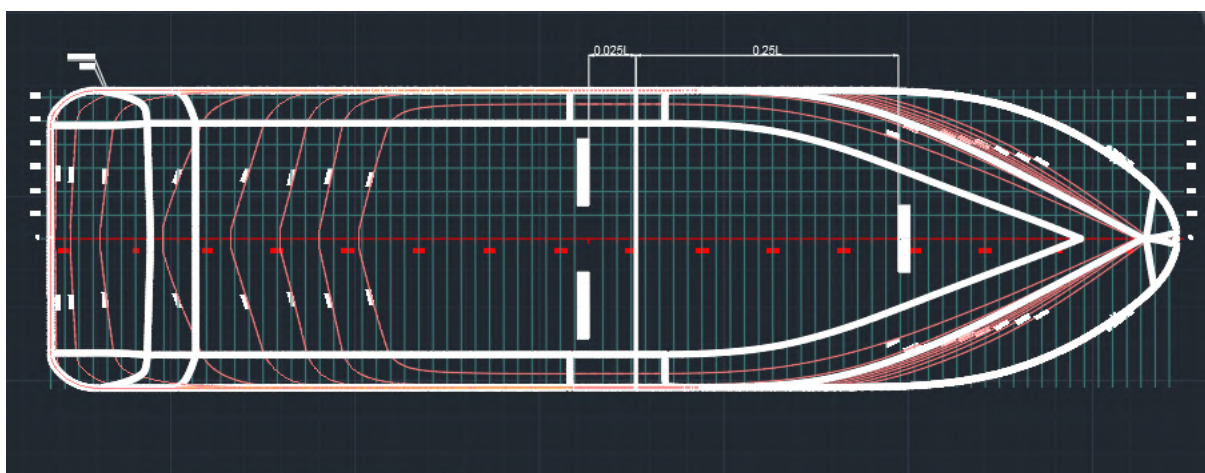




(b)

Gambar III.3 (a). Desain *Array holes Plate* (b) *Desain Casebox*

Pemberian drat pada desain injektor dilakukan untuk menempatkan *nipple* yang akan mendistribusikan fluida gas dari kompresor ke injektor. *Nipple* yang digunakan berjenis *PL* type dengan diameter lubang dalam 8 mm.



Gambar III.4 Lokasi penempatan injektor pada lambung kapal

Injektor tersebut akan ditempatkan mengikuti konfigurasi *triangle bow*. *Triangle bow* digambarkan pada sketsa diatas yang merupakan sebuah konfigurasi dimana dari 3 buah injektor, ditempatkan dua buah injektor secara sejajar pada lambung di bagian tengah dan satu buah lagi ditempatkan di bagian kambung depan Sehingga bentuknya mengikuti bentuk segitiga.

Lokasi penempatan injektor pada gambar tersebut dinotasikan sebagai sebuah bentuk kotak berwarna putih Terdapat 1 buah injektor dengan jarak 0,25 LoA didepan midship dan dibelakang 2 buah dengan jarak 0,025 LoA.

### III.3.3. Pembuatan Model Kapal

Pembuatan model kapal sedapat mungkin mengacu pada *Procedures* serta *guidelines* ITTC. Dimulai dari mencetak gambar *linesplan* dengan skala model. *Linesplan* tersebut diplot pada *plywood* setebal 4 mm dan 8 mm. *Plywood* 4 mm digunakan untuk komponen *station profile* sedangkan *plywood* 8 mm digunakan pada bagian *Sheer Plan* dan *Half Breadth* profile.



Gambar III.5 *Section Profile*

Profil pada *Sheer Plan* dan *Half Breadth* didesain lebih tebal dikarenakan profil tersebut akan digunakan sebagai konstruksi menerus dari model kapal dan akan menopang lebih banyak gaya sehingga dibutuhkan *plywood* yang lebih tebal. Garis station ditandai pada *sheerplan* dan *half breadth plane profile*.



Gambar III.6 *Sheer Plan Profile* dan *Half Breadth Profile*

Setelah tahapan tersebut dilakukan, dilakukan proses pemotongan pada hasil plot di *plywood*. Hasil dari proses ini ialah *piece part* dari masing masing *station profile* yang siap untuk di *assembly*..



Gambar III.7 Hasil *Assembly* Menggunakan Perekat

*Assembly* dilakukan dengan pertama tama menggabungkan *piece part* profil *halfbreadth* dengan *profil centerline*. Garis *CL* dan *station* yang sudah dibuat pada kedua profil dipasang dan lalu direkatkan menggunakan lem *cynoacrylate –adhesive w 20*.

Setelah semua *station* terpasang pada *centerline profile* dan *half breadth profile* dilakukan penutupan kulit lambung model kapal. Kulit lambung model kapal bermaterialkan *plywood 2 mm* yang dipasang pada ujung dalam profil sejauh 1 mm.



Gambar III.8 Penandaan Bagian yang akan Dipotong

Setelah itu, lambung kapal dilapis oleh *body filler*. *Filler* yang digunakan ialah *plastic filler*. Badan kapal tersebut lalu dihaluskan dengan secara bertahap menggunakan mesin *grinding* lalu dihaluskan kembali menggunakan *sand grit paper* hingga nilai kehalusan 400 agar dapat memenuhi prosedur dan panduan yang diberikan oleh ITTC.

Tahap pekerjaan selanjutnya ialah penandaan lubang penempatan injektor. Penempatan ini dilakukan mengacu terhadap posisi yang telah ditentukan di tahap desain sebelumnya. Mula mula dibuat sebuah garis centerline pada lambung dasar kapal. Titik perpotongan garis centerline dengan midship akan menjadi acuan. Dari titik tersebut diukur jarak lubang sejauh 0,25 Loa ke arah fore dan 0,025 Loa ke arah *aft* .Diberikan suaian 1 mm pada masing masing sisi dari injektor untuk memudahkan proses *assembly*. Setelah letak dan lokasi ditandai, dilakukan proses pembuatan lubang menggunakan *cutting hand grinding*



Gambar III.9 Lubang yang Dibentuk pada Lambung Kapal

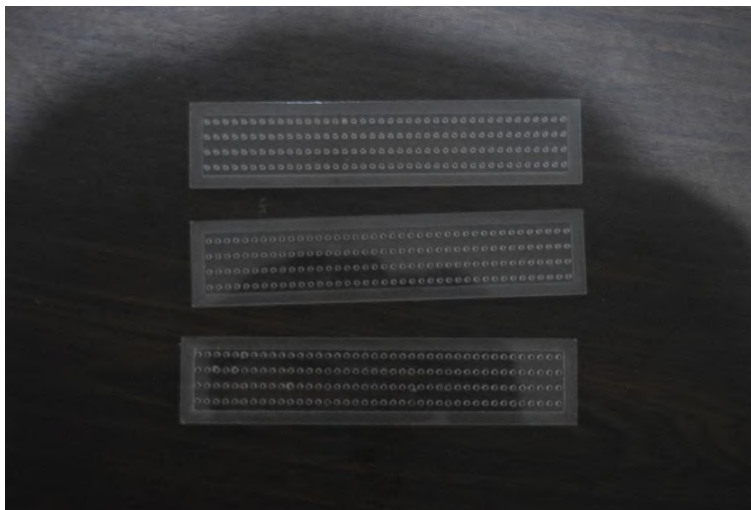
#### **III.3.4.Pembuatan Injektor**

Injektor diproduksi dengan menggunakan mesin potong *Computer Numerical Control* dan mesin *Freis*. Mulanya tiap-tiap sisi *casebox* dipotong mengikuti pola dari gambar yang sudah dibuat pada tahap sebelumnya. Selanjutnya, masing-masing sisi dari direkatkan menggunakan perekat *cynoacrylate*. Sisi *case* pada bagian atas dilubangi menggunakan bor tangan. Lubang tersebut selanjutnya di-tap untuk memberikan drat. Drat tersebut akan menjadi tempat dipasangnya *push in fitting*.



Gambar III.10 Case dari Injektor

Pembuatan *array holes plate* menggunakan *cnc laser cutting* dengan objektif dapat dihasilkan *array holes* yang presisi, secara keseluruhan terdapat 480 lubang . Diproduksi 4 buah *array holes plate* dengan 4 ukuran diameter yang berbeda, namun memiliki jarak antar lubang yang sama. Diharapkan dengan melakukan percobaan pengukuran gelembung pada masing masing diameter, akan didapatkan dimensi diameter yang maksimal untuk dipasang di model kapal.



Gambar III.11 3 Array Holes Plate

### **III.3.5. Pembuatan Port Distributor**

Port distributor merupakan sebuah alat yang akan membagi debit sama rata untuk ke tiga buah injektor. Material yang digunakan ialah sebuah pipa *polyvinyl* dengan diameter 600 mm. Kedua ujung dari *polyvinyl* di tutup dengan material generik lalu dilas menggunakan las *PVC*. Pada kedua ujung diberikan lubang untuk menempatkan *nipple* dan *pressure gauge*.

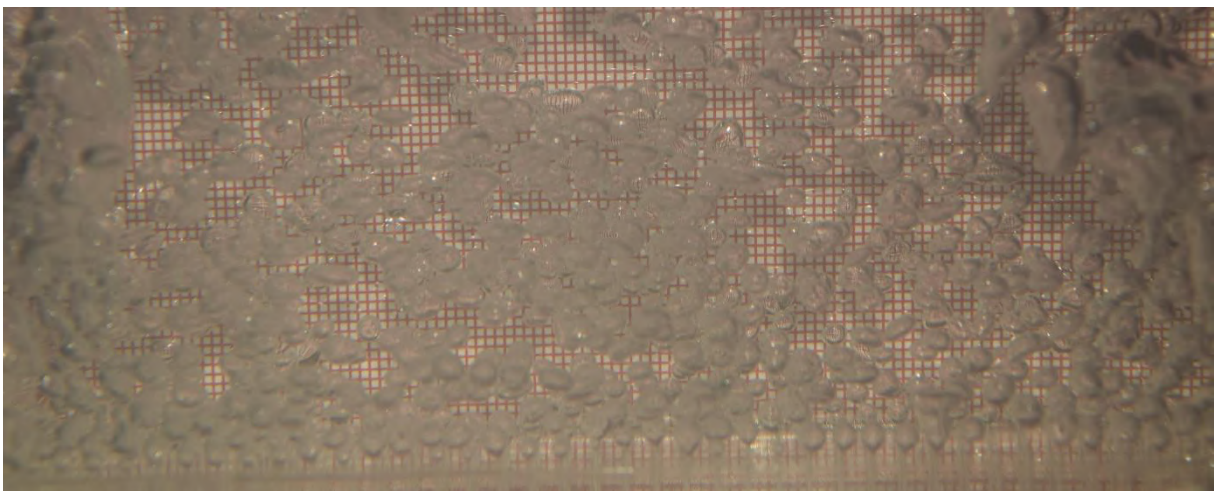


Gambar III.12 Port Distributor

### III.3.6. Pengujian Ukuran Gelembung

Sebelum dilakukan penentuan ukuran diameter injektor pada lambung kapal, dilaksanakan sebuah pengujian untuk mengetahui ukuran gelembung yang dapat dihasilkan. Pengujian ini dilakukan pada 4 nilai tekanan berbeda yakni 0,5 , 1 , 2 dan 4 bar dan pada 4 nilai diameter *array-holes plate* yakni 0,1 mm, 0,2 mm , 0,5 mm dan 1 mm. Sebuah akuarium kaca uji disiapkan dan dipasang milimeter grid berwarna kontras.

Injektor diuji pada kedalaman 15-20 cm dari permukaan air, sesuai dengan sarat kapal model. Dari percobaan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran diameter pada *array-holes plate* yang paling cocok ialah pada 0,2 mm. Distribusi gelembung relatif merata di kedua ujung serta memiliki diameter rata rata dibawah 2 mm sehingga memenuhi untuk penggunaan pengujian pengurangan hambatan.



Gambar III.13 Gelembung udara yang dihasilkan

Dari gambar Gambar III.13 dapat dilihat bahwa nukleasi dan penambahan volume terjadi seiring kenaikan gelembung ke permukaan air, hal itu terjadi dikarenakan adanya penambahan *pressure* didalam badan gelembung. Nilai diameter paling kecil didapat tepat saat gelembung akan keluar dari injektor. Pengujian ukuran gelembung kembali dilakukan saat injektor sudah dipasang pada lambung model kapal. Pengujian dilakukan diatas kolam uji tarik. Namun demikian secara visual ditemukan bahwa ukuran gelembung yang dihasilkan memiliki perbedaan terhadap ukuran yang sebelumnya didapat, yakni memiliki diameter yang lebih besar.

### III.3.7. Perakitan, *Finishing* dan Pengukuran Dimensi Model

Kapal dan injektor dirakit, proses perakitan dimulai dari pemasangan *stopper* pada injektor. Adapun suaian nya diisi dengan menggunakan *filler* untuk menghindari kebocoran, selanjutnya ditambahkan resin dan *sealant*.



Gambar III.14 Pemasangan Injektor ke lambung kapal

Kapal lalu diberi cat dasar putih dan cat pelapis dengan warna kuning. Selanjutnya kapal diberi garis air menggunakan marker dan *turbulence stimulator*. *Turbulence stimulator* merupakan alat yang berfungsi mengenerasikan arus turbulen pada model. Kapal model cenderung memiliki nilai bilangan  $Re$  yang jauh lebih rendah ketimbang kapal sesungguhnya. Tentu kita dapat memahami bahwa nilai  $Re$  sangat menentukan jenis aliran yang terjadi pada *boundary layer*. Oleh karena itu, guna menghasilkan pola aliran yang mendekati kapal sesungguhnya *turbulence stimulator*. *Turbulence stimulator* dapat berupa *studs* (paku) ataupun *sand grit paper*. Pada penelitian ini digunakan jenis *sand grit paper* dengan lebar sebesar 10

mm yang dipasang sejauh 0,05 LPP dibelakang. Pada bagian haluan dan buritan kapal dipasang masing masing sebuah *holder*.



Gambar III.15 *Holder* poros pengarah

*Holder* tersebut nantinya akan menjadi dudukan dari poros pengarah yang terhubung dengan kereta tarik. Model kapal lalu diukur dimensi utamanya untuk melihat tingkat kesesuaian dengan *guidelines*.

**III.4. Skala Dasar dan Faktor Korelasi Model**

Skala dasar merupakan perbandingan antara nilai panjang garis air kapal asli dengan panjang garis air kapal model dan dinyatakan dengan lamda ( $\lambda$ ). Lamda berpangkat satu untuk dimensi panjang, berdimensi kuadrat untuk luas dan berpangkat tiga untuk dimensi volume.

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} \dots\dots\dots(III-1)$$

Lamda ( $\lambda$ ) ditetapkan berharga 23,85 . Ukuran utama model disajikan pada **Tabel III.5**

Tabel III.5 Dimensi Utama Model Kapal

Dimensi utama model		
Loa	2,0000	m
Lwl	1,9245	m
B	0,5031	m
T	0,1593	m
H	0,2013	m
displacement	0,1100	ton
WSA	1,264015	m <sup>2</sup>



Korelasi model dengan kapal dapat dilakukan dengan menyamakan nilai bilangan tidak berdimensi Froude. Agar mendapatkan karakteristik hambatan yang sama kapal dan model harus diuji pada bilangan Froude yang sama. Bilangan Froude merupakan nilai perbandingan antara kecepatan dengan nilai panjang kapal.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \dots\dots\dots(III-2)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{gL_s}} \dots\dots\dots(III-3)$$

Tentu saja dengan menyetarakan nilai Bilangan Froude maka tidak akan didapat kesesuaian pada bilangan Reynold. Hal tersebut yang menyebabkan pengujian akan semakin akurat apabila skala semakin mendekati kapal sesungguhnya. Kapal sesungguhnya memiliki kecepatan servis 12 knot. Walaupun begitu, pengujian hambatan dilakukan pada konversi nilai kecepatan kapal sesungguhnya pada harga 6, 8, 10, 12, 14 knot.

Tabel III.6 Korelasi Kecepatan Model

V kapal (knot)		V kapal (m/s)		Fn model = Fn kapal	V model	
6	knot	3,0084	m/s	0,15	0,627977719	m/s
8	knot	4,0112	m/s	0,19	0,837303625	m/s
10	knot	5,014	m/s	0,24	1,046629532	m/s
12	knot	6,0168	m/s	0,29	1,255955438	m/s
14	knot	7,0196	m/s	0,34	1,465281345	m/s

**III.5. Perhitungan Kebutuhan Tegangan Listrik pada motor**

Kereta pada *towing tank* digerakan menggunakan 4 buah motor listrik linear. Keluaran voltase motor AC dapat diatur dengan AC *voltage regulator*. Nilai voltase yang diatur berkorespondensi terhadap putaran motor listrik. Pada motor listrik linear, nilai kecepatan angular pada rotor akan sebanding dengan kecepatan translasi pada stator. Berdasarkan pengukuran dan kalibrasi Laboratorium, tegangan 2,5 Volt akan menghasilkan kecepatan 1 m/s. Sehingga kebutuhan masing masing kecepatan ditampilkan dalam tabel berikut

Tabel III.7 Kebutuhan Voltase Motor Linear

V model (m/s)		Voltase (V)	
0,63	m/s	1,569944	V
0,84	m/s	2,093259	V
1,05	m/s	2,616574	V

1,26	m/s	3,139889	V
1,47	m/s	3,663203	V

### III.6. Lokasi Pengerjaan

Pengerjaan model kapal dan akuarium uji dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika FTK- Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pembuatan *array holes* memerlukan mesin CNC sehingga dikerjakan di PT. Sama Jaya *Acrylic fabricator*, Bandung . Pekerjaan *assembly* dan *cutting case box* dari injektor membutuhkan mesin freis dilakukan di PT. Mobar Sarana Energi, Bandung.

### III.7. Lokasi Pengujian

Pengujian dilaksanakan di *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Laboratorium ini memiliki kolam uji tarik dengan dimensi ukuran panjang, lebar dan kedalaman berturut turut 50 meter x 3 meter x 2 meter. Laboratorium tersebut telah tersertifikasi oleh *International Towing Tank Conference* pada tahun 1993.

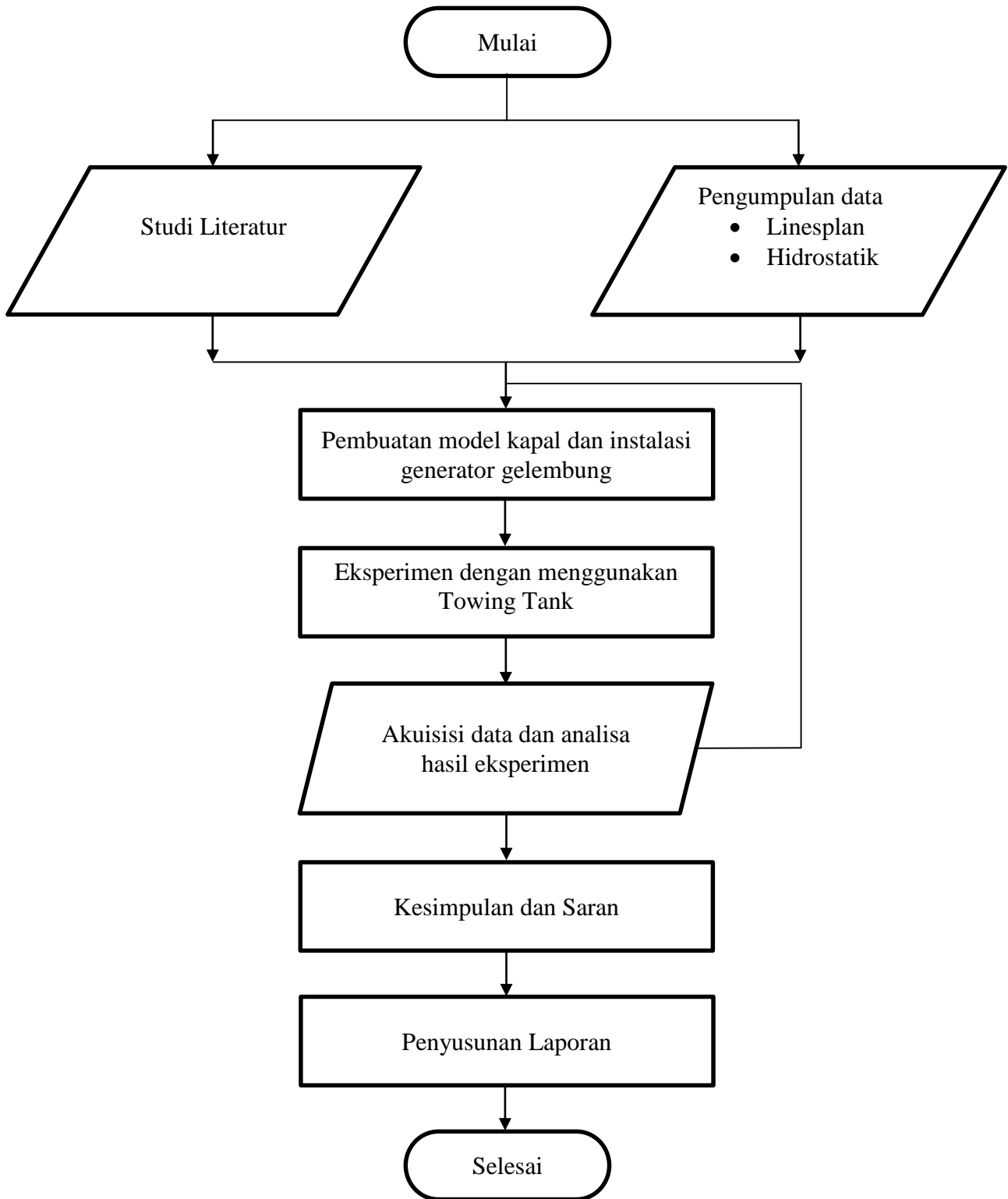


(a)

(b)

Gambar III.16 (a) Fasilitas Kolam Uji Tarik di Laboratorium Hidrodinamika (b) Kereta Tarik

### III.8. Bagan Alir



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.1. Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian akan menjelaskan langkah langkah yang diambil pada Eksperimen uji tarik. Dimulai dari menempatkan model kapal pada kolam uji , menempatan rangkaian udara di kereta tarik, menyambungkan model kapal dengan rangkaian udara, kalibrasi dari instrumen *loadcell*. Selain itu akan dijelaskan variasi dari pengujian yang ditetapkan dan metoda pengambilan data dari pengujian.

##### **IV.1.1. Pemasangan Model Kapal pada Kereta**

Model kapal yang telah dipersiapkan sebelumnya ditempatkan di kolam uji tarik. Kapal diberikan beban pemberat/ballast supaya sarat kapal model berada pada garis air. Pemberat yang digunakan merupakan pemberat solid dengan massa bervariasi mulai dari 1 hingga 10 Kilogram.

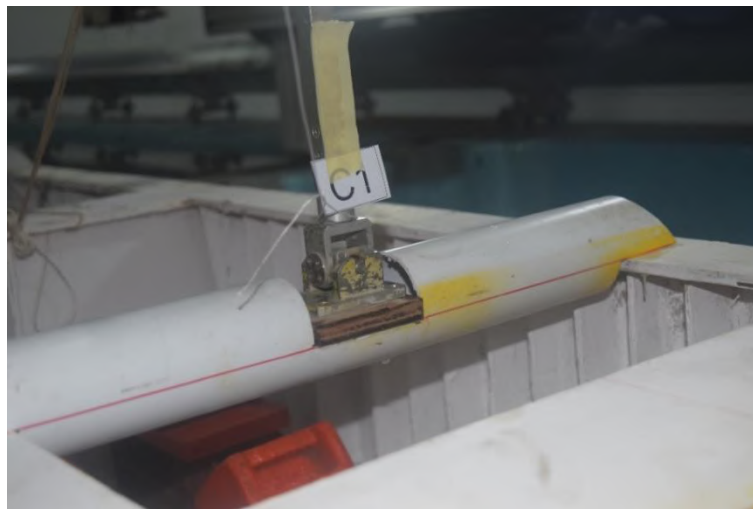


Gambar IV.1 Penempatan Pemberat di Sepanjang Badan Model Kapal

Mampu diamati pada **Gambar IV.1** bahwa pemberat di tempatkan sedemikian rupa di sepanjang badan kapal sehingga sarat yang ideal dapat dihasilkan baik pada bagian haluan ,*middle body* maupun buritan. Ketinggian sarat dilihat melalui garis air yang terdapat pada model. Idealnya dibutuhkan massa sebesar displasmen dikurangi dengan massa badan kapal untuk mendapatkan sarat yang tepat. Dari hasil penimbangan sebelumnya, diketahui bahwa

massa dari spesimen uji ialah sebesar 24,5 kg. Oleh karena itu dibutuhkan pemberat dengan massa 75 kg.mencapai

Di atas kolam uji, spesimen yang telah diberi *ballast* diikat dengan sebuah poros *loadcell* di daerah midship dan dua buah poros pengarah (*holder*). Poros ini dipasang pada dudukan *holder* pada model. Satu buah ditempatkan pada bagian haluan dan satu yang lainnya diletakan pada daerah buritan kapal. Poros pengarah harus berada pada sudut yang siku pada saat kapal berada pada ketinggian saratnya dan air yang tenang.



Gambar IV.2 Poros Pengarah

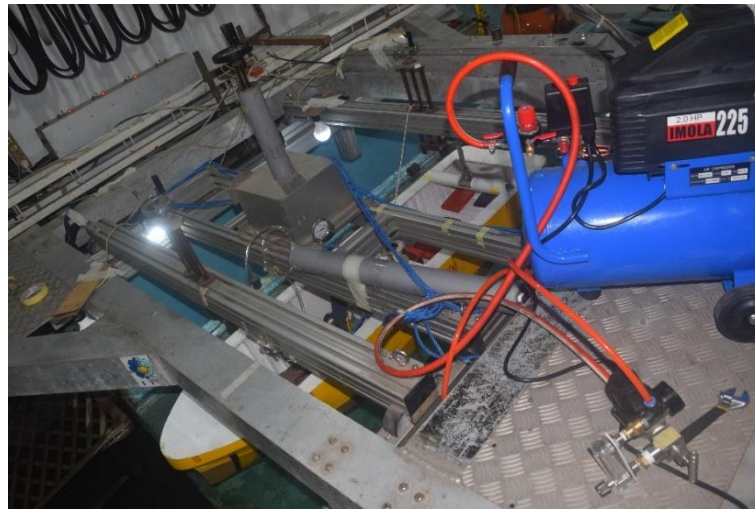
Sesuai namanya, poros pengarah berfungsi mengarahkan gerak kapal pada uji tarik. Poros pengarah akan memastikan tidak terjadinya *yawing*, *pitching* maupun *rolling* pada badan kapal selama proses pengujian walaupun begitu, saat kapal melaju, poros pengarah tidak diperkenankan menghambat olah gerak kapal yang terjadi.

#### **IV.1.2. Penempatan Rangkaian Sistem Udara pada Kereta**

Kompresor diletakan diatas kereta seperti terlihat pada Gambar IV.3. Kompresor nantinya akan mengambil sumber daya listrik dari sumber listrik Laboratorium. Oleh karena itu dipersiapkan terminal listrik yang cukup panjang untuk mengakomodir kebutuhan suplai daya kompresor.

Selanjutnya, *flowmeter* ditempatkan secara tegak lurus terhadap tanah. Hal tersebut dilakukan dikarenakan flow meter bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan gaya berat dan akan merubah hasil pembacaan apabila tidak ditempatkan secara tegak lurus. *Port distributor* diikat pada struktur penahan kereta. Dari *port tersebut*, 3 cabang *polyurethane tube* dan langsung dihubungkan kepada injektor yang telah terpasang pada lambung kapal. Pemasangan

dilakukan sedemikian rupa agar *tube* tidak mengganggu atau menahan gerak laju model yang dapat mengganggu hasil pembacaan *loadcell*.



Gambar IV.3 Proses Penempatan Sistem Udara

#### IV.1.3. Kalibrasi Instrumen *Loadcell*

*Loadcell* terhubung dengan kapal melalui sebuah tali serat sintesis. Tali tersebut hendaknya dipasang pada titik berat kapal. *Loadcell* memiliki spesifikasi sebagai berikut

Tabel IV.1 Spesifikasi *Loadcell*

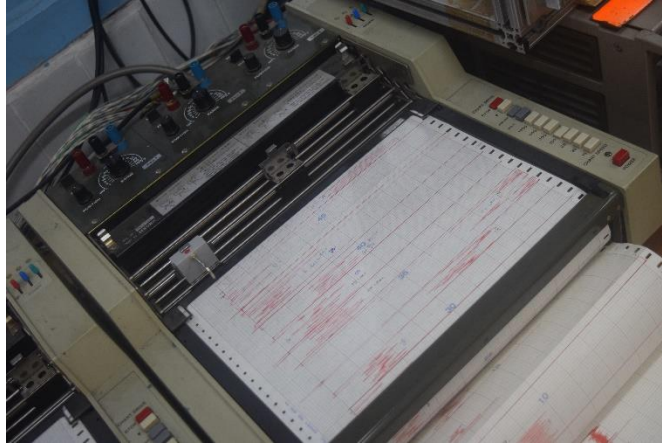
<b><i>Loadcell - Hottinger Baldwin MessTechnik</i></b>	
<i>F.nr</i>	B34960
<i>Rated Load</i>	2 Kg
<i>Rated Output</i>	2 mV/V



Gambar IV.4 Pengikatan *Loadcell* menggunakan Tali

*Loadcell* akan membaca hambatan model kapal ke arah gerak translasi *heading* model kapal. Hasil pembacaan *loadcell* berupa sinyal elektrik akan dikuatkan oleh *amplifier* lalu

dienskripsi pada *strip chart recorder*. Spesifikasi dari **Tabel IV.1** menunjukkan bahwa *loadcell* akan bekerja dengan prima apabila diberi tegangan eksitasi sebesar 2 Volt dengan rentang pembacaan antara 0 hingga 2 kg .



Gambar IV.5 *Strip Chart Recorder*

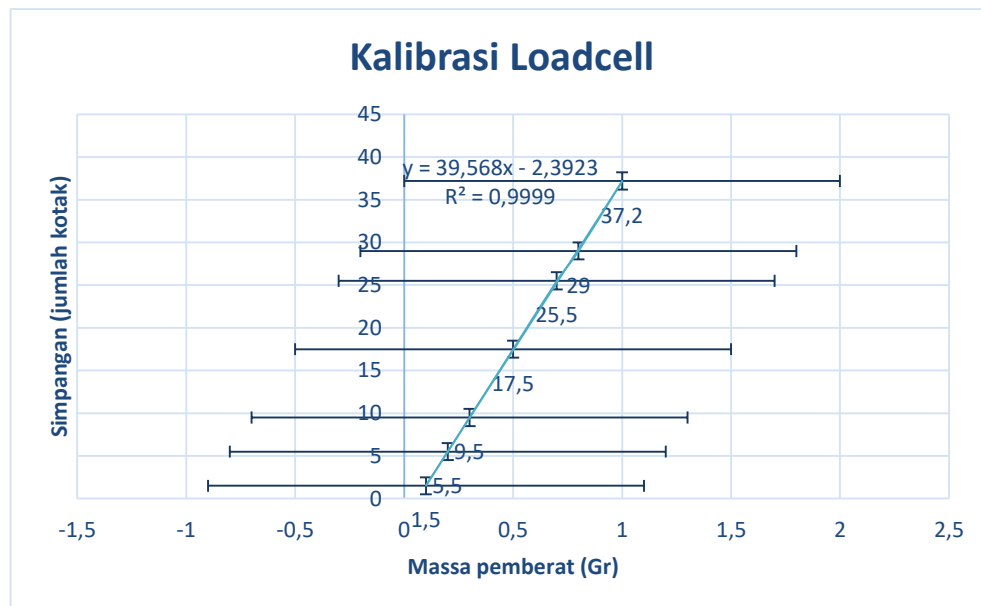
Pada **Gambar IV.5** diperlihatkan sebuah *strip chart recorder*. *Strip chart recorder* merupakan perangkat elektromekanikal yang akan membaca input dari sinyal listrik dan menggambarkan hasil pembacaan tersebut sebagai sebuah simpangan yang dicetak pada kertas. Rentang voltase dapat diatur sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki. Pada set pengujian ini digunakan voltase sebesar 2 Volt.



Gambar IV.6 Proses Kalibrasi

Pada kalibrasi ini *loadcell* diberi massa secara bervariasi mulai dari 100 hingga 1000 gram. ITTC sesungguhnya memberikan rekomendasi untuk melakukan kalibrasi dengan membagi *rated load loadcell* menjadi 10 titik. Akan tetapi, dikarenakan *loadcell* yang digunakan merupakan *loadcell* yang sudah memiliki umur pemakaian cukup lama maka dikhawatirkan terjadi kerusakan pada instrumen apabila

dilakukan kalibrasi pada beban maksimumnya. Perbandingan antara harga massa sebenarnya dan harga massa terbaca (simpangan) yang terjadi pada proses ini dapat menjadi acuan untuk pengujian tarik. Kalibrasi harus dilakukan pada kondisi air tenang. Proses ini dimulai dari menghubungkan poros pengarah belakang dengan sebuah tali sintetis. Pada ujung lain dari tali dipasang sebuah anak timbangan yang telah ditimbang sebelumnya. Tali tersebut lalu ditempatkan pada sebuah katrol yang terpasang diujung kolam uji lalu dilepaskan sehingga pemberat menggantung bebas. Harga pembacaan massa yang menggantung bebas ini dicatat oleh *stripchart recorder*. Proses tersebut diulangi hingga semua variasi massa terpenuhi. Setelah didapatkan semua nilai massa yang terbaca, dilakukanlah penggambaran kurva pada masing masing hasil yang didapat seperti yang terlihat pada **Gambar IV.7**



Gambar IV.7 Kurva Kalibrasi dari *Loadcell*

Dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai aksis y (simpangan) merupakan fungsi dari nilai x atau sebaliknya. Dengan mengetahui harga y (simpangan) yang terjadi maka dapat diketahui besar massa x. Pada grafik diketahui Nilai R kuadrat bernilai 0,9999. R kuadrat dalam ilmu statistik merupakan koefisien determinan. Koefisien determinan menjelaskan tentang keselarasan antara dua variabel dalam regresi, semakin nilainya mendekati 1 maka relasi antara variabel semakin cocok. Nilai tersebut memenuhi batas minimum keselarasan yang disyaratkan oleh prosedur ITTC.



#### IV.1.4. Pengujian

Pengujian dikehendaki memiliki 30 variasi. Motor linear diberikan voltase menggunakan sesuai set pengujian yang dikehendaki. Kode alfabetis menjelaskan debit injeksi gelembung yang dikeluarkan sedangkan kode numerik menjelaskan variasi kecepatan. Pengujian dilakukan dalam kondisi air tenang. Pada pengujian ini diasumsikan sarat dan displasmen kapal tetap di nilai yang sama.

DEBIT INJEKSI 0 LPM						DEBIT INJEKSI 30 LPM					
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)
1	A1	0	1,6	0,64	6	1	D1	30	1,6	0,64	6
2	A2	0	2,1	0,84	8	2	D2	30	2,1	0,84	8
3	A3	0	2,6	1,04	10	3	D3	30	2,6	1,04	10
4	A4	0	3,2	1,28	12	4	D4	30	3,2	1,28	12
5	A5	0	3,7	1,48	14	5	D5	30	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 10 LPM						DEBIT INJEKSI 40 LPM					
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)
1	B1	10	1,6	0,64	6	1	E1	40	1,6	0,64	6
2	B2	10	2,1	0,84	8	2	E2	40	2,1	0,84	8
3	B3	10	2,6	1,04	10	3	E3	40	2,6	1,04	10
4	B4	10	3,2	1,28	12	4	E4	40	3,2	1,28	12
5	B5	10	3,7	1,48	14	5	E5	40	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 20 LPM						DEBIT INJEKSI 50 LPM					
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	patan kereta	V kapal asli(knot)
1	C1	20	1,6	0,64	6	1	F1	50	1,6	0,64	6
2	C2	20	2,1	0,84	8	2	F2	50	2,1	0,84	8
3	C3	20	2,6	1,04	10	3	F3	50	2,6	1,04	10
4	C4	20	3,2	1,28	12	4	F4	50	3,2	1,28	12
5	C5	20	3,7	1,48	14	5	F5	50	3,7	1,48	14

Gambar IV.8 Rancangan Variasi Pengujian

Kode A pada rancangan variasi pengujian diatas merupakan kode pengujian kapal kosong, kode B, C, D, E, dan F merupakan kode untuk pengujian kapal dengan debit injeksi berturut-turut 10 Liter/menit, 20 Liter/menit, 30 Liter/menit, 40 Liter/menit, dan 50 Liter/menit. Perlu diketahui bahwa penelitian sejenis seyogyanya menggunakan notasi perbandingan koefisien injeksi terhadap debit *boundary layer* seperti telah dijelaskan pada persamaan di subbab Estimasi *Injection Rate* II.2.6. seperti berikut :

$$\alpha = \frac{Q_a}{Q_w} \dots\dots\dots(IV-1)$$

Notasi tersebut bernilai antara 0,1 hingga 1 dengan penambahan 0,1 disetiap variasinya. Nilai 1 berarti debit injeksi yang dikeluarkan sama dengan debit *boundary layer*. Tetapi berdasarkan perhitungan debit *boundary layer* yang telah dilakukan, didapati bahwa tidaklah praktis menggunakan notasi tersebut. Hal tersebut terjadi dikarenakan harga nilai debit *boundary layer* yang terbentuk nilainya terlampau tinggi, sehingga untuk mendapatkan notasi tersebut dibutuhkan kompressor dengan kemampuan *air delivery* yang tinggi pula. Selain itu, dikarenakan pengujian ini terdiri dari 5 variasi kecepatan maka debit *boundary layer* yang fungsi dari kecepatan kapal akan berbeda di setiap kecepataannya. Artinya, untuk mendapatkan

nilai  $\alpha$  sama untuk 5 variasi kecepatan maka akan dibutuhkan nilai debit injeksi yang bervariasi pula. Dengan kemampuan baca *flowmeter* yang hanya mampu membaca hingga 100 Liter per menit maka sukar untuk dapat memenuhi hal tersebut.

Proses pengujian membutuhkan waktu selama 6 hari . Pada masing-masing hari dilakukan satu set pengujian dengan kode alfabetis yang sama. Setiap harinya pengujian berlangsung selama kurang lebih 8-12 jam kerja. Tanggal dan hari pengujian direkomendasikan untuk dikemukakan pada badan laporan berdasarkan *guidelines* yang ditetapkan oleh ITTC.

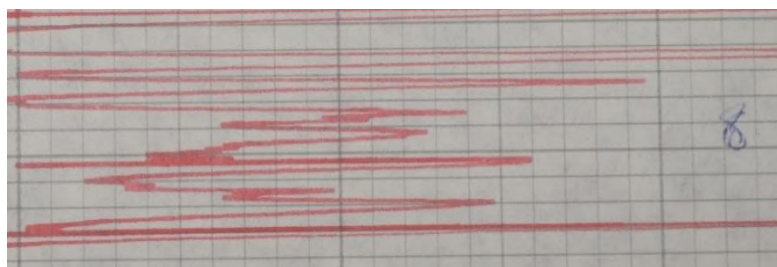
Tabel IV.2 Tanggal Pelaksanaan Pengujian

Pengujian	Tanggal pelaksanaan pengujian	Urutan
A	Senin, 24/06/2019	1
B	Rabu, 03/07/2019	6
C	Rabu, 26/06/2019	3
D	Selasa, 25/06/2019	2
E	Senin, 01/07/2019	4
F	Selasa, 02/07/2019	5

Meskipun proses pengujian tidak berlangsung pada waktu yang sama, tetapi spesimen uji tidak diturunkan dilepas dari kereta. Hal tersebut dilakukan dengan maksud agar tidak terjadi perubahan *set up* eksperimen dan variabel yang berbeda antar masing-masing set pengujian.

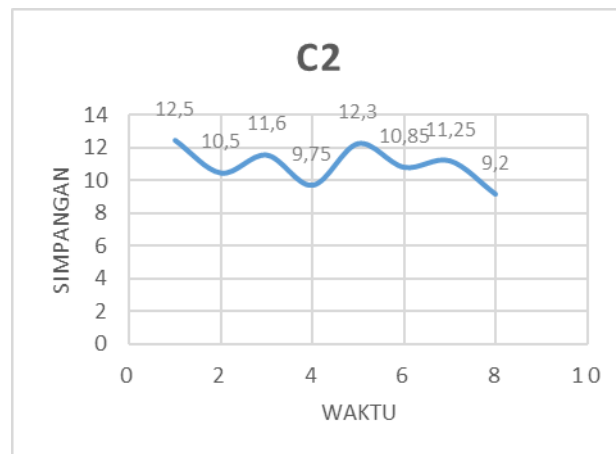
#### IV.1.5. Metoda Pengambilan Data

Hasil pembacaan *loadcell* ditampilkan didalam bentuk kurva terhadap waktu. Dikarenakan hasil pembacaan berbentuk fisik pada kertas strip maka untuk mengetahui nilai rata-rata dilakukan pembacaan secara visual. Pandanglah Gambar IV.9 gambar tersebut merupakan hasil pengujian uji tarik untuk variasi C2. Untuk menentukan harga  $R_t$  pertama tama dicari nilai simpangan kurva pada titik puncak dan lembah dari kurva di semua titik.



Gambar IV.9 Pembacaan Simpangan *Chart Recorder* pada Pengujian C2

Selanjutnya nilai setiap titik puncak dan lembah dari kurva tersebut dirata-ratakan. Nilai rata-ratan untuk kurva pembacaan pada pengujian C2 ditampilkan pada Gambar IV.10 sebagai contoh dari rata-ratan pembacaan visual.



Gambar IV.10 Kurva Hasil Rataan Simpangan Puncak dan Lembah

Kurva tersebut menjelaskan tentang simpangan yang terjadi terhadap waktu. Perlu digaris bawahi bahwa nilai konstanta pada aksis waktu tidak mendefinisikan waktu uji tarik kapal melainkan hanya sebagai skala terhadap nilai *timestep* yang berubah.

Sifat fisik (*properties*) dari air tawar dan air laut merupakan fungsi dari temperatur, salinitas, dan tekanan (ITTC, 2011). Pada pengujian ini dilakukan pengukuran temperatur. Temperatur tersebut lalu dibandingkan dengan data yang disediakan oleh ITTC. ITTC menyediakan standar pengujian pada tekanan 0,13125 Mpa. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh harga temperatur kolam sebesar 27°C .

Tabel IV.3 Sifat Fisik Air dan Air Laut

Deskripsi	Nilai	Satuan
Percepatan gravitasi	9,81	m/s <sup>2</sup>
Massa jenis air tawar pada 27°C	996,5158	kg/m <sup>3</sup>
Massa jenis air laut pada 27°C	1022,7626	kg/m <sup>3</sup>
Viskositas kinematik air tawar pada 27°C	8,5388E-07	m <sup>2</sup> /s
Viskositas kinematik air laut pada 27°C	8,8726E-07	m <sup>2</sup> /s

Penyetaraan yang dilakukan menghasilkan sifat fisik sebagai mana ditampilkan pada **Tabel IV.3**. Selanjutnya semua perhitungan di pembahasan akan mengacu pada nilai tersebut.

## IV.2. Hasil dan Analisa Model Kapal

Subbab hasil dan analisa model akan membahas seputar hasil yang diperoleh dari eksperimen pada model kapal. Pembahasan yang dicakup meliputi nilai hambatan total dan pengurangan hambatan, perhitungan nilai koefisien-koefisien hambatan, pembahasan mengenai hubungan suatu variabel dengan bilangan-bilangan tak berdimensi ( Froude dan Reynold), dan perhitungan mengenai efisiensi daya yang tercipta dari pengujian ini.

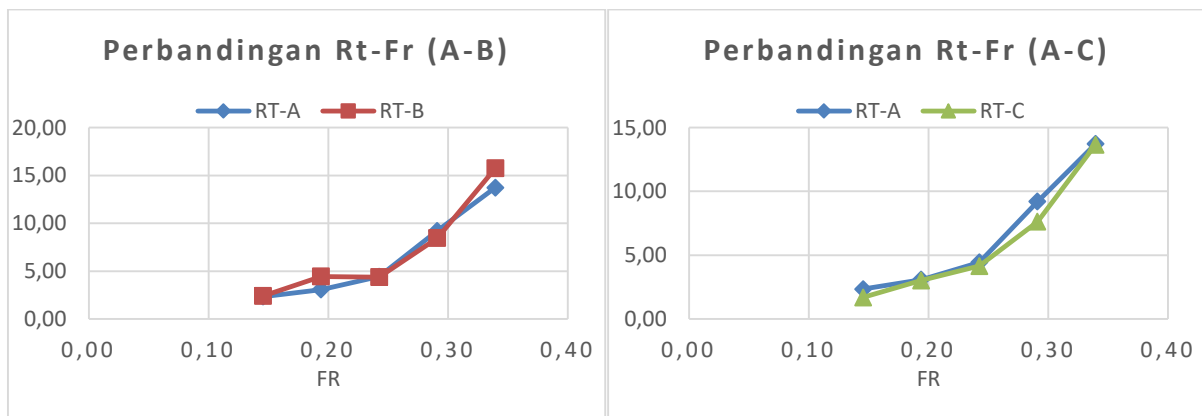
### IV.2.1. Hambatan Total Model dan Persentase Pengurangan Hambatan

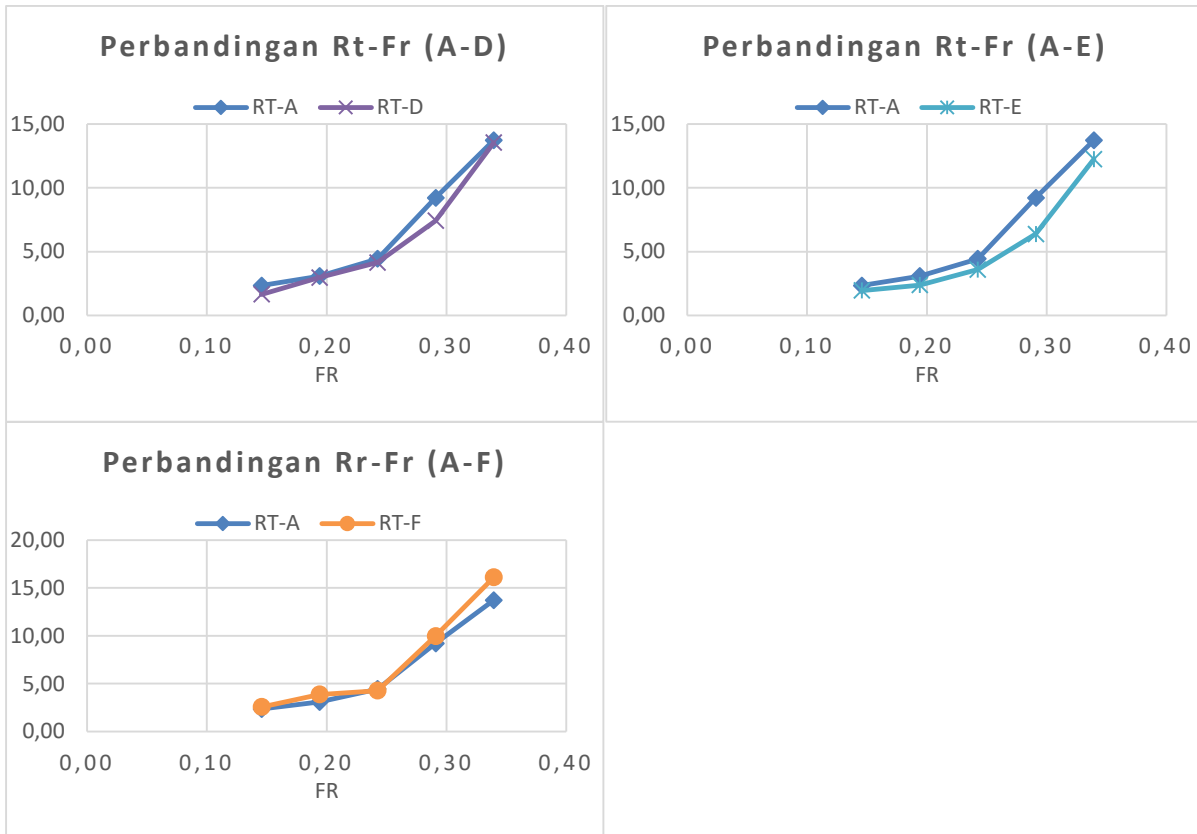
Analisis terhadap hasil pembacaan *stripchart* dengan menggunakan metode yang dijelaskan di IV.1.5, menghasilkan nilai hambatan total model Rtm untuk 30 buah variasi pengujian. Besar hambatan ditampilkan pada Tabel IV.4. Kode kecepatan pada kolom paling kiri menjelaskan tentang variasi kecepatan yang telah dibahas sebelumnya pada subbab IV.1.4.

Tabel IV.4 Hasil Nilai Hambatan pada Pengujian Kapal Model Kosong(A) dan Kapal Model Injeksi (B,C,D,E,F)

Kode Kecepatan	Fr	V Model	Rtm-A (N)	Rtm-B (N)	Rtm-C (N)	Rtm-D (N)	Rtm-E (N)	Rtm-F (N)
		(M/S)	-	10 L/Min	20 L/Min	30 L/Min	40 L/Min	50 L/Min
1	0,15	0,64	2,34	2,40	1,69	1,65	1,95	2,56
2	0,19	0,86	3,08	4,45	3,02	2,97	2,38	3,87
3	0,24	1,07	4,43	4,38	4,15	4,14	3,59	4,26
4	0,29	1,29	9,21	8,46	7,62	7,42	6,37	9,97
5	0,34	1,50	13,72	15,74	13,65	13,54	12,24	16,11

Data tersebut bisa digunakan untuk menjelaskan perbandingan antara nilai hambatan model dengan injeksi gelembung (B,C,D,E) dengan hambatan model tanpa injeksi (A). Nilai perbandingan tersebut dapat pula digambarkan sebagai suatu kurva terhadap bilangan Froude





Gambar IV.11 Perbandingan nilai Rtm(A,B,C,D,E,F) terhadap Fr

Tabel IV.5 Persentase pengurangan hambatan

Fr	Persentase Pengurangan Hambatan				
	B	C	D	E	F
0,15	-2,65%	27,89%	29,65%	16,30%	-9,53%
0,19	-44,57%	1,99%	3,55%	15,68%	-25,69%
0,24	1,27%	6,34%	6,51%	19,24%	3,77%
0,29	8,14%	17,23%	19,44%	33,49%	-8,34%
0,34	-14,71%	0,53%	1,34%	9,42%	-17,39%

Pada tabel **Tabel IV.5** , titik dengan nilai minus menunjukkan set-set pengujian yang mengalami kenaikan hambatan. Dari 25 set pengujian terdapat 18 variasi percobaan yang berhasil mengalami pengurangan hambatan dan 7 variasi percobaan yang justru bertambah nilai hambatannya. Jika diperhatikan, penambahan hambatan model hanya terjadi pada dua kolom pengujian, yaitu kolom B (10 LPM) dan F (50 LPM).

Nilai maksimum pengurangan hambatan terjadi pada set pengujian E4 (injeksi 40 LPM-Fr 0,29) dengan pengurangan mencapai nilai 33,49%. Nilai pengujian B2 (Injeksi 10 LPM-Fr 0,19) mengalami persentase tambahan hambatan paling banyak. Variasi B, C, D, E, F berturut turut mengalami pengurangan sebesar -10,50 %, 10,79%, 12,10 %, 18,83 %, dan -11,4 %. Secara keseluruhan rata-rata pengurangan hambatan yang terjadi memiliki besaran 3,96 %.

Tabel IV.6 Besar Reduksi Hambatan

Fr	Besar Reduksi Hambatan (Newton)				
	B	C	D	E	F
0,15	- 0,06198	0,65288	0,69420	0,39173	- 0,22313
0,19	- 1,37135	0,06112	0,10913	0,69730	- 0,79049
0,24	0,05630	0,28098	0,28842	0,84192	0,16694
0,29	0,74957	1,58581	1,79004	2,83216	- 0,76796
0,34	- 2,01813	0,07231	0,18388	1,48292	- 2,38630

Hasil analisa pada **Tabel IV.6** dapat menunjukkan bahwa pengurangan reduksi hambatan rata rata untuk model kapal ialah sebesar 0,212 Newton. Walaupun sebelumnya pada nilai persentase hambatan diketahui bahwa penambahan maksimum persentase terjadi di titik B2 (Injeksi 10 LPM-Fr 0,19), tetapi apabila dipandang nilai besaran maka besar penambahan hambatan terbesar terjadi pada titik B5 ( Injeksi 10 LPM-Fr 0,34).

**IV.2.2. Koefisien Hambatan Total**

Walaupun telah didapat nilai hambatan R<sub>tm</sub>, lazimnya besar hambatan dipresentasikan dalam bentuk bilangan tak berdimensi koefisien total model C<sub>tm</sub>, hal tersebut dilakukan karena dengan mengetahui koefisien C<sub>tm</sub> maka ekstrapolasi ke kapal yang lain dengan bentuk sama akan mudah untuk dilangsungkan . Jika tidak ada koreksi terhadap temperatur standar yang ditetapkan ITTC nilai koefisien C<sub>tm</sub> dirumuskan dengan :

$$C_{tm} = \frac{R_{tm}}{(\frac{1}{2} \rho v^2) W_{sa}} \dots\dots\dots( IV-2)$$

Di mana

R<sub>tm</sub> = hambatan total model ( Newton )

v = kecepatan model (m/s)

W<sub>sa</sub> = luas permukaan basah model (m<sup>2</sup>)

Tabel IV.7 Nilai C<sub>tm</sub> Model Kapal

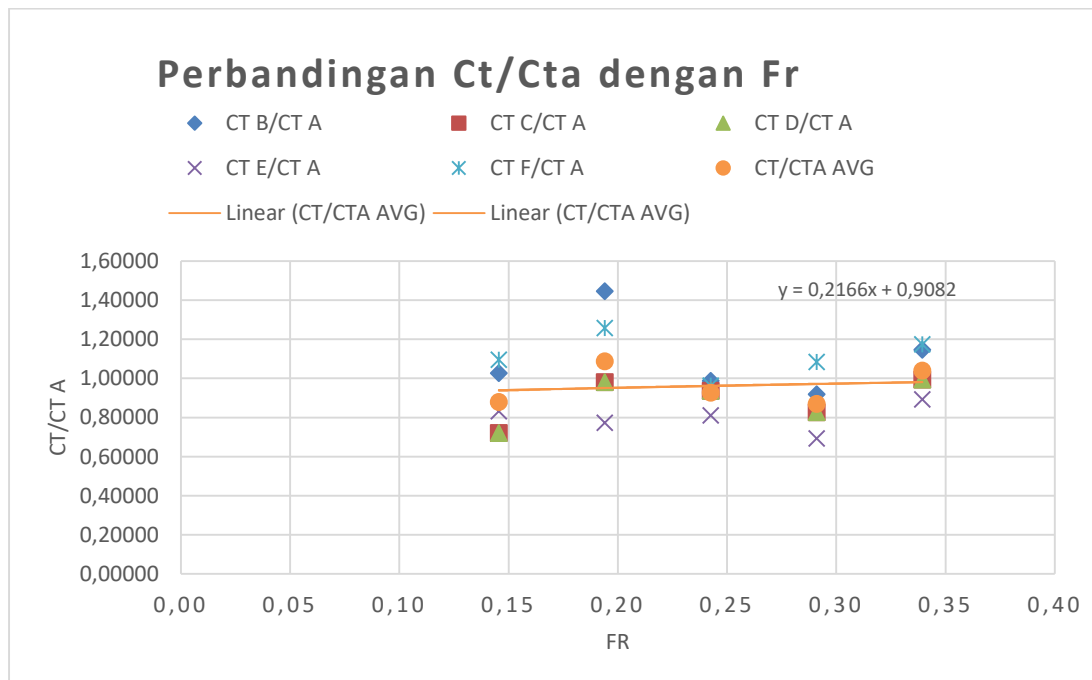
Nilai C <sub>tm</sub> model kapal									
Kode kecepatan	Fr	V model (m/s)	W <sub>sa</sub> model (m <sup>2</sup> )	C <sub>tm</sub> -A	C <sub>tm</sub> -B	C <sub>tm</sub> -C	C <sub>tm</sub> -D	C <sub>tm</sub> -E	C <sub>tm</sub> -F
1	0,15	3,09	1,2640	0,0089	0,0092	0,0064	0,0063	0,0074	0,0098
2	0,19	4,12	1,2640	0,0066	0,0095	0,0065	0,0064	0,0051	0,0083
3	0,24	5,14	1,2640	0,0061	0,0060	0,0057	0,0057	0,0049	0,0059
4	0,29	6,17	1,2640	0,0088	0,0081	0,0073	0,0071	0,0061	0,0095
5	0,34	7,20	1,2640	0,0096	0,0110	0,0096	0,0095	0,0086	0,0113

C<sub>tm</sub> pada kolom A sebagaimana kita tahu merupakan koefisien hambat kapal tanpa injeksi apapun. Oleh karena itu nilainya dapat kita jadikan sebagai nilai penyebut terhadap nilai koefisien hambat yang lain. Rasio ini disebut juga dengan rasio Ct/C<sub>t-A</sub>. Jika rasio koefisien tersebut dibawah dari nilai satu maka terjadi pengurangan injeksi. Sebaliknya, apabila dari perhitungan tersebut justru didapatkan nilai diatas satu maka artinya terjadi penambahan hambatan. Perbandingan nilai Ct B, Ct C, Ct D, Ct E, Ct F dengan Ct A ditampilkan pada

Tabel IV.8 Perbandingan Nilai Ct (B,C,D,E) dengan Ct A

Ct dengan gelembung/Ct tanpa gelembung						
Fr	Re	Ct B/Ct A	Ct C/Ct A	Ct D/Ct A	Ct E/Ct A	Ct F/Ct A
0,15	1239992	1,02648	0,72111	0,72111	0,83267	1,09532
0,19	1653323	1,44567	0,98014	0,98014	0,77339	1,25690
0,24	2066654	0,98730	0,93660	0,93660	0,81003	0,96233
0,29	2479984	0,91858	0,82774	0,82774	0,69236	1,08342
0,34	2893315	1,14708	0,99473	0,99473	0,89192	1,17392

Untuk dapat melihat hubungan antara koefisien hambat terhadap bilangan Froude maka diberikan grafik **Gambar IV.12**, Jika diperhatikan masing-masing rasio koefisien hambatan memiliki *trendline* yang tidak menentu. Rasio Koefisien Hambat B dan F mengalami penurunan *slope* sedangkan untuk pengujian C, D dan E mengalami kenaikan.



Gambar IV.12 Grafik perbandingan Ct (B,C,D,E,F) dengan Ct A

Apabila nilai koefisien hambat pada masing masing kecepatan dirata-ratakan lalu dicari hubungannya terhadap Fr dan dikaji *trendline* dari rataan tersebut maka secara umum didapat nilai persamaan

$$y = 0,2166x + 0,9082 \dots \dots \dots (IV-3)$$

Nilai R kuadrat dari kurva tersebut didapatkan sebesar 0,297. Angka tersebut menunjukkan apabila korelasi dari dua variabel sebenarnya tidak tergambarkan dengan cukup baik. Walaupun begitu, jika y merupakan ordinat dan x merupakan absis pada kurva tersebut, maka dengan substitusi bisa didapat

$$Ct/CtA = 0,2166(Fr) + 0,9082 \dots \dots \dots (IV-4)$$

Di mana

Ct/CtA = rasio koefisien hambat kapal model injeksi dengan kapal model kosong

Fr = bilangan Froude

Bilangan Froude adalah fungsi dari kecepatan dan panjang kapal. Dari persamaan tersebut kita dapat melihat bahwa gradien kurva sebenarnya cenderung meningkat ditandai dengan positifnya nilai konstanta didepan harga x. Sehingga dapatlah ditarik benang merah bahwa semakin tinggi nilai kecepatan maka akan semakin rendah nilai pengurangan hambatan yang dapat dicapai. Walaupun begitu, jika ditinjau lebih lanjut pengurangan hambatan baru gagal terjadi apabila nilai Ct/CtA >1 maka dengan menyusun ulang persamaan tersebut kita dapatkan nilai sebagai berikut

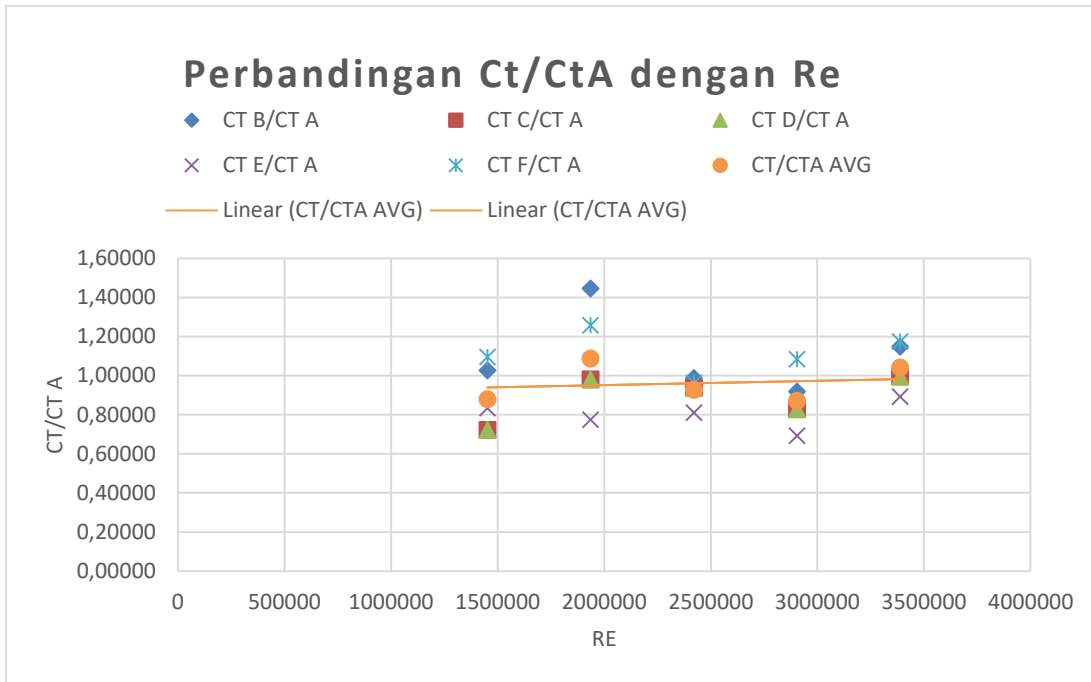
$$\frac{1-0,9082}{0,2166} > (Fr) \dots \dots \dots (IV-5)$$

$$0,423 > (Fr) \dots \dots \dots (IV-6)$$

Persamaan tersebut menjelaskan bahwa penggunaan gelembung pada kasus ini hanya dapat berfungsi efektif untuk mereduksi apabila dilakukan dikecepatan  $Fr < 0,423$ . Jika nilai Fr melewati harga 0,423 maka diprediksi justru akan memberi penambahan hambatan signifikan.

Apabila sebelumnya telah dibahas hubungan antara Fr dan koefisien hambat maka berdasarkan tabel akan dibahas hubungan dengan bilangan tidak berdimensi lainnya, yaitu dengan bilangan Reynolds





Gambar IV.13 Grafik Hubungan Ct dengan Re

Persebaran nilai koefisien terhadap bilangan Reynolds tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan perbandingan terhadap bilangan Froude. Rasio Koefisien Hambat model Ctm C, Ctm D dan Ctm E mengalami kenaikan *slope* sedangkan untuk pengujian Ctm B dan Ctm F mengalami penurunan. Apabila nilai koefisien hambat tersebut kembali dirata-ratakan dan dikaji hubungannya terhadap Re maka diperoleh persamaan

$$y = 3 \times 10^{-8}x + 0,9082 \dots\dots\dots(IV-7)$$

Dengan melakukan substitusi pada x dan y dengan berturut turut memasukan nilai Ct/CtA dan Re, dihasilkanlah

$$\frac{Ct}{CtA} = 3 \times 10^{-8}Re + 0,9082\dots\dots\dots(IV-8)$$

Dimana

Ct/CtA = rasio koefisien hambat kapal model injeksi dengan kapal model kosong

Re = bilangan Reynolds

Nilai Re maksimum dimana masih dapat terjadi pengurangan hambatan diperoleh dengan memodelkan Ct/CtA sebagai satu

$$1 - 0,9082 > 3 \times 10^{-8}Re \dots\dots\dots(IV-9)$$

$$\frac{0,0918}{3 \times 10^{-8}} > Re \dots\dots\dots(IV-10)$$

$$\frac{0,0918}{3 \times 10^{-8}} > Re \dots\dots\dots(IV-11)$$

$$3,06 \times 10^6 > Re\dots\dots\dots(IV-12)$$

Kita mengetahui bahwa  $Re$  merupakan fungsi hambatan gesek kapal  $C_{fm}$ . Dengan kata lain, hambatan gesek  $C_{fm}$  baru dapat efisien apabila  $Re$  bernilai dibawah nilai tersebut. Selain itu perlu disadari bahwa semakin tinggi nilai  $Re$  maka akan semakin tinggi volume *boundary layer*. Ketika  $Re$  memiliki nilai yang lebih tinggi dihasilkan aliran yang lebih turbulen. Aliran yang turbulen tersebut akan berimplikasi terhadap tebalnya *boundary layer*. Apabila kita perhatikan lebih lanjut, gradien garis kurva pada bilangan Reynolds memiliki kenaikan gradien yang jauh lebih rendah daripada bilangan Froude. Hal ini menunjukkan bahwa nilai rasio koefisien hambatan  $C_{fm}/C_{fm A}$  relatif sama disemua nilai kecepatan. Hal tersebut membuktikan bahwa dalam eksperimen kasus injeksi gelembung pengurangan nilai hambatan total terjadi secara umum karena penurunan nilai hambatan gesek.

Pada eksperimen ini seperti yang sudah dibahas terjadi penambahan hambatan pada beberapa set pengujian. Hal tersebut secara diperkirakan dapat terjadi dikarenakan beberapa hal, yaitu :

1. Kemungkinan terjadinya penambahan hambatan pada kapal akibat penggunaan gelembung dapat terjadi apabila ukuran diameter gelembung terlalu besar dibandingkan dengan ukuran volume *boundary layer*nya. (Kato, 1996) Hal tersebut menjelaskan mengapa nilai yang mengalami kenaikan hambatan berada saat kapal berkecepatan paling rendah. Walaupun begitu, jika mengikuti teori tersebut seharusnya kegagalan paling tinggi berada pada injeksi paling tinggi (B5 injeksi 10 LPM-Fr 0,15).
2. Berdasarkan pengamatan penulis selama pengujian, kapal model mengalami peristiwa maju-mundur selama pengujian pada penarikan di kecepatan tinggi, hemat penulis hal tersebut merupakan imbas dari adanya gaya reaksi yang diberikan kapal. Sehingga kapal tidak bergerak dengan halus pada sumbunya. Dapat dibuktikan dengan tingginya deviasi simpangan antara puncak dan lembah pada hasil pembacaan *loadcell*. Hal itu menandakan adanya gaya dorong balikan yang diberikan model kapal.

#### IV.2.3. Koefisien Hambatan Residual Model

Mula mula dicari terlebih dahulu nilai koefisien hambatan gesek pada model kapal tanpa gelembung. Koefisien ini merupakan fungsi dari bilangan Reynolds. Disajikan sebagai

$$C_{fm} = \frac{0,075}{(\text{Log } Re_m - 2)^2} \dots\dots\dots( IV-13)$$

Dari perhitungan tersebut didapat nilai Cfm model pada pengujian a sebagai berikut, secara teoritis *microbubble* bekerja pada penurunan nilai *skin friction* oleh karena itu semua nilai penurunan koefisien, terjadi pada nilai Cfm.

Gambar IV.14 Koefisien Hambatan Gesek Cfm

Cf model							
Kode kecepatan	Re model	Cfm A	Cfm B	Cfm D	Cfm E	Cfm F	Cfm
1	1452185	0,0043	0,0046	0,0018	0,0017	0,0028	0,0052
2	1936247	0,0041	0,0070	0,0039	0,0038	0,0026	0,0058
3	2420309	0,0039	0,0038	0,0035	0,0035	0,0027	0,0037
4	2904371	0,0038	0,0030	0,0022	0,0021	0,0011	0,0045
5	3388433	0,0037	0,0051	0,0036	0,0035	0,0026	0,0053

Setelah didapatkan nilai Cfm maka dengan menggunakan persamaan yang menjelaskan hubungan antar Cr dan Cfm maka didapatkan lah nilai Cr pada masing masing titik pengujian variasi pengujian. Nilai Cr pada setiap variasi pengujian di tampilkan pada tabel dibawah ini

Tabel IV.9 Cr Model Kapal

Cr model						
Kode kecepatan	Cr-A	Cr-B	Cr-C	Cr-D	Cr-E	Cr-F
1	0,00445	0,00445	0,00445	0,00445	0,00445	0,00445
2	0,00238	0,00238	0,00238	0,00238	0,00238	0,00238
3	0,00205	0,00205	0,00205	0,00205	0,00205	0,00205
4	0,00489	0,00489	0,00489	0,00489	0,00489	0,00489
5	0,00584	0,00584	0,00584	0,00584	0,00584	0,00584

#### IV.2.4. Daya Efektif *Bare Hull Model Kapal*

Kebutuhan daya untuk menggerakkan dengan kecepatan v model merupakan fungsi dari nilai kecepatan dikalikan dengan hambatan. Perhitungan tersebut yang akan menjadi dasar untuk penentuan kebutuhan *Effective Horse Power*. Pada subbab ini dilakukan perhitungan kebutuhan daya pada model kapal dengan skala sebenarnya

$$W_m = R_{tm} \times V \dots \dots \dots (IV-14)$$

Di mana

$$W_m = \text{Effective Horse Power ( Watt )}$$

$$R_t = \text{Nilai hambatan ( Newton )}$$

$$V = \text{Kecepatan model ( m/s )}$$

Tabel IV.10 EHP Model Kapal

Kode kecepatan	Fr	V model	EHP-A	EHP-B	EHP-C	EHP-D	EHP-E	EHP-F
		(m/s)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)
1	0,15	3,09	1,508	1,548	1,088	1,061	1,256	1,652
2	0,19	4,12	2,643	3,822	2,591	2,550	2,044	3,323
3	0,24	5,14	4,759	4,699	4,457	4,449	3,855	4,580
4	0,29	6,17	11,863	10,897	9,820	9,557	8,214	12,853
5	0,34	7,20	20,628	23,662	20,519	20,351	18,398	24,215

#### IV.2.5. Penambahan Daya Akibat Kompresor pada Model kapal

Kompresor fluida tentu membutuhkan daya untuk memenuhi kebutuhannya. Daya merupakan nilai perbandingan energi yang dilepas dibagi satuan waktu. Kebutuhan daya kompresor untuk gelembung udara pada kapal dirumuskan sebelumnya pada Bab II.2.8 sebagai

$$W_{\text{kompresor}} = Q_a(\rho g d + C_p \times \frac{1}{2} \rho V^2) \dots\dots\dots(IV-15)$$

- Qa = debit injeksi (m<sup>3</sup>/s)
- ρ = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- d = sarat (m)
- Cp = Koefisien tekanan titik injeksi
- V = Kecepatan kapal (m/s)

Nilai dari semua variabel persamaan diatas sudah tersedia sebelumnya, terkecuali nilai Cp (*Coefficient Pressure*). *Coefficient Pressure* merupakan koefisien hambatan tekanan. Pada sebuah objek yang bergerak di fluida, akan terbentuk tekanan yang berbeda di setiap titik permukaan objek tersebut. Perbandingan antara tekanan di satu titik dengan tekanan yang terjadi pada *mainflow* ialah yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan merupakan fungsi dari bentuk profil benda yang bergerak dalam fluida dan kecepatannya. Dikarenakan lokasi injeksi gelembung berada pada tiga daerah yang berbeda maka sesungguhnya untuk dapat mendapatkan nilai dengan tepat, diperlukan pengujian eksperimen *wind tunnel* atau analisa numerik. Walaupun begitu pada penelitian ini akan digunakan rumus pendekatan untuk mengetahui harga Koefisien tekanan Cp.

$$C_p = \frac{P - P_s}{\frac{1}{2} \rho v^2} \dots\dots\dots(IV-16)$$

Dengan

$P$  = tekanan dinamik pada titik injeksi (Pa)

$P_s$  = tekanan dinamik pada aliran ( Pa )

Maka

$$C_p = 1 - \left( \frac{v^2}{v_s^2} \right) \dots\dots\dots( IV-17)$$

Dimana

$V$  = Kecepatan titik lokal injeksi (m/s)

$V_s$  = Kecepatan aliran (m/s)

Apabila diasumsikan pada boundary layer terjadi *no slip condition*, maka pada permukaan lambung kapal tempat diletakan injektor kecepatan akan bernilai sama dengan 0 sehingga didapatkan nilai  $C_p$  ialah 1. Harga  $C_p$  tersebut lalu dengan mudah dapat disubstitusikan terhadap persamaan kebutuhan daya kompressor pada persamaan , didapatkan

Tabel IV.11 Kebutuhan Daya Pompa pada Model

Rekapitulasi Kebutuhan Daya Pompa pada Model					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	0,2941	0,6853	1,0279	1,3706	1,7132
2	0,3209	0,6853	1,0279	1,3706	1,7132
3	0,3554	0,6853	1,0279	1,3706	1,7132
4	0,3975	0,6853	1,0279	1,3706	1,7132
5	0,4473	0,6853	1,0279	1,3706	1,7132

Tabel diatas memperlihatkan kecenderungan kebutuhan daya kompressor bergerak semakin tinggi pada kolom kiri ke kanan dan baris atas ke bawah. Hal tersebut menandakan apabila kebutuhan daya pompa akan semakin meningkat apabila nilai injeksi dan kecepatan semakin tinggi.

#### IV.2.6. Nilai Efisiensi Daya pada Model

Dari percobaan skala laboratorium dapat diketahui bahwa penggunaan gelembung udara untuk mereduksi hambatan dapat terjadi. Tetapi perlu diperhatikan bahwa penggunaan gelembung udara tersebut juga menambah daya yang dibutuhkan. Kapal baru dianggap lebih efisien apabila hasil perhitungan antara kebutuhan daya kapal dengan *microbubble* dijumlahkan dengan kebutuhan kompressor masih lebih kecil nilainya terhadap nilai kebutuhan daya kapal tanpa *microbubble*. *W net* dinotasikan sebagai penggunaan daya bersih secara total untuk dapat menggerakkan model kapal pada kecepatan servisnya

$$W_{net} = R_{tU} + W_{pompa} \dots\dots\dots( IV-18 )$$

$$W_{net} = EHP \text{ Model} + W \text{ pompa} \dots\dots\dots( IV-19 )$$

Menggunakan harga EHP model dan W pompa yang telah tersedia maka didapatkan W net sebagai berikut

Tabel IV.12 W net model

W Net Model					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	1,8423	1,7730	2,0890	2,6265	3,3653
2	4,1424	3,2762	3,5776	3,4149	5,0357
3	5,0541	5,1427	5,4773	5,2256	6,2931
4	11,2948	10,5050	10,5844	9,5842	14,5660
5	24,1092	21,2044	21,3793	19,7690	25,9286

Untuk dapat melihat rasio efisiensi daya yang terjadi masing masing W net dibandingkan dengan daya pada pengujian kapal kosong.

$$rW = \frac{W_{net}}{W_{ou}} \dots\dots\dots( IV-20)$$

Rw dapat ditampilkan dalam variabel persen untuk dapat memudahkan analisis , seperti ditampilkan pada tabel berikut

Tabel IV.13 Rasio Efisiensi Daya rW pada Model

Rasio EfrW					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	102,65%	72,11%	70,35%	83,27%	109,53%
2	144,57%	98,01%	96,45%	77,34%	125,69%
3	98,73%	93,66%	93,49%	81,00%	96,23%
4	91,86%	82,77%	80,56%	69,24%	108,34%
5	114,71%	99,47%	98,66%	89,19%	117,39%

Tingkat efisiensi yang bisa dicapai merupakan selisih 100 % dengan harga masing masing rW. Titik titik dimana rW bernilai diatas 100% menjelaskan bahwa justru injeksi gelembung udara tidaklah efisien. Apabila dibandingkan nilai persentase efisiensi daya dengan efisiensi hambatan yang terjadi , maka dapat terlihat bahwa terjadi penurunan persentase pada tahap ini. Jika sebelumnya, dapat dicapai tingkat reduksi maksimum sebesar 33,49 % persen di set pengujian E4 , maka untuk efisiensi daya hanya didapat nilai maksimum sebesar 30,76 % .Walau begitu nila rata-rata dari efisiensi pada keseluruhan variasi pengujian justru meningkat

dibandingkan nilai rata-rata pengurangan reduksi hambatan. Rata-rata rasio efisiensi berharga di nilai 95,81 % atau terjadi pengurangan kebutuhan daya sebesar 4,19 %.

**IV.3. Hasil dan Analisa Kapal Skala Sebenarnya**

Setelah sebelumnya telah disampaikan analisis hambatan dan daya pada kapal model maka lebih lanjut pada subbab ini dilakukan perhitungan hambatan dan kebutuhan daya pada kapal dengan skala sebenarnya.

**IV.3.1. Hambatan Total Kapal dan Harga Pengurangan Hambatan**

Nilai hambatan selanjutnya yang dihitung merupakan hambatan kapal total skala sebenarnya dengan menggunakan metode *model-ship correlation line* dari ITTC 1957. Dimana menurut Harvald :

$$C_{ts} = C_{fs} + C_{aa} + C_{app} + C_{rm} \dots\dots\dots( IV-21 )$$

Nilai  $C_r$  akan bernilai sama baik pada kapal asli maupun kapal model sehingga tidak perlu dilakukan faktor konversi skala. Lebih lanjut diakrenakan tidak ada bentuk tonjolan *appendages* maka kapal  $C_{app}$  bernilai sama dengan nol. Selanjutnya dapat dihitung nilai  $C_f$  Kapal. Harga  $C_f$  Kapal memiliki kesamaan rumus dengan koefisien gesek  $C_f$  model dan merupakan fungsi dari bilangan Reynolds.

$$C_{fs} = \frac{0,075}{(\text{Log Res}-2)^2} \dots\dots\dots( IV-22 )$$

Dengan mengalikan nilai  $C_{fs}$  terhadap perbandingan  $C_{fm}$  injeksi (B,C,D,E,F) dan  $C_{fm}$  tanpa injeksi (A) dapat diketahui nilai masing masing  $C_f$  pada kecepatan yang menjadi acuan skala sebagai berikut

Tabel IV.14  $C_{fs}$  Kapal

CfsKapal							
V kapal	Re kapal	Cfs A	Cfs B	Cfs C	Cfs D	Cfs E	Cfs F
6 knot	159678985	0,00195	0,00206	0,00082	0,00075	0,00127	0,00233
8 knot	212905313	0,00187	0,00323	0,00181	0,00177	0,00118	0,00265
10 Knot	266131641	0,00182	0,00178	0,00164	0,00163	0,00128	0,00171
12 knot	319357969	0,00177	0,00144	0,00106	0,00097	0,00050	0,00212
14 knot	372584298	0,00174	0,00241	0,00171	0,00168	0,00124	0,00253

$C_a$  merupakan nilai koreksi untuk kekasaran permukaan lambung kapal. Untuk kapal dengan panjang dibawah 100 meter , nilai  $C_a$  dapat diambil berdasarkan perhitungan (Watson, 1998)

$$Ca = 0,4 \times 10^{-3}, \geq L = 100 \text{ m} \dots\dots\dots( IV-23)$$

$$Ca = -0,3 \times 10^{-3}, < 300 \text{ m} \dots\dots\dots( IV-24)$$

Dimana

L = LPP dari kapal

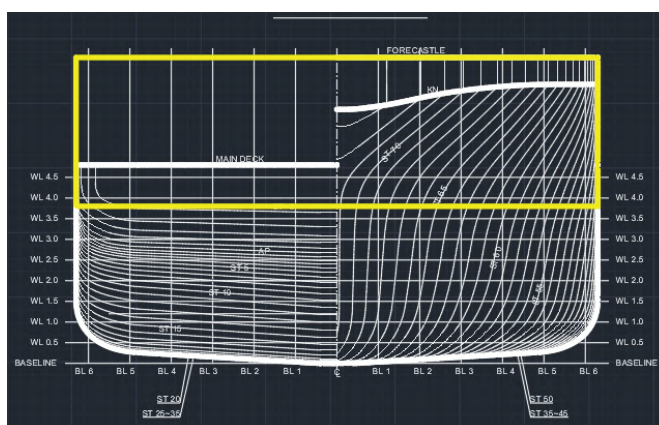
LPP dari kapal berada dibawah 100 meter maka dapat ditarik aproksimasi nilai Ca sebesar 0,0004. Sisa komponen terakhir pada kapal ialah hambatan angin (Caa). Nilai tersebut dapat diaproksimasi menggunakan pendekatan berikut (Watson, 1998) :

$$Caa = 0,001 \times \frac{At}{S} \dots\dots\dots( IV-25)$$

Di mana

At = Luas proyeksi frontal diatas permukaan air (m<sup>2</sup>)

S = Luas permukaan basah (m<sup>2</sup>)



Gambar IV.15 Proyeksi Depan Profil Terluar dari Bodyplan Kapal

Luas proyeksi frontal depan merupakan luasan proyeksi dari potongan *section* paling luar yang terterpa dengan udara. Pada **Gambar IV.15** dapat dilihat bahwa garis yang berwarna kuning menandai garis terluar dari profil yang terkena udara. Sisi bawah garis tersebut merupakan sarat dari kapal, dengan begitu luasan persegi panjang kuning ialah luas proyeksi dari frontal area

$$At = B \times (H - T) \dots\dots\dots( IV-26)$$

$$At = 12 \text{ m} \times (7,4 \text{ m} - 3,8 \text{ m}) \dots\dots\dots( IV-27)$$

$$At = 12\text{m} \times (3,6 \text{ m}) \dots\dots\dots( IV-28)$$

$$At = 43,2 \text{ m}^2 \dots\dots\dots( IV-29)$$

Maka, dengan mensubstitusikan nilai bersama dengan nilai luas permukaan basah yang telah diketahui dari tabel hidrostatis sebelumnya diperoleh



$$C_{aa} = 0,001 \times \frac{43,2}{719} \dots\dots\dots(IV-30)$$

$$C_{aa} = 6,00834 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(IV-31)$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai Cts kapal sesungguhnya, dengan menambahkan semua variabel kedalam perhitungan sehingga

Tabel IV.15 Cts Kapal dengan Penambahan Koreksi Allowance

Cts Kapal dengan koreksi allowance						
V kapal	Cts A	Cts B	Cts C	Cts D	Cts E	Cts F
6 knot	0,00697	0,00714	0,00591	0,00584	0,00636	0,00742
8 knot	0,00481	0,00623	0,00481	0,00476	0,00418	0,00565
10 Knot	0,00442	0,00444	0,00430	0,00429	0,00394	0,00437
12 knot	0,00721	0,00693	0,00656	0,00646	0,00600	0,00762
14 knot	0,00812	0,00885	0,00816	0,00812	0,00769	0,00898

Dengan mensubstitusikan nilai Cts, pada formulasi berikut

$$Cts = \frac{Rts}{(\frac{1}{2} P_v 2) WSA} \dots\dots\dots(IV-32)$$

Rts = hambatan total kapal (Newton)

V = kecepatan model (m/s)

Wsa = luas permukaan basah kapal (m<sup>2</sup>)

Tabel IV.16 Nilai hambatan kapal pada skala sebenarnya

Nilai hambatan Rts ( Newton)						
V kapal	Rts A	Rts B	Rts C	Rts D	Rts E	Rts F
6 knot	7931,22	8120,94	6721,02	6640,10	7232,44	8436,53
8 knot	7297,36	9441,83	7296,96	7225,07	6344,40	8572,10
10 Knot	8372,20	8417,69	8144,67	8135,63	7463,06	8283,25
12 knot	16401,90	15770,93	14914,52	14705,37	13638,12	17325,05
14 knot	21552,58	23500,12	21647,96	21549,11	20398,15	23826,33

Maka diperoleh nilai hambatan total kapal, perlu diingat bahwa hambatan ini hanya merupakan hambatan yang terjadi pada kapal tanpa *appendages*. Nilai Hambatan total kapal Rts Selanjutnya bisa digunakan sebagai variabel dalam penentuan harga daya efektif kapal.

### IV.3.2. Daya Efektif *Bare Hull* pada Kapal Skala Sebenarnya

Daya Efektif merupakan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal ( dalam kasus ini menggerakkan *bare hull*) di kecepatan tertentu. Daya efektif merupakan hasil perkalian dari nilai hambatan pada kapal dengan kecepatan kapal tersebut,

$$W_s = Rts \times V \dots\dots\dots(IV-33)$$

Di mana

$$W_s = \text{Effective Horse Power (Watt)}$$

$R_t$  = Nilai hambatan (Newton)

$V$  = Kecepatan kapal (m/s)

Nilai daya efektif (EHP) ditampilkan pada tabel berikut

Tabel IV.17 Harga EHP

Nilai Daya efektif EHP						
V kapal	EHP-A	EHP-B	EHP-C	EHP-D	EHP-E	EHP-F
	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)	(watt)
6 knot	24481	25066	20745	20496	22324	26041
8 knot	30032	38858	30031	29735	26111	35279
10 Knot	43070	43304	41899	41853	38393	42612
12 knot	101254	97358	92072	90780	84192	106952
14 knot	155225	169252	155912	155200	146911	171601

#### IV.3.3. Penambahan Daya Akibat Kompresor pada Kapal Sebenarnya

Perhitungan penambahan daya akibat kompresor pada kapal dikalkulasi dengan metode serupa dengan perhitungan penambahan daya akibat kompresor pada kapal model. Debit pada model dan kapal akan memiliki kesebandingan dengan volume *boundary layer* masing masing. Didapatkan nilai skala perbandingan sebesar 1064,44 kali lipat pada kapal sebenarnya. Sebagai contoh apabila jika pada model diinjeksikan nilai 1 Liter per menit maka pada kapal skala sesungguhnya dibutuhkan injeksi sebesar 1064,44 Liter per menit. Harga koefisien tekanan  $C_p$  kapal tidak akan berbeda dengan koefisien tekanan  $C_p$  model, hal ini disebabkan perbandingan luas antara *frontal* area dan permukaan basah akan bernilai sama maka dengan demikian apabila dilakukan proses substitusi nilai koefisien tekanan  $C_p$  yang telah diketahui, maka didapatkan kebutuhan pompa sebesar

Tabel IV.18. Rekapitulasi Kebutuhan Daya Pompa pada Kapal

Rekapitulasi kebutuhan daya pompa pada kapal					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	1147,9508	2295,9016	3443,8523	13775,4093	68877,0467
2	1820,2213	3640,4426	5460,6639	21842,6555	109213,2773
3	2684,5691	5369,1382	8053,7073	32214,8291	161074,1453
4	3740,9942	7481,9884	11222,9825	44891,9301	224459,6506
5	4989,4966	9978,9931	14968,4897	59873,9586	299369,7932

#### IV.3.4. Nilai Efisiensi Daya pada Kapal

$W_{net}$  pada kapal diformulasikan serupa dengan  $W_{net}$  pada kapal model. Menggunakan harga EHP kapal dan  $W_{pompa}$  yang telah dihitung sebelumnya, maka didapatkan

Tabel IV.19 W net pada Kapal

W net kapal					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	26214	23041	23939	36099	94918
2	40678	33671	35196	47953	144492
3	45989	47269	49907	70608	203687
4	101099	99554	102003	129084	331412
5	174241	165891	170169	206785	470971

Rasio efisiensi daya didapatkan dari perbandingan titik titik percobaan pada perhitungan Wnet kapal dengan EHP kapal

Tabel IV.20 Rasio Efisiensi Daya rW pada Kapal Sesungguhnya

rW					
(Watt)					
Kode	B	C	D	E	F
1	102,39%	84,74%	83,72%	91,19%	106,37%
2	129,39%	99,99%	99,01%	86,94%	117,47%
3	100,54%	97,28%	97,17%	89,14%	98,94%
4	96,15%	90,93%	89,66%	83,15%	105,63%
5	109,04%	100,44%	99,98%	94,64%	110,55%

Dari tabel diatas dapat kita amati bahwa secara umum efisiensi dari penggunaan gelembung udara berkurang pada kapal sebenarnya jika dibandingkan terhadap efisiensi pada kapal model. Pengurangan maksimum masih terjadi pada skema E4, di mana dicapai efisiensi daya hingga 18,3 %. Dari 25 titik percobaan gelembung udara gagal memenuhi tugasnya pada 9 titik. Kegagalan ini bertambah 2 titik jika dibandingkan dengan pada skala model. Walaupun begitu secara keseluruhan didapat nilai rata-rata efisiensi sebesar 2,51 %.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Terjadi penurunan hambatan maksimum hingga 33,49% (set E4) dengan penambahan hambatan maksimum terjadi hingga 44,57% (set B2). Penambahan hambatan pada model hanya terjadi pada 7 set pengujian dari 30 set pengujian. Penambahan daya hanya terjadi pada injeksi debit paling rendah dan paling tinggi. Dapat disimpulkan jika semakin besar debit injeksi tidak memiliki korelasi langsung terhadap penurunan hambatan yang terjadi. Secara keseluruhan, 30 set pengujian memiliki nilai pengurangan hambatan rata rata sebanyak 3,96% .
2. Nilai debit yang paling efektif secara perbandingan rata-rata data ialah pada nilai 40 Liter/menit pada model kapal atau bernilai 406.992 Liter/menit pada kapal sesungguhnya.
3. Perhitungan menunjukkan bahwa daya tambahan rata-rata dengan dipasangnya kompressor masih lebih rendah dibandingkan dengan pengurangan daya. Ini berarti terjadi penurunan kebutuhan daya kapal. Pada kapal model didapat pengurangan nilai efisiensi maksimum sebesar 31,8 % dengan rataan penurunan 4,2 %. Nilai tersebut berkurang cukup drastis pada konversi ke skala kapal sesungguhnya dengan nilai rata-rata hanya 18,3 % dengan rataan pengurangan sebesar 1,42%. Walaupun secara persentase nilai efisiensi daya tersebut begitu kecil, tetapi untuk kasus dimana daya yang dibutuhkan sangat besar seperti pada Kapal *full-scaled* maka nilai tersebut menjadi nilai yang cukup signifikan.

#### **V.2. Saran**

Pengujian lebih lanjut mengenai reduksi nilai hambatan kapal menggunakan metode gelembung udara diharapkan akan bermanfaat untuk pengembangan kapal yang lebih efisien di kemudian hari. Terdapat banyak variabel bebas yang dapat diubah menjadi variasi pembeda setiap eksperimen untuk mendapatkan nilai hambatan yang paling optimum. Metode generasi

yang berbeda seperti menggunakan tabung venturi atau elektrolisis menarik untuk dikaji lebih lanjut mengingat lebih mudahnya desain tersebut untuk diaplikasikan pada kapal sebenarnya.

Khusus untuk metode generasi menggunakan pelat *array holes*, penulis berharap bahwa pengujian lain yang memvariasikan dimensi dimensi partikular dari *array holes* dapat berpengaruh besar terhadap nilai hambatan. Variasi variasi yang hendaknya dilakukan diantaranya

1. Nilai diameter yang berbeda untuk lubang berbentuk lingkaran
2. Bentuk lubang bukan lingkaran, misal : oval
3. Posisi peletakan lebih beragam dengan objektif menambah luas permukaan kapal yang tertutupi gelembung

Variasi-variasi tersebut juga dapat dilakukan pada model kapal lain yang memiliki karakteristik berbeda seperti pada kapal *planning craft* atau lambung ganda. Disamping itu, kajian *seakeeping* seperti gerak *heave* dan *pitch* yang terjadi karena adanya gelombang akibat generasi gelembung juga hendaknya dikaji.

Penulis berharap bahwa menaikkan spesifikasi alat dan komponen yang digunakan tentu saja akan menambah anggaran eksperimen tetapi berimplikasi pada lebih komprehensifnya penelitian yang dicanangkan. Pengadaan kompressor dengan kemampuan menyalurkan debit lebih tinggi untuk mendapatkan rentang atas *injection ratio* dan penggunaan *flowmeter* turbin atau ultrasonik yang memiliki tingkat error lebih rendah dipandang sebagai langkah yang baik. Selain itu, peningkatan piranti laboratorium dimana *strip-chart* mampu diakuisisi menggunakan *data logger* yang terkomputasi secara digital dirasa akan menghasilkan perkiraan nilai hambatan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadzadehtalatapeh, M., & Mousavi, M. (2015). A Review on the Drag Reduction Methods of the Ship Hulls for Improving the Hydrodynamic Performance. *International Journal of Maritime Technology*, 4, 51-64.
- Ali Doğrul, Y. A. (2010). A numerical investigation of air lubrication effect on ship resistance. Istanbul: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SHIP DRAG REDUCTION (SMOOTH-Ships).
- Alkhalidi, A. A., & Amano, R. S. (2011). Factor Affecting Bubble Creation And Bubble Size. Denver, Colorado, USA: ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition.
- Baital, M. S., & Utama, I. K. (2017). CFD Analysis into the Drag Estimation of Smooth and Roughened Surface Due to Marine Biofouling. *The Journal for Technology and Science*, 90-97.
- Ceccio, S. L. (2009). Friction Drag Reduction of External Flows with Bubble and Gas Injection. *Annual Review of Fluid Mechanics*.
- Cengel, Y. A. (2006). *Fluid Mechanics*. New York: McGraw Hill Higher Education.
- Froude, W. (1872). Experiments on the surface-friction experienced by a plane moving. *42nd Report of the British Association for the Advancement of Science*.
- Hakim, M. L., Utama, I. K., Nugroho, B., Yusim, A. K., Baitha, M., & Suastika, I. K. (2017). Review Of Correlation Between Marine Fouling And Fuel Consumption On a Ship. *SENTA : 17th Conference on Marine Technology*. Surabaya.
- Hashim, A., Yakob, O., KOH, K., Ismail, N., & Ahmed, Y. M. (2015). Review of Micro-bubble Ship Resistance Reduction Methods and the Mechanisms that Affect the Skin Friction on Drag Reduction from 1999 to 2015. *Jurnal Teknologi*.
- International Maritime Organization. (2015). Third IMO GHG Study 2014. *Marine Environment Protection*.
- ITTC. (2011). ITTC Recommended Procedures and Guidelines : Ship Model. *International Towing Tank Conference*, (pp. 1-7).
- ITTC. (2011). ITTC-Recommended Procedures and Guidelines : Fresh Water and Seawater Properties. *International Towing Tank Conference*, (pp. 1-45).
- ITTC. (2011). ITTC-Recommended Procedures and Guidelines : Resistance Test. *International Towing Tank Conference*, (pp. 1-13).
- ITTC. (2014). ITTC Recommended Procedures : Example for Uncertainty Analysis of Resistance Tests in Towing Tank. *International Towing Tank Conference*, (pp. 1-11).
- Jones, S., F. Evans, G. M., & Galvin, K. P. (1999). Bubble Nucleation from Gas Cavity. *Advances in Colloid and Interface Science*, 80:.
- Kato, H. (1996). Skin Friction Reduction by Microbubble and its relation with near-wall bubble concentration in channel. *Journal of Marine Science and Technology*.
- Kawamura, T., Fujiwara, A., Takahashi, T., Kato, H., Matsumoto, Y., & Kodama, Y. (n.d.). National Maritime Institute.
- Kodama, Y., & Kakugawa, A. (n.d.). Drag Reduction of Ships by Microbubbles.
- Kodama, Y., Kakugawa, A., Takahashi, T., & Kawashima, H. (2000). Experimental study on microbubbles and their applicability to ships. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 21 , 582-588.

- Latorre, D. R. (1995). Ship Hull Drag Reduction Using Bottom Air. *Ocean Engng*, 24, 161-175.
- Merkle, C. L., & Deutsch, S. (1990). Friction Drag Reduction In Liquid.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion*. New York: Cambridge University Press.
- Murai, Y., Fukuda, H., Oishi, Y., Kodama, Y., & Yamamoto, F. (2007). Skin friction reduction by large air bubbles in a horizontal channel flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 147-163.
- Nakayama, Y., & Boucher, R. (2000). *Introduction to Fluids Mechanic*. Woburn: Butterwort - Heinemann.
- National Research Council Office of Naval Research. (2002). 24th Symposium on Naval Hydrodynamics. *Naval Hydrodynamics*. Fukuoka: Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University.
- Sayyaadi, H., & Nematollahi, M. (2013). Determination of optimum injection flow rate to achieve maximum micro bubble drag reduction in ships; an experimental approach. *Scientia Iranica*, 535-541.
- Thomas, I., Krisnan, R. G., S, S. T., & Mohan, V. M. (2016). Mechanisms and Factors Affecting Microbubble Drag Reduction in Ship. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 97-102.
- Tsai, J.-F., & Chen, C.-C. (2011). Boundary Layer Mixture Model for a Microbubble Drag Reduction Technique. *International Scholarly Research Network* .
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design*. Oxford: Elsevier.

## **LAMPIRAN**

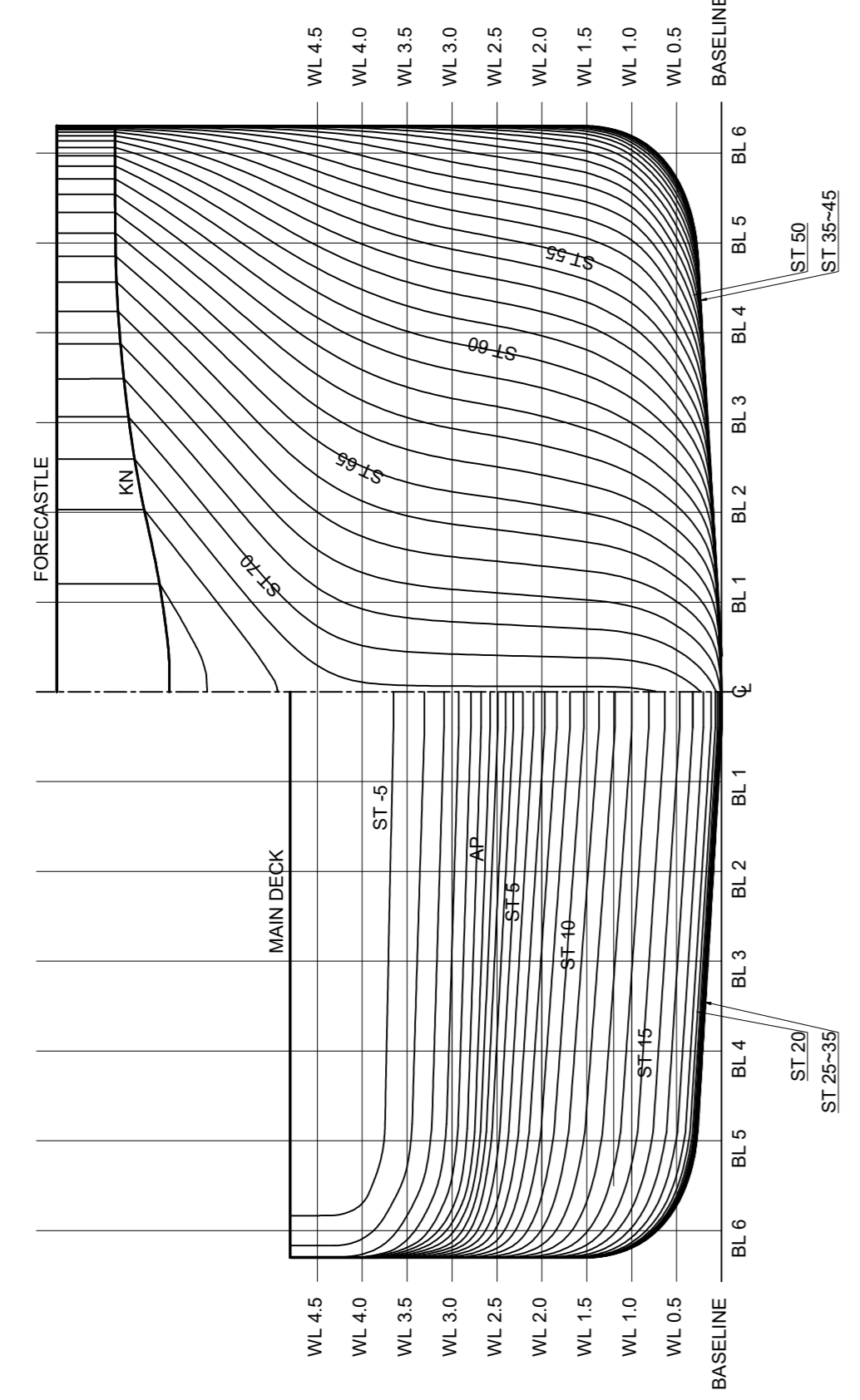
- Lampiran A Linesplan
- Lampiran B Tabel Hidrostatik
- Lampiran C Desain Rangkaian dan Desain Injektor
- Lampiran D Akuisisi Data dan Perhitungan
- Lampiran E Dokumentasi



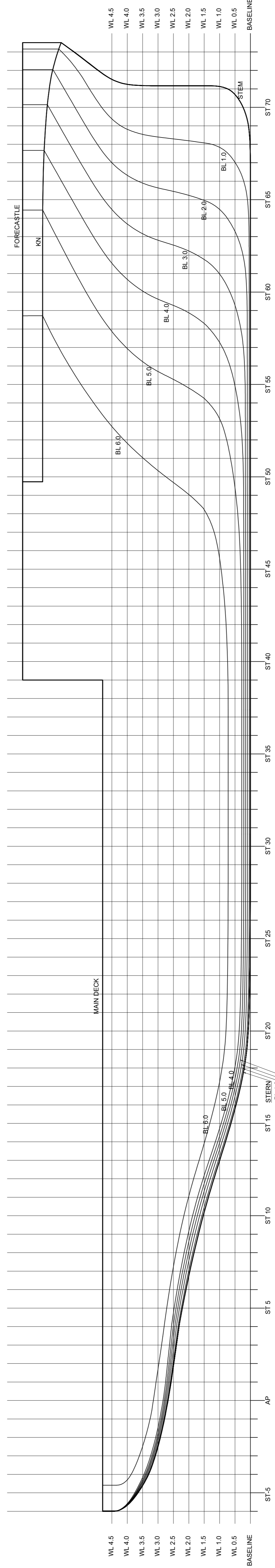
**LAMPIRAN A**  
**LINESPLAN**

NO.	REVISION	DATE	SIGN	CHECK
13				
14				
15				
16				

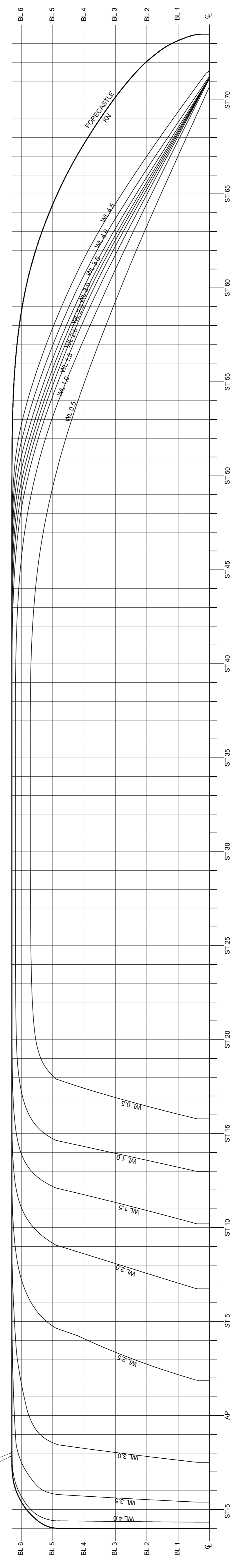
### BODY PLAN



### SHEER PLAN



### HALF BREADTH PLAN



### PRINCIPAL DIMENSIONS

LENGTH HULL abt. 47.70 m  
 BEAM 12.60 m  
 DEPTH 4.80 m



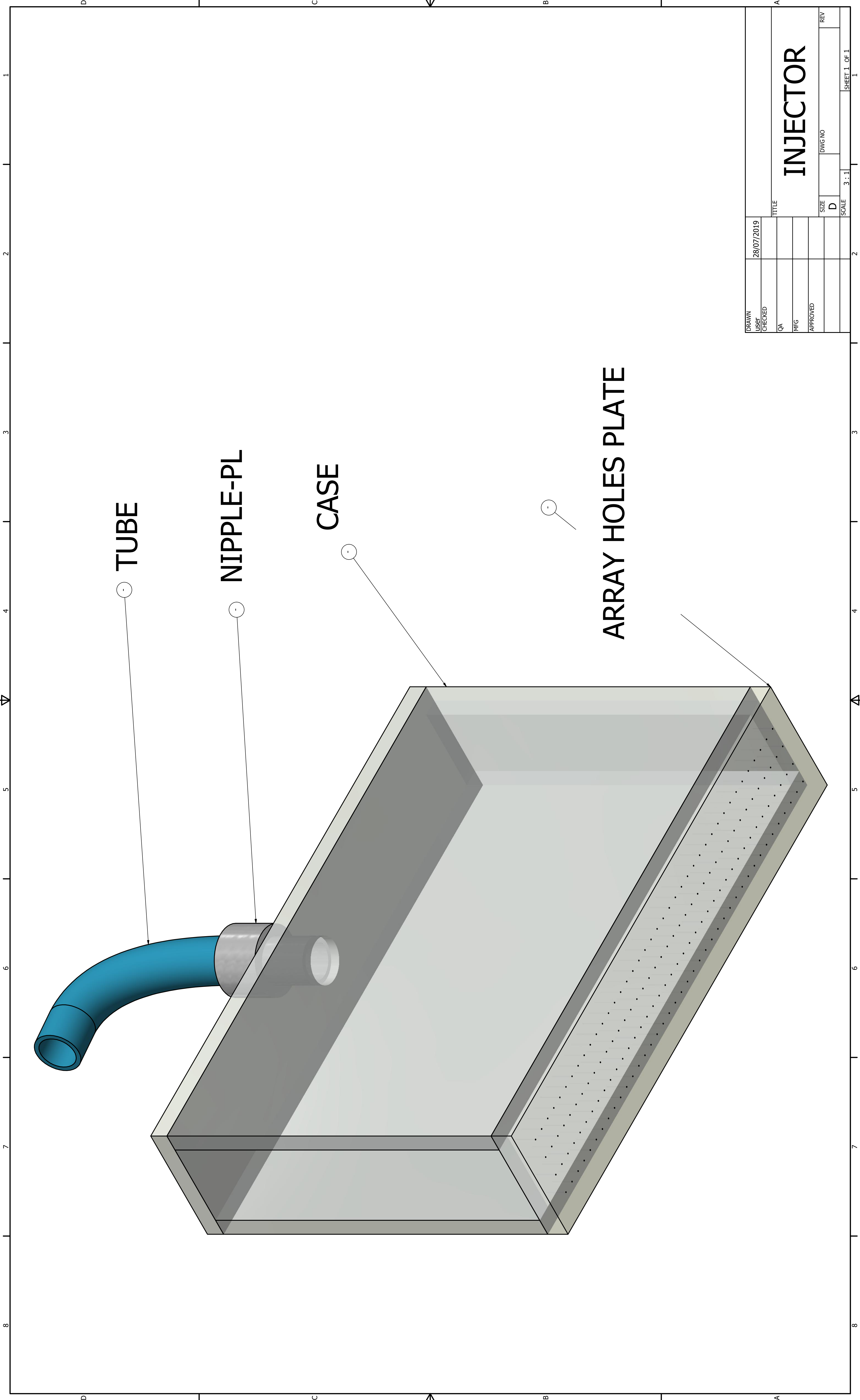
PROJECT NAME  
 OFFSHORE SUPPORT VESSEL 48M

OWNER	PT. PELAYARAN NASIONAL EKALYA PURNAMASARI		
TITLE	LINES PLAN		
CLASSIFICATION	BKI	HULL NO.	S 140
DRAWN BY	CHECKED	SCALE	DRAWING NUMBER
AFN	GRT	1:70	
			E-10-001
			R-0

**LAMPIRAN B**  
**TABEL HIDROSTATIK**

Draft Amid	Disp	Wetted Area	Waterpl. Area	Cp	Cb	Cm	Cwp	LCB	LCF	KB	BMt	BML	KMlt	KML	TPc	MTc
0,1	6,467	106,836	106,591	0,849	0,506	0,597	0,856	26,201	25,707	0,062	21,251	994,482	21,313	994,544	1,093	1,5
0,2	21,61	137,667	186,963	0,817	0,452	0,563	0,802	25,403	24,588	0,127	34,584	516,61	34,711	516,737	1,916	2,596
0,3	44,13	247,232	245,818	0,778	0,439	0,565	0,752	24,776	23,809	0,191	40,217	329,188	40,408	329,379	2,52	3,364
0,4	70,71	272,884	270,17	0,758	0,483	0,638	0,757	24,339	23,479	0,251	31,998	235,978	32,249	236,229	2,769	3,849
0,5	99,4	293,847	289,457	0,749	0,515	0,688	0,769	24,047	23,16	0,308	26,359	189,563	26,667	189,872	2,967	4,332
0,6	129,7	306,39	299,855	0,745	0,538	0,723	0,765	23,83	23,148	0,365	22,493	152,354	22,857	152,719	3,074	4,524
0,7	161	320,159	311,102	0,741	0,555	0,749	0,769	23,694	23,022	0,42	19,531	130,945	19,951	131,365	3,189	4,811
0,8	193,5	334,633	322,658	0,738	0,569	0,77	0,778	23,556	22,827	0,476	17,354	117,118	17,829	117,593	3,307	5,158
0,9	227,2	349,929	334,712	0,738	0,581	0,788	0,79	23,432	22,57	0,531	15,772	107,863	16,303	108,394	3,431	5,565
1	261,7	357,031	338,01	0,737	0,591	0,802	0,783	23,332	22,639	0,586	14,278	94,405	14,864	94,991	3,465	5,589
1,1	296,7	368,023	344,806	0,736	0,6	0,815	0,786	23,233	22,522	0,641	13,012	86,8	13,653	87,441	3,534	5,812
1,2	332,5	380,118	352,277	0,735	0,608	0,827	0,792	23,145	22,346	0,696	11,965	81,407	12,66	82,103	3,611	6,097
1,3	369,1	394,426	361,58	0,734	0,615	0,838	0,802	23,053	22,075	0,751	11,144	78,259	11,895	79,01	3,706	6,5
1,4	406,2	401,618	363,368	0,733	0,621	0,847	0,797	22,963	22,094	0,805	10,363	71,587	11,168	72,393	3,725	6,526
1,5	443,8	412,217	368,189	0,731	0,626	0,857	0,799	22,884	21,97	0,86	9,641	67,737	10,501	68,597	3,774	6,734
1,6	481,9	424,162	272,989	0,729	0,631	0,866	0,803	22,802	21,788	0,914	9,018	65,083	9,933	65,998	3,833	7,019
1,7	520,7	436,044	379,666	0,727	0,635	0,874	0,807	22,714	21,609	0,969	8,533	62,719	9,503	63,689	3,892	7,303
1,8	559,9	447,25	384,504	0,724	0,638	0,881	0,808	22,631	21,46	1,024	8,052	60,367	9,076	61,391	3,941	7,551
1,9	599,7	459,34	390,067	0,721	0,64	0,887	0,81	22,545	21,278	1,079	7,631	58,644	8,71	59,723	3,998	7,854
2	640,1	472,434	396,659	0,718	0,641	0,893	0,814	22,455	21,054	1,134	7,295	57,549	8,429	58,683	4,066	8,227
2,1	681,1	484,971	402,537	0,715	0,641	0,898	0,816	22,363	20,856	1,189	6,973	56,328	8,162	57,517	4,126	8,568
2,2	722,8	498,623	409,429	0,711	0,642	0,902	0,82	22,266	20,615	1,244	6,693	55,67	7,938	56,915	4,197	8,991
2,3	765,2	512,703	416,649	0,707	0,641	0,907	0,823	22,167	20,361	1,3	6,455	55,217	7,755	56,517	4,271	9,447
2,4	808,4	527,688	424,67	0,701	0,638	0,91	0,825	22,061	20,07	1,356	6,232	55,177	7,588	56,533	4,353	9,984
2,5	852,5	543,835	433,747	0,695	0,635	0,914	0,828	21,948	19,738	1,413	6,051	55,562	7,463	56,974	4,446	10,616
2,6	897,5	560,939	443,667	0,69	0,633	0,917	0,833	21,828	19,371	1,47	5,896	56,275	7,366	57,745	4,548	11,338
2,7	943,5	578,079	453,496	0,686	0,632	0,92	0,84	21,698	19,009	1,527	5,759	56,955	7,287	58,482	4,648	12,082
2,8	990,4	594,56	462,577	0,684	0,632	0,923	0,847	21,563	18,679	1,585	5,625	57,37	7,21	58,956	4,741	12,793
2,9	1038	609,677	470,147	0,684	0,633	0,926	0,852	21,423	18,41	1,644	5,483	57,28	7,127	58,924	4,819	13,404
3	1087	623,207	475,992	0,684	0,635	0,928	0,855	21,283	18,212	1,702	5,324	56,646	7,026	58,348	4,879	13,884
3,1	1136	639,089	484,08	0,685	0,637	0,931	0,863	21,144	17,924	1,76	5,193	56,858	6,953	58,618	4,962	14,584
3,2	1186	649,895	486,994	0,686	0,64	0,933	0,862	21,01	17,848	1,818	5,021	5,365	6,839	57,183	4,992	14,823
3,3	1236	663,093	493,236	0,688	0,643	0,935	0,868	20,877	17,64	1,877	4,897	55,064	6,774	56,94	5,056	15,38
3,4	1286	674,186	495,29	0,69	0,647	0,937	0,868	20,751	17,603	1,935	4,734	53,486	6,668	55,42	5,077	15,551
3,5	1337	687,022	500,054	0,693	0,651	0,939	0,873	20,629	17,462	1,992	4,615	52,849	6,607	54,842	5,126	15,987
3,6	1389	696,798	501,699	0,696	0,655	0,94	0,873	20,512	17,448	2,05	4,467	51,647	6,517	53,388	5,142	16,127
3,7	1440	709,164	505,911	0,699	0,658	0,942	0,877	20,4	17,336	2,107	4,355	50,676	6,462	52,783	5,186	16,522
3,8	1492	719,002	507,541	0,702	0,662	0,943	0,877	20,294	17,331	2,164	4,224	49,333	6,389	51,497	5,202	16,669
3,9	1544	730,336	510,725	0,705	0,666	0,945	0,88	20,192	17,268	2,221	4,116	48,508	6,337	50,73	5,235	16,974
4	1597	740,539	512,671	0,708	0,67	0,948	0,882	20,096	17,26	2,278	4,002	47,407	6,281	49,685	5,255	17,16
4,1	1650	751,554	515,289	0,711	0,674	0,948	0,884	20,004	17,231	2,335	3,897	46,555	6,232	48,89	5,282	17,42
4,2	1703	762,027	517,165	0,714	0,677	0,949	0,886	19,918	17,238	2,391	3,793	45,567	6,184	47,959	5,301	17,607
4,3	1756	771,849	518,69	0,717	0,681	0,95	0,887	19,838	17,266	2,447	3,691	44,554	6,138	47,001	5,317	17,762
4,4	1809	782,238	520,169	0,72	0,685	0,951	0,889	19,762	17,304	2,503	3,594	43,588	6,098	46,091	5,332	17,916
4,5	1862	791,564	521,592	0,723	0,689	0,952	0,89	19,693	17,352	2,559	3,502	42,665	6,061	45,224	5,346	18,066

**LAMPIRAN C**  
**DESAIN RANGKAIAN DAN DESAIN INJEKTOR**



TUBE

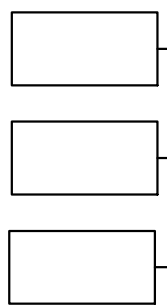
NIPPLE-PL

CASE

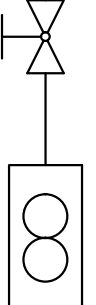
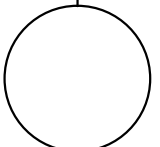
ARRAY HOLES PLATE

DRAWN	28/07/2019	TITLE	
USER		INJECTOR	
CHECKED		SIZE	DWG NO
QA		D	
MFG		SCALE	3 : 1
APPROVED		SHEET 1 OF 1	

3 Pcs - INJEKTOR Ø0.2 mm



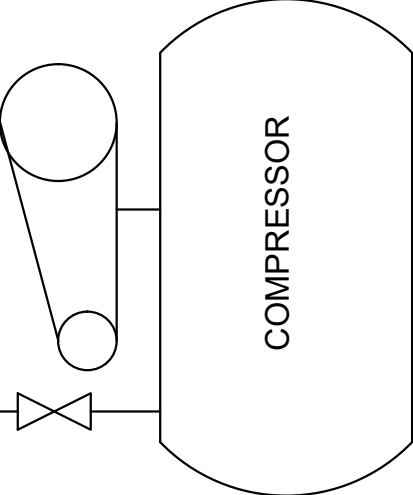
PORT DISTRIBUTOR



FLOWMETER 100 LPM

POLYURETHANE TUBE 10 x 8 mm

POLYURETHANE TUBE 10 x 8 mm



COMPRESSOR

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
 SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

**OSV MICROBUBBLE AGISNI**  
**DIAGRAM UDARA**

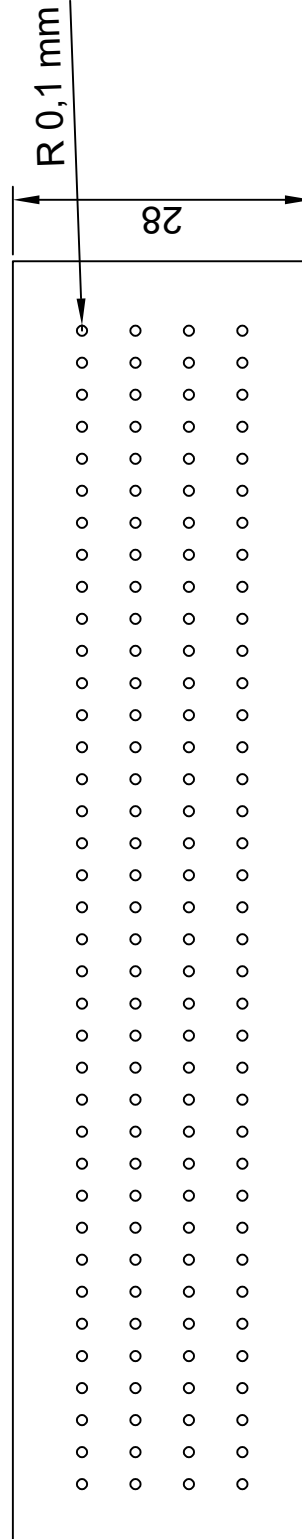
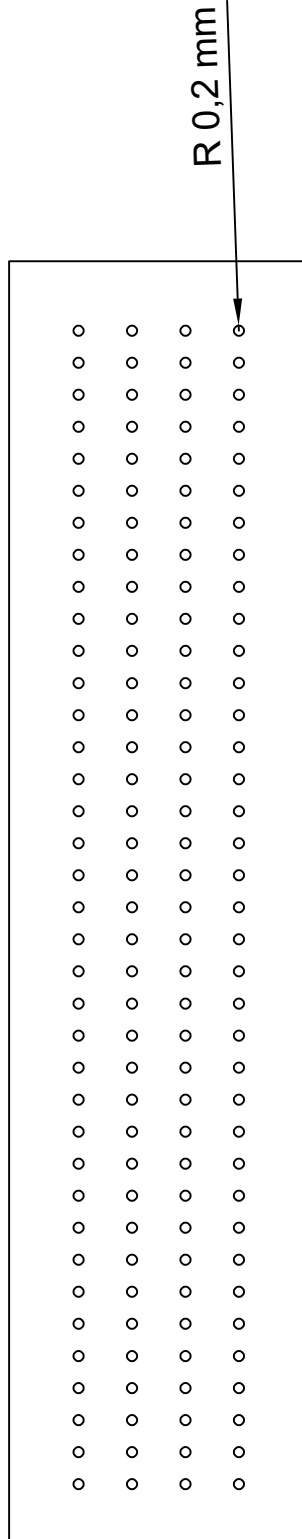
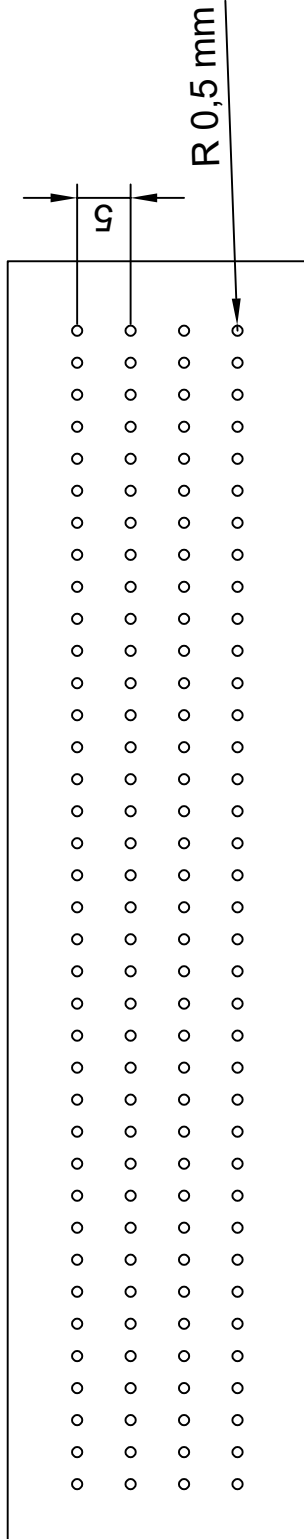
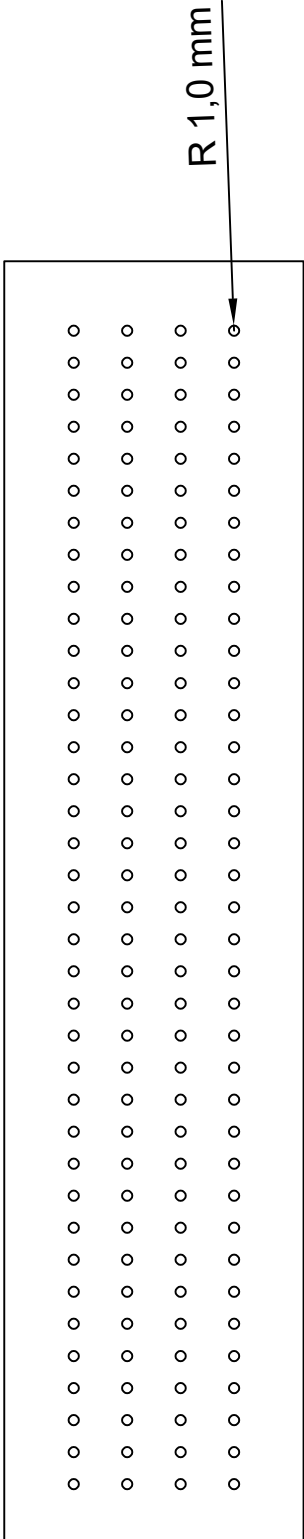
SCALE	1:200	SIGNATURE	REMARKS
DRAWN		Wizara Achya Mananika	4115100081
APPROVED		Prof. Ir. Helmi Agus Prita Utama, M.Sc., Ph.D.	As



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

### ARRAY HOLES PLATE

SCALE	1 : 1	SIGNATURE	DATE	REMARKS
DRAWN		Wizara Almas Mahardika		4115100081
APPROVE		Prof. Ir. I Ketut Awa Prita Utama, M.Sc., Ph.D		A4



128

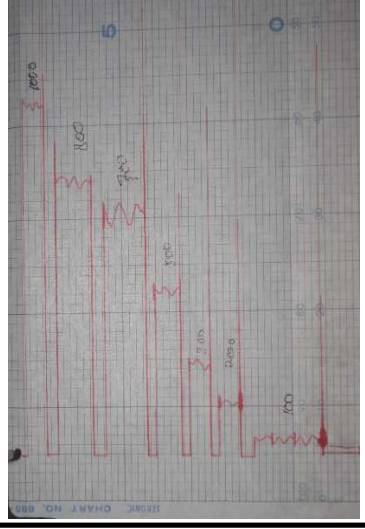


**LAMPIRAN D**  
**PERHITUNGAN**

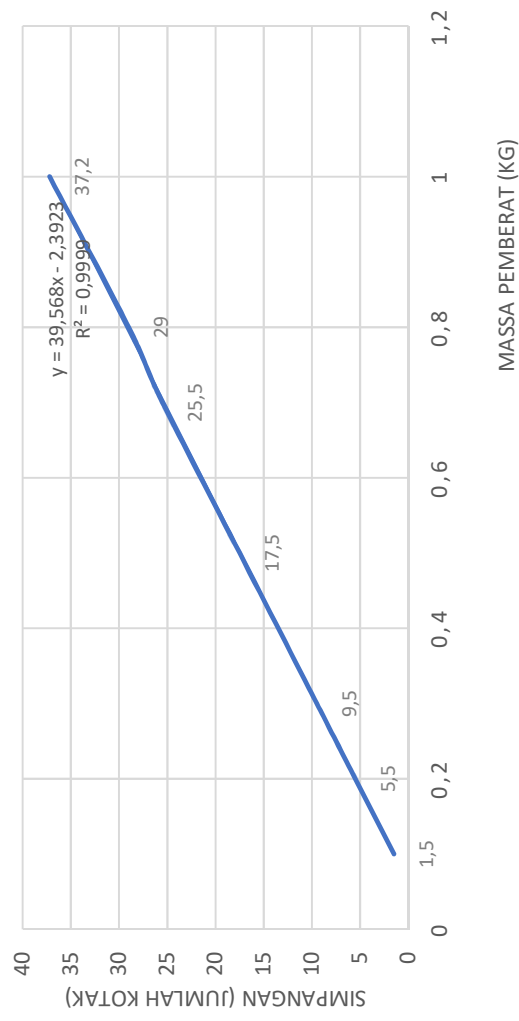
Korelasi Faktor Skala					
Input perhitungan					
1 knot	0,51444	m/s			
$\nu$ freshwater	8,5388E-07	m <sup>2</sup> /s	27°C- ITTC Fresh Water properties	7.5-02-01-03	
$\nu$ seawater	8,8726E-07	m <sup>2</sup> /s	27 °C ITTC Sea water properties	7.5-02-01-03	
$\rho$ freshwater	996,5158	kg/m <sup>3</sup>	27°C- ITTC Fresh Water properties	7.5-02-01-03	
$\rho$ seawater	1022,7626	kg/m <sup>3</sup>	27°C- ITTC Fresh Water properties	7.5-02-01-03	
g	9,81	m/s <sup>2</sup>			
L Kapal	45,9	m			
L Model	1,9245283	m			
Hubungan antara model dan kapal sesungguhnya ditunjukkan dengan bilangan Re dan Fr					
<b>Reynolds</b>					
$R_{nM} = R_{nS}$ $\frac{V_M L_M}{\nu_M} = \frac{V_S L_S}{\nu_S}$ $V_M = V_S \lambda$					
<b>Froude</b>					
$F_{nM} = F_{nS}$ $\frac{V_M}{\sqrt{g L_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{g L_S}}$ $V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}}$					
V kapal (knot)	V kapal (m/s)	Fr model = Fr kapal	V model	Re model	Re kapal
6	3,08664	0,15	0,644309649	1452185,5	159678984,7
8	4,11552	0,19	0,859079531	1936247,33	212905313
10	5,1444	0,24	1,073849414	2420309,17	266131641,2
12	6,17328	0,29	1,288619297	2904371	319357969,5
14	7,20216	0,34	1,50338918	3388432,83	372584297,7

## KALIBRASI LOADCELL

massa pemberat (kg)	simpangan
0,1	1,5
0,2	5,5
0,3	9,5
0,5	17,5
0,7	25,5
0,8	29
1	37,2



### GRAFIK HARGA MASSA DAN SIMPANGAN



BOUNDARY LAYER MODEL		
UKURAN UTAMA KAPAL		V model
Loa	2,00	V1 0,64431 m/s
Lwl	1,92	V2 0,85908 m/s
B	0,50	V3 1,073849 m/s
T	0,16	V4 1,288619 m/s
H	0,20	V5 1,503389 m/s
displacement	0,11	
WSA	719,00	
v	8,5388E-07	
$Q_w = 0.293 \times L^{\frac{4}{3}} \times \left( \frac{v}{V} \right)^{\frac{1}{3}} \times w \times V.$		
$Q_{wv} = 0.293 \times L^{0.8} \times v^{0.2} \times V^{0.8} \times w.$		
1,2,3,4,5 pada Qw merujuk pada kecepatan V1,V2,V3,V4,V5		
Volume Boundary Layer model		
Qw-1	0,010704712	m3/s 642,28274 LPM
Qw-2	0,013474914	m3/s 808,4948181 LPM
Qw-3	0,016108459	m3/s 966,5075504 LPM
Qw-4	0,018637987	m3/s 1118,279202 LPM
Qw-5	0,021084166	m3/s 1265,049967 LPM

BOUNDARY LAYER KAPAL		
<b>UKURAN UTAMA KAPAL</b>		
Loa	47,70 m	
Lwl	45,90 m	
B	12,00 m	
T	3,80 m	
H	4,80 m	
displacement	1492,00 m	
WSA	719,00 m	
v	8,8726E-07 m2/s	
<b>V kapal</b>		
V1	3,08664 m/s	
V2	4,11552 m/s	
V3	5,1444 m/s	
V4	6,17328 m/s	
V5	7,20216 m/s	
$Q_w = 0.293 \times L^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{v}{V}\right)^{\frac{1}{3}} \times w \times V.$		
$Q_{wv} = 0.293 \times L^{0.8} \times v^{0.2} \times V^{0.8} \times w.$		
1,2,3,4,5 pada Qw merujuk pada kecepatan V1,V2,V3,V4,V5		
<b>Volume Boundary Layer kapal</b>		
Qw-1	11,39457101 m3/s	683674,2608 LPM
Qw-2	14,34329625 m3/s	860597,7752 LPM
Qw-3	17,14655903 m3/s	1028793,542 LPM
Qw-4	19,83910043 m3/s	1190346,026 LPM
Qw-5	22,44292239 m3/s	1346575,343 LPM

**SKALA INJEKSI**

$$\alpha = \frac{Q_a}{Q_{wp}}$$

Injection ratio  $\alpha$  sama pada pada kapal dan model

**Qa kapal      "=Qa model x Qw kapal/Qw model"**

Qa model	
kode	B 10 LPM
kode	C 20 LPM
kode	D 30 LPM
kode	E 40 LPM
kode	F 50 LPM

Qa kapal	
kode	B 10644,44 LPM
kode	C 21288,89 LPM
kode	D 31933,33 LPM
kode	E 42577,78 LPM
kode	F 53222,22 LPM

Volume Boundary Layer model	
Qw-1	0,010705 m3/s 642,283 LPM
Qw-2	0,013475 m3/s 808,495 LPM
Qw-3	0,016108 m3/s 966,508 LPM
Qw-4	0,018638 m3/s 1118,28 LPM
Qw-5	0,021084 m3/s 1265,05 LPM

Volume Boundary Layer kapal	
Qw-1	11,39457 m3/s 683674,3 LPM
Qw-2	14,3433 m3/s 860597,8 LPM
Qw-3	17,14656 m3/s 1028794 LPM
Qw-4	19,8391 m3/s 1190346 LPM
Qw-5	22,44292 m3/s 1346575 LPM

kode	SKALA TITIK PERCOBAAN SAMA DI SETIAP TITIK				
	V1	V2	V3	V4	V5
B	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44
C	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44
D	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44
E	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44
F	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44	1064,44

## VARIASI PENGUJIAN

DEBIT INJEKSI 0 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	A1	0	1,6	0,64	6	1	D1	30	1,6	0,64	6
2	A2	0	2,1	0,84	8	2	D2	30	2,1	0,84	8
3	A3	0	2,6	1,04	10	3	D3	30	2,6	1,04	10
4	A4	0	3,2	1,28	12	4	D4	30	3,2	1,28	12
5	A5	0	3,7	1,48	14	5	D5	30	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 10 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	B1	10	1,6	0,64	6	1	E1	40	1,6	0,64	6
2	B2	10	2,1	0,84	8	2	E2	40	2,1	0,84	8
3	B3	10	2,6	1,04	10	3	E3	40	2,6	1,04	10
4	B4	10	3,2	1,28	12	4	E4	40	3,2	1,28	12
5	B5	10	3,7	1,48	14	5	E5	40	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 20 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	C1	20	1,6	0,64	6	1	F1	50	1,6	0,64	6
2	C2	20	2,1	0,84	8	2	F2	50	2,1	0,84	8
3	C3	20	2,6	1,04	10	3	F3	50	2,6	1,04	10
4	C4	20	3,2	1,28	12	4	F4	50	3,2	1,28	12
5	C5	20	3,7	1,48	14	5	F5	50	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 30 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	D1	30	1,6	0,64	6	1	E1	40	1,6	0,64	6
2	D2	30	2,1	0,84	8	2	E2	40	2,1	0,84	8
3	D3	30	2,6	1,04	10	3	E3	40	2,6	1,04	10
4	D4	30	3,2	1,28	12	4	E4	40	3,2	1,28	12
5	D5	30	3,7	1,48	14	5	E5	40	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 40 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	E1	40	1,6	0,64	6	1	F1	50	1,6	0,64	6
2	E2	40	2,1	0,84	8	2	F2	50	2,1	0,84	8
3	E3	40	2,6	1,04	10	3	F3	50	2,6	1,04	10
4	E4	40	3,2	1,28	12	4	F4	50	3,2	1,28	12
5	E5	40	3,7	1,48	14	5	F5	50	3,7	1,48	14

DEBIT INJEKSI 50 LPM											
No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)	No	Kode	debit injeksi	Voltase (V)	V kereta	V kapal asli(knot)
1	F1	50	1,6	0,64	6	1	E1	40	1,6	0,64	6
2	F2	50	2,1	0,84	8	2	E2	40	2,1	0,84	8
3	F3	50	2,6	1,04	10	3	E3	40	2,6	1,04	10
4	F4	50	3,2	1,28	12	4	E4	40	3,2	1,28	12
5	F5	50	3,7	1,48	14	5	E5	40	3,7	1,48	14

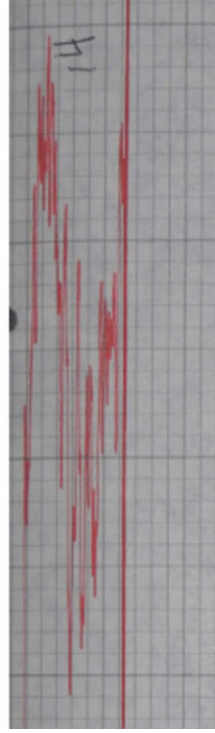
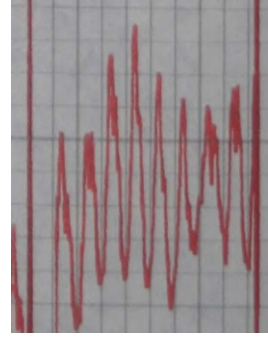
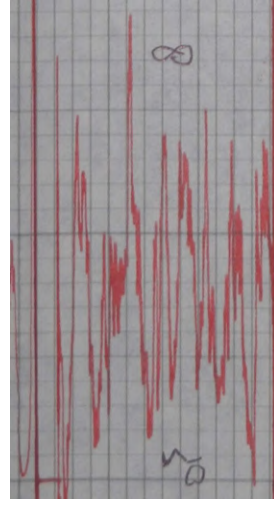
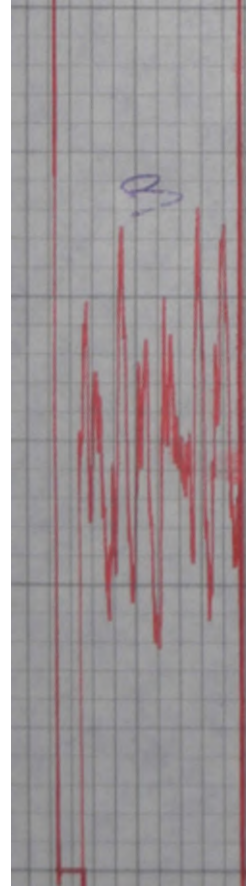
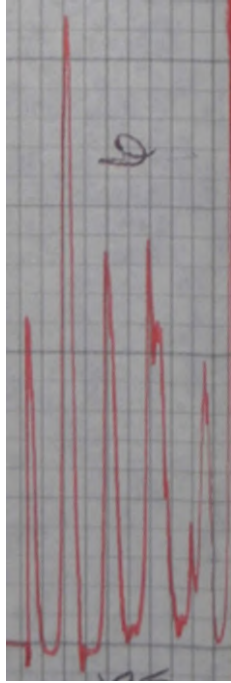
## RUN PENGUJIAN VARIASI A

Kalibrasi	0,5 V
nilai per kotak	$y = 39,568x - 2,3923$

$$y = 39,568x - 2,3923$$

Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	Kotak kalibrasi	Wt (kg)	Rt (N)
A1	0,5	7,05	7,05	0,238634755	2,34100695
A2	0,5	10,01875	10,01875	0,313663819	3,077042067
A3	0,5	15,48333333	15,48333333	0,451769949	4,431863198
A4	2	8,685	34,74	0,938442681	9,2061227
A5	0,5	52,95	52,95	1,398663061	13,72088463

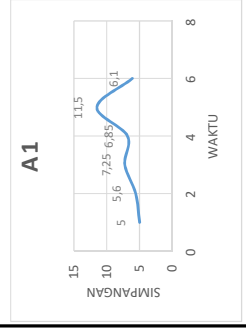
## HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN A



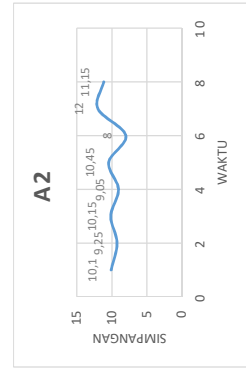


## RATAAN SIMPANGAN PENGUJIAN A

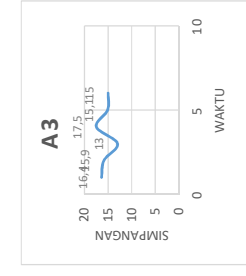
Valid		Kotak A1	
puncak	lembah	lembah	mean
0,2	9,8	5	5
0,2	11	5,6	5,6
0,5	14	7,25	7,25
0,5	13,2	6,85	6,85
2	21	11,5	11,5
0,2	12	6,1	6,1



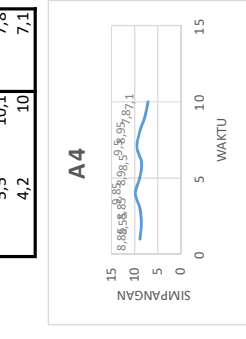
valid		Kotak A2	
puncak	lembah	lembah	mean
8	12,2	10,1	10,1
7,5	11	9,25	9,25
6,5	13,8	10,15	10,15
4,9	13,2	9,05	9,05
1,2	19	10,45	10,45
9,5	14,8	8	8
9,1	14,5	12	12
	13,2	11,15	11,15



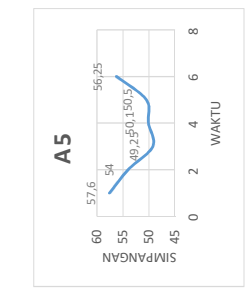
Valid		Kotak A3	
puncak	lembah	lembah	mean
10,5	22,3	16,4	16,4
8,8	23	15,9	15,9
10,8	15,2	13	13
15	20	17,5	17,5
8	22,2	15,1	15,1
10,2	19,8	15	15



valid		Kotak A4	
puncak	lembah	lembah	mean
6,1	11,6	8,85	8,85
6,1	11	8,55	8,55
6,5	11,2	8,85	8,85
8,7	11	9,85	9,85
6,6	11,2	8,9	8,9
5	12	8,5	8,5
5,5	13,5	9,5	9,5
5,7	12,2	8,95	8,95
5,5	10,1	7,8	7,8
4,2	10	7,1	7,1



Valid		Kotak A5	
puncak	lembah	lembah	mean
50	65,2	57,6	57,6
50	58	54	54
44,5	54	49,25	49,25
41,2	59	50,1	50,1
39	62	50,5	50,5
48,5	64	56,25	56,25

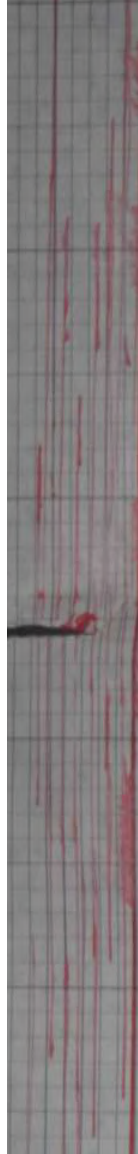
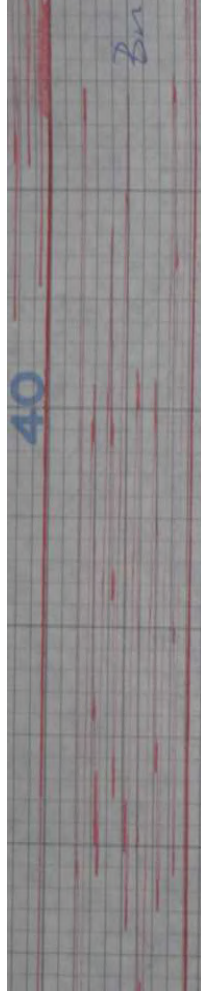
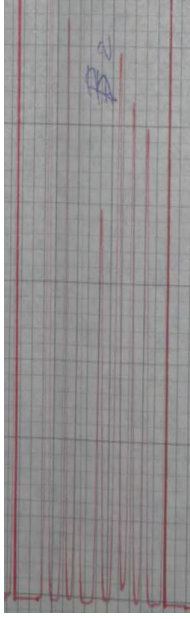


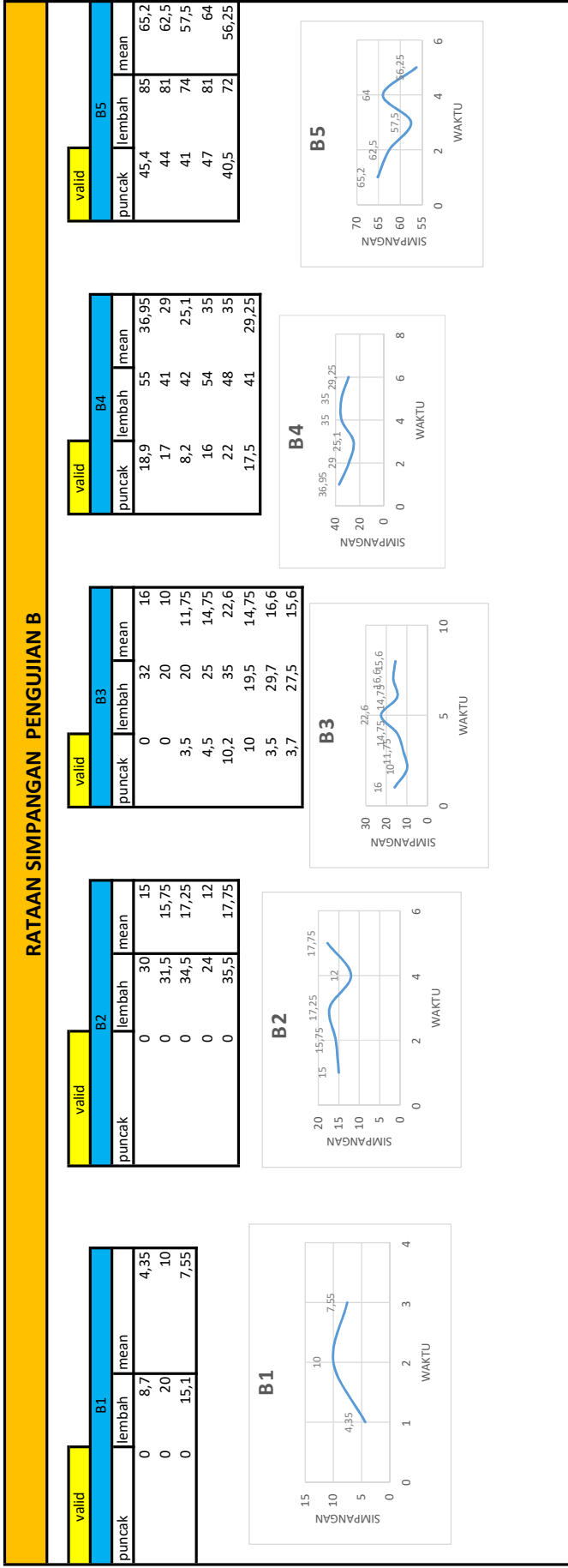
## RUN PENGUJIAN VARIASI B

Kalibrasi	0,5 V
$Y = 39,568x - 2,3923$	
nilai per kotak	x

Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	ptak kalibra	Wt (kg)	Rt (N)
B1	0,5	7,3	7,3	0,244952992	2,4029889
B2	0,5	15,55	15,55	0,453454812	4,4483917
B3	0,5	15,25625	15,25625	0,446030884	4,375563
B4	0,5	31,7166667	31,716667	0,862034135	8,4565549
B5	0,5	61,09	61,09	1,604384856	15,739015

## HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN B





### RUN PENGUJIAN VARIASI C

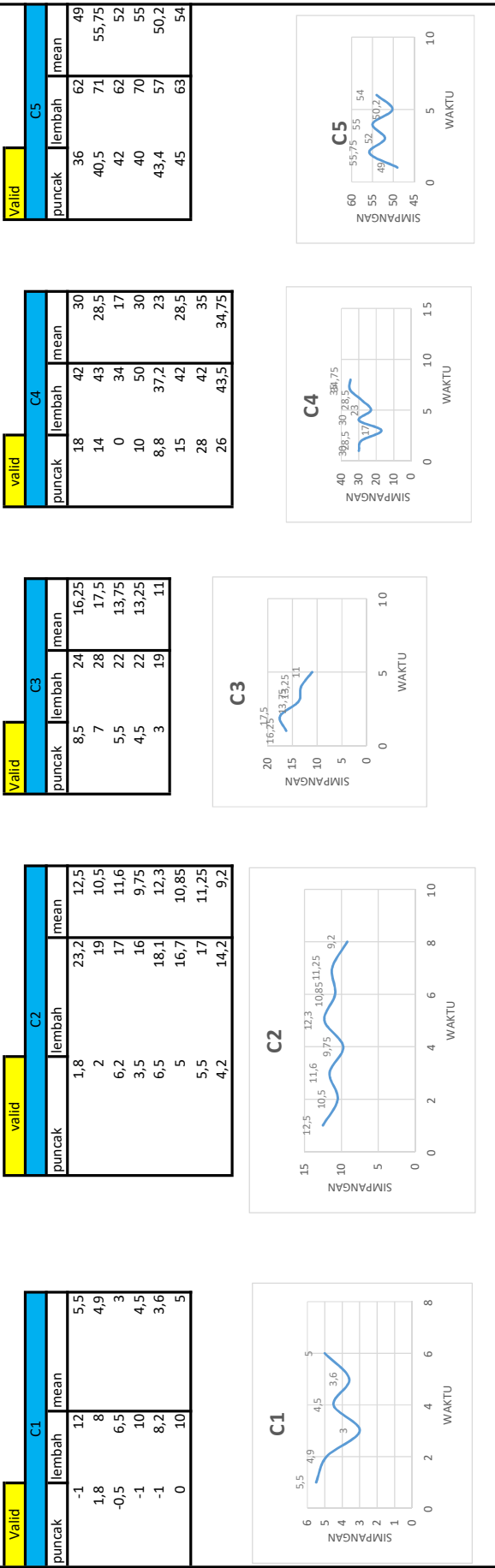
Kalibrasi	0,5 V
Y =	39,568x - 2,3923
nilai per kotak	x

Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	Kotak kalibrasi	Wt (kg)	Rt (N)
C1	0,5	4,416666667	4,416666667	0,172082659	1,688130889
C2	0,5	9,772222222	9,772222222	0,307433336	3,015921022
C3	0,5	14,35	14,35	0,423127275	4,150878563
C4	0,5	28,34375	28,34375	0,776790588	7,620315672
C5	0,5	52,65833333	52,65833333	1,391291785	13,64857241

### HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN C



### RATAAN SIMPANGAN PENGIJIAN C

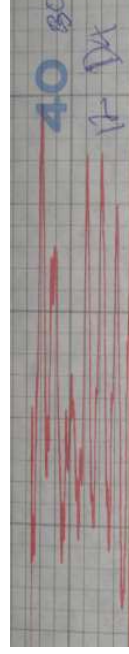
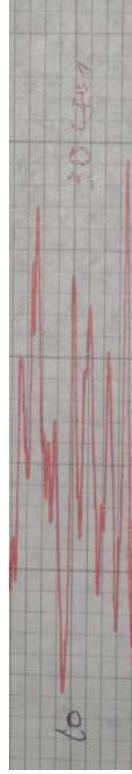
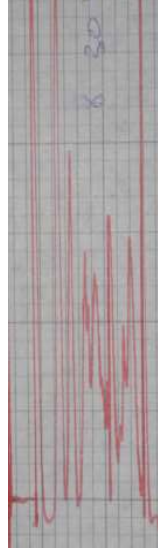
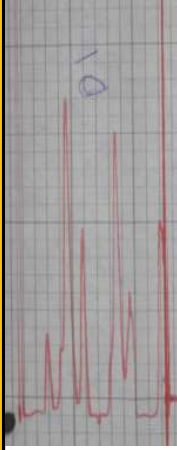


## RUN PENGUJIAN VARIASI D

Kalibrasi	0,5 V
	$y = 39,568x - 2,3923$
nilai per kotak	x

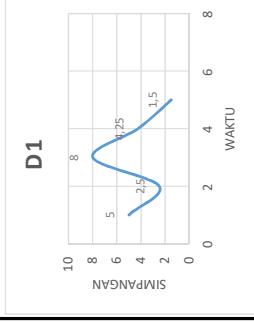
Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	Kotak kalibrasi	Wt (kg)	Rt (N)
D1	0,5	4,25	4,25	0,167870501	1,646809619
D2	0,5	9,578571429	9,578571429	0,302539209	2,967909642
D3	0,5	14,32	14,32	0,422369086	4,143440735
D4	0,5	27,52	27,52	0,755971998	7,416085296
D5	0,5	52,20833333	52,20833333	1,379918958	13,53700498

## HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN D

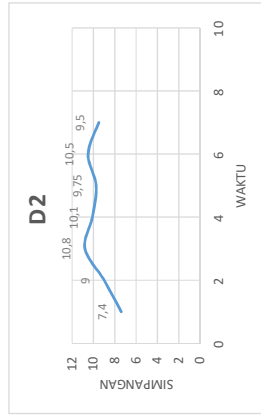


## RATAAN SIMPANGAN PENGUJIAN D

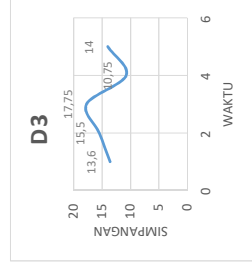
Valid		
D1		
puncak	lembah	mean
0	10	5
-1	6	2,5
1	15	8
-1	9,5	4,25
-1	4	1,5



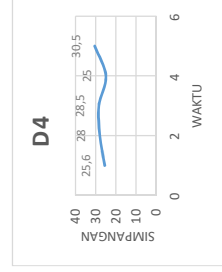
valid		
D2		
puncak	lembah	mean
0	14,8	7,4
2	16	9
4	17,6	10,8
6,2	14	10,1
0	19,5	9,75
0	21	10,5
-1	20	9,5



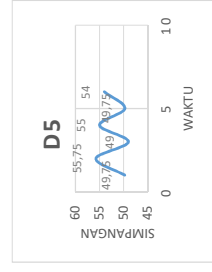
Valid		
D3		
puncak	lembah	mean
7	20,2	13,6
9	22	15,5
11,5	24	17,75
4,5	17	10,75
12	16	14



valid		
D4		
puncak	lembah	mean
16,2	35	25,6
19	37	28
20	37	28,5
17	33	25
22	39	30,5



Valid		
D5		
puncak	lembah	mean
37,5	62	49,75
40,5	71	55,75
37	61	49
40	70	55
44,5	55	49,75
45	63	54

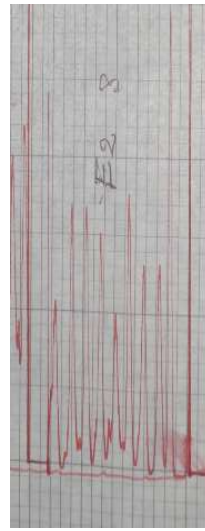


## RUN PENGUJIAN VARIASI E

Kalibrasi	0,5 V
	$y = 39,568x - 2,3923$
nilai per kotak	x

Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	Kotak kalibrasi	Wt (kg)	Rt (N)
E1	0,5	5,47	5,47	0,198703498	1,949281313
E2	0,5	7,20625	7,20625	0,242583653	2,37974564
E3	0,5	12,0875	12,0875	0,36594723	3,589942327
E4	0,5	23,3166667	23,3166667	0,649741374	6,373962874
E5	0,5	46,96875	46,96875	1,247499242	12,23796756

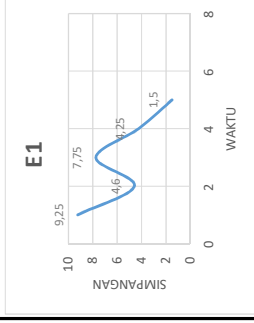
## HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN E



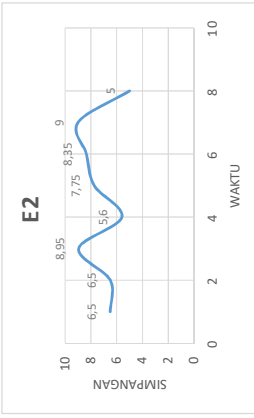


## RATAAN SIMPANGAN PENGUJIAN E

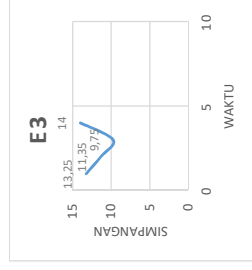
Valid		E1		mean	
puncak	lembah	puncak	lembah	puncak	lembah
0	18,5	0	9,25	9,25	4,6
0	9,2	0	15,5	7,75	4,25
-1	9,5	-1	4	1,5	



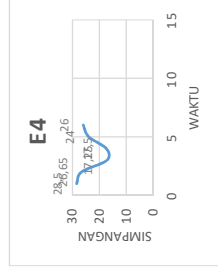
valid		E2		mean	
puncak	lembah	puncak	lembah	puncak	lembah
0	13	0	6,5	6,5	13,25
0	13	0,2	17,7	8,95	11,35
1,2	10	0,5	15	7,75	9,75
0	16,7	1	17	9	14
-0,5	10,5	-0,5	5	5,6	



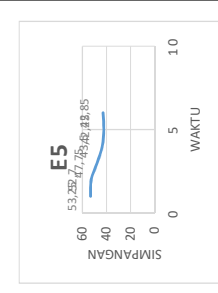
Valid		E3		mean	
puncak	lembah	puncak	lembah	puncak	lembah
6,5	20	7	15,7	11,35	13,25
2	17,5	5	23	14	11,35



valid		E4		mean	
puncak	lembah	puncak	lembah	puncak	lembah
20	37	22,1	31,2	26,65	28,5
11	23,5	12	31	17,5	26,65
17	31	21	31	26	17,5



Valid		E5		mean	
puncak	lembah	puncak	lembah	puncak	lembah
42,5	64	25,5	59	42,25	53,25
40,4	65	24,5	61,2	43,85	52,7
38,5	57	28	59,7	43,85	47,75
29	58	38	61,2	49,6	43,5

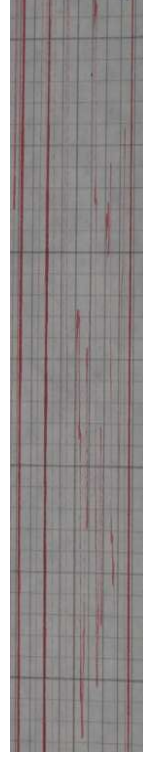
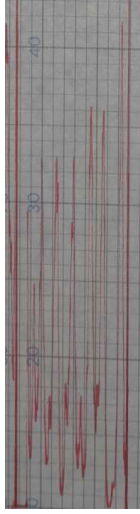


## RUN PENGUJIAN VARIASI F

Kalibrasi	0,5 V
	$y = 39,568x - 2,3923$
nilai per kotak	x

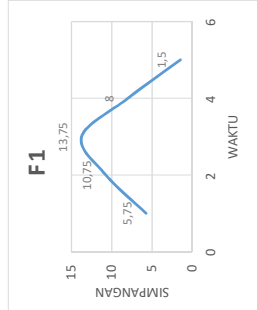
Pengujian	Voltase	Rata rata kotak	Kotak kalibrasi	Wt (kg)	Rt (N)
F1	0,5	7,95	7,95	0,261380408	2,564141807
F2	0,5	13,20714286	13,20714286	0,394243906	3,867532714
F3	0,5	14,81	14,81	0,434752831	4,264925268
F4	0,5	37,8375	37,8375	1,016725637	9,974078498
F5	0,5	62,575	62,575	1,641915184	16,10718795

## HASIL CHART RECORDER PENGUJIAN F

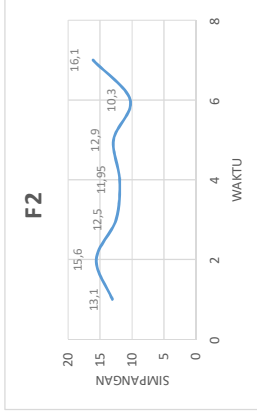


## RATAAN SIMPANGAN PENGUJIAN F

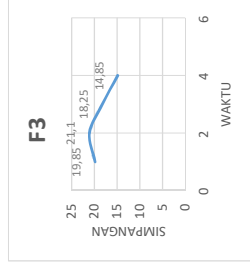
Valid		
F1		
puncak	lembah	mean
-1	12,5	5,75
-1	22,5	10,75
-1	28,5	13,75
-1	17	8
-1	4	1,5



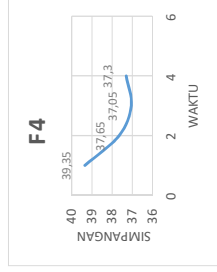
valid		
F2		
puncak	lembah	mean
0,2	26	13,1
5	26,2	15,6
2	23	12,5
1	22,9	11,95
3	22,8	12,9
5,8	14,8	10,3
3,2	29	16,1



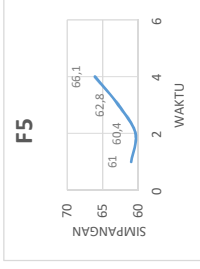
Valid		
F3		
puncak	lembah	mean
8,2	31,5	19,85
8,2	34	21,1
6,5	30	18,25
1,5	28,2	14,85



valid		
F4		
puncak	lembah	mean
34,5	44,2	39,35
29,8	45,5	37,65
27,1	47	37,05
32,8	41,8	37,3



Valid		
F5		
puncak	lembah	mean
49	73	61
44,8	76	60,4
47,8	77,8	62,8
57,2	75	66,1



**PERHITUNGAN HAMBATAN TOTAL MODEL KAPAL**

input variabel		
Loa	2	m
Lwl	1,924528302	m
B	0,503144654	m
T	0,15932914	m
H	0,201257862	m
displacement	0,106973195	ton
WSA	1,264014697	m <sup>2</sup>
viskositas	8,5388E-07	m <sup>2</sup> /s
Densitas	996,5158	kg/m <sup>3</sup>
	<i>27°C- ITTC Fresh Water properties</i>	
	<i>27°C- ITTC Fresh Water properties</i>	

**REKAPITULASI HAMBATAN UJI TARIK**

Kode kecepatan	Fr	V model (m/s)	v model (m/s)	R <sub>TM-A</sub> (N)	R <sub>TM-B</sub> (N)	R <sub>TM-C</sub> (N)	R <sub>TM-D</sub> (N)	R <sub>TM-E</sub> (N)	R <sub>TM-F</sub> (N)
1	0,15	3,09	0,64	2,34	2,40	1,69	1,65	1,95	2,56
2	0,19	4,12	0,86	3,08	4,45	3,02	2,97	2,38	3,87
3	0,24	5,14	1,07	4,43	4,38	4,15	4,14	3,59	4,26
4	0,29	6,17	1,29	9,21	8,46	7,62	7,42	6,37	9,97
5	0,34	7,20	1,50	13,72	15,74	13,65	13,54	12,24	16,11

Drag reduction (%) =  $R_{to} - R_t / R_{to}$

Fr	PERSENTASE PENGURANGAN HAMBATAN					
	B	C	D	E	F	F
0,15	-2,65%	27,89%	29,65%	16,30%	-9,53%	-9,53%
0,19	-44,57%	1,99%	3,55%	15,68%	-25,69%	-25,69%
0,24	1,27%	6,34%	6,51%	19,24%	3,77%	3,77%
0,29	8,14%	17,23%	19,44%	33,49%	-8,34%	-8,34%
0,34	-14,71%	0,53%	1,34%	9,42%	-17,39%	-17,39%

Drag reduction =  $R_t - R_{to}$

Fr	BESAR REDUKSI HAMBATAN (NEWTON)					
	B	C	D	E	F	F
0,15	-0,06198	0,65288	0,69420	0,39173	-0,22313	-0,22313
0,19	-1,37135	0,06112	0,10913	0,69730	-0,79049	-0,79049
0,24	0,05630	0,28098	0,28842	0,84192	0,16694	0,16694
0,29	0,74957	1,58581	1,79004	2,83216	-0,76796	-0,76796
0,34	-2,01813	0,07231	0,18388	1,48292	-2,38630	-2,38630

## PERHITUNGAN KOEFISIEN HAMBAT TOTAL MODEL KAPAL

input variabel		
Loa	2,000	m
Lwl	1,925	m
B	0,503	m
T	0,159	m
H	0,201	m
displacement	0,107	ton
WSA	1,264	m <sup>2</sup>
viskositas	0,000	m <sup>2</sup> /s
Densitas	996,516	kg/m <sup>3</sup>

27°C- ITTC Fresh Water properties
27°C- ITTC Fresh Water properties

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \rho_M V^2 S M} \quad \text{ITTC-1957}$$

### NILAI CTM MODEL KAPAL

Kode kecepatan	Fr	V model (m/s)	WSA model (m <sup>2</sup> )	C <sub>TM</sub> -A	C <sub>TM</sub> -B	C <sub>TM</sub> -C	C <sub>TM</sub> -D	C <sub>TM</sub> -E	C <sub>TM</sub> -F
1	0,15	3,09	1,2640	0,00895	0,00919	0,00646	0,00630	0,00746	0,00981
2	0,19	4,12	1,2640	0,00662	0,00957	0,00649	0,00639	0,00512	0,00832
3	0,24	5,14	1,2640	0,00610	0,00602	0,00572	0,00571	0,00494	0,00587
4	0,29	6,17	1,2640	0,00880	0,00809	0,00729	0,00709	0,00609	0,00954
5	0,34	7,20	1,2640	0,00964	0,01106	0,00959	0,00951	0,00860	0,01132

C<sub>to</sub>/C<sub>t</sub>

C <sub>t</sub> DENGAN GELEMBUNG/C <sub>t</sub> TANPA GELEMBUNG							
Fr	Re	C <sub>t</sub> B/C <sub>t</sub> A	C <sub>t</sub> C/C <sub>t</sub> A	C <sub>t</sub> D/C <sub>t</sub> A	C <sub>t</sub> E/C <sub>t</sub> A	C <sub>t</sub> F/C <sub>t</sub> A	C <sub>t</sub> /C <sub>t</sub> A AVG
0,15	1452185	1,02648	0,72111	0,72111	0,83267	1,09532	0,87934
0,19	1936247	1,44567	0,98014	0,98014	0,77339	1,25690	1,08725
0,24	2420309	0,98730	0,93660	0,93660	0,81003	0,96233	0,92657
0,29	2904371	0,91858	0,82774	0,82774	0,69236	1,08342	0,86997
0,34	3388433	1,14708	0,99473	0,99473	0,89192	1,17392	1,04048

**PERHITUNGAN KOEFISIEN HAMBATAN GESEK MODEL KAPAL**

input variabel	v	Re model
0,644309649	m/s	1452185,499
0,859079531	m/s	1936247,332
1,073849414	m/s	2420309,165
1,288619297	m/s	2904370,998
1,50338918	m/s	3388432,831

Pengurangan Ct terjadi pada Cf maka

Delta Cf				
CTB-CTA	CTC-CTA	CTD-CTA	CTE-CTA	CTF-CTA
-0,0002	0,0025	0,0027	0,0015	-0,0009
-0,0030	0,0001	0,0002	0,0015	-0,0017
0,0001	0,0004	0,0004	0,0012	0,0002
0,0007	0,0015	0,0017	0,0027	-0,0007
-0,0014	0,0001	0,0001	0,0010	-0,0017

Cf tanpa injeksi

$$C_{FM} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_{n,m} - 2)^2}$$

masing masing titik pengujian

Kode kecepatan	Re model	CF model= Cfm A-Delta Cf					
		Cfm A	Cfm B	Cfm C	Cfm D	Cfm E	Cfm F
1	1452185	0,0043	0,0046	0,0018	0,0017	0,0028	0,0052
2	1936247	0,0041	0,0070	0,0039	0,0038	0,0026	0,0058
3	2420309	0,0039	0,0038	0,0035	0,0035	0,0027	0,0037
4	2904371	0,0038	0,0030	0,0022	0,0021	0,0011	0,0045
5	3388433	0,0037	0,0051	0,0036	0,0035	0,0026	0,0053

lamda= Cfm o /Cfm

Kode kecepatan	FAKTOR SKALA CF				
	Cfm B/ Cfm A	Cfm C/ Cfm A	Cfm D / Cfm A	Cfm E / Cfm A	Cfm F/ Cfm A
1	1,054753895	0,423258974	0,386756378	0,653955384	1,197114021
2	1,722954711	0,967777913	0,942467042	0,63239591	1,416734669
3	0,980135872	0,900861599	0,898237347	0,702949276	0,941100126
4	0,809648546	0,597287049	0,545423099	0,280777913	1,195021046
5	1,387912049	0,986100612	0,964655843	0,714963275	1,458679788



## PERHITUNGAN EHP MODEL

Input variabel

Kode kecepatan	Fr	V model (m/s)	RTM-A (N)	RTM-B (N) 10 L/min	RTM-C (N) 20 L/min	RTM-D (N) 30 L/min	RTM-E (N) 40 L/min	RTM-F (N) 50 L/min
1	0,15	0,64	2,34	2,40	1,69	1,65	1,95	2,56
2	0,19	0,86	3,08	4,45	3,02	2,97	2,38	3,87
3	0,24	1,07	4,43	4,38	4,15	4,14	3,59	4,26
4	0,29	1,29	9,21	8,46	7,62	7,42	6,37	9,97
5	0,34	1,50	13,72	15,74	13,65	13,54	12,24	16,11

$$EHP = RT \times V$$

EHP= RT x V

Kode kecepatan	Fr	V model (m/s)	EHP-A (watt)	EHP-B (watt)	EHP-C (watt)	EHP-D (watt)	EHP-E (watt)	EHP-F (watt)
1	0,15	0,64	1,508	1,548	1,088	1,061	1,256	1,652
2	0,19	0,86	2,643	3,822	2,591	2,550	2,044	3,323
3	0,24	1,07	4,759	4,699	4,457	4,449	3,855	4,580
4	0,29	1,29	11,863	10,897	9,820	9,557	8,214	12,853
5	0,34	1,50	20,628	23,662	20,519	20,351	18,398	24,215



## PERHITUNGAN KOEFISIEN Cfs

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_{r,s} - 2)^2}$$

B	D	E	F
0,423258974	0,386756378	0,653955384	1,197114021
0,967777913	0,942467042	0,63239591	1,416734669
0,900861599	0,898237347	0,702949276	0,941100126
0,597287049	0,545423099	0,280777913	1,195021046
0,986100612	0,964655843	0,714963275	1,458679788

Cfs titik Injeksi = Faktor skala X Cfs

CFS Kapal							
V kapal	Re kapal	Cfs A	Cfs B	Cfs C	Cfs D	Cfs E	Cfs F
6 knot	159678985	0,00195	0,00206	0,00082	0,00075	0,00127	0,00233
8 knot	212905313	0,00187	0,00323	0,00181	0,00177	0,00118	0,00265
10 Knot	266131641	0,00182	0,00178	0,00164	0,00163	0,00128	0,00171
12 knot	319357969	0,00177	0,00144	0,00106	0,00097	0,00050	0,00212
14 knot	372584298	0,00174	0,00241	0,00171	0,00168	0,00124	0,00253

## PERHITUNGAN KOEFISIEN HAMBATAN TOTAL KAPAL

Caa= 0,0004

Cr = Cr model

Watson, Parametric Ship Design

CFs + Cr + Caa

V kapal	Ct Kapal A	Ct Kapal B	Ct Kapal C	Ct Kapal D	Ct Kapal E	Ct Kapal F
6 knot	0,00657	0,00674	0,00551	0,00544	0,00596	0,00702
8 knot	0,00441	0,00583	0,00441	0,00436	0,00378	0,00525
10 Knot	0,00402	0,00404	0,00390	0,00389	0,00354	0,00397
12 knot	0,00681	0,00653	0,00616	0,00606	0,00560	0,00722
14 knot	0,00772	0,00845	0,00776	0,00772	0,00729	0,00858

Ct

CFs + Cr + Ca + Caa= Ct

V kapal	Cts Kapal A	Cts Kapal B	Cts Kapal C	Cts Kapal D	Cts Kapal E	Cts Kapal F
6 knot	0,00697	0,00714	0,00591	0,00584	0,00636	0,00742
8 knot	0,00481	0,00623	0,00481	0,00476	0,00418	0,00565
10 Knot	0,00442	0,00444	0,00430	0,00429	0,00394	0,00437
12 knot	0,00721	0,00693	0,00656	0,00646	0,00600	0,00762
14 knot	0,00812	0,00885	0,00816	0,00812	0,00769	0,00898

## PERHITUNGAN HAMBATAN TOTAL KAPAL

Input variabel	
Loa	47,7 m
Lwl	45,9 m
B	12 m
T	3,8 m
H	4,8 m
displacement	1492 ton
WSA	719 m <sup>2</sup>
Viskositas	8,8726E-07 m <sup>2</sup> /s
Densitas	1022,7626 kg/m <sup>3</sup>

27°C- ITTC Sea Water properties
27°C- ITTC Sea Water properties

$$R_{TS} = C_{TS} \frac{1}{2} \rho_s V_S^2 S S$$

Nilai Hambatan RTS						
V kapal	Rts Kapal A	Rts Kapal B	Rts Kapal C	Rts Kapal D	Rts Kapal E	Rts Kapal F
6 knot	7931,22	8120,94	6721,02	6640,10	7232,44	8436,53
8 knot	7297,36	9441,83	7296,96	7225,07	6344,40	8572,10
10 Knot	8372,20	8417,69	8144,67	8135,63	7463,06	8283,25
12 knot	16401,90	15770,93	14914,52	14705,37	13638,12	17325,05
14 knot	21552,58	23500,12	21647,96	21549,11	20398,15	23826,33

## PERHITUNGAN EHP KAPAL

Input Variabel

Nilai Hambatan RTS						
V kapal	Rts Kapal A	Rts Kapal B	Rts Kapal C	Rts Kapal D	Rts Kapal E	Rts Kapal F
6 knot	7931,223416	8120,942259	6721,021602	6640,101332	7232,4377	8436,531309
8 knot	7297,359641	9441,828136	7296,959737	7225,071291	6344,401	8572,095785
10 Knot	8372,204241	8417,689879	8144,670471	8135,632587	7463,0634	8283,251357
12 knot	16401,89718	15770,93008	14914,52461	14705,36913	13638,1155	17325,04945
14 knot	21552,57807	23500,12393	21647,96488	21549,11472	20398,1511	23826,32945

EHP= RT X V

Nilai Daya Efektif EHP

V kapal	EHP-A (watt)	EHP-B (watt)	EHP-C (watt)	EHP-D (watt)	EHP-E (watt)	EHP-F (watt)
6 knot	24481	25066	20745	20496	22324	26041
8 knot	30032	38858	30031	29735	26111	35279
10 Knot	43070	43304	41899	41853	38393	42612
12 knot	101254	97358	92072	90780	84192	106952
14 knot	155225	169252	155912	155200	146911	171601

## PERHITUNGAN DAYA POMPA KAPAL

$$W_{pump} = Q_A (\rho g d + C_p \times \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2)$$

KODE	Qa Kapal	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
	LPM								watt
B1	10644,44	0,177407	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	3,08664	1147,951
B2	10644,44	0,177407	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	4,11552	1820,221
B3	10644,44	0,177407	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	5,1444	2684,569
B4	10644,44	0,177407	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	6,17328	3740,994
B5	10644,44	0,177407	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	7,20216	4989,497

KODE	Qa Kapal	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
	LPM								watt
C1	21288,89	0,354815	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	3,08664	2295,902
C2	21288,89	0,354815	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	4,11552	3640,443
C3	21288,89	0,354815	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	5,1444	5369,138
C4	21288,89	0,354815	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	6,17328	7481,988
C5	21288,89	0,354815	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	7,20216	9978,993

KODE	Qa Kapal	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
	LPM								watt
D1	31933,33	0,532222	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	3,08664	3443,852
D2	31933,33	0,532222	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	4,11552	5460,664
D3	31933,33	0,532222	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	5,1444	8053,707
D4	31933,33	0,532222	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	6,17328	11222,98
D5	31933,33	0,532222	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	7,20216	14968,49

KODE	Qa Kapal	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
	LPM								watt
E1	127733,3	2,128889	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	3,08664	13775,41
E2	127733,3	2,128889	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	4,11552	21842,66
E3	127733,3	2,128889	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	5,1444	32214,83
E4	127733,3	2,128889	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	6,17328	44891,93
E5	127733,3	2,128889	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	7,20216	59873,96

KODE	Qa Kapal	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
	LPM								watt
F1	638666,6	10,64444	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	3,08664	68877,05
F2	638666,6	10,64444	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	4,11552	109213,3
F3	638666,6	10,64444	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	5,1444	161074,1
F4	638666,6	10,64444	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	6,17328	224459,7
F5	638666,6	10,64444	m3/s	1022,763	9,81	0,159329	1	7,20216	299369,8

## REKAPITULASI DAYA KAPAL

Input variabel

### REKAPITULASI KEBUTUHAN DAYA POMPA PADA KAPAL

(Watt)

Kode	B	C	D	E	F
1	1147,9508	2295,9016	3443,8523	13775,4093	68877,0467
2	1820,2213	3640,4426	5460,6639	21842,6555	109213,2773
3	2684,5691	5369,1382	8053,7073	32214,8291	161074,1453
4	3740,9942	7481,9884	11222,9825	44891,9301	224459,6506
5	4989,4966	9978,9931	14968,4897	59873,9586	299369,7932

W net = W Pompa + EHP

### W NET KAPAL

(Watt)

Kode	B	C	D	E	F
1	26214	23041	23939	36099	94918
2	40678	33671	35196	47953	144492
3	45989	47269	49907	70608	203687
4	101099	99554	102003	129084	331412
5	174241	165891	170169	206785	470971

rW = Wnet/EHP

RW

(Watt)

Kode	B	C	D	E	F
1	102,39%	84,74%	83,72%	91,19%	106,37%
2	129,39%	99,99%	99,01%	86,94%	117,47%
3	100,54%	97,28%	97,17%	89,14%	98,94%
4	96,15%	90,93%	89,66%	83,15%	105,63%
5	109,04%	100,44%	99,98%	94,64%	110,55%

## PERHITUNGAN DAYA POMPA MODEL

$$W_{pump} = Q_A (\rho g d + C_p \times \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2)$$

KODE	Qa model	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
									watt
B1	10	0,000167	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,64431	0,29407
B2	10	0,000167	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,85908	0,320883
B3	10	0,000167	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,073849	0,355357
B4	10	0,000167	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,288619	0,397492
B5	10	0,000167	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,503389	0,447288

KODE	Qa model	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
									watt
C1	20	0,000333	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,64431	0,588139
C2	20	0,000333	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,85908	0,641765
C3	20	0,000333	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,073849	0,710713
C4	20	0,000333	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,288619	0,794983
C5	20	0,000333	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,503389	0,894575

1

KODE	Qa model	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
									watt
D1	30	0,0005	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,64431	0,882209
D2	30	0,0005	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,85908	0,962648
D3	30	0,0005	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,073849	1,06607
D4	30	0,0005	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,288619	1,192475
D5	30	0,0005	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,503389	1,341863

KODE	Qa model	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
									watt
E1	40	0,000667	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,64431	1,176278
E2	40	0,000667	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,85908	1,283531
E3	40	0,000667	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,073849	1,421427
E4	40	0,000667	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,288619	1,589967
E5	40	0,000667	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,503389	1,78915

KODE	Qa model	Qa		Rho	g	d	Cp	U	W pump
									watt
F1	50	0,000833	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,64431	1,470348
F2	50	0,000833	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	0,85908	1,604413
F3	50	0,000833	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,073849	1,776784
F4	50	0,000833	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,288619	1,987458
F5	50	0,000833	m3/s	996,5158	9,81	0,159329	1	1,503389	2,236438

## REKAPITULASI DAYA MODEL

### REKAPITULASI KEBUTUHAN DAYA POMPA PADA MODEL

(Watt)

Kode	B	C	D	E	F
1	0,2941	0,5881	0,8822	1,1763	1,4703
2	0,3209	0,6418	0,9626	1,2835	1,6044
3	0,3554	0,7107	1,0661	1,4214	1,7768
4	0,3975	0,7950	1,1925	1,5900	1,9875
5	0,4473	0,8946	1,3419	1,7892	2,2364

W net = W Pompa + EHP

### W NET MODEL

(Watt)

Kode	B	C	D	E	F
1	1,8423	1,6758	1,9433	2,4322	3,1224
2	4,1424	3,2327	3,5123	3,3279	4,9269
3	5,0541	5,1681	5,5155	5,2765	6,3567
4	11,2948	10,6147	10,7490	9,8036	14,8402
5	24,1092	21,4137	21,6932	20,1876	26,4518

### RW

(Watt)

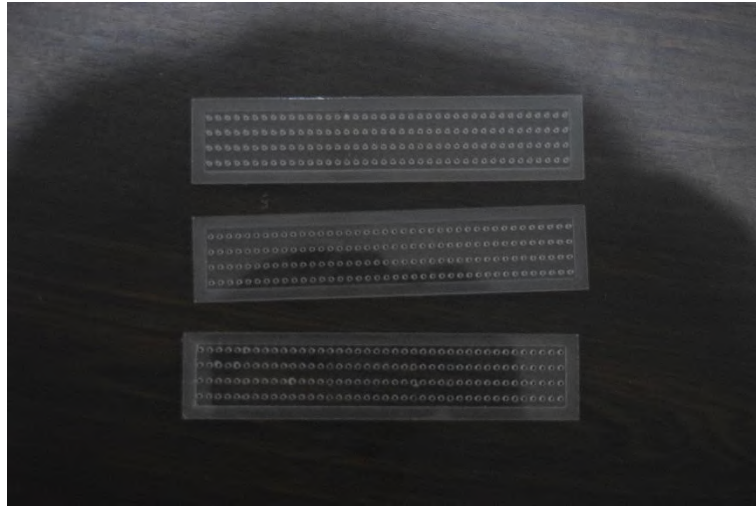
Kode	B	C	D	E	F
1	102,65%	72,11%	70,35%	83,27%	109,53%
2	144,57%	98,01%	96,45%	77,34%	125,69%
3	98,73%	93,66%	93,49%	81,00%	96,23%
4	91,86%	82,77%	80,56%	69,24%	108,34%
5	114,71%	99,47%	98,66%	89,19%	117,39%



**LAMPIRAN E**  
**DOKUMENTASI**



*Gambar 1 Port distributor*



*Gambar 2 Injektor dan Array holes plate*



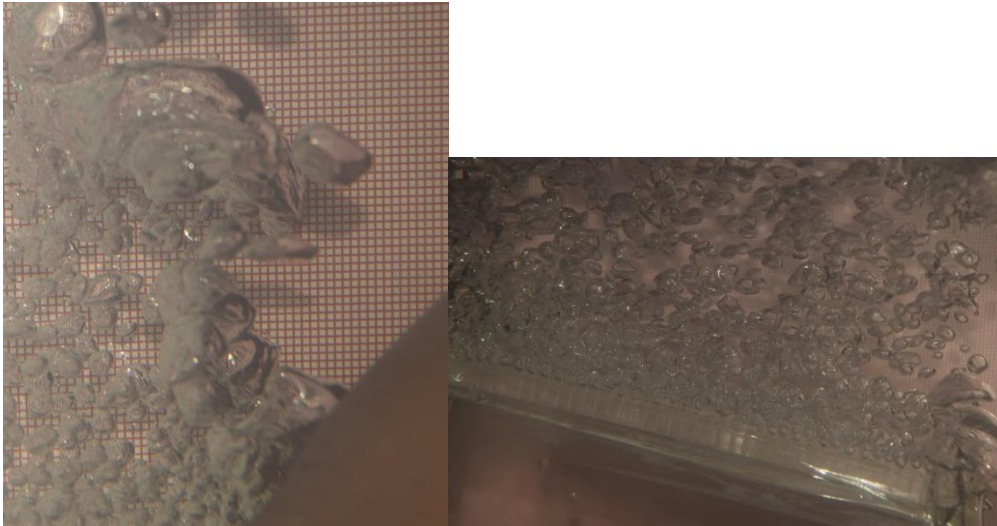
*Gambar 3 Pressure gauge dan Pressure Regulator*



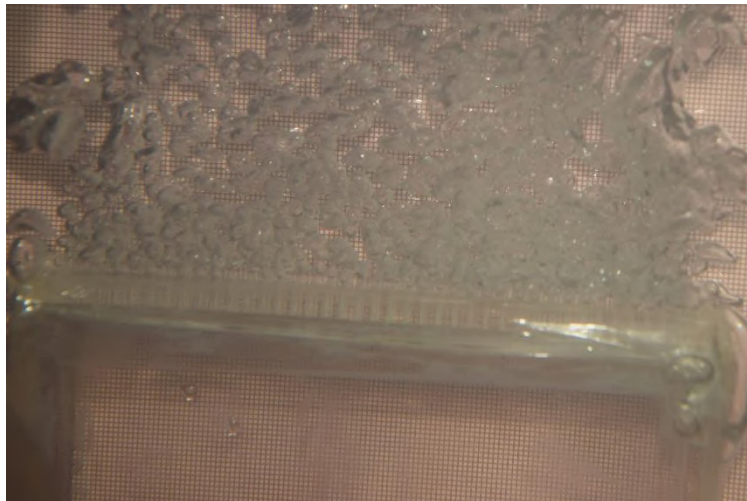
*Gambar 4 Needle Valve*



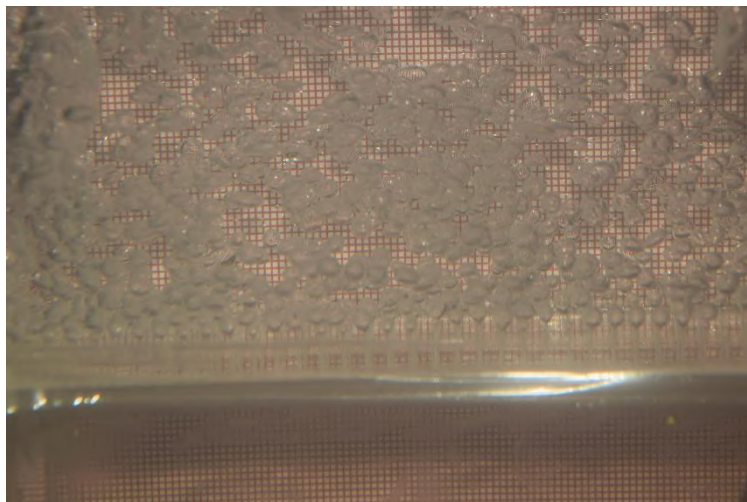
*Gambar 5 Push in fitting dan Flowmeter (dari kiri ke kanan)*



*Gambar 6 Pengujian gelembung pada 1 Bar 40 LPM, jarak ke permukaan air 15 cm ( diameter lubang dari kiri ke kanan 1 mm dan 0,5 mm). Diameter gelembung rata rata pembacaan visual  $\pm$  5mm-7mm. Tidak terdistribusi merata.*



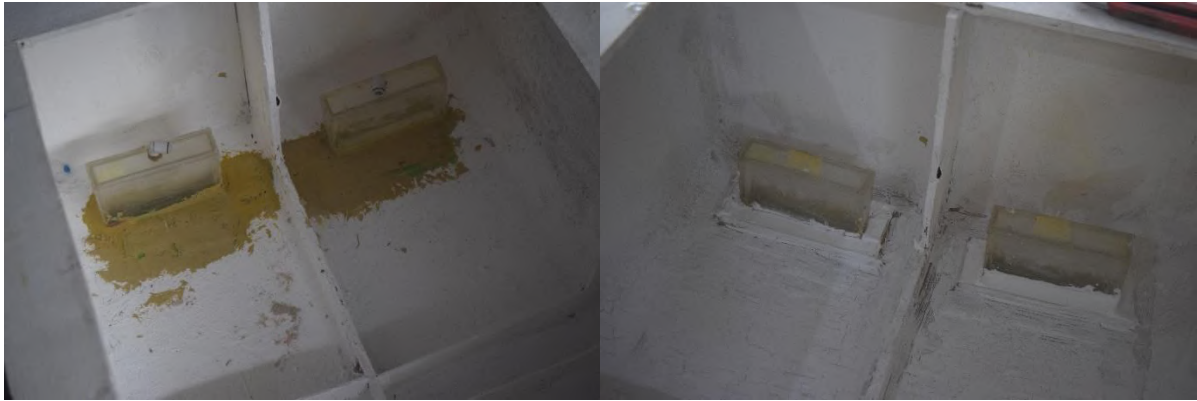
*Gambar 7 Pengujian gelembung pada 1 bar 40 LPM, jarak ke permukaan air 15 cm ( diameter lubang 0,1 mm) Diameter gelembung rata rata pembacaan visual  $\pm$  4mm-7mm, tidak merata*



*Gambar 8 Pengujian gelembung pada 1 bar 40 LPM, jarak ke permukaan air 15 cm (diameter gelembung 0,2 mm) , gelembung rata rata pembacaan visual  $\pm$  2mm-3mm, distribusi cukup merata*



*Gambar 9 Fabrikasi model kapal hingga siap rakit*



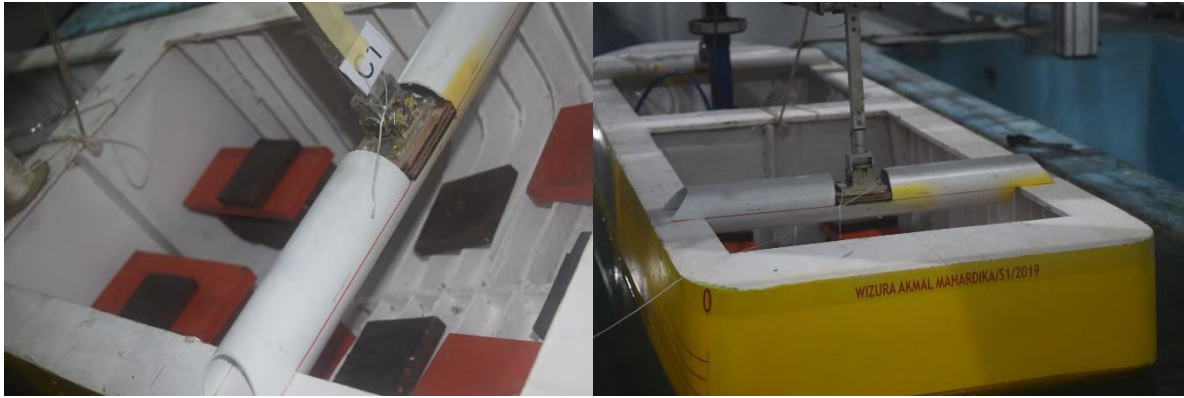
*Gambar 10 Pemasangan injektor ke lambung kapal model*



*Gambar 11 Pengecatan, pemasangan stiker, pemberian garis air dan garis station, dan pemasangan turbulence stimulator*



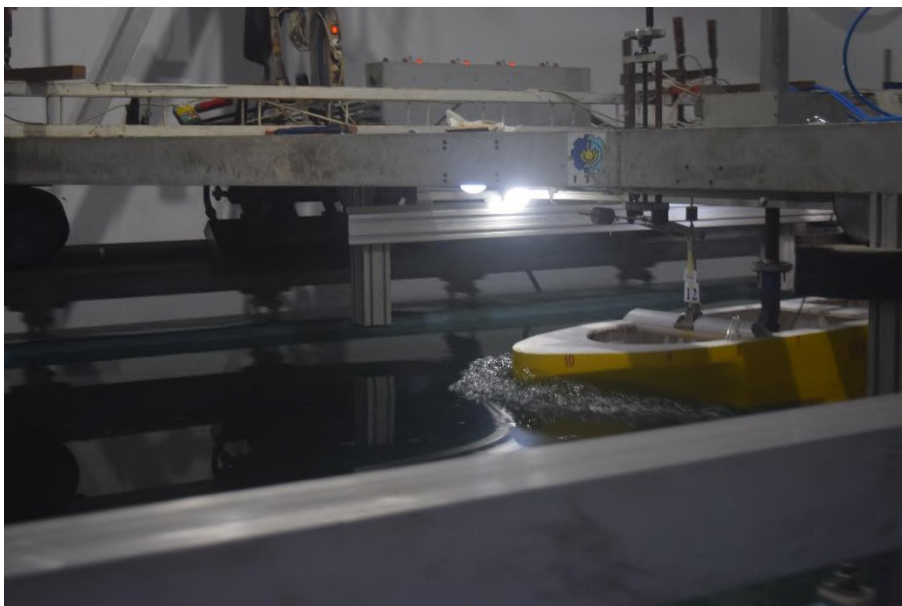
*Gambar 12 Pemasangan holder, dan pengukuran dimensi berat panjang lebar*



*Gambar 13 Pemberian pemberat solid dan pemasangan ke poros holder*

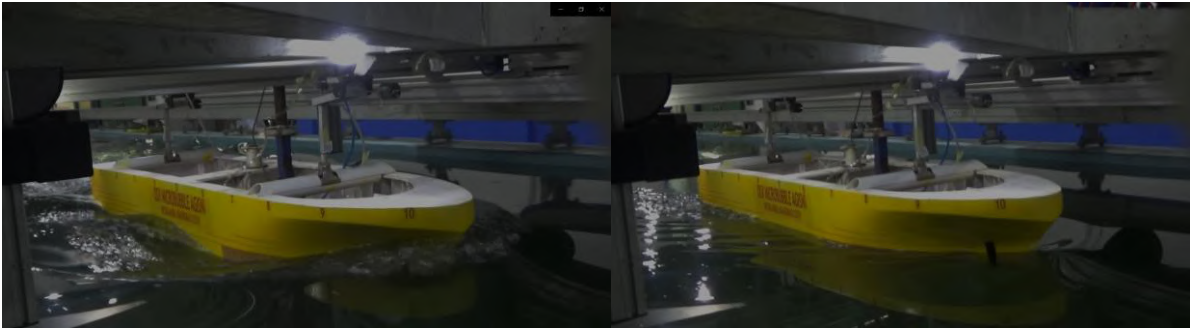


*Gambar 14 Pengujian tanpa gelembung A-1 (konversi skala 6 knot)*



*Gambar 15 Pengujian F5*





Gambar 16 Pengujian B5 dan dan D1 ( dari kiri ke kanan)



Gambar 17 Pengujian C2



Gambar 18 Pengujian E3

## BIODATA PENULIS



SBMPTN tulis.

Wizura Akmal Mahardika dilahirkan di Bandung pada 26 Agustus 1998, Penulis merupakan putra pertama dari Bapak Ir. Destyawan dan Ibu Dian Choiriah Soamole S.Si. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Audita dan Bianglala Bandung, kemudian melanjutkan ke SD Yayasan Wanita Kereta Api Bandung, SMPN 7 Bandung, dan SMAN 4 Bandung. Selepas masa persekolahan menengah atas, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain mengikuti kegiatan akademik Penulis juga tercatat pernah menjadi Wakil Ketua SAMPANESIA HIMATEKPAL 2017/2018 dan Ketua SAMPANESIA HIMATEKPAL 2018/2019. Penulis tercatat pernah menjadi asisten Dr. Ir I Ketut Suastika untuk mata kuliah Mekanika Fluida.

Email: [wizuraakmal15@mhs.na.its.ac.id/wizuraam@gmail.com](mailto:wizuraakmal15@mhs.na.its.ac.id/wizuraam@gmail.com)