

**PREDIKSI TAHANAN KAPAL *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH
DEADRISE 10 DERAJAT DAN *STEPPED V* MENGGUNAKAN
*AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

SKRIPSI

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



ANDI IQRA ALWAINI

D031171516

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

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

PREDIKSI TAHANAN KAPAL PLANING HULL AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DAN STEPPED V MENGGUNAKAN AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

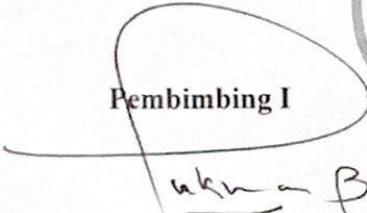
Disusun Oleh :

Andi Iqra Alwaini
D031171516

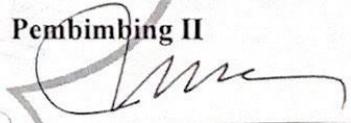
Gowa, April 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

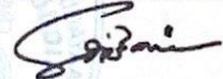

Ir. Lukman Bochari, MT.
Nip. 19561127 198803 1 001

Pembimbing II


Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng
Nip. 19490814 197903 1 002

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 : Andi iqra alwaini
NIM : D031171516
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“PREDIKSI TAHANAN KAPAL *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH
DEADRISE 10 DERAJAT DAN *STEPPED V* MENGGUNAKAN
AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS”**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan 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.

Makassar, 29 April 2022

Yang Menyatakan,



Andi iqra alwaini

ABSTRACT

Andi iqra alwaini / D031171516. ” **PREDICTION OF PLANING HULL RESISTANCE DUE TO THE EFFECT OF 10 DEADRISE AND STEPPED V USING AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**”.(Supervised by Ir. Lukman Bochary, MT. and Prof. Ir. Mansyur Hasbullah M. Eng.)

Ships have various shapes to meet aesthetics and needs. Especially in the design of fast boats, various alternatives are used on the hull and one of them is the stepped hull where the Stepped Hull is an alternative to the planing hull or the form of a high-speed ship. Stepped Hull also aims to reduce the number of hull surfaces that are submerged in water, or commonly also a “V. In general, stepped hull can increase the speed of about 10-15% so that in principle stepped hull, the addition of stepped can reduce the wet surface area of the ship due to the emergence of turbulence under the hull and will increase the compressive power to the top of the ship (lifting force). the design used has a stepped V shape. While in use the number of stepped models is categorized as one, two and three stepped. The method used in this research is a numerical method with the help of software Maxurf Modeller and Rhinoceros 6 for modeling and Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) to perform the analysis process of ship resistance values. By getting the results of ship resistance with the help of Autodesk CFD, the results with variations of one stepped, two stepped, and three stepped are compared with each other where the largest resistance reduction occurs in the 3 stepped ship model with a reduction percentage of 76.70% smaller than the model ship with two and three stepped on the froude number volume (F_nV) 3.5.

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

ABSTRAK

Andi iqra alwaini / D031171516. ” **PREDIKSI TAHANAN KAPAL *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH *DEADRISE 10 DERAJAT* DAN *STEPPED V* MENGGUNAKAN *AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*”.**

(Dibimbing oleh Ir. Lukman Bochari, MT. dan Prof. Ir. Mansyur Hasbullah M. Eng.)

Kapal memiliki beragam bentuk untuk memenuhi estetika maupun kebutuhan.terutama pada desain kapal cepat,berbagai alternatif digunakan pada lambung kapal tersebut dan salah satunya merupakan stepped hull dimana Stepped Hull adalah sebuah alternatif untuk lambung kapal planning atau bentuk kapal berkecepatan tinggi. Stepped Hull juga bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, atau biasa juga berbentuk “V. Pada umumnya, stepped hull dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% sehingga pada prinsipnya stepped hull,penambahan stepped dapat mengurangi luas permukaan bidang basah kapal karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah daya tekan keatas kapal (lifting force).pada penelitian kali ini desain yang digunakan memiliki bentuk stepped V. sementara pada penggunaan Jumlah dari stepped yang dimodelkan dikategorikan satu, dua dan tiga stepped. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan bantuan software Maxurf Modeller dan Rhinoceros 6 untuk pemodelan serta Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk melakukan proses analisis nilai tahanan kapal. Dengan didapatkannya hasil tahanan kapal dengan bantuan Autodesk CFD maka hasil dengan variasi satu stepped, dua stepped, dan tiga stepped di komparasikan hasilnya antara satu sama lain dimana pengurangan tahanan terbesar terjadi pada model kapal 3 stepped dengan persentase pengurangan sebesar 76.70% lebih kecil dibanding dengan model kapal dua dan tiga stepped pada froude number volume (F_nV) 3.5.

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

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu,

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

PREDIKSI TAHANAN KAPAL PLANING HULL AKIBAT PENGARUH DEADRISE 10 DERAJAT DAN STEPPED V MENGGUNAKAN AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

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. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Alm. A. Sustoni Rahmat dan Ibunda RR.Rita Mustikawaty atas kesabaran, pengorbanan, nasehat, support dan yang terutama doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik terimakasih atas semuanya.
2. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. selaku dosen pembimbing I dan Prof. Ir. Mansyur Hasbullah M. Eng.selaku pembimbing II yang telah senantiasa sabar mengarahkan serta membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Kepada Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT serta Bapak Akbar Asis ST., MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga laporan ini bisa terselesaikan.

4. Kepada Ibu A.Dian Eka 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 Bismillah dunia akhirat yang senantiasa menyemangati, memberi wejangan, menghibur penulis secara virtual terima kasih banyak atas semuanya.
11. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
12. Kepada partner skripsi ku Laode Abdurrahman aziz yang selalu menghibur, membantu,mensuport, penulis sampai pada saat ini.
13. 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, April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRACT	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Kapal	7
2.2 Kapal cepat	9
2.3 Stepped Hull	11
2.4 Tahanan Kapal.....	14
2.5 Trim kapal	17
2.6 Perhitungan Tahanan Metode Persamaan Savitsky.....	18
2.7 Autodesk CFD	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Jenis Penelitian	22
3.3 Metode Pengumpulan Data	22
3.4 Metode Pengolahan Data.....	23
3.4.1 Data Kapal.....	23
3.4.2 Pemodelan Kapal Cepat dengan <i>Deadrise Angle</i> dan <i>Stepped Hull</i>	24
3.4.3 Pemodelan Ulang Menggunakan Rhinoceros 6	29

3.4.4	Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic)	31
3.4.5	Verifikasi.....	36
3.4.6	Analisa Data	36
3.4.7	Kesimpulan	37
3.5	Kerangka Pemikiran	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure	39
4.1.1	Visualisasi Velocity Magnitude	39
4.1.2	Visualisasi Static Pressure.....	50
4.2	Nilai Residual In dan Residual Out	56
4.3	Prediksi Tahanan Model Kapal	57
BAB 5	PENUTUP	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67

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	= Displasment (Ton)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s ²)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= Froud <i>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 2.1 Tipe bentuk hull.....	11
Gambar 2.2 Visualisasi Kapal dengan Stepped.....	13
Gambar 2.3 Kapal dengan Stepped hull	14
Gambar 2.4 Kapal Kondisi Even Keel.	17
Gambar 2.5 Kapal Kondisi Trim by Stern.....	18
Gambar 2.6 Kapal Kondisi Trim by Head.....	18
Gambar 2.7 Definisi IK, dan Ic.....	19
Gambar 3.1 Linesplan Kapal pada software Autocad	24
Gambar 3.2 Body plan kapal dengan variasi deadrise angle 10°	25
Gambar 3.3 Sketsa peletakan stepped kapal.....	26
Gambar 3.4 Tampilan awal model kapal tanpa stepped pada Maxsurf Modeller	26
Gambar 3.5 Tampilan awal penambahan stepped pada kapal berbentuk deadrise angle	27
Gambar 3.6 Tampak bawah penampang 1 stepped pada kapal berbentuk deadrise angle	27
Gambar 3.7 Tampak samping kapal berbentuk deadrise angle dengan penampang 1 stepped.....	27

Gambar 3.8 Proses Trimming pada surface yang saling berpotongan	28
Gambar 3.9 Tampak kapal berbentuk lambung deadrise angle dengan 1 stepped bentuk V	28
Gambar 3.10 Hasil import kedalam aplikasi Rhinoceros 6	29
Gambar 3.11 Hasil model closed solid.....	30
Gambar 3.12 Pemodelan kolam uji	31
Gambar 3.13 Visual tahap geometry model kapal dan boundary layer.....	32
Gambar 3.14 Visualisasi input material model kapal dan boundary layer	33
Gambar 3.15 Visualisasi input boundary condition model kapal dan boundary layer	33
Gambar 3.16 Visualisasi mesh sizing model kapal dan boundary layer	34
Gambar 3.17 Visualisasi mesh sizing model kapal	34
Gambar 3.18 Visualisasi tahap clone model kapal dan boundary layer	35
Gambar 3.19 Visualisasi tahap solve model kapal dan boundary layer	36
Gambar 3.20 Kerangka Pikir Penelitian	38
Gambar 4.1 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 2.12 m/s dengan trim 2.19°	39
Gambar 4.2 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 2.12 m/s dengan trim 2.19°	40

Gambar 4.3 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.89°	40
Gambar 4.4 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.89°	41
Gambar 4.5 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 4.16 m/s dengan trim 4.63°	41
Gambar 4.6 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 4.16 m/s dengan trim 4.63°	42
Gambar 4.7 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 2.16 m/s dengan trim 2.24°	43
Gambar 4.8 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 2.16 m/s dengan trim 2.24°	43
Gambar 4.9 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.66°	44
Gambar 4.10 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.66°	44
Gambar 4.11 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 3.65 m/s dengan trim 4.39°	45
Gambar 4.12 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 3.65 m/s dengan trim 4.39°	45
Gambar 4.13 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 2.13 m/s dengan trim 2.19°	46

Gambar 4.14 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 2.13 m/s dengan trim 2.19°	47
Gambar 4.15 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 3.00 m/s dengan trim 2.85°	47
Gambar 4.16 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 3.00 m/s dengan trim 2.85°	48
Gambar 4.17 Visualisasi (a) velocity magnitude planes (b) Pola aliran pada kecepatan 3.62 m/s dengan trim 4.04°	49
Gambar 4.18 Visualisasi (c) Pola aliran berdasarkan velocity magnitude planes (d) Pola aliran pada buritan kecepatan 3.62 m/s dengan trim 4.04°	49
Gambar 4.19 Visualisasi static pressure model kapal satu stepped V kecepatan 2.12 m/s dengan trim 2.19°	50
Gambar 4.20 Visualisasi static pressure model kapal satu stepped V kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.88°	51
Gambar 4.21 Visualisasi static pressure model kapal satu stepped V kecepatan 3.65 m/s dengan trim 4.37°	51
Gambar 4.22 Visualisasi static pressure model kapal dua stepped V kecepatan 2.16 m/s dengan trim 2.24°	52
Gambar 4.23 Visualisasi static pressure model kapal dua stepped V kecepatan 2.95 m/s dengan trim 3.66°	53
Gambar 4.24 Visualisasi static pressure model kapal dua stepped V kecepatan 3.645 m/s dengan trim 4.39°	53

Gambar 4.25 Visualisasi static pressure model kapal tiga stepped V kecepatan 2.13 m/s dengan trim 2.19°	54
Gambar 4.26 Visualisasi static pressure model kapal tiga stepped V kecepatan 3.00 m/s dengan trim 2.85°	54
Gambar 4.27 Visualisasi static pressure model kapal tiga stepped V kecepatan 3.62 m/s dengan trim 4.04°	55
Gambar 4.28 Grafik Kecepatan dan tahanan model kapal satu stepped V	58
Gambar 4.29 Grafik Kecepatan dan tahanan model kapal dua stepped V	59
Gambar 4.30 Grafik Kecepatan dan tahanan model kapal tiga stepped V	60
Gambar 4.31 Grafik hubungan antara froude number volume (FnV) dan tahanan per model kapal stepped V	60
Gambar 4.32 Grafik hubungan antara froude number volume (FnV) dan tahanan per model kapal stepped V	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal Penumpang Cepat.....	23
Tabel 3.2 Ukuran model kapal Skala 1/15	30
Tabel 3.3 Ukuran boundary layer tangki pengujian skala 1/15.....	30
Tabel 3.4 Kecepatan model dan angle trim buritan model per stepeed.....	31
Tabel 4.1 Luas bidang basah model satu stepped V.....	42
Tabel 4.2 Luas bidang basah model dua stepped V	46
Tabel 4.3 Luas bidang basah tiga stepped V	50
Tabel 4.4 Nilai Residual In dan Residual Out model kapal satu stepped V.....	56
Tabel 4.5 Nilai Residual In dan Residual Out model kapal dua stepped V	56
Tabel 4.6 Nilai Residual In dan Residual Out model kapal tiga stepped V	57
Tabel 4.7 Nilai Kecepatan dan tahanan kapal satu stepped V	58
Tabel 4.8 Nilai Kecepatan dan tahanan kapal dua stepped V	59
Tabel 4.9 Nilai Kecepatan dan tahanan kapal tiga stepped V	59
Tabel 4.10 Persentasi perbandingan Tahanan Model dengan FnV yang sama	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Offset Lines Plan Kapal Penumpang cepat SS 44

Lampiran 2. Statistik Jumlah Elemen Mesh

Lampiran 3. Gambar Visualisasi Velocity Magnitude

Lampiran 4. Gambar Visualisasi Static Pressure

Lampiran 5. Hasil Perhitungan Wall Calculator Tahanan Model Kapal

Lampiran 6. Gambar Visualisasi Static Pressure

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu Negara yang menjadi Negara kepulauan terbesar di dunia adalah Indonesia. Negara ini juga memiliki posisi geografis yang unik sekaligus menjadikannya strategis. Hal ini dapat dilihat dari letak Indonesia yang berada di antara dua samudera dan dua benua sekaligus memiliki perairan yang menjadi salah satu urat nadi perdagangan internasional. Posisi ini menempatkan Indonesia berbatasan laut dan darat secara langsung dengan sepuluh negara di kawasan. Keadaan ini menjadikan Indonesia rentan terhadap sengketa perbatasan dan ancaman keamanan yang menyebabkan instabilitas dalam negeri dan di kawasan.

Pada daerah yang banyak dialiri sungai, laut, maupun danau yang mempunyai pulau-pulau yang dipisahkan oleh air, sehingga transportasi laut merupakan suatu alternatif yang sangat dominan dan masih sangat efektif. Dengan adanya lautan yang memisahkan antar daerah maka di perlukan transportasi laut sebagai penghubung antar daerah yaitu dengan menggunakan moda transportasi kapal.

Maka dari itu pada era modern ada banyak jenis moda transportasi laut dan salah satunya merupakan kapal cepat atau yang biasa disebut (planing hull) dan terdiri dari gaya gesek (friction) dan gaya vertikal (induced drag), dimana hambatan geseknya lebih dominan dari total hambatan. Fenomena ini membuat para ahli kapal terinspirasi untuk menciptakan desain kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu belakangan ini banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: air cushion vehicles (ACV), seaplanes, wing-in-ground effect (WIG) craft, planning hydrofoil ships, surface effect ships (SES) dan kapal Stolkraft. Jenis kapal cepat tersebut memiliki karakteristik

operasional dan keunggulan tertentu serta banyak diaplikasikan sebagai kapal patroli, kapal penyelamat, kapal penumpang, kapal riset dan kapal pesiar.

Tahanan kapal merupakan gaya hambatan atau gaya tahanan yang dilakukan fluida baik cair atau gas terhadap kapal untuk mencapai kecepatan servisnya. Gaya ini terjadi karena interaksi antara lambung kapal dengan fluida. Desain lambung kapal dilakukan sedemikian rupa untuk mengurangi tahanan kapal pada kecepatan servisnya. maka dari itu diperlukan berbagai desain lambung agar mencapai tahanan yang diinginkan dan salah satu desain yang dapat mengubah tahanan dengan mengatur deadrise dari lambung tersebut. Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan deadrise (β) pada sudut 10 derajat untuk mencari tahanan kapal pada tipe kapal cepat, yaitu planning hull .

Kapal planning hull merupakan kapal cepat dengan Volume Froude Number $Fr_V=1,0-3,5$ dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi (Molland, Turnock, & Hudson, 2017). Sedangkan deadrise disebut juga rise of floor adalah besar sudut kemiringan alas terhadap garis dasar kapal apabila kapal dilihat dari pandangan body plan. Metode persamaan Savitsky yang merupakan metode perhitungan tahanan planning hull dengan menggunakan pendekatan bentuk lambung prismatic digunakan untuk menghitung tahanan kapal pada penelitian ini. Sebagai perbandingan, hasil perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan perhitungan dengan bantuan software yaitu Autodesk CFD.

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 (weted surface area) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah gaya tekan keatas yang akan mengurangi tahanan kapal serta

menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Pada penelitian yang dilakukan Garland, W. R. "*Stepped planing hull investigation, 2010*" desain lambung 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 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 hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Muh. Fachreza, 2020) yang berjudul "Studi Tahanan Berbagai Variasi Bentuk Stepped Semi Planning Hull" yang mengatakan bahwa perubahan nilai tahanan sebuah kapal dipengaruhi oleh luas permukaan kapal yang terendam kedalam air. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi derajat trim maka nilai dari tahanan kapal akan berkurang disebabkan oleh panjang garis air berkurang walaupun pada kecepatan yang sama. Berdasarkan dari uraian penjelasan di atas maka dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh deadrise angel tahanan kapal dengan bentuk stepped planing hull.

Berdasarkan uraian diatas, sehingga pada penelitian ini penulis tertarik untuk mengkaji tentang tahanan kapal, pada tipe lambung kapal semi planing hull dengan berbagai variasi bentuk stepped dengan judul:

**PREDIKSI TAHANAN KAPAL *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH
DEADRISE 10 DERAJAT DAN *STEPPED V* MENGGUNAKAN
*AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar perubahan nilai tahanan pada kapal berbentuk lambung kapal *deadrise angle* 10 derajat dengan variasi jumlah *stepped* berbentuk V ?
2. Berapa besar perubahan nilai tahanan pada kapal berbentuk lambung *deadrise angle* 10 derajat dengan variasi bentuk lambung bertangga pada beberapa konisi trim buritan ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *stepped* terhadap nilai tahanan.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Model kapal yang diteliti adalah kapal feri penumpang cepat SS 44 semi planning hull.
2. Perhitungan model tahanan dilakukan pada kondisi air tenang
3. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan.
4. Stepped hull berbentuk V dengan variasi satu stepped, dua stepped, dan tiga stepped.
5. Perhitungan nilai tahanan menggunakan variasi trim berdasarkan kecepatan yang didapat pada eksperimen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besar perubahan nilai tahanan terhadap lambung kapal *deadrise angle* 10 derajat dengan variasi jumlah *stepped* V.
2. Menentukan besar perubahan nilai tahanan pada beberapa kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan variasi bentuk lambung bertangga V 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 bagaimana 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 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 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

Seperti yang telah diketahui Indonesia merupakan Negara maritim yang memiliki wilayah laut yang cukup luas sehingga membutuhkan alat transportasi untuk menghubungkan antar wilayah. Saat ini Kapal adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut, danau maupun sungai atau sebagainya. Seperti halnya sampan atau perahu yang lebih kecil. Kapal biasanya cukup besar untuk membawa perahu kecil seperti sekoci. Sedangkan dalam istilah Inggris, dipisahkan antara ship yang lebih besar dan boat yang lebih kecil. Secara kebiasaannya kapal dapat membawa perahu tetapi perahu tidak dapat membawa kapal. Ukuran sebenarnya di mana sebuah perahu disebut kapal selalu ditetapkan oleh undang-undang dan peraturan atau kebiasaan setempat.

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan kapal pada masa lampau menggunakan kayu, bambu ataupun batang-batang papyrus seperti yang digunakan bangsa Mesir kuno kemudian digunakan bahan-bahan logam seperti besi/baja karena kebutuhan manusia akan kapal yang kuat. Sejak dahulu kapal telah digunakan oleh manusia untuk mengarungi sungai atau lautan yang diawali oleh penemuan perahu. Biasanya manusia pada masa lampau menggunakan kan, rakit ataupun perahu, semakin besar kebutuhan akan daya muat maka dibuatlah perahu atau rakit yang berukuran lebih besar yang dinamakan kapal. Untuk penggerakannya manusia pada awalnya menggunakan dayung kemudian angin dengan bantuan layar, mesin uap setelah muncul revolusi Industri dan mesin diesel serta Nuklir. Beberapa penelitian memunculkan kapal bermesin yang berjalan mengambang di atas air seperti Hovercraft dan Eakroplane. Serta kapal yang digunakan di dasar lautan yakni kapal selam

Jaringan transportasi laut diperlukan untuk dapat menghubungkan pelabuhan-pelabuhan dari satu pulau dengan pulau lainnya. Sehingga sistem transportasi yang efisien dan efektif sangat berperan penting untuk wilayah negara

kepulauan Indonesia. Dengan adanya lautan yang memisahkan antar daerah maka di perlukan transportasi laut sebagai penghubung antar daerah yaitu dengan menggunakan moda transportasi kapal. Kapal yang digunakan sebagai moda transportasi penghubung antar daerah/pulau diantaranya menggunakan kapal penyeberangan berupa feri roll on roll off (roro) (Wikipedia.org)..

Seperti pernyataan diatas dapat diakui bahwa kapal Feri adalah salah satu angkutan penyeberangan yang merupakan angkutan yang berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan jaringan jalan yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya. Kapal Feri RoRo sekarang utamanya berfungsi untuk pengangkutan kendaraan dengan berbagai tipe dan jumlah penumpang yang banyak untuk menghubungkan dua tempat pada satu jalur pelayaran tertentu yang berjauhan jaraknya. Kapal Feri merupakan angkutan perairan antar pulau di Indonesia yang populer. (Rosmani, 2013)

Selain itu masih banyak yang belum mengetahui bahwa banyak feri melayani selat-selat antara pulau yang berdekatan, terutama antara pulau Sumatra dan Jawa, dan juga antara pulau Jawa dan pulau-pulau di Kepulauan Sunda Kecil. Di pelabuhan penyeberangan kapal-kapal sibuk melayani antara Sumatra, Jawa, dan Bali, feri yang mengangkut kapal dioperasikan 24 jam per hari. Ada juga beberapa feri internasional yang melayani Selat Malaka antara Sumatra dan Malaysia, dan juga Singapura, dan pulau-pulau kecil Indonesia seperti Batam. (https://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_feery)

Seiring waktu Kapal cepat sering digunakan sebagai transportasi penyeberangan antara pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh kapal feri di Indonesia dan Tak hanya lagi kapal feri yang di gunakan sebagai moda transportasi penyeberangan antar pulau, tetapi ada juga kapal penumpang cepat (high speed ferry) yang hadir secara langsung dan memberikan alternatif pilihan moda transportasi kapal laut kepada calon penumpang transportasi laut..

2.2 Kapal cepat

High speed craft atau yang biasanya disebut dengan Kapal cepat adalah kapal yang telah dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil dimana biasa digunakan untuk perusahaan yang menyediakan kapal private. 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).

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 caft, 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

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 terpassang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua ialah dengan mencoba meningkatkan kecepatan pada kondisi rough water.

Dimana Bilangan Froude merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau kapal lambat. Penggolongan kapal menurut bilangan Froude:

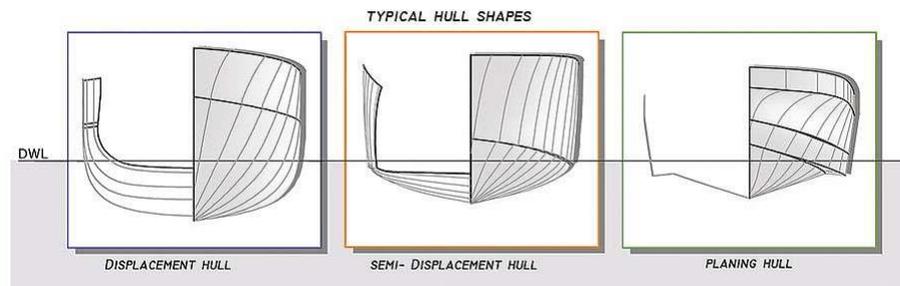
- a. Kapal lambat : kapal berlayar dengan $F_n \leq 0,20$
Hambatan gelombang (R_w) = 0
- b. Kapal sedang : jika $0,20 < F_n < 0,35$
Hambatan gesek (R_f) = 70-75% R_t
Hambatan gelombang (R_w) = 25-30% R_t
- c. Kapal cepat : $F_n \geq 0,35$
Hambatan gelombang = 50% R_t

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 [2] :

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

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 *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 2.1 Tipe bentuk hull

2.3 Stepped Hull

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 paada 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).

Stepped Hull adalah sebuah alternatif untuk lambung kapal planning atau bentuk kapal berkecepatan tinggi. Lambung stepped memiliki diskontinuitas melintang yang terletak di beberapa titik di belakang pusat gravitasi dan titik tekan kapal. Lokasi longitudinal dari diskontinuitas melintang ini sangat penting. Untuk mengetahui alasan dalam mendesain bentuk stepped ini, kita harus mengetahui prinsip-prinsip hidrodinamika dari bentuk lambung planing ini.

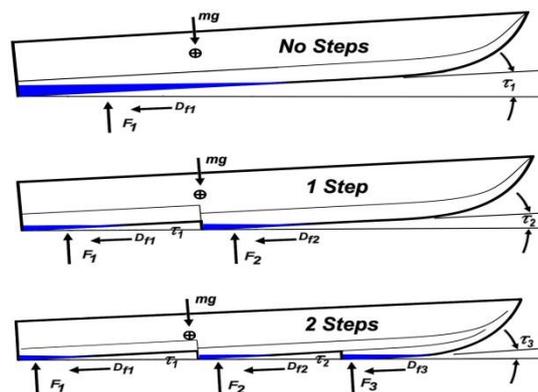
Ketika kapal mulai terangkat, dasar lambung awalnya akan memotong permukaan air pada titik yang disebut titik stagnasi. Untuk kapal dengan deadrise, garis stagnasi akan disapu kembali sampai memotong chine keras di kedua sisi, pada titik dimana aliran akan terpisah. Wilayah di belakang garis stagnasi ini adalah bagian dari lambung bawah yang memberikan presentase yang sangat besar dari pengangkatan yang diperlukan karena tekanan dinamis besar sedang dikembangkan.

Jika diskontinuitas melintang, atau stepped, dari kedalaman yang memadai diletakkan di dasar lambung pada lokasi yang tepat dengan kondisi kecepatan yang tinggi, air yang mengalir disepanjang lambung kapal akan terpisah dari forebody pada stepped. Ini akan meninggalkan beberapa jumlah afterbody (bagian lambung belakang stepped) tidak terseret asalkan dapat berventilasi memadai (akan dijelaskan kemudian). Air yang telah terpisah oleh stepped akan mengikuti profil permukaan bebas dan dapat menempel kembali ke afterbody. Kombinasi dari lift pada forebody harus dapat mendukung perpindahan kapal. Seperti yang telah

dibahas, forebody lift, atau lift yang diselesaikan di pusat tekanan kapal, terhitung kasar 90% dari lift yang dibutuhkan. Oleh karena itu, afterbody harus dapat memberikan 10% sisa lift agar kapal menjadi stabil secara vertikal dan sekitar sumbu longitudinal melalui pusat grafitasi kapal. (Garland, 2010).

Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga 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.

Stephull merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian midship kapal. 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. (Citra Eka, 2018)



Gambar 2.2 Visualisasi Kapal dengan *Stepped*



Gambar 2.3 Kapal dengan *Stepped hull*

Sumber : Citra Eka, 2018

2.4 Tahanan Kapal

Tahanan suatu kapal adalah gaya arus air yang berlawanan terhadap arah kapal (Harvald, Svend Aage; *Resistance and Propulsion of Ships*; 1983). 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). 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:

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 di lalulinya. 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)

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

V : Volume (m³)

L : Panjang (m)

ν : Kecepatan (m/s)

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

$$Cf = \frac{0,75}{(\log Rn - 2,0)^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

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

- B. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefenisikan 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 (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.

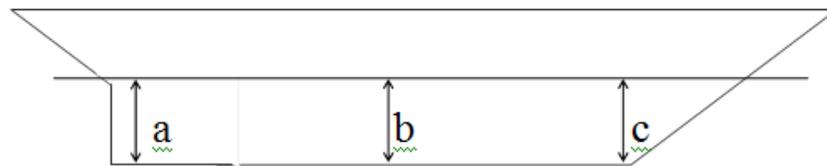
3.) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

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

Menurut Gassemi (dalam Hakim 2020) kapal planing memiliki dua komponen gaya yang bekerja yakni *hydrostatic force* dan *hydrodynamic force* sehingga metode untuk memprediksi hambatan kapal planing berbeda dari metode untuk memprediksi hambatan kapal displacemen. Hambatan hidrodinamis total pada kapal planing terdiri dari hambatan akibat tekanan normal pada dasar kapal dan hambatan viskos tangensial pada dasar kapal di bagian *pressure area* maupun pada *spray area*.

2.5 Trim kapal

Trim dapat diartikan sebagai suatu keadaan kapal senget (list) secara membujur (longitudinal). *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*. Trim tidak diukur dalam besaran derajat, tetapi dalam perbedaan antara sarat depan (forward draft) dan sarat belakang (after draft) dalam centimeter. Jika sarat depan lebih besar dari sarat belakang, maka kapal dalam kondisi trim depan (trim by the head). Jika sarat belakang lebih besar dari sarat depan, maka kapal dalam kondisi trim belakang (trim by stern).

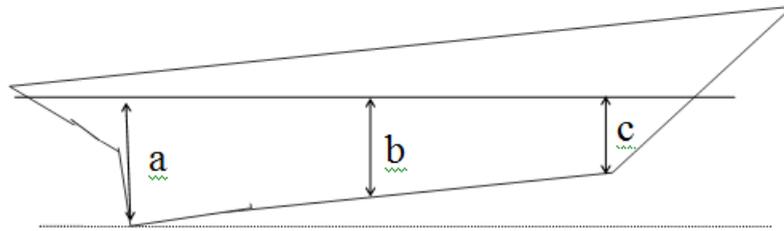


Gambar 2.4 Kapal Kondisi *Even Keel*.

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

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.

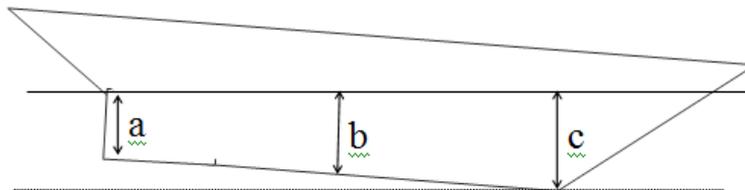
Gambar II



Gambar 2.5 Kapal Kondisi *Trim by Stern*.

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

Gambar III



Gambar 2.6 Kapal Kondisi *Trim by Head*.

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

2.6 Perhitungan Tahanan Metode Persamaan Savitsky

Savitsky melakukan perhitungan tahanan *planing hull* dengan pendekatan bentuk lambung prismatic. Gaya dihasilkan oleh sebuah permukaan *planing* dan pusat dimana gaya bekerja digambarkan melalui persamaan oleh Savitsky (Savitsky & others, dikutip oleh Pranatal, 2020).

Untuk mencari tahanan kapal dengan permukaan bottom menggunakan deadrise β , maka koefisien angkat memerlukan koreksi dengan rumus sebagai berikut:

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.60} \quad (8)$$

dengan batasan penggunaan $\beta \leq 30^\circ$, dengan β dalam derajat.

Dengan pertimbangan dari titik aksi dari kontribusi gaya apung dan kontribusi dinamik, posisi secara keseluruhan titik pusat pressure diberikan sebagai berikut:

$$C_p = 0.75 - \frac{1}{5.21 \left(\frac{C_v}{\lambda} \right)^2 + 2.39} = \frac{l_p}{\lambda b} = \frac{l_p}{l_m} \quad (9)$$

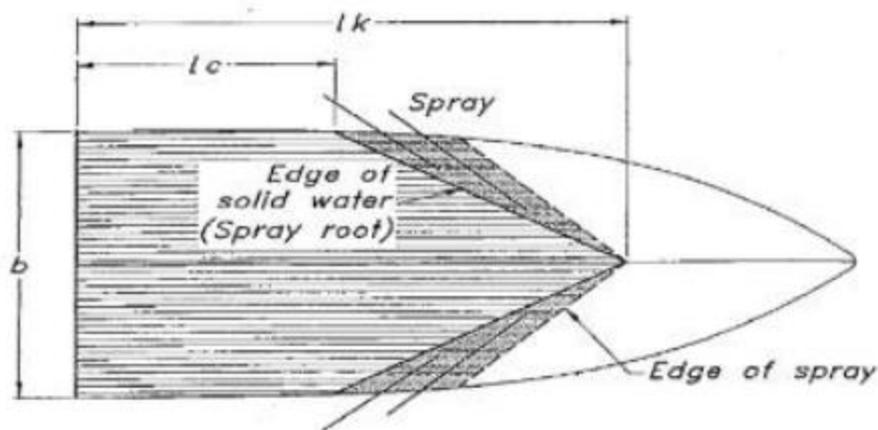
dimana $C_p = \frac{l_p}{l_m} = l_p/l_m$

dengan $\lambda = \frac{(l_k + l_c)/2}{b} = l_m/b$

l_p adalah jarak garis aksi gaya normal ke transom, l_k adalah panjang kapal tercelup pada keel, l_c adalah panjang kapal tercelup pada chine, dimana l_m adalah rata-rata panjang tercelup sedangkan λ adalah perbandingan l_m dan b . Untuk lebih jelasnya definisi l_k dan l_c dapat dilihat pada gambar 2.4.

dan

dimana $C_L = \frac{\Delta}{0.5 \rho b^2 v^2}$ dan $S = \lambda b^2 \sec \beta$



Gambar 2.7 Definisi l_k , dan l_c

2.7 Autodesk CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) Adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida dan merupakan aplikasi yang ada pada computer. 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.

Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energy. Digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu :

1. Pre Processor

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan fluid properties dan penentuan kondisi batas.

2. Solver

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari computer atau lebih umum dikenal dengan proses running.

3. Post Solver

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil running seperti grafik, vector, dan kontur dan animasi dengan pola warna tertentu. (Muhady 2020)

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 /<http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>)