

**STUDI TAHANAN SEMI PLANNING HULL BENTUK
STEPPED DENGAN AUTODESK CFD**

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

Hasanuddin



TRIAS MUHADY

D31116313

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN GOWA 2020

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 SEMI PLANNING HULL BENTUK STEPPED DENGAN AUTODESK CFD ”

Disusun Oleh :

**TRIAS MUHADY
D311 16 313**

Gowa, 14 Oktoder 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

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 : Trias Muhady
NIM : D311 16 313
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Tahanan Semi Planing Hull Bentuk Stepped Dengan Autodesk CFD

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, 14 Oktober 2021

Yang menyatakan



Trias Muhady

ABSTRACT

Trias Muhady/D311 16 313. “**STUDY OF STEPPED HULL SEMI PLANING RESISTANCE WITH AUTODESK CFD APPLICATION**”. (Supervised by Dr. Eng.Suandar Baso, S.T., M.T. and Dr. Eng A. Ardianti, S.T M.T.)

Today, the trend of fast boat design is changing or modifying in order to get a ship design that ensures performance and safety when sailing in the ocean, one of which is the modification of the hull. One way to modify the hull is to add a stepped hull form. The principle of using stepped hull is to reduce the wet surface area due to turbulence under the hull. The stepped form design studied is the stepped V, U, W, and 2-U models with the same cross-sectional area, which is about 4.1899 m². The number of stepped hulls modeled is categorized as one, two and three stepped hulls. Three hull conditions are assumed to be 3 levels of slope, namely 1° aft trim, 2° aft trim, and 3° aft trim conditions. The method used in this study is a numerical method with the help of software Maxsurf Modeller and Rhinocero 6 to model the ship and Autodesk CFD to analyze the value of the ship's resistance. The largest increase in the value of unstepped resistance occurred in trim conditions of 1.5° - 2°, which was 39% and decreased by 4% in trim conditions of 2.5° - 3°. The resistance value of the 1 stepped ship model in the form of 2-U is 12% smaller than the U shape at high speed, while the 3 stepped ship model in the W form has the smallest resistance value, namely 1,874 N. Changes in the decrease in resistance increase occur at 3° trim conditions with an average The average Froude number volume 2.81 – 4.02 is 2.98% for each stepped form. The total resistance of the ship tends to decrease with the addition of stepped from the 1 stepped hull to the 3 stepped hull form and the higher the degree of trim, the value of the ship's resistance will decrease because the wet surface area decreases even at the same speed.

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

ABSTRAK

Trias Muhady/D311 16 313. “**STUDI TAHANAN SEMI PLANING HULL BENTUK STEPPED DENGAN APLIKASI AUTODESK CFD**”. (Dibimbing oleh Dr. Eng.Suandar Baso, S.T., M.T. dan Dr. Eng A. Ardianti, S.T M.T.)

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 basah (weted surface area) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal. Desain bentuk stepped yang diteliti yaitu model stepped V, U, W, dan 2-U dengan luas penampang yang sama yaitu sekitar 4,1899 m². Jumlah dari stepped yang dimodelkan dikategorikan satu, dua dan tiga stepped hull. Tiga kondisi lambung diasumsikan menjadi 3 tingkatan kemiringan yaitu kondisi trim buritan 1°, trim buritan 2°, dan 3° trim buritan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode numerik dengan bantuan software *Maxsurf Modeller* dan *Rhinocero 6* untuk melakukan pemodelan kapal serta *Autodesk CFD* untuk melakukan proses analisa nilai tahanan kapal. Kenaikan nilai tahanan tanpa stepped yang terbesar terjadi pada pada kondisi trim 1.5° - 2° yaitu sebesar 39 % dan mengalami penurunan 4 % pada kondisi trim 2,5° - 3°. Nilai tahanan model kapal 1 stepped bentuk 2-U, 12 % lebih kecil dibandingkan bentuk U pada kecepatan tinggi, sedangkan model kapal 3 stepped bentuk W memiliki nilai tahan terkecil yaitu 1.874 N. Perubahan kenaikan tahanan yang menurun terjadi pada kondisi trim 3° dengan rata-rata *Froude number volume* 2.81 – 4.02 sebesar 2.98 % setiap bentuk stepped. Tahanan total kapal cenderung mengecil seiring dengan penambahan stepped dari bentuk lambung 1 stepped sampai bentuk lambung 3 stepped serta semakin tinggi derajat trim maka nilai dari tahanan kapal akan berkurang disebabkan luas permukaan basah berkurang walaupun pada kecepatan yang sama.

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

STUDI TAHANAN SEMI PLANNING HULL BENTUK STEPPED DENGAN 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.

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 Sulaiman Sahaka dan Ibunda Hafidah Samoni atas kesabaran, pengorbanan, nasehat dan yang terutama doa yang tak putus – putusnya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudara tercinta yang telah memberikan support dan semangat tiada henti: Ahid Muflihah dan Isty Milhany kakak-kakak yang tercinta atas dukungannya.
2. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku pembimbing I sekaligus Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin dan Ibu Dr. Eng. A. Ardianti selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Hj. Rosmani, M.T dan Ibu Dian Eka ST., MT selaku dosen laboratorium hidrodinamika
3. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.

4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
5. Ibu Uti, Kak Yudi, Pak Afif dan Pak Rio selaku staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
6. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2016 terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
7. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi (Awalia, Mila, Ainun, Fachreza, Wandu, Taslim, Sunar, Tora), untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita dapat melewatinya.
8. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
9. Kepada teman teman KKN Posko Mico yang telah mewarnai hari-hari saya selama ber-KKN di Kabupaten Bone.
10. 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, Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	I
KATA PENGANTAR.....	Ii
DAFTAR ISI.....	Iv
DAFTAR NOTASI.....	Vi
DAFTAR TABEL.....	Vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	Ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Kapal	5
2.2 Kapal Cepat (<i>High Speed Craft</i>).....	6
2.3 Karakteristik Kapal Cepat	9
2.4 Stepped Hull.....	10
2.5 Trim Kapal	12
2.6 Tahanan Kapal.....	13
2.7 <i>Maxsurf Pro</i>	17
2.7.1 <i>Maxsurf Modeller</i>	17
2.8 Aliran Fluida.....	20
2.9 Autodesk CFD.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Lokasi dan waktu Penelitian.....	23
3.2 Jenis dan Pengumpulan data.....	23
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	23
3.4 Metode Pengolahan Data.....	24
3.4.1 Data Kapal.....	24

3.4.2	Pemodelan Kapal Cepat dengan Stepped.....	25
3.4.3	Pemodelan Ulang dengan <i>Rhinocero 6</i>	29
3.4.4	Simulasi CFD.....	33
3.4.5	Verifikasi.....	39
3.4.6	Analisis Data.....	40
3.4.7	Kesimpulan	41
3.5	Kerangka Pikir.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Visualisasi <i>velocity magnitude</i> dan <i>static preasure</i>	43
4.2	Prediksi Tahanan Model Kapal.....	52
4.3	Perbandingan Hasil tahanan model kapal berdasarkan hasil analisis CFD dengan maxsurf	
4.4	Prediksi Tahanan Kapal.....	63
BAB V PENUTUP.....		74
5.1	Kesimpulan.....	74
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN.....		67

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froud Number Volume
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
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 Ukuran model kapal skala 1/15.....	33
Tabel 3.2 Ukuran <i>boundary layer</i> skala 1/15.....	33
Tabel 3.3 Statistik <i>mesh</i> model kapal tanpa stepped.....	35
Tabel 3.4 Statistik <i>mesh</i> model kapal satu stepped 2-U.....	36
Tabel 3.5 Statistik <i>mesh</i> model kapal dua stepped V.....	36
Tabel 3.6 Statistik <i>mesh</i> model kapal tiga stepped W.....	36
Tabel 4.1 Nilai tahanan model kapal	54
Tabel 4.2 Nilai tahanan model kapal pada FnV yang sama	55
Tabel 4.3 Nilai tahanan model tanpa stepped.....	56
Tabel 4.4 Nilai tahanan model satu stepped U.....	57
Tabel 4.5 Nilai tahanan model satu stepped 2-U.....	58
Tabel 4.6 Nilai tahanan model dua stepped V.....	59
Tabel 4.7 Nilai tahanan model tiga stepped W.....	60
Tabel 4.8 Nilai kecepatan dan tahanan kapal	62
Tabel 4.9 Nilai Kecepatan dan tahanan kapal pada FnV yang sama	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal penumpang cepat	7
Gambar 2.2. Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull..	9
Gambar 2.3 Visualisasi Kapal dengan Stepped	12
Gambar 2.4 Kapal dengan Stepped hull	12
Gambar 2.5 Perhitungan antara sudut trim R_t/Δ , dan Kecepatan	13
Gambar 2.6 Posisi Stephull di midship lebih optimal disbanding dengan posisi yang lebih ke haluan	13
Gambar 2.7 Kapal Kondisi Even Keel	
Gambar 2.8 Kapal Kondisi Trim by Stern	14
Gambar 2.9 Kapal Kondisi Trim by Head	14
Gambar 2.10. Sistem koordinat 3D model maxsurf	19
Gambar 2.11 Tampilan Workspace pada Maxsurf Modeller	20
Gambar 3.1 Linesplan Kapal pada software autocad	24
Gambar 3.2 Pemodelan 3D (dimensi) kapal ferry cepat tanpa stepped	25
Gambar 3.3 Sketsa peletakan stepped kapal	26
Gambar 3.4 Tampilan awal model kapal tanpa stepped pada Maxsurf Modeller	27
Gambar 3.5 Tampilan awal model kapal tanpa stepped pada Maxsurf Modeller	28
Gambar 3.6 Tampak atas kapal dengan penampang 2 stepped v	28
Gambar 3.7 Tampak samping kapal dengan 2 stepped v	29
Gambar 3.8 Tampak kapal dengan dua stepped V	29
Gambar 3.9 Proses koreksi luasan penampang pada aplikasi Auto Cad	30
Gambar 3.10 Hasil import kedalam aplikasi Rhinoceros 6	30
Gambar 3.11 Kondisi kapal tanpa stepped saat trim buritan	31
Gambar 3.12 Kondisi kapal satu stepped saat trim buritan	31
Gambar 3.13 Kondisi kapal dua stepped saat trim buritan	31
Gambar 3.14 Kondisi kapal tiga stepped saat trim buritan	31
Gambar 3.15 Visualisasi hasil pemodelan kapal dan boundary layer	32
Gambar 3.16 Visualisasi tahap geometry model kapal dan boundary layer.....	33
Gambar 3.17 Visualisasi input material model kapal dan boudary layer	34
Gambar 3.18 Visualisasi input boudary condition model kapal dan boudary layer	35
Gambar 3.19 Visualisasi mesh sizing model kapal dan boundary layer	
Gambar 3.20 Visualisasi tahap clone model kapal dan boundary layer	
Gambar 3.21 Visualisasi tahap solve model kapal dan boundary layer	38
Gambar 3.22 Kerangka Pikir	41
Gambar 4.1 Visualisasi velocity magnitude model kapal tanpa stepped	42
Gambar 4.2 Visualisasi velocity magnitude model kapal satu stepped U	43
Gambar 4.3 Visualisasi velocity magnitude model kapal satu stepped 2-U	44
Gambar 4.4 Visualisasi velocity magnitude model kapal dua stepped V	45
Gambar 4.5 Visualisasi velocity magnitude model kapal tiga stepped W	46
Gambar 4.6 Visualisasi static preasure model kapal tanpa stepped	48
Gambar 4.7 Visualisasi static preasure model kapal satu stepped U	49
Gambar 4.8 Visualisasi static preasure model kapal satu stepped 2-U	50
Gambar 4.9 Visualisasi static preasure model kapal dua stepped V	51
Gambar 4.10 Visualisasi static preasure model kapal tiga stepped W	52
Gambar 4.11 Nilai tahanan model kapal	53
Gambar 4.12 Grafik F_nV terhadap tahanan model kapal.....	54

Gambar 4.13 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahanan model kapal tanpa stepped	56
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahanan model kapal satu stepped U	58
Gambar 4.15 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahanan model kapal satu stepped 2-U	59
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahanan model kapal dua stepped V	60
Gambar 4.17 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahanan model kapal tiga stepped W	61
Gambar 4.18 Grafik nilai tahanan kapal	62
Gambar 4.19 Grafik hubungan antara froud number volume dan tahan model kapal	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Offset Lines Plan Kapal Cepat

Lampiran 2. Ukuran utama Model Kapal

Lampiran 3. Perhitungan Nilai Tahanan Kapal

Lampiran 4. Nilai Residual

Lampiran 5. Penentuan Skala Model

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan sebuah bangunan sistemik yang digunakan manusia sebagai sarana untuk melakukan segala aktifitas di wilayah perairan. Aktifitas tersebut diantaranya eksplorasi, pelayaran, penelitian ekosistem laut, penyebrangan, penangkapan ikan dan tentunya pengangkutan barang yang dijadikan sebagai muatan kapal. Adanya beragam fungsi dari aktifitas kapal tersebut membuat para ahli perancang kapal membuat kapal dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan operasinya.

Salah satu fungsi utama dari sebuah kapal adalah sebagai moda transportasi laut. Wilayah Negara Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia membutuhkan jaringan pergerakan antar pulau untuk pemenuhan kebutuhan barang dan jasa. Jaringan transportasi laut diperlukan untuk menghubungkan pelabuhan yang satu dengan pelabuhan yang lainnya. Sehingga sistem transportasi yang efisien dan efektif sangat berperan penting untuk peningkatan ekonomi nasional.

Salah satu trend moda transportasi untuk penyebrangan antar pulau dan daerah adalah kapal penyebrangan kapal *ferry roll on roll off* atau yang biasa dikenal dengan kapal ro-ro atau feri ro-ro. Kapal feri ro-ro ini berfungsi untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya.

Selain kapal feri ro-ro terdapat pula kapal penumpang cepat (*high speed ferry*) yang hadir sebagai alternatif pilihan untuk penyebrangan antar daerah bagi calon penumpang. Kapal penumpang cepat dalam perencanaan lambung kapal dikenal tiga jenis rancangan bentuk kapal, yaitu planing hullship, semi planing hull dan displacement hull.

Desain kapal cepat mengalami perubahan dan modifikasi untuk mendapatkan desain kapal yang menjamin performa dan keselamatan saat berlayar di lair, salah satunya pada modifikasi hull. Salah satu cara pada modifikasi hull ini ialah penambahan bentuk stepped hull. Prinsip dari penggunaan stepped hull adalah mengurangi permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi di bawah badan kapal dan akan menambah gaya tekan ke atas yang akan mengurangi tahanan kapal serta menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Garland, W. R. (2010)

melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besar hambatan pada kapal dengan membandingkan antara kapal tipe lambung yang menggunakan desain stepped dengan tipe kapal tanpa stepped.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Agung A, 2019) mengatakan bahwa perubahan nilai tahanan sebuah kapal dipengaruhi oleh luas permukaan kapal yang terendam air. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi derajat trim maka nilai dari tahanan akan berkurang disebabkan oleh panjang garis air berkurang walaupun pada kecepatan yang sama.

Berdasarkan penelitian tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji tentang *tahanan kapal*, pada pada berbagai variasi bentuk *stepped* dengan judul:

“STUDI PREDIKSI TAHANAN SEMI PLANNING HULL BENTUK STEPPED DENGAN APLIKASI AUTODESK CFD”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang terkait penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan model kapal tanpa stepped pada masing-masing kondisi trim berdasarkan analisis CFD?
2. Berapa besar perbandingan nilai tahanan model kapal dengan bentuk stepped pada masing-masing kondisi trim berdasarkan analisis CFD
3. Bagaimana pengaruh penggunaan stepped terhadap nilai tahanan kapal
4. Bagaimana pengaruh kondisi trim terhadap nilai tahanan kapal?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)*.
2. Model kapal yang diteliti adalah kapal feri penumpang cepat.

3. Bentuk lambung yang akan diteliti yaitu bentuk lambung tanpa stepped, lambung satu tangga bentuk U dan 2-U, lambung dua tangga bentuk V, dan lambung tiga tangga bentuk W.
4. Perhitungan model tahanan dilakukan pada kondisi air tenang (*still-water*)
5. Perhitungan nilai tahanan tidak mempertimbangkan komponen nilai tambahan (*Appendages*)
6. Kondisi trim dan kecepatan yang digunakan berdasarkan hasil dari pengujian.
7. Skala model kapal yaitu 1:15

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai tahanan model kapal tanpa stepped pada berbagai variasi kecepatan dan masing-masing kondisi trim berdasarkan analisis autodesk CFD.
2. Mengetahui besar nilai tahanan model kapal menggunakan bentuk stepped pada berbagai variasi kecepatan dan masing-masing kondisi trim berdasarkan analisis autodesk CFD.
3. Mengetahui Pengaruh penggunaan stepped terhadap nilai tahanan kapal
4. Mengetahui Pengaruh kondisi trim terhadap perubahan nilai tahanan kapal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebagai tambahan informasi mengenai pengaruh penggunaan stepped dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang kapal dalam merancang kapal cepat yang efisien saat beroperasi.
3. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.

1.6 Sistematika Penulisan

Gambaran secara terperinci keseluruhan isi dari tulisan ini dapat dilihat dari sistematika penulisan berikut ini:

BAB I: PENDAHULUAN

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

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini diuraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik dalam pengambilan data, metode analisis dan kerangka pikir.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V: PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal

Kapal adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut (sungai dsb) 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.

Berabad-abad kapal digunakan oleh manusia untuk mengarungi sungai atau lautan yang diawali oleh penemuan perahu. Biasanya manusia pada masa lampau menggunakan kano, rakit ataupun perahu, semakin besar kebutuhan akan daya muat maka dibuatlah perahu atau rakit yang berukuran lebih besar yang dinamakan kapal. 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. Untuk penggeraknya 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 (Wikipedia.org).

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 antar daerah/pulau diantaranya menggunakan kapal penyeberangan berupa feri roll on roll off (roro). Kapal Feri adalah salah satu angkutan penyebrangan 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)

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.

Tak hanya 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. Kapal cepat sering digunakan sebagai transportasi penyeberangan antara pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh kapal feri di Indonesia

2.2 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* atau *hovercraft*, tetapi pada tahun 1990-an jenis kapal cepat katamaran dan monohull menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang tetapi untuk jenis katamaran dan monohull yang terbesar juga membawa mobil, bus, truk besar, dan lain lain (Wikipedia.org)



Gambar 2.1 Kapal penumpang cepat

Sumber (<https://id.wikipedia.org/wiki/Hidrofoil>)

Adapun bentuk bentuk lambung kapal cepat dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

a. Planing Hull

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

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

Lambung berbentuk datar dan V adalah contoh dari *Planing Hull* Di-Indonesia, kapal tipe *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.

b. Semi-Planing Hull

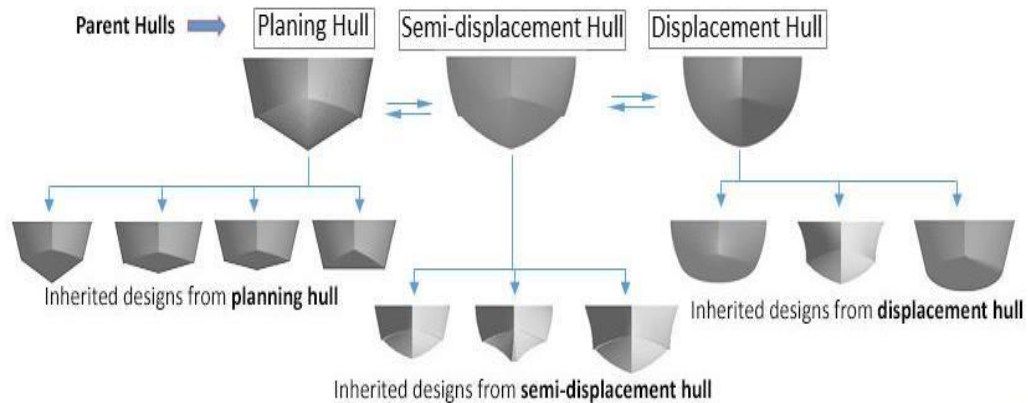
Semi-Planing Hull adalah lambung kapal yang mampu mencapai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lambung kapal displacement namun lebih rendah kecepatannya dibandingkan dengan lambung kapal planning hull. Artinya, kapal semi planing hull memiliki kecepatan berkisar antara tipe lambung planing hull dan displacement hull. Kapal-kapal ini menggunakan gaya apung (yang juga disebut *hydrostatic lift*) hampir sama dengan mode-angkat hidrodinamik. Tipe *Semi-planing Hull* memberikan tumpangan yang nyaman dengan kecepatan yang tinggi. Kelebihan dari tipe lambung ini adalah sifat *seakeeping* mereka dan kemampuan untuk melampaui rasio panjang dengan kecepatan yang mungkin ingin Anda pertimbangkan dari sudut pandang komersial.

Bentuk lambung *Semi-planing* digunakan pada *trawler* dan *yacht*. Lambung kapal ini menawarkan jarak tempuh yang unggul, memiliki jangkauan stabilitas positif dan tingkat bertahan tertinggi dalam kondisi laut yang sangat sulit.

c. Displacement Hull

Tipe lambung dengan *Displacement Hull* sering digunakan untuk pelayaran dengan kecepatan relatif rendah. Ketika sebuah kapal diturunkan ke air akan ada volume air yang akan digeser oleh lambung kapal. Jika ditimbang air yang digeser oleh lambung kapal yang sedang berada di air akan menentukan berat kapal yang sedang kita bahas. Berat itu adalah prinsip Displacement-Archimedes dari kapal seperti yang kita semua ketahui. Ini adalah prinsip umum dari beberapa kapal yang secara harfiah menjadi tulang punggung perekonomian saat ini *Displacement Hull* yang terlihat di kapal, yang bergerak di air dengan propulsi yang sangat kecil *Displacement Hull* ini membatasi kapal untuk menurunkan kecepatan. Kecepatan perpindahan maksimum ditentukan sebagai fungsi garis air. Pada umumnya dikenal sebagai rasio kecepatan dengan panjang. Sederhananya, panjang kapal menentukan kecepatan maksimum yang dapat dicapai. Bentuk round-bottomed adalah contoh dari *displacement hull*

yang banyak digunakan pada kapal.



Gambar 2.2. Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori *displacement hull, planing hull, semi-planing hull*

2.3 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 caft, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Froude number (F_n) sering digunakan sebagai parameternya. (F_n) didefinisikan sebagai berikut:

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

Dimana:

- F_n = Froude Number
- V = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- L = Panjang Kapal

F_nV didefinisikan sebagai berikut:

$$F_nV = \frac{v}{\sqrt{g \times \sqrt[3]{V}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- v : kecepatan kapal (m/s)
- g : percepatan gaya gravitasi (9,81 m/s²)
- V : volume kapal (m³)

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 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 $Fn \leq 0,20$

$$\text{Hambatan gelombang (Rw)} = 0$$

- b. Kapal sedang : jika $0,20 < Fn < 0,35$

$$\text{Hambatan gesek (Rf)} = 70-75\% R_t$$

$$\text{Hambatan gelombang (Rw)} = 25-30\% R_t$$

- c. Kapal cepat : $Fn \geq 0,35$

$$\text{Hambatan gelombang} = 50\% R_t$$

2.4 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 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 bisa dibagi beberapa beam dibandingkan dengan panjang kapal, lebar (*high-aspect*) permukaan lebih efisien, rendah (*low-aspect*) pada saat kondisi gesekan terhadap air. Jadi, dibalik sebuah ide tentang 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).

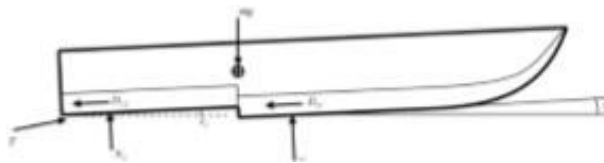
Stepped Hull adalah sebuah alternatif untuk lambung kapal planing atau bentuk kapal berkecepatan tinggi. Lambung *stepped* memiliki diskontinuitas melintang yang terletak di beberapa titik di belakang pusat gravitasi dan titik tekan kapal. Lokasi longitudinal dari diskontinuitas melintang ini sangat 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.

Clement dan Koelbel (1992) telah menghitung presentase kenaikan lambung ini sekitar 90%. Permukaan pengangkatan primer biasanya terletak di dekat pusat gravitasi kapal, biasanya tepat di depannya. Ketika kapal didesain, tekanan air pada bagian belakang lambung sangat rendah, yang memberikan kontribusi yang sangat kecil untuk pengangkatan lift. Namun, hal itu justru memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tahanan gesek, yang menguntungkan karena alasan yang jelas termasuk ekonomi bahan bakar yang buruk dan peningkatan kebutuhan daya.

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

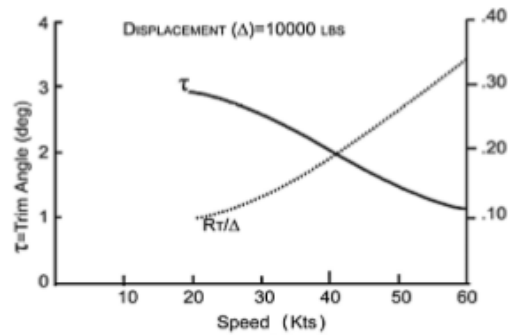


Gambar 2.3 Visualisasi Stephull



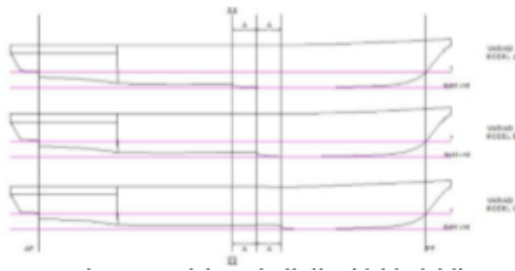
Gambar 2.4 Kapal dengan *Step* Melintang

Pada kapal cepat dengan modifikasi stephull, sudut trim dari kapal monohull planing akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan dan rasio hambatan / displasemen akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan. (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)



Gambar 2.5. Perhitungan antara sudut trim, Rt/Δ , dan Kecepatan

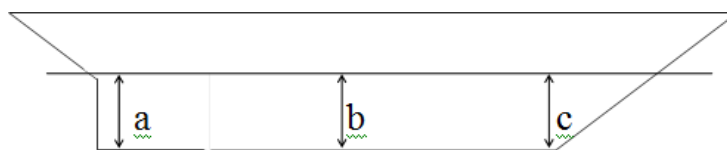
Dari hasil jurnal tentang analisa posisi stephull, posisi yang paling optimal adalah terletak pada bagian midship kapal karena memiliki nilai hambatan yang lebih rendah dibandingkan dengan posisi stephull yang berada 2-4 frame di depan midship kapal atau yang lebih kearah haluan. (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)



Gambar 2.6. Posisi Stephull di midship lebih optimal disbanding dengan posisi yang lebih ke haluan

2.5 Trim Kapal

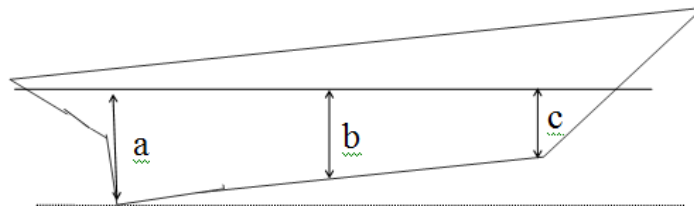
Hind (1967) menyatakan bahwa trim adalah perbedaan antara *draft* depan dan *draft* belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Trim biasanya diukur dalam ukuran inci yang dinyatakan sebagai positif dan negatif. Trim terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *even keel*, *trim by the head*,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



Gambar 2.7 Kapal Kondisi Even Keel.
Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

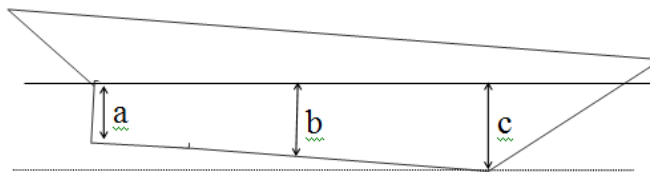
Gambar 2.5 menunjukkan kapal trim even keel yaitu *draft* depan sama dengan *draft* belakang ($a = c$) dimana $b=(a+c)/2$, hanya terjadi bilamana kapal tidak dalam keadaan hogging atau sagging.

Gambar II



Gambar 2.8 Kapal Kondisi *Trim by Stern*. Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar III



Gambar 2.9 Kapal Kondisi *Trim by Head*. Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

2.6 Tahanan Kapal

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

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*)

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

Dimana :

V : Volume (m³)

L : Panjang (m)

ν : Kecepatan Kecepatan (m/s)

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

$$C_f = \frac{0,75}{(\log R_n - 2,0)^2} \quad (2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

$$Sl_r = \frac{V_s}{\sqrt{L}} \quad (2.4)$$

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 (*Superstruktüre*) 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)

c. Tahanan Total

Tahanan total terdiri dari beberapa komponen tahanan Menurut Guldhammer dan Harvald (harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan di bawah ini

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (2.5)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis fluida (Kg.det³/m)

C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m²)

v = Kecepatan (det/s)

2.7 Maxsurf Pro

Maxsurf Pro adalah program spesialis dalam bidang *Naval Architect*, teknologi lepas pantai dan rekayasa struktur. Program ini dapat memvisualisasikan dan mengoptimalkan desain kapal dengan pengaturan lengkap yang telah diintegrasikan. *Maxsurf Pro* terdiri dari beberapa *sub – program*, yaitu:

1. *Maxsurf Modeller*
2. *Maxsurf Motion*
3. *Maxsurf Resistance*
4. *Maxsurf Stability*
5. *Maxsurf Structure*
6. *Maxsurf Fitting*
7. *Maxsurf Link*
8. *Maxsurf VPP*

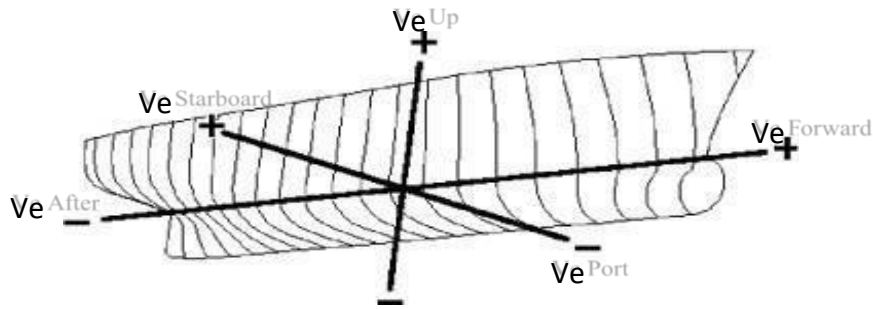
Beberapa fungsi pada program ini seperti membuat bentuk lambung yang seimbang sesuai dengan persyaratan stabilitas, tahanan kapal, seakeeping dan kekuatan kapal. Setelah data ukuran utama kapal didapatkan untuk pembuatan model *lines plan*, data ukuran dari *lines plan* akan dibuat lagi dalam bentuk model 3D (tiga dimensi) menggunakan program *Maxsurf Modeller*. *Lines plan* ini merupakan kunci utama suksesnya perancangan desain sebelum model dilakukan analisa hidrodinamika, kekuatan struktur dan pendetailan lebih lanjut, Dasar pembangunan model pada *Maxsurf Modeller* menggunakan *surface* (seperti karpet) yang dapat ditarik dan dibentangkan sehingga bias menjadi model yang utuh. (Bentley System, 2013).

2.7.1 Maxsurf modeller

Terdapat beberapa dasar pengaturan dan menu/*setup* dalam penggunaan maxsurf modeler sebagai berikut:

1. Sistem Koordinat

Tampilan umum dan prinsip dasar pada pengopersian maxsurf modeler, seperti yang diilustrasikan gambar.



Sumber: Agung Aprianto, 2019

Gambar 2.10. Sistem koordinat 3D model maxsurf

Window	Tampak pandangan
Body plan	Tampak depan haluan sampai buritan
Profile view	Tampak samping kanan, starboard side
Plan view	Tampak dari bawah, starboard above the centerline

1. *Setting frame of refferance dan zero point*

Digunakan untuk mengatur posisi *baseline*, sarat kapal dan posisi *zero point*.

2. Pengaturan satuan

Digunakan untuk mengatur unit/satuan sebagai standar satuan ukuran desain model.

3. Pengaturan *desain grid*

Digunakan untuk menentukan jarak-jarak *section*, *buttocks lines*, *waterline* dan diagonal.

4. *View assembly dan properties*

Digunakan untuk menampilkan *assembly* dan *properties*, berfungsi untuk mempermudah saat pengoperasian *modeling*, mengatur propesties tampilan warna *surface* dan jenis kehalusan (*surface stiffness*) dll.

Sedangkan dalam desain dan pemodelan yang digunakan aplikasi masurf modeler terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut:

a. Pemilihan jenis *surface*

Pilihan menu ini digunakan untuk memilih jenis *surface*/bentuk lambung, ada bebepa tipe surface antara lain :

section plane : surface dengan bentuk melintang

water plane : *surface* dengan bentuk penampang air

buttock plane : *surface* dengan bentuk membujur

Jenis-jenis *surface* tersebut memiliki fungsi yang sama, dan dapat dijadikan sesuai metode pemodelan yang akan kita gunakan.

Size surface

Pilihan menu ini digunakan untuk memasukan ukuran *surface*/ukuran rencana kapal.

a. *Curve* dan *extrude surface (curve)*

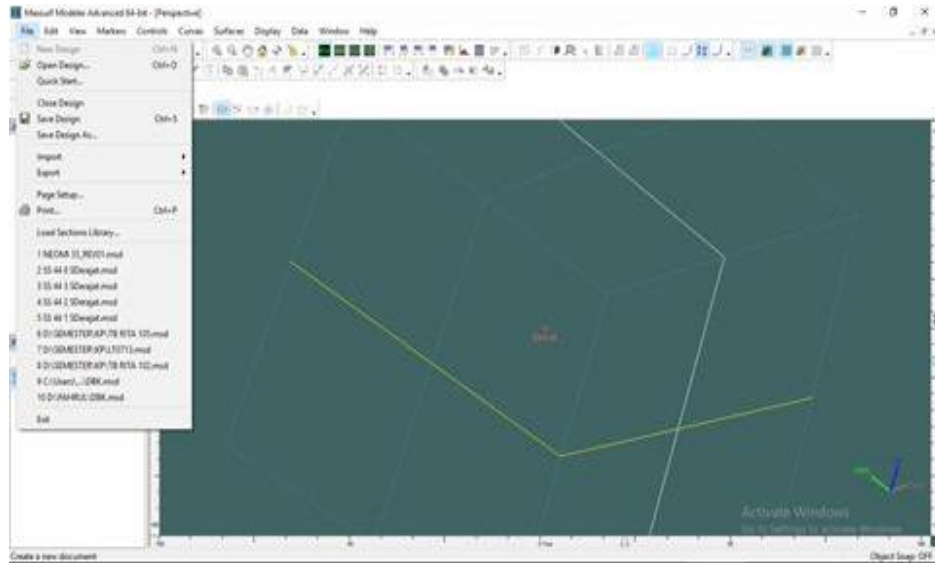
Pilihan menu ini digunakan untuk melakukan pemodelan dengan bentuk yang lebih spesifik seperti memodelkan sebuah tangki atau ruangan tertentu/*compartment*.

b. *Trimming*

Pilihan menu ini digunakan pada saat kita melakukan pemodelan tangki atau ruangan tertentu/*compartment* terjadi bagian yang melebihi model lain (*overlap*). Untuk itu guna menghilangkan bagian tersebut digunakan fungsi *trimming*.

c. *Background*

Pilihan menu ini digunakan untuk menyesuaikan pemodelan dengan gambar *lines plan* yang telah disetujui dan dapat dijadikan acuan pemodelan. Sehingga proses pemodelan dapat sesuai dengan karakteristik bentuk dan model kapal yang direncanakan.



Gambar 2.11 Tampilan Workspace pada Maxsurf Modeller

2.8 Aliran Fluida

Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body, ketika fluida bergerak melalui body, jarak antara *streamline* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teori Bernauli maka hal itu juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Suntut suatu *streamlines* yang diberikan tersebut: jika p , v , dan h adalah tekanan massa jenis kecepatan dan tinggi tertentu dari garis dasar maka dapat di formulasikan sebagai berikut.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{constant} \quad (2.6)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida *non viscous* tersebut. Maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (resistance) meskipun fluida tersebut dilalui oleh gerakan body, maka kondisi fluida fluida tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya-gaya lokal yang bekerja pada body tersebut akan tetapi gaya-gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh body. Gaya –gaya lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan adanya perubahan kecepatan pada aliran fluida. (Suryo W. Aji, 2009)

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f \left(\frac{VL}{v}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (2.7)$$

Dan tahanan Kapal (*Resistance*) dapat diformulasikan dengan ekspresi dibawah ini

$$R = \frac{1}{2} \rho C_T V^2 S \quad (2.8)$$

Dimana C_t adalah Koefisien Tahanan Kapal total yang merupakan fungsi dari Re dan Fn , secara matematis diformulasikan sebagai berikut

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (2.9)$$

Dimana

C_d = *coefficient of drag*

F_d = *drag force* (N)

ρ = *density of fluid* (1025 Kgm³)

v = *velocity relative to fluid* (ms)

A = *cross sectional area* (m²)

2.9 Proses Simulasi Autodesk CFD

Kemampuan Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa.

Penggunaanya telah meliputi area yang luas pada industry dan aplikasi – aplikasi keilmuan. Terdapat tiga langkah umum proses simulasi pada Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) sebagai berikut

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 Processor

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