



TUGAS AKHIR - MN 184802

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN HAMBATAN TOTAL
LAMBUNG KAPAL TRIMARAN DAN PENTAMARAN**

**Muhammad Rizki Alia
NRP 0411154000079**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN HAMBATAN TOTAL
LAMBUNG KAPAL TRIMARAN DAN PENTAMARAN**

**Muhammad Rizki Alia
NRP 0411154000079**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - MN 184802

**EXPERIMENTAL STUDY OF COMPARISON ON TRIMARAN
AND PENTAMARAN TOTAL HULL RESISTANCE**

**Muhammad Rizki Alia
NRP 0411154000079**

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

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN HAMBATAN TOTAL LAMBUNG KAPAL TRIMARAN DAN PENTAMARAN

TUGAS AKHIR

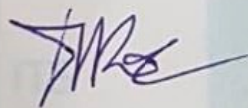
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD RIZKI ALIA
NRP 0411154000079

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP 19670406 199203 1 001



Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 10 JANUARI 2020

LEMBAR REVISI

STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN HAMBATAN TOTAL LAMBUNG KAPAL TRIMARAN DAN PENTAMARAN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 10 Januari 2020

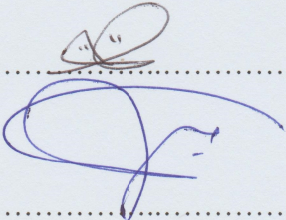
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

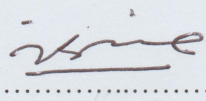
MUHAMMAD RIZKI ALIA
NRP 04111540000079

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Hasanudin, S.T., M.T.

.....


2. Aries Sulisetyono, S.T., MASc., Ph.D.

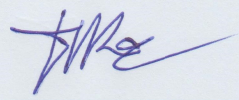
.....


3. Dr. Ir. I Ketut Suastika

.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

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

.....


SURABAYA, 10 JANUARI 2020

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Prof. I Ketut Aria Pria Utama selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Hidrodinamika atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Hasanudin, S.T., M.T., Aries Sulisetyono, S.T., MASc., Ph.D., Dr. Ir. I Ketut Suastika, dan Dr. Eng. Yuda Apri Hermawan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Langgeng Condro, S.T dan Bapak Rudi Amienudin A.md selaku pranata Laboratorium Hidrodinamika, juga Mas Dendy Satriyo dan Mas Sutiyo yang sudah seringkali membantu dan memberi masukan;
4. Bapak Teguh Prananto dan Ibu Emmy Sugiharty, selaku orang tua penulis yang tiada hentinya memberikan dukungan moral dan materi kepada penulis.
5. P55 Samudraraksa yang selalu siap memberikan bantuan kepada penulis;
6. Teman-teman RMK Hidrodinamika, Hanif Yuliansyah, Shindi Regita, Adnan Fauzi, Putra, Wizura Mahardika, Ariel Boediman, Wiryu Dharmata, Trevin Kuma, Audia Naomi, Hanif Yuliansyah, Shindi Regita, Adnan Fauzi, dan Putra;
7. Rekan-rekan SMAN 1 Depok ITS yang membantu memberikan dukungan moral.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya,

Muhammad Rizki Alia

STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN HAMBATAN TOTAL LAMBUNG KAPAL TRIMARAN DAN PENTAMARAN

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizki Alia
NRP : 0411154000079
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Kapal multi lambung merupakan salah satu solusi untuk menurunkan emisi gas buang pada kapal. Pengembangan kapal multi lambung pun terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kapal. Selain untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, kapal multi lambung juga dapat menambah luasan dek kapal. Untuk itu dilakukan penelitian tentang perbandingan hambatan kapal trimaran dan pentamaran. Model kapal trimaran dan pentamaran dengan displasemen yang sama dibandingkan hambatannya, dengan konfigurasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) 0.2, 0.3, dan 0.4 dengan variasi kecepatan dengan bilangan Froude 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, dan 0.6. Uji tarik dilakukan di *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Interferensi gelombang antar lambung juga dianalisa pada penelitian ini. Dari analisis hasil eksperimen, didapatkan bahwa hambatan total pada kapal pentamaran dapat bernilai lebih kecil pada variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) bernilai 0.2 dan kecepatan dengan bilangan Froude 0.5. Perubahan lambung kapal trimaran menjadi pentamaran dapat menambah luasan dek kapal sebesar 28%.

Kata kunci: trimaran, pentamaran, *towing tank test*, interferensi

EXPERIMENTAL STUDY OF COMPARISON ON TRIMARAN AND PENTAMARAN TOTAL HULL RESISTANCE

Author : Muhammad Rizki Alia
Student Number : 04111540000079
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Multihull ships are one of many solutions to reducing gas emissions in ship operations. The development of a multi-hull ship is continuously being held to increase the ship's efficiency. Therefore, the experiment about trimaran and pentamaran resistance comparison is being held. Trimaran and pentamaran model with the same displacement are tested to know the resistance difference with clearance configuration variation (S/L) 0.2, 0.3, and 0.4 and speed configuration consist of Froude number 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, and 0.6. The resistance test was conducted using a towing tank belongs to Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). The hull interference effects also analyzed in this experiment. The result s of this experiment is the pentamaran hull resistance can be lower than the trimaran at clearance 0.2 S/L when the speed is in the Froude number 0.5. Hull modification from trimaran to pentamaran can increase deck area 28%.

Keywords: trimaran, pentamaran, towing tank test, interference

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Dasar Teori	5
2.1.1. Komponen Hambatan berdasarkan ITTC	6
2.2. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2.1. Kapal Trimaran	7
2.2.2. Kapal Pentamaran	8
2.2.3. Faktor yang Mempengaruhi Hambatan Lambung Kapal <i>Multi-Hull</i>	9
2.2.4. Bentuk-Bentuk Lambung Sisi Kapal	9
2.2.5. Konfigurasi Lambung Kapal Trimaran dan Pentamaran	10
2.2.6. Lambung Seri NPL	12
2.2.7. Interferensi Gelombang	13
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1. Bagan Alir.....	15
3.2. Tahapan Pengerjaan.....	16
3.2.1. Studi Literatur	16
3.2.2. Pengumpulan Data	16
3.2.3. Pembuatan Model Kapal.....	18
3.2.4. Eksperimen dengan Menggunakan <i>Towing Tank</i>	18
3.2.5. Akuisisi Perolehan Data dan Analisa.....	18
3.2.6. Kesimpulan dan Saran	18
3.2.7. Penyusunan Laporan.....	19
BAB 4 PEMBUATAN MODEL DAN PENGUJIAN	21
4.1. Penentuan Konfigurasi Trimaran dan Pentamaran	21
4.2. Perhitungan Skala dan Faktor Korelasi Model	22
4.3. Perhitungan Kebutuhan Voltase Motor Kereta Uji	23
4.4. Pembuatan Model Kapal.....	23
4.4.1. Lokasi Pembuatan.....	23

4.4.2. Bahan dan Peralatan	24
4.4.3. Proses Pembuatan Model Kapal.....	25
4.5. Pengujian Model Kapal.....	29
4.5.1. Lokasi Pengujian	29
4.5.2. Pemasangan Model Kapal pada Kereta Uji.....	29
4.5.3. Kalibrasi <i>Loadcell</i>	30
4.5.4. Pengujian	32
4.6. Pengambilan Data	33
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1. Analisa Hambatan Hasil Uji Model Kapal	35
5.1.1. Hambatan Total Model Kapal	35
5.1.2. Koefisien Hambatan Model Kapal	36
5.2. Pengaruh Interferensi Gelombang Terhadap Hambatan Total Trimaran.....	37
5.3. Pengaruh Interferensi Gelombang Terhadap Hambatan Total Pentamaran.....	38
5.4. Analisa Perbedaan Grafik Trimaran dan Pentamaran.....	39
5.5. Interferensi Hambatan Gelombang	40
5.6. Hambatan Total Kapal Skala Sebenarnya.....	42
5.7. Luasan dek kapal.....	45
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1. Umum.....	49
6.1.1. Kesimpulan.....	49
6.1.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen-komponen hambatan.....	5
Gambar 2.2	Tegangan Geser pada Fluida	6
Gambar 2.3	Kapal Trimaran	8
Gambar 2.4	Kapal Pentamaran	9
Gambar 2.5	Bentuk lambung sisi pada kapal <i>multihull</i>	10
Gambar 2.6	Konfigurasi lambung kapal trimaran	11
Gambar 2.7	Konfigurasi lambung kapal pentamaran.....	11
Gambar 2.8	Perencanaan posisi <i>stagger</i> pada kapal trimaran (a) <i>stagger</i> positif	12
Gambar 2.9	Rencana garis lambung kapal seri NPL.....	13
Gambar 2.10	Pola gelombang Kelvin.....	14
Gambar 3.1	Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	15
Gambar 3.2	<i>Body plan</i> lambung kapal trimaran.....	17
Gambar 3.3	<i>Body plan</i> lambung kapal pentamaran.....	17
Gambar 4.1	Konfigurasi kapal trimaran	21
Gambar 4.2	Konfigurasi kapal pentamaran	22
Gambar 4.3	(a) Persiapan cetak tiga dimensi pada <i>software</i> desain tiga dimensi; (b) Hasil cetak tiga dimensi model kapal	25
Gambar 4.4	Proses pengisian rongga menggunakan dempul	25
Gambar 4.5	(a) Proses persiapan cetakan sebelum disemen; (b) Proses penuangan semen; dan (c) Cetakan yang sudah kering	26
Gambar 4.6	(a) Pola serat <i>fiber glass</i> ; (b) Taruh serat <i>fiberglass</i> pada cetakan;.....	27
Gambar 4.7	(a) Pemberian cat dasar <i>surfacer</i> ; (b) Pemberian cat dasar warna putih	27
Gambar 4.8	(a) Pemberian garis air pada model kapal; (b) Pemasangan balok alumunium berongga pada model lambung kapal	28
Gambar 4.9	(a) Model lambung kapal yang sudah terhubung balok alumunium berongga; (b) Pemasangan <i>holder</i> , <i>turbulence stimulator</i> , dan stiker station	28
Gambar 4.10	(a) Kolam uji tarik; (b) Kereta motor listrik	29
Gambar 4.11	Penempatan <i>ballast</i> pada model kapal.....	29
Gambar 4.12	Poros pengarah.....	30
Gambar 4.13	<i>Loadcell</i> yang diikat pada tali.....	31
Gambar 4.14	<i>Strip chart recorder</i>	31
Gambar 4.15	Kalibrasi model kapal	32
Gambar 4.16	Simpangan <i>chart recorder</i> pada pengujian model E	33
Gambar 5.2	Grafik koefisien hambatan total (C_T) trimaran	38
Gambar 5.3	Grafik koefisien hambatan total (C_T) pentamaran	39
Gambar 5.4	Komponen koefisien hambatan total	40
Gambar 5.5	Grafik Interferensi Gelombang Kapal	41
Gambar 5.1	Grafik C_T hasil pengujian trimaran dan pentamaran	44
Gambar 5.6	Aransemen dek pentamaran.....	45
Gambar 5.7	Aransemen dek trimaran.....	46
Gambar 5.8	Aransemen dek pentamaran.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Ukuran Utama Kapal.....	16
Tabel 3.2 Data ukuran utama <i>side hull</i> kapal.....	17
Tabel 4.1 Perbandingan dimensi kapal sebenarnya dan model kapal.....	23
Tabel 4.2 Kebutuhan voltase motor	23
Tabel 4.3 Bahan pembuatan cetakan dan model kapal	24
Tabel 4.4 Peralatan pembuatan cetakan dan model kapal	24
Tabel 4.5 Spesifikasi <i>loadcell</i>	30
Tabel 4.6 Variasi model kapal yang diuji	32
Tabel 4.7 Variasi kecepatan kapal dan kebutuhan voltase motor listrik.....	33
Tabel 4.8 Tanggal pelaksanaan pengujian	33
Tabel 5.1 Hasil nilai hambatan pada pengujian model kapal	35
Tabel 5.2 Koefisien hambatan total model kapal.....	36
Tabel 5.3 Koefisien hambatan gesek model kapal.....	36
Tabel 5.4 Koefisien hambatan residu model kapal trimaran	37
Tabel 5.8 Presentase Pertambahan Koefisien Hambatan Total Trimaran	38
Tabel 5.9 Presentase Pertambahan Koefisien Hambatan Total Pentamaran	39
Tabel 5.10 Faktor interferensi hambatan kapal.....	41
Tabel 5.5 Koefisien hambatan gesek kapal sebenarnya.....	43
Tabel 5.6 Koefisien hambatan total kapal sebenarnya.....	43
Tabel 5.7 Hambatan total kapal skala sebenarnya	44
Tabel 5.11 Presentase penambahan luas dek	46

DAFTAR SIMBOL

C_F	=	Koefisien hambatan gesek, $C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$
C_{FM}	=	Koefisien hambatan gesek model kapal
C_{FS}	=	Koefisien hambatan gesek kapal skala sebenarnya
$C_{F Main}$	=	Koefisien hambatan gesek <i>main hull</i>
$C_{F Side}$	=	Koefisien hambatan gesek <i>side-hull</i>
C_R	=	Koefisien hambatan sisa
C_{RM}	=	Koefisien hambatan sisa model kapal
C_{RS}	=	Koefisien hambatan sisa kapal skala sebenarnya
$C_{R Main}$	=	Koefisien hambatan sisa <i>main hull</i>
$C_{R Side}$	=	Koefisien hambatan sisa <i>side-hull</i>
C_T	=	Koefisien hambatan total, $C_T = C_R + C_F$
C_{TM}	=	Koefisien hambatan total model kapal
C_{TS}	=	Koefisien hambatan total kapal skala sebenarnya
$C_{T Main}$	=	Koefisien hambatan sisa <i>main hull</i> yang diuji sendiri
$C_{T Side}$	=	Koefisien hambatan sisa <i>side-hull</i> yang diuji sendiri
C_A	=	Koreksi kekasaran lambung kapal
C_{APP}	=	koefisien hambatan tambahan
R/L	=	Jarak memanjang <i>main hull</i> ke <i>side-hull</i> terhadap panjang kapal
S/L	=	Jarak melintang <i>main hull</i> ke <i>side-hull</i> terhadap panjang kapal
Fr	=	<i>Froude Number</i>
V	=	Kecepatan kapal (m/s)
V_M	=	Kecepatan model kapal (m/s)
V_S	=	Kecepatan kapal skala sebenarnya (m/s)
g	=	Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)
L	=	Panjang kapal (m)
IF	=	<i>Interference Factor</i> /Faktor Interferensi hambatan gelombang kapal
R_T	=	Hambatan total
R_{T1}	=	Hambatan total lambung tanpa interferensi gelombang
R_{T2}	=	Hambatan total lambung trimaran/pentamaran
R_{TM}	=	Hambatan total model kapal (N)
R_{TS}	=	Hambatan total kapal skala sebenarnya (kN)
R_F	=	Hambatan gesek
R_{VP}	=	Hambatan tekanan viskos
R_R	=	Hambatan sisa
R_{AA}	=	Hambatan udara
R_{APP}	=	Hambatan tambahan
R_W	=	Hambatan gelombang
ρ	=	Massa jenis fluida
ρ_M	=	Massa jenis air tawar (kg/m^3)
ρ_S	=	Massa jenis air laut (kg/m^3)
S	=	Luas permukaan basah lambung kapal (m^2)
S_T	=	Luas permukaan basah lambung kapal trimaran (m^2)

S_P	=	Luas permukaan basah lambung kapal pentamaran (m^2)
S_{Main}	=	Luas permukaan basah lambung kapal <i>main hull</i> (m^2)
S_{Side}	=	Luas permukaan basah lambung kapal <i>side-hull</i> (m^2)
S_M	=	Luas permukaan basah lambung model kapal (m^2)
S_S	=	Luas permukaan basah lambung kapal skala sebenarnya (m^2)
Re	=	<i>Reynold number</i>
Re_M	=	<i>Reynold number</i> model kapal
Re_S	=	<i>Reynold number</i> kapal skala sebenarnya
τ	=	Tegangan geser (N/m^2)
F	=	Gaya geser (N)
A	=	Luas permukaan (m^2)
μ	=	Viskositas dinamik (Pa.S)
λ	=	Faktor skala panjang kapal
λ^2	=	Faktor skala luas kapal
λ^3	=	Faktor skala volume kapal
NI-Tri	=	<i>Non-interference</i> Trimaran
NI-Penta	=	<i>Non-interference</i> Pentamaran

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kapal di Indonesia merupakan salah satu moda transportasi yang sangat penting. Di Indonesia, yang merupakan negara kepulauan, moda transportasi laut sangat diperlukan untuk menunjang transportasi domestik dan pertumbuhan ekonomi. Salah satu faktor yang mempengaruhi biaya transportasi menggunakan kapal adalah harga dari bahan bakar kapal tersebut. Untuk mengatasi masalah biaya transportasi dari bahan bakar tersebut, desain kapal pun berkembang seiring dengan perkembangan zaman, mulai dari penerapan *bow* yang berbeda pada bagian depan kapal hingga pembuatan kapal multi lambung.

Penelitian tentang kapal multi lambung sendiri sudah dimulai sejak abad ke 17 di Inggris. Dalam upaya mengurangi *wave making resistance*, terdapat banyak hal yang dapat dilakukan pada kapal multi lambung, yaitu dengan cara melakukan penyusunan konfigurasi lambung dan bentuk lambung. Sedangkan, dari segi luas dek, kapal multi lambung memiliki luasan dek yang lebih luas dari kapal lambung tunggal dengan panjang yang sama. Kapal multi lambung juga memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan kapal lambung tunggal (Peng, 2001).

Dengan merubah *single body* menjadi *multihull* serta dengan melakukan pengaturan jarak antar *hull* maka akan diperoleh perilaku hidrodinamis yang lebih baik Javanmardi et al (2008). Berdasarkan hal tersebut, penulis dalam tugas akhir ini ingin menganalisis perbandingan hambatan lambung kapal trimaran dengan lambung kapal pentamaran dengan variasi jarak antar lambungnya secara melintang (S/L) dengan berbagai variasi kecepatan. Kapal trimaran adalah kapal *multihull*, yang terdiri dari satu lambung utama (*mainhull*) dan dua lambung cadik (*sidehull*) atau juga disebut *outriggers* yang ukurannya lebih pendek dan terletak di kedua sisi lambung utama. Sedangkan kapal pentamaran adalah kapal *multihull*, yang terdiri dari satu lambung utama (*mainhull*) dan empat lambung cadik (*sidehull*) (Dubrovsky, 2011). Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apakah kapal pentamaran memiliki hambatan yang kecil dari kapal trimaran sehingga dapat menambah nilai ekonomis dari segi sisi efisiensi mesin dan performa kapal yang baik.

1.2. Perumusan Masalah

Berhubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan hambatan total antara hasil dari uji tarik kapal model trimaran dan pentamaran;
2. Bagaimana pengaruh interferensi antar gelombang dari lambung kapal mempengaruhi hambatan kapal;
3. Bagaimana perbandingan luasan dek lambung kapal trimaran dan pentamaran terhadap konfigurasi jarak/posisi lambung kapal.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik perbedaan hambatan total yang dihasilkan model kapal lambung trimaran dan pentamaran;
2. Mengetahui pengaruh interferensi antar gelombang dari lambung kapal terhadap hambatan kapal;
3. Dapat mengetahui pengaruh konfigurasi jarak/posisi lambung kapal terhadap luasan dek yang dimiliki kapal.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah antara lain sebagai berikut:

1. Analisa lambung trimaran dan lambung pentamaran dilakukan pada *displacement* yang sama dan dengan *main-hull* yang sama;
2. Model kapal yang digunakan yaitu menggunakan model kapal trimaran dari eksperimen mengenai hambatan kapal trimaran yang dilakukan sebelumnya ;
3. Analisa jarak antar lambung secara melintang dilakukan 3 (tiga) kali pada kapal trimaran dan 3 (tiga) kali pada kapal pentamaran;
4. Analisa hambatan fokus pada aspek hambatan total kapal pada 5 (lima) variasi kecepatan, yaitu 8.61 knots, 12.91 knots, 17.21 knots, 21.51 knots, dan 25.82 knots yang berkorelasi dengan bilangan Froude 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, dan 0.6;
5. Kekuatan struktur tidak diperhitungkan;
6. Pada penelitian ini, hanya dilakukan analisis hambatan, dengan satu nilai derajat kebebasan kapal pada sumbu gerak translasi maju kapal untuk mengetahui nilai

hambatan yang terjadi, variasi gerakan *rolling, pitching, heaving, surging, sway*, serta perhitungan stabilitas tidak diikutsertakan dalam penelitian ini; dan

7. Metode yang digunakan adalah metode uji model dengan eksperimen laboratorium. Laboratorium yang digunakan merupakan Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

1.5. Manfaat

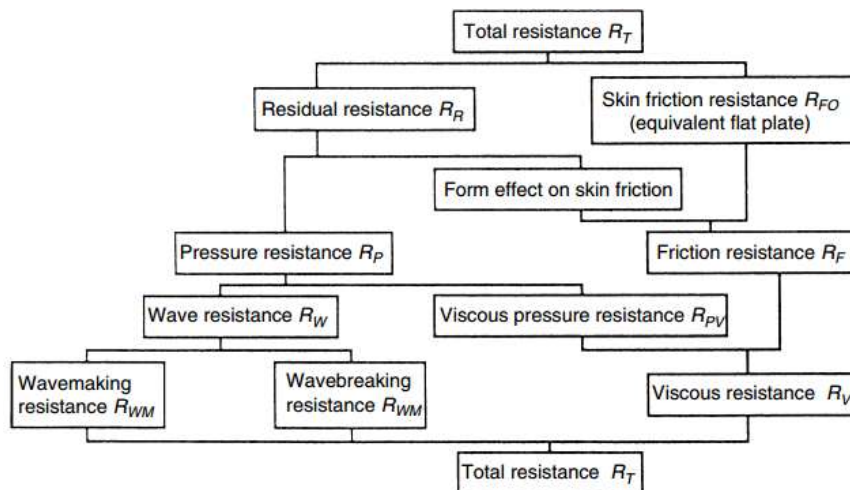
Manfaat penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi berupa data eksperimen untuk memperkaya literatur tentang pengaruh variasi jarak lambung secara melintang pada lambung kapal trimaran dan pentamaran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

Hambatan dari kapal pada kecepatan tertentu adalah gaya yang dibutuhkan untuk menarik kapal pada kecepatan tersebut di air tenang, dengan mengasumsikan bahwa tidak ada interferensi saat penarikan kapal (Manen & Oossanen, 1988). Hambatan yang terjadi terhadap kapal jumlahnya sama dengan gaya dari fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerak kapal. Nilai dari hambatan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida, dan kecepatan kapal. Nilai hambatan kapal akan meningkat apabila *Froude Number* (Fr) mengalami peningkatan (Harvald, 1992). Komponen-komponen dari hambatan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komponen-komponen hambatan

(Sumber: Bertram, 2012)

Variabel kecepatan didapatkan dari nilai *Froude Number* (Fr) dengan menggunakan rumus:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.1)$$

hambatan kapal dapat didefinisikan dengan:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \quad (2.2)$$

Komponen R_T dapat didapatkan menggunakan penjumlahan yang dilakukan antara $R_{friction}$ dengan R_{wave} dan $R_{viscous pressure}$ Molland et al (2011). Diformulasikan dengan

$$R_T = R_F + R_{VP} + R_W \quad (2.3)$$

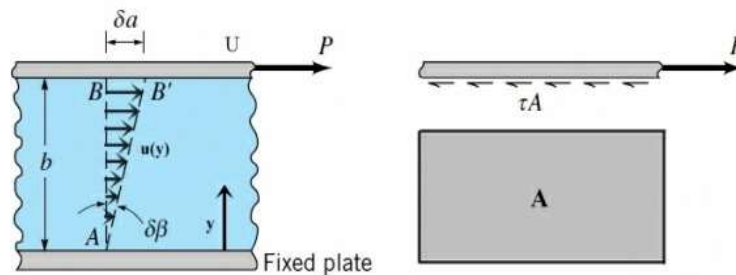
Hambatan gesek (R_F) memiliki persentase paling besar diantara hambatan yang lainnya oleh karena itu komponen hambatan tekanan viskos dan hambatan gelombang seringkali juga disebut sebagai tahanan R_R (*residuary*).

2.1.1. 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 tangensial 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 2.2 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 V 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

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.4)$$

Pada kapal nilai hambatan gesek di rumuskan dengan

$$R_F = C_F \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) S \quad (2.5)$$

- 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 pada permukaan. Hal yang sama juga terjadi pada badan kapal.

2.2. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Kapal Trimaran

Kapal trimaran adalah kapal *multi-hull*, yang terdiri dari satu lambung utama (*main hull*) dan dua lambung cadik (*side-hull*) atau juga disebut *outriggers* yang ukurannya lebih pendek dan terletak di kedua sisi lambung utama. Sedangkan kapal pentamaran adalah kapal *multihull*, yang terdiri dari satu lambung utama (*main hull*) dan empat lambung cadik (*side-hull*) (Dubrovsky, 2011). Bentuk lambung trimaran adalah pengembangan dari bentuk lambung tunggal yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan kapal yang diikuti dengan berkurangnya daya yang dibutuhkan. Bentuk lambung kapal trimaran didesain untuk mendapatkan stabilitas

melintang yang lebih baik dibandingkan dengan kapal lambung tunggal (*monohull*). Kapal dengan jenis lambung trimaran dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kapal Trimaran

(Sumber: <http://www.shipspotting.com/photos/middle/0/3/4/1962430.jpg>)

Kapal dengan lambung ganda atau *multi-hull* seperti kapal dengan jenis lambung trimaran memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki luasan dek yang luas, stabilitas melintang yang baik, kualitas *seakeeping* yang baik, dan mempunyai banyak pilihan untuk mengurangi *wave making resistance* dengan cara melakukan konfigurasi letak lambung (Peng, 2001).

2.2.2. Kapal Pentamaran

Kapal pentamaran merupakan kapal lambung tunggal yang distabilisasikan dengan menggunakan empat lambung sisi, dua lambung di bagian kanan (*starboard*) kapal dan dua lambung di bagian kiri (*port*) kapal. Lambung utama kapal dioptimalkan agar hambatannya sekecil mungkin untuk deadweight dan kecepatan tertentu. Lambung sisi di desain agar kapal dapat memenuhi kriteria stabilitas yang diinginkan. Penggunaan empat lambung bukan dua lambung (trimaran) dapat meningkatkan stabilitas dengan hambatan yang minimum dan imunitas dari gerakan *rolling*. Kapal pentamaran memberikan hambatan dan tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dengan seminimal mungkin dan mempunyai *seakeeping* yang baik (Gee, 2005). Kapal dengan jenis lambung pentamaran dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kapal Pentamaran

(Sumber: Gee, 2005)

2.2.3. Faktor yang Mempengaruhi Hambatan Lambung Kapal *Multi-Hull*

Menurut Oller et al. (2003), hambatan yang rendah pada kapal *multi-hull* dapat dicapai dengan memvariasikan hal-hal berikut ini:

1. Bentuk lambung kapal;
2. Konfigurasi *side-hull*;
3. Displasemen;
4. Jarak *side-hull* dengan *main hull* secara transversal (*clearance*); dan
5. Jarak *side-hull* dengan *main hull* secara longitudinal (*stagger*).

2.2.4. Bentuk-Bentuk Lambung Sisi Kapal

Bentuk dari lambung sisi (*side hull*) sangat mempengaruhi hambatan dari. Berikut ini adalah bentuk-bentuk dari lambung sisi:

1. *Symmetrical*

Diasumsikan sebagaimana tiga buah kapal *monohull* yang ketiga lambungnya dihubungkan dengan jarak tertentu, maka akan mempunyai sistem gelombang yang sama dengan bentuk kapal *streamline*. Pada sekeliling bagian kapal yang tercelup dalam air akan berkembang dan menghasilkan gerakan. Dan hal ini akan menimbulkan dua macam gelombang, yaitu gelombang divergen dan gelombang transversal dan keduanya secara umum terdapat di bagian dekat haluan dan buritan kapal dan bergerak ke depan bersama badan kapal.

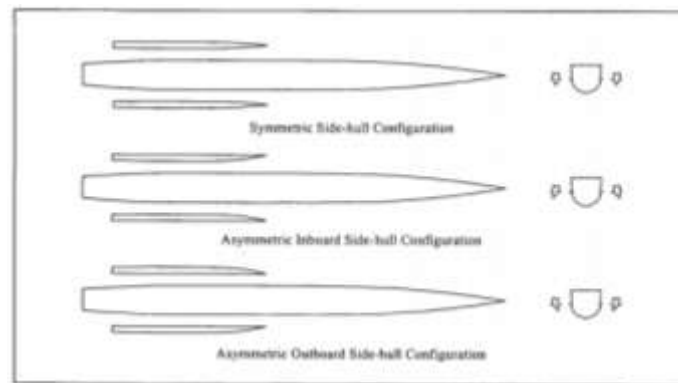
2. *Assymetrical Inboard / Flat Side Outside*

Aliran fluida yang dibentuk dari haluan kapal terkonsentrasi ke tengah kapal (antara dua lambung) bergerak sampai ke buritan kapal, sedangkan ke arah samping aliran lurus mengikuti bentuk badan kapal sisi luar sampai ke buritan.

3. *Assymetrical Outboard / Flat Side Inside*

Di ujung bagian depan *demihull* merupakan titik dimana aliran fluida akan menyebar ke arah samping (mengikuti garis *streamline*), sehingga bagian sisi dalam yang berupa lambung datar/lurus menghasilkan aliran fluida yang berinteraksi/berpaduan. Namun, pada sisi luar dapat menimbulkan gelombang ke samping yang cukup besar.

Bentuk lambung sisi pada kapal trimaran dapat dilihat pada Gambar 2.5.

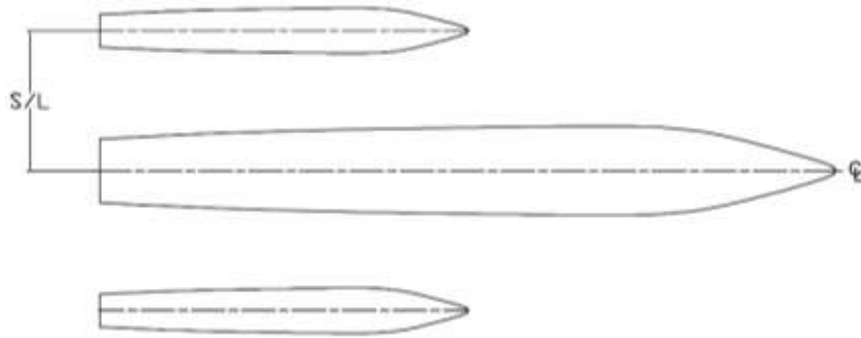


Gambar 2.5 Bentuk lambung sisi pada kapal *multihull*

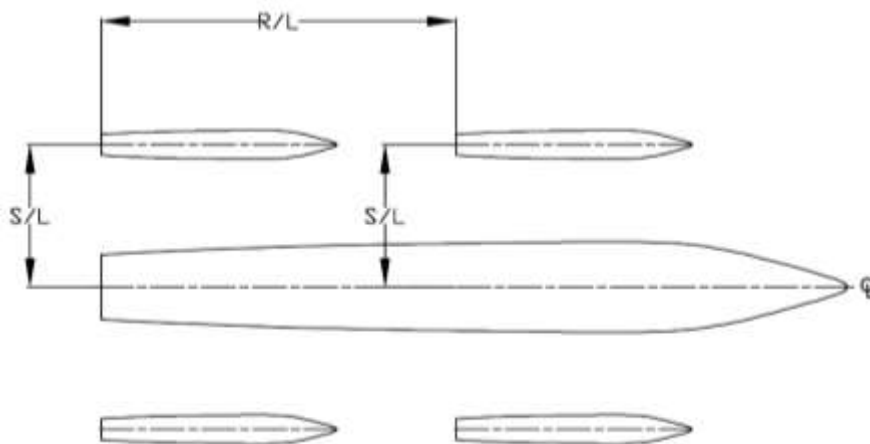
(Sumber: Ackers, et al., 1997)

2.2.5. Konfigurasi Lambung Kapal Trimaran dan Pentamaran

Konfigurasi lambung kapal sangat berpengaruh terhadap hambatan dan kapal. Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi lambung kapal trimaran dan lambung kapal pentamaran. Notasi S atau *clearance* adalah jarak *centerline side-hull* dengan *centerline main-hull*. Sedangkan, R atau *stagger* adalah jarak dari *midship side-hull* dengan *midship main-hull*.

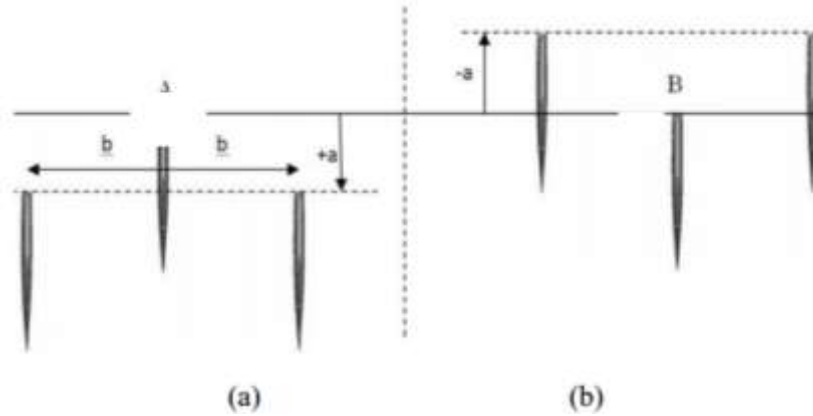


Gambar 2.6 Konfigurasi lambung kapal trimaran



Gambar 2.7 Konfigurasi lambung kapal pentamarian

Dalam penentuan variasi jarak antar lambung secara membujur dibedakan atas dua, yaitu konfigurasi lambung sejajar (*unstaggered*) dan tidak sejajar (*staggered*). Perbedaan lambung *staggered* dan *unstaggered* adalah terletak pada konfigurasi posisi lambung secara membujur. Posisi lambung yang tidak sama secara melintang yang sama disebut *unstaggered hull*. Variasi jarak antar lambung secara membujur adalah jarak *stagger* yang diubah-ubah sesuai perbandingan R/L dengan R sebagai jarak antar lambung secara membujur dan L sebagai panjang kapal (Muscat-Fenech & Rosa, 2014). Perencanaan posisi *stagger* pada kapal trimaran dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perencanaan posisi *stagger* pada kapal trimaran (a) *stagger* positif dan (b) *stagger* negatif

(Sumber: Muscat-Fenech & Rosa, 2014)

Dalam rangka membedakan model satu dengan lainnya, rasio digunakan untuk mendefinisikan *draught* (T), *stagger* (S), dan *separations* (R). Rasio konfigurasi kapal dapat dilihat seperti dibawah ini (Muscat-Fenech & Rosa, 2014).

$$\text{Draught Ratio} = \delta = \frac{\text{Draught}}{\text{Overall Length}} = \frac{T}{L_{OA}} \quad (2.6)$$

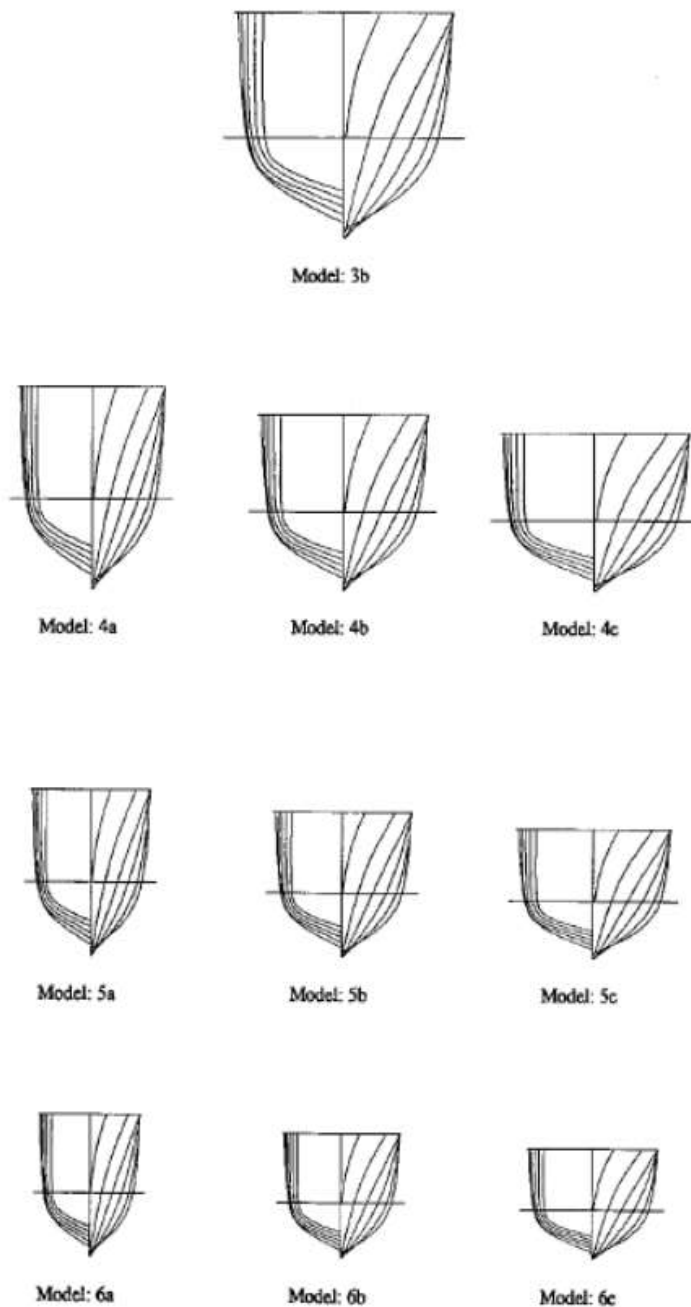
$$\text{Stagger Ratio} = \sigma = \frac{\text{Stagger}}{\text{Overall Length}} = \frac{R}{L_{OA}} \quad (2.7)$$

$$\text{Separation Ratio} = \mu = \frac{\text{Separation}}{\text{Overall Length}} = \frac{S}{L_{OA}} \quad (2.8)$$

2.2.6. Lambung Seri NPL

Lambung seri NPL (National Physical Laboratory) adalah seri lambung kapal cepat dengan bentuk bilga bundar yang didesain untuk beroperasi pada rentang kecepatan dengan bilangan Froude 0.3-1.2 yang sudah diuji di National Physical Laboratory, London. Hasil dari pengujian dapat digunakan pada tahap desain awal dari kapal seperti *heavily loaded work boats*, kapal cepat patrol, dan kapal perang kecil (Bailey, 1976).

Lambung seri NPL (National Physical Laboratory) cukup umum digunakan untuk kapal *multihull* seperti katamaran pada penelitian yang dilakukan oleh Molland, et al. (1994), Haase, et al. (2012), dan Asapana & Sahoo (2016) dan trimaran pada penelitian yang dilakukan oleh Hafez & El-Kot (2012), Khan, et al. (2013), Son & Sahoo (2015).



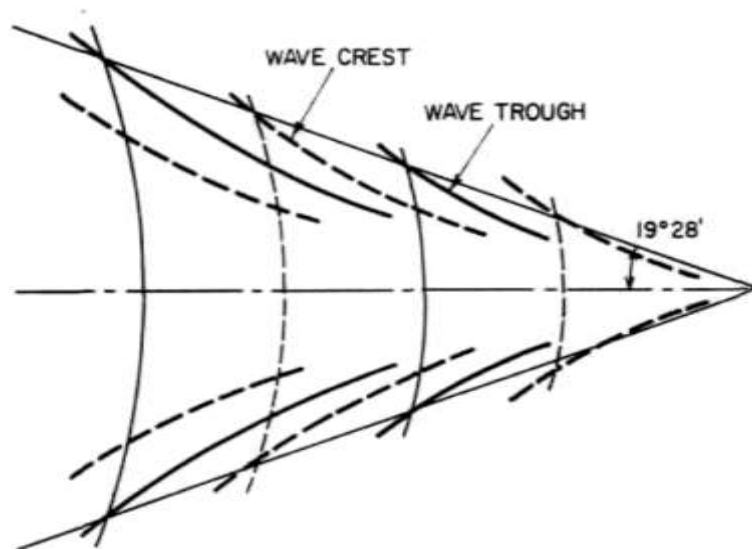
Gambar 2.9 Rencana garis lambung kapal seri NPL

(Sumber: Molland, et al. 1994)

2.2.7. Interferensi Gelombang

Menurut Lawyer (2006), gelombang yang dihasilkan oleh setiap lambung mempengaruhi lambung lainnya. Efek ini dikenal dengan nama efek interferensi dan bisa jadi menguntungkan ataupun merugikan kepada hambatan kapal. Membuat efek interferensi gelombang yang menguntungkan, atau setidaknya meminimalkan efek merugikan sangatlah penting saat mendesain kapal multi lambung. Terdapat beberapa aspek dari efek interferensi.

Pertama adalah interaksi dari gelombang Kelvin yang diciptakan oleh setiap lambung. Pola gelombang Kelvin dapat dilihat pada Gambar 2.10.



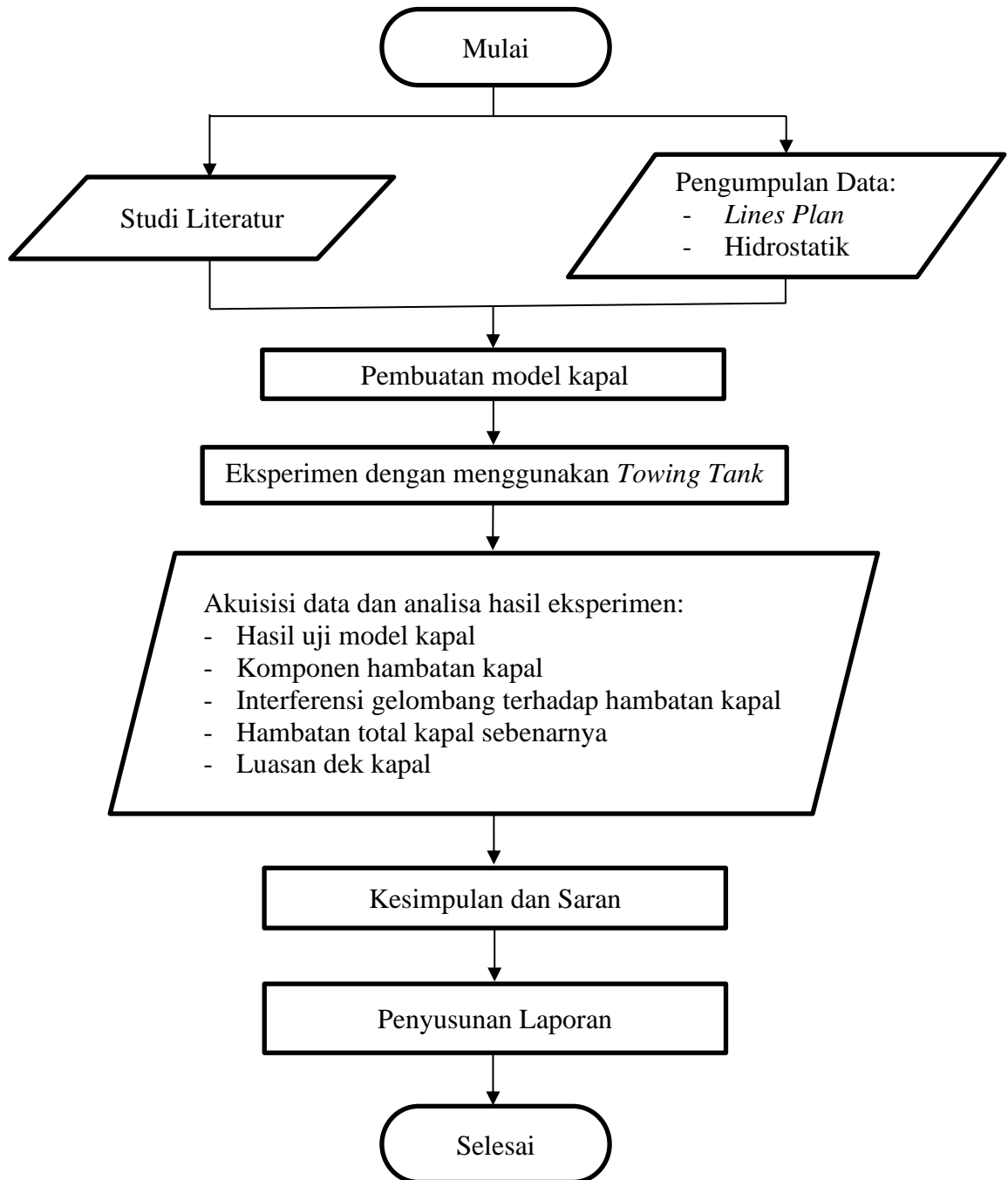
Gambar 2.10 Pola gelombang Kelvin

(Sumber: Manen & Oossanen, 1988)

Interaksi antara gelombang Kelvin bisa jadi bersifat membangun, apabila gelombang bertemu satu sama lain di puncak atau lewat, atau destruktif, ketika gelombang membatalkan satu sama lain sebagian atau sepenuhnya. Untuk keperluan mengurangi hambatan, pola gelombang destruktif lebih baik karena mereka dapat meminimalkan energi yang diberikan dari air ke kapal. Karena lambung sisi dan lambung tengah kapal trimaran membuat gelombang pada posisi memanjang yang berbeda, maka menciptakan efek interferensi gelombang destruktif adalah pekerjaan yang sulit. Aspek lain dari efek interferensi adalah perubahan pada luasan yang terkena air pada lambung individu kapal. Pola gelombang yang diciptakan oleh setiap lambung kapal dapat mengubah luasan area yang terkena air dari lambung lain, mengganggu gelombang gravitasi yang diciptakan oleh masing-masing lambung dan menghancurkan asumsi yang digunakan dalam tes uji hambatan. Ketika beberapa lambung terlibat, perubahan luasan kapal yang terkena air jauh lebih banyak. Aspek ketiga dari efek interferensi gelombang adalah tekanan yang diberikan pada lambung oleh lambung lain. Dengan jarak antar lambung kapal yang berdekatan, air yang mengalir diantara lambung mengalami efek penyumbatan dan dapat mempengaruhi hambatan gesek pada model.

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Tahapan Pengerjaan

3.2.1. Studi Literatur

Sebelum penelitian dimulai dilakukan pengumpulan dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dari berbagai sumber, seperti; jurnal, penelitian sebelumnya, pendapat para ahli, internet dan lain-lain. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini, sedangkan tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan.

3.2.2. Pengumpulan Data

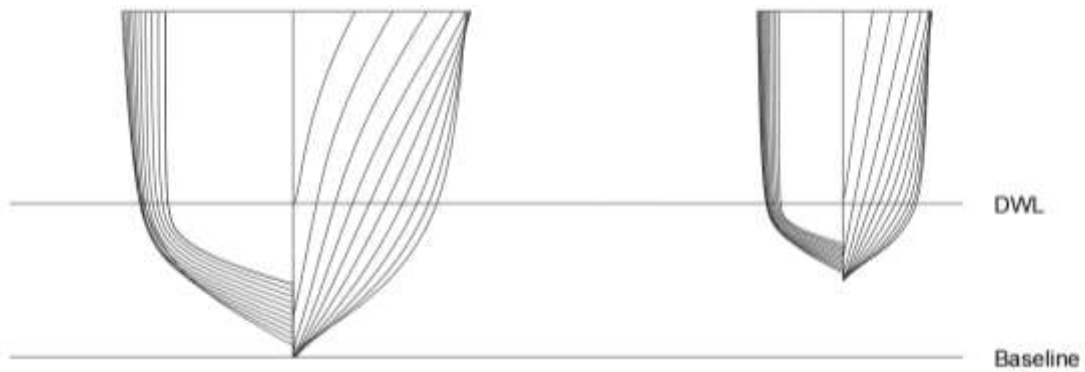
Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah berupa data kapal yang akan dianalisis berkaitan dengan rumusan masalah dan tujuan. Lingkup data yang diperlukan meliputi ukuran utama, *lines plan*, serta data data hidrostatis kapal.

a. Data Kapal

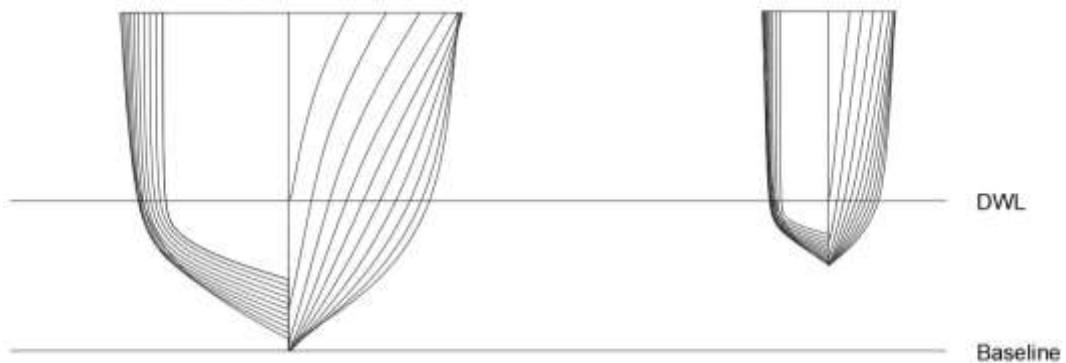
Model kapal yang digunakan untuk pengujian didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hafiz & El-Kot (2012). Data kapal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah data kapal trimaran dengan jenis lambung NPL. Berikut adalah tabel ukuran utama beserta rencana garis kapal.

Tabel 3.1 Data Ukuran Utama Kapal

Trimaran		
Total Δ (ton): 392.0000		
	<i>Main Hull</i>	<i>Side Hull</i>
L _w (m)	50.0000	25.0000
B _w (m)	5.5730	2.7865
T (m)	2.7850	1.3925
WSA (m ²)	211.8380	52.9595
Δ (ton)	313.6000	39.2000



Gambar 3.2 *Body plan* lambung kapal trimaran



Gambar 3.3 *Body plan* lambung kapal pentamaran

Dalam eksperimen perbandingan hambatan total kali ini digunakan batasan nilai displasemen yang sama pada kapal trimaran dan pentamaran. *Main hull* pada trimaran dan pentamaran memiliki nilai displasemen yang sama. Sedangkan, displasemen dari satu *side hull* lambung kapal trimaran memiliki nilai yang sama dengan displasemen dari dua *side hull* lambung pentamaran, Hal ini dilakukan agar kedua jenis kapal memiliki nilai displasemen yang sama. Data ukuran utama *side hull* kapal dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data ukuran utama *side hull* kapal

	<i>Side Hull Trimaran</i>	<i>Side Hull Pentamaran</i>
L_w (m)	25.000	17.000
B_w (m)	2.787	2.200
T (m)	1.393	1.202
WSA (m ²)	52.960	47.725
Δ (ton)	39.200	19.600

3.2.3. Pembuatan Model Kapal

a. Pengolahan Data Kapal

Setelah data kapal trimaran didapatkan, pembuatan desain lambung kapal sisi pentamaran dilakukan. Lambung sisi kapal pentamaran dibuat dengan menggunakan parameter displasemen, sehingga total displasemen dari lambung sisi trimaran memiliki displasemen yang sama dengan total displasemen lambung sisi kapal pentamaran.

b. Konversi ke Skala Model

Konversi bentuk kapal sebenarnya ke bentuk kapal skala dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi dan spesifikasi perangkat yang tersedia di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS.

c. Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji kapal dibuat dengan menggunakan skala yang sudah diperhitungkan sesuai dengan spesifikasi perangkat yang sudah ditentukan sebelumnya.

3.2.4. Eksperimen dengan Menggunakan *Towing Tank*

Dilakukan eksperimen dengan menggunakan *towing tank* untuk memperoleh data hambatan kapal trimaran dan pentamaran dengan variasi-variasi jarak melintank kapal yang telah ditentukan diawal peneliatian.

3.2.5. Akuisisi Perolehan Data dan Analisa

Perolehan data dari hasil eksperimen diolah untuk mendapatkan hubungan antar variabel-variabel yang ada berdasarkan dari hasil pembacaan selama pengujian. Data hasil pengujian tersebut lalu dihitung menggunakan rumus pendekatan untuk mendapat nilai yang dibutuhkan. Hasil dari eksperimen model skala perlu diolah untuk mendapatkan nilai hambatan total dari kapal sebenarnya dengan menggunakan metode *mode-ship correlation line* yang dikeluarkan oleh *International Towing Tank Conference (ITTC-1957)*. Dilakukan analisa perbandingan hambatan pada lambung kapal trimaran dan pentamaran, sehingga dapat diketahui perbandingan dan karakteristik hambatan dari lambung kapal trimaran dan pentamaran.

3.2.6. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan berdasarkan eksperimen uji *towing tank* model kapal trimaran dan pentamaran yang telah dilakukan. Pada tahap ini juga dilakukan pemberian saran untuk

penelitian tentang hambatan kapal trimaran dan pentamaran yang akan dilakukan dikemudian hari.

3.2.7. Penyusunan Laporan

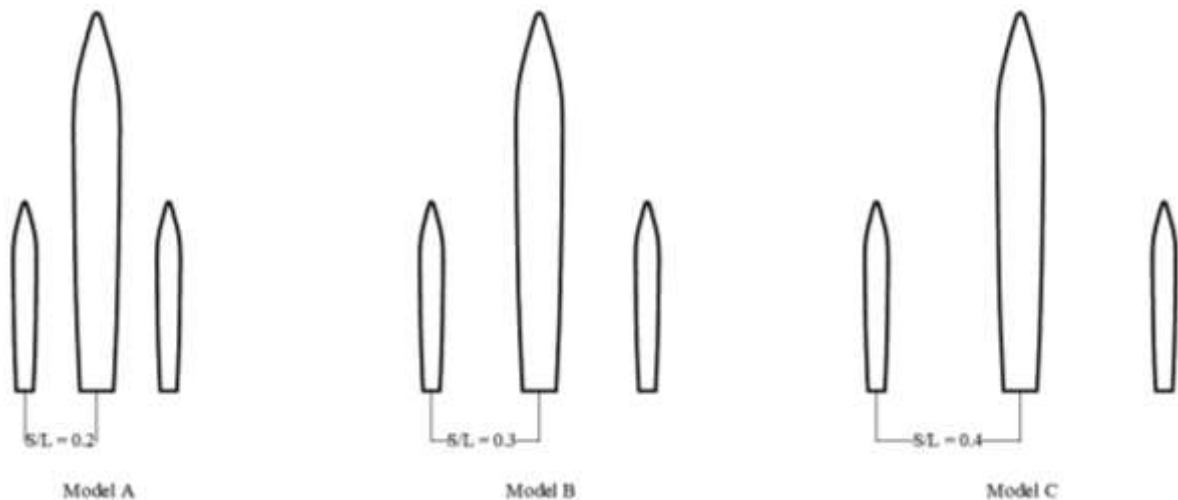
Tahap terakhir pada penelitian ini adalah penyusunan laporan. Laporan dibuat sesuai dengan SOP yang sudah ditentukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 PEMBUATAN MODEL DAN PENGUJIAN

4.1. Penentuan Konfigurasi Trimaran dan Pentamaran

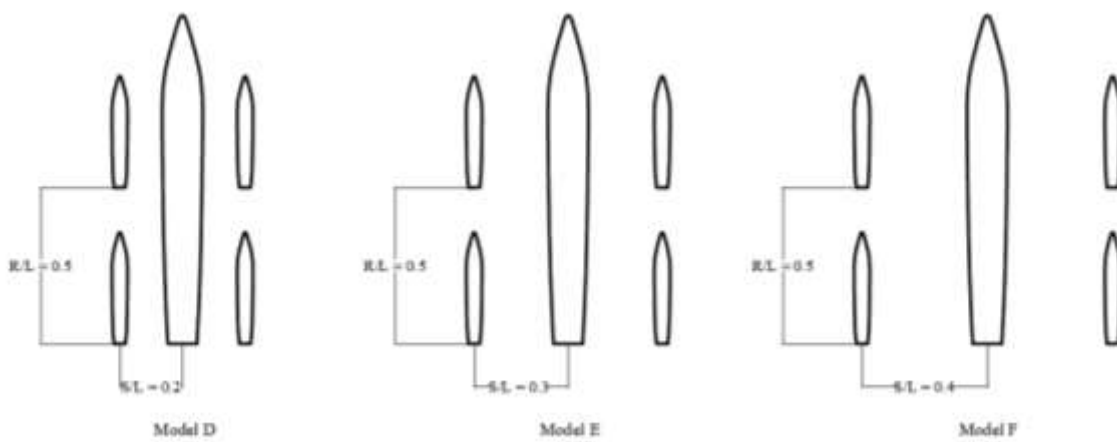
Dengan menggunakan model kapal trimaran yang sudah didapat dari penelitian sebelumnya oleh Hafez & El-kot (2011). Pada tahap ini akan ditentukan konfigurasi kapal trimaran dengan memvariasikan jarak antar lambung secara melintang (S/L). Variasi jarak antar lambung yang akan digunakan pada penelitian kali ini mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Luhulima et al (2016), dimana terdapat empat buah variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) dengan nilai 0.2, 0.3, 0.4, dan 0.5. Namun, pada penelitian kali ini, variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) dengan nilai 0.5 tidak diuji, karena menurut penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, jarak antar lambung secara melintang (S/L) dengan nilai 0.5 memiliki nilai hambatan total hampir sama dengan pada saat trimaran tidak diperhitungkan efek interferensinya. Variasi konfigurasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) trimaran dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Konfigurasi kapal trimaran

Model kapal pentamaran pada penelitian kali ini juga memiliki variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) yang sama dengan variasi jarak antar lambung secara melintang model trimaran. Karena kapal pentamaran memiliki dua buah lambung sisi pada setiap sisinya, maka diperlukan juga pengaturan jarak antar lambung sisi secara memanjang (R/L). Penentuan jarak antar lambung secara memanjang mengacu pada penelitian sebelumnya

oleh Sulistyawati (2019), dimana dilakukan uji hambatan dengan menggunakan konfigurasi lambung sisi sejajar dengan variasi jarak antar lambung sisi secara memanjang (R/L) dengan nilai 0.36, 0.42, dan 0.5. Pada penelitian tersebut variasi jarak antar lambung sisi secara memanjang (R/L) dengan nilai 0.5 diketahui memiliki nilai hambatan paling kecil hampir pada setiap variasi kecepatan. Oleh karena itu, model pentamaran pada penelitian kali ini memiliki jarak antar lambung sisi secara memanjang (R/L) dengan nilai 0.5. Variasi konfigurasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) trimaran dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Konfigurasi kapal pentamaran

4.2. Perhitungan Skala dan Faktor Korelasi Model

Model yang akan dibuat untuk diuji pada kolam uji adalah hasil penskalaan dari kapal skala sebenarnya. Skala yang digunakan pada pembuatan model yang akan diuji adalah perbandingan dari nilai Panjang garis air kapal sebenarnya dan model kapal, dan dinyatakan dengan lamda (λ). Ukuran dari model kapal dibatasi oleh ukuran dari kolam uji, kecepatan motor kereta uji yang tersedia, dan instrumen laboratorium lainnya. Faktor skala kapal sebenarnya dan model kapal dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{L_S}{L_M} \quad (4.1)$$

Sehingga, penskalaan panjang dinyatakan dengan lamda berpangkat satu (λ), penskalaan luas dinyatakan dengan lamda berpangkat dua (λ^2), dan penskalaan volume dinyatakan dengan lamda berpangkat tiga (λ^3). Lamda (λ) yang ditetapkan pada penelitian kali ini bernilai sebesar 62.5. Perbandingan dimensi kapal sebenarnya dan model kapal dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan dimensi kapal sebenarnya dan model kapal

	Kapal Skala Sebenarnya			Model Kapal		
	<i>Main Hull</i>	<i>Side Hull Trimaran</i>	<i>Side Hull Pentamaran</i>	<i>Main Hull</i>	<i>Side Hull Trimaran</i>	<i>Side Hull Pentamaran</i>
L _w (m)	50.000	25.000	17.000	0.8000	0.4000	0.2720
B _w (m)	5.573	2.787	2.200	0.0892	0.0446	0.0352
T (m)	2.785	1.393	1.202	0.0446	0.0223	0.0192
WSA (m ²)	211.838	52.960	47.725	0.0542	0.0136	0.0122
Δ (ton)	313.600	39.200	19.600	0.001285	0.000161	0.000080

4.3. Perhitungan Kebutuhan Voltase Motor Kereta Uji

Model yang diuji digerakan dengan menggunakan kereta uji tarik yang berada di atas kolam uji. Kereta uji tarik ini digerakan dengan menggunakan empat buah motor listrik. Putaran motor listrik yang dihasilkan oleh motor listrik bergantung pada voltase yang diberikan. Hasil pengukuran dan kalibrasi yang dilakukan oleh laboratorium menunjukkan bahwa apabila motor listrik diberikan tegangan sebesar 2.5 Volt, maka akan menghasilkan kecepatan sebesar 1 m/s pada kereta uji. Model diuji pada lima variasi kecepatan, yaitu pada Froude Number 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, dan 0.6. Sehingga kebutuhan voltase motor pada masing-masing kecepatan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kebutuhan voltase motor

Fr	Kecepatan Model (m/s)	Voltase (Volt)
0.2	0.56	1.4
0.3	0.84	2.1
0.4	1.12	2.8
0.5	1.40	3.5
0.6	1.68	4.2

4.4. Pembuatan Model Kapal

4.4.1. Lokasi Pembuatan

Proses pembuatan model kapal trimaran dan pentamaran yang akan diuji dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pembuatan cetakan positif dari model kapal dilakukan menggunakan *printer* tiga dimensi, proses pembuatan dilakukan di penyedia jasa cetak tiga dimensi, Tridiku, Surabaya, dan pembuatan *station* model kapal dilakukan menggunakan mesin *laser cutting*, proses *laser cutting* dilakukan di penyedia jasa *laser cutting*, Indonesia Creative Hobby Waru, Surabaya.

4.4.2. Bahan dan Peralatan

Proses pembuatan model kapal dibagi menjadi dua fase, yaitu pembuatan cetakan dan pembuatan model kapal. Pada sub bab ini akan dijabarkan bahan-bahan dan peralatan apa saja yang digunakan dalam pembuatan model kapal yang akan diuji.

a. Bahan

Berikut ini adalah bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan cetakan model kapal dan model kapal.

Tabel 4.3 Bahan pembuatan cetakan dan model kapal

Bahan			
No.	Material	Kuantitas	Satuan
Cetakan Model Kapal			
1	Filamen cetak 3D	3	kg
2	Dempul/ <i>plastic filler</i>	4	Kaleng @250 gr
3	Semen	2	sak
4	Triplek 3mm	1	lembar 2.4 m x 1.2 m
5	Pelumas/ <i>release agent</i>	1	botol @120 ml
6	Cat semprot dasar/ <i>surfacer</i>	3	botol @300 ml
7	Cat semprot putih	3	botol @300 ml
8	Papan Kayu	2	2 m x 1 m
Model Kapal			
1	Pelumas/ <i>release agent</i>	1	botol @120 ml
2	Dempul/ <i>plastic filler</i>	4	Kaleng @250 gr
3	Cat semprot dasar/ <i>surfacer</i>	5	botol @300 ml
4	Cat semprot putih	5	botol @300 ml
5	Cat semprot kuning	5	botol @300 ml
6	Serat <i>fiberglass</i>	3	lembar 3 m x 1 m
7	Resin	6	liter
8	Triplek 3mm	1	lembar 2.4 m x 1.2 m
9	Kertas amplas	2	lembar

b. Peralatan

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan pada proses pembuatan cetakan model kapal dan model kapal.

Tabel 4.4 Peralatan pembuatan cetakan dan model kapal

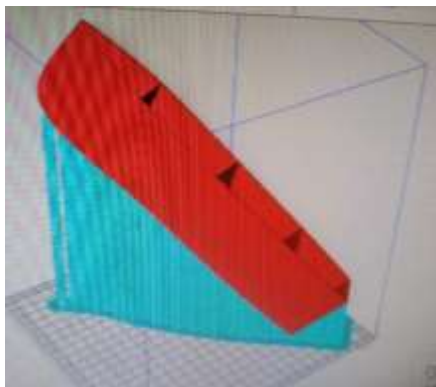
Peralatan			
No.	Material	Kuantitas	Satuan
Cetakan dan Model Kapal			
1	Gerinda	1	buah
2	Kertas amplas	10	lembar
3	Bor	1	buah
4	<i>Cutter</i>	2	buah

4.4.3. Proses Pembuatan Model Kapal

Proses pembuatan model kapal untuk pengujian kali ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu pembuatan cetakan model, pembuatan model kapal. Model kapal pada penelitian kali ini dibuat dengan menggunakan bahan *fiberglass* guna mencapai target displasemen dari model kapal yang cukup ringan.

a. Pembuatan cetakan model kapal

Cetakan model kapal diperlukan untuk mencetak model kapal yang akan digunakan untuk penelitian ini. Tahapan pertama yang dilakukan adalah dengan membuat cetakan positif model kapal atau *positive molding* kapal. Cetakan positif dari model kapal ini dibuat dengan menggunakan mesin cetak tiga dimensi. Sebelum melakukan cetak tiga dimensi, perlu disiapkan *file* yang akan dicetak. *File* yang akan dicetak dipersiapkan dengan *software* desain tiga dimensi. Setelah dilakukan pengecekan dimensi, dilakukan proses pencetakan tiga dimensi.



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Persiapan cetak tiga dimensi pada *software* desain tiga dimensi; (b) Hasil cetak tiga dimensi model kapal

Setelah model kapal dicetak, tahap selanjutnya adalah membuat model hasil cetak tiga dimensi menjadi halus, dengan cara mengisi rongga-rongga yang ada pada model dengan menggunakan dempul atau *plastic filler*.



Gambar 4.4 Proses pengisian rongga menggunakan dempul

Model kapal yang telah didempul kemudian dihaluskan dengan menggunakan kertas gosok agar model menjadi halus. Setelah halus, model diberi cat agar model menjadi licin, sehingga proses pembuatan kapal menjadi lebih mudah. Kemudian setelah model kapal selesai dibuat maka dapat dilakukan pembuatan cetakan model kapal, dengan menggunakan semen agar cetakan dapat dipakai berkali-kali.



(a)



(b)

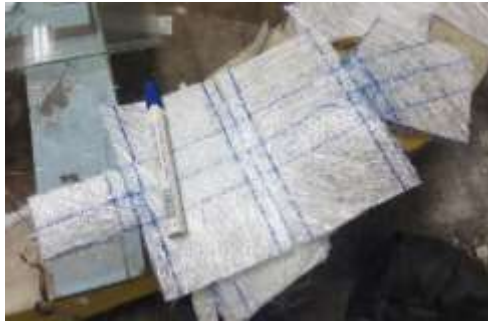


(c)

Gambar 4.5 (a) Proses persiapan cetakan sebelum disemen; (b) Proses penuangan semen; dan (c) Cetakan yang sudah kering

b. Pembuatan model kapal

Model kapal pada penelitian kali ini dibuat menggunakan bahan serat *fiberglass*, guna memenuhi displasemen model kapal yang cukup ringan. Tahap pertama dalam proses pembuatan model kapal adalah dengan membuat pola serat *fiberglass* berdasarkan dengan bentuk model kapal yang akan dibuat. Oleskan pelumas pada cetakan, yang berfungsi sebagai alat bantu untuk melepas model *fiberglass* dari cetakan. Masukkan serat *fiberglass* ke dalam cetakan dan oleskan resin pada serat *fiberglass* dengan menggunakan kuas.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 (a) Pola serat *fiber glass*; (b) Taruh serat *fiberglass* pada cetakan; (c) Hasil yang sudah diambil dari cetakan

Setelah model kapal yang terbuat dari serat *fiberglass* mengering maka model kapal dapat dicabut dari cetakan. Model kapal yang telah dicabut memiliki rongga-rongga udara yang perlu diisi dengan menggunakan dempul atau *plastic filler*, dan permukaan dari model yang masih kasar mengharuskan perlunya dilakukan penghalusan dengan menggunakan kertas gosok hingga nilai kehalusan 400, agar dapat memenuhi prosedur dan panduan yang diberikan oleh ITTC. Model kapal yang sudah halus kemudian diberi cat dasar *surfacer* lalu diberi cat dat dasar putih, dan diberi pelapis cat berwarna kuning.



(a)



(b)

Gambar 4.7 (a) Pemberian cat dasar *surfacer*; (b) Pemberian cat dasar warna putih

Dilakukan penggambaran garis air pada lambung kapal. Agar model kapal dapat membentuk konfigurasi trimaran maupun pentamaran, *main hull* model kapal perlu

dihubungkan dengan *side hull* kapal. Sebagai penghubung antara *main hull* dan *side hull* pada penelitian kali ini digunakan balok alumunium berongga karena massanya yang ringan. Balok alumunium berongga ditempatkan diatas dek model kapal yang sudah ditempelkan pada lambung model kapal.



(a)



(b)

Gambar 4.8 (a) Pemberian garis air pada model kapal; (b) Pemasangan balok alumunium berongga pada model lambung kapal

Tahap terakhir dalam pembuatan model kapal adalah melakukan *finishing*. Proses *finishing* yang dilakukan adalah memberi stiker nama dan *station* dari satu sampai sepuluh sesuai dengan aturan ITTC pada model kapal. Kemudian pada bagian depan setiap lambung model kapal diberi *turbulence stimulator*, lebih tepatnya pada jarak 0.05 LPP dari FP kearah belakang model kapal. *Turbulence stimulator* berfungsi untuk menstimulasikan arus turbulen disekitar model kapal. Pada bagian buritan dan haluan kapal masing-masing dipasang *holder*. *Holder* tersebut berfungsi sebagai dudukan dari poros pengarah yang terhubung dengan kereta tarik.



(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Model lambung kapal yang sudah terhubung balok alumunium berongga; (b) Pemasangan *holder*, *turbulence stimulator*, dan stiker station

4.5. Pengujian Model Kapal

4.5.1. Lokasi Pengujian

Proses Pengujian model kapal trimaran dan pentamaran dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada Laboratorium ini, terdapat kolam uji Tarik yang memiliki dimensi ukuran panjang, lebar, dan kedalaman berturut-turut 50 meter, 3 meter, dan 2 meter. Laboratorium ini telah dilengkapi dengan sertifikasi yang dilakukan oleh *International Towing Tank Conference* pada tahun 1993.



(a)



(b)

Gambar 4.10 (a) Kolam uji tarik; (b) Kereta motor listrik

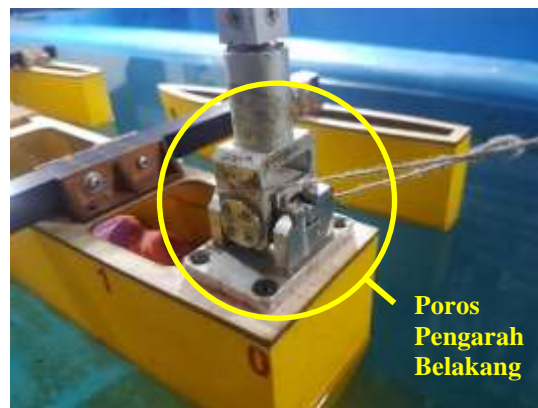
4.5.2. Pemasangan Model Kapal pada Kereta Uji

Sesudah model kapal selesai dipersiapkan, model kapal kemudian ditempatkan di kolam uji. Model kapal kemudian diberi pemberat atau *ballast* sesuai dengan garis air yang sudah digambar. Pemberat yang digunakan pada model kapal adalah berupa lilin atau malam dan pemberat besi dengan berat mulai dari 100 gram sampai dengan 300 gram. Distribusi penempatan pemberat disesuaikan agar kondisi model kapal menjadi *even keel*.



Gambar 4.11 Penempatan *ballast* pada model kapal

Setelah kondisi model kapal sudah *even keel*, model kapal kemudian holder pada bagian haluan dan buritan model kapal dihubungkan dengan poros dihubungkan dengan poros pengarah yang terhubung dengan kereta uji. Kondisi poros pengarah harus membentuk sudut 90 derajat pada saat kondisi model kapal di air tenang. Poros pengarah berfungsi untuk mengarahkan gerak kapal agar tetap pada jalurnya. Selain poros pengarah, pada bagian di daerah *midship* model kapal diikat kepada *loadcell* dengan tali serat sintetis guna membaca berapa gaya yang dibutuhkan untuk menarik model kapal.




Gambar 4.12 Poros pengarah

4.5.3. Kalibrasi *Loadcell*

Model kapal dihubungkan dengan *loadcell* menggunakan tali serat sintetis dan hendaknya dipasang pada bagian titik berat kapal. *Loadcell* berfungsi untuk membaca hambatan model kapal kearah gerak translasi model kapal. Hasil pembacaan *loadcell* adalah berupa sinyal elektrik yang selanjutnya diperkuat sinyalnya oleh *amplifier* dan akan tercatat pada *strip chart recorder*. Spesifikasi *loadcell* yang digunakan di Laboratorium Hidrodinamika, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember adalah sebagai berikut

Tabel 4.5 Spesifikasi *loadcell*

Pembuat <i>loadcell</i>	 Hottinger Baldwin Messtechnik
<i>Rated Load</i>	2 kg
<i>Rated Output</i>	2 mV/V
F. Nr.	B34960

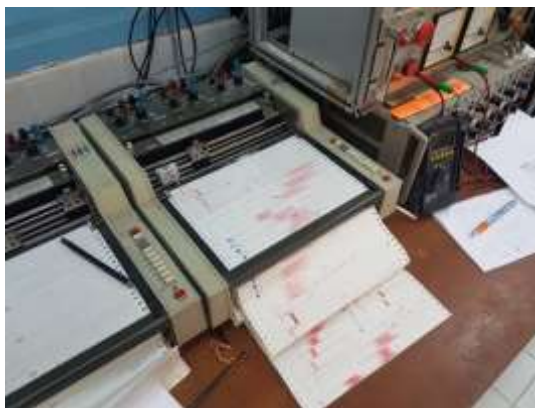
Nilai dari *rated load* menunjukkan bahwa beban maksimum yang dapat diukur oleh *loadcell* adalah 2 kg. Sementara *rated output* adalah perbedaan pada saat *loadcell* diberi tidak diberi beban dan pada saat *loadcell* diberi *rated load* atau beban maksimum. Hal ini

menunjukkan bahwa *loadcell* akan bekerja dengan baik apabila diberi tegangan eksitasi sebesar 2 Volt dengan kemampuan pembacaan *loadcell* dari 0 kg sampai 2 kg.



Gambar 4.13 *Loadcell* yang diikat pada tali

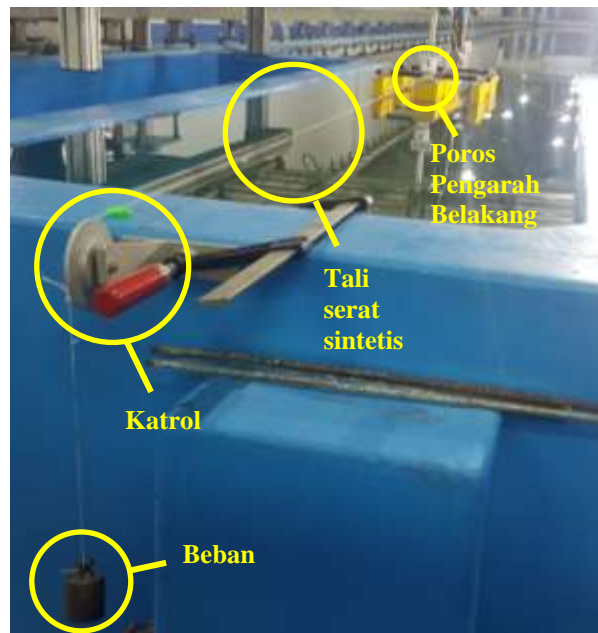
Hasil pembacaan dari *loadcell* kemudian diperkuat sinyalnya dengan menggunakan *amplifier* dan disalurkan ke *strip chart recorder*. *Strip chart recorder* adalah perangkat elektromekanikal yang akan menggambarkan hasil dari sinyal listrik yang terbaca oleh *loadcell*. Skala voltase penggambaran pada *strip chart recorder* dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian kali ini digunakan rentang voltase 0.5 Volt, dimana artinya adalah setiap 100 kotak pada kertas blok yang digunakan bernilai 0.5 Volt.



Gambar 4.14 *Strip chart recorder*

Proses kalibrasi *loadcell* dilakukan pada kondisi air tenang, dengan menghubungkan poros pengarah belakang kapal dengan tali serat sintetis yang pada ujungnya lainnya terhubung dengan beban berupa anak timbangan. Tali tersebut kemudian ditempatkan pada katrol yang sebelumnya sudah ditempatkan diujung kolam uji, dan anak timbangan dibiarkan menggantung bebas, *Strip chart recorder* kemudian akan menggambarkan hasil pembacaan. Perbandingan

harga massa sebenarnya dari beban dan harga massa yang terbaca pada *strip chart recorder* akan menjadi acuan dalam pembacaan dat uji Tarik.



Gambar 4.15 Kalibrasi model kapal

4.5.4. Pengujian

Pengujian pada penelitian kali ini dilakukan sebanyak 45 kali, dengan sembilan variasi model kapal dan lima variasi kecepatan model. Kode alfabetis diberikan untuk setiap variasi melintang model kapal. Variasi pengujian model tersebut sudah termasuk lambung kapal (*main hull*, *side hull trimaran*, dan *side hull pentamaran*) yang diuji secara individu guna mendapatkan data interferensi gelombang yang terjadi pada kapal. Variasi model kapal dan kecepatan kapal dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Variasi model kapal yang diuji

Kode	Keterangan
Model A	Trimaran 0.2 S/L
Model B	Trimaran 0.3 S/L
Model C	Trimaran 0.4 S/L
Model D	Pentamaran 0.2 S/L
Model E	Pentamaran 0.3 S/L
Model F	Pentamaran 0.4 S/L
Model MH	Main Hull
Model SHT	Side Hull Trimaran
Model SHP	Side Hull Pentamaran

Tabel 4.7 Variasi kecepatan kapal dan kebutuhan voltase motor listrik

No	Fr	Kecepatan Kapal Sebenarnya (m/s)	Kecepatan Kapal Skala Sebenarnya (kn)	Kecepatan Model Kapal (m/s)	Voltase (V)
1	0.2	4.43	8.61	0.56	1.40
2	0.3	6.64	12.91	0.84	2.10
3	0.4	8.85	17.21	1.12	2.80
4	0.5	11.07	21.51	1.40	3.50
5	0.6	13.28	25.82	1.68	4.20

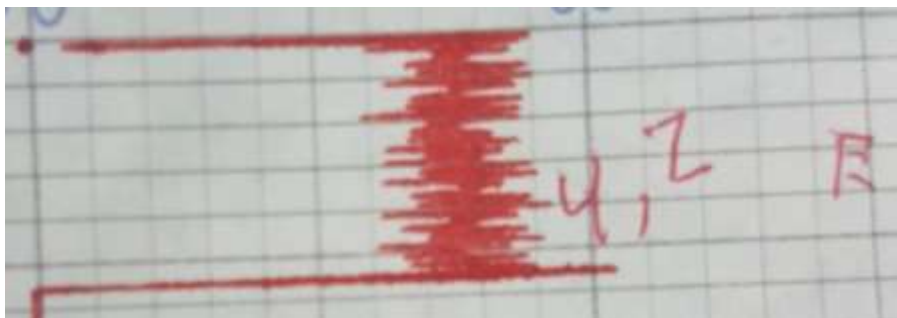
Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan seluruh pengujian adalah tujuh hari. Pengujian dilakukan mulai dari 18 November 2019 sampai dengan 5 Desember 2019. Pengujian berlangsung sekitar 8-12 jam kerja. Tanggal pelaksanaan pengujian setiap model kapal dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tanggal pelaksanaan pengujian

Pengujian	Tanggal Pelaksanaan Pengujian	Urutan
Model A	Senin, 18 November 2019	3
Model B	Senin, 18 November 2019	2
Model C	Jumat, 15 November 2019	1
Model D	Rabu, 20 November 2019	4
Model E	Rabu, 20 November 2019	5
Model F	Kamis, 21 November 2019	6
Model MH	Jumat, 29 November 2019	7
Model SHT	Senin, 2 Desember 2019	8
Model SHP	Kamis, 5 Desember 2019	9

4.6. Pengambilan Data

Pembacaan data dilakukan dengan visual dengan melihat pada hasil pencatatan *strip chart recorder*. Hasil pencatatan *strip chart recorder* berbentuk grafik simpangan yang terdiri dari puncak dan lembah. Nilai dari hambatan total dari model kapal dapat diketahui dengan mencari nilai simpangan kurva pada semua titik puncak dan lembah.



Gambar 4.16 Simpangan *chart recorder* pada pengujian model E

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisa Hambatan Hasil Uji Model Kapal

Model uji trimaran dan pentamaran diuji dengan konfigurasi jarak antar lambung secara melintang (S/L). Pengujian hambatan trimaran dan pentamaran dilakukan di kolam uji hidrodinamika (*towing tank*) Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada kecepatan bilangan Froude (Fr) 0.2 sampai dengan 0.6 dengan tiga konfigurasi jarak antar lambung yang berbeda pada arah melintang (*clearence*, S/L). Setelah melakukan uji hambatan, pada subbab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan hasil dari pengujian.

5.1.1. Hambatan Total Model Kapal

Hasil Pembacaan *strip chart recorder* digunakan untuk mengetahui nilai dari hambatan total model kapal trimaran dan pentamaran. Menggunakan metode yang dijelaskan di subbab 4.6. Pada poin ini akan dibahas perbandingan hambatan total R_{TM} untuk 30 buah variasi pengujian. Nilai hambatan hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil nilai hambatan pada pengujian model kapal

Fr	V Model (m/s)	Hambatan Pengujian Model (N)							
		Trimaran				Pentamaran			
		Model A	Model B	Model C	NI	Model D	Model E	Model F	NI
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	Trimaran	0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	Pentamaran
0.2	0.56	0.147	0.135	0.132	0.124	0.153	0.146	0.139	0.136
0.3	0.84	0.386	0.361	0.354	0.345	0.464	0.458	0.439	0.374
0.4	1.12	0.669	0.665	0.660	0.619	0.722	0.720	0.694	0.666
0.5	1.40	1.288	1.128	1.057	1.051	1.264	1.241	1.226	1.122
0.6	1.68	1.580	1.447	1.437	1.323	1.668	1.575	1.542	1.399

Nilai hambatan yang telah didapatkan dapat digunakan untuk membandingkan nilai hambatan total model kapal trimaran (Model A, Model B, Model C, *Non-Interference* Trimaran) dan model kapal pentamaran (Model D, Model E, Model F, *Non-Interference* Pentamaran). Nilai hambatan tersebut dapat pula digambarkan sebagai kurva terhadap bilangan Froude dan dibandingkan sesuai dengan jarak antar lambung yang sama.

5.1.2. Koefisien Hambatan Model Kapal

Desainer kapal, insinyur dan ilmuwan, menggunakan koefisien tak berdimensi untuk menggambarkan performa suatu sistem atau membandingkan satu sistem dengan sistem lainnya. Digunakan beragam koefisien tak berdimensi untuk menggambarkan desain dan performa lambung kapal. Koefisien tak berdimensi memperkenankan desainer kapal untuk membandingkan data uji hambatan model dengan data kapal sebenarnya, atau untuk membandingkan performa beberapa tipe kapal (Manen & Oossanen, 1988).

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho_M V^2 S_M} \quad (5.1)$$

Tabel 5.2 Koefisien hambatan total model kapal

Fr	V Model (m/s)	Koefisien Hambatan Total (C_{TM}) Model Kapal							
		Trimaran				Pentamaran			
		Model A	Model B	Model C	NI Trimaran	Model D	Model E	Model F	NI Pentamaran
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	
0.2	0.56	0.0074	0.0068	0.0067	0.0063	0.0074	0.0070	0.0067	0.0065
0.3	0.84	0.0087	0.0081	0.0079	0.0077	0.0099	0.0097	0.0094	0.0080
0.4	1.12	0.0084	0.0084	0.0083	0.0078	0.0087	0.0086	0.0083	0.0080
0.5	1.40	0.0104	0.0091	0.0085	0.0085	0.0097	0.0095	0.0094	0.0086
0.6	1.68	0.0089	0.0081	0.0081	0.0074	0.0089	0.0084	0.0082	0.0074

Tahap selanjutnya adalah menentukan koefisien hambatan gesek dari model kapal C_{FM} menggunakan ITTC-1957 *model-ship correlation line*. Persamaan koefisien hambatan gesek adalah sebagai berikut:

$$C_{FM} = \frac{0.075}{(\log_{10}(R_{eM}) - 2)^2} \quad (5.2)$$

dimana:

$$R_{eM} = \frac{V_M L_M}{\nu_M} \quad (5.3)$$

Tabel 5.3 Koefisien hambatan gesek model kapal

Fr	V Model (m/s)	Koefisien Hambatan Gesek (C_{FM}) Model Kapal			
		Trimaran	Pentamaran	NI Trimaran	NI Pentamaran
0.2	0.56	0.0054	0.0054	0.0058	0.0060
0.3	0.84	0.0049	0.0049	0.0052	0.0055
0.4	1.12	0.0046	0.0046	0.0049	0.0051
0.5	1.40	0.0044	0.0044	0.0047	0.0049
0.6	1.68	0.0043	0.0043	0.0045	0.0047

Koefisien hambatan gesek C_F pada lambung model kapal individual dihitung dengan menggunakan pendekatan yang sedikit berbeda dari perhitungan C_F pada umumnya. Koefisien hambatan gesek C_F pada lambung individual dapat diperoleh dengan persamaan (5.4) untuk trimaran dan persamaan (5.5) untuk pentamaran (Khan, et al., 2013).

$$C_F = C_{F \text{ MAIN}} \left(\frac{S_{\text{MAIN}}}{S_T} \right) + C_{F \text{ SIDE}} \left(\frac{2 \cdot S_{\text{SIDE}}}{S_T} \right) \quad (5.4)$$

$$C_F = C_{F \text{ MAIN}} \left(\frac{S_{\text{MAIN}}}{S_P} \right) + C_{F \text{ SIDE}} \left(\frac{4 \cdot S_{\text{SIDE}}}{S_P} \right) \quad (5.5)$$

Setelah didapatkan nilai koefisien hambatan gesek C_{FM} maka dapat dicari koefisien hambatan residu C_R dengan menggunakan persamaan yang menjelaskan hubungan antara C_R dan C_{FM} , yaitu dengan persamaan

$$C_R = C_{TM} - C_{FM} \quad (5.6)$$

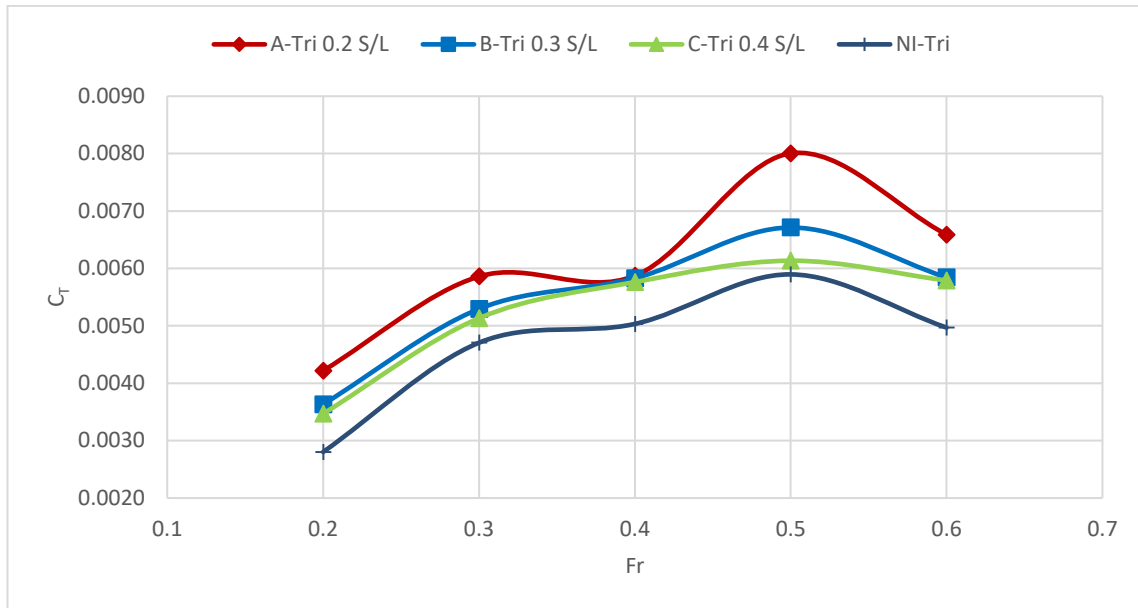
Nilai C_R pada setiap variasi pengujian trimaran, pentamaran, dan lambung tanpa interferensi gelombang ditampilkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Koefisien hambatan residu model kapal trimaran

Fr	V Model (m/s)	Koefisien Hambatan Residu (C_{RM}) Model Kapal							
		Trimaran				Pentamaran			
		Model A	Model B	Model C	NI Trimaran	Model D	Model E	Model F	NI Pentamaran
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	
0.2	0.56	0.00198	0.00140	0.00123	0.00050	0.00193	0.00159	0.00124	0.00050
0.3	0.84	0.00372	0.00316	0.00299	0.00251	0.00495	0.00481	0.00442	0.00250
0.4	1.12	0.00380	0.00375	0.00369	0.00290	0.00402	0.00399	0.00368	0.00286
0.5	1.40	0.00598	0.00469	0.00411	0.00382	0.00527	0.00510	0.00498	0.00374
0.6	1.68	0.00460	0.00385	0.00380	0.00293	0.00462	0.00413	0.00395	0.00278

5.2. Pengaruh Interferensi Gelombang Terhadap Hambatan Total Trimaran

Nilai koefisien hambatan total (C_T) kapal trimaran berdasarkan hasil uji yang sudah dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 5.1, nilai koefisien hambatan total (C_T) semakin bertambah seiring dengan berkurangnya jarak *clearance* (S/L).



Gambar 5.1 Grafik koefisien hambatan total (C_T) trimaran

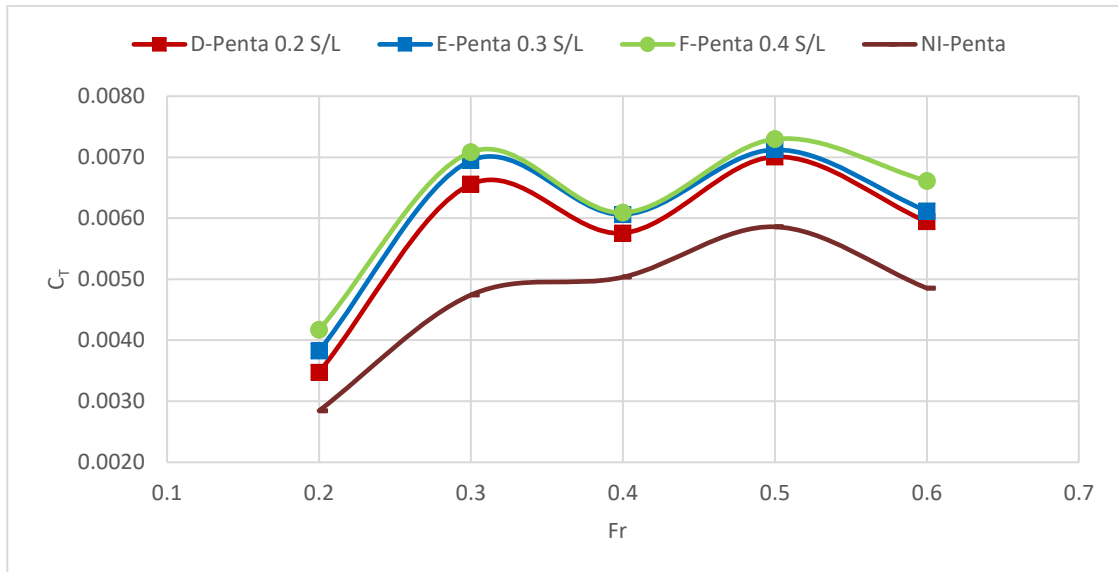
Hal ini dikarenakan oleh semakin besarnya interaksi antar gelombang yang terjadi. Pertambahan nilai koefisien hambatan total (C_T) dari interaksi antar gelombang ini dapat diketahui dengan membandingkan nilai koefisien hambatan total (C_T) kapal trimaran dengan jarak *clearance* (S/L) tertentu dengan nilai hambatan total kapal trimaran tanpa interferensi gelombang. Besarnya presentase pertambahan koefisien hambatan total (C_T) trimaran dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Presentase Pertambahan Koefisien Hambatan Total Trimaran

Fr	Pertambahan Nilai Koefisien Hambatan Total (C_T) Trimaran		
	Model A	Model B	Model C
0.2	50.53%	29.62%	23.81%
0.3	24.53%	12.52%	9.09%
0.4	16.64%	15.81%	14.49%
0.5	35.77%	13.85%	4.04%
0.6	32.57%	17.58%	16.51%

5.3. Pengaruh Interferensi Gelombang Terhadap Hambatan Total Pentamaran

Nilai koefisien hambatan total (C_T) kapal pentamaran berdasarkan hasil uji yang sudah dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 5.2, nilai koefisien hambatan total (C_T) semakin bertambah seiring dengan berkurangnya jarak *clearance* (S/L).



Gambar 5.2 Grafik koefisien hambatan total (C_T) pentamaran

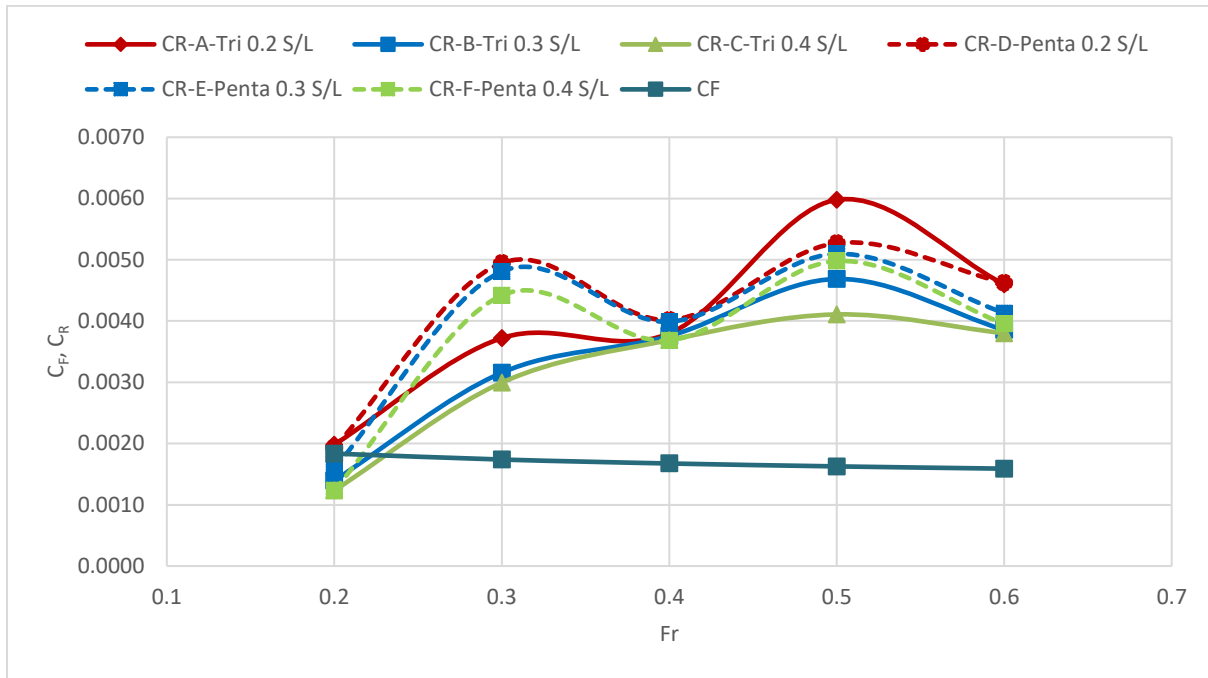
Hal ini dikarenakan oleh semakin besarnya interaksi antar gelombang yang terjadi. Pertambahan nilai koefisien hambatan total (C_T) dari interaksi antar gelombang ini dapat diketahui dengan membandingkan nilai hambatan total kapal pentamaran dengan jarak *clearance* (S/L) tertentu dengan nilai hambatan total (C_T) kapal pentamaran tanpa interferensi gelombang. Besarnya presentase pertambahan koefisien hambatan total (C_T) trimaran dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Presentase Pertambahan Koefisien Hambatan Total Pentamaran

Fr	Pertambahan Nilai Koefisien Hambatan Total (C_T) Pentamaran		
	Model D	Model E	Model F
0.2	46.58%	34.55%	22.19%
0.3	49.38%	46.45%	38.25%
0.4	20.99%	20.40%	14.34%
0.5	24.54%	21.56%	19.57%
0.6	36.23%	26.06%	22.45%

5.4. Analisa Perbedaan Grafik Trimaran dan Pentamaran

Pengaruh dari interferensi gelombang terhadap koefisien hambatan total kapal (C_T) telah dibahas pada subbab 5.2 dan 5.3. Dapat disimpulkan bahwa baik pada kapal trimaran maupun pentamaran nilai koefisien hambatan total kapal (C_T) akan semakin meningkat seiring dengan semakin berkurangnya jarak *clearance* (S/L).



Gambar 5.3 Komponen koefisien hambatan total kapal

Presentase pertambahan dari nilai koefisien hambatan total (C_T) pada kapal trimaran dan pentamaran memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan bentuk dan susunan dari *side-hull* kapal trimaran dan pentamaran. Pada kapal trimaran terjadi interaksi gelombang yang dihasilkan oleh satu buah *main hull* dan dua buah *side-hull*, sedangkan pada kapal pentamaran terjadi interaksi gelombang yang dihasilkan oleh satu buah *main hull* dan empat buah *side-hull*, hal ini dapat mempengaruhi nilai dari koefisien hambatan residu (C_R). Seperti yang terlihat pada Gambar 5.3, nilai koefisien hambatan residu (C_R) yang dimiliki kapal pentamaran memiliki nilai yang relatif lebih besar dari milik kapal trimaran, hal ini dikarenakan oleh hambatan yang dihasilkan oleh kapal pentamaran bernilai lebih besar. Perbedaan presentase pertambahan dari nilai koefisien hambatan total (C_T) juga dipengaruhi oleh perbedaan *wetted surface area*. Lambung kapal pentamaran pada penelitian kali ini memiliki *wetted surface area* 5.18% lebih besar dari *wetted surface area* yang dimiliki lambung kapal trimaran, hal ini menyebabkan lambung kapal pentamaran memiliki nilai koefisien hambatan gesek (C_F) yang lebih besar dari kapal trimaran.

5.5. Interferensi Hambatan Gelombang

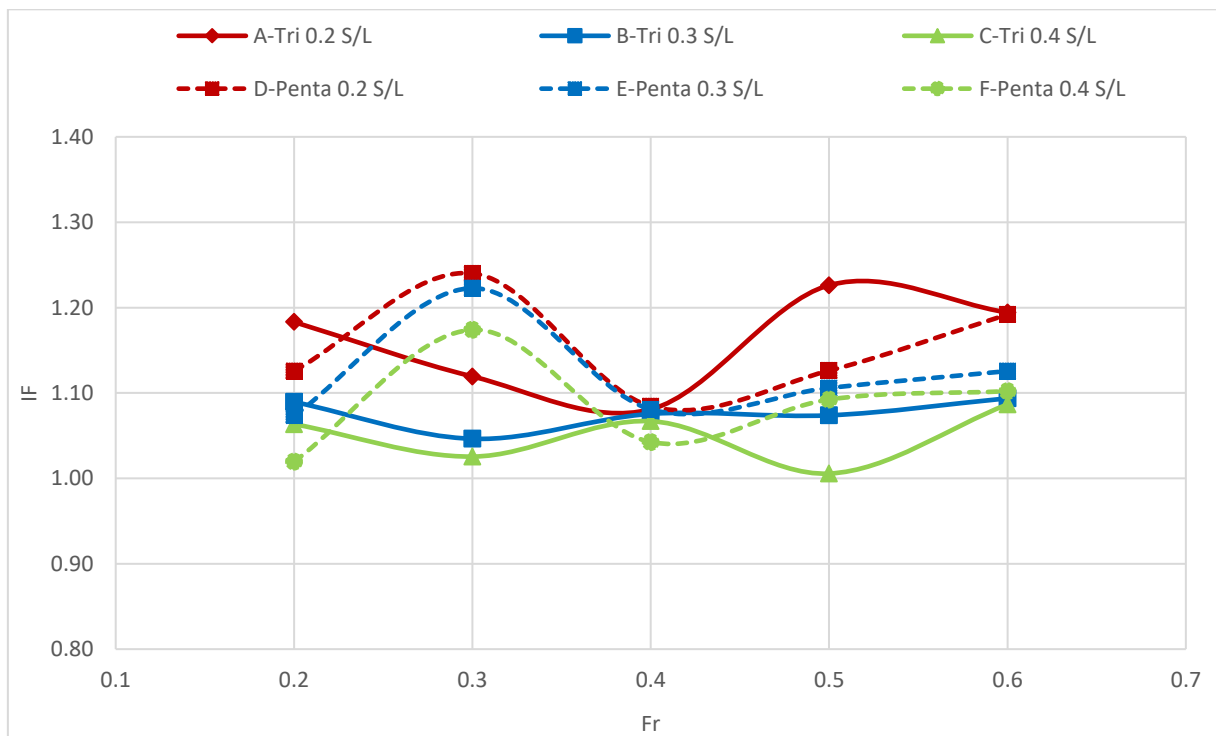
Nilai hambatan dari kapal trimaran dapat dihitung dengan menghitung hambatan masing-masing lambung (*main hull* dan *side-hull*). Namun, ketika ketiga lambung dikonfigurasi membentuk lambung trimaran maka akan menghasilkan nilai hambatan yang berbeda. Hasil Eksperimen memperlihatkan adanya faktor interferensi hambatan terhadap

perubahan jarak secara melintang (S/L). Faktor interferensi ini dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan berikut ini (Luhulima et al, 2016):

$$IF = \frac{R_{T2}}{R_{T1}} \quad (5.7)$$

Tabel 5.7 Faktor interferensi hambatan kapal

Fr	v Model (m/s)	Faktor Interferensi (IF) Model Kapal					
		Trimaran			Pentamaran		
		Model A	Model B	Model C	Model D	Model E	Model F
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	0.4 S/L	0.3 S/L	0.2 S/L
		WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)
		=	=	=	=	=	=
		0.126857			0.133541		
0.2	0.56	1.183168	1.089519	1.063488	1.125790	1.073377	1.019582
0.3	0.84	1.119419	1.046375	1.025516	1.240121	1.222696	1.173956
0.4	1.12	1.080881	1.075536	1.066986	1.084479	1.080772	1.042565
0.5	1.40	1.226204	1.073854	1.005653	1.126203	1.105933	1.092364
0.6	1.68	1.194285	1.093801	1.086618	1.191940	1.125695	1.102127



Gambar 5.4 Grafik Interferensi Gelombang Kapal

Dapat dilihat pada Gambar 5.4, bahwa faktor interferensi baik pada lambung trimaran dan lambung pentamaran bersifat fluktuatif, tidak stagnan mengalami kenaikan ataupun penurunan. Keduanya mengalami penurunan faktor interferensi pada bilangan Froude 0.4. Nilai

faktor interferensi pada setiap konfigurasi lambung semakin tinggi apabila nilai *clearence* S/L semakin kecil.

Interferensi hambatan yang terjadi pada lambung katamaran ditimbulkan oleh adanya perbedaan kecepatan aliran disekitar lambung sisi berupa gelombang yang ditimbulkan (Insel & Molland, 1992). Hal ini juga terjadi pada penelitian tentang trimaran dan pentamaran dimana terjadi interferensi akibat aliran dan gelombang disekitar lambung kapal. Hasil dari pengujian ini dapat dijadikan acuan untuk mendesain kapal trimaran dan pentamaran.

5.6. Hambatan Total Kapal Skala Sebenarnya

Nilai dari hambatan total kapalsebenarnya dapat dihitung menggunakan data hasil pengujian *towing tank*. Perhitungan untuk mencari nilai hambatan asli kapal pada penelitian kali ini dilakukan menggunakan metode *model-ship correlation line* yang dikeluarkan oleh *International Towing Tank Conference* (ITTC-1957).

Tahapan pertama dalam menghitung hambatan total kapal sebenarnya adalah dengan mengitung koefisien hambatan total model kapal dengan menggunakan persamaan berikut:

Setelah diketahui nilai koefisien hambatan residual model kapal C_{RM} , nilai hambatan yang selanjutnya dihitung adalah nilai hambatan total kapal sebenarnya dengan menggunakan metode ITTC-57 *model-ship correlation line* dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{APP} + C_{RM} \quad (5.8)$$

Baik pada kapal sebenarnya maupun model kapal yang diuji, nilai koefisien hambatan residu C_R memiliki nilai yang sama, sehingga tidak perlu dilakukan konversi skala. Bentuk lambung kapal yang diuji pada pengujian kali ini tidak memiliki tonjolan/*appendages*, sehingga nilai C_{APP} bernilai nol. Selanjutnya dilakukan perhitungan C_F kapal sebenarnya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_S - 2)^2} \quad (5.9)$$

Nilai C_{FS} pada setiap variasi pengujian trimaran, pentamaran, dan lambung tanpa interferensi ditampilkan pada

Tabel 5.8 Koefisien hambatan gesek kapal sebenarnya

Fr	V Kapal (m/s)	Koefisien Hambatan Gesek (C _{FS}) Kapal Skala Sebenarnya			
		Trimaran	NI Trimaran	Pentamaran	NI Pentamaran
0.2	4.43	0.001836	0.001898	0.001836	0.001946
0.3	6.64	0.001738	0.001795	0.001738	0.001840
0.4	8.85	0.001674	0.001728	0.001674	0.001770
0.5	11.07	0.001627	0.001678	0.001627	0.001718
0.6	13.28	0.001589	0.001639	0.001589	0.001678

Perlu dilakukan koreksi kekasaran untuk permukaan lambung kapal. Nilai yang digunakan untuk mengoreksi kekasaran adalah C_A. Nilai koreksi kekasaran untuk permukaan lambung kapal C_A adalah sebagai berikut (Watson, 1998):

$$C_A = +0.4 \times 10^{-3}, L = 100 \text{ m} \quad (5.10)$$

$$C_A = -0.3 \times 10^{-3}, L < 300 \text{ m} \quad (5.11)$$

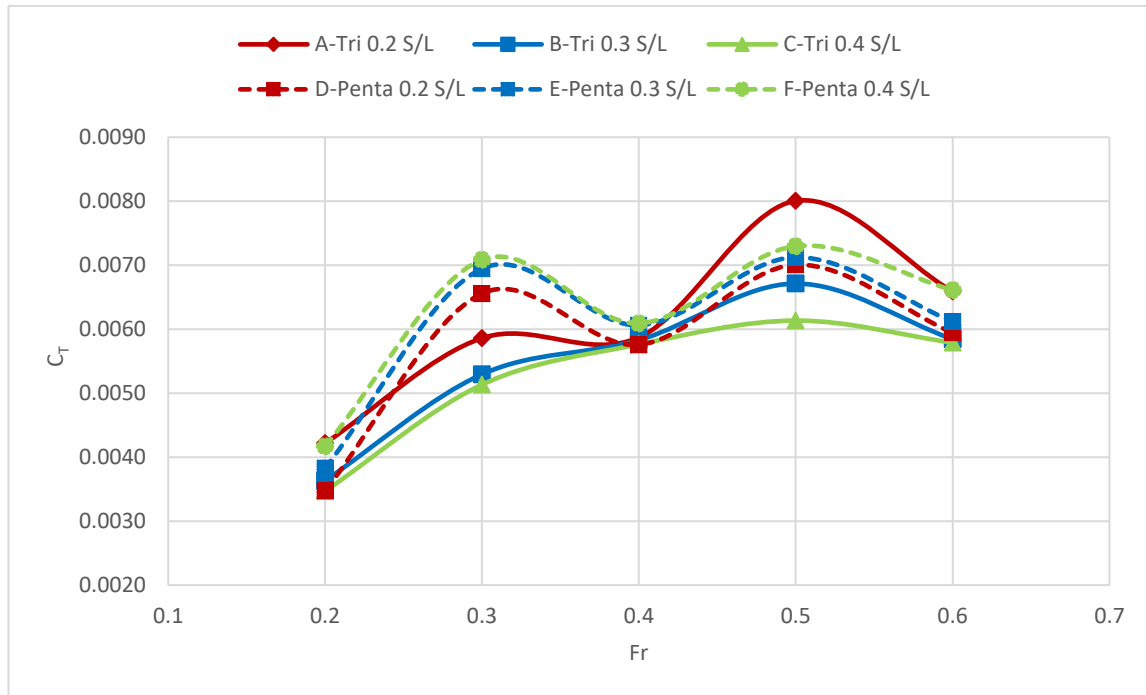
dimana:

L = L_{PP} dari kapal

Besar nilai L_{PP} kapal bernilai dibawah 100 meter, maka dapat ditentukan nilai dari koreksi kekasaran permukaan lambung kapal adalah sebesar 0.0004. Dengan memasukkan nilai-nilai diatas ke persamaan total nilai koefisien hambatan total kapal sebenarnya C_{TS}, dapat ditemukan nilai koefisien hambatan total kapal sebenarnya C_{TS}.

Tabel 5.9 Koefisien hambatan total kapal sebenarnya

Fr	V Kapal (m/s)	Koefisien Hambatan Total (C _{TS}) Kapal Skala Sebenarnya							
		Trimaran				Pentamaran			
		Model A	Model B	Model C	NI Trimaran	Model D	Model E	Model F	NI Pentamaran
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	
		WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =	WSA (m ²) =
		495.567				521.243			
0.2	4.43	0.0042	0.0036	0.0035	0.0028	0.0042	0.0038	0.0035	0.0028
0.3	6.64	0.0059	0.0053	0.0051	0.0047	0.0071	0.0069	0.0066	0.0047
0.4	8.85	0.0059	0.0058	0.0058	0.0050	0.0061	0.0061	0.0058	0.0050
0.5	11.07	0.0080	0.0067	0.0061	0.0059	0.0073	0.0071	0.0070	0.0059
0.6	13.28	0.0066	0.0058	0.0058	0.0050	0.0066	0.0061	0.0059	0.0049



Gambar 5.5 Grafik C_T hasil pengujian trimaran dan pentamaran

Grafik C_T yang dihasilkan pada penelitian kali ini menunjukkan terjadinya fenomena *hump* pada bilangan Froude 0.3 dan 0.5. Penurunan nilai C_T terjadi pada bilangan Froude 0.4 dan 0.6. Pola koefisien hambatan total dari penelitian ini juga terjadi pada penelitian-penelitian mengenai hambatan total kapal trimaran maupun pentamaran yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Carr & Dvorak (2007), Khan et al. (2013), dan Sulistyawati (2019).

Nilai C_{TS} kemudian dapat digunakan untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal R_{TS} dengan menggunakan persamaan berikut:

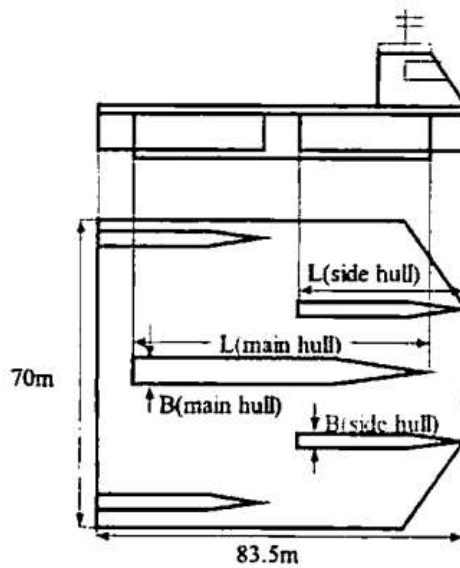
$$R_{TS} = C_{TS} \times \frac{1}{2} \times \rho_s \times V_s^2 \times S_s \quad (5.12)$$

Tabel 5.10 Hambatan total kapal skala sebenarnya

Fr	V Kapal (m/s)	Hambatan Total R_{TS} (kN) Kapal Skala Sebenarnya							
		Trimaran				Pentamaran			
		Model A	Model B	Model C	NI	Model D	Model E	Model F	NI
		0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	Trimaran	0.2 S/L	0.3 S/L	0.4 S/L	Pentamaran
		WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)	WSA (m ²)
		=	=	=	=	=	=	=	=
		495.567				521.243			
0.2	4.43	20.950	18.040	17.231	13.917	21.780	19.991	18.156	14.858
0.3	6.64	65.485	59.169	57.365	52.585	83.277	81.644	77.077	55.750
0.4	8.85	116.634	115.805	114.480	99.992	127.286	126.668	120.296	105.206
0.5	11.07	248.496	208.381	190.424	183.031	238.265	232.569	228.756	191.322
0.6	13.28	294.507	261.199	258.818	222.147	310.888	287.683	279.428	228.204

5.7. Luasan dek kapal

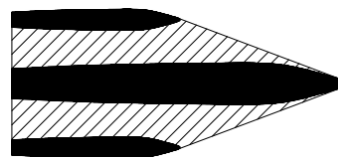
Kapal pentamaran, selain menawarkan performa stabilitas yang baik, performa *seakeeping* yang baik, kapal dengan lambung pentamaran memiliki luasan dek yang lebih besar dibandingkan dengan kapal lambung tunggal pada displasemen yang sama (Ikeda & Nakabayashi, 2005). Perubahan jenis lambung kapal trimaran menjadi lambung kapal pentamaran dapat menambah luasan dek yang dimiliki. Aransemen dek yang dibuat pada penelitian ini mengacu pada aransemen dek pentamaran yang dibuat oleh Ikeda & Nakabayashi (2005). Ilustrasi luasan dek kapal dapat dilihat pada Gambar berikut.



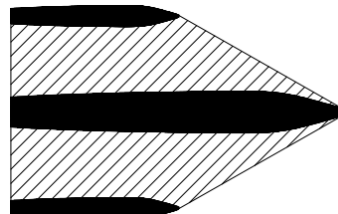
Gambar 5.6 Aransemen dek pentamaran

(Sumber: Ikeda & Nakabayashi, 2005)

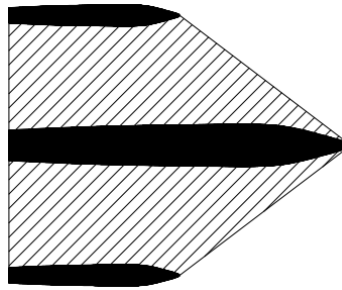
Model A (0.2 S/L)
Luasan dek = 871.35 m²



Model B (0.3 S/L)
Luasan dek = 1261.53 m²

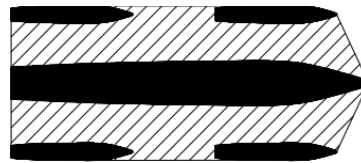


Model C (0.4 S/L)
Luasan dek = 1653.55 m²

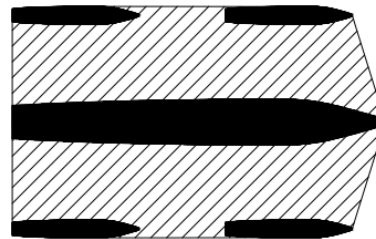


Gambar 5.7 Aransemen dek trimaran

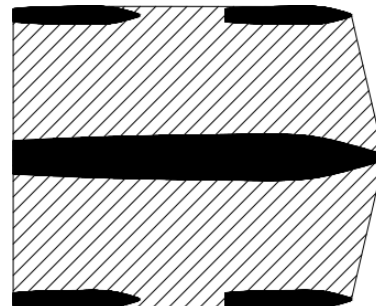
Model D (0.2 S/L)
Luasan dek = 1116.32 m²



Model E (0.3 S/L)
Luasan dek = 1617.75 m²



Model F (0.4 S/L)
Luasan dek = 2119.18 m²



Gambar 5.8 Aransemen dek pentamaran

Dapat kita lihat pada gambar-gambar diatas bahwasanya penambahan luasan perubahan kapal trimaran menjadi kapal pentamaran dapat menambah luasan dek kapal. Presentase penambahan luasan dek kapal dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Presentase penambahan luas dek

	Trimaran (m ²)	Pentamaran (m ²)	Selisih (%)
0.2 S/L	871.35	1116.32	28.1138%
0.3 S/L	1261.53	1617.75	28.2371%
0.4 S/L	1653.55	2119.18	28.1594%

Jumlah penambahan luasan dek diketahui dari tabel diatas memiliki nilai yang hampir sama, yaitu sekitar 28%. Hal ini menandakan bahwa perubahan lambung kapal dari trimaran

menjadi pentamaran dapat menambah efisiensi operasional kapal, terutama jenis kapal yang membutuhkan luasan dek besar, seperti kapal penumpang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Umum

Bab ini berisi kesimpulan dari pengerjaan penelitian tugas akhir yang akan dijelaskan secara poin demi poin yang menjawab tujuan dan perumusan masalah dari pengerjaan tugas akhir serta berisikan saran dan pengembangan untuk penelitian mengenai konfigurasi kapal trimaran dan pentamaran.

6.1.1. Kesimpulan

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

1. Dengan mengubah jarak antar lambung secara melintang (S/L), maka dapat mempengaruhi hambatan kapal. Semakin jauh letak antar lambung secara melintang, maka semakin kecil hambatan yang terjadi;
2. Interferensi gelombang pada kapal pentamaran cenderung lebih rendah pada kecepatan tinggi ($Fr. > 0.3$), sedangkan Interferensi gelombang pada kapal trimaran cenderung lebih rendah pada kecepatan rendah ($Fr. < 0.3$). Perbedaan Interferensi tertinggi terjadi sebesar 43.7% pada $Fr. 0.5$ konfigurasi jarak antar lambung secara melintang (S/L) 0.2, fenomena interferensi ini menyebabkan penurunan hambatan total senilai 4.29% pada perubahan lambung kapal trimaran menjadi pentamaran;
3. Perubahan kapal trimaran menjadi kapal pentamaran pada *clearence* (S/L) yang sama dapat meningkatkan luasan dek kapal hingga 28%.

6.1.2. Saran

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlunya melakukan penelitian konfigurasi lambung kapal trimaran dan pentamaran lainnya agar mendapatkan nilai hambatan yang lebih kecil, baik secara memanjang (R/L) maupun secara melintang (S/L);
2. Perlunya dilakukan penelitian dengan jenis lambung yang berbeda bentuk untuk mengetahui pengaruh dari interferensi gelombang yang terjadi;

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Asapana, S., & Sahoo, P. (2016). Resistance Predictions for Assymetrical Configurations of High-Speed Catamaran Hull Forms. *International Journal of Small Craft Technology*.
- Bailey, D. (1976). *The NPL High Speed Round Bilge Displacement Hull Series*. London: Royal Institution of Naval Architects.
- Carr, B., & Dvorak, R. (2007). *Investigation of Trimaran Interference Effects*. Glen Cove, NY: Webb Institute.
- Dubrovsky, V. A. (2011). *Multi-Hull Ships*. St. Petersburg.
- Gee, N. (2005, March 3). *Applications of the Pentamaran Hull Form for Fast Sealift and Freight Applications*. (C. Hawkins, Performer) National Shipbuilding Research Program, United States of America.
- Haase, M., Binns, J., Thomas, G., & Bose, N. (2012). Resistance Prediction of Medium-speed Catamarans Using Free-surface Viscous Flow Simulations. *Numerical Towing Tank Symposium, Volume:15*. Cortona.
- Hafez, K., & El-kot, A. (2012). Comparative analysis of the separation variation influence on the hydrodynamic performance of a high-speed trimaran. *Alexandria Engineering Journal (2012) 51*, 153-169.
- Harvald, S. A. (1992). *Resistance and Propulsion of Ships*. Lyngby: John Wiley & Sons.
- Ikeda, Y., & Nakabayashi, E. (2005). Concept design of a pentamaran type fast roro ship. *The Fifth International Forum on Alumunium Ships*, 47-54.
- Insel, M., & Molland, A. F. (1992). An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans. *Trans RINA Vol. 134*.
- 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 Towng 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).
- Javanmardi, M., Jahanbakhsh, E., Seif, M., & H.Sayyaadi. (2008). Hydrodynamic Analysis of Trimaran Vessels. *POLISH MARITIME RESEARCH*, 11-18.
- Khan, M. K., John, S., Verna, S., Praveen, P., Korulla, M., & Panigrahi, P. (2013). Resistance Characteristics of a Trimaran for different Side Hull Configurations. *Journal of Ocean and Ship Technology, Volume 4, Number 2*.
- Luhulima, R. B., Utama, I. K., & Sulisetyono, A. (2016). Experimental Investigation into the Resistance Components of Displacement Trimaran at Various Lateral Spacings. *International Journal of Engineering, Research & Science (IJOER)*, 21-29.
- Manen, J. D., & Oossanen, P. v. (1988). Resistance. In E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture Second Revision* (pp. 11-128). Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion*. New York: Cambridge University Press.
- Molland, A. F., Wellicome, J. F., & Couser, P. R. (1994). *Resistance Experiments on A Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of*

- Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio*. Southampton: University of Southampton.
- Muscat-Fenech, C. M., & Rosa, A. M. (2014). Resistance Analysis for a Trimaran. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:8*, 7-15.
- Oller, E., Nikou, V., & Psallidas, K. (2003). Focused Mission High Speed Combatant. *DTIC Document*.
- Peng, H. (2001, June). Thesis. *Numerical Computation of Multi-Hull Ship Resistance and Motion*. Halifax, Nova Scotia, Canada: National Library of Canada.
- Son, C. H., & Sahoo, P. K. (2015, May 4). CFD Investigation of Resistance of High-Speed Trimaran Hull. Melbourne, Florida, United States: Florida Institute of Technology.
- Sulistyawati, W., Yanuar, & Pamitran, A. S. (2019). Research On Pentamaran By Model Test And Theoretical Approach Based on Mitchell's Integral. *CFD Letters*, 117-128.
- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design*. Oxford: Elsevier.

LAMPIRAN

- Lampiran A Perbandingan data utama kapal skala sebenarnya dan model kapal
- Lampiran B Variasi kecepatan pengujian
- Lampiran C Variasi posisi *sidehull* terhadap *mainhull* secara melintang
- Lampiran D Pengujian Hambatan
- Lampiran E Hasil pembacaan *strip chart recorder*

LAMPIRAN A
PERBANDINGAN DATA UTAMA KAPAL SEBENARNYA DAN
MODEL KAPAL

A. Data utama kapal sebenarnya

	Kapal Skala Sebenarnya		
	<i>Main Hull</i>	<i>Side Hull Trimaran</i>	<i>Side Hull Pentamaran</i>
L _w (m)	50.000	25.000	17.000
B _w (m)	5.573	2.787	2.200
T (m)	2.785	1.393	1.202
WSA (m ²)	211.838	52.960	47.725
Δ (ton)	313.600	39.200	19.600

B. Data utama model kapal

Data utama model kapal didapat dari hasil penskalaan dari kapal sebenarnya. Faktor skala, λ , ditentukan dari ukuran fasilitas *towing tank*, motor listrik kereta uji yang tersedia, dan instrumentasi lainnya. Semakin besar ukuran model semakin akurat pembacaan hasilnya. Faktor skala, λ , dapat ditentukan dari nilai panjang garis air kapal sebenarnya, L_s, dibagi dengan nilai panjang garis air dari model kapal, L_m. Faktor skala pada penelitian kali ini bernilai sebesar 62.5.

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m}$$

	Model Kapal		
	<i>Main Hull</i>	<i>Side Hull Trimaran</i>	<i>Side Hull Pentamaran</i>
L _w (m)	0.8000	0.4000	0.2720
B _w (m)	0.0892	0.0446	0.0352
T (m)	0.0446	0.0223	0.0192
WSA (m ²)	0.0542	0.0136	0.0122
Δ (ton)	0.0013	0.0002	0.0001

LAMPIRAN B
VARIASI KECEPATAN PENGUJIAN

A. Kecepatan model kapal

Pengujian dilakukan pada kecepatan bilangan Froude yang sama pada model kapal dan kapal sebenarnya. Kecepatan model kapal didapat dari persamaan bilangan Froude berikut

$$F_{nM} = F_{nS}$$
$$\frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}}$$
$$V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}}$$

No	Fr	Kecepatan Kapal Sebenarnya (m/s)	Kecepatan Kapal Sebenarnya (kn)	Kecepatan Model Kapal (m/s)
1	0.2	4.43	8.61	0.56
2	0.3	6.64	12.91	0.84
3	0.4	8.85	17.21	1.12
4	0.5	11.07	21.51	1.40
5	0.6	13.28	25.82	1.68

B. Kebutuhan voltase kereta uji

Kereta uji harus memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan model, untuk itu kebutuhan voltase motor listrik kereta yang dibutuhkan untuk membuat kereta uji berjalan dengan kecepatan yang dibutuhkan. Sebesar 2.5 Volt dibutuhkan untuk menggerakkan kereta uji dengan kecepatan satu meter per detik.

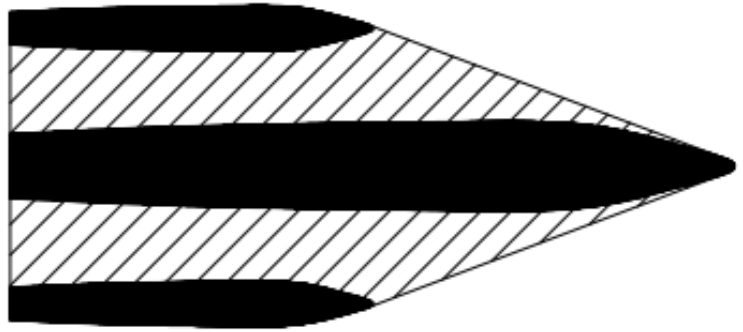
No	Fr	Kecepatan Model Kapal (m/s)	Voltage (V)
1	0.2	0.56	1.40
2	0.3	0.84	2.10
3	0.4	1.12	2.80
4	0.5	1.40	3.50
5	0.6	1.68	4.20

LAMPIRAN C
VARIASI POSISI *SIDEHULL* TERHADAP *MAINHULL*
SECARA MELINTANG

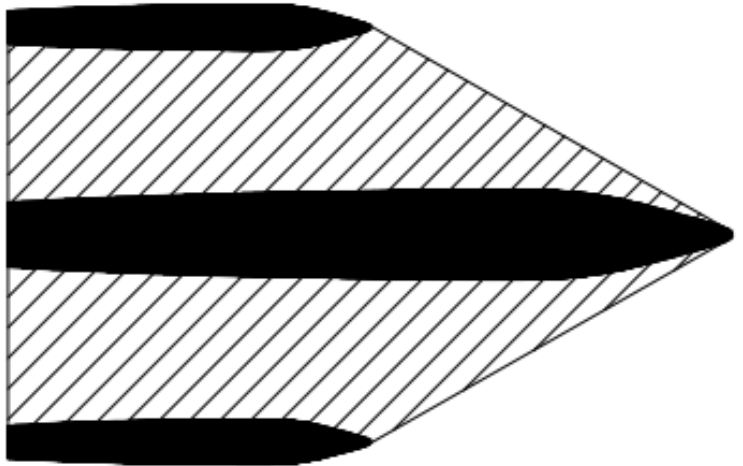
A. Variasi konfigurasi lambung trimaran

Terdapat tiga variasi melintang *sidehull* terhadap *mainhull* pada kapal trimaran yang diuji, yaitu variasi model A (0.2 S/L), model B (0.3 S/L), dan model C (0.4 S/L).

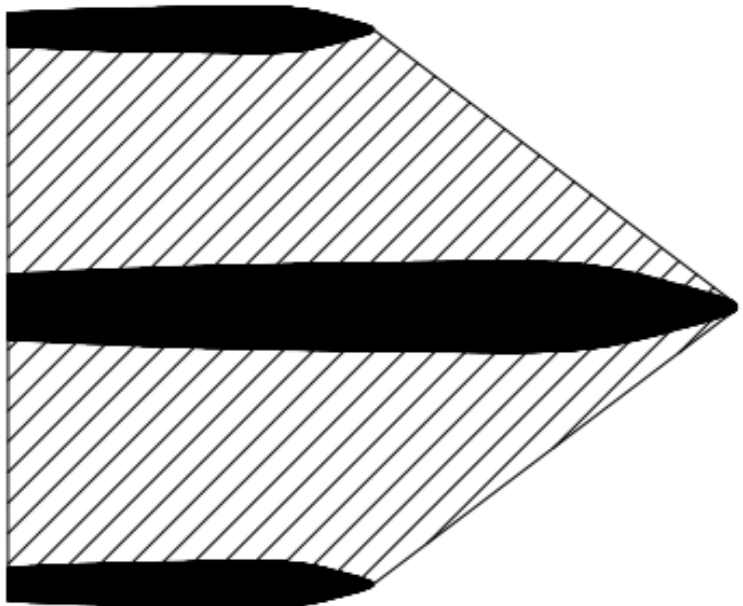
Model A (0.2 S/L)



Model B (0.3 S/L)



Model C (0.4 S/L)



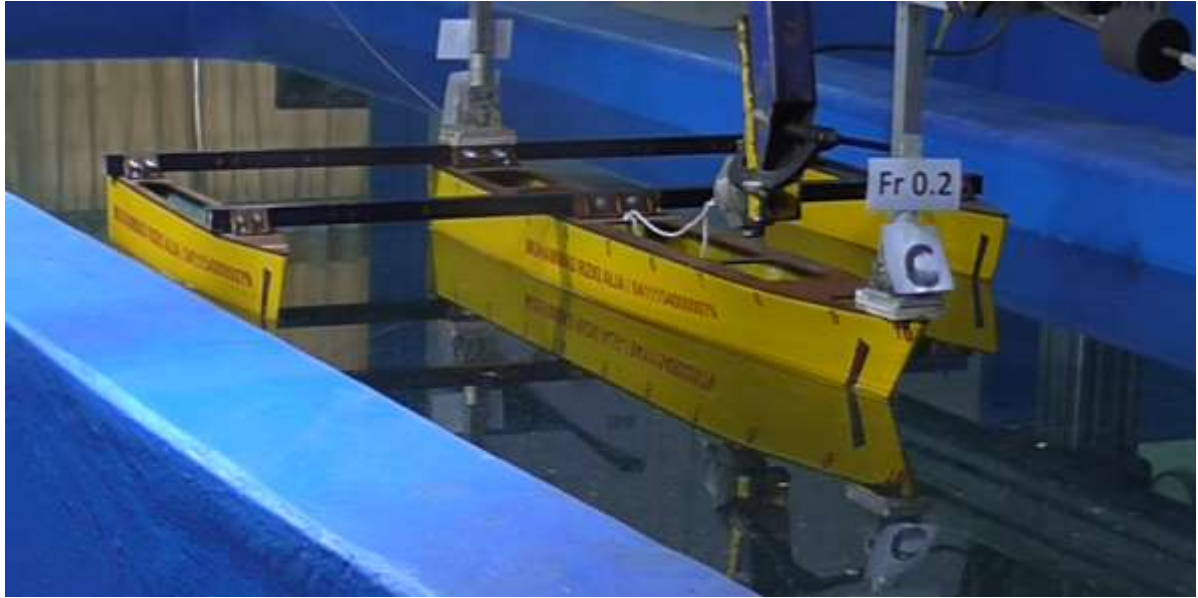
Konfigurasi model A (0.2 S/L)



Konfigurasi model B (0.3 S/L)



Konfigurasi model C (0.4 S/L)



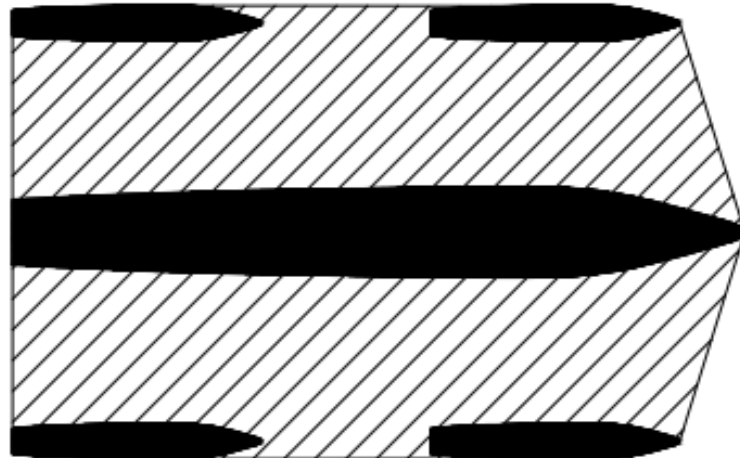
B. Variasi konfigurasi lambung pentamaran

Terdapat tiga variasi melintang *sidehull* terhadap *mainhull* pada kapal pentamaran yang diuji, yaitu variasi model D (0.2 S/L), model E (0.3 S/L), dan model F (0.4 S/L).

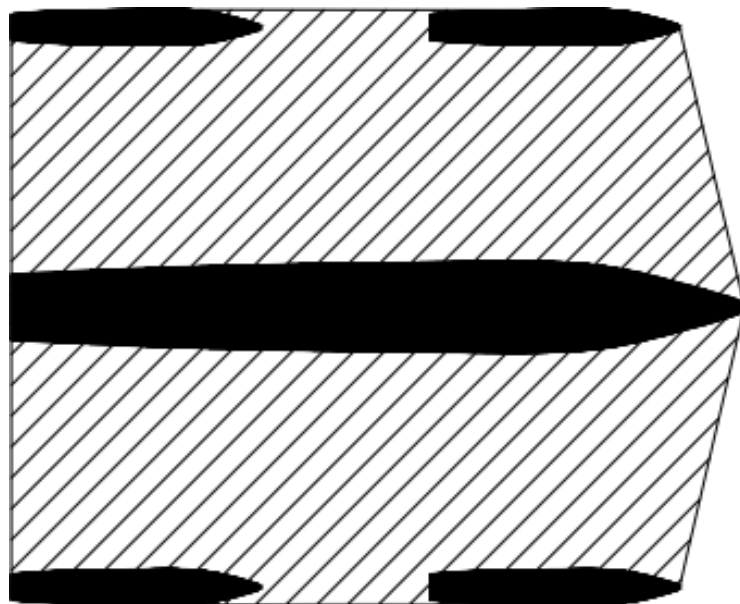
Model D (0.2 S/L)



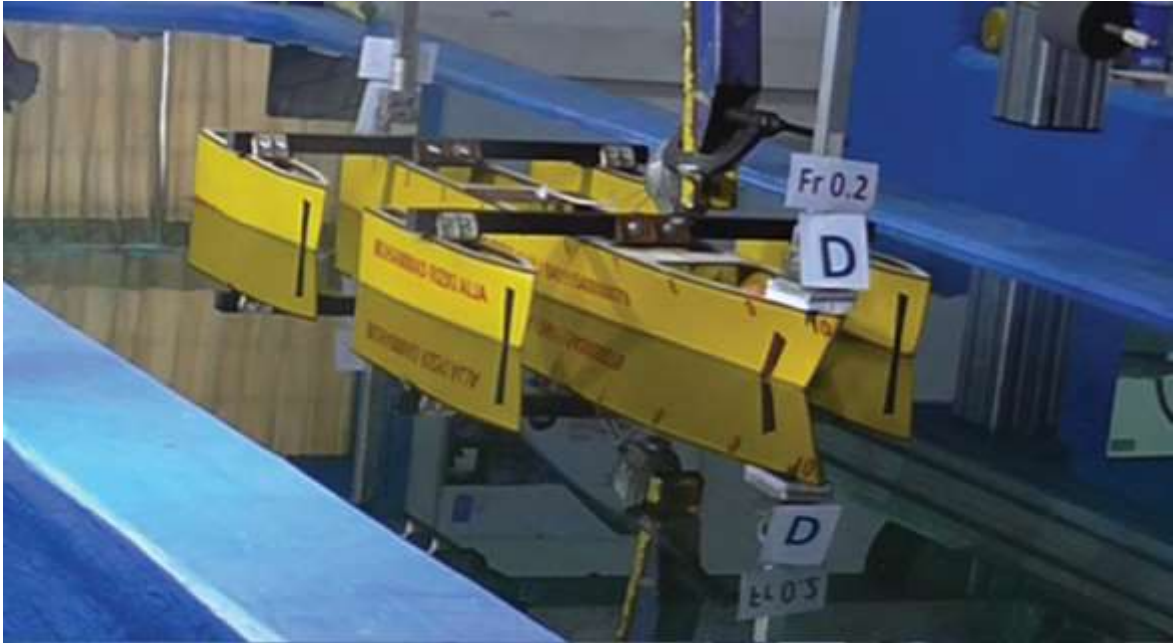
Model E (0.3 S/L)



Model F (0.4 S/L)



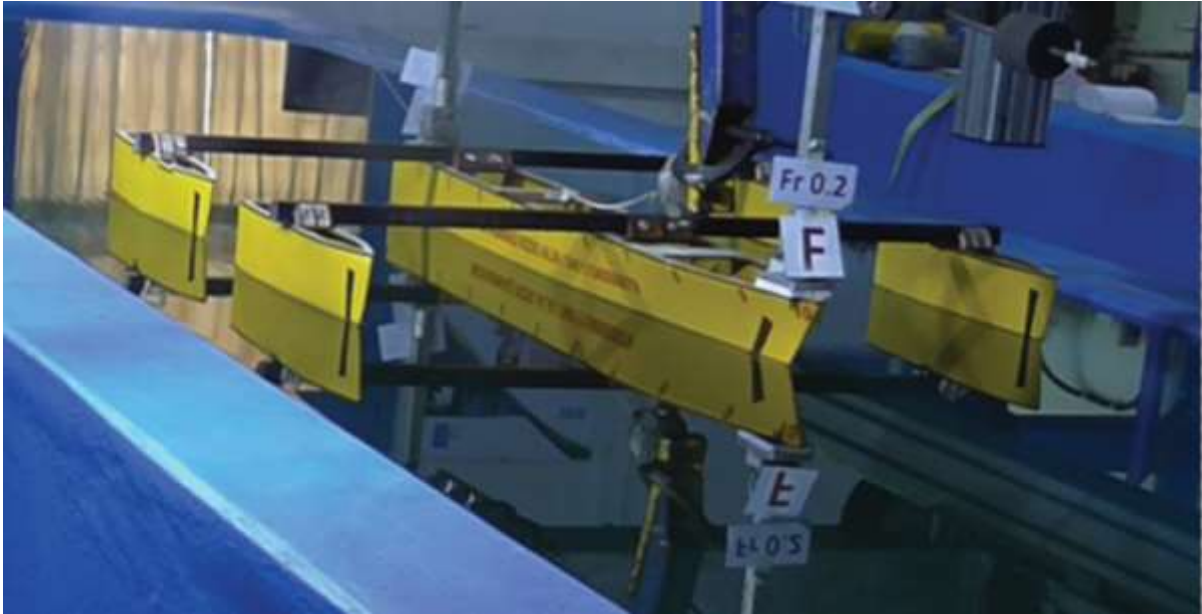
Konfigurasi model D (0.2 S/L)



Konfigurasi model E (0.3 S/L)



Konfigurasi model F (0.4 S/L)



LAMPIRAN D
PENGUJIAN HAMBATAN

A. Pengujian Hambatan Trimaran

Pengujian hambatan trimaran model A (0.2 S/L) pada Fr. 0.2



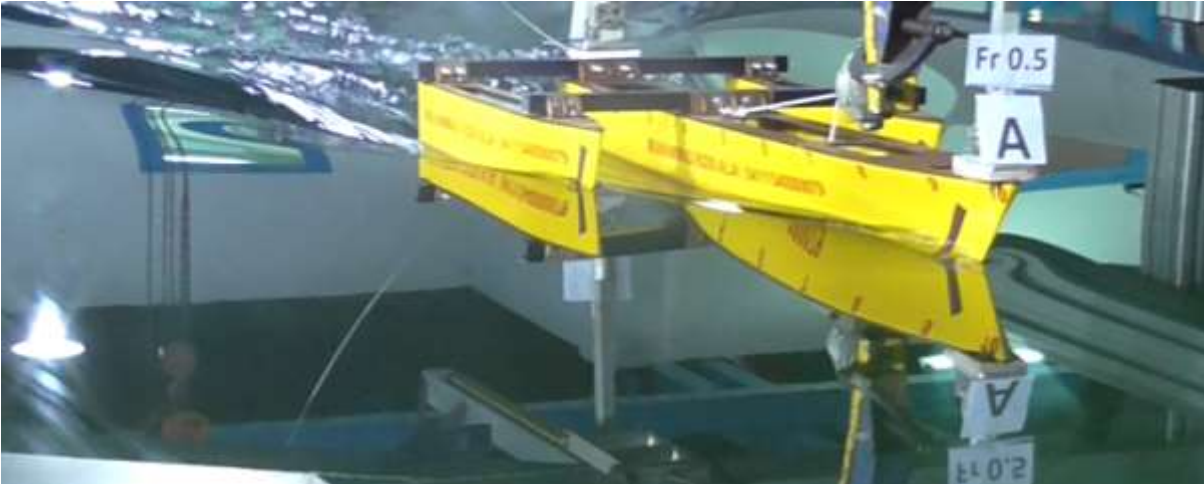
Pengujian hambatan trimaran model A (0.2 S/L) pada Fr. 0.3



Pengujian hambatan trimaran model A (0.2 S/L) pada Fr. 0.4



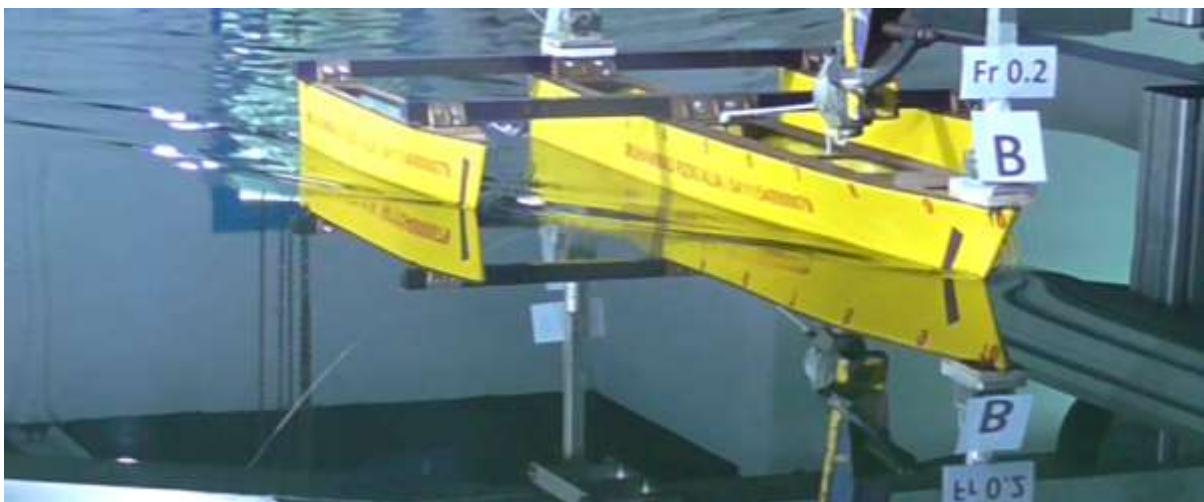
Pengujian hambatan trimaran model A (0.2 S/L) pada Fr. 0.5



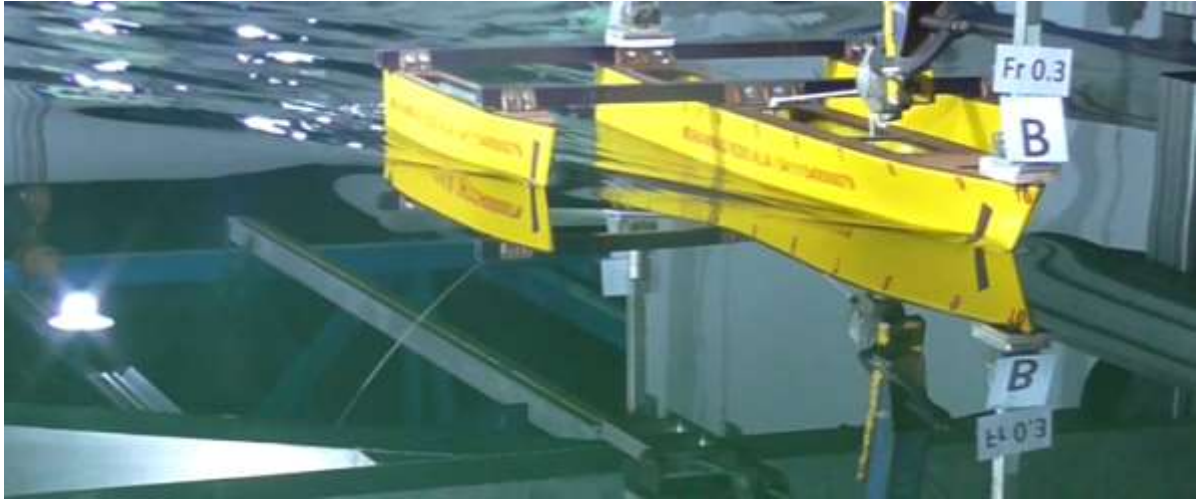
Pengujian hambatan trimaran model A (0.2 S/L) pada Fr. 0.6



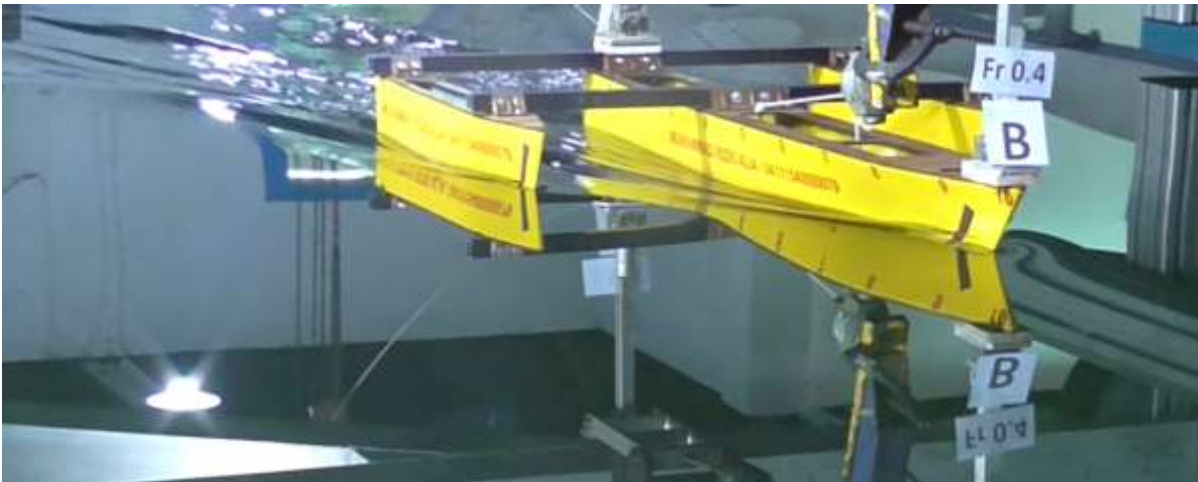
Pengujian hambatan trimaran model B (0.3 S/L) pada Fr. 0.2



Pengujian hambatan trimaran model B (0.3 S/L) pada Fr. 0.3



Pengujian hambatan trimaran model B (0.3 S/L) pada Fr. 0.4



Pengujian hambatan trimaran model B (0.3 S/L) pada Fr. 0.5



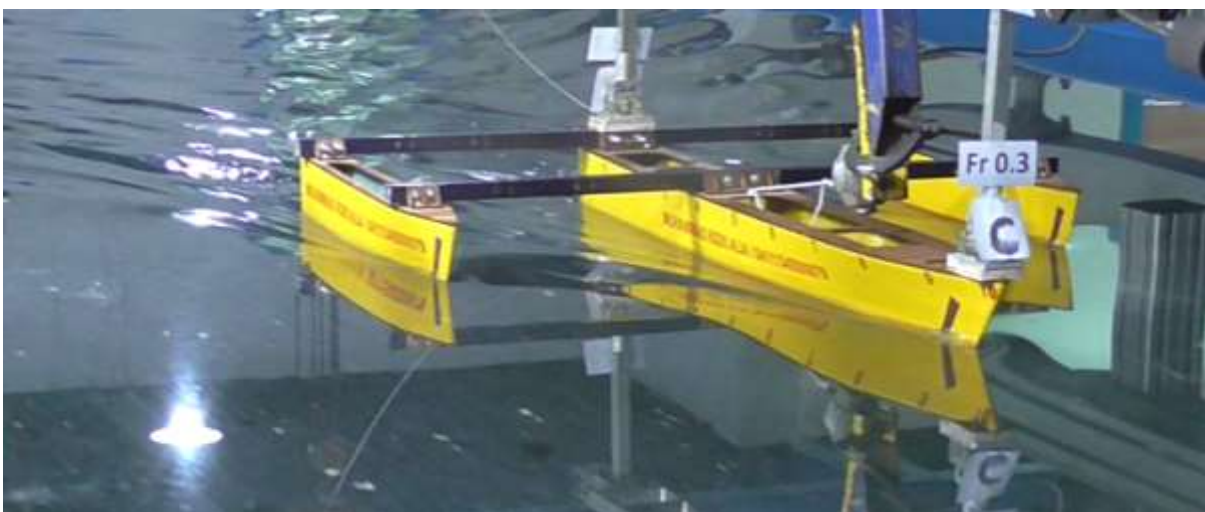
Pengujian hambatan trimaran model B (0.3 S/L) pada Fr. 0.6



Pengujian hambatan trimaran model C (0.4 S/L) pada Fr. 0.2



Pengujian hambatan trimaran model C (0.4 S/L) pada Fr. 0.3



Pengujian hambatan trimaran model C (0.4 S/L) pada Fr. 0.4



Pengujian hambatan trimaran model C (0.4 S/L) pada Fr. 0.5

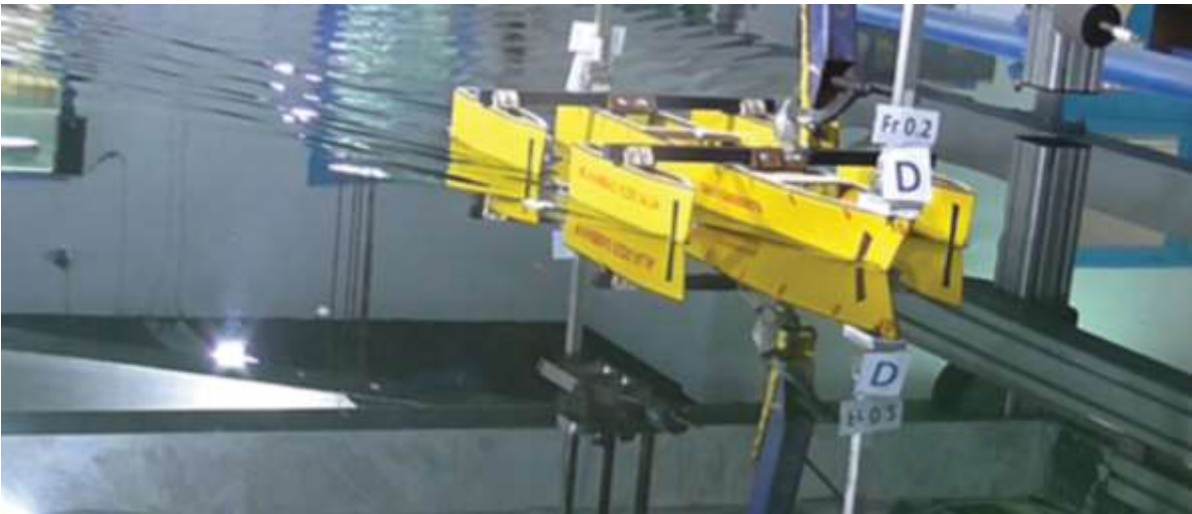


Pengujian hambatan trimaran model C (0.4 S/L) pada Fr. 0.6

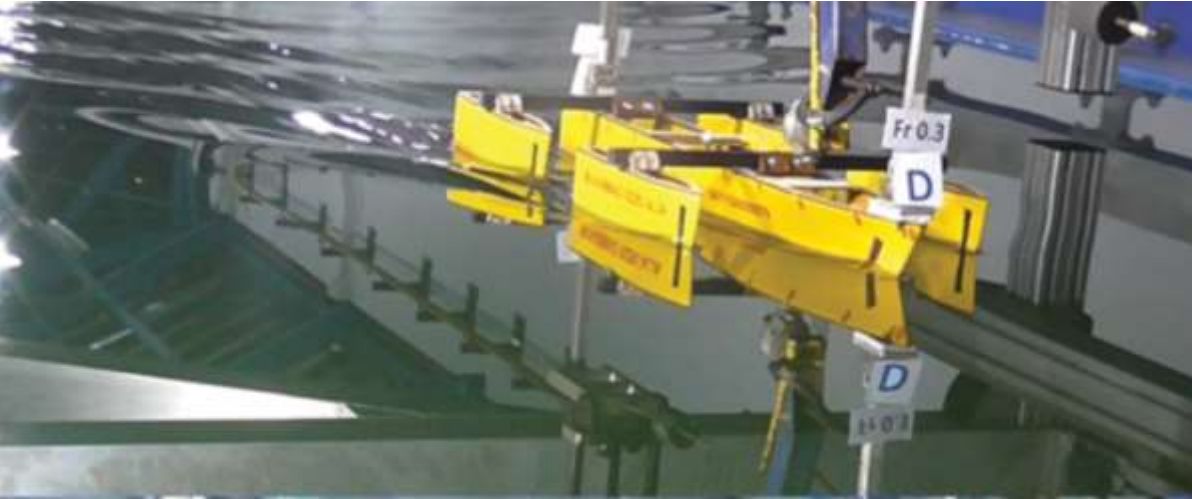


B. Pengujian Hambatan Pentamaran

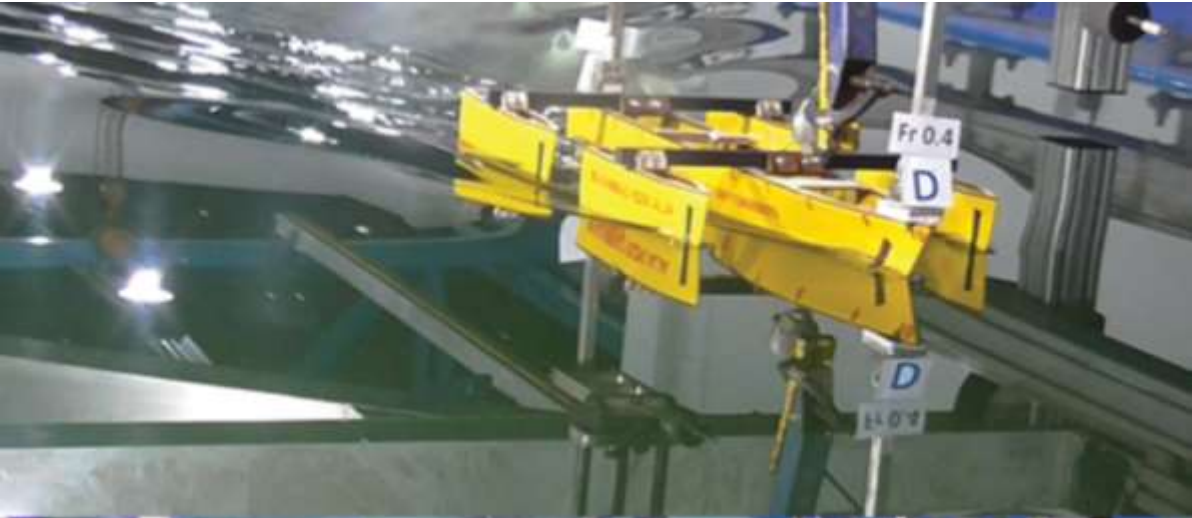
Pengujian hambatan pentamaran model D (0.2 S/L) pada Fr. 0.2



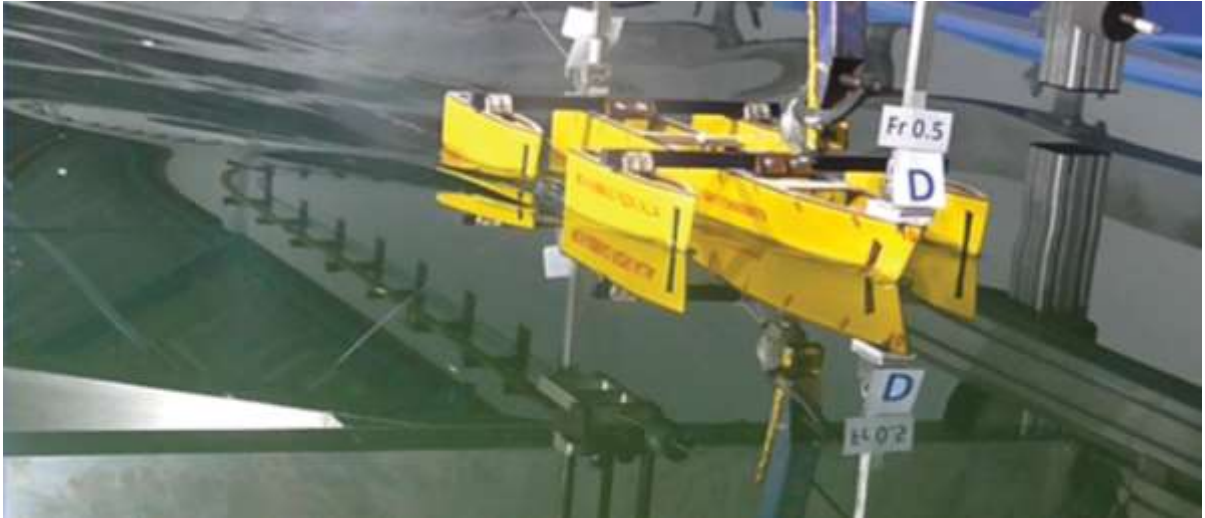
Pengujian hambatan pentamaran model D (0.2 S/L) pada Fr. 0.3



Pengujian hambatan pentamaran model D (0.4 S/L) pada Fr. 0.4



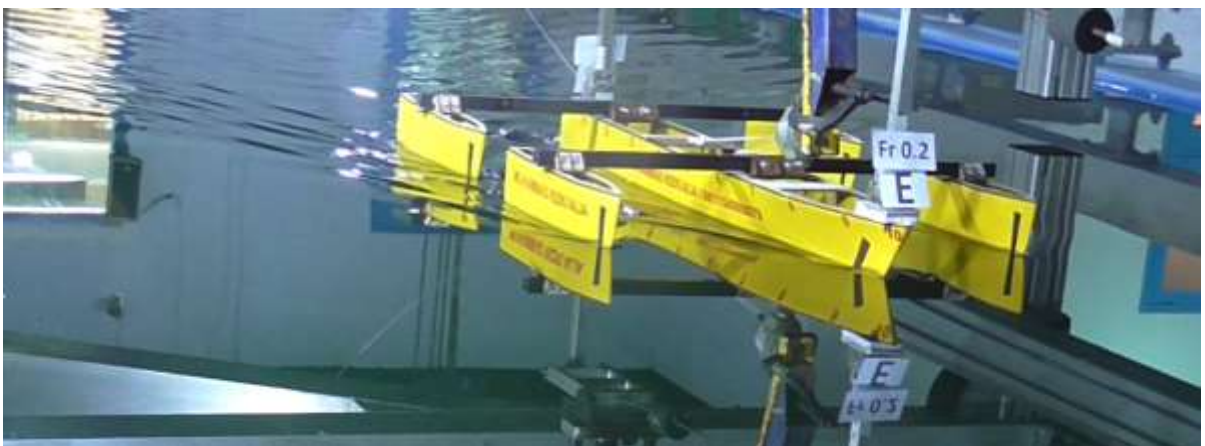
Pengujian hambatan pentamaran model D (0.4 S/L) pada Fr. 0.5



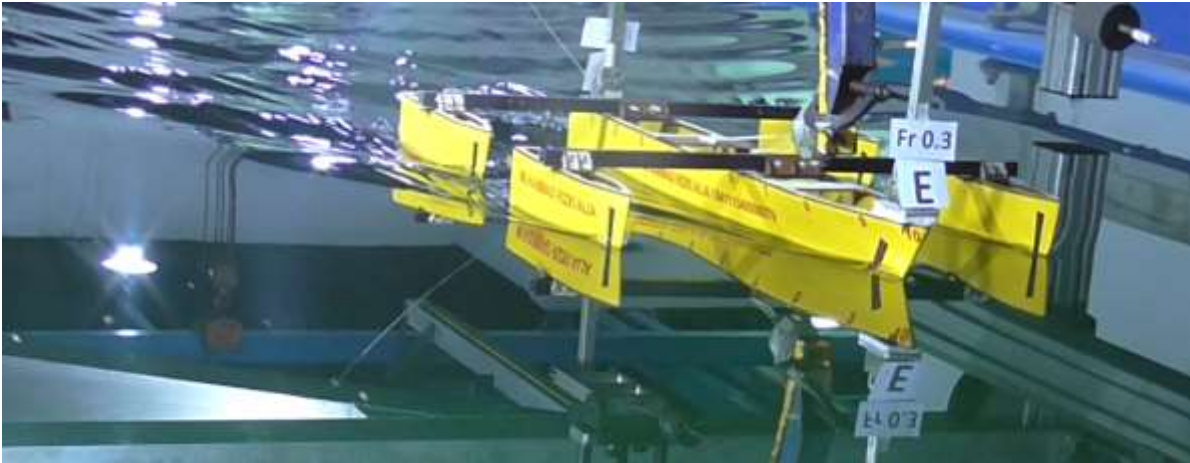
Pengujian hambatan pentamaran model D (0.4 S/L) pada Fr. 0.6



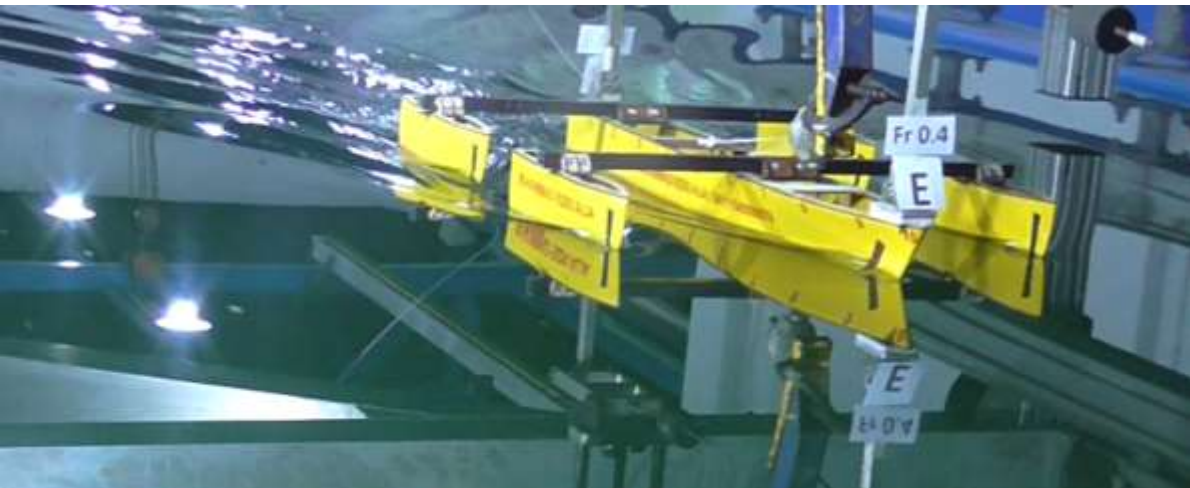
Pengujian hambatan pentamaran model E (0.3 S/L) pada Fr. 0.2



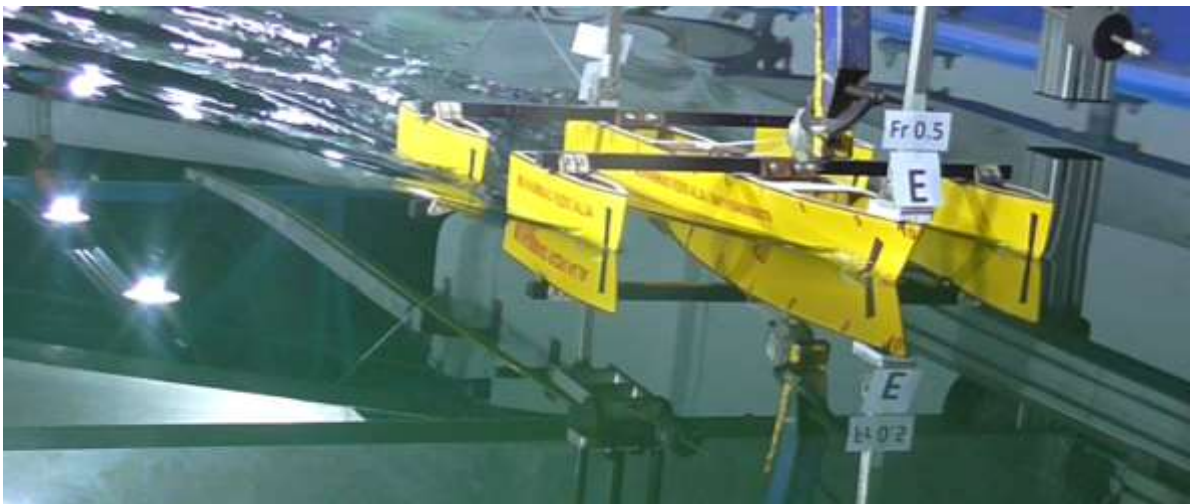
Pengujian hambatan pentamaran model E (0.3 S/L) pada Fr. 0.3



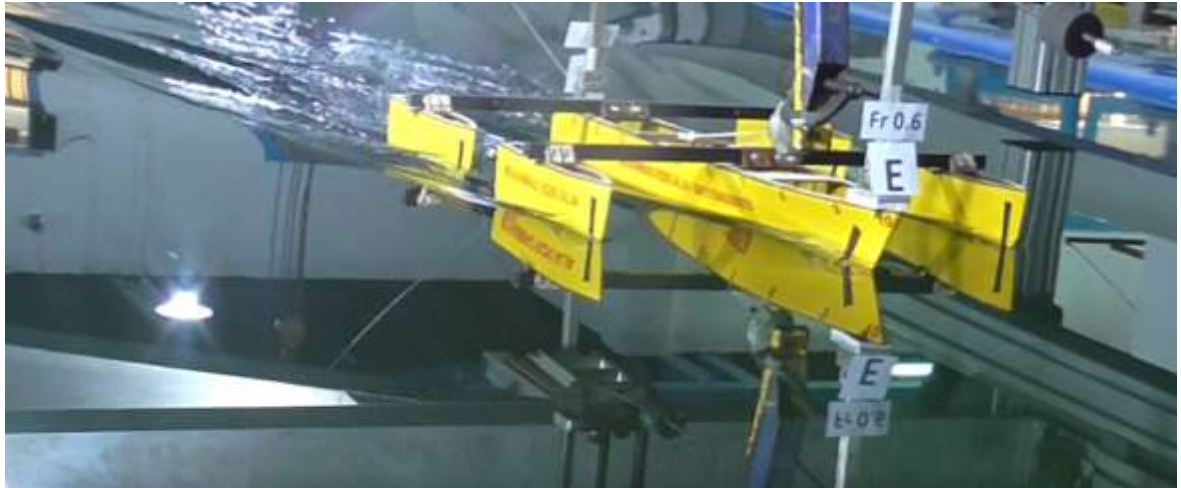
Pengujian hambatan pentamaran model E (0.3 S/L) pada Fr. 0.4



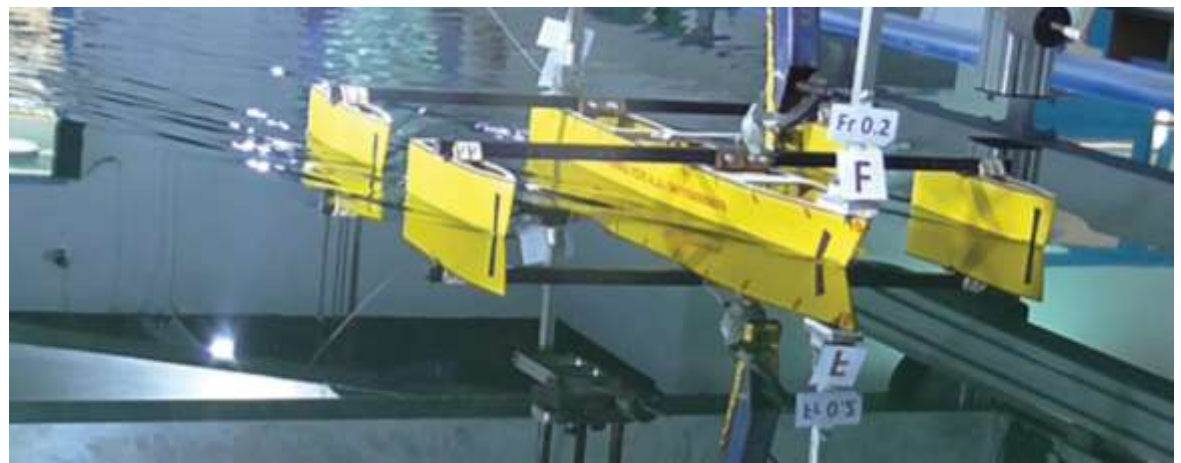
Pengujian hambatan pentamaran model E (0.3 S/L) pada Fr. 0.5



Pengujian hambatan pentamaran model E (0.3 S/L) pada Fr. 0.6



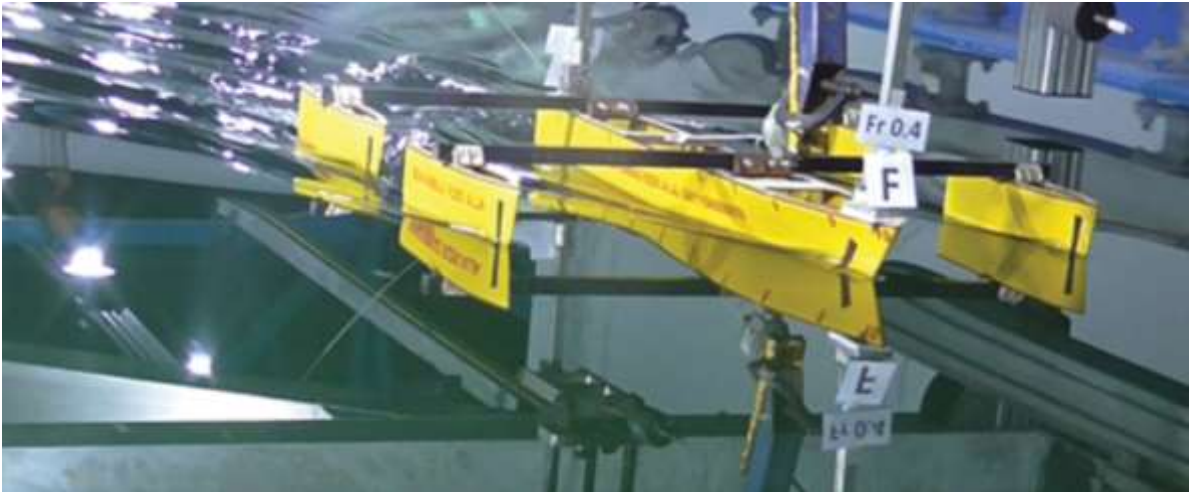
Pengujian hambatan pentamaran model F (0.4 S/L) pada Fr. 0.2



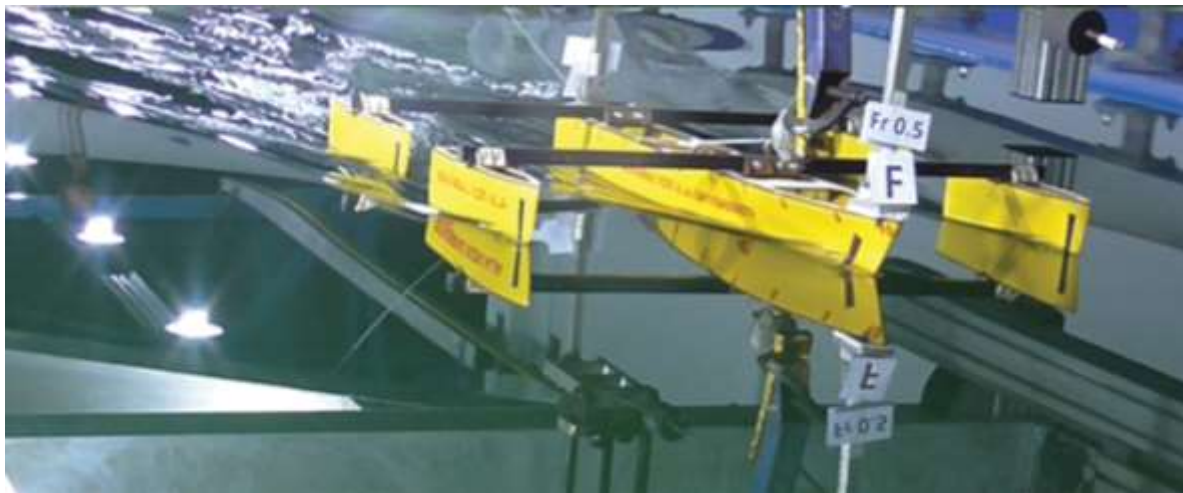
Pengujian hambatan pentamaran model F (0.4 S/L) pada Fr. 0.3



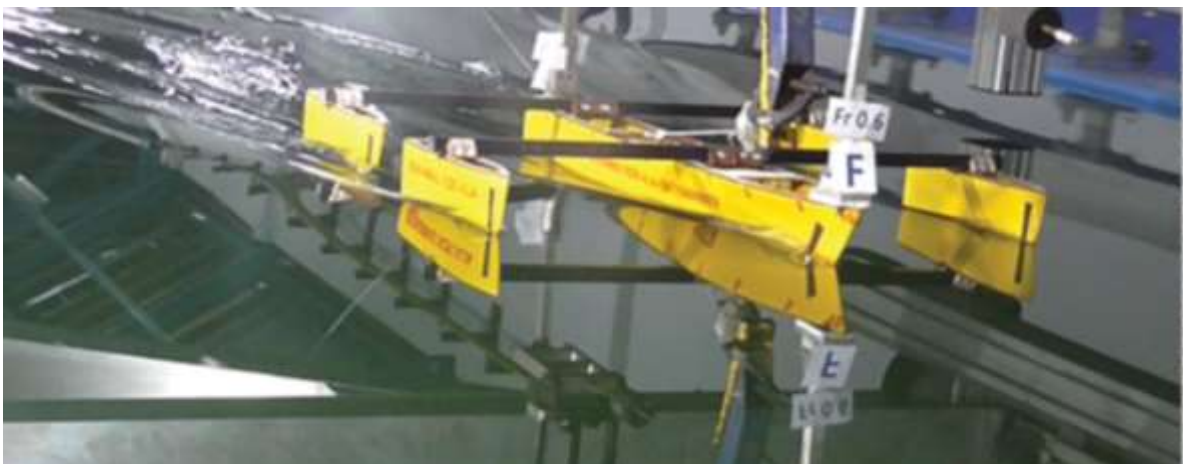
Pengujian hambatan pentamaran model F (0.4 S/L) pada Fr. 0.4



Pengujian hambatan pentamaran model F (0.4 S/L) pada Fr. 0.5

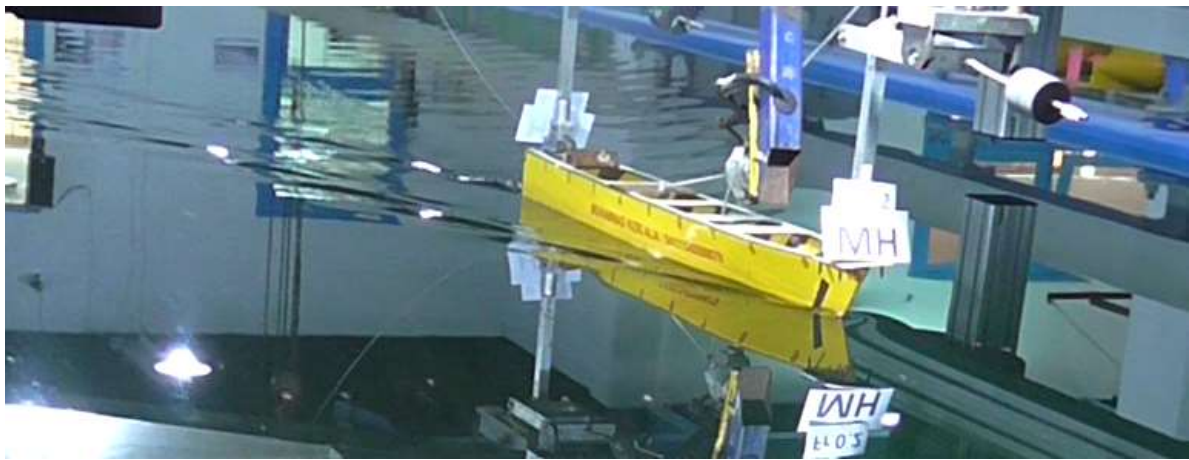


Pengujian hambatan pentamaran model F (0.4 S/L) pada Fr. 0.6

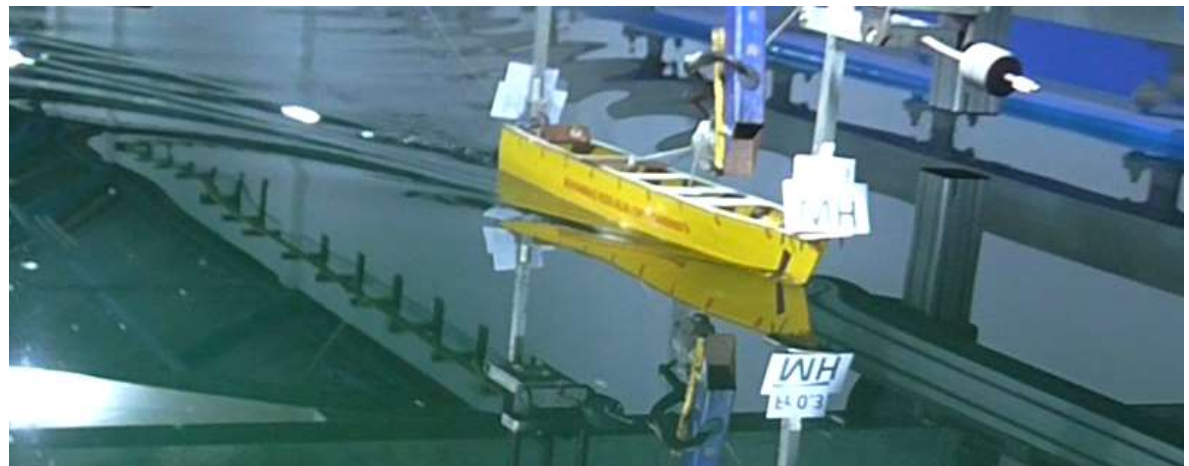


C. Pengujian Hambatan Lambung Individu

Pengujian hambatan *main hull* pada Fr. 0.2



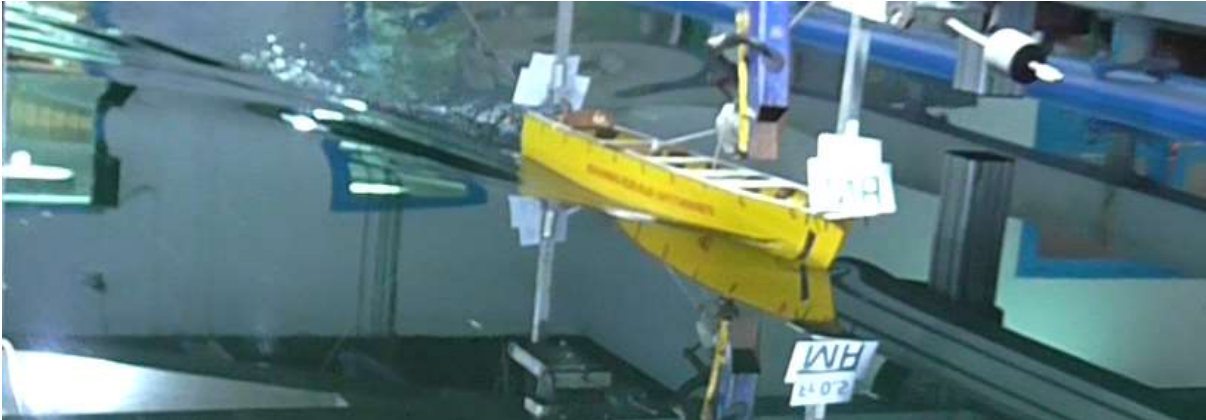
Pengujian hambatan *main hull* pada Fr. 0.3



Pengujian hambatan *main hull* pada Fr. 0.4



Pengujian hambatan *main hull* pada Fr. 0.5

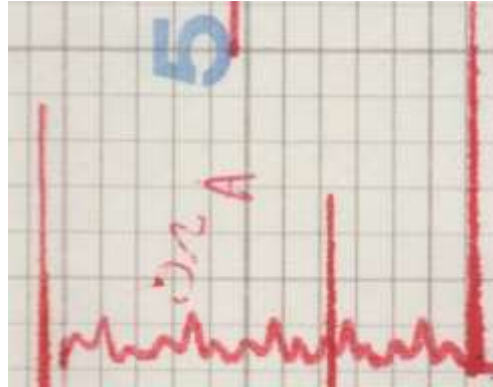


Pengujian hambatan *main hull* pada Fr. 0.6

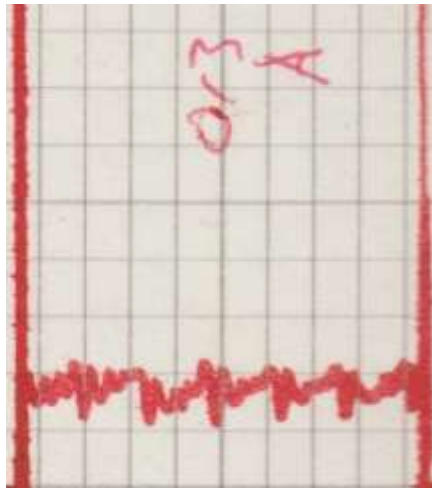


LAMPIRAN E
HASIL PEMBACAAN *STRIP CHART RECORDER*

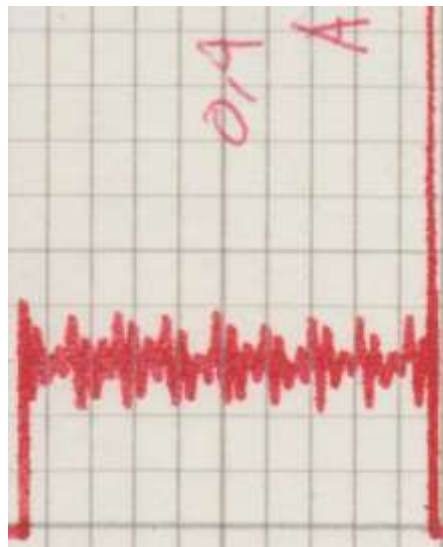
Model A Fr 0.2



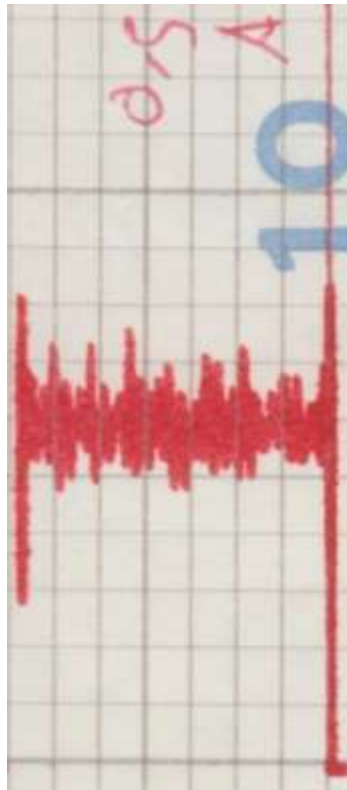
Model A Fr 0.3



Model A Fr 0.4



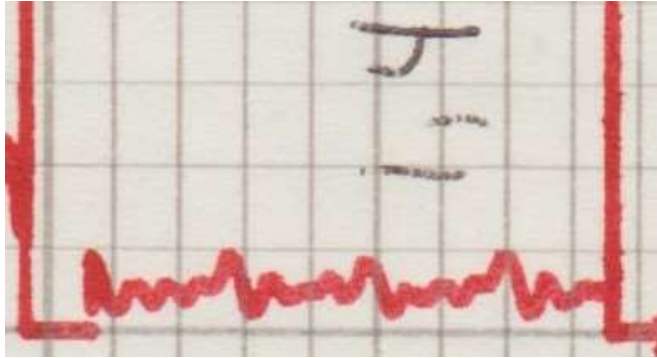
Model A Fr 0.5



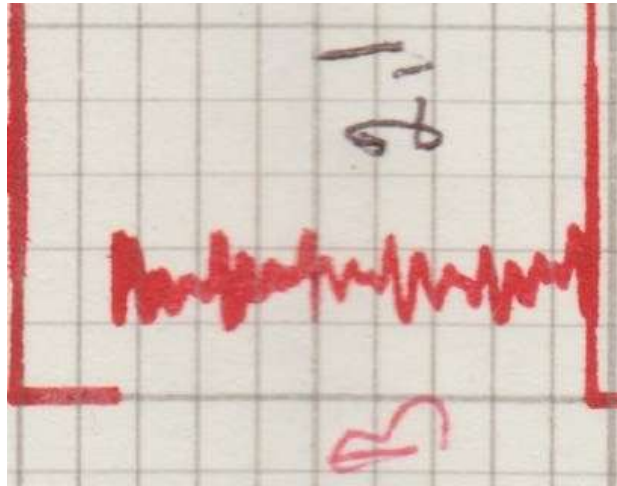
Model A Fr 0.6



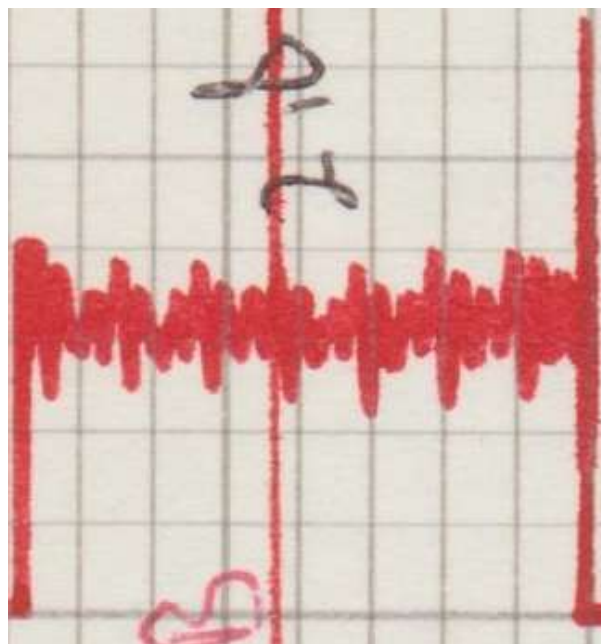
Model B Fr 0.2



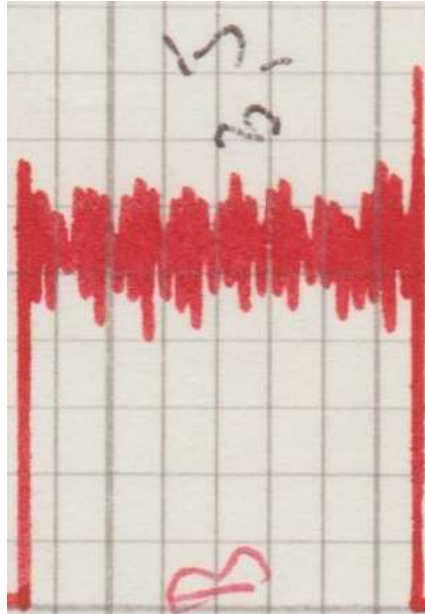
Model B Fr 0.3



Model B Fr 0.4



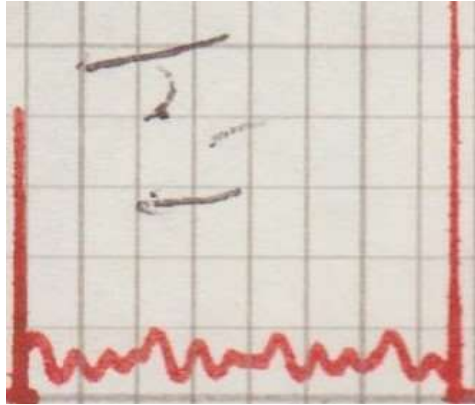
Model B Fr 0.5



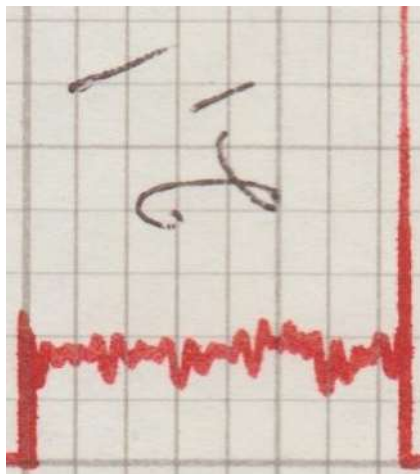
Model B Fr 0.6



Model C Fr 0.2



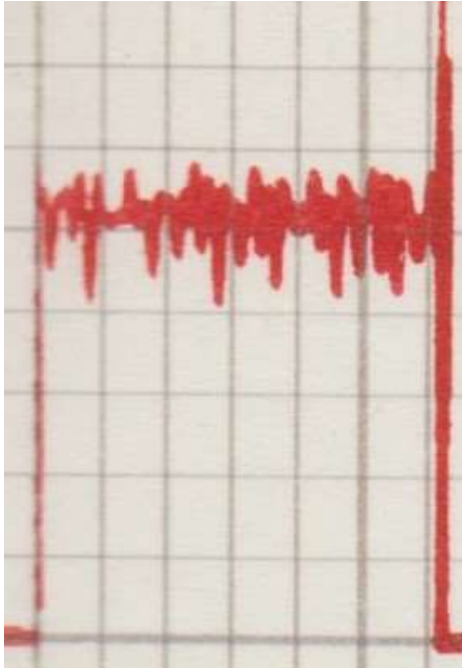
Model C Fr 0.3



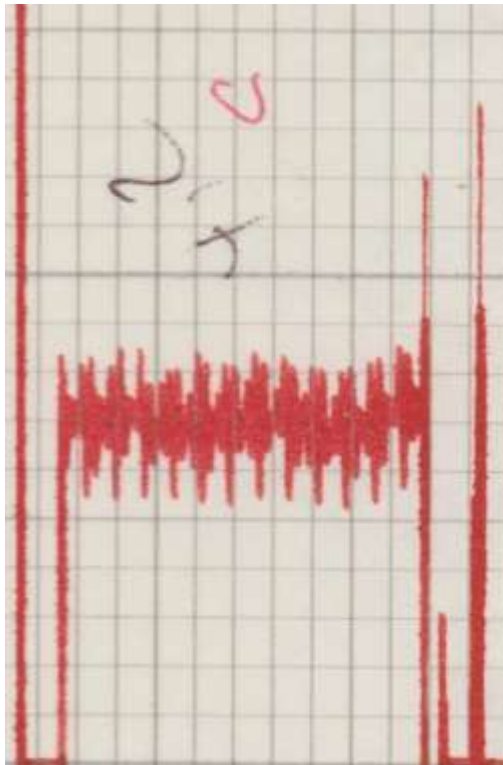
Model C Fr 0.4



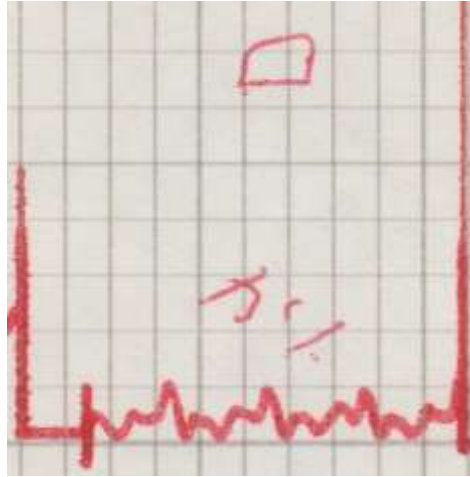
Model C Fr 0.5



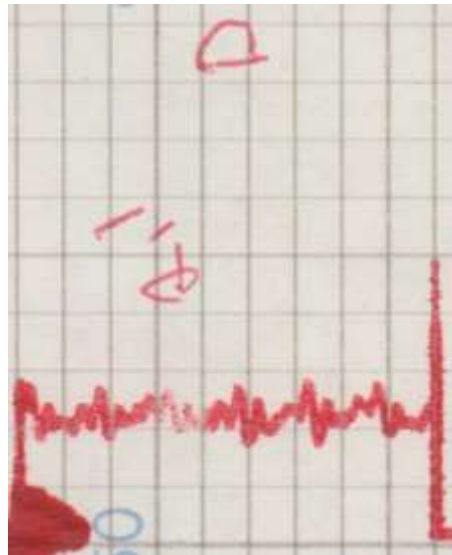
Model C Fr 0.6



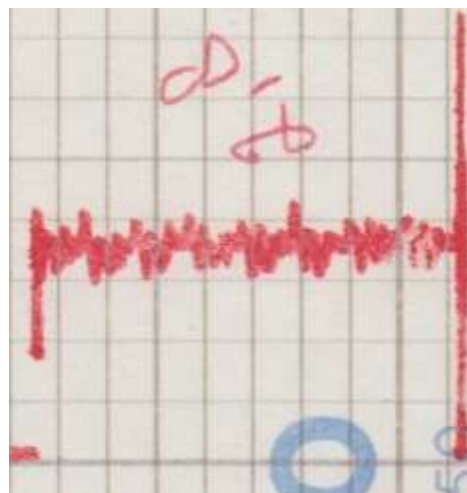
Model D Fr 0.2



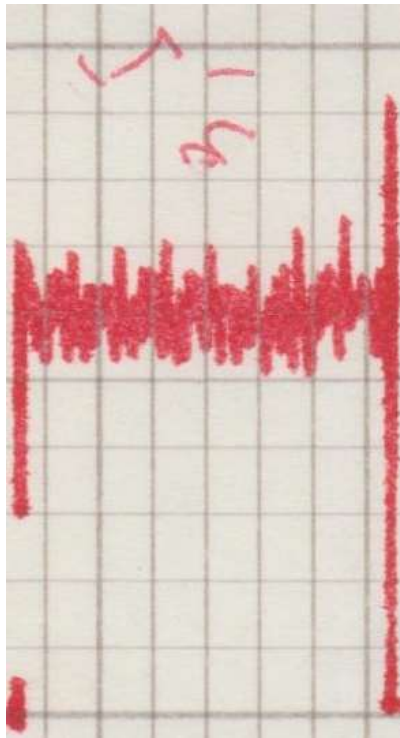
Model D Fr 0.3



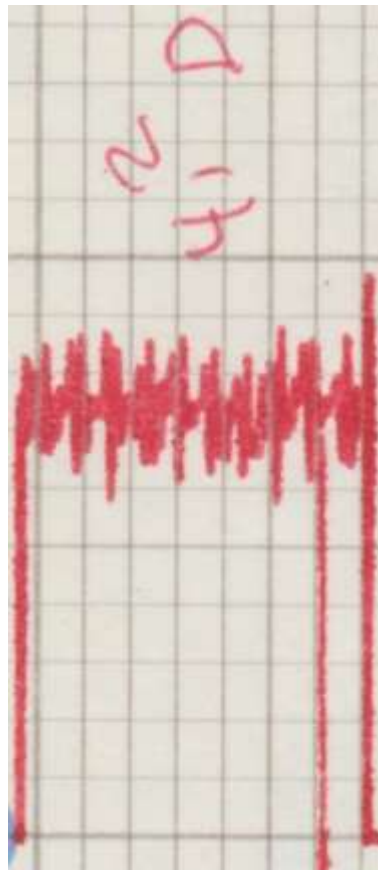
Model D Fr 0.4



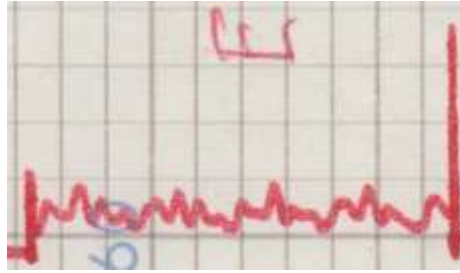
Model D Fr 0.5



Model D Fr 0.6



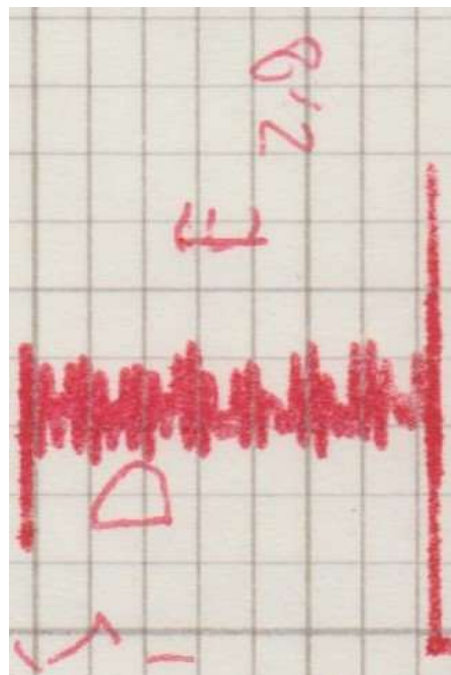
Model E Fr 0.2



Model E Fr 0.3



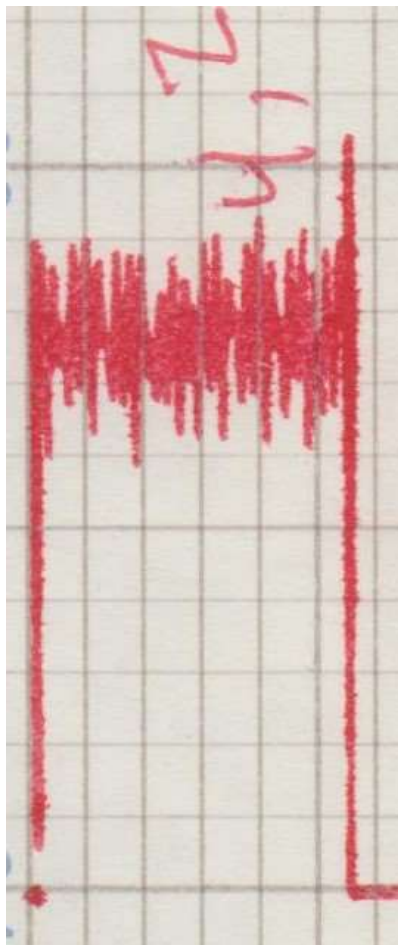
Model E Fr 0.4



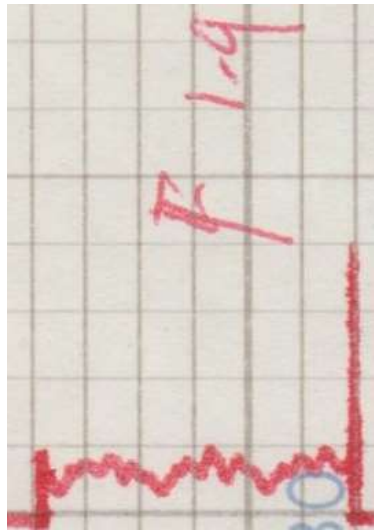
Model E Fr 0.5



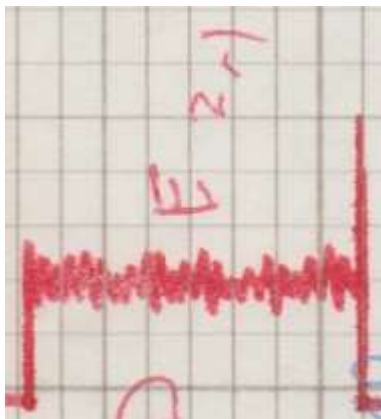
Model E Fr 0.6



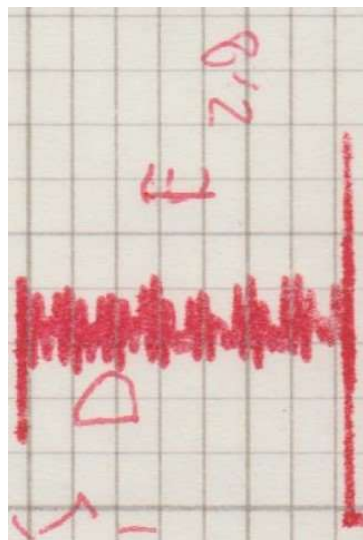
Model F Fr 0.2



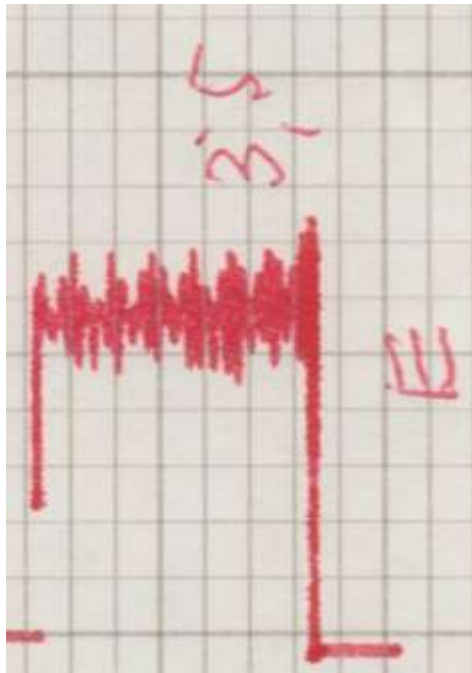
Model E Fr 0.3



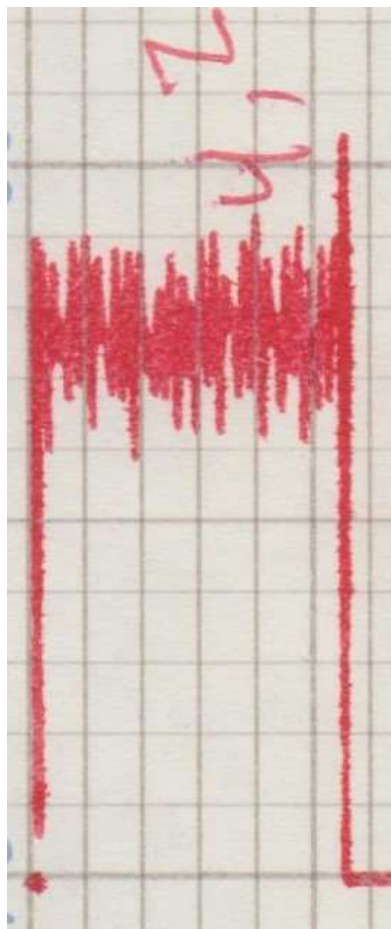
Model E Fr 0.4



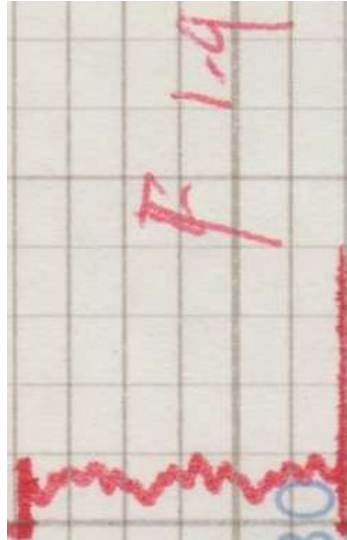
Model E Fr 0.5



Model E Fr 0.6



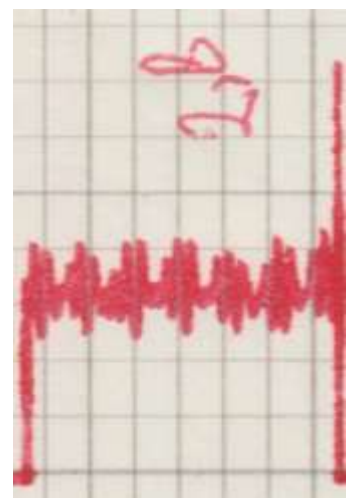
Model F Fr 0.2



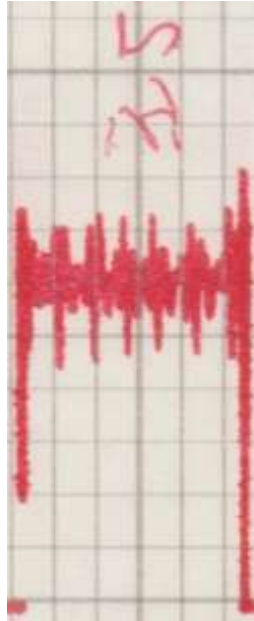
Model F Fr 0.3



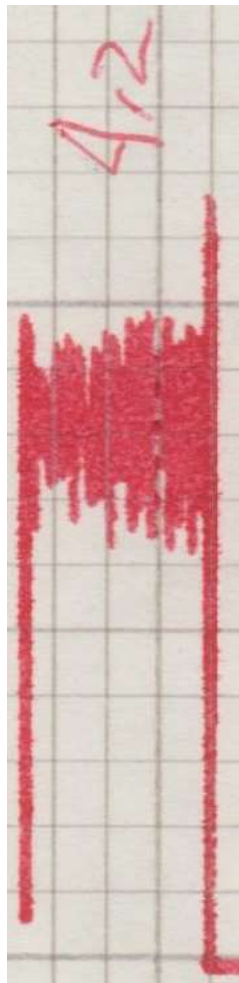
Model F Fr 0.4



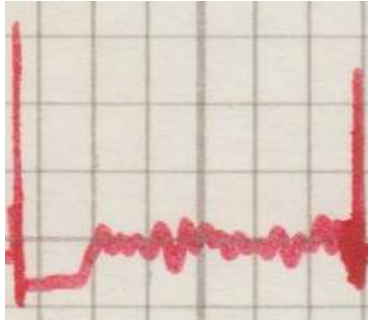
Model F Fr 0.5



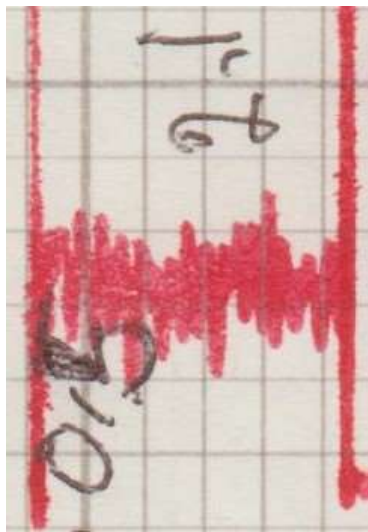
Model F Fr 0.6



Model MH Fr 0.2



Model MH Fr 0.3



Model MH Fr 0.4



Model MH Fr 0.5



Model MH Fr 0.6



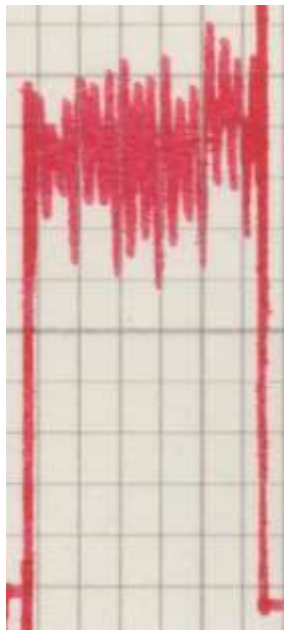
Model SHT Fr 0.2



Model SHT Fr 0.3



Model SHT Fr 0.4



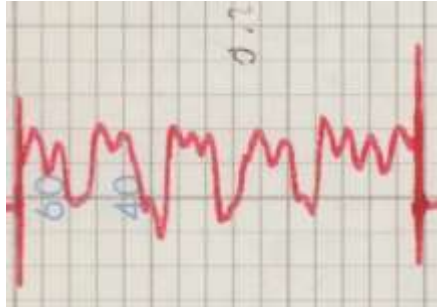
Model SHT Fr 0.5



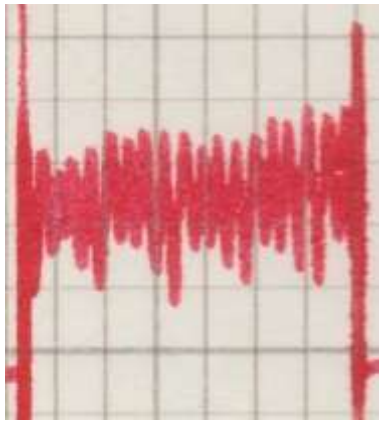
Model SHT Fr 0.6



Model SHP Fr 0.2



Model SHP Fr 0.3



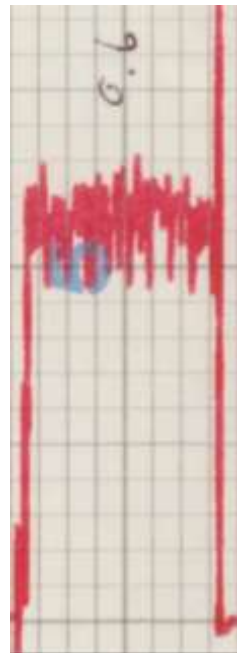
Model SHP Fr 0.4



Model SHP Fr 0.5



Model SHP Fr 0.6



BIODATA PENULIS



Muhammad Rizki Alia, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 22 Desember 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TKIT Ummul Quro, kemudian melanjutkan ke SDIT Lazuardi Global IslamicSchool, SMPN 2 Depok dan SMAN 1 Depok. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur mandiri.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kajian Strategis HIMATEKPAL ITS 2016/2017 serta aktif mengikuti kompetisi-kompetisi.

Email: rizki.alia15@mhs.na.its.ac.id/rizkialia12@gmail.com