

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANING HULL  
AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN  
MENGUNAKAN STEPPED U**

Disusun dan diajukan oleh:

**ADE SYAMRISAL ARNINDHA**

**D031171508**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANING HULL  
AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN  
MENGUNAKAN STEPPED U**

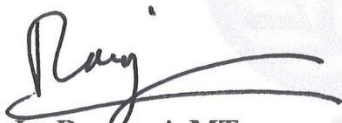
Disusun dan diajukan oleh

**ADE SYAMRISAL ARNINDHA**  
**D031 17 1508**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 17 Februari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

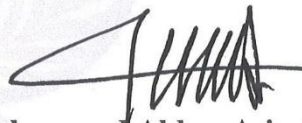
Pembimbing Utama,



Ir. Rosmani, MT.

Nip. 19600620 198802 2 001

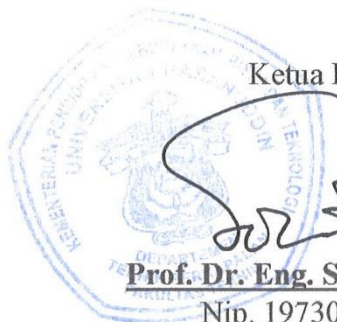
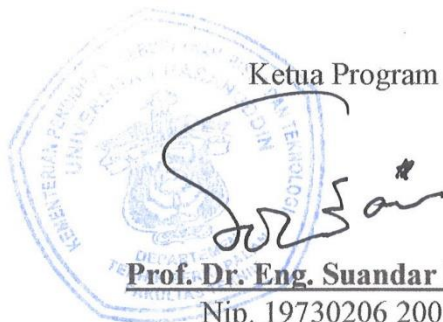
Pembimbing Pendamping,



Muhammad Akbar Asis, ST., MT.

Nip. 19950501 202101 5 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

Nip. 19730206 200012 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : ADE SYAMRISAL ARNINDHA  
NIM : D031 17 1508  
Program Studi : TEKNIK PERKAPALAN  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANING HULL  
AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN  
MENGUNAKAN STEPPED U}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 17 Februari 2023

Yang Menyatakan



Ade Syamrisal Arnindha

## ABSTRAK

Ade Syamrisal Armindha//D031171508. “**STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANING HULL AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN MENGGUNAKAN STEPPED U**”. (Dibimbing oleh Ir. Hj. Rosmani, MT. dan Muhammad Akbar Asis, ST., MT.).

Kapal sebagai moda transportasi laut di Indonesia menjadi sangat penting belakangan ini mengingat Indonesia adalah negara kepulauan. Ada berbagai jenis type kapal yang berlayar di Indonesia. Salah satunya adalah penumpang kapal cepat (*high speed ferry*) dimana Kapal ferry cepat ini memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain. ini disebabkan oleh model lambung kapal yang di gunakan. yaitu lambung *planning hull*. Sehingga saat ini, desain kapal cepat mengalami banyak perubahan atau modifikasi lambung kapal untuk mendapatkan desain yang menjamin performa dan keselamatan kapal. Dalam menjamin performa kapal, aspek yang paling penting untuk dikaji ialah tahanan kapal. Salah satu cara untuk menurunkan tahanan kapal cepat ialah modifikasi bentuk lambung dengan penambahan *Stepped hull*. Dalam penelitian ini, melakukan studi *stepped* berbentuk U dengan variasi jumlah; 1 *Stepped*, 2 *Stepped*, dan 3 *Stepped*. Pada pengujian model hasil analisis peningkatan kecepatan menyebabkan, Kenaikan trim kapal. Kemudian dari hasil pengujian yang telah didapatkan, dilakukan perhitungan tahanan kapal dengan menggunakan *software maxsurf*. lalu didapatkan hasil analisis perbandingan nilai tahanan yang mengalami persentase penurunan, pada *stepped 2* dengan kecepatan 2.5 – 3.5 m/s sebesar 31.530%, 30.803%, 30.521%, dan *Stepped 3* dengan kecepatan 2.5 – 3.5 m/s sebesar 56.208%, 52.321%, 51.890%.

**Kata Kunci: Kapal, Stepped, Maxsurf, Trim, Tahanan.**

## ABSTRACT

Ade Syamrisal Arnindha/D031171508. "**EXPERIMENTAL STUDY OF PLANING HULL SHIP RESISTANCE DUE TO DEADRISE EFFECT OF 10 DEGREES BY USING STEPPED U**". (Supervised by Ir. Hj. Rosmani, MT. and Muhammad Akbar Asis, ST., MT.).

Ships as a type of sea transportation in Indonesia have become very important lately, considering that Indonesia is an archipelago country. There are various types of ships sailing in Indonesia.. One of them is the high speed ferry which has a relatively higher speed than other ships. It is caused by the hull model used, namely the planing hull. In guaranteeing the performance of the ship, the most important aspect to study is ship resistance. One way to reduce the resistance of fast ships is to modify the shape of the hull by adding a stepped hull. In this research, a U-shaped stepped study was carried out with a number of variations; 1 Stepped, 2 Stepped, and 3 Stepped. Until now, the design of fast ships has undergone many changes or modifications to the ship's hull to obtain a design that guarantees the performance and the safety of the ship. In testing the model analysis results, an increase in speed causes an increase in ship trim. Then from the test results obtained, the calculation of ship resistance is carried out using maxsurf software. finally the results of the comparative analysis of the resistance value which experienced a decrease in percentage were obtained, on stepped 2 with a speed of 2.5 – 3.5 m/s of 31.530%, 30.803%, 30.521%, and on Stepped 3 with a speed of 2.5 – 3.5 m/s of 56.208%, 52.321 %, 51.890%.

**Keywords:** *Ship, Stepped, Maxsurf, Trim, Resistance.*

## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR .....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Kapal Cepat.....	6
2.2 Karakteristik Kapal Cepat .....	7
2.3 Planning hull .....	8
2.4 Stepped Hull.....	10
2.5 Tahanan kapal .....	12
2.6 Trim Kapal .....	15
2.7 Metode Wyman.....	16
2.8 Towing Tank.....	18
2.9 Hukum Perbandingan Model.....	18
2.10 Software Maxsurf.....	20
2.10.1 Maxsurf Modeler .....	21

2.10.2	Maxsurf resistance .....	21
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>		<b>23</b>
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.1.1.	Lokasi Penelitian .....	23
3.1.2.	Waktu Penelitian.....	23
3.2.	Jenis Penelitian.....	23
3.3.	Metode Pengumpulan Data .....	23
3.4.	Metode pengolahan data.....	23
3.4.3.	Pembuatan Model.....	24
3.4.4.	Pengujian Model.....	28
3.4.5.	Matriks Pengujian.....	29
3.4.6.	Matriks Kebutuhan Pengujian.....	29
3.4.7.	SOP Pengujian.....	32
3.5.	Analisis Data .....	33
3.5.1.	Analisis Kecepatan dan Derajat Trim Model Kapal.....	33
3.5.2.	Pengkondisian Trim Model Kapal .....	33
3.5.3.	Menghitung Tahanan Kapal dengan Maxsurf Resistance .....	35
3.5.4.	Penarikan Kesimpulan .....	38
3.6.	Kerangka pemikiran .....	39
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>40</b>
4.1.	Desain <i>Deadrise Angle</i> 10° Dan <i>Stepped</i> Pada Kapal .....	40
4.2.	Desain Bentuk Kapal dan Variasi <i>Stepped U</i> .....	40
4.3.	Penentuan kecepatan dan trim dari percobaan model <i>Deadrise Angle</i> 10° dan 1 <i>Stepped U</i> .....	41
4.4.	Perhitungan Tahanan Model <i>Planning hull Stepped U Deadrise Angle</i> 10 Derajat.....	43
4.5.	Perbandingan Nilai Tahanan Total Model Kapal dan Kecepatan yang sama untuk Setiap Jumlah <i>Stepped U</i> .....	50
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>		<b>55</b>
5.1.	Kesimpulan .....	55
5.2.	Saran .....	55
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lambung Kapal cepat.....	7
Gambar 2.2 Tipe <i>Planning Hull</i> .....	9
Gambar 2.3 <i>Deadrise</i> Kapal <i>Planning Hull</i> .....	10
Gambar 2.4 <i>Stepped Hull</i> .....	11
Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada kapal .....	12
Gambar 2.6 Kondisi Trim. ....	15
Gambar 2.7 Towing tank.....	18
Gambar 3.1 Lines plan kapal pada Software Autocad.....	24
Gambar 3.2 Peletakan <i>Stepped</i> pada Software Autocad.....	25
Gambar 3.3 Frame direkatkan pada pola waterline .....	26
Gambar 3.4 Proses pengaplikasian serat met ke badan kapal.....	26
Gambar 3.5 Proses Pengecatan Model .....	27
Gambar 3.6 Penggambaran garis sarat dan section model.....	27
Gambar 3.7 Pemasangan alat penggerak model. ....	28
Gambar 3.8 ESC ( <i>Electronic Speed Control</i> ).....	29
Gambar 3.9 <i>Remote Control</i> .....	30
Gambar 3.10 <i>Receiver 32</i> .....	30
Gambar 3.11 Baterai 5000 mAh.....	30
Gambar 3.12 Motor DC <i>brushless</i> .....	31
Gambar 3.13 <i>Propeller 3 blade</i> .....	31
Gambar 3.14 <i>Shaft</i> dan <i>Universal Joint</i> .....	31
Gambar 3.15 Tampilan menu bar “ <i>File</i> ” dan <i>Open Design</i> .....	33
Gambar 3.16 Tampilan menu ” <i>Surface</i> ” .....	34
Gambar 3.17 Tampilan menu " <i>Rotate Surface</i> " .....	34
Gambar 3.18 Tampilan Profile model kapal pada kondisi trim .....	35
Gambar 3.19 Tampilan pemilihan <i>Surface</i> .....	35
Gambar 3.20 Tampilan Menu “ <i>Analysis</i> ” .....	36
Gambar 3.21 Tampilan pemilihan metode. kecepatan dan <i>effeciency</i> .....	36
Gambar 3.22 Tampilan <i>Calculate Free Surface</i> .....	37
Gambar 3.23 Data hasil perhitungan nilai tahanan.....	37
Gambar 3.24 Kurva nilai tahanan.....	38



Gambar 3.25 Kerangka Pemikiran .....	39
Gambar 4.1 <i>Body Plan SS 44 Bottom Keel Plate</i> .....	40
Gambar 4.2 <i>Body Plan SS 44 Deadrise 10°</i> .....	40
Gambar 4.3 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung <i>Deadrise Angle 10° dan 1 Stepped U</i> .....	41
Gambar 4.4 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung <i>Deadrise Angle 10° dan 2 Stepped U</i> .....	41
Gambar 4.5 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung <i>Deadrise Angle 10° dan 3 Stepped U</i> .....	41
Gambar 4.6 Pengukuran Trim Model Kapal .....	42
Gambar 4.7 Hasil pengukuran kecepatan dan trim model kapal di Towing Tank. ....	43
Gambar 4.8 Hubungan Froude Number Volume terhadap Tahanan total, Trim dan Luas Bidang Basah.....	46
Gambar 4.9 Tahanan Sisa Dan Tahanan Gesek <i>Stepped 1</i> .....	47
Gambar 4.10 Tahanan Sisa Dan Tahanan Gesek <i>Stepped 2</i> .....	48
Gambar 4.11 Tahanan Sisa Dan Tahanan Gesek <i>Stepped 3</i> .....	49
Gambar 4.12 Kurva variasi Stepped dengan kecepatan yang sama terhadap Luas Bidang Basah.....	51
Gambar 4.13 Kurva variasi Stepped dengan kecepatan yang sama terhadap Trim.....	51
Gambar 4.14 Kurva variasi Stepped dengan kecepatan yang sama terhadap Tahanan total.....	52
Gambar 4.15 Persentase Perbandingan Kecepatan dan Tahanan model kapal <i>Deadrise Angle 10 derajat dengan 1 Stepped U, 2 Stepped U, 3 Stepped U</i> .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data ukuran utama kapal .....	24
Tabel 3.2 alat dan bahan.....	25
Tabel 3.3 Tabel Matriks Pengujian .....	29
Tabel 3.4 Matriks Kebutuhan Pengujian .....	32
Tabel 4.1 Hasil pengukuran Kecepatan dan Trim untuk model <i>Deadrise Angle</i> 10° dan 1 <i>Stepped U</i> .....	42
Tabel 4.2 Nilai Tahanan Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 1 <i>Stepped U</i> Pada <i>Maxsurf Resistance</i> .....	44
Tabel 4.3 Tabel Nilai Tahanan Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 2 <i>Stepped U</i> Pada <i>Maxsurf Resistance</i> .....	44
Tabel 4.4 Tabel Nilai Tahanan Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 3 <i>Stepped U</i> pada <i>Maxsurf resistance</i> .....	45
Tabel 4.5 Tabel Nilai Tahanan Gesek dan Tahanan Sisa Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 1 <i>Stepped U</i> Pada <i>Maxsurf Resistance</i> .....	47
Tabel 4.6 Tabel Nilai Tahanan Gesek dan Tahanan Sisa Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 2 <i>Stepped U</i> Pada <i>Maxsurf Resistance</i> .....	48
Tabel 4.7 Tabel Nilai Tahanan Gesek dan Tahanan Sisa Model <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat dan 3 <i>Stepped U</i> Pada <i>Maxsurf Resistance</i> .....	49
Tabel 4.8 Nilai Luas Bidang Basah dan Kondisi Sudut Trim Lambung <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah <i>Stepped U</i> untuk Kecepatan yang Sama .50	50
Tabel 4.9 Nilai Tahanan Model Kapal dan angka Froude Number Volume pada Lambung <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah <i>Stepped U</i> untuk Kecepatan yang Sama .....	50
Tabel 4.10 Perbandingan Nilai Tahanan Model Kapal dengan Lambung <i>Deadrise Angle</i> 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah <i>Stepped U</i> untuk Kecepatan yang Sama .....	52

## DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )
Re	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froude Number Volume
Cw	= Koefisien Wyman
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
$\eta_{\eta b}$	= Efisiensi poros dan baling - baling
$\eta_{rr}$	= Efisiensi relatif rotatif
$\eta_o$	= Efisiensi open water test
$\eta_h$	= Efisiensi lambung kapal
SHP	= Shaft Horse Power (HP)
DHP	= Delivery Horse Power (HP)
EHP	= Efficiency Horse Power (HP)
Rt	= Tahanan total (Kn)
L <sub>r</sub>	= Skala model
L <sub>m</sub>	= Panjang model (m)
L <sub>p</sub>	= Panjang Kapal (m)
V <sub>m</sub>	= Kecepatan model (m/s)
V <sub>p</sub>	= Kecepatan Kapal (m/s)

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penentuan Skala Model.

Lampiran 2. Ukuran Utama Model.

Lampiran 3. Tabel Nilai Kecepatan Model Kapal masing-masing Stepped.

Lampiran 4. Kondisi model kapal 1 *Stepped* U pada saat pengujian

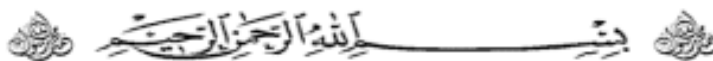
Lampiran 5. Kondisi model kapal 2 *Stepped* U pada saat pengujian

Lampiran 6. Kondisi model kapal 3 *Stepped* U pada saat pengujian

Lampiran 7. Gambar Lines Plan Kapal SS 44 Tanpa Deadrise

Lampiran 8. Gambar Lines Plan Kapal SS 44 Deadrise 10°

## KATA PENGANTAR



### **Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Alhamdulillah. segala puji dan syukur kepada Allah SWT. atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “**STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANNING HULL AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN MENGGUNAKAN STEPPED U**”. Yang disusun guna untuk memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun sangat menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh dari penulis.

Tidak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang sangat membantu dan terlibat dalam banyak hal semasa penulis menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin. Oleh sebab itu, disini penulis menyampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis (H. Muh. Safar dan Hj. Suriani) yang telah memberikan doa dan dukungan baik secara materi maupun motivasi kepada penulis. sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso. ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin. Dan Ibu Dr. Eng. Andi Ardianti. ST., MT., selaku Sekretaris Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin yang telah banyak memberikan motivasi dan kesabaran dalam mendidik penulis selama menjalani proses perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan.
3. Ibu Ir. Rosmani. MT. selaku pembimbing I dan Kanda Muhammad Akbar Asis. ST., MT., selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen dan seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan kemurahan hatinya dalam

mengajar maupun membantu segala administrasi penulis. selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Sahabat di klub ANKER09 (Zcoopy, Irham, Ulu, Eky, Saldi, Nanang, Fadlu) yang dari semester awal sampai semester akhir telah menemani penulis berjuang. Terima kasih banyak atas suka dukanya. kalian sudah seperti saudara kandung bagi penulis.
6. Sahabat di PACCAL CLUB (Uyun, Memet, Isra, Aldi, Ardi, Agfar) terima kasih atas motivasi dan sarannya kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. sehingga penulis bisa berdiri dengan tegak dan bangga di depan kalian nantinya.
7. Seluruh sahabat-sahabat di PERIZCOPE yang telah memberikan kenangan serta dedikasi yang begitu dalam sehingga penulis dapat sampai pada titik ini.
8. Seluruh kanda-kanda senior yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Dan terkhusus untuk Angkatan 2015. terima kasih sudah mengajarkan berbagai hal kepada penulis. Sehingga penulis bisa lebih dewasa dalam pikiran maupun perbuatan.
9. Seluruh adik-adik Angkatan 2018 dan 2019. terima kasih dan apresiasi yang sebesar-sebarnya penulis berikan untuk kalian. Penulis bangga dengan kalian. dan pastinya penulis akan merindukan percakapan-percakapan konyol dengan kalian.
10. Seluruh pihak terkait yang telah hadir di kehidupan kampus penulis. baik secara langsung maupun tidak langsung. penulis ucapkan terima kasih.

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan sungai, laut dan danau di Indonesia sebagai jalur transportasi air saat ini sangat besar. Berbagai dermaga dibangun di hampir semua pulau-pulau dari Sabang hingga Merauke. Indonesia yang merupakan negara maritim terbesar di dunia dimana terhampar beribu-ribu pulau dan lautan yang luas. Daratan Indonesia seluas 1.904.569 km<sup>2</sup> dan lautnya seluas 3.288.683 km<sup>2</sup>. kapal-kapal yang berlayar pun bervariasi mulai yang bertonase kecil hingga bertonase besar. Bahkan saat ini, kapal masih menjadi transportasi penting untuk meningkatkan kegiatan ekonomi suatu wilayah. Hal inilah yang menyebabkan perhubungan laut di Indonesia sangat dibutuhkan mengingat Indonesia adalah negara kepulauan dimana untuk menempuh jarak dari satu pulau dengan pulau lainnya diperlukan sarana pengangkutan laut yang memadai.

Kapal sebagai moda transportasi laut di Indonesia menjadi sangat penting belakangan ini mengingat Indonesia adalah negara yang berkepulauan. Ada berbagai jenis type kapal yang berlayar di Indonesia, salah satunya adalah kapal ferry. Kapal ferry digunakan sebagai moda transportasi penyeberangan antar pulau, diantaranya melalui kapal penyeberangan berupa *ferry roll on roll off* atau biasa disebut kapal ferry ro-ro. Kapal ferry ro-ro berfungsi untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya tetapi ada juga kapal penumpang cepat (*high speed ferry*) yang memberikan alternatif pilihan moda transportasi kapal laut kepada calon penumpang transportasi laut yang digunakan sebagai transportasi penyeberangan antara pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh kapal ferry ro-ro. Kapal ferry cepat ini memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, ini disebabkan oleh model lambung kapal yang di gunakan, yaitu lambung *planning hull*.

Saat ini, desain kapal cepat mengalami banyak perubahan atau modifikasi untuk mendapatkan desain kapal yang lebih menjamin performa dan keselamatan saat berlayar di lautan, salah satu modifikasi ada pada bagian *hull*. Cara modifikasi bagian *hull* ialah penambahan bentuk *stepped hull*. Prinsip dari penggunaan *stepped hull* adalah mengurangi permukaan bidang basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah gaya tekan keatas yang akan mengurangi tahanan kapal serta menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Pada penelitian yang dilakukan Garland, W.R. "*Stepped planing hull investigation, 2010*" desain lambung

kapal menggunakan *stepped* diketahui memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan desain model kapal tanpa *stepped*.

Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (*Stepped planing hull*) ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal. dan akan menambah daya tekan keatas kapal (*lifting force*). sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi dengan demikian maka akan menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih kecil serta bahan bakar yang lebih sedikit (Sandiary dkk. 2019).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh (Abdul muiz, 2021) dengan eksperimen variasi *Stepped* berbentuk U dan sudut deadrise  $5^0$  dan software CFD (Selvy, 2022). Hasil penelitian yang didapatkan yakni terjadi penurunan nilai tahanan pada sudut trim yang besar. Dengan penambahan sudut deadrise  $>5^0$ , apakah juga mengalami penurunan tahanan yang lebih besar.

Sehingga berdasarkan hal diatas maka penelitian mengangkat judul yaitu “STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN KAPAL PLANNING HULL AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DENGAN MENGGUNAKAN STEPPED U”



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas. maka rumusan masalah yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah perubahan nilai sudut trim pada bentuk lambung kapal *planning hull* dengan *deadrise* 10 derajat dan variasi jumlah stepped berbentuk U pada beberapa kondisi kecepatan kapal?
2. Berapa besar perubahan nilai tahanan kapal pada bentuk lambung kapal *planning hull* dengan *deadrise* 10 derajat dan variasi jumlah stepped berbentuk U pada beberapa kondisi kecepatan kapal?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini. sebagai berikut :

1. Kapal yang digunakan adalah kapal cepat berbentuk lambung *Deadrise Angle* 10°.
2. Bentuk *stepped planning* U dengan variasi jumlah stepped yaitu: 1 *stepped*, 2 *stepped*, 3 *stepped*.
3. Variasi Kecepatan akan di ambil 8 sampel dengan range 2 m/s – 4 m/s.
4. Dilakukan pada kondisi air tenang.
5. Pengolahan data kecepatan dan trim berdasarkan pengujian model di Towing tank.
6. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan seperti Rudder. Propeller. dll.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar kenaikan sudut trim pada bentuk lambung kapal menggunakan variasi jumlah *stepped* berbentuk U dengan *Deadrise* 10 derajat pada beberapa kondisi kecepatan kapal.
2. Mengetahui besar perubahan nilai tahanan pada bentuk lambung kapal menggunakan variasi jumlah stepped berbentuk U dengan *deadrise* 10 derajat terhadap beberapa kondisi kecepatan kapal.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

- 1) Sebagai referensi didalam mendesain bentuk lambung dengan *deadrise 10* derajat dan variasi jumlah *stepped hull* berbentuk U hubungannya dengan tahanan kapal cepat.
- 2) Untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan nilai tahanan kapal cepat.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir (skripsi) ini meliputi sebagai berikut:

### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian. rumusan masalah. batasan masalah. tujuan penelitian. manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini menjelaskan tentang teori-teori gambaran wilayah penelitian. berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini akan dikemukakan mengenai lokasi atau daerah penelitian. waktu penelitian. jenis penelitian. jenis data. metode pengolahan data. dan kerangka pikir penelitian.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan uraian mengenai pembahasan permasalahan yang diteliti yaitu hubungan antara penggunaan *stepped* pada kapal dengan nilai tahanan yang dihasilkan kapal cepat dengan pengujian eksperimental.

**BAB V : PENUTUP**

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang direkomendasikan penulis terkait penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kapal Cepat

Kapal cepat adalah kapal dengan kecepatan operasi maksimum diatas 30 knot. mengingat banyaknya ragam karakteristik hidrostatis kapal dengan menggunakan *Froude number* ( $F_n$ ). maka kapal dengan  $F_n$  diatas 0.4 atau *submerged hull* (lambung tercelup) masih tergolong sebagai kapal cepat seperti kapal *conventional monohull* dan *catamaran*. Berdasarkan  $F_n$  nya. kapal cepat dibagi kedalam 3 jenis : *Displacement vessel* ( $F_n < 0.4$ ). *Semi-displacement vessel* ( $0.4 - 0.5 < F_n < 1.0 - 1.2$ ). dan *Planning vessel* ( $F_n > 1.0 - 1.2$ ). [1].

Dalam Jurnal Teknik Perkapalan, 2018. Pada suatu kondisi air yang tenang. suatu fenomena hidrodinamik yang terjadi pada kapal yang dirancang sebagai kapal *water planning* seperti halnya yang terjadi pada kapal cepat. terjadi kondisi kondisi sebagai berikut :

- a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung *displacement* (pada kondisi lambung memiliki kecepatan nol atau pada kecepatan rendah).
- b. Sebagaimana kecepatan meningkat. lambung akan mendapatkan pengaruh dinamik dari aliran. dikarenakan terjadi peningkatan kecepatan aliran.
- c. Pada kecepatan yang lebih tinggi hingga tercapai koefisien kecepatan antara 0.5 hingga 1.5. maka gaya dinamik tersebut akan berkontribusi menjadi daya angkat (*lift*).
- d. Pada koefisien kecepatan yang lebih besar dari 1.5. suatu lambung kapal cepat yang dirancang secara baik akan ikut membangkitkan gaya angkat dinamik. yang berpengaruh pada kenaikan titik pusat grafitasi (kenaikan pada lambung).

Menurut *J.lawrence*.dalam Rosmani Dkk, 2013 dalam perencanaan kapal cepat kita harus memperhatikan hal-hal berikut :

1. Dapat mempertahankan tahanan kapal yang rendah
2. Dapat meminimalkan dampak gelombang yang dihasilkan
3. Tidak terjadi propoising
4. Dapat mentransmisikan daya secara sempurna melalui sistem propulsi kapal.

## 2.2 Karakteristik Kapal Cepat

Menurut *J. Lawrence* (1985). Rosmani (2013). mengatakan karakteristik high speed craft dipengaruhi Froude numbernya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk *lanning craft*. luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu. bilangan *Froude number* ( $F_n$ ) sering digunakan sebagai parameternya. ( $F_n$ ) didefinisikan sebagai berikut:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \times L}} \dots \dots \dots (2.1)$$

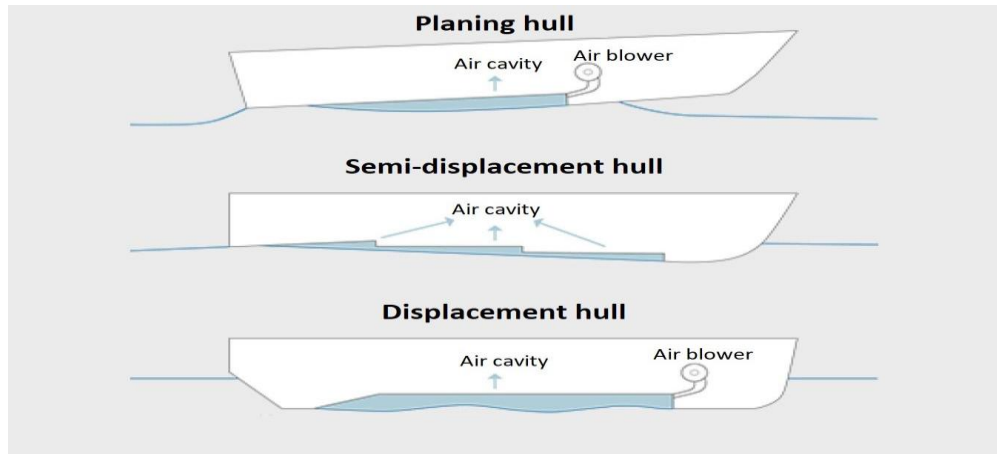
Dimana :

$V$  : Volume ( $m^3$ )

$g$  : Gaya Gravitasi ( $m/s^2$ )

$L$  : Panjang (m)

Baird (1998). mengelompokkan batasan besaran angka *Froude* berdasarkan tipe lambung kapal pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lambung Kapal cepat

Sumber: (<https://mboat.eu/displacement-hull/>)

$F_n > 0.4-0.5$

*displacement*

$0.4-0.5 > F_n > 1.0 -1.2$

*semi displacement*

$F_n > 1.0 -1.2$

*planing vessel (lambung planning).*

### 2.3 Planning hull

*Planning Hull* merupakan tipe kapal yang cocok digunakan untuk pelayaran dengan kecepatan tinggi. *Planning Hull* adalah jenis kapal yang dapat mengangkat kapal dengan meningkatkan komponen *hydrostatic lift* yang berarti pada kecepatan lebih rendah kapal bekerja seperti kapal displacement dan secara bertahap mulai '*ploughing water*' dengan meningkatkan kecepatan dan kekuatan.

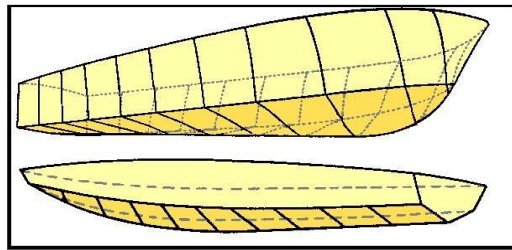
Kapal dengan *Planning Hull* meluncur di sepanjang permukaan air dengan kecepatan tinggi dan akan naik di atas permukaan air dan akan menghempas permukaan air (seperti halnya dengan kapal berkecepatan sangat tinggi). Lambung kapal tipe ini disesuaikan dengan sudut lambung pada saat pelayaran dengan kecepatan tinggi dan secara efektif lambung bagian bawah kapal mendukung tekanan air dinamis (*dynamic water pressure*) bentuk lambung lebar permukaan pada lambung bagian bawah. Bentuk transom vertikal di bagian bagian belakang kapal. Luas penampang melintang pada lambung bagian bawah air dijaga secara tetap sepanjang setengah lambung kapal.

Lambung berbentuk datar dan V adalah contoh dari *Planing Hull*. Di Indonesia, kapal tipe *planning hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planning hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.

Kapal cepat (*planing hull*) terdiri dari gaya gesek (*friction*) dan gaya vertikal (*induced drag*), dimana hambatan geseknya lebih dominan dari total hambatan. Fenomena ini membuat para ahli kapal terinspirasi untuk menciptakan desain kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu belakangan ini banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: *air cushion vehicles (ACV)*, *seaplanes*, *wing-in-ground effect (WIG) craft*, *planning hydrofoil ships*, *surface effect ships (SES)* dan kapal *Stolkraft*. Jenis kapal cepat tersebut memiliki karakteristik operasional dan keunggulan tertentu serta banyak diaplikasikan sebagai kapal patroli, kapal penyelamat, kapal penumpang, kapal riset dan kapal pesiar. (Jamaluddin, 2012)

Menurut A. Haris Muhammad (2009). Rosmani (2013). menyatakan Penelitian awal hidrodinamika kapal tipe *planning hull* telah dimulai di Amerika Serikat (AS) sejak 40 tahun yang lalu. Penelitian ini awalnya bertujuan untuk merencanakan sebuah *aircraft (flying boat)* dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan

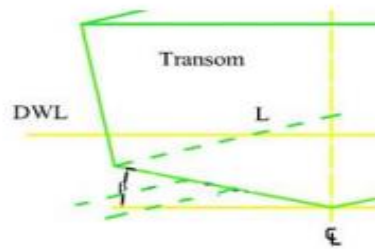
teknologi. konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan *planning hull*. Bentuk lambung dapat dilihat pada Gambar 2.2. Di Indonesia kapal tipe *planning hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planning hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.



Gambar 2.2 Tipe *Planning Hull*

Kapal planing merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisiensi yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum *hydrodynamic*. setiap benda yang bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat. (Pradipta Rahman Hakim. IKAP Utama.2018).

Kapal *planning hull* merupakan kapal cepat dengan *Volume Froude Number*  $Fr\sqrt{\nabla}=1.0-3.5$  dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi (Molland. Turnock. & Hudson. 2017). Sedangkan [sic!] *deadrise* disebut juga *rise of floor* adalah besar sudut kemiringan alas terhadap garis dasar kapal apabila kapal dilihat dari pandangan *body plan*. Defenisi *deadrise* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Deadrise* Kapal *Planning Hull*

Papanikolaou (2005) menerangkan bahwa 22.1% dari kapal cepat yang beroperasi di dunia menggunakan lambung planing. Kapal jenis ini umumnya digunakan pada jenis kapal *patrol boats*, *sport fishing vessels*, *service craft*, *ambulance craft*, *recreational craft*, dan *sport competitions* (Faltinsen, 2005). Sebagian besar dari kapal tersebut memiliki kecepatan yang sangat tinggi hingga angka *froude*,  $Fn=6.0$  (Ikeda, 2000) namun dengan kecepatan yang sangat tinggi tersebut kapal akan sulit dikendalikan (Coccoli dan Scamardella, 2004). (A. Haris Muhammad & M. Alham Djabbar, 2013:9).

## 2.4 Stepped Hull

*Stepped Hull* atau Lambung Bertangga adalah konfigurasi alternatif untuk *planning hull* dengan kecepatan yang biasanya tinggi. *Stepped Hull* memiliki diskontinuitas melintang yang terletak di beberapa titik pada belakang pusat gravitasi kapal dan pusat tekanan. Lokasi dari peletakan diskontinuitas membujur transversal atau tangga ini sangat penting. Untuk memahami alasan di balik desain *Stepped Hull*, seseorang harus memahami prinsip-prinsip hidrodinamika *planning hull*. Saat sebuah kapal melaju, lambung bawah kapal awalnya akan memotong permukaan air pada suatu titik yang disebut titik stagnasi. Untuk kapal dengan *deadrise*, garis stagnasi ini akan memotong ke belakang sampai berpotongan dengan *hard chine* kedua sisi, pada titik dimana aliran tersebut akan terpisah. Bagian yang tepat di belakang garis stagnasi ini yakni bagian bawah lambung kapal, menghasilkan persentase trim yang sangat besar.

Clement dan Koelbel (1992) telah memperhitungkan persentase daya angkat lambung atau trim ini sekitar 90%. Trim pada lambung kapal paling sering terjadi di dekat pusat gravitasi kapal, kemudian posisinya akan maju ke haluan. Ketika sebuah kapal sedang trim, tekanan air di lambung bagian belakang kapal sangat rendah, dan karena hal itu sangat kecil kemungkinan untuk dapat naik (trim). Namun hal tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tahanan gesek kapal, dari sisi ekonomi hal ini sangat buruk karena dapat

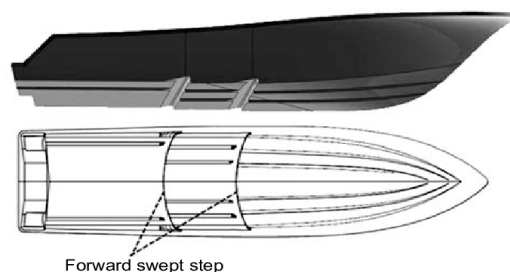


menambah kebutuhan daya kapal yang berakibat kebutuhan bahan bakar yang naik. (Garland, 2010).

*Stepped Hull* adalah konfigurasi pada lambung kapal yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, konfigurasi ini biasa berbentuk mirip “V”. *Stepped Hull* memiliki bukaan yang besar pada sisi outboard pada lambung untuk memberikan rongga udara yang bertujuan untuk men ke bawah. Pada umumnya, *Stepped Hull* dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% dari kecepatan yang diinginkan apabila dibandingkan dengan tidak memakai *stepped hull* dengan *power* pada mesin yang sama.

Suatu alasan mengapa *Stepped Hull* lebih efektif adalah karena area/bagian yang tercelup air biasa dibagi pada beberapa beam sepanjang kapal., karena bentuk lebar kapal seperti ini sehingga lebih efisien, sehingga pada memperkecil gesekan antara lambung kapal dengan air. Jadi, tujuan dari ide tentang *Stepped Hull* adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti pada teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa *Stepped Hull* mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep *stepped hull* ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. (Budiarto,2011).

Menurut Citra Eka F. (2018). *Stephull* atau *transvers step* atau *step planing hull* atau *planing stepped hull* merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa *step* melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping. bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya. *Step hull* sendiriti [sic!] berfungsi mengurangi luasan permukaan basah karena timbulnya turbulensi di bawah badam kapal dan akan menambah gaya angkat ke atas. sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan pada kapal. (Mohtar Aziz. Ali Munazid. Intan Baroroh. 2019).



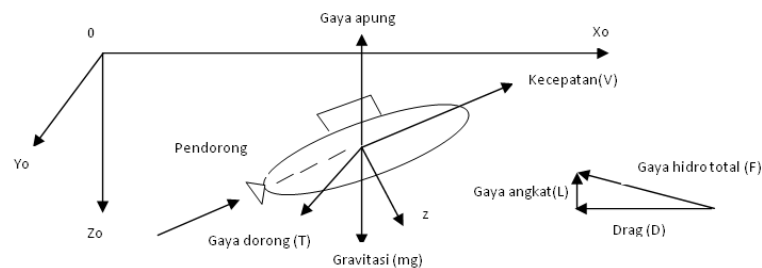
Gambar 2.4 *Stepped Hull*.

Sumber : <https://www.researchgate.net/figure/A-view-of-a-planing-hull-with-two-forward-swept-steps>

## 2.5 Tahanan kapal

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya *fluida* yang bekerja kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya *fluida* yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Sedangkan suatu tahanan kapal ini adalah sama dengan suatu gaya dan karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya *hidrodinamika*. Gaya hidrodinamika ini semata-mata disebabkan oleh gerakan relatif kapal terhadap air.

Gerakan kapal di *fluida* bekerja seperti sistem sumbu orthogonal yaitu 3 (tiga) buah sumbu x, y, dan z, ditempatkan sedemikian rupa, pusat sumbu berimpit dengan titik berat kapal. Bidang x, dan y satu bidang dengan permukaan bumi (sejajar). Dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada kapal

Gerakan kapal dibebani 4 (empat) gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya;

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi ( $m \cdot g$ ).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung)  $F\Delta$  atau  $\gamma v$ . Seperti halnya  $m \cdot g$ , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan  $Z_0$ .
3. Resultan gaya hidrodinamik ( $F$ ) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya  $F$  dapat diuraikan dalam 2 (dua); komponen gaya angkat ( $L$ ) dan komponen tahanan (atau drag)  $R$  (atau  $D$ ). Dimana  $L$  tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan  $R$  (atau  $D$ ) sejajar  $V$ .
4. Gaya dorong ( $T$ ), yang didesakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan arah dengan  $R$ . (Rosmani, 2013).

Menurut ITTC (*International Towing Tank Conference*) hambatan kapal dibagi menjadi beberapa komponen seperti hambatan gesek ( $RF$ ), hambatan sisa ( $RR$ ), hambatan viskos ( $RV$ ), hambatan tekanan ( $RP$ ), hambatan tekanan viskos ( $RPV$ ), hambatan gelombang ( $RW$ ), hambatan pemecah gelombang ( $RWB$ ), hambatan semprotan ( $RS$ ), hambatan tonjolan (*appendage resistance*), hambatan kekasaran permukaan (*surface roughness resistance*), dan Hambatan Udara (*Air Resistance*). (Rosmani, 2013).

Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah:

1. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut. fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut. inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan Viskos ( $RV$ ) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

a. Angka Renold (*Renold's number*,  $Rn$ )

$$Rn = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- V : Volume ( $m^3$ )
- L : Panjang (m)
- $\nu$  : Kecepatan ( $m/s$ )

b. Koefisien gesek (*friction coefficient*,  $Cf$ )

$$Cf = \frac{0.75}{(\log Rn - 2.0)^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- c. Rasio kecepatan dan panjang kapal (*speed length ratio*. Slr)

$$Slr = \frac{V_s}{\sqrt{L}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

L : Panjang tegak garis air (Lwl)

Vs : Kecepatan kapal (knot)

2. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari;

- a. Tahanan gelombang (*Wave Resistance*)

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

- b. Tahanan udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai Tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstruktura*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

- c. Tahanan bentuk (*Form Resistance*)

Tahanan ini erat kaitannya dengan bentuk badan kapal. dimana bentuk lambung kapal yang tercelup di bawah air menimbulkan suatu tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut.

- d. Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal. mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara. anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

- 1.) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)  
Yaitu tahanan dari bos poros. penyangga poros. lunas bilga. daun kemudi dan sebagainya.
- 2.) Tahanan kekasaran  
Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air. pengotoran pada badan kapal. dan tumbuhan laut.
- 3.) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*).  
Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi.  
(Arwini. 2018).

## 2.6 Trim Kapal

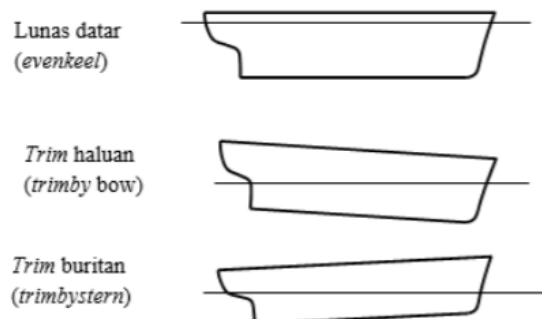
Trim didefinisikan sebagai perbedaan antara sarat di AP ( $TA$ ) dan sarat di FP ( $TF$ ).

$$Trim = TA - TF \dots\dots\dots(2.5)$$

Hasil positif menunjukkan terjadi Trim Buritan. Pada saat kapal dalam kondisi trim. displasemen dan kecepatan kapal tetap konstan. tidak ada penambahan ballast dan kapal tidak mengalami penambahan kecepatan meskipun hambatan berubah ketika kondisi trim (Larsen dikutip dalam Margono. 2017).

Secara umum terdapat tiga kondisi yang dapat dialami kapal. yaitu:

- a) Evenkeel yaitu draft depan kapal sama dengan draft belakang kapal.
- b) Trim haluan yaitu draft belakang lebih kecil dari draft depan.
- c) Trim buritan yaitu draft belakang lebih besar dari draft depan.



Gambar 2.6 Kondisi Trim.

## 2.7 Metode Wyman

Dalam Muthahhar (2021) menyatakan bahwa Formula universal yang digunakan untuk menghitung hambatan lambung mode lambung planning dan displasemen. Metode seperti ini ditetapkan oleh wyman untuk menghasilkan power engine yang sedang dihitung. Dengan demikian untuk menghitung hambatan. maxsurf secara akurat memprediksi hambatan lambung. efisiensi keseluruhan harus ditambahkan pada pemilihan efisien power.

Metode perhitungan ini ditemukan oleh David B. Wyman pada tahun 1998. David B. Wyman adalah seorang naval architecture yang saat ini tinggal di Maine. Amerika Serikat. Beliau pernah mengenyam pendidikan di US Merchant Marine Academy dan saat ini menjadi tenaga pengajar di Maine 21 Maritime Academy (Eric W. Sponberg. 2010). Koefisien Wyman dijabarkan sebagai berikut:

$$C_w = 0.8 \left( 0.17 \times \frac{v}{\sqrt{Lwl}} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- C<sub>w</sub> : Koefisien Wyman
- v : Kecepatan (m/s)
- L<sub>wl</sub> : Panjang garis air (m)

Koefisien C<sub>w</sub> digunakan untuk mencari nilai SHP (Shaft Horse Power) kapal.

$$SHP = \left( \frac{Displ}{1000} \right) \times \left( \frac{v}{C_w \times \sqrt{Lwl}} \right)^3 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

- Displ. : Displacement (ton).
- v : kecepatan (m/s).
- C<sub>w</sub> : Koefisien Wyman.
- L<sub>wl</sub> : Panjang garis air (m).
- SHP : Power Shaft (HP).

Dalam hubungannya dengan perhitungan tahanan kapal menggunakan metode Wyman. nilai SHP (Shaft Horse Power) atau disebut juga dengan PS (Power Shaft) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (stern tube) dari sistem perporosan penggerak kapal. Sedangkan DHP (Delivery Horse Power) atau PD (Power Delivery) adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan gaya

dorong atau dengan kata lain Power Delivery merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (propeller) yang kemudian dirubah menjadi gaya dorong kapal. Adapun untuk persamaannya dijabarkan sebagai berikut:

$$DHP = SHP \times \eta_{\sigma} \eta_b \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

DHP : Power Delivery (HP).

$\eta_{\sigma} \eta_b$  : Efisiensi poros dan baling-baling.

Selanjutnya setelah nilai dari Power Delivery sudah didapatkan kemudian nilai Power Delivery digunakan untuk mencari nilai EHP (*Effective Horse Power*) atau biasa juga disebut Power Effective (PE) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat (resistance). agar kapal dapat bergerak. Adapun persamaannya diuraikan sebagai berikut:

$$EHP = DHP \times P_c \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk nilai  $P_c$  atau koefisien propulsif dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_c = \eta_{rr} \times \eta_o \times \eta_h \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$\eta_{rr}$  : Efisiensi relatif rotatif (1.02-1.05).

$\eta_o$  : Efisiensi propeller saat open water test.

(40% - 70%)  $\eta_h$  : Efisiensi lambung kapal.

$$\eta_H = 1 - t - w \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

t : Thrust deduction power ( $t = k \times w$ ).

w : Wake friction ( $w = [0.5Cb] \times 0.05$ ).

Cb : Koefisien blok.

Karena Power Effective (PE) adalah daya yang digunakan untuk menggerakkan badan kapal. maka terdapat hubungan antara tahanan total ( $R_t$ ) dengan PE. Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$R_t = \frac{EHP}{v} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

EHP : *Effective Horse Power*

v : Kecepatan kapal (knot)

## 2.8 Towing Tank

*Towing Tank* dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dimana tangki percobaan (*Towing Tank*) ini adalah sebuah kolam uji yang berbentuk persegi panjang yang berisikan air tawar (Tidak digunakan air asin dikarenakan alasan kerusakan alat/fasilitas laboratorium). *Towing Tank* ini biasa digunakan untuk melakukan uji coba model kapal untuk mengetahui nilai tahanan dari model kapal. Untuk uji coba ini dapat dilakukan dengan di kondisi air tenang (*Calm Water*) maupun dengan kondisi bergelombang (*Wave Condition*).



Gambar 2.7 Towing tank

## 2.9 Hukum Perbandingan Model

Di dalam melakukan percobaan model untuk mendapatkan besarnya nilai tahanan model haruslah terlebih dahulu memahami langkah – langkah dalam menset-up peralatan uji model dan prosedur pengujian tahanan model yang telah ditetapkan oleh regulasi internasional. dalam hal ini ITTC (*International Towing Tank Convention*) serta peraturan yang telah ditetapkan oleh laboratorium pengujian model. Peraturan yang telah ditetapkan oleh laboratorium pengujian model berupa SOP. instruksi kerja. dan prosedur pengujian



dalam laboratorium. dimaksudkan untuk memastikan konsistensi dari metode untuk pengujian towing tank dan memperoleh hasil yang tepat untuk tahanan dalam air (*deep – water resistance*) termasuk kondisi kemiringan (sinkage. dan trim).

Sebelum melakukan pengujian. wajib mengukur temperatur air pada towing tank. Temperature air 200c - 250c. hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil percobaan yang optimal karena suhu yang terlalu rendah dapat meningkatkan *Viscosity* air dalam kolam dan apabila terlalu tinggi ditakutkan akan mempengaruhi bentuk model lambung kapal.

Zohuri B (2015) menuliskan bahwa dalam pembuatan model kapal harus memenuhi Hukum perbandingan sebagai berikut:

a. Kesamaan Geometris

Pada dasarnya kesamaan geometri antara model dan kapal dapat diperoleh jika rasio semua dimensi model dan kapal adalah sama. Secara matematika maka dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$L_{ratio} = \frac{L_{model}}{L_{ship}} \text{ atau } \frac{L_m}{L_s} = L_r \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

- $L_r$  : skala model.
- $L_m$  : panjang model (m).
- $L_p$  : panjang Kapal (m).

b. Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematis merujuk pada persamaan gerakan. Karena gerakan dideskripsikan oleh jarak dan waktu. itu menunjukkan kesamaan panjang (kesamaan geometri) dan kesamaan interval waktu. Jika panjang model dan prototipe memiliki rasio tetap kecepatannya harus memiliki rasio tetap terhadap interval waktu. Kesamaan kinematis dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gLM}} = \frac{V_S}{\sqrt{gLS}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

- $V_M$  : kecepatan model (m/det).
- $V_S$  : kecepatan kapal (m/det).

c. Kesamaan Dinamis

Kesamaan dinamis adalah kesamaan gaya. Perbedaan gaya antara kapal dan model harus memiliki rasio skala yang sama. Gaya yang dimaksud adalah tekanan, gaya grafitasi, viskositas, elastisitas dan tegangan permukaan. Selain itu, sifat fisik yang mempengaruhi adalah massa jenis, viskositas, elastisitas, dan lainnya. Sebagai contoh, gaya yang bekerja pada inersia  $f_i = \rho V^2 l^2$  dan yang bekerja pada viskositas  $f_v = \mu V l$ , dan memiliki rasio konstan pada semua homologous points model dan prototipe, memberikan persamaan berikut:

$$\frac{(f_i)_{model}}{(f_i)_{prototype}} = \frac{(f_v)_{model}}{(f_v)_{prototype}}$$

$$\left(\frac{f_i}{f_v}\right)_{model} = \left(\frac{f_i}{f_v}\right)_{prototype} = \left(\frac{Vl\rho}{\mu}\right)_{model} = \left(\frac{Vl\rho}{\mu}\right)_{prototype} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$(Re)_{model} = (Re)_{prototype}$$

Dimana:

- Re : Reynold number.  $Vl/v$   $V$  : Kecepatan
- $l$  : Panjang  $\rho$  : Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- $v$  : Viskositas kinematis (m<sup>2</sup> /det)<sup>20</sup>

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan *blockage effect* maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Menurut harvald, penentuan lebar model (Bm) adalah sebagai berikut:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots(2.16)$$

**2.10 Software Maxsurf**

Software Maxsurf adalah sistem pemodelan permukaan tiga dimensi yang kuat untuk digunakan di bidang desain kelautan. Ini memberi Anda lingkungan yang jelas dan familiar untuk bekerja, memungkinkan eksperimen sistematis dan optimalisasi cepat dari setiap desain baru. Berbagai kemampuan surface Maxsurf, memungkinkan sejumlah surface untuk dimodelkan dalam desain apa pun, menawarkan ruang untuk pembuatan berbagai bentuk lambung.

Software Maxsurf merupakan software khusus untuk desain dan analisa pada kapal. Terdapat berbagai macam desain dan analisa pada software, seperti modeler, resistance, stability, structure, motion, dsb.

### **2.10.1 Maxsurf Modeler**

Modeler adalah sistem pemodelan permukaan tiga dimensi yang baik untuk digunakan di bidang desain kelautan. Maxsurf modeller memberi gambaran lingkungan yang jelas dan familier untuk bekerja desain menggunakan maxsurf yang memungkinkan untuk eksperimen sistematis dan pengoptimalan yang cepat dari setiap desain baru.

Kemampuan multiple surface maxsurf modeler memungkinkan sejumlah permukaan untuk dimodelkan dalam desain. Maxsurf modeler juga menawarkan ruang lingkup untuk pembuatan berbagai bentuk lambung dan dikombinasikan dengan perhitungan hidrostatis yang sudah built-in, maka akan mudah untuk bereksperimen dengan bentuk dan mengeksplorasi parameter desain.

Output yang sangat akurat dihasilkan dalam bentuk garis lambung, ekspor file untuk program lain, dan tabel offset yang komprehensif. Ekspor file ke program lain berasal dari file desain. Maxsurf modeler dapat memudahkan dalam memasukkan data desain yang sudah selesai. File offset lambung yang tidak lengkap dapat dilakukan perbaikan dengan mudah dan secara akurat.

Hulls, appendages dan superstructures didefinisikan dalam maxsurf modeler menggunakan satu atau lebih permukaan. Biasanya permukaan yang digunakan adalah antara diskontinuitas dalam desain. Permukaan yang didefinisikan maxsurf modeler dalam posisi satu set titik kontrol secara kolektif dapat membentuk titik kontrol secara kompleks. Gerakan titik kontrol ini memungkinkan untuk memanipulasi permukaan menjadi bentuk yang diinginkan. Inti proses pemodelan desain menggunakan maxsurf modeler adalah pemahaman tentang bagaimana titik kontrol dapat digunakan untuk mencapai bentuk permukaan yang ingin dicapai.

### **2.10.2 Maxsurf resistance**

*Maxsurf resistance* pada dasarnya adalah program prediksi hambatan. Sejumlah metode berbasis regresi dan satu metode analisis digunakan untuk memprediksi hambatan bentuk lambung.

Hal ini merupakan penerapan pada desain kapal untuk memecah hambatan menjadi komponen yang sesuai dengan hukum yang berbeda. *Maxsurf resistance* dapat menghitung

komponen hambatan dalam bentuk koefisien. Namun tidak semua komponen hambatan tersedia karena berbeda metode yang digunakan, maka akan berbeda terhadap formulasi yang diterapkan.

Hambatan total diperoleh dari penurunan  $F_n$  (*Froude number*) yang tergantung dari komponen hambatan gelombang atau hambatan sisa dan  $Re$  (*Reynolds number*) tergantung dari komponen hambatan viskos. Formulasi rumus dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Hambatan Total} &= \text{Hambatan Gelombang} + \text{Hambatan Viskos} \dots \dots \dots (2.16) \\ &= \text{Hambatan Sisa} + \text{Hambatan Gesek} \end{aligned}$$

*Maxsurf resistance* mampu untuk menghitung semua komponen hambatan dan memungkinkan dibuat grafik dan tabel data yang terpisah. Dalam beberapa kasus metode regresi dapat melakukan prediksi hambatan sisa dan tanpa *form factor*. Namun, dalam hal ini *maxsurf resistance* tidak dapat dilakukan untuk menghitung hambatan gelombang.

*Maxsurf resistance* memiliki dua cara untuk memasukkan data yang digunakan dalam algoritma hambatan:

1. Secara manual memasukkan data.
2. Pembacaan input data dari *maxsurf desain* dan secara otomatis menghitung bentuk permukaan.