

**INVESTIGASI TAHANAN SECARA EKSPERIMEN PADA KAPAL
PLANING HULL DENGAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT DAN
BENTUK STEPPED V**

SKRIPSI

*Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



AHMAD AKBAR

D031171019

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi

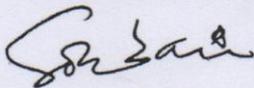
INVESTRIGASI TAHANAN SECARA EKSPERIMEN PADA KAPAL PLANING HULL DENGAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT DAN BENTUK STEPPED V.

Disusun Oleh :
Ahmad Akbar
D031171019

Gowa, 25. Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



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

Nip. 19730206 200012 1 002

Pembimbing II

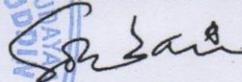


Ir. Rosmani, MT.

Nip. 19600620 198802 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

Nip. 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ahmad Akbar
Nim : D031171019
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“INVESTIGASI TAHANAN SECARA EKSPERIMEN PADA KAPAL
PLANING HULL DENGAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT DAN
BENTUK STEPPED V ”**

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

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, 28. Maret 2022

Yang Menyatakan,



Ahmad Akbar

ABSTRAK

Ahmad Akbar / D031171019. "INVESTIGASI TAHANAN SECARA EKSPERIMEN PADA KAPAL PLANING HULL DENGAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT DAN BENTUK STEPPED V".

(Dibimbing oleh Dr. Eng. Suandar Baso ST.MT. dan Ir. Hj. Rosmani, M.T.)

Kapal cepat saat ini banyak mengalami perubahan atau modifikasi guna mendapatkan desain kapal yang menjamin performa kapal saat berlayar dilautan, salah satunya pada modifikasi *hull*. Salah satu modifikasi *hull* adalah perubahan bentuk lambung dengan *Deadrise Angle* serta penambahan bentuk *Stepped*. Adapun prinsip dasar dari penggunaan *Stepped* mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal. Variasi *deadrise angle* yang digunakan adalah 5 derajat dengan desain bentuk *Stepped V*. Jumlah *Stepped* yang didesain adalah 1, 2, dan 3 *Stepped*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai tahanan model kapal *Deadrise Angel 5* derajat dengan bentuk *Stepped V* pada setiap kondisi trim berdasarkan analisis *software maxsurf* . Penelitian ini dilaksanakan melalui eksperimen yang dilakukan dilaboratorium Hidrodinamika kapal untuk mendapatkan kecepatan dan derajat trim model. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bagaimana pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan tahanan model kapal dengan menggunakan *deadrise Angel 5* derajat *Stepped V* pada setiap kecepatan yang berbeda. Berdasarkan analisa tahanan pada lambung *deadrise angle 5* derajat *Stepped V* diperoleh nilai tahanan total kapal menurun seiring penambahan jumlah *Stepped* dan nilai tahanan total akan meningkat seiring dengan penambahan kecepatan serta peningkatan kondisi trim kapal. Pada model kapal 3 *Stepped V* memiliki nilai tahanan yang lebih kecil 29.82% dibandingkan dengan model kapal 2 *Stepped V* dan 48.36% pada model 1 *Stepped V* pada kecepatan yang sama.

Kata Kunci : *Planing Hull, Stepped, Deadrise Angle , Trim, Eksperimen, Tahanan, Software Maxsurf.*

ABSTRACT

Ahmad Akbar / D031171019. "EXPERIMENTAL PRISONER INVESTIGATION ON A PLANING HULL SHIP WITH A DEADRICE ANGLE OF 5 DEGREES AND A STEPPED V SHAPE".

(Supervised by Dr. Eng. Suandar Baso ST.MT. and Ir. Hj. Rosmani, MT)

Fast ships are currently undergoing many changes or modifications in order to get a ship design that guarantees the ship's performance when sailing at sea, one of which is modification hull. One of the modifications hull is a change in the shape of the stomach with Deadrise Angle as well as the addition of shapes Stepped. The basic principle of using Stepped reduce wet surface area (wetted surface area) due to turbulence under the hull. Variation deadrise angle used is 5 degrees with the shape design Stepped V. Quantity Stepped designed are 1, 2, and 3 Stepped. The purpose of this study was to determine the value of the ship's model resistance Deadrise Angel 5 degree with shape Stepped V at each trim condition based on analysis maxsurf software. This research was carried out through experiments conducted in the hydrodynamics laboratory of the ship to obtain the speed and degree of trim of the model. Based on the results obtained, it can be seen how the effect of the increase in trim and its relationship with the resistance of the ship model by using Deadrise Angel 5 degrees Stepped V at each different speed. Based on the analysis of the resistance on the hull deadrise angle of 5 degrees Stepped V obtained the value of the total resistance of the ship decreases with the addition of the number of Stepped and the total resistance value will increase along with the increase in speed and the increase in the trim condition of the ship. The 3 Stepped V ship model has a smaller resistance value of 29.82% compared to the 2 Stepped V ship model and 48.36% in the 1st model. Stepped V at the same speed.

Keywords :Planing Hull, Stepped, Deadrise Angle, Trim, Experiment, Prisoner, Maxsurf software.

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 **“INVESTIGASI TAHANAN SECARA EKSPERIMEN PADA KAPAL PLANING HULL DENGAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT DAN BENTUK STEPPED V** “. Yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun 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.

Didalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Bapak Attase dan Ibu Hajerah atas kasih sayang, dukungan, pengorbanan dan doa yang selama ini telah diberikan, serta terima kasih kepada keluarga besar atas sumbangsi dan dorongan yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin sekaligus pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis selama menjalani proses penelitian skripsi maupun pada saat menjalani perkuliahan ini.
3. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.

4. Bapak Prof.Ir.Mansyur Hasbullah,M.Enfg ,dan Ibu Dr. Ir. Mislich, MS.Tr., selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
6. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah
7. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2017, terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
8. Teman-teman SAVAGE dan khususnya teman-teman PONDOK DAENG yaitu Ridwan, Farid, Wardi dan Firdaus yang selalu memberi bantuan dan dukungan.
9. Kepada teman-teman seperjuangan (Daus, As'ad, Fadel dan Zidan) yang telah banyak membantu dan menemani dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
11. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dengan sepenuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu peneliti memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Gowa,Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN(TUGAS AKHIR)	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1. Kapal Cepat (High Speed Craft)	6
2.2. Karakteristik Kapal Cepat	7
2.3. Planing Hull	8
2.4. Lambung Bertangga (Stepped Hull).....	11
2.5. Propulsi Kapal Cepat	13
2.6. Tahanan Kapal	14
2.6.1. Tahanan gesek (<i>Friction resistance</i>).....	14
2.6.2. Tahanan sisa (<i>Residual Resistance</i>)	15
2.7. Trim Kapal.....	17

2.8. Hukum Perbandingan Model	19
2.8.1. Kesamaan Geometris.....	19
2.8.2 Kesamaan Kinematis	20
2.8.3. Kesamaan Dinamis	21
2.9. Metode Wyman.....	22
2.10. Tangki Percobaan(<i>Towing Tank</i>)	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.2. Jenis Penelitian.....	25
3.3. Metode Pengumpulan Data	25
3.4. Metode Pengolahan Data.....	26
3.4.1. Kajian Pustaka.....	26
3.4.2. Data Kapal.....	26
3.4.3. Pembuatan Model Kapal.....	27
3.4.4. Pengujian Model.....	31
3.4.5. Matriks Waktu Pengujian	32
3.4.6. Matriks Kebutuhan Pengujian	33
3.4.7. SOP Pengujian.....	35
3.5. Analisis Data	35
3.5.1. Analisis Kecepatan dan Derajat Trim Model Kapal.....	35
3.5.2. Pengkondisian Trim Model Kapal	36
3.5.3. Menghitung Tahanan Kapal Dengan <i>Maxsurf Resistance</i>	38
3.6. Penarikan Kesimpulan.....	41
3.7. Kerangka Pemikiran	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1. Desain <i>Deadrise Angle</i> 5 Derajat dan <i>Stepped</i> Pada Kapal	43
4.2. Bentuk Model Kapal	44
4.3. Analisis Kecepatan dan Trim Model Kapal <i>Deadrise Angle</i> 5 Derajat <i>Stepped</i> V	45
4.4. Perhitungan Tahanan Kapal dengan Lambung <i>Deadrise Angle</i> 5 Derajat <i>Stepped V</i>	45

4.4.1. Perhitungan Tahanan Kapal dengan <i>Deadrise Angle</i> 5 derajat dan 1 <i>Stepped V</i>	46
4.4.2. Perhitungan Tahanan Kapal dengan <i>Deadrise Angle</i> 5 derajat dan 2 <i>Stepped V</i>	51
4.4.3. Perhitungan Tahanan Kapal dengan <i>Deadrise Angle</i> 5 derajat dan 3 <i>Stepped V</i>	56
4.5. Perbandingan Nilai Tahanan Total Model Kapal Untuk Setiap Kondisi <i>Stepped V</i>	61
4.5.1. Perbandingan Nilai Tahanan Total Model Kapal dan kecepatan yang sama untuk Setiap Jumlah <i>Stepped V</i>	61
4.5.2. Perbandingan Nilai Tahanan Total Model Kapal dan Nilai <i>Froude Number Volume</i> yang sama untuk Setiap Jumlah <i>Stepped V</i>	63
4.5.3. Perbandingan Koefisien Tahanan Model Kapal <i>Stepped V</i> Maxsurf dan Model Kapal <i>Stepped V</i> Eksperimen	64
BAB V KESIMPULAN	67
5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froude Number Volume
Cw	= Koefisien Wyman
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
$\eta_{s\eta b}$	= Efisiensi poros dan baling - baling
η_{rr}	= Efisiensi relatif rotatif
η_o	= Efisiensi open water test
η_h	= Efisiensi lambung kapal
SHP	= Shaft Horse Power (HP)
DHP	= Delivery Horse Power (HP)
EHP	= Efficiency Horse Power (HP)
Rt	= Tahanan total (Kn)
L_r	= Skala model
L_m	= Panjang model (m)
L_p	= Panjang Kapal (m)
V_m	= Kecepatan model (m/s)
V_p	= Kecepatan Kapal (m/s)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	27
Tabel 3. 2 Tabel Matriks Pengujian	32
Tabel 3. 3 Matriks kebutuhan pengujian	34
Tabel 4. 1 Nilai Tahanan Model Deadrise Angle 5 Derajat dan 1 Stepped V Pada Maxsurf Resistance.	47
Tabel 4. 2 Nilai Tahanan gesek, tahanan sisa dan koefisien tahanan Model Deadrise Angle 5 Derajat dan 1 Stepped V Pada Maxsurf Resistance.....	49
Tabel 4. 3 Nilai Tahanan Model Deadrise Angle 5 derajat dan 2 stepped V pada maxsurf resistance.	52
Tabel 4. 4 Nilai Tahanan gesek, tahanan sisa dan koefisien tahanan Model Deadrise Angle 5 Derajat dan 2 Stepped V Pada Maxsurf Resistance.....	54
Tabel 4. 5 Nilai Tahanan Model Deadrise Angle 5 derajat dan 3 stepped V pada maxsurf resistance	57
Tabel 4. 6 Nilai Tahanan gesek, tahanan sisa dan koefisien tahanan Model Deadrise Angle 5 Derajat dan 2 Stepped V Pada Maxsurf Resistance.....	59
Tabel 4. 7 Nilai Tahanan Model Kapal dengan Lambung Deadrise Angle 5 derajat untuk Setiap Variasi Jumlah Stepped V untuk Kecepatan yang Sama.....	61
Tabel 4. 8 Nilai Tahanan Model Kapal deadrise angle 5 derajat dengan variasi jumlah stepped V untuk nilai Froude Number Volume yang Sama.....	63
Tabel 4. 9 Nilai KoefisienTahanan Model Kapal Stepped V Maxsurf dan Eksperimen ..	65
Tabel 4. 10 Persentase Perbandingan Nilai Koefisien Tahanan Model Kapal Stepped V Maxsurf dan Eksperimen.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lines Plan Kapal pada software Autocad	26
Gambar 3. 2 Gambar Peletakan Stepped Pada Software AutoCad	28
Gambar 3. 3 Frame setelah dipotong	28
Gambar 3. 4 Pendempulan Cetakan Model.....	29
Gambar 3. 5 Pengaplikasian serat dan resin pada model	30
Gambar 3. 6 Penggambaran garis sarat dan section model.....	30
Gambar 3. 7 Proses menghubungkan penggerak model	31
Gambar 3. 8 ESC(Elektronik speed control) dan Remote Control.....	33
Gambar 3. 9 Baterai 5000 mAh dan Receiver 32	33
Gambar 3. 10 Motor DC brushless dan Propeller 3 blade	34
Gambar 3. 11 Shaft dan Universal Joint	34
Gambar 3. 12 Tampilan menu "Surface"	36
Gambar 3. 13 Tampilan menu "Rotate Surface"	37
Gambar 3. 14 Tampilan Profile model kapal pada kondisi trim	37
Gambar 3. 15 Tampilan pemilihan Surface	38
Gambar 3. 16 Tampilan Menu "Analysis"	39
Gambar 3. 17 Tampilan pemilihan metode, kecepatan dan efisiensi	39
Gambar 3. 18 Tampilan Calculate Free Surface	40
Gambar 3. 19 Data hasil perhitungan nilai tahanan	41
Gambar 3. 20 Kurva nilai tahanan	41
Gambar 4. 1 Pemodelan 3 dimensi kapal sebelum dimodifikasi	43
Gambar 4. 2 Pemodelan 3 dimensi kapal setelah di modifikasi	43
Gambar 4. 3 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal 1 Stepped V..	44
Gambar 4. 4 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal 2 Stepped V..	44
Gambar 4. 5 Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal 3 Stepped V..	44
Gambar 4. 6 Pengukuran Trim Model Kapal.....	45
Gambar 4. 7 Kondisi Trim 5.809 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 Stepped V dengan kecepatan 4.00 m/s	46

Gambar 4. 8 Permukaan luas bidang basah dan pola aliran air pada Kondisi Trim 5.809 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 Stepped V dengan kecepatan 4.00 m/s	46
Gambar 4. 9 Kurva trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V untuk setiap variasi kecepatan.	47
Gambar 4. 10 Kurva tahanan terhadap kecepatan model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V.....	48
Gambar 4. 11 Kurva tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V.....	49
Gambar 4. 12 Kurva nilai tahanan gesek dan tahanan sisa untuk setiap kondisi trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V	50
Gambar 4. 13 Kurva nilai koefisien tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V.....	50
Gambar 4. 14 Kondisi Trim 4.060 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 Stepped V dengan kecepatan 3.546 m/s	51
Gambar 4. 15 Permukaan luas bidang basah kondisi Trim 4.060 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 Stepped V dengan kecepatan 3.546 m/s	51
Gambar 4. 16 Kurva trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 stepped V untuk setiap variasi kecepatan.	52
Gambar 4. 17 Kurva tahanan terhadap kecepatan model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 stepped V.....	53
Gambar 4. 18 Kurva tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 stepped V.....	54
Gambar 4. 19 Kurva nilai tahanan gesek dan tahanan sisa untuk setiap kondisi trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 stepped V	55
Gambar 4. 20 Kurva nilai koefisien tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 2 stepped V.....	55
Gambar 4. 21 Kondisi Trim 3.309 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 Stepped V dengan kecepatan 2.667 m/s	56

Gambar 4. 22 Permukaan luas bidang basah dan pola aliran air pada kondisi Trim 3.309 derajat model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 Stepped V dengan kecepatan 2.667 m/s	56
Gambar 4. 23 Kurva trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 stepped V untuk setiap variasi kecepatan	57
Gambar 4. 24 Kurva tahanan terhadap kecepatan model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V.....	58
Gambar 4. 25 Kurva tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 stepped V.....	58
Gambar 4. 26 Kurva nilai tahanan gesek dan tahanan sisa untuk setiap kondisi trim model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 stepped V	60
Gambar 4. 27 Kurva nilai koefisien tahanan terhadap Froude number volume model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 3 stepped V.....	60
Gambar 4. 28 Kurva nilai tahanan model kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V, 2 stepped V, 3 stepped V untuk Setiap Kondisi Trim yang Sama	62
Gambar 4. 29 Kurva nilai tahanan umodel kapal deadrise angle 5 derajat dengan 1 stepped V, 2 stepped V, 3 stepped V untuk Setiap Nilai Froude Number Volume yang Sama	64
Gambar 4. 30 Nilai Koefisien Tahanan Model Kapal Stepped V Maxsurf dan Eksperimen	65

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 V* Saat Pengujian
- Lampiran 5. Kondisi Model Kapal 2 *Stepped V* Saat Pengujian
- Lampiran 6. Kondisi Model Kapal 3 *Stepped V* Saat Pengujian
- Lampiran 7. Nilai Koefisien Tahanan Model *Deadrise Angle 5* bentuk *stepped V Maxsurf* dan Eksperimen

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi laut yang alur pelayarannya melalui perairan dan saat ini telah menjadi alat transportasi yang sangat dibutuhkan. Kapal ini memiliki banyak jenis sesuai dengan fungsi dan tujuan dari dibuatnya kapal tersebut, baik itu untuk transportasi barang, manusia ataupun untuk kepentingan lainnya. salah satu jenis kapal yang ada adalah kapal cepat. Saat ini kebutuhan akan kapal cepat semakin meningkat, baik itu untuk kepentingan pemerintahan, militer, pariwisata maupun rekreasi. Peningkatan kebutuhan ini menyebabkan makin meningkatnya pula permintaan untuk pembuatan kapal cepat. Tentunya peningkatan permintaan ini akan menyebabkan meningkatnya pula persaingan antara pembuat kapal untuk dapat menawarkan kapal yang unggul dari segala sisinya, hal ini mendorong munculnya modifikasi-modifikasi yang dilakukan pada kapal demi pencapaian keunggulan-keunggulan dari kapal cepat.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, hal ini disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat di rancang untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat dioptimal. Untuk itu dalam mendesain kapal berkecepatan tinggi harus mempertimbangkan aspek-aspek yang berkaitan dengan keselamatan dan performa kapal. Dalam perencanaan lambung kapal dikenal 3 jenis rancangan bentuk kapal, yaitu *planing hull ship*, *semi planing hull* dan *displacement hull*. Untuk kapal cepat digunakan bentuk *planing hull*. Untuk meningkatkan aspek keselamatan dan performa kapal *Planing Hull* ini, banyak dilakukan modifikasi pada lambung(*hull*) kapal. Salah satunya adalah modifikasi pada lambung(*hull*) dengan lambung bertangga (*stepped hull*) dan *deadrise angle*.

Kapal dengan bentuk lambung deadrise angle adalah salah satu bentuk lambung dari jenis lambung planing hull. Kapal dengan tipe planning hull dengan deadrise angle ini merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisien 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 jumlah tahanan air yang ditanggung juga kecil (D. Savitsky, 1964).

Lambung bertangga (*Stepped Hull*) ini adalah modifikasi lambung kapal dengan prinsip mengurangi luasan 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 maka akan menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin lebih kecil dan kebutuhan bahan bakar lebih sedikit. (Bachri, 2018)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (M. Syaufiy M., 2021) yang mengatakan bahwa perubahan nilai tahanan sebuah kapal dipengaruhi oleh luas permukaan kapal yang terendam kedalam air. Hal ini dibuktikan dengan penggunaan *Stepped* pada model kapal dapat mengurangi nilai dari tahanan kapal. Hal ini dibuktikan dengan nilai dari tahanan kapal pada kondisi trim dan kecepatan yang sama untuk model yang tidak menggunakan *Stepped* lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan *Stepped*.

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan Penelitian yang berjudul **“Investigasi Tahanan Secara Eksperimen Pada Kapal *Planing Hull* dengan *Deadrise Angle* 5 Derajat dan Bentuk *Stepped V*”**.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle* 5 derajat dan variasi 1 *Stepped hull V*, 2 *Stepped Hull V* dan 3 *Stepped Hull V* dengan pengujian eksperimental.
2. Berapa besar perbandingan nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle* 5 derajat dan variasi 1 *Stepped hull V*, 2 *Stepped Hull V* dan 3 *Stepped Hull V* dengan pengujian eksperimental.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka perlu adanya batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah analisa. Adapun batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Skala model kapal yakni 1:15.
2. Perhitungan nilai tahanan menggunakan software *Maxsurf Resistance*.
3. Pengujian dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Jarak lintasan pengujian model kapal 10 m.
5. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan.
6. *Stepped Hull* berbentuk V dengan variasi 1 *stepped*, 2 *stepped* dan 3 *stepped*.
7. Kecepatan dan kondisi trim yang digunakan berdasarkan hasil pengujian.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besar nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle* 5 derajat dan variasi 1 *Stepped hull V*, 2 *Stepped Hull V* dan 3 *Stepped Hull V* dengan pengujian eksperimental.
2. Menentukan besar perbandingan nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle* 5 derajat dan variasi 1 *Stepped hull V*, 2 *Stepped Hull V* dan 3 *Stepped Hull V* dengan pengujian eksperimental.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Sebagai informasi mengenai pengaruh variasi jumlah *stepped hull* pada kapal dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.
2. Sebagai masukan bagi perancang kapal dalam merancang kapal cepat yang efisien saat beroperasi.
3. Untuk menambah wawasan, pengetahuan maupun referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *Stepped Hull*.

1.6. Sistematika Penulisan

Hasil penelitian akan dituang dalam tulisan secara terperinci dan tersusun 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 piker 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 II

LANDASAN TEORI

2.1. Kapal Cepat (High Speed Craft)

Kapal cepat atau *high speed craft* merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil. Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis *hydrofoils* atau *hovercraft*, tetapi pada tahun 1990-an jenis kapal cepat katamaran dan *monohull* menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang, tetapi untuk jenis katamaran dan *monohull* yang terbesar juga membawa mobil, bus, truk besar, dan lain lain. (Wikipedia.org).



Gambar 2. 1 Kapal High Speed Craft

Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_craft

Menurut *J. Lawrence* (1985), dalam jurnal Rosmani (2013), dalam perencanaan kapal cepat kita harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Dapat mempertahankan tahanan kapal yang rendah
- b. Dapat meminimalkan dampak gelombang yang dihasilkan
- c. Tidak terjadi *propoising*.
- d. Dapat mentransmisikan daya secara sempurna melalui system propulsi kapal.

2.2. Karakteristik Kapal Cepat

Menurut *J. Lawrence* (1985), dalam *Rosmani* (2013), Karakteristik *high speed craft* dipengaruhi *Froude number*-nya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk *planning 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:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \times L}} \quad (2.1)$$

Dimana:

- F_n = Froude Number
- V = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
- L = Panjang kapal

Secara umum, *high speed craft* membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena *resistance* kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal. Sehingga daya dorong yang dibutuhkan adalah:

$$P = R \cdot V$$

$$P = k \cdot V^3$$

Dengan demikian mengandakan daya yang terpasang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua ialah dengan mencoba meningkatkan kecepatan pada kondisi *rough water*. (*Rosmani dkk*, 2013)

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*. (*Zubaer dkk*, 2018)

Berdasarkan F_n -nya kapal cepat dibagi dalam 3 jenis, yaitu :

- 1) *Displacement Vessel* ($F_n < 0.4$)
- 2) *Semi-Displacement Vessel* ($0.4-0.5 < F_n < 1.0-1.2$)
- 3) *Planing Vessel* ($F_n > 1.0-1.2$)

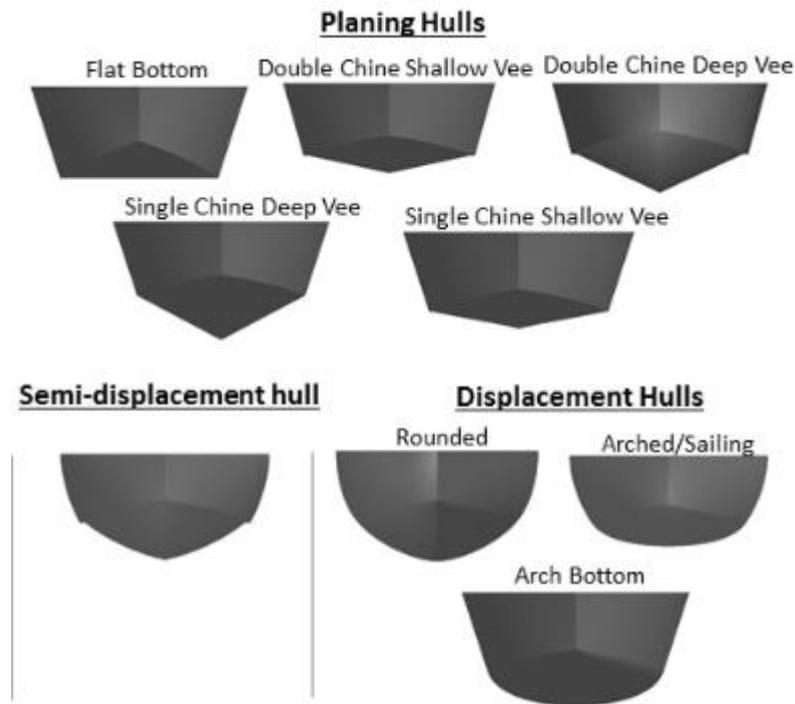
Pada suatu kondisi air yang tenang, suatu fenomena hidrodinamik yang terjadi pada kapal yang dirancang sebagai kapal *water planing* seperti halnya yang terjadi pada kapal cepat, terjadi kondisi kondisi sebagai berikut :

- a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung displasemen (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 gravitasi (kenaikan lambung).

2.3. Planing 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. (Hakim dkk, 2018)

Bentuk lambung untuk kapal-kapal seperti ini yakni tampak dari bentuk lambung di bagian bawah air umumnya diklasifikasikan dalam tiga kategori antara lain a). tipe *displacement hull* untuk kecepatan rendah, b). tipe *semi planing hull* untuk rentang kecepatan menengah, dan c). tipe *planing hull* untuk rentang kecepatan tinggi. Bentuk-bentuk tersebut disajikan pada Gambar berikut.



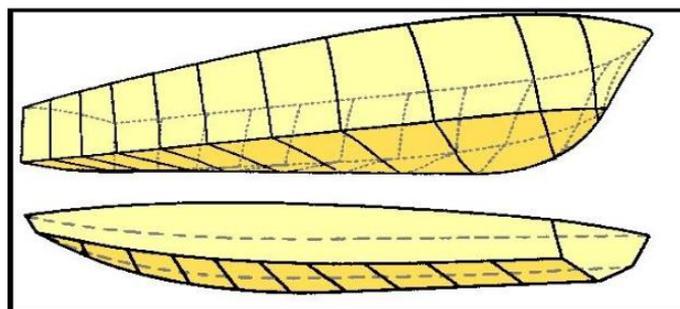
Gambar 2. 2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori *displacement hull*, *planing hull*, *semi-planing hull*

Sumber : Khan S, 2017.

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 cepa 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 & Ma'ruf, 2012)

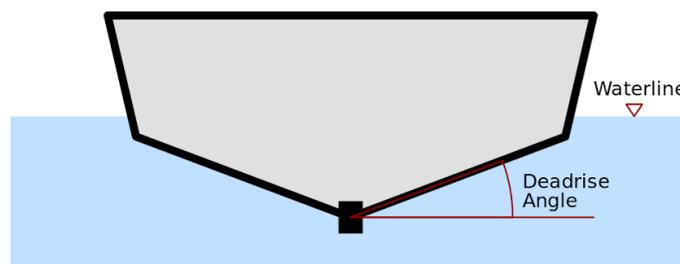
Menurut A. Haris Muhammad (2009), dalam Rosmani (2013), Penelitian awal hidrodinamika kapal tipe planing hull telah dimulai di Amerika Serikat (AS) sejak 40 tahun yang lalu. Penelitian ini awalnya bertujuan untuk merencanakan sebuah *aircraft (flying boat)* dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan teknologi, konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan *planing hull*. Di-Indonesia, kapal tipe *planing hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planing hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.



Gambar 2. 3 Tipe Planing Hull

Sumber : Rosmani, 2013.

Kapal tipe lambung *planing hull* ini memiliki *deadrise angle*. *Deadrise angle* adalah besar sudut kemiringan pelat dasar kapal terhadap sumbu horizontal. *Deadrise angle* ini berpengaruh pada sudut trim kapal yang mana sudut yang terlalu besar akan menyebabkan trim kapal juga besar.



Gambar 2. 4 *Deadrise angle* pada kapal *planning hull*

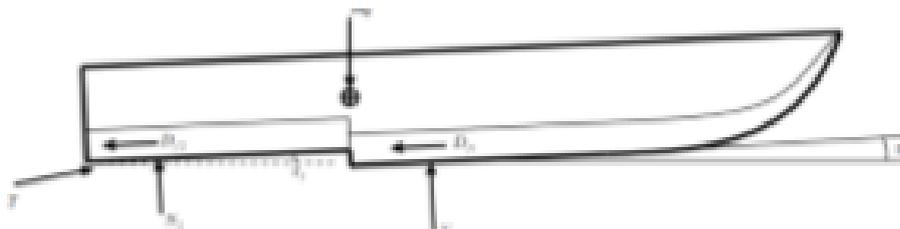
Sumber : Putranto T, 2016.

2.4. Lambung Bertangga (Stepped Hull)

Step adalah bidang pada lambung yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, atau biasa disebut juga bentuk “V”. Steps memiliki bukaan yang besar pada sisi *outboard* pada lambung untuk memberi udara yang bertujuan untuk menyedot kebawa. Pada umumnya, *stepped hull* dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10 – 15 % yang diinginkan antara memakai *stepped hull* dengan yang tidak memakai *stepped hull* dengan power pada mesin yang sama.(Budiarto, 2011)

Suatu alasan mengapa *Lambung bertangga* lebih efektif adalah area/bagian yang tercelup air bisa dibagi beberapa beam dibandingkan dengan panjang kapal, lebar (*high-aspect*) permukaan lebih efisien, rendah (*low-aspect*) pada saat kondisi gesekan terhadap air. Jadi, dibalik sebuah ide tentang Lambung bertangga adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa Lambung bertangga mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep lambung bertangga ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. (Budiarto, 2011).

Lambung bertangga atau *Stepped Hull* ini merupakan modifikasi pada lambung kapal yang biasanya digunakan pada kapal dengan model lambung kapal *planing hull*. Hal ini dilakukan agar kinerja kapal dapat lebih optimal. *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.



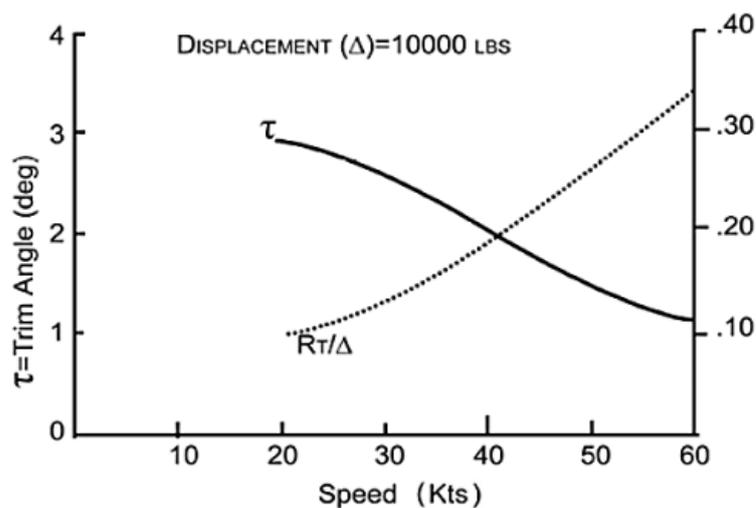
Gambar 2. 5 Visualisasi Kapal dengan *Stepped*

Sumber : Febrian, 2018.



Gambar 2. 6 Kapal dengan Lambung bertangga
 Sumber : Febrian, 2018.

Pada kapal cepat dengan modifikasi stephull, sudut trim dari kapal *monohull planing* akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan sedangkan rasio hambatan/*displasemen* akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan. (Zubaer dkk, 2018)



Gambar 2. 7 Grafik rasio hambatan/displasemen dan sudut trim terhadap kecepatan
 Sumber : Zubaer,2018.

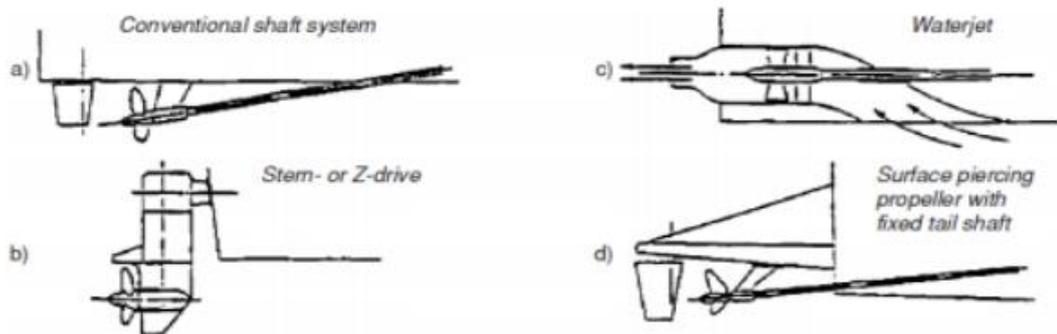
Dari hasil jurnal tentang analisa posisi *stephull*, posisi yang paling optimal adalah terletak pada bagian *midship* kapal karena memiliki nilai hambatan yang lebih rendah dibandingkan dengan posisi *stephull* yang berada 2-4 frame di depan *midship* kapal atau yang lebih kearah haluan. .

2.5. Propulsi Kapal Cepat

Menurut Faltinsen (2005) dan Blount (1997) dalam A. Haris Muhammad (2013), menjelaskan jenis system propulsi yang umum digunakan pada kapal cepat lambung *planing* yaitu:

- a) *submerged propeller* atau *conventional shaft system*,
- b) *Z-drive*,
- c) *surface propeller* atau *surface piercing propeller* dan
- d) *flush inlet waterjet*.

Namun untuk *flush inlet waterjet* lebih banyak digunakan pula untuk kapal cepat *non planing*. Detail tipe system propulsi yang dimaksud tersebut sebagaimana gambar berikut.



Gambar 2. 8 Tipe Propulsi Kapal Cepat

Sumber : Muhammad, 2013.

Dalam A.Haris Muhammad (2013) menyatakan bahwa batasan penggunaan tipe propulsi berdasarkan displacement dan kecepatan (Blount, 1997) :

1. *Submerged propulsion* digunakan hingga kecepatan 40 knot, untuk kecepatan 40-60 knots digunakan displacement < 50 Ton
2. *Surface propeller* atau *surface piercing propeller* digunakan untuk kecepatan >30 knots pada displacement.
3. *Waterjets propulsion* digunakan untuk kapal 25-40 Knots.

2.6. Tahanan Kapal

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada 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 karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika semata-mata disebabkan oleh pergerakan relatif kapal terhadap air. (Rahman, 2020)

Tahanan total pada kapal terdiri dari komponen–komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau *resistance*. Pada prinsipnya ada dua bagian kapal yang mengalami gaya hambat, yaitu bagian kapal yang terbenam dan area bagian kapal diatas permukaan air karena udara juga mempunyai faktor hambat pada kondisi tertentu. (Caraka, 2018)

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan.

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

2.6.1. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

Tahanan Gesek (*friction resistance*) 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. 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* (R_v) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh *viskos*. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

- Angka *Reynold* (*Reynold's number*, R_n)

$$R_n = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (2.2)$$

Dimana :

V : Volume (m^3)

L : Panjang (m)

ν : Kecepatan (m/s)

- Koefisien gesek (*friction coefficient*, C_f)

$$C_f = \frac{0.75}{(\log R_n - 2)^2} \quad (2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- Rasio Kecepatan dan Panjang Kapal (*Speed Length Ratio*, Slr)

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \quad (2.4)$$

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendicular*) dan V_s adalah kecepatan kapal.

2.6.2. 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 :

- 1) Tahanan gelombang (*Wakemaking 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.

2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai Tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstructure*) 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.

3) Tahanan bentuk

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.

4) Tahanan Pola Gelombang (*Wave Pattern Resistance*)

Tahanan pola gelombang adalah komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari model kapal; dalam hal ini medan kecepatan bawah permukaan (*subsurface velocity field*), yang berarti momentum *fluida*, dianggap dapat dikaitkan dengan pola gelombang dengan memakai teori *linier*. Tahanan yang disimpulkan demikian itu tidak termasuk tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*).

5) Tahanan Tekanan (*Pressure Resistance*)

Tahanan tekanan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegralakan tegangan normal keseluruhan permukaan kapal menurut arah gerakan kapal.

6) Tahanan Tekanan *Viskos* (*Viskos Pressuru Resistance*)

Tahanan tekanan *viskos* adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegralakan komponen tegangan normal akibat viskositas dan

turbulensi. Kuantitas ini tidak dapat diukur langsung, kecuali untuk benda yang terbenam seluruhnya, dalam hal ini sama dengan tahanan tekanan.

7) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

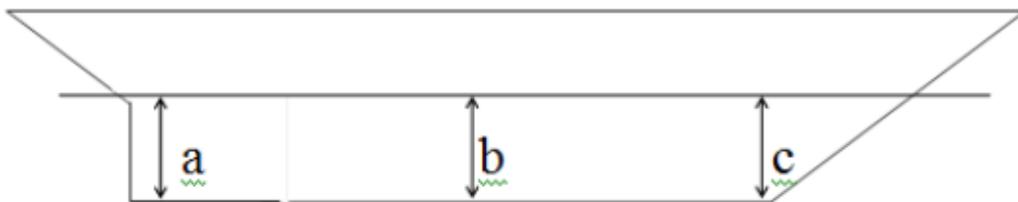
Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen Tahanan tambahan terdiri dari :

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

2.7. Trim Kapal

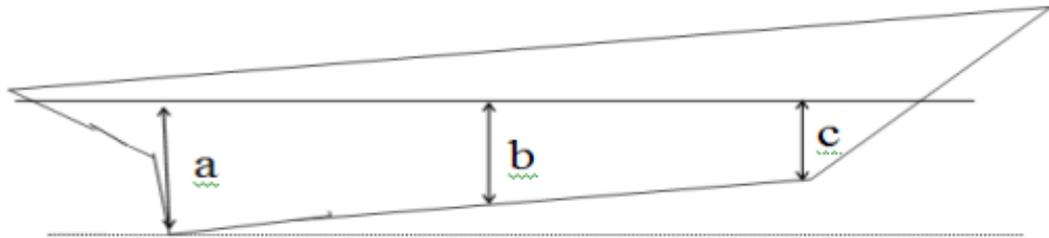
Trim adalah perbedaan antara *draft* depan dan *draft* belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Bila muatan lebih berat di bagian depan disebut trim depan (*trim by the head*), kemudian bila lebih berat di belakang disebut trim belakang (*trim by the stern*). Dan apabila *draft* belakang sama dengan *draft* depan maka disebut kondisi *Even Keel*.



Gambar 2. 9 Kapal Kondisi *Even Keel*.

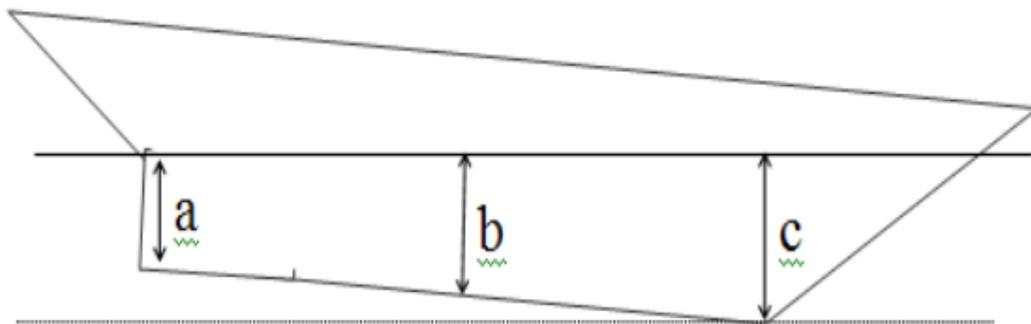
Sumber: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015.

Gambar diatas menunjukkan kapal *even keel* yaitu *draft* depan sama dengan *draft* belakang ($a = c$) dimana $b = \frac{(a+c)}{2}$, hanya terjadi bilamana kapal tidak *hogging* atau *sagging*.



Gambar 2. 10 Kapal Kondisi *Trim by Stern*
Sumber: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015.

Gambar diatas menunjukkan kapal *trim by stern* yaitu *draft* belakang lebih besar dari *draft* depan ($a \neq c$).



Gambar 2. 11 Kapal Kondisi *Trim by Head*.
Sumber: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015.

Gambar diatas menunjukkan kapal *trim by Head* yaitu *draft* balakang lebih kecil dari *draft* depan ($a \neq c$).

2.8. Hukum Perbandingan Model

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani (2011), Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan ini haruslah memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

1. Kesamaan geometris
2. Kesamaan kinematis
3. Kesamaan dinamis

2.8.1. Kesamaan Geometris

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal dilaut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam atau lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi *linier* model, misalnya Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.5)$$

Dimana :

- λ = skala perbandingan
- L_s = panjang kapal (m)
- L_m = panjang model (m)
- B_s = lebar kapal (m)
- B_m = lebar model (m)

$$T_s = \text{sarat kapal (m)}$$

$$T_m = \text{sarat model (m)}$$

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangki percobaan. Percobaan dari berbagai referensi :

1) TOOD :

$$L_m < T \text{ tangki}$$

$$L_m < \frac{1}{2} B \text{ tangki}$$

2) HARVALD:

$$B_m < \frac{1}{10} B \text{ tangki}$$

$$T_m < \frac{1}{10} T \text{ tangki}$$

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

$$L_m < \frac{1}{2} b \text{ tangki}$$

$$B_m < \frac{1}{15} B \text{ tangki}$$

$$A_{o m} < 0.4 A_o \text{ tangki}$$

2.8.2 Kesamaan Kinematis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara kecepatan model dan kecepatan kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (2.6)$$

Atau :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (2.7)$$

Dimana :

$$Fr = \text{angka froude}$$

L_s	= panjang kapal (m)
L_m	= panjang (m)
V_s	= kecepatan kapal (m/dt)
V_m	= kecepatan model (m/dt)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/dt ²)

2.8.3. Kesamaan Dinamis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan *fluida* sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga *Reynold* yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan *viskositas*.

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (2.8)$$

Atau :

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \quad (2.9)$$

Dimana :

Rn	= angka reynold
L_s	= panjang kapal (m)
L_m	= panjang model (m)
V_s	= kecepatan kapal (m/dt)
V_m	= kecepatan model (m/dt)
ν	= viskositas kinematis fluida (m ² /dt) = 1.1883 x 10 ⁻⁶ (m ² /dt)
g	= percepatan gravitasi (9.81 m/dt ²)

Dengan demikian jika diinginkan tercapainya kesamaan dinamis disamping kesamaan geometris dan kesamaan kinematis, maka angka *Reynold* untuk model harus sama dengan angka skala penuh.

2.9. Metode Wyman

Formula universal yang digunakan untuk menghitung hambatan lambung mode lambung planning dan displamen. 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. (Suwasono dkk,2019)

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 Maritime Academy* (Eric W. Sponberg, 2010). Koefisien *Wyman* dijabarkan sebagai berikut :

$$C_w = 0.8 + (0.17 \times \frac{v}{\sqrt{Lwl}}) \quad (2.10)$$

Dimana :

- C_w : Koefisien *Wyman*
- v : Kecepatan (m/s)
- Lwl : Panjang garis air (m)

Koefisien C_w digunakan untuk mencari nilai SHP (*Shaft Horse Power*) kapal.

$$SHP = \left(\frac{Displ.}{1000}\right) \times \left(\frac{v}{C_w \times \sqrt{Lwl}}\right)^3 \quad (2.11)$$

\Dimana :

- Displ. : Displacement (ton)
- v : kecepatan (m/s)
- C_w : Koefisien *Wyman*
- Lwl : 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:

$$DHP = SHP \times \eta s \eta b$$

Dimana :

DHP : *Power Delivery* (HP)

$\eta s \eta b$: 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:

$$EHP = DHP \times P_c \tag{2.12}$$

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

$$P_c = \eta r r \times \eta o \times \eta \tag{2.13}$$

Dimana :

$\eta r r$: Efisiensi relatif rotatif (1.02-1.05)

ηo : Efisiensi *propeller* saat *open water test* (40% - 70%)

ηh : Efisiensi lambung kapal

$$\eta H = 1 - t - w \quad (2.14)$$

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 (Rt) dengan PE. Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Rt = \frac{EHP}{v} \quad (2.15)$$

2.10. Tangki Percobaan(*Towing Tank*)

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa 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. 12 *Towing Tank* Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Hasanuddin.