

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

**SKRIPSI**

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



SELVY FEBRIANTI

D031171515

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA 2021

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

Tugas akhir ini 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 Hasanoddin  
Makassar

**Judul Skripsi**

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

Disusun oleh:

**SELVY FEBRIANTI  
D031171515**

Gowa, ... Agustus 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Hj. Rosmani, MT.**  
NIP : 19600620 198802 2 001

**Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT.**  
Nip. 19870824 201903 2 009

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanoddin

**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**

NIP : 19730206 200012 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Selvy Febrianti  
NIM : D031171515  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

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

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

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

Makassar, 20 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Selvy Febrianti

## ABSTRAK

Selvy Febrianti / D031171515. “**STUDI TAHANAN KAPAL *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH *DEADRISE 10* DERAJAT DAN *STEPPED U* MENGGUNAKAN *AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*”.**  
(Dibimbing oleh Ir. Rosmani, MT. dan Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT.)

Saat ini kapal mengalami berbagai perkembangan hingga menjadi transportasi berteknologi dan inovasi tinggi. Pesatnya perkembangan teknologi pada jenis kapal cepat mendorong lahirnya modifikasi desain lambung kapal menjadi strategi untuk mendapatkan performa kecepatan kapal setinggi mungkin dengan nilai hambatan sekecil mungkin. 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 U*. 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 didapkannya 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 tahanan terbaik adalah model 3 *stepped U* yang dapat mereduksi tahanan kapal paling besar yaitu sebesar 95,802% dibanding variasi jumlah *stepped* lainnya pada *froud number* yang sama.

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

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi 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 *PLANING HULL* AKIBAT PENGARUH *DEADRISE 10 DERAJAT* DAN *STEPPED U* MENGGUNAKAN *AUTODESK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

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

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

Didalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Edy Supratman dan Ibunda Suryani atas kesabaran, pengorbanan, nasehat, support dan yang terutama doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudara tercinta yang telah memberikan dukungan serta semangat: Eka B Aryanto, Virgi Agustiawan dan Sindy Hawa Aulya kakak dan adik saya tercinta terimakasih atas dukungannya.
2. Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT. selaku pembimbing II yang telah senantiasa sabar mengarahkan serta membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Kepada bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku penguji sekaligus Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin dan bapak

Hamzah, ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga laporan ini bisa terselesaikan.

4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
5. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
6. Kepada teman-teman 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.
7. Kepada Sahabat saya Jusriani Ayu Andira dan Penny Dian terima kasih atas semangat dan dorongan yang diberikan selama masa perkuliahan serta kontribusinya dalam pengerjaan skripsi ini.
8. Kepada teman-teman (Iqra, Ririn, Rama, Irham, Fajar, Dicky, Saldi, Fadlu Fadhel, dan Zidan) terima kasih atas peranan dan kontribusinya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.

Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

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

Gowa, April 2022

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b><u>KATA PENGANTAR</u></b> .....	<b>ii</b>
<b><u>DAFTAR ISI</u></b> .....	<b>iv</b>
<b><u>DAFTAR NOTASI</u></b> .....	<b>vi</b>
<b><u>DAFTAR GAMBAR</u></b> .....	<b>vii</b>
<b><u>DAFTAR TABEL</u></b> .....	<b>x</b>
<b><u>DAFTAR LAMPIRAN</u></b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Kapal Cepat ( <i>High Speed Craft</i> ) .....	5
2.2 <i>Planing Hull</i> .....	5
2.3 <i>Deadrise Angle</i> .....	7
2.4 <i>Stepped Hull</i> .....	7
2.5 Tahanan Kapal.....	9
2.6 Trim Kapal.....	12
2.7 Autodesk CFD .....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	15
3.2 Jenis Penelitian .....	15
3.3 Metode Pengumpulan Data .....	15
3.4 Metode Pengolahan Data.....	15
3.4.1. Data Kapal.....	16
3.4.2. Pemodelan Kapal Cepat dengan <i>Stepped</i> .....	16
3.4.3. Pemodelan Ulang menggunakan <i>Rhinoceros 6</i> .....	20

3.4.4. Simulasi CFD ( <i>Computational Fluid Dynamic</i> ) .....	23
3.4.5. Verifikasi .....	27
3.4.6. Analisis data .....	27
3.4.7. Kesimpulan.....	28
3.5 Kerangka Pemikiran .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1. Deskripsi Pra-Analisis .....	30
4.2. Prediksi Tahanan Model Kapal .....	48
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>54</b>
1.1. Kesimpulan.....	54
1.2. Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lbp	= Panjang kapal dari Ap hingga Fp
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
B	= Lebar Kapal (m)
T	= Sarat Kapal (m)
H	= Tinggi Kapal (m)
D	= <i>Displasmant</i> (Ton)
v	= Kecepatan kapal (knot)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s <sup>2</sup> )
Rn	= Angka <i>Reynold</i>
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= <i>Froud Number Volume</i>
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
Rt	= Tahanan total (Kn)
Lr	= Skala model
Lm	= Panjang model (m)
Lp	= Panjang Kapal (m)
Vm	= Kecepatan model (m/s)
Vp	= Kecepatan Kapal (m/s)
V	= Volume (m <sup>3</sup> )

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Tipe <i>Planing Hull</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b> <i>Deadrise angle</i> pada kapal <i>planing hull</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Kondisi Trim.....	12
<b>Gambar 3.1</b> Lines plan kapal pada software <i>Autocad</i> .....	16
<b>Gambar 3.2</b> <i>Body plan</i> kapal dengan variasi <i>deadrise angle</i> 10° .....	17
<b>Gambar 3.3</b> Sketsa peletakan <i>stepped</i> kapal.....	17
<b>Gambar 3.4</b> Tampilan awal model kapal tanpa <i>stepped</i> .....	18
<b>Gambar 3.5</b> Penambahan <i>stepped</i> pada kapal berbentuk <i>deadrise angle</i> .....	18
<b>Gambar 3.6</b> Tampak bawah penampang <i>stepped</i> 1U .....	19
<b>Gambar 3.7</b> Tampak samping kapal penampang <i>stepped</i> 1U .....	19
<b>Gambar 3.8</b> Proses <i>Trimming</i> pada <i>surface</i> yang saling berpotongan .....	20
<b>Gambar 3.9</b> Tampak lambung kapal <i>deadrise angle stepped</i> 1U.....	20
<b>Gambar 3.10</b> Hasil import ke dalam aplikasi <i>Rhinoceros 6</i> .....	21
<b>Gambar 3.11</b> Hasil model closed solid.....	21
<b>Gambar 3.12</b> Hasil pemotongan freeboard dan <i>boundary layer</i> .....	22
<b>Gambar 3.13</b> Visual tahap geometry model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	23
<b>Gambar 3.14</b> Visualisasi input material model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	24
<b>Gambar 3.15</b> Visualisasi input boundary condition model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	24
<b>Gambar 3.16</b> Visualisasi tahap meshing model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	25
<b>Gambar 3.17</b> Visualisasi tahap tahap solve model kapal dan <i>boundary layer</i> ....	26
<b>Gambar 3.18</b> Visualisasi tahap tahap solve model kapal dan <i>boundary layer</i> ....	27
<b>Gambar 4.1</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	32
<b>Gambar 4.2</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	32
<b>Gambar 4.3</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude</i> planes (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	33

<b>Gambar 4.4</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	34
<b>Gambar 4.5</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	35
<b>Gambar 4.6</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	36
<b>Gambar 4.7</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	37
<b>Gambar 4.8</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	38
<b>Gambar 4.9</b> (a) Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> (b) Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> .....	38
<b>Gambar 4.10</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 2,352 m/s dengan trim 2,921° .....	40
<b>Gambar 4.11</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 3,154 m/s dengan trim 4,202° .....	40
<b>Gambar 4.12</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal satu <i>stepped U</i> kecepatan 4 m/s dengan trim 4,511° .....	41
<b>Gambar 4.13</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 2,109 m/s dengan trim 2,42° .....	42
<b>Gambar 4.14</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 2,976 m/s dengan trim 3,59° .....	43
<b>Gambar 4.15</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal dua <i>stepped U</i> kecepatan 3,520 m/s dengan trim 4,7° .....	43
<b>Gambar 4.16</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 2,255 m/s dengan trim 3,43° .....	44
<b>Gambar 4.17</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 2,754 m/s dengan trim 4,59° .....	45
<b>Gambar 4.18</b> Visualisasi <i>static pressure</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> kecepatan 3,906 m/s dengan trim 5,59° .....	45

<b>Gambar 4.19</b> Grafik <i>froud number volume</i> ( $FnV$ ) dan tahanan model kapal satu <i>stepped U</i> .....	49
<b>Gambar 4.20</b> Grafik <i>froud number volume</i> ( $FnV$ ) dan tahanan model kapal dua <i>stepped U</i> .....	50
<b>Gambar 4.21</b> Grafik <i>froud number volume</i> ( $FnV$ ) dan tahanan model kapal tiga <i>stepped U</i> .....	51
<b>Gambar 4.22</b> Grafik <i>froud number volume</i> ( $FnV$ ) dan tahanan model kapal tanpa <i>stepped</i> .....	51
<b>Gambar 4.23</b> Grafik hubungan antara <i>froude number volume</i> ( $FnV$ ) dan tahanan per model kapal <i>stepped U</i> .....	52

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Ukuran Utama Kapal.....	16
<b>Tabel 3.2</b> Ukuran model kapal Skala 1/15 .....	22
<b>Tabel 3.3</b> Ukuran <i>boundary layer</i> tangki pengujian skala 1/15 .....	22
<b>Tabel 4.1</b> Kecepatan model dan <i>angle trim</i> buritan model per <i>stepeed</i> .....	31
<b>Tabel 4.2</b> Luas bidang basah model satu stepped U.....	34
<b>Tabel 4.3</b> Luas bidang basah model dua stepped U .....	37
<b>Tabel 4.4</b> Luas bidang basah model tiga stepped U .....	39
<b>Tabel 4.5</b> Average static pressure model satu stepped U .....	42
<b>Tabel 4.6</b> Average static pressure model dua stepped U.....	44
<b>Tabel 4.7</b> Average static pressure model tiga stepped U.....	46
<b>Tabel 4.8</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal satu <i>stepped U</i> .....	47
<b>Tabel 4.9</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal dua <i>stepped U</i> .....	47
<b>Tabel 4.10</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tiga <i>stepped U</i> .....	47
<b>Tabel 4.11</b> Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tanpa stepped .....	48
<b>Tabel 4.12</b> Nilai FnV dan tahanan kapal satu <i>stepped U</i> .....	49
<b>Tabel 4.13</b> Nilai FnV dan tahanan kapal dua <i>stepped U</i> .....	50
<b>Tabel 4.14</b> Nilai FnV dan tahanan kapal tiga <i>stepped U</i> .....	50
<b>Tabel 4.15</b> Nilai FnV dan tahanan kapal tanpa <i>stepped</i> .....	51
<b>Tabel 4.16</b> Persentasi Perbandingan Tahanan Model dengan FnV yang sama....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel <i>Offset Lines Plan</i> Kapal Penumpang cepat SS 44 .....	58
Lampiran 2. Statistik Jumlah Elemen <i>Mesh</i> .....	59
Lampiran 3. Gambar <i>Visualisasi Velocity Magnitude</i> .....	65
Lampiran 4. Gambar <i>Visualisasi Static Pressure</i> .....	70
Lampiran 5. Hasil Perhitungan <i>Wall Calculator</i> Tahanan Model Kapal.....	75
Lampiran 6. Gambar <i>Visualisasi Static Pressure</i> .....	83

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Saat ini kapal mengalami berbagai perkembangan hingga menjadi transportasi berteknologi dan inovasi tinggi. Pesatnya perkembangan teknologi sektor industri perkapalan khususnya pada jenis kapal cepat telah mendorong lahirnya berbagai macam modifikasi dan inovasi mulai dari mesin, propulsi, hingga desain lambung kapal menjadi strategi dari pembuatan kapal cepat demi mendapatkan performa kecepatan kapal setinggi mungkin dengan nilai hambatan sekecil mungkin. Permintaan akan kapal cepat kini meningkat untuk memenuhi kebutuhan di bidang militer dan pertahanan negara, bidang rekreasi dan pariwisata, hingga kebutuhan akan kapal pribadi.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat dirancang untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat optimal secara signifikan. Besarnya permintaan untuk kapal berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan variasi bentuk *lambung bertangga* yang berguna untuk menambah gaya keatas sehingga mengurangi gesekan antara air dan lambung.

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

sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi dengan demikian maka akan menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih kecil serta bahan bakar yang lebih sedikit (Sandiary dkk, 2019).

Perubahan nilai tahanan sebuah kapal dipengaruhi 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 (Fachreza, Muh., 2020).

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

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

### **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Berapa besar nilai tahanan terhadap lambung kapal bertangga U *deadrise angle* 10 derajat dengan variasi jumlah *stepped hulls* menggunakan *Autodesk CFD Software* ?
2. Berapa besar perubahan nilai tahanan pada kapal dengan variasi bentuk lambung bertangga U di beberapa kondisi trim buritan akibat kecepatan, terhadap kapal tanpa stepped menggunakan *Autodesk CFD Software* ?

### **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. Kapal yang digunakan adalah kapal cepat tipe *planing hull* dengan lambung *deadrise angle*.
2. Perhitungan nilai tahanan menggunakan *CFD Software*.

3. Dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan.
5. *Stepped hull* berbentuk U dengan variasi jumlah 1 *stepped U*, 2 *stepped U*, dan 3 *stepped U*.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besar nilai tahanan terhadap lambung kapal bertangga U *deadrise angle* 10 derajat dengan variasi jumlah *stepped hulls* menggunakan *Autodesk CFD Software*.
2. Menentukan besar perubahan nilai tahanan pada kapal dengan variasi bentuk lambung bertangga U pada beberapa kondisi trim buritan akibat kecepatan terhadap kapal tanpa *stepped* menggunakan *Autodesk CFD Software*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

1. Sebagai informasi mengenai pengaruh dari 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 CFD Software.

## **BAB V : PENUTUP**

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

## **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kapal Cepat (*High Speed Craft*)

Kapal cepat adalah kapal dengan kecepatan operasi maksimum diatas 30 knot, mengingat banyaknya ragam karakteristik *hidrostatik* kapal dengan menggunakan *Froude Number* ( $F_n$ ), maka kapal dengan  $F_n$  diatas 0,4 atau submerged hull (lambung tercelup) masih terolong sebagai kapal cepat. Berdasarkan  $F_n$  nya, kapal cepat dibagi kedalam 3 jenis [1] :

1. Displacement vessel ( $F_n < 0,4$ ),
2. Semi-displacement vessel ( $0,4 - 0,5 < F_n < 1,0 - 1,2$ ), dan
3. Planing vessel ( $F_n > 1,0 - 1,2$ ). [1]

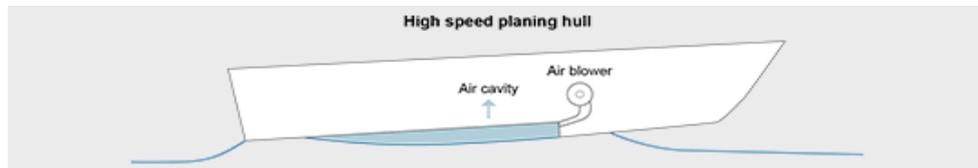
Pada suatu kondisi air yang tenang, suatu fenomena hidrodinamik yang terjadi pada kapal yang dirancang sebagai kapal water planing seperti halnya yang terjadi pada kapal cepat, terjadi kondisi kondisi sebagai berikut [2] :

- a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung displasemen (pada kondisi lambung memiliki kecepatan nol atau pada kecepatan rendah).
- b. Sebagaimana kecepatan meningkat, lambung akan mendapatkan pengaruh dinamik dari aliran, dikarenakan terjadi peningkatan kecepatan aliran.
- c. Pada kecepatan yang lebih tinggi hingga tercapai koefisien kecepatan antara 0,5 hingga 1,5, maka gaya dinamik tersebut akan berkontribusi menjadi daya angkat (lift).
- d. Pada koefisien kecepatan yang lebih besar dari 1,5, suatu lambung kapal cepat yang dirancang secara baik akan ikut membangkitkan gaya angkat dinamik, yang berpengaruh pada kenaikan titik pusat grafitasi (kenaikan pada lambung) (Habib dkk, 2018)

#### 2.2 Planing Hull

Menurut A. *Haris Muhammad* (2009), dalam jurnal Rosmani (2013), menyatakan penelitian ini awalnya bertujuan untuk merencanakan sebuah aircraft dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan

teknologi, konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan planing hull. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planing hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.



Gambar 2.1 Tipe *Planing hull*

Sumber: <https://mboat.eu/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 (*hidrodinamic 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 (Savitsky, dalam Hakim, 2018).

Menurut Suandar Baso, dkk (2019), tahanan lambung semi-planing mengalami peningkatan  $F_n V$  untuk setiap trim buritan. Dalam kecepatan tinggi, tahanan meningkat signifikan dalam  $F_n V > 1,5$ . Trim buritan lambung semi-planing meningkatkan panjang rongga udara oleh karena itu, ini mempengaruhi pengurangan resistensi saat menggeser  $F_n V$ .

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

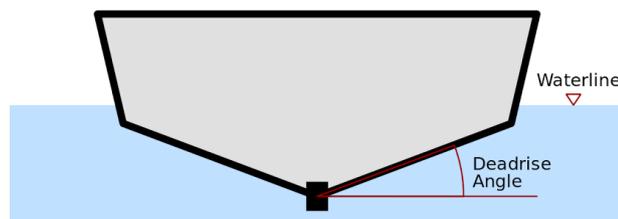
$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{wl}}} \quad (2.1)$$

Menurut Molland, Turnock, & Hudson, (2017) dalam jurnal Pranatal, Erive (2020), kapal planing hull merupakan kapal cepat dengan Volume Froude

Number  $F_n \nabla = 1,0-3,5$  dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi.

### 2.3 Deadrise Angle

*Deadrise* adalah besar sudut kemiringan alas terhadap garis dasar kapal apabila kapal dilihat dari pandangan *body plan*. Definisi deadrise angle dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Deadrise angle pada kapal planing hull

Sumber : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deadrise\\_definition.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deadrise_definition.svg)

Menurut Putranto, dalam Pranatal (2020). Peneliti melakukan penelitian pengaruh deadrise terhadap stabilitas penuh dan hambatan kapal dengan sudut  $6^\circ$ ,  $11^\circ$ , dan  $16^\circ$ . Tahanan terkecil pada  $16^\circ$ , dan kriteria stabilitas terbaik pada sudut  $6^\circ$ . Pada penelitian ini displasemen kapal merupakan variabel tidak tetap karena adanya perubahan deadrise. Menurut Aryawan, dalam Pranatal (2020) melakukan studi pengaruh deadrise dan sponson terhadap performa hidrodinamika yaitu tahanan dan olah gerak kapal perikanan aquakultur. Deadrise yang dipilih adalah  $6^\circ$  karena menghasilkan ruang muat yang besar dan tahanan yang baik. Peneliti lebih memilih kepentingan ruang muat dibandingkan dengan tahanan kapal yang lebih kecil.

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

### 2.4 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, 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 (Muthahhar, 2020).

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

Pada dasarnya, ada 3 tipe lambung kapal, yaitu: displasemen, semi-displasemen, dan planing hull. Kapal planing hull tidak seperti dua tipe lambung kapal yang lainnya karena kinerja gaya hidrodinamik lebih besar dibanding gaya hidrostatisnya. Pada kapal planing hull akan lebih optimal kinerjanya jika ada tambahan modifikasi pada bagian lambung bawahnya yaitu stephull. 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 (Faltinsen, dalam Citra, 2018).

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.

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 (Citra dkk, 2018).

Kapal planing dengan modifikasi staphull mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a) Memiliki gaya angkat yang lebih kecil dibanding kapal planing yang tidak menggunakan staphull.
- b) Seiring bertambahnya kecepatan, kapal planing dengan modifikasi staphull memiliki sudut trim yang semakin kecil, tetapi menyebabkan besarnya hambatan total karena luas badan kapal yang tercelup air menjadi lebih besar.
- c) Memiliki sudut trim yang lebih kecil seiring dengan kecepatan menyebabkan semakin stabilnya kapal saat melaju dengan kecepatan tinggi.
- d) Semakin besar perubahan displacement tiap froude number, maka akan semakin kecil gaya angkatnya.
- e) Semakin bertambah kecepatan kapal, semakin kecil displacementnya.

## **2.5 Tahanan Kapal**

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

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

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi ( $mg$ ).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung)  $F\Delta$  atau  $\gamma v$ . Seperti halnya  $mg$ , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan  $Zo$ .

3. Resultante gaya hidrodinamik (F) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya F dapat diuraikan dalam 2 (dua) ; komponen gaya angkat (L) dan komponen tahanan (atau drag) R (atau D). Dimana L tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan R (atau D) sejajar V.
4. Gaya dorong (T), yang di desakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan arah dengan R (Rosmani, 2013).

Tahanan total pada kapal terdiri dari komponen – komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau resistance. Pada prinsipnya ada dua bagian kapal yang mengalami gaya hambat, yaitu bagian kapal yang terbenam dan area bagian kapal diatas permukaan air karena udara juga mempunyai faktor hambat pada kondisi tertentu. Ada berbagai macam jenis tahanan pada kapal antaranya sebagai berikut :

A. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang di laluinya. 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*)

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

- Dimana :
- V : Volume (m<sup>3</sup>)
  - L : Panjang (m)
  - $\nu$  : Kecepatan (m/s)

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

$$C_f = R_n = \frac{V \cdot L}{v} \dots\dots\dots(2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

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

B. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari :

a. Tahanan gelombang (*Wave Resistance*)

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

b. Tahanan udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai Tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstruktura*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

c. Tahanan bentuk (*Form Resistance*)

Tahanan ini erat kaitannya dengan bentuk badan kapal, dimana bentuk lambung kapal yang tercelup di bawah air menimbulkan suatu tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut.

d. Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

- 1) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*) yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.
- 2) Tahanan kekasaran yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.
- 3) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*) yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. (Arwini, 2018)

## 2.6 Trim Kapal

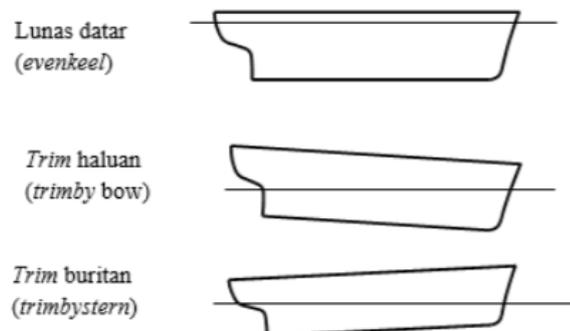
Trim didefinisikan sebagai perbedaan antara sarat di AP ( $TA$ ) dan sarat di FP ( $TF$ ).

$$Trim = TA - TF \quad (2.5)$$

Hasil positif menunjukkan terjadi Trim Buritan. Pada saat kapal dalam kondisi trim, displasemen dan kecepatan kapal tetap konstan, tidak ada penambahan ballast dan kapal tidak mengalami penambahan kecepatan meskipun hambatan berubah ketika kondisi trim (Larsen dalam Margono, 2017).

Secara umum terdapat tiga kondisi yang dapat dialami kapal, yaitu:

- a) Evenkeel yaitu draft depan kapal sama dengan draft belakang kapal.
- b) Trim haluan yaitu draft belakang lebih kecil dari draft depan
- c) Trim buritan yaitu draft belakang lebih besar dari draft depan



Gambar 2.3 Kondisi Trim

## 2.7 Autodesk CFD

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan *Navier Stokes* dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi.

Persamaan *Navier Stokes* adalah serangkaian persamaan yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel - partikel fluida bergantung kepada gaya viskos internal dan viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida. Oleh karena itu, persamaan *Navier Stokes* menjelaskan kesetimbangan gaya - gaya yang bekerja pada fluida. Persamaan umum *Navier Stokes* untuk kekekalan momentum adalah:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \nabla \cdot P + \rho F \quad (2.6)$$

Dimana :

- $\rho$  = densitas fluida
- $\frac{\partial}{\partial t}$  = derivatif substantif
- $\partial v$  = vektor kecepatan
- F = gaya

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulenti *K-Epsilon* (K- $\epsilon$ ) untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress Transport* (K- $\omega$ ) untuk pemodelan full viscous. Metode penyelesaian governing equation adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Method* (FEM), *Finite Volume Method* (FVM), dan *Finite Difference Method* (FDM). Model persamaan standar k-epsilon dan shear stress transport dijabarkan secara matematis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \kappa) + \vec{v} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \kappa) = \vec{v} \cdot \left( \rho \cdot \left\{ \nu_l + \frac{\nu_t}{\sigma_{t,\kappa}} \right\} \cdot \vec{\nabla} \kappa \right) + \rho \cdot (P_\kappa + G_b - \epsilon) \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \epsilon) + \vec{v} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \epsilon) = \vec{v} \cdot \left( \rho \cdot \left\{ \nu_l + \frac{\nu_t}{\sigma_{t,\epsilon}} \right\} \cdot \vec{\nabla} \epsilon \right) + \{\rho \cdot \epsilon / \kappa\} \cdot (C_{1\epsilon} \cdot P_K + C_{3\epsilon} \cdot G_b - C_{2\epsilon} \cdot \epsilon) \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \omega) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \omega) = \vec{\nabla} \cdot \left( \rho \cdot \left\{ \nu_l + \frac{\nu_t}{\sigma_\omega} \right\} \cdot \vec{\nabla} \omega \right) + \rho \cdot \omega \cdot \left( \gamma \cdot \frac{P_k}{\kappa} - \beta \cdot \omega \right) \quad (2.9)$$

$$+ 2 \cdot (1 - F_1) \cdot \left\{ \rho \cdot \frac{\sigma_{\omega 2}}{\omega} \right\} \cdot \vec{\nabla} \kappa \cdot \vec{\nabla} \omega$$

Dimana :

- K = turbulent kinetic energy
- $\varepsilon$  = dissipation rate
- F = blending function
- $\rho$  = massa jenis fluida
- $\nu_l$  dan  $\nu_t$  = viskositas kinematik laminar dan turbulen
- $P_k$  = volumetric production rate dari k akibat tegangan geser
- $G_b$  = volumetric production rate dari k akibat potensi gravitasi

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 dimasukan sehingga, tidak hanya dapat memprediksikan aliran turbulen kecepatan 30 tinggi (high speed turbulent flow) namun, termasuk aliran kompresibel (compressible flow).

Terdapat tiga langkah umum dalam 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. *Solve* Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses running.
3. *Post Processor* Tahap ini merupakan proses penampilan hasil running seperti grafik, vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.