

**INVESTIGASI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL CEPAT DENGAN
LAMBUNG DEADRISE ANGEL DAN STEPPED HULL BERBENTUK U**

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



ABDUL MUIS

D311 16 505

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA 2021

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

INVESTIGASI-EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL CEPAT DENGAN LAMBUNG DEADRISE ANGLE DAN STEPPED HULL BERBENTUK U

UNIVERSITAS HASANUDDIN

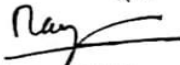
Disusun Oleh :

Abdul Muis
D31116505

Gowa, Oktober 2021

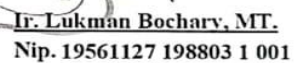
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Ir. Rosmani, MT.
Nip. 19600620 198802 2 001

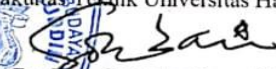
Pembimbing II



Ir. Lukman Bocharv, MT.
Nip. 19561127 198803 1 001

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 : Abdul Muis

NIM : D311 16 505

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Investigasi Eksperimen Tahan Kapal Cepat Dengan Lambung Deadrise Angel Dan Stepped Hull Berbentuk U

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

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

Gowa, 19 Oktober 2021

Yang menyatakan



Abdul Muis

ABSTRAK

Abdul Muis / D311 16 505. "INVESTIGASI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL CEPAT DENGAN LAMBUNG DEADRISE ANGEL DAN STEPPED HULL BERBENTUK U".

(Dibimbing oleh Ir. Hj. Rosmani, M.T. dan Ir. Lukman Bochary, M.T.)

Pesatnya perkembangan teknologi telah merambah ke dunia perkapalan, tidak terkecuali kapal cepat. Kini berbagai strategi untuk menciptakan kapal berkecepatan tinggi dengan nilai hambatan sekecil-kecilnya telah menghasilkan berbagai jenis modifikasi lambung, salah satunya adalah kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan penambahan *Stepped hull*. 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° , Sedangkan desain bentuk *Stepped* yaitu *Stepped U*. Jumlah *Stepped* yang didesain dikategorikan menjadi satu, dua, dan tiga *Stepped*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai tahanan model kapal pada setiap kondisi trim berdasarkan analisis aplikasi *maxsurf*. Penelitian ini dilakukan melalui untuk mendapatkan kecepatan dan derajat trim model kapal, yang selanjutnya akan menjadi data dalam penentuan nilai tahanan menggunakan aplikasi *maxsurf*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bagaimana pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan tahanan model kapal pada setiap kecepatan yang berbeda. Berdasarkan analisa tahanan pada lambung *deadrise angle* 5° *Stepped U*, diketahui bahwa tahanan total kapal cenderung berkurang seiring dengan penambahan jumlah *Stepped* serta peningkatan kondisi trim kapal. Pada model kapal 3 *Stepped U* memiliki nilai tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan model kapal tanpa *stepped*, 1 *Stepped U* dan 2 *Stepped U*. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kondisi trim akibat penambahan kecepatan maka nilai tahanan kapal berkurang karena pengurangan luas bidang basah kapal

Kata Kunci : *Deadrise angel, Stepped hull, Tahanan kapal, Aplikasi Maxsurf*

ABSTRACT

Abdul Muis / D311 16 505. "INVESTIGATION OF FAST SHIP'S RESISTANCE EXPERIMENT WITH DEADRISE ANGEL HULL AND U SHAPED STEPPED HULL".

(Supervised by Ir. Hj. Rosmani, M.T. and Ir. Lukman Bochary, M.T.)

The rapid development of technology has penetrated into the world of shipping, inexceptionally by fast ships. Now various strategies to create high-speed ships with the smallest resistance value have resulted in various types of hull modifications, one of which is a *deadrise angle hull*-shaped ship with the addition of *Stepped* hull. The basic principle use of *Stepped* reduces the wetted surface area due to turbulence under the ship's body. The *deadrise angle* variation used is 5° , while the *Stepped* shape design is *Stepped U*. The number of *Stepped* designed is categorized into one, two, and three *Stepped*. The purpose of this study is to find out the large value of ship resistance model on each trim condition based on analysis of *Maxsurf applications*. The research was conducted to obtain the speed and degree of the ship's trim model which will further become the data to determine the resistance's value by using the *Maxsurf application*. Based on the result obtained, it can be known how much the trim increase effect is also its relation to the resistance model of the ship at each different speed. Based on the analysis of the resistance on the *hull deadrise angle 5° Stepped U*, it can be known that the total ship resistance tends to decrease along with the increase of *Stepped* number and improved trim condition of the ship. On the ship model 3 *Stepped U* has a smaller prisoner value compared to the model of ships without *Stepped*, 1 *Stepped U* and 2 *Stepped U*. So it can be concluded that the greater the trim condition due to speed increase, the less value of the ship resistance due to the reduction in the area of the ship's wet field.

Key Words : *Deadrise angel, Stepped hull, Ship Resistance, Maxsurf Application*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul

INVESTIGASI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL CEPAT DENGAN LAMBUNG DEADRISE ANGEL DAN STEPPED HULL BERBENTUK U

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan 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. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan sekaligus penguji dalam tugas akhir ini yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis selama menjalani proses perkuliahan ini.
2. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Lukman Bochari, M.T. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Ibu Andi Dian Eka Anggriani., ST., MT., selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
5. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2016 terkhusus untuk saudara-saudara Cruizer, terima kasih atas segala suka dan

duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.

6. Kepada teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini (Syaufi, Hasrul, Taslim, Zaky, Fadel), sehingga untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah tapi kita dapat melewatinya.
7. Kepada teman-teman angkatan 2017,2018,2019, dan 2020 yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu namanya, Trimakasih sudah membantu.
8. 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.

Makassar, Oktober , 2021

ABDUL MUIS

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Mamfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kapal Cepat (High Speed Craft)	4
2.2 Karakteristik Kapal Cepat.....	5
2.3 Gambaran Umum Stephull / <i>Stepped</i>	5
2.4 Tahanan kapal	6
2.5 Komponen Tahanan.....	7
2.6 Trim Kapal.....	9
2.7 Tangki Percobaan (<i>Towing Tank</i>).....	10
2.8 Hukum Pebandingan Model	11
2.9 Metode Wyman.....	13
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	14
3.2 Jenis Penelitian.....	14
3.3 Metode Pengambilan Data.....	14

3.4 Metode Pengolahan Data.....	17
3.4.1 Data Kapal	17
3.5 Pembuatan Model Kapal.....	18
3.6 Persiapan Pengujian	24
3.7 Matriks Waktu Pengujian.....	24
3.7.1 Matriks Kebutuhan Pengujian	28
3.7.2 Sop Pengujian	28
3.8 Analisis data.....	28
3.8.1 Analisis Kecepatan dan Derajat Trim Model Kapal.....	28
3.8.2 Menghitung Tahanan Kapal Dengan <i>Maxsurf</i> <i>Resistance</i>	29
3.8.3 Analisa Nilai Tahanan Model Kapal	31
3.8.4 Penarikan Kesimpulan.....	33
3.9 Kerangka Pemikiran.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Desain Deadrise Angle 5° dan <i>Stepped</i> Pada Kapal	35
4.2 Bentuk Model Kapal	36
4.3 Analisis Kecepatan dan Trim Model Kapal <i>Deadrise angel 5°</i> <i>Stepped U</i>	37
4.4 Perhitungan Tahanan Kapal Cepat Dengan Lambung <i>Deadrise</i> <i>angel 5°</i>	38
4.4.1 Perhitungan Tahanan Model Kapal <i>Deadrise angel 5°</i> <i>Stepped 1U</i>	38
4.4.2 Perhitungan Tahanan Model Kapal <i>Deadrise angel 5o</i> <i>Stepped 2U</i>	43
4.4.3 Perhitungan Tahanan Model Kapal <i>Deadrise angel 5o</i> <i>Stepped 3U</i>	48
4.5 Perbandingan Nilai Tahanan Kapal Tanpa <i>Stepped</i> dan model kapal yang menggunakan <i>Stepped U</i>	53
4.5.1 Perbandingan Nilai Tahanan Model Kapal Tanpa <i>Stepped</i> Untuk Kondisi Trim Yang Sama Untuk Setiap Jumlah <i>Stepped U</i>	54
4.5.2 Perbandingan Nilai Tahanan Model Kapal Tanpa <i>Stepped</i> Untuk Nilai <i>Froude Number Volume</i> Yang Sama Pada Setiap Jumlah <i>Stepped U</i>	55
BAB V KESIMPULAN.....	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59

Daftar Pustaka
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	= <i>Froude Number Volume</i>
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 Kebutuhan / material pembuatan model	20
Tabel 3.2 Matriks waktu pengujian	22
Tabel 3.3 Matriks kebutuhan pengujian.....	29
Tabel 4.1 Tabel Nilai Tahanan Model <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> <i>Maxsurf</i>	40
Tabel 4.2 Tabel Nilai Tahanan Model <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> <i>Maxsurf</i>	45
Tabel 4.3 Tabel Nilai Tahanan Model <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> <i>Maxsurf</i>	50
Tabel 4.4 Ukuran Utama Kapal <i>Deadrise Angel 5° Tanpa Stepped</i> <i>Hull</i>	53
Tabel 4.5 Nilai Tahanan Model Kapal tanpa <i>Stepped</i> dengan 1 <i>Stepped U</i> , 2 <i>Stepped U</i> , dan 3 <i>Stepped U</i> Untuk Kondisi Trim Yang Sama.....	54
Tabel 4.6 Nilai Tahanan Model Kapal tanpa <i>Stepped</i> dengan 1 <i>Stepped U</i> , 2 <i>Stepped U</i> , dan 3 <i>Stepped U</i> Untuk Nilai <i>Froude Number</i> <i>Volume</i> Yang Sama.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Deadrise angle</i> pada kapal <i>planing hull</i>	4
Gambar 2.2 <i>Visualisasi Stepped Hull</i>	6
Gambar 2.3 Kapal Kondisi Even Keel.....	9
Gambar 2.4 Kapal Kondisi Trim by Stern.....	10
Gambar 2.5 Kapal Kondisi Trim by Head.....	10
Gambar 2.6 Kolam uji.....	11
Gambar 3.1 Gambar <i>Lines plan</i> kapal.....	17
Gambar 3.2 Sketsa Peletakan <i>Stepped Hull</i>	18
Gambar 3.3 Gambar section pada material frame.....	20
Gambar 3.4 Gambar frame direkatkan pada pola waterline.....	20
Gambar 3.5 Proses pendempulan model.....	21
Gambar 3.6 Pemasangan <i>Stepped</i>	21
Gambar 3.7 Pengaplikasian serat met ke cetakan.....	22
Gambar 3.8 Pelepasan model dari cetakan.....	22
Gambar 3.9 Proses pendempulan dan pengamplasan.....	23
Gambar 3.10 Proses pengecatan model.....	23
Gambar 3.11 Proses menghubungkan penggerak model.....	23
Gambar 3.12 Kerangka pikir penelitian.....	34
Gambar 4.1. Linesplan kapal pada autocad hasil import ke dxf.....	35
Gambar 4.2 Pemodelan 3 dimensi kapal penumpang cepat SS 44.....	35
Gambar 4.3 Gambar 4.3 Lines plan desain kapal dengan lambung deadrise Angle 5°.....	36
Gambar 4.4 Lines plan desain kapal dengan lambung deadrise angle 5°.....	36
Gambar 4.5 Tampak bawah kapal dan Tampak prespektif kapal Deadrise 5° 1 <i>Stepped</i>	37
Gambar 4.6 Tampak bawah kapal dan Tampak prespektif kapal Deadrise 5° 2 <i>Stepped</i>	37
Gambar 4.7 Tampak bawah kapal dan Tampak prespektif kapal Deadrise 5° 3 <i>Stepped</i>	37
Gambar 4.8 Kondisi Trim 0,92 ° model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i>	38
Gambar 4.9 Kondisi Trim 1,04 ° model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i>	39
Gambar 4.10 Kondisi Trim 1,16 ° model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> ..	39

Gambar 4.11 Kondisi Trim $1,32^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> ..	39
Gambar 4.12 Kondisi Trim $1,52^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> ..	39
Gambar 4.13 Kondisi Trim $1,82^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> ...	39
Gambar 4.14 Kondisi Trim $2,88^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i>	40
Gambar 4.15 Kondisi Trim $3,43^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i>	40
Gambar 4.16 Kurva tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	41
Gambar 4.17 Kurva trim model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> untuk setiap penambahan kecepatan.....	41
Gambar 4.18 Kurva nilai koefisien tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	42
Gambar 4.19 Kurva nilai tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 1 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan trim buritan.....	42
Gambar 4.20 Kondisi Trim $1,05^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...43	
Gambar 4.21 Kondisi Trim $1,26^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...43	
Gambar 4.22 Kondisi Trim $1,55^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.23 Kondisi Trim $2,04^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.24 Kondisi Trim $2,15^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.25 Kondisi Trim $2,41^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.26 Kondisi Trim $2,94^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.27 Kondisi Trim $3,34^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> ...44	
Gambar 4.28 Kurva trim model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> untuk setiap penambahan kecepatan.....	45
Gambar 4.29 Kurva tahanan model kapal <i>2 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	46
Gambar 4.30 Kurva nilai koefisien tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	47
Gambar 4.31 Kurva nilai tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 2 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan trim buritan.....	47
Gambar 4.32 Kondisi Trim $1,67^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> ...48	
Gambar 4.33 Kondisi Trim $1,79^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> ... 48	
Gambar 4.34 Kondisi Trim $2,18^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> ... 48	

Gambar 4.35 Kondisi Trim $2,52^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i>	49
Gambar 4.36 Kondisi Trim $2,66^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i>	49
Gambar 4.37 Kondisi Trim $3,17^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i>	49
Gambar 4.38 Kondisi Trim $3,72^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i>	49
Gambar 4.39 Kondisi Trim $4,35^\circ$ model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i>	49
Gambar 4.40 Kurva trim model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> untuk setiap penambahan kecepatan.....	50
Gambar 4.41 Kurva tahanan model kapal dengan Lambung <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	51
Gambar 4.42 Kurva nilai koefisien tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan <i>Froude Number Volume</i>	52
Gambar 4.43 Kurva nilai tahanan model kapal <i>Deadrise angel 5° 3 Stepped U</i> untuk setiap kenaikan trim buritan.....	52
Gambar 4.44 Kurva Tahanan Model Kapal dengan lambung <i>deadrie angel 5°</i> tanpa <i>Stepped</i> , 1 <i>Stepped U</i> , 2 <i>Stepped U</i> , dan 3 <i>Stepped U</i> Untuk Kondisi Trim Yang Sama.....	55
Gambar 4.45 Kurva Tahanan Model Kapal dengan lambung <i>deadrie angel 5°</i> tanpa <i>Stepped</i> , 1 <i>Stepped U</i> , 2 <i>Stepped U</i> , dan 3 <i>Stepped U</i> Untuk nilai <i>Froude Number Volume</i> Yang Sama.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penentuan skala model

Lampiran 2. Ukuran utama model

Lampiran 3. Tabel Kecepatan Model Kapal *Deadrise angel* 5° 1

Stepped U, 2 *Stepped U* dan 3 *Stepped U*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Negara Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki ribuan pulau tentunya sangat membutuhkan transportasi laut yang dapat menghubungkan pelabuhan-pelabuhan di pulau yang satu dengan pulau yang lain. Sehingga sistem transportasi yang efisien dan efektif sangat penting untuk wilayah negara kepulauan Indonesia.

Pesatnya perkembangan teknologi telah merambah ke dunia perkapalan, tidak terkecuali kapal cepat. Kini berbagai strategi untuk menciptakan kapal berkecepatan tinggi dengan nilai hambatan sekecil-kecilnya telah menghasilkan berbagai jenis modifikasi lambung, salah satunya adalah kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan penambahan *Stepped hull* yang *berguna* untuk menambah gaya keatas sehingga mengurangi gesekan antara air dan lambung.

Kapal dengan bentuk lambung *deadrise angle* adalah salah satu bentuk lambung dari jenis lambung *planing hull*. Kapal dengan tipe 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).

Prinsip dasar dari penggunaan *Stepped* 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*).

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian serupa dengan memodifikasi model lambung kapal menjadi

kapal cepat menggunakan lambung deadrise angle dengan variasi bentuk *Stepped* berbentuk U dengan judul penelitian:: “*Investigasi Eksperimen Tahan Kapal Cepat Dengan Lambung Deadrise angel Dan Stepped hull Berbentuk U*”

1.2. Rumusan Masalah

Sebagaimana diuraikan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam tugas akhir (skripsi) ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan model kapal berlambung *deadrise angel* dan *Stepped hull* terhadap kondisi trim model kapal?
2. Berapa besaran nilai tahanan model kapal berlambung *deadrise angel* dan *Stepped hull* menggunakan aplikasi *maxsurf*

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang di berikan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian model kapal dilakukan di tangki percobaan (towing tank) untuk mendapatkan kecepatan model kapal dan kondisi trim.
2. Sudut *deadrise angel* yang digunakan adalah 5 derajat.
3. Bentuk *Stepped* yang digunakan yaitu *Stepped U*.
4. Jumlah *Stepped* yang digunakan adalah 1 *Stepped*, 2 *Stepped* dan 3 *Stepped*.
5. Perhitungan tahanan model kapal menggunakan Aplikasi *Maxsurf Resistance*.
6. Skala model kapal yakni 1:15.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dan manfaat dari tugas akhir (skripsi) ini adalah:

1. Menentukan efek kecepatan pada model kapal berlambung *deadrise angel* dan *Stepped hull* terhadap kondisi trim model kapal.
2. Menentukan besaran nilai tahanan model kapal berlambung *deadrise angel* dan *Stepped* menggunakan aplikasi *maxsurf*.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi mengenai pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.

2. Menambah wawasan pembaca bagaimana tahanan model kapal berlambung *deadrise angel* menggunakan bentuk *Stepped U*.

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang permasalahan yang mendasari dalam melakukan penelitian dengan judul “Investigasi Eksperimen Tahan Kapal Cepat Dengan Lambung *Deadrise angel* Dan *Stepped hull* Berbentuk U. Selain itu berisi juga mengenai rumusan masalah yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini, batasan masalah yang meliputi batasan kegiatan dalam tugas akhir (skripsi) ini, tujuan dan manfaat dari penelitian serta sistematika penulisan tugas akhir (skripsi).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar yang mendukung permasalahan dan digunakan dalam membahas penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode yang akan digunakan dalam penelitian berupa waktu dan tempat pelaksanaan, objek penelitian, sumber data penelitian dan kerangka alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pembahasan hasil-hasil analisis mengenai Studi Tahanan Kapal *Deadrise angel* 5° dengan *Stepped* berbentuk U

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan atau hasil akhir dari penulisan tugas akhir (skripsi) serta masukan berupa saran-saran yang akan menyempurnakan tugas akhir (skripsi) ini selanjutnya.

BAB II

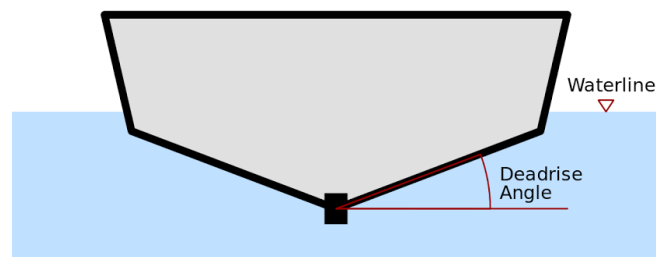
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Cepat (High Speed Craft)

Kapal cepat atau dalam bahasa inggrisnya disebut *high-speed craft* merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil. Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis *hydrofoils* dan *hovercraft*, tetapi pada tahun 1990 jenis kapal cepat *catamaran* dan *monohull* menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang.

Karakter kecepatan tinggi ini telah membuatnya menjadi populer sehingga menyebabkan banyaknya perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya tipe lambung *planing hull* yang biasanya digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi yang mana sebagian besar beratnya didukung oleh tekanan hidrodinamik saat melaju dengan kecepatan tinggi (Zubaer dkk, 2018).

Kapal tipe lambung *planing hull* memiliki *deadrise angle*. *Deadrise angle* adalah besar sudut kemiringan pelat dasar kapal terhadap sumbu horizontal. Definisi *deadrise angle* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Deadrise angle* pada kapal *planing hull*

2.2. Karakteristik Kapal Cepat

Karakteristik *high-speed craft* dipengaruhi oleh *froude number*-nya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk *high-speed craft*, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, *Froude Number* (F_n) sering digunakan sebagai parameternya. (Rosmani dkk, 2013)

F_n didefinisikan sebagai berikut:

$$F_n = \frac{V(m/s)}{\sqrt{g \times LWL}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

v : kecepatan kapal (m/s)

g : percepatan gaya gravitasi ($9,81 m/s^2$) l : panjang kapal (m)

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

Bilangan *Froude* juga merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal, antara lain :

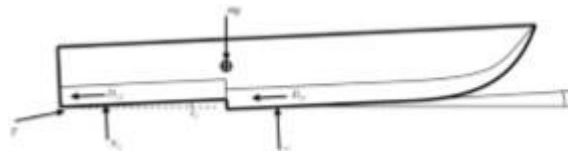
- $F_n < 0,2$ tergolong kapal yang memiliki kecepatan lambat
- $F_n < 0,35$ tergolong kapal yang memiliki kecepatan sedang
- $F_n > 0,35$ tergolong kapal cepat

Untuk kapal jenis *planning hull* nilai *Froude Number* (F_n) biasanya berkisar antara 0,4 sampai 1.

2.3. Gambaran Umum *Stepped hull*

Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, pembuatan kapal membutuhkan kritisasi efektifitas yang tinggi. Desain dan analisis prosedur diperlukan untuk kapal berkecepatan tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, diperlukan untuk membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka

mengurangi hambatan kapal. *Stepped hull* merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian buritan, midship, atau haluan kapal. *Stepped* atau transvers step atau step planing hull merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya. (Febrian dkk, 2018)



Gambar 2.2. Visualisasi *Stepped hull*

2.4. 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.

Untuk mengatasi tahanan tersebut, maka kapal membutuhkan sejumlah daya dorong sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya. Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada badan kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang berada di atas permukaan air laut. Hambatan-hambatan tersebut merupakan komponen tahanan kapal yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

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.

William Froude (1867) pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu tahanan sisa (residual) dan tahanan gesek (friction). Tahanan sisa dalam hal ini meliputi komponen wave-making system energies, eddy dan viscous energy losses akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek suatu pelat datar 2-dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal.

2.5. Komponen Tahanan

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

A. 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*)

$$Rn = \frac{v \times L}{\nu} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- V : Volume (m³)
- L : Panjang (m)
- v : Kecepatan (m/s)

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

$$C_f = \frac{0,075}{(\log Rn - 2,0)^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

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

B. 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 (*Superstruktural*) 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

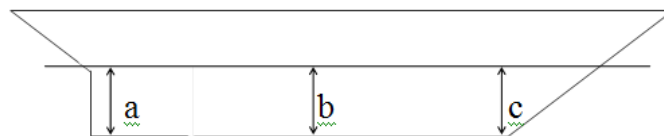
Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.

3.) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. (Arwini, 2018)

2.6. Trim Kapal

Hind (1967) menyatakan bahwa trim adalah perbedaan antara draft depan dan draft belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Trim biasanya diukur dalam ukuran inci yang dinyatakan sebagai positif dan negatif. Trim terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *even keel*, *trim by the head*, dan *trim by the stern*.



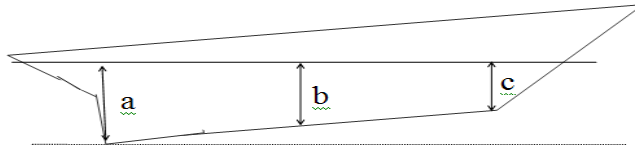
Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.3 Kapal Kondisi Even Keel.

Gambar 2.6 menunjukkan kapal even keel yaitu draft depan sama dengan

draft belakang ($a = c$) dimana $b = (a + c) / 2$, hanya terjadi bilamana kapal tidak hogging atau sagging.

Gambar II

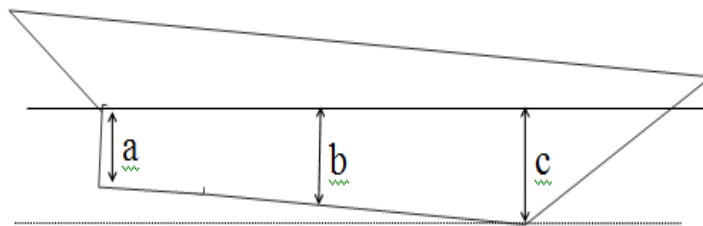


Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.4 Kapal Kondisi Trim by Stern.

Gambar 2.7 menunjukkan kapal trim by stern yaitu draft balakang lebih besar dari draft depan (a tidak sama dengan c).

Gambar III



Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.5 Kapal Kondisi Trim by Head.

Gambar 2.8 menunjukkan kapal trim by Head yaitu draft balakang lebih kecil dari draft depan (a tidak sama dengan c).

2.7. Tangki Percobaan (*Towing Tank*)

Towing tank adalah tanki percobaan yang berisikan air tawar (tidak digunakan air asin dengan alasan kerusakan alat / model), berbentuk persegi panjang. *Towing tank* umumnya digunakan untuk mengetes tahanan dengan menggunakan model yang bergerak dalam tangki pada kecepatan tertentu sepanjang tangki



Gambar 2.6. Kolam uji.

2.9. Hukum Perbandingan Model

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:

$$L_{\text{ratio}} = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{ship}}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

L_r = skala model

L_m = panjang model (m)

L_s = 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:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gLM}} = \frac{V_S}{\sqrt{gLS}} \dots\dots\dots (2.6)$$

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:

$$\frac{(f_i)_{model}}{(f_i)_{prototype}} = \frac{(f_v)_{model}}{(f_v)_{prototype}} \dots\dots\dots (2.7)$$

atau

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

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

Dimana:

Re = *Reynold number*,

V = Kecepatan

l = Panjang

- ν = Viskositas kinematis (m^2/det)
- ρ = Massa jenis (kg/m^3)

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 (B_m) adalah sebagai berikut:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.10. Metode Wyman

Formula universal yang digunakan untuk menghitung hambatan lambung model lambung planning dan displasmen. 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 Maritime Academy* (Eric W. Sponberg, 2010). Koefisien Wyman dijabarkan sebagai berikut

$$C_w = 0,8 + (0,17 \times \frac{\nu}{\sqrt{Lwl}}) \dots\dots\dots(2.9)$$

(Westlawn Masthead Magazine, 2006)

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.

$$SHP = \left(\frac{Displ.}{1000}\right) \times \left(\frac{v}{C_w \times \sqrt{Lwl}}\right)^3 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- Displ. : Displacement (ton)
- V : kecepatan (m/ s)
- Cw : 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:

$$DHP = SHP \times \eta_s \eta_b \dots\dots\dots(2.11)$$

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:

$$EHP = DHP \times P_c \dots\dots\dots(2.12)$$

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

$$P_c = \eta_{rr} \times \eta_o \times \eta \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

η_{rr} : Efisiensi relatif rotatif (1,02-1,05)

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

η_h : Efisiensi lambung kapal

$$\eta_h = \frac{1 - t}{1 - w} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

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

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

Dimana :

EHP : *Power Effective* (HP)

R_t : Tahanan total (kN)

v : Kecepatan (m/s)