

**SKRIPSI**

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

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FADHEL SANDY

D031 17 1311



DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

## LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul Skripsi

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


Disusun Oleh :

**Muhammad Fadhel Sandy  
D031171311**


Gowa, 29, Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

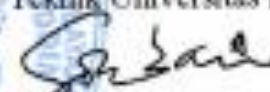
  
**Ir. Rosman, MT.**  
Nip. 19600620 198802 2 001

Pembimbing II

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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Fadhel Sandy

NIM : D031171311

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

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

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

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

Makassar, 29 Maret 2021  
Yang Menyatakan  
  
Muhammad Fadhel Sandy



## ABSTRAK

Muhammad Fadhel Sandy/D031 17 1311. "STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK BENTUK *STEPPED V* DAN *DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT* MENGGUNAKAN *AUTODESK CFD*". (Dibimbing oleh Ir. Rosmani, MT. dan Ir. Lukman Bochari, MT.)

Inovasi bentuk lambung kapal banyak dijumpai pada desain kapal cepat dimana *trend* desain kapal cepat didunia saat ini lebih memperhatikan bentuk lambung bagian bawah. Ini dikarenakan desain lambung saat ini lebih mementingkan efisiensi dibandingkan dengan estetika kapal. Desain lambung kapal dimodifikasi sedemikian rupa untuk mengurangi tahanan kapal dimana salah satu cara modifikasi desain lambung kapal ialah penambahan bentuk *stepped hull* dimana pada prinsipnya penambahan *stepped* ialah mengurangi luas permukaan bidang basah kapal karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah daya tekan keatas kapal (*lifting force*). Desain bentuk *stepped* yang diteliti adalah bentuk *stepped V* dengan luas penampang yaitu sekitar  $4.1899\text{m}^2$ . Jumlah dari *stepped* yang dimodelkan dikategorikan satu, dua dan tiga *stepped*. Ketiga variasi tersebut diberikan kondisi batasan (*boundary layer*) berupa trim kapal yang mengikuti kecepatan kapal yang didapatkan berdasarkan pengujian di towing tank. 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 dengan hasil model tanpa *stepped* dimana pengurangan tahanan terbesar terjadi pada model kapal 3 *stepped* dengan persentase pengurangan sebesar 69.90% lebih kecil dibanding dengan model kapal tanpa *stepped* pada froude number volume (FnV) 1.882.

**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 KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK *STEPPED V* DAN *DEADRISE ANGLE 5* DERAJAT MENGGUNAKAN *AUTODESK CFD***

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh dari penulis.

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. Syaiful Djamil Sandy dan Ibunda Nuryati M. Lating 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: Faradhillah Sandy, Muhammad fachrul Sandy, dan Feryansyah Sandy kakak dan adik yang tercinta atas dukungannya.
2. Ibu Ir. Hj. Rosmani, M.T. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Lukman Bochari, MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku penguji sekaligus Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin dan Bapak Prof. Ir.

Mansyur Hasbullah, M.Eng yang telah memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini.

4. Ibu Wihdat Djafar, ST., MT. MlogSupChMgmt selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
6. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
7. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2017 terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
8. Kepada teman-teman Savage seperjuangan skripsi (Farid, Akbar, Ridwan, Arif, Iccang, Wardi, Firdaus, Taufik, Gunawan, Asad, Ihsan dkk.), untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita dapat melewatinya.
9. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
10. Kepada teman teman KKN Posko Gowa 7 yang telah mewarnai hari-hari saya selama ber-KKN di Kabupaten Gowa.
11. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

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

Makassar, Maret 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
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
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1. Kapal Planing Hull .....	7
2.2. <i>Stepped Hull</i> .....	8
2.3. Hambatan Pada Kapal <i>Planing</i> .....	9
2.4. Gaya Angkat pada Kapal <i>Planing</i> .....	13
2.5. Autodesk CFD.....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	16
3.2. Jenis Penelitian .....	16
3.3. Metode Pengumpulan Data .....	16
3.4. Metode Pengolahan Data .....	17
3.4.1. Data Kapal.....	17
3.4.2. Pemodelan Kapal Cepat dengan <i>Deadrise Angle</i> dan <i>Stepped Hull</i>	18
3.4.3. Pemodelan Ulang menggunakan <i>Rhinoceros 6</i> .....	22
3.4.4. Simulasi <i>CFD (Computational Fluid Dynamic)</i> .....	25
3.4.5. Verifikasi.....	29
3.4.6. Analisis Data .....	29
3.4.7. Kesimpulan .....	30
3.5. Kerangka Pemikiran .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1. Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> .....	32
4.2. Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i> .....	34
4.2.1. Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> .....	34
4.2.2. Visualisasi <i>Static Pressure</i> .....	48
4.3. Prediksi Tahanan Model Kapal .....	62
4.4. Perbandingan Hasil Tahanan <i>Autodesk CFD</i> dengan Hasil Tahanan <i>Maxsurf Resistance</i> .....	67
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>70</b>
5.1. Kesimpulan.....	70
5.2. Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>74</b>



## DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s <sup>2</sup> )
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= <i>Froud Number Volume</i>
V	= volume kapal (m <sup>3</sup> )
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)
Lp	= Panjang Kapal (m)
Vm	= Kecepatan model (m/s)
Vp	= Kecepatan Kapal (m/s)

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Gaya-gaya pada planning craft .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Visualisasi Kapal dengan <i>Stepped</i> .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Kapal dengan Lambung bertangga .....	9
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Linesplan</i> Kapal pada software <i>Autocad</i> .....	18
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Body plan</i> kapal dengan variasi <i>deadrise angle</i> 5° .....	19
<b>Gambar 3. 3</b> Sketsa peletakan <i>stepped</i> kapal.....	19
<b>Gambar 3. 4</b> Tampilan awal model kapal tanpa <i>stepped</i> pada <i>Maxsurf Modeller</i> .....	20
<b>Gambar 3. 5</b> Tampilan awal penambahan <i>stepped</i> pada kapal berbentuk <i>deadrise angle</i> .....	20
<b>Gambar 3. 6</b> Tampak bawah penampang 1 <i>stepped</i> pada kapal berbentuk <i>deadrise angle</i> .....	21
<b>Gambar 3. 7</b> Tampak samping kapal berbentuk <i>deadrise angle</i> dengan penampang 1 <i>stepped</i> .....	21
<b>Gambar 3. 8</b> Proses <i>Trimming</i> pada <i>surface</i> yang saling berpotongan .....	22
<b>Gambar 3. 9</b> Tampak kapal berbentuk lambung <i>deadrise angle</i> dengan 1 <i>stepped</i> bentuk V .....	22
<b>Gambar 3. 10</b> Hasil import kedalam aplikasi <i>Rhinoceros 6</i> .....	23
<b>Gambar 3. 11</b> Hasil model <i>closed solid</i> .....	23
<b>Gambar 3. 12</b> Pemodelan kolam uji .....	24
<b>Gambar 3. 13</b> Visual tahap <i>geometry</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	26
<b>Gambar 3. 14</b> Visualisasi input material model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	26
<b>Gambar 3. 15</b> Visualisasi input <i>boundary condition</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	27
<b>Gambar 3. 16</b> Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	27
<b>Gambar 3. 17</b> Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal.....	27
<b>Gambar 3. 18</b> Visualisasi tahap <i>clone</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	28
<b>Gambar 3. 19</b> Visualisasi tahap solve model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	29

<b>Gambar 3. 20</b> Kerangka Pikir Penelitian .....	31
<b>Gambar 4. 1</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° .....	35
<b>Gambar 4. 2</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° .....	35
<b>Gambar 4. 3</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° .....	35
<b>Gambar 4. 4</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° .....	36
<b>Gambar 4. 5</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° .....	37
<b>Gambar 4. 6</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° .....	37
<b>Gambar 4. 7</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 1.73 m/s dengan trim 2.25° .....	38
<b>Gambar 4. 8</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 2.60 m/s dengan trim 3.26° .....	38
<b>Gambar 4. 9</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 3.64 m/s dengan trim 4.30° .....	39
<b>Gambar 4. 10</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 1.73 m/s dengan trim 2.25° .....	40
<b>Gambar 4. 11</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 2.60 m/s dengan trim 3.26° .....	40
<b>Gambar 4. 12</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 3.64 m/s dengan trim 4.30° .....	40

<b>Gambar 4. 13</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 1.88 m/s dengan trim 2.48° .....	41
<b>Gambar 4. 14</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 2.84 m/s dengan trim 3.56° .....	42
<b>Gambar 4. 15</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 3.95 m/s dengan trim 4.86° .....	42
<b>Gambar 4. 16</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 1.88 m/s dengan trim 2.48° .....	43
<b>Gambar 4. 17</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 2.84 m/s dengan trim 3.56° .....	43
<b>Gambar 4. 18</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 3.95 m/s dengan trim 4.86° .....	44
<b>Gambar 4. 19</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tanpa <i>stepped</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° .....	45
<b>Gambar 4. 20</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° .....	45
<b>Gambar 4. 21</b> Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° .....	46
<b>Gambar 4. 22</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tanpa <i>stepped</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36°	47
<b>Gambar 4. 23</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tanpa <i>stepped</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° .....	47
<b>Gambar 4. 24</b> Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> dan luas bidang basah model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° .....	47
<b>Gambar 4. 25</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° dari samping.....	49

<b>Gambar 4. 26</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° dari bawah.....	49
<b>Gambar 4. 27</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° dari samping.....	50
<b>Gambar 4. 28</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° dari bawah.....	50
<b>Gambar 4. 29</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° dari samping.....	51
<b>Gambar 4. 30</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° dari bawah.....	51
<b>Gambar 4. 31</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 1.73 m/s dengan trim 2.25° dari samping.....	52
<b>Gambar 4. 32</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 1.73 m/s dengan trim 2.25 ° dari bawah.....	53
<b>Gambar 4. 33</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 2.60 m/s dengan trim 3.26 ° dari samping.....	53
<b>Gambar 4. 34</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 2.60 m/s dengan trim 3.26 ° dari bawah.....	54
<b>Gambar 4. 35</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 3.64 m/s dengan trim 4.30 ° dari samping.....	54
<b>Gambar 4. 36</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped V</i> kecepatan 3.64 m/s dengan trim 4.30 ° dari bawah.....	55
<b>Gambar 4. 37</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 1.88 m/s dengan trim 2.48 ° dari samping.....	56
<b>Gambar 4. 38</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 1.88 m/s dengan trim 2.48° dari bawah.....	56
<b>Gambar 4. 39</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 2.84 m/s dengan trim 3.56 ° dari samping.....	57
<b>Gambar 4. 40</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 2.84 m/s dengan trim 3.56 ° dari bawah.....	57

<b>Gambar 4. 41</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 3.95 m/s dengan trim 4.86 ° dari samping.....	58
<b>Gambar 4. 42</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 3.95 m/s dengan trim 4.86 ° dari bawah.....	58
<b>Gambar 4. 43</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° dari samping.....	59
<b>Gambar 4. 44</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 1.72 m/s dengan trim 2.36° dari bawah.....	59
<b>Gambar 4. 45</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° dari samping.....	60
<b>Gambar 4. 46</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° dari bawah.....	60
<b>Gambar 4. 47</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tanpa <i>stepped V</i> kecepatan 3.26 m/s dengan trim 4.16° dari samping.....	61
<b>Gambar 4. 48</b>	Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> kecepatan 4.00 m/s dengan trim 5.81° dari bawah.....	61
<b>Gambar 4. 49</b>	Grafik <i>froude number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal satu <i>stepped V</i> .....	63
<b>Gambar 4. 50</b>	Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal dua <i>stepped V</i> .....	64
<b>Gambar 4. 51</b>	Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal tiga <i>stepped V</i> .....	65
<b>Gambar 4. 52</b>	Grafik <i>froud number volume</i> (FnV) dan tahanan model kapal tanpa <i>stepped</i> .....	65
<b>Gambar 4. 53</b>	Grafik hubungan antara <i>froude number volume</i> (FnV) dan tahanan per model kapal <i>stepped V</i> .....	66
<b>Gambar 4. 54</b>	Grafik hubungan antara <i>froude number volume</i> (FnV) dan tahanan per model kapal <i>stepped V</i> dengan metode berbeda .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Ukuran Utama Kapal Penumpang Cepat.....	17
<b>Tabel 3. 2</b> Ukuran model kapal Skala 1/15 .....	24
<b>Tabel 3. 3</b> Ukuran boundary layer tangki pengujian skala 1/15.....	24
<b>Tabel 3. 4</b> Kecepatan model dan <i>angle</i> trim buritan model per <i>stepeed</i> .....	25
<b>Tabel 4. 1</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal satu <i>stepped V</i> .....	32
<b>Tabel 4. 2</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal dua <i>stepped V</i> .....	32
<b>Tabel 4. 3</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> .....	33
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tanpa <i>stepped</i> .....	33
<b>Tabel 4. 5</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal satu <i>stepped V</i> .....	33
<b>Tabel 4. 6</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal dua <i>stepped V</i> .....	33
<b>Tabel 4. 7</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tiga <i>stepped V</i> .....	34
<b>Tabel 4. 8</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tanpa <i>stepped</i> .....	34
<b>Tabel 4. 9</b> Luas bidang basah model satu <i>stepped V</i> .....	38
<b>Tabel 4. 10</b> Luas bidang basah dua <i>stepped V</i> .....	41
<b>Tabel 4. 11</b> Luas bidang basah tiga <i>stepped V</i> .....	44
<b>Tabel 4. 12</b> Luas bidang basah tanpa <i>stepped</i> .....	48
<b>Tabel 4. 13</b> <i>Average static pressure</i> model satu <i>stepped V</i> .....	52
<b>Tabel 4. 14</b> <i>Average static pressure</i> model dua <i>stepped V</i> .....	55
<b>Tabel 4. 15</b> <i>Average static pressure</i> model tiga <i>stepped V</i> .....	59
<b>Tabel 4. 16</b> <i>Average static pressure</i> model tanpa <i>stepped V</i> .....	62
<b>Tabel 4. 17</b> Nilai $F_nV$ dan tahanan kapal satu <i>stepped V</i> .....	63
<b>Tabel 4. 18</b> Nilai $F_nV$ dan tahanan kapal dua <i>stepped V</i> .....	64
<b>Tabel 4. 19</b> Nilai $F_nV$ dan tahanan kapal tiga <i>stepped V</i> .....	64
<b>Tabel 4. 20</b> Nilai $F_nV$ dan tahanan kapal tanpa <i>stepped V</i> .....	65
<b>Tabel 4. 21</b> Persentase perbandingan Tahanan Model .....	67
<b>Tabel 4. 22</b> Nilai Hasil Tahanan Model <i>Autodesk CFD</i> dan <i>Maxsurf Resistance</i> .....	68
<b>Tabel 4. 23</b> Persentase Perbandingan Hasil Tahanan dari <i>Autodesk CFD</i> dan <i>Maxsurf Resistance</i> .....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Tabel Offset Lines Plan Kapal Penumpang cepat SS 44.....	75
<b>Lampiran 2.</b> Statistik jumlah elemen <i>mesh</i> .....	76
<b>Lampiran 3.</b> Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> .....	84
<b>Lampiran 4.</b> Visualisasi <i>static pressure</i> .....	102
<b>Lampiran 5.</b> Hasil Wall Calculator Drag Force Model.....	110
<b>Lampiran 6.</b> Penentuan Skala Model .....	114
<b>Lampiran 7.</b> Prediksi Tahanan Model Dengan <i>Maxsurf Resistance</i> .....	115



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Penyediaan energi merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk mendorong pembangunan sebuah negara berkembang seperti Indonesia. Dengan meningkatnya pembangunan dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan energi akan terus meningkat. Oleh karena itu penyediaan energi merupakan salah satu permasalahan penting dan akan senantiasa menjadi perhatian.

Saat ini di Indonesia masih sangat tergantung dengan tersedianya bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara). Minyak bumi masih menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, serta minyak bumi bagi Indonesia juga berperan sebagai komoditi ekspor. Peranan minyak bumi bagi bumi pertiwi akan selalu ada dan besar seiring berjalannya waktu sedangkan cadangan minyak bumi semakin menipis. Maka dari itu generasi sekarang sedang menghadapi keputusan penggunaan energi minyak bumi yang saat ini masih menjadi sumber energi utama. Apakah tetap bergantung pada bahan bakar minyak bumi beserta konsekuensi yang akan terus ditimbulkannya atau mencari sumber energi alternatif dengan konsekuensi yang minim dalam penggunaannya.

Dalam dunia maritime khususnya kapal, yang dimana sumber energi untuk menggerakkan kapal modern saat ini adalah minyak bumi, maka dari itu untuk mengefisiensikan penggunaan bahan bakar kapal terdapat dua pilihan yakni memilih mesin yang tepat sesuai requirement desain kapal atau mengurangi tahanan kapal dengan inovasi bentuk lambung.

Inovasi bentuk lambung kapal banyak dijumpai pada desain kapal cepat dimana tren desain kapal cepat didunia saat ini lebih memperhatikan bentuk

lambung bagian bawah. Ini dikarenakan desain lambung saat ini lebih mementingkan efisiensi dibandingkan dengan estetika kapal.

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 (Pranatal, 2020)

Kapal cepat berdasarkan dari namanya adalah kapal yang memiliki kecepatan yang relatif cepat dibanding jenis kapal yang lain, ini dikarenakan desain kapal cepat yang memang dirancang untuk meminimalisir tahanan yang dialami oleh kapal sehingga kapal dapat bergerak dengan optimal. Dengan bergeraknya kapal secara optimal maka penggunaan bahan bakar kapal akan semakin efisien.

Kapal planing hull merupakan kapal cepat dengan *Volume Froude Number*  $Fr\sqrt{V}=1,0-3,5$  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* (Pranatal, 2020).

Kapal dengan bentuk lambung *deadrise angle* adalah salah satu bentuk lambung dari jenis lambung *planing hull*. Kapal dengan tipe ini merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisien yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka jumlah tahanan air yang ditanggung juga kecil (D. Savitsky, 1964).

Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga 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).

Muh. Fachreza (2020) mengatakan bahwa perubahan nilai tahanan sebuah kapal di pengaruhi oleh luas permukaan kapal yang terendam kedalam air. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi derajat trim maka nilai tahanan kapal akan berkurang disebabkan oleh panjang garis air yang berkurang pula walaupun dengan kecepatan yang sama.

Dengan demikian, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian serupa dengan menggunakan model lambung kapal berbeda dengan judul:

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

## **1.2. Rumusan Masalah**

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

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

### 1.3. Batasan Masalah

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

1. 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 nilai tahanan pada kapal *planing hull* dengan *deadrise angle*  $5^{\circ}$  dan variasi jumlah *steps* untuk setiap perubahan kecepatan menggunakan Autodesk CFD.
2. Menentukan besar perubahan nilai tahanan kapal *planing hull* dengan *deadrise angle*  $5^{\circ}$  dan variasi jumlah *steps* pada beberapa kondisi trim buritan menggunakan Autodesk CFD.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *stepped* terhadap nilai tahanan kapal.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

1. Sebagai informasi mengenai pengaruh bentuk lambung bertangga dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.

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

## **1.6. Sistematika Penulisan**

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

### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Dalam bab ini 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**

## **LAMPIRAN**

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Kapal Planing Hull

Kapal planing merupakan merupakan salah satu kapal yang mempunyai tingkat efisiensi yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hidrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum *hydrodynamic*, setiap benda bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat (Savitsky, dikutip dalam Hakim, 2018).

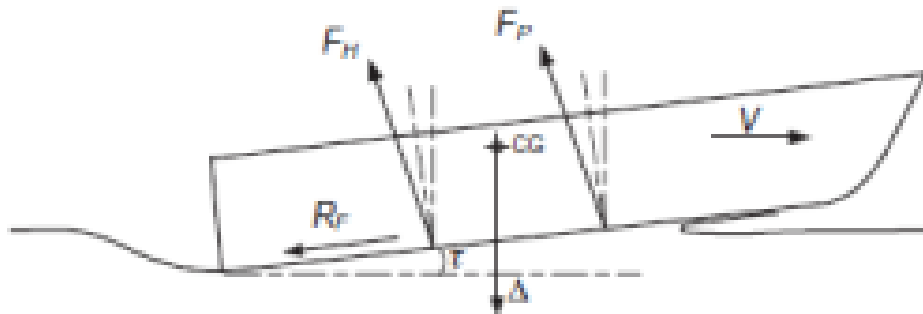
Pengukuran yang umum digunakan untuk mengetahui karakteristik hambatan dan bentuk gelombang pada kapal planing adalah dimensionless *froude number* (Fr), yang berhubungan dengan gaya inersia dan gaya eksternal (Savitsky, dikutip dalam Hakim, 2018). Rumus untuk mendapatkan nilai *Froude number* adalah sebagai berikut.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Lwl}} \dots\dots\dots(2.1)$$

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

Kapal planing hull merupakan kapal cepat dengan *Volume Froude Number*  $Fr\sqrt[3]{V}=1,0-3,5$  dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi (Molland, Turnock, & Hudson, 2017).

Gaya dasar yang bekerja pada planning craft ditunjukkan pada gambar 2 dimana, untuk sudut trim  $\tau$ ,  $F_P$  adalah gaya tekan sepanjang permukaan basah lambung,  $F_H$  adalah gaya hidrostatis yang bekerja pada titik pusat tekanan lambung dan  $R_F$  adalah tahanan gesek kulit. Trim,  $\tau$  memiliki pengaruh yang sangat penting pada tahanan, untuk efisiensi planning  $\tau$  sebaiknya kecil (Molland, Turnock, & Hudson, dikutip dari Pranatal 2020). Apabila kecepatan meningkat, mengakibatkan panjang permukaan basah (wetted length) dan *volume* baji berkurang dengan cepat, sehingga gaya angkat (lift) menjadi dinamis terutama dan  $F_H \ll F_P$ .



**Gambar 2. 1** Gaya-gaya pada planning craft

## 2.2. *Stepped Hull*

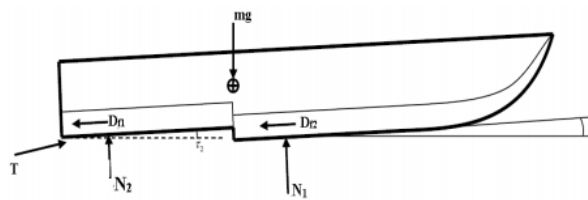
*Stepped hull* merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung kapal. Penggunaan lambung bertangga dapat mengurangi sudut trim sehingga stabilitas lebih stabil, dan memperkecil luas permukaan basah yang dapat mengurangi nilai hambatan pada kapal cepat. Pada umumnya, penggunaan lambung bertangga dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% yang diinginkan antara memakai lambung bertangga dengan tidak memakai lambung bertangga dengan power pada mesin yang sama (Muthahhar, 2020)

*Stepped hull* telah digunakan sejak lama untuk meningkatkan performa. Desain terkenal yang paling awal adalah *Maple Leaf*, dibangun dengan kayu pada awal tahun 1900-an, dan sejak saat itu banyak desain yang berhasil.



Namun suti ilmiah pertama tentang *stepped* planning hulls dan kinerjanya dipertimbangkan oleh Baker pada tahun 1910 (Korvin, Savitsky, dan Lehman dikutip dari Loni, Ghadimi, Nowruzi, dan Dashtimanesh, 2013).

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



**Gambar 2. 2** Visualisasi Kapal dengan *Stepped*



**Gambar 2. 3** Kapal dengan Lambung bertangga

Sumber: (Loni, dkk, 2013)

### 2.3. Hambatan Pada Kapal *Planing*

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*)

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

V : Volume (m<sup>3</sup>)

L : Panjang (m)

v : Kecepatan (m/s)

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

$$Cf = \frac{0,75}{(\log Rn - 2,0)^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots (2.5)$$

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 dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada di atas air dan bangunan atas (*Superstruktire*) 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*.

Dalam jurnal tersebut dikatakan bahwa apabila pada bagian samping kapal termasuk dalam permukaan area basah (WSA) maka komponen hambatan viskos tambahan harus dimasukkan, namun pada analisa dalam jurnal tersebut, diibaratkan bahwa bagian samping kapal tidak terkena air sama sekali (Hakim, 2020).

Menurut Hakim (2020), hambatan kapal pada fluida dapat dituliskan sebagai berikut:

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{C_{fp} V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta \cos \tau} \dots\dots\dots (2.6)$$

**2.4. Gaya Angkat pada Kapal *Planing***

Menurut Hakim (2020), pada kecepatan yang sangat rendah atau pada saat keadaan diam, gaya angkat yang mendominasi adalah gaya hidrostatis, namun seiring bertambahnya kecepatan efek gaya angkat hidrodinamis mulai timbul. Pada kecepatan yang sangat tinggi, gaya hidrodinamis menjadi gaya yang dominan dalam memberikan gaya angkat pada kapal planing. Rumus empiris untuk mendapatkan nilai gaya angkat hidrodinamis kapal dengan sudut *deadrise* nol adalah sebagai berikut.

$$C_L = \tau^{1.1} \left[ 0.0120 \lambda^{1/2} + \frac{0.0055 \lambda^{5/2}}{c_v^2} \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk sudut trim dan rasio panjang-lebar luasan basah yang telah diberikan, efek yang terjadi dari penambahan sudut *deadrise* adalah pengurangan gaya angkat pada kapal planing. Pengurangan gaya angkat ini disebabkan oleh pengurangan luasan basah pada stagnation *pressure* di leading edge. Sehingga rumus untuk kapal dengan sudut *deadrise* tidak sama dengan nol adalah sebagai berikut.

$$C_{L\beta} = C_{L_0} - 0.0065\beta C_{L_0}^{0.60} \dots\dots\dots (2.8)$$

**2.5. Autodesk CFD**

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi computer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dan dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energy. Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

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.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulen *Mixing Length* untuk pemodelan kekentalan murni dan *Sheer Stress Transport* (K-w) untuk pemodelan full *viscous* Metode penyelesaian *Governing Equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Methode* (FEM), *Finite Volume Methode* (FVM), dan *Finite Difference Methode* (FDM). Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri sederhana dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method* (FVM) yang berhasil dimasukkan sehingga tidak hanya dapat memprediksi aliran turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

Berdasarkan metode yang digunakan Autodesk CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

1. *Segregated Solver*
2. *Matrix Solver*

Penggunaan Autodesk CFD meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. Terdapat tiga Langkah umum untuk proses simulasi Autodesk CFD 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 Solver

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