

**STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK
STEPPED U DAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN
AUTODESK CFD**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



PENNI DIAN

D031171012

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

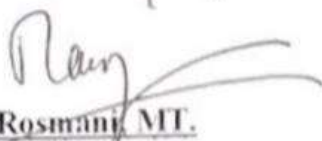
STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED U DAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD

Disusun Oleh :
Penni Dian
D031171012

Gowa, 28.. Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Ir. Rosmani, MT.

Nip. 19600620 198802 2 001

Pembimbing II

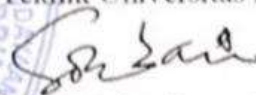


Dr.Eng. A. Ardianti, ST., MT

Nip. 19850526 201212 2 002

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 : Penni Dian
Nim : D031171012
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan bahwa karya tulis saya berjudul.

“Studi Tahanan Kapal Cepat Akibat Pengaruh Bentuk Bentuk *Stepped U* Dan *Deadrise Angle* 5 Derajat Menggunakan *Autodesk Cfd*”

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi merupakan hasil dari orang lain maka saya bersedia menaerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 28 Maret 2022



Penni Dian

ABSTRACT

Penni Dian / D031171012. ” **STUDY OF FAST SHIP RESISTANCE DUE TO THE EFFECT OF FORM *STEPPED U* AND *DEADRICE ANGLE 5 DEGREE* USING *AUTODESK CFD* ”. (Supervised by Rosmani and A. Ardianti)**

The main principle use of the Stepped planing hull is (wetted surface area) because emergence turbulence under the hull , and will add power Press to the (lifting force), so that with alone will reduce resistance and raise efficiency . The addition of the Deadrise angle to the stepped hull is variation new research. This thing proved with the more tall trim degree then Mark ship resistance will reduce caused by long reduced waterline though with the same speed . Data processing in research this use Maxsurf Modeler software help , Rhinoceros 6 for do modeling ships and boundary layers, as well as Autodesk CFD application for perform the simulation process . model resistance ship experience drop in accordance with addition number of stepped on the same F_nV . The use of stepped is very influence ship resistance , where the more increase number of stepped U then the more the resistance are also small Thing this influenced by area field wet a model, the more fast something Genre fluid the more there 's a lot of pressure going on so that result in power lift and minimize wide field soaked wet . Best Resistance is a 3 stepped U model which can reduce resistance the biggest ship that is by 75.172% compared to variation another stepped number on the same froud number .

Keywords : Semi - Planing Hull, Stepped, Ship Trim , ship Resistance , Numerical Method

ABSTRAK

Penni Dian / D031171012. ”STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK BENTUK *STEPPED U* DAN *DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT* MENGGUNAKAN *AUTODESK CFD*”. (Dibimbing oleh Rosmani dan A. Ardianti)

Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (Stepped planing hull) ialah mengurangi luas permukaan basah (wetted surface area) karena timbulnya turbulensi di bawah badan kapal, dan akan menambah daya tekan ke atas kapal (lifting force), sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi. Penambahan Deadrise angle pada stepped hull merupakan variasi baru yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi derajat trim maka nilai tahanan kapal akan berkurang disebabkan oleh panjang garis air yang berkurang pula walaupun dengan kecepatan yang sama. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan software Maxsurf Modeler, Rhinoceros 6 untuk melakukan pemodelan kapal dan boundary layer, serta aplikasi Autodesk CFD untuk melakukan proses simulasi. Tahanan model kapal mengalami penurunan sesuai dengan penambahan jumlah stepped pada FnV yang sama. Penggunaan stepped sangat mempengaruhi tahanan kapal, dimana semakin bertambah jumlah stepped U maka semakin kecil pula tahanan yang didapatkan hal ini dipengaruhi oleh luas bidang basah suatu model, semakin cepat suatu aliran fluida semakin besar pula tekanan yang terjadi sehingga mengakibatkan daya angkat dan meminimalisir luas bidang basah yang tercelup. Tahanan terbaik adalah model 3 stepped U yang dapat mereduksi tahanan kapal paling besar yaitu sebesar 75.172% dibanding variasi jumlah stepped lainnya pada froud number yang sama.

Kata Kunci: Semi Planing Hull, Stepped, Trim Kapal, Tahanan Kapal, Metode Numerik

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

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

STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK BENTUK *STEPPED U* DAN *DEADRISE ANGLE 5* DERAJAT MENGGUNAKAN *AUTODESK CFD*

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.

Di Dalam 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, Ayahanda Hermanto Dian dan Ibunda Hasnawati atas kesabaran, pengorbanan, nasehat, support dan yang terutama doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudara tercinta yang telah memberikan dukungan serta hiburan ketika merasa jenuh: Penna Dian dan Pandu Dian kakak dan adik saya tercinta terimakasih atas semuanya.
2. Ibu Ir. Hj. Rosmani, M.T. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Dr.Eng Andi. Ardianti S.T., MT selaku pembimbing II yang telah senantiasa sabar

mengarahkan serta membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.

3. Kepada bapak Akbar Asis ST., MT, serta Ibu Dr. Andi Sitti Chairunnisa, ST., MT selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga laporan ini bisa terselesaikan.
4. Kepada Ibu A.Dian Eka ST., MT, Bapak Ir. Lukman Bochary., MT, Bapak Akbar Asis ST., MT selaku dosen laboratorium hidrodinamika.
5. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. Selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin
6. Bapak Moh Rizal Firmansyah ST.,MT selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
8. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
9. 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.
10. Kepada keluarga Inces Cemara yang senantiasa menyemangati, memberi wejangan, menghibur penulis secara virtual terima kasi banyak atas semuanya.
11. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi ANDROMAX 2017, teman-teman di GH (Fadhel, Firdaus, Farid, Akbar, Ridwan, dkk.), untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita dapat melewatinya.
12. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
13. Kepada partner healing ku Ririn Angraini yang selalu menghibur, mensupport, penulis sampai pada saat ini.
14. 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

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Kapal Cepat	6
2.2 Karakteristik Kapal Cepat	7
2.3 Tahanan Kapal	8
2.4 Lambung Bertangga	12
2.5 Deadrise Angle	14
	9

2.6 Trim Kapal	15
2.7 Autodesk CFD	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	18
3.2 Jenis Penelitian	18
3.3 Metode Pengumpulan Data	18
3.4 Metode Pengolahan Data	19
3.4.1. Data Kapal	19
3.4.2. Pemodelan Kapal Cepat dengan Stepped	20
3.4.3. Pemodelan Ulang menggunakan Rhinoceros 6	25
3.4.4. Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic)	28
3.4.5. Verifikasi	34
3.4.6. Analisis data	34
3.4.7. Kesimpulan	35
3.5 Kerangka Pikir	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure	37
4.2. Prediksi Tahanan Model Kapal	54
BAB V PENUTUP	60
<u>1.1.</u> Kesimpulan	60
<u>1.2.</u> Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lbp	= Panjang kapal dari Ap hingga Fp
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
B	= Lebar Kapal (m)
T	= Sarat Kapal (m)
H	= Tinggi Kapal (m)
D	= Displacement (Ton)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s ²)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= <i>Froud Number Volume</i>
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
Rt	= Tahanan total (Kn)
Lr	= Skala model
Lm	= Panjang model (m)

L_p = Panjang Kapal (m)

V_m = Kecepatan model (m/s)

V_p = Kecepatan Kapal (m/s)

V = Volume (m^3)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	37
Gambar 4.2 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	38
Gambar 4.3 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	39
Gambar 4.4 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	40
Gambar 4.5 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	41
Gambar 4.6 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	42
Gambar 4.7 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	43
Gambar 4.8 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	44
Gambar 4.9 (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i>	45
Gambar 4.10 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 2.169 m/s dengan trim 1.588°	46
Gambar 4.11 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 2.874 m/s dengan trim 2.866°	47
Gambar 4.12 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 4.808 m/s dengan trim 4.031°	48
Gambar 4.13 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 1.919 m/s dengan trim 1.701°	48
Gambar 4.14 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 3.154 m/s dengan trim 3.481°	49

Gambar 4.15 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 4.608 m/s dengan trim 4.466°	50
Gambar 4.16 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 2.494 m/s dengan trim 2.678°	50
Gambar 4.17 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 3.69 m/s dengan trim 2.678°	51
Gambar 4.18 Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 6.098 m/s dengan trim 4.99°	52
Gambar 4.19 Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal satu <i>stepped U</i>	55
Gambar 4.20 Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal dua <i>stepped U</i>	56
Gambar 4.21 Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal tiga <i>stepped U</i>	57
Gambar 4.22 Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal tanpa <i>stepped</i>	57
Gambar 4.23 Grafik hubungan antara <i>froude number volume</i> (FnV) dan tahanan per model kapal <i>stepped U</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal	19
Tabel 3.2 Ukuran model kapal Skala 1/15	26
Tabel 3.3 Ukuran <i>boundary layer</i> tangki pengujian skala 1/15	27
Tabel 3.4 Kecepatan model dan <i>angle trim</i> buritan model per <i>stepped</i>	27
Tabel 4.1 Luas bidang basah model satu <i>stepped U</i>	40
Tabel 4.2 Luas bidang basah model dua <i>stepped U</i>	43
Tabel 4.3 Luas bidang basah tiga <i>stepped U</i>	46
Tabel 4.5 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal satu <i>stepped U</i>	53
Tabel 4.6 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal dua <i>stepped U</i>	53
Tabel 4.7 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tiga <i>stepped U</i>	54
Tabel 4.8 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tanpa <i>stepped</i>	54
Tabel 4.9 Nilai FnV dan tahanan kapal satu <i>stepped U</i>	55
Tabel 4.10 Nilai FnV dan tahanan kapal satu <i>stepped U</i>	56
Tabel 4.11 Nilai FnV dan tahanan kapal satu <i>stepped U</i>	56
Tabel 4.12 Nilai FnV dan tahanan kapal tanpa <i>stepped</i>	57
Tabel 4.13 Persentasi perbandingan Tahanan Model	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Offset Lines Plan Kapal Penumpang cepat SS 44	62
Lampiran 2. Statistik Jumlah Elemen Mesh	63
Lampiran 3. Gambar <i>Visualisasi Velocity Magnitude</i>	69
Lampiran 4. Gambar Visualisasi Static Pressure	74
Lampiran 5. Hasil Perhitungan Wall Calculator Tahanan Model Kapal	79
Lampiran 6. Gambar Visualisasi Static Pressure	87

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal sebagai moda transportasi laut di Indonesia menjadi sangat penting belakangan ini mengingat Indonesia adalah negara maritim yang terdiri dari pulau-pulau yang dipisahkan air. Jaringan transportasi laut diperlukan untuk dapat menghubungkan satu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Kapal yang ada saat ini sudah mengalami berbagai perkembangan hingga menjadi transportasi berteknologi dan inovasi tinggi.

Ada berbagai jenis tipe kapal yang berlayar di Indonesia, salah satunya adalah kapal feri cepat. Kapal feri digunakan sebagai moda transportasi penyeberangan antar pulau, pariwisata dan sebagainya. Salah satunya adalah kapal penumpang cepat (high speed ferry) yang memberikan alternatif pilihan moda transportasi kapal laut kepada calon penumpang transportasi laut yang digunakan sebagai transportasi penyeberangan antara pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh kapal feri. Kapal feri cepat ini memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, ini disebabkan oleh model lambung kapal yang digunakan, yaitu lambung semi planning hull.

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

2010” desain lambung 2 kapal menggunakan stepped diketahui memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan desain model kapal tanpa stepped.

Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (*Stepped planing hull*) ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi di bawah badan kapal, dan akan menambah daya tekan ke atas 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*).

Penambahan *Deadrise angle* pada stepped hull merupakan variasi baru yang dilakukan pada penelitian ini. Pranatal (2020) Apabila sudut *deadrise* semakin kecil maka tahanan kapal akan semakin kecil tetapi dengan pertimbangan displasemen konstan. Hasil yang sama juga ditunjukkan pada perhitungan dengan bantuan komputer.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Muh. Fachreza, 2020) yang mengatakan bahwa perubahan nilai tahanan sebuah kapal dipengaruhi oleh luas permukaan kapal yang terendam ke dalam air. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi derajat trim maka nilai tahanan kapal akan berkurang disebabkan oleh panjang garis air yang berkurang pula walaupun dengan kecepatan yang sama.

Berdasarkan dari uraian penjelasan di atas maka dilakukan penelitian lanjutan mengenai tahanan kapal bentuk stepped planing hull dengan judul :

**“STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK
BENTUK *STEPPED U* DAN *DEADRISE ANGLE 5* DERAJAT
MENGUNAKAN AUTODESK CFD”**

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 kapal berbentuk lambung bertangga U deadrise angle 5 derajat dengan variasi jumlah *stepped hulls* menggunakan *Autodesk CFD Software* ?
2. Berapa besar perubahan nilai tahanan pada kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan variasi bentuk lambung bertangga U pada beberapa kondisi trim buritan akibat kecepatan terhadap kapal tanpa stepped, kapal dengan stepped menggunakan *Autodesk CFD Software* ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *stepped* terhadap nilai tahanan ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Kapal yang digunakan adalah kapal cepat berbentuk lambung deadrise angle 5 derajat.
2. Bentuk stepped planing U
3. Perhitungan nilai tahanan menggunakan Autodesk CFD Software.
4. Dilakukan pada kondisi air tenang
5. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan
6. Berbagai kondisi trim buritan digunakan sesuai pada hasil eksperimen

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 jumlah *steps* untuk setiap perubahan kecepatan menggunakan Autodesk CFD.
2. Menentukan besar perubahan nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle* dan variasi jumlah *steps* pada beberapa kondisi trim buritan menggunakan Autodesk CFD.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *stepped* terhadap nilai tahanan kapal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

1. Sebagai informasi dan referensi mengenai pengaruh bentuk lambung bertangga dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.
2. Sebagai masukan bagi perancang kapal dalam merancang kapal cepat yang efisien saat beroperasi.
3. Untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan nilai tahanan kapal cepat.

1.6 Sistematika Penulisan

Hasil penelitian akan dituang dalam tulisan secara terperinci dan tersusun sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan uraian mengenai pembahasan permasalahan yang diteliti yaitu hubungan antara penggunaan stepped pada kapal dengan nilai tahanan yang dihasilkan kapal cepat menggunakan Autodesk CFD Software.

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

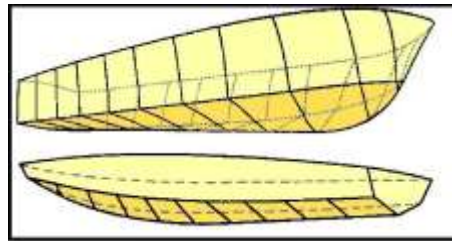
2.1 Kapal Cepat

Kapal cepat adalah kapal dengan kecepatan operasi maksimum diatas 30 knot, mengingat banyaknya ragam karakteristik hidrostatis kapal dengan menggunakan *Froude number* (F_n), maka kapal dengan F_n diatas 0,4 atau *submerged hull* (lambung tercelup) masih tergolong sebagai kapal cepat seperti kapal *conventional monohull* dan *catamaran*. Berdasarkan F_n nya, kapal cepat dibagi kedalam 3 jenis : *Displacement vessel* ($F_n < 0,4$), *Semi-displacement vessel* ($0,4 - 0,5 < F_n < 1,0 - 1,2$), dan *Planning vessel* ($F_n > 1,0 - 1,2$).

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

- a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung *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 grafitasi (kenaikan pada lambung).

Menurut A. Haris Muhammad (2009), dalam jurnal Rosmani (2013), menyatakan 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 *planning hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planning hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.



Gambar 2.1 Tipe Planning Hull

2.2 Karakteristik Kapal Cepat

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

$$FN = \frac{v}{\sqrt{g \times L}} \quad (2.1)$$

Dimana :

FN : Froude Number

V : Kecepatan (m/s)

g : Percepatan Gravitasi (m/s²)

L : Panjang kapal

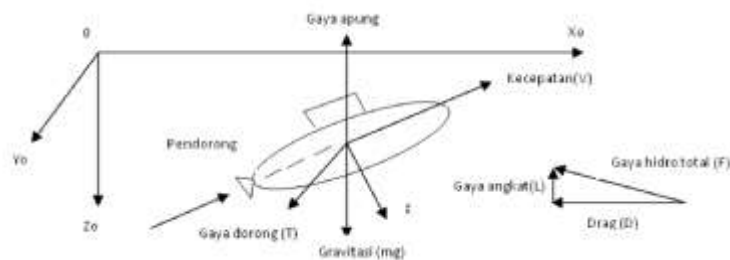
Dimana B adalah lebar luas bidang basah kapal. Safitsky [1964], sebagai contoh, menggunakan beam untuk menentukan lift coefficient, serta froude number (yang oleh beliau disebut sebagai koefisien kecepatan). Secara umum, high speed craft membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena resistance kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal.

Dengan demikian menggandakan daya yang terpasang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua adalah dengan mencoba meningkatkan kecepatan pada kondisi rough water.

2.3 Tahanan Kapal

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

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



Gambar 2.2 Gaya Yang Bekerja Pada Kapal

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

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

Menurut ITTC (International Towing Tank Conference) [2] hambatan kapal dibagi menjadi beberapa komponen seperti hambatan gesek (RF), hambatan sisa (RR), hambatan viskos (RV), hambatan tekanan (RP), hambatan tekanan viskos (RPV), hambatan gelombang (RW), hambatan pemecah gelombang (RWB), hambatan semprotan (RS), hambatan tonjolan (appendage resistance), hambatan kekasaran permukaan (surface roughness resistance), dan Hambatan Udara (Air Resistance). (Rosmani, 2013)

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

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 Reynold (*Renold's number*, Rn)

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (2.2)$$

Dimana :

V : Volume (m³)

L : Panjang (m)

ν : Kecepatan ($\frac{m}{s}$)

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

$$Cf = \frac{0.75}{(\log \log Rn - 2,0)^2} \quad (2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- c. 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 Vs 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 dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada di atas 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.

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)

2.4 Lambung Bertangga

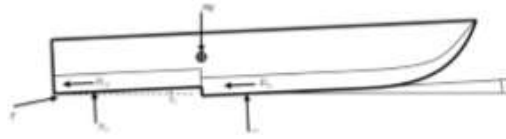
Lambung berundak adalah konfigurasi alternatif ke lambung planing dengan kecepatan tinggi biasa. lambung bertangga memiliki diskontinuitas melintang terletak di beberapa titik di belakang pusat gravitasi kapal dan pusat tekanan. Lokasi membujur diskontinuitas transversal ini, atau tangga, adalah sangat penting. Untuk memahami alasan di balik desain lambing bertangga, seseorang harus memahami prinsip-prinsip hidrodinamika *planing hull*. Saat sebuah kapal meluncur, lambung kapal bawah awalnya akan memotong permukaan air pada suatu titik yang disebut titik stagnasi. Untuk kapal dengan deadrise, garis stagnasi akan menyapu ke belakang sampai berpotongan dengan hard chine kedua sisi, pada titik mana aliran akan terpisah. Wilayah yang berada tepat di belakang garis stagnasi ini bagian bawah lambung yang menyediakan persentase yang sangat besar pengangkatan yang diperlukan karena tekanan dinamis yang besar yang sedang dikembangkan. Clement dan Koelbel (1992) telah menghitung persentase ini angkat lambung sekitar 90%. Pengangkatan utama permukaan biasanya terletak di dekat pusat gravitasi kapal, biasanya hanya maju itu. Ketika sebuah kapal sedang merencanakan, itu tekanan air di bagian belakang lambung adalah sangat rendah, dan karena itu menjadi sangat kecil kontribusi untuk perencanaan lift. Itu, bagaimanapun, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap gesekan resistensi, yang jelas tidak menguntungkan alasan termasuk ekonomi bahan bakar yang buruk dan peningkatan kebutuhan daya. (Garland, 2010)

Stepped Hull adalah bidang pada lambung kapal yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, atau biasa juga

berbentuk “V”. Steps memiliki bukaan yang besar pada sisi outboard pada lambung untuk memberikan udara yang bertujuan untuk menyedot kebawa. Pada umumnya, stepped hull dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% yang diinginkan antara memakai stepped hull dengan tidak memakai stepped hull dengan power pada mesin yang sama.

Suatu alasan mengapa *Stepped Hulls* lebih efektif adalah area/bagian yang tercelup air bias 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 Stepped Hull adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa *Stepped Hull* mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep step hull ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. (Budiarto,2011).

Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga pembuatan kapal membutuhkan kritik 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. Step Hull merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian midship kapal. Stephull atau transverse 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. (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018 /<http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>)



Gambar 2.3 Visualisasi Kapal dengan Stepped

Sumber: (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)

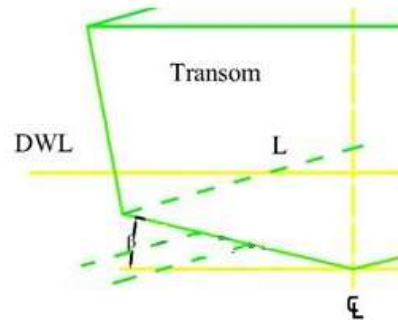


Gambar 2.4 Kapal dengan Stepped hull

Sumber: (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)

2.5 Deadrise Angle

Deadrise disebut juga *rise of floor* adalah besar sudut kemiringan alas terhadap garis dasar kapal apabila kapal dilihat dari pandangan *body plan*.



Gambar 2.5 Kapal dengan stepped hull

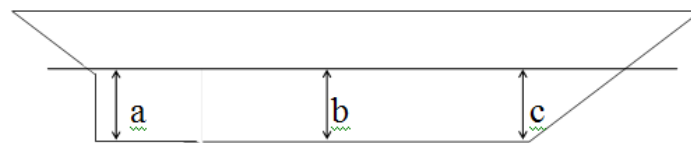
Penelitian yang sama telah dilakukan oleh (Putranto, Suastika, & Gunanta, 2017). Peneliti melakukan penelitian pengaruh deadrise terhadap stabilitas penuh dan hambatan kapal dengan sudut 6° , 11° , dan 16° . Tahanan terkecil pada 16° , dan kriteria stabilitas terbaik pada sudut 6° . Pada penelitian ini displasemen kapal merupakan variabel tidak tetap karena adanya perubahan deadrise. Peneliti (Aryawan & Putranto, 2018) melakukan studi pengaruh deadrise dan sponson terhadap performa hidrodinamika yaitu tahanan dan olah gerak kapal

perikanan akuakultur. Deadrise yang dipilih adalah 6° karena menghasilkan ruang muat yang besar dan tahanan yang baik. Peneliti lebih memilih kepentingan ruang muat dibandingkan dengan tahanan kapal yang lebih kecil.

Pranatal (2020) Apabila sudut deadrise semakin kecil maka tahanan kapal akan semakin kecil tetapi dengan pertimbangan displasemen konstan. Hasil yang sama juga ditunjukkan pada perhitungan dengan bantuan komputer.

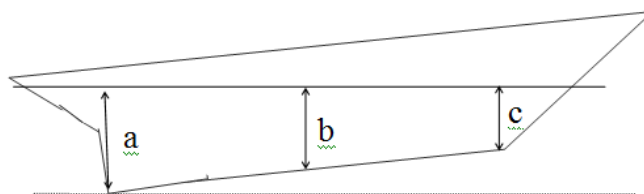
2.6 Trim Kapal

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*.

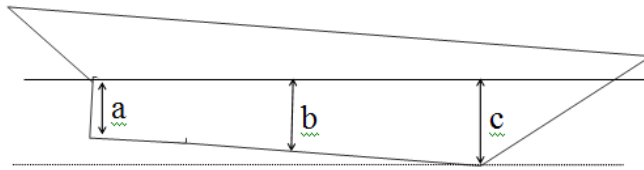


Gambar 2.5 Kapal Kondisi Even Keel.

Gambar 2.5 menunjukkan kapal trim even keel yaitu *draft* depan sama dengan *draft* belakang ($a = c$) dimana $b = (a+c)/2$, hanya terjadi bilamana kapal tidak dalam keadaan hogging atau sagging.



Gambar 2.6 Kapal Kondisi Trim by Stern.



Gambar 2.7 Kapal Kondisi Trim by Head

2.7 Autodesk CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu :

- Pre Processor (Pendefinisian Masalah) diantaranya : pembangunan geometri/model, pembangunan grid, pengaturan property fluida, pengaturan kondisi batas.
- Solver Manager (Menyelesaikan persamaan numerik) pengaturan skema diskritasi (ruang dan waktu), pengaturan algoritma penyelesain, kriteria konvergensi.
- Post Processor (Visualisasi dari hasil simulasi) diantaranya : Analisa data Hasil, Visualisasi data Hasil.

Baru-baru ini, tinjauan pustaka komprehensif tentang penggunaan CFD untuk aplikasi ini telah diterbitkan (Stathopoulos, 1997; Reichrath dan Davies, 2002; Blocken dan Karmeliet, 2004; Bitsuamlak dkk., 2004; Meroney, 2004; Franke et al., 2004). (Blocken, et al, 2007)

Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Terdapat tiga konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma :

1. Konvergensi, merupakan properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai grid spacing, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
2. Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan sistem yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.
3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi. (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)