

**SKRIPSI**  
**STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG**  
**SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL**

*Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin*



OLEH:

FATUR RAHMAN  
D031181302

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL

Disusun dan diajukan oleh

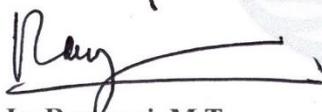
**FATUR RAHMAN**

**D031 18 1302**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 12 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

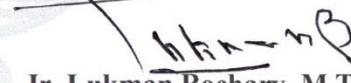
Pembimbing Utama,



**Ir. Rosmani, M.T**

NIP : 19600620 198802 2 001

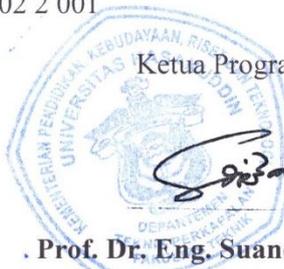
Pembimbing Pendamping,



**Ir. Lukman Bochary, M.T**

NIP : 19581127 198803 1 001

Ketua Program Studi,

**Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, S.T., M.T**

NIP : 19730206 200012 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : FATUR RAHMAN

NIM : D031 18 1302

Program Studi : TEKNIK PERKAPALAN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG  
SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL }

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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.

Gowa, 14 Juli 2023

Yang Menyatakan



Fatur Rahman

## ABSTRAK

Fatur Rahman/D031181302.” **STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL**”. (Dibimbing oleh Ir. Rosmani, MT dan Lukman Bochary, MT)

Dalam mendesain kapal, yang harus dipertimbangkan yaitu bagian lambung kapal, karena berkaitan dengan besarnya nilai tahanan yang timbul saat beroperasi. Adapun salah satu solusi untuk mengurangi besarnya nilai tahanan kapal, yaitu dengan cara melakukan modifikasi pada lambung kapal, yaitu dengan pemasangan *Vortex Generator*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *double ogive vortex generator* dengan posisi searah dan tanpa *double ogive vortex generator* dengan posisi searah serta penentuan karakteristik aliran fluida sepanjang lambung kapal. Metode yang kami gunakan dalam penelitian ini yaitu metode komputasi dengan bantuan software Maxsurf Modeller dan Rhinoceros 6 untuk permodelan, serta Autodesk CFD untuk menganalisa nilai tahanan kapal. Hasil Analisa nilai tahanan kapal de yaitu dengan kemiringan 0 sampai 3. Perbandingan nilai tahanan model kapal tanpa menggunakan *vortex generator* dengan tahanan model kapal menggunakan *vortex generator* dengan kecepatan yang sama dimana kecepatan 2.016 besar tahanan hampir sama dengan perbandingan terkecil 7.59 % dan pada kecepatan 1.513 besar tahanan sangat jauh dengan perbandingan terbesar 33,68 %..Adapun karakteristik aliran fluida dimana kapal tanpa *vortex generator* aliran turbulennya cenderung lebih banyak Adapun kapal yang menggunakan *vortex generator* aliran turbulennya sedikit karena terjadi distribusi pola aliran

**Kata Kunci: Kapal Cepat, Vortex Generator, Trim Kapal, Tahanan Kapal**

## ABSTRACT

Fatur Rahman/D031181302."STUDY OF THE EFFECT UNIDIRECTIONAL DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR ON SHIP RESISTANCE". (Supervised Ir. Rosmani, MT dan Lukman Bochary, M.T)

In designing ships, what must be considered is the hull, because it relates to the amount of resistance value arising when operating. As for one solution to reduce the amount of ship resistance value, namely by making modifications to the hull, namely by installing a Vortex Generator. Therefore, this study aims to determine the comparison of ship resistance values using double ogive vortex generators in unidirectional positions and without double ogive vortex generators in unidirectional positions and determination of fluid flow characteristics along the hull. The methods we used in this study are computational methods with the help of Maxsurf Modeller and Rhinoceros 6 software for modeling, and Autodesk CFD to analyze the resistance value of ships. The result of the analysis of the resistance value of the ship de is with a slope of 0 to 3. Comparison of the value of the prisoner of the ship model without using a vortex generator with the resistance of the ship model using a vortex generator with the same speed where the speed of 2,016 large prisoners is almost the same with the smallest ratio of 7.59% and at the speed of 2,015 the large prisoners are very far with the largest ratio of 33.68%. As for the characteristics of fluid flow, where ships without vortex generators, turbulent flow tends to be more, as for ships that use vortex generators, turbulent flow is slightly due to the distribution of flow patterns

**Keywords:** speedboat, vortex generator, ship trim, ship resistance

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL”**. Yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini menjadi suatu kebanggaan tersendiri bagi penulis karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama pengerjaan 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, yaitu Bapak Saparuddin dan Ibu Lusiana Lolon atas kasih sayang, kesabaran, dukungan, pengorbanan dan doa yang selama ini telah diberikan kepada saya, serta terima kasih kepada keluarga besar atas doa dan dukungan yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin yang sangat Amanah dalam memimpin di Departemen Perkapalan.
3. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing I dan bapak Lukman Bochary, M.T. selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., dan Ibu Dr. Ir. Misliah, Ms. Tr selaku penguji dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Syamsul Asri. MT selaku Penasehat Akademik yang selalu

membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.

6. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
7. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
8. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2018 yang telah memberikan banyak pelajaran serta pengalaman selama berada di perkapalan.
9. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
10. Kepada seluruh pihak terkait yang turut membantu baik langsung maupun tidak langsung saya ucapkan

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, 23 Februari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PENRNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Peulisan .....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Kapal Cepat.....	7
2.2 Tahanan Kapal .....	8

2.3 Aliran Fluida .....	12
2.4 Vortex Generator.....	15
2.5 Autodesk CFD .....	16
2.6 Proses Simulasi Autodesk CFD .....	20
2.7 Hukum Perbandingan Model Kapal.....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Pengerjaan Penelitian.....	25
3.2 Jenis dan Pengumpulan Data .....	25
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	25
3.4 Metode Pengolahan Data .....	25
3.4.1 Data Kapal .....	26
3.4.2 Pemodelan Kapal .....	26
3.4.3 Pemodelan Kapal Cepat dengan Double Ogive Vortex Generator .....	27
3.4.4 Simulasi Autodesk CFD .....	33
3.4.5 Verifikasi .....	36
3.4.6 Analisa Data .....	37
3.4.7 Kesimpulan .....	37
3.4.8 Kerangka Pikir .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Vortex Generator.....	39
4.1.1 Desain Vortex Generator .....	39
4.2 Nilai Residual In dan Residual Out .....	40

4.3 Visualisasi Velocity Magnitude dan pola Aliran .....	41
4.3.1. Visualisasi Velocity Magnitude Pada Kecepatan 0,75 m/s, Trim 0° .....	42
4.3.2. Visualisasi Velocity Magnitude Pada Kecepatan 1,513 m/s, Trim 1° .....	44
4.3.3. Visualisasi Velocity Magnitude Pada Kecepatan 2,016 m/s, Trim 2° .....	46
4.3.4. Visualisasi Velocity Magnitude Pada Kecepatan 2,762 m/s, Trim 3° .....	49
4.4 Visualisasi Static Pressure .....	51
4.4.1. Visualisasi Static Pressure Kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0° .....	51
4.4.2. Visualisasi Static Pressure Kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1° .....	52
4.4.3. Visualisasi Static Pressure Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	53
4.4.4. Visualisasi Static Pressure Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	54
4.5 Prediksi Tahanan Model Kapal .....	55
BAB V PENUTUP .....	59
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	59

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR NOTASI

FN	= Froude Number
V	= Kecepatan (m/s)
g	= Percepatan Gravitasi (m/s)
Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= panjang garis air kapal (m)
B	= lebar kapal (m)
T	= tinggi kapal (m)
$\Delta$	= Displacement (ton)
Rn	= Angka Renold
$\nu$	= Viskositas air
Cf	= Koefisien Gesek
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
R <sub>T</sub>	= Tahanan Total (N)
$\rho$	= Massa jenis Fluida (Kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>T</sub>	= Koefisien tahanan total
S	= Luas bidang basah (m <sup>2</sup> )
Re	= Angka Reynold

R = Jari-jari (m)

$\nu$  = Viskositas kinematis ( m<sup>2</sup>/s)

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Model .....	26
Tabel 3.2 Ukuran Model Kapal Skala 1/15.....	32
Tabel 3.3 Ukuran Boundary layer Tangki Numerik Skala 1/15 .....	32
Tabel 3.4 Kecepatan Model dan Trim Buritan Model.....	33
Tabel 4.1 Ukuran <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	39
Tabel 4.2 Residual In dan Residual Out Model Kapal tanpa <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	40
Tabel 4.3 Residual In dan Residual Out Model Kapal Menggunakan <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	41
Tabel 4.4 Kondisi Trim Pada Setiap Kecepatan .....	41
Tabel 4.5 Luas Bidang Basah Tanpa <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	50
Tabel 4.6 Luas Bidang Basah Menggunakan <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	50
Tabel 4.7 Tahanan Model Kapal Tanpa <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	56
Tabel 4.8 Tahanan Model Kapal Menggunakan <i>Ogive Vortex Generator</i> .....	56
Tabel 4.9 Persentase Perbandingan Tahanan Model .....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Streamline yang Melintasi Satu Body.....	12
Gambar 2.2 Aliran Laminar .....	14
Gambar 2.3 Aliran Transisi .....	14
Gambar 2.4 Aliran Turbulen.....	15
Gambar 2.5 Bentuk Vortex Generator .....	16
Gambar 3.1 Linesplan Kapal pada Software Autocad.....	26
Gambar 3.2 Tampilan Awal model kapal tanpa double ogive vortex generator ..	27
Gambar 3.3 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Buritan .....	28
Gambar 3.4 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Haluan .....	28
Gambar 3.5 Proses Pembuatan Sebuah Bidang yang Menjadi Patokan Panjang Vortex Generator.....	29
Gambar 3.6 Proses Trimming Bagian Luar Bidang dan Penempatan Persegi pada Bawah Kapal.....	29
Gambar 3.7 Proses Pembuatan Vortex Generator pada Bidang Bantu.....	29
Gambar 3.8 Proses Pemiringan Vortex Generator.....	30
Gambar 3.9 Proses Penempelan Ogive Vortex Generator pada patokan Bidang Bantu pada Kapal.....	30
Gambar 3.10 Penampakan Ogive Vortex Generator Sudah Terpasang pada Kapal .....	31
Gambar 3.11 Penampakan Ogive Vortex Generator Yang Telah Terpasang dari Berbagai Sudut .....	31
Gambar 3.12 Hasil Model Closed Solid .....	32
Gambar 3.13 Pemodelan Kolam Uji.....	33
Gambar 3.14 Visual Terhadap Geometry Model Kapal .....	34
Gambar 3.15 Visualisasi Input Material .....	34
Gambar 3.16 Visualisasi Input Boundary Condition Model Kapal.....	35
Gambar 3.17 Visualisasi Mesh Sizing Model Kapal .....	35
Gambar 3.18 Visualisasi Terhadap Solve Model Kapal dan Boundary Layer .....	36

Gambar 3.19 Kerangka Pikir Penelitian .....	38
Gambar 4.1 Desain Model dan arah Ogive Vortex Generator .....	40
Gambar 4.2 PVelocity Magnitude Pada Kecepatan 0,75 m/s .....	42
Gambar 4.3 Pola Aliran Berdasarkan Velocity Magnitude kecepatan 0,75 m/s .....	43
Gambar 4.4 Perbandingan Visualisasi Velocity Magnitude model kapal kecepatan 1,513 m/s kondisi 1° .....	44
Gambar 4.5 Pola Aliran berdasarkan Velocity Magnitude kecepatan 1,513 m/s .....	45
Gambar 4.6 Visualisasi Velocity Magnitude model kapal kecepatan 2,016 m/s kondisi 2° .....	46
Gambar 4.7 Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2,016 m/s .....	47
Gambar 4.8 Visualisasi Velocity Magnitude model kapal kecepatan 2,762 m/s kondisi 3° .....	48
Gambar 4.9 Pola Aliran <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2,762 m/s .....	49
Gambar 4.10 Visualisasi Static Pressure Pada Kecepatan 0,75 m/s .....	51
Gambar 4.11 Visualisasi Static Pressure Pada Kecepatan 1,513 m/s .....	52
Gambar 4.12 Visualisasi Static Pressure Pada Kecepatan 2,016 m/s .....	53
Gambar 4.13 Visualisasi Static Pressure Pada Kecepatan 2,762 m/s .....	54
Gambar 4.14 Grafik hubungan kecepatan dan tahanan tanpa <i>vortex generator</i> ...	56
Gambar 4.15 Grafik hubungan kecepatan dengan tahanan menggunakan vortex generator .....	57
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Hasil Tahanan Menggunakan CFD Autodesk .....	57

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**Lampiran 1.** Tabel Offside lines Plan Model Kapal

**Lampiran 2.** Statistik jumlah elemen *mesh*

**Lampiran 3.** Visualisasi *Velocity Magnitude*

**Lampiran 4.** Visualisasi pola aliran dan luas bidang basah

**Lampiran 5.** Visualisasi *static pressure*

**Lampiran 6.** Hasil *wall calculator drag force* model

**Lampiran 7.** Penentuan Skala Model

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat di rancang untuk meminimalisir tahanan. Namun, kecelakaan dikarenakan performa Kapal Cepat ini masih saja terjadi dan menjadi perhatian yang serius bagi pemerintah. Oleh karena itu, kesesuaian antara kecepatan tinggi dengan bentuk lambung kapal menjadi pertimbangan sangat penting dalam menjamin keselamatan kapal.

Diantara masalah yang dihadapi dalam desain kapal cepat yakni kecepatan kapal cepat tergolong tinggi. Maka dari itu dalam merencanakan desain lambung harus memperhatikan aspek tahanan yang dihasilkan oleh kapal cepat untuk meminimalisir kecelakaan kapal. Tahanan berperan penting dalam pengoperasian kapal cepat, semakin cepat kapal semakin tinggi pula tahanan yang dihasilkan oleh kapal tersebut. Salah satu solusi dalam meminimalisir tahanan pada kapal cepat adalah di lakukan penambahan *Vortex Generator*. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari *turbulent boundary layer* menjadi *laminar boundary layer*.

*Vortex generator* (VG) adalah suatu alat yang dapat mempercepat terjadinya transisi dari *laminar boundary layer* menjadi *turbulen boundary layer*. Aliran *turbulen boundary layer* yang dibangkitkan ini diharapkan dapat meningkatkan

momentum aliran sehingga lebih mampu menahan *adverse pressure gradien* dan menunda separasi [3].

Menurut Ulul Azmi (2015) Separasi boundary layer merupakan fenomena penting yang mempengaruhi performansi airfoil. Salah satu upaya untuk menunda atau menghilangkan separasi aliran adalah meningkatkan momentum fluida untuk melawan *adverse pressure* dan tegangan geser permukaan. Pada boundary layer, kecepatan fluida yang dekat dengan permukaan nilainya akan lebih besar dibandingkan dengan pada laminar boundary layer. Jika kecepatan fluida lebih besar, maka energi kinetik fluida juga akan semakin besar sehingga fluida dapat melawan *adverse pressure* dan tegangan geser. Hal ini mengakibatkan separasi aliran akan tertunda lebih ke belakang. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan penambahan turbulent generator pada upper surface airfoil. Vortex generator (VG) merupakan salah satu jenis turbulent generator yang dapat mempercepat transisi dari turbulent boundary layer menjadi laminar boundary layer.

Zhen [5] juga melakukan penelitian terhadap beberapa bentuk vortex generator dengan ketinggian yang berbeda dan didapatkan bahwa bentuk ogive dan curve-edge vortex generator memiliki efektifitas yang lebih tinggi daripada ogive dalam menaikkan gaya angkat (lift force).

Pada penelitian kali ini, akan digunakan kapal cepat dengan *vortex generator* berupa *double ogive* dengan posisi searah. Dengan adanya *vortex generator* ini diharapkan dapat menaikkan momentum aliran pada lambung kapal sehingga dapat lebih tahan terhadap *adverse pressure gradien* dan menunda separasi. Dengan tertundanya separasi akan menaikkan *lift force* dan menurunkan

*drag force* pada *airfoil* sehingga dapat meningkatkan performansi *airfoil* tersebut [6]. Dengan performa lambung kapal yang baik akan menghemat bahan bakar tersebut saat beroperasi.

Berdasarkan uraian dari pembahasan sebelumnya, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: “**STUDI PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR YANG SEARAH TERHADAP TAHANAN KAPAL**”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Perumusan Masalah Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan, yaitu :

1. Berapa besar nilai tahanan kapal serta perbandingan menggunakan dan tidak menggunakan *double ogive vortex generator* yang searah terhadap tahanan kapal?
2. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang searah terhadap tahanan kapal?

## **1.3. Batasan Masalah**

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software *Autodesk CFD*.
2. Tipe kapal yang digunakan yaitu kapal cepat dengan model *planning hull semi displacement*.
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang.

4. Sampel kecepatan yang digunakan ada 5 kecepatan.
5. Komponen tambahan untuk mempengaruhi tahanan yang digunakan yaitu *vortex generator* jenis *double ogive* yang posisinya searah.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan masalah dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui perbandingan nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tidak menggunakan *double ogive vortex generator*.
2. Mengetahui karakteristik aliran fluida yang dihasilkan pada sepanjang badan kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah:

1. Sebagai informasi pengetahuan baru bagi peneliti tentang mengenai pengaruh *double ogive vortex generator* yang posisinya searah.
2. Sebagai pertimbangan perencana dalam mendesain kapal cepat yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang searah dengan pertimbangan nilai tahanan kapal.
3. Sebagai pertimbangan bagi pemilik kapal dalam memilih kapal cepat yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang searah dengan pertimbangan nilai tahanan kapal.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

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

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II           LANDASAN TEORI**

Bab ini menjelaskan tentang teori – teori gambaran wilayah penelitian, berbagai li teratur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

### **BAB III          METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menguraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, Teknik dalam pengambilan data, metode analisis data dan kerangka pikir.

### **BAB IV          ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

### **BAB V           KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran – saran untuk peneliti selanjutnya maupun pihak – pihak yang terkait tentang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Kapal Cepat**

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.

Indonesia yang merupakan Negara maritim terbesar di dunia. Hampir dua per tiga wilayah Indonesia terdiri dari laut dan sisanya adalah pulau. Sifat maritim itu sendiri lebih mengarah pada terwujudnya aktifitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploritasi, pelayaran, pengangkutan barang, dan penyebrangan antar pulau. Dalam menunjang konektifitas antar pulau di Indonesia, sangat diperlukan alat transportasi jalur laut yang memadai. Kapal 6 yang digunakan sebagai moda

transportasi penghubung antar daerah/pulau diantaranya menggunakan kapal penyeberangan berupa feri roll on roll off (roro).

Kapal cepat atau dalam bahasa inggrisnya disebut high-speed craft merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil, karekteristik high-speed craft dipengaruhi Froude Numbernya [8]. Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi.

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 [9]. Rumus untuk mendapatkan nilai *Froude number* adalah sebagai berikut.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times L}} \quad (2.1)$$

Dimana :

Fn = Froude Number

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s)

L = Panjang kapal (m)

## 2.2. Tahanan Kapal

Tahanan kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan Gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu Gerakan kapal [7]. Tahanan kapal ini perlu diketahui karena merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam merencanakan bentuk lambung kapal, selain itu juga tujuannya adalah dalam menghitung daya mesin induk kapal, yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat dihitung/diestimasi biaya operasional kapal.

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 :

1) Angka Renold (*Renold's number, Rn*)

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

Dimana :

V : Kecepatan ( $m/s$ )

L : Panjang (m)

$\nu$  : Viskositas air

2) Koefisien gesek (*friction coefficient*, Cf )

$$C_f = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (2.3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

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

b. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari tahanan total badan kapal dengan tahanan gesek dari permukaan kapal. Tahanan sisa terdiri dari ;

1) Tahanan gelombang (*Wave Resistance*)

Tahanan gelombang adalah tahanan 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.

2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

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

dan arah relatif angin terhadap kapal.

3) 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.

4) 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 :

a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

Yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.

b) Tahanan kekasaran

Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.

c) Tahanan kemudi (*Steering Resistance*)

Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi.

c. Tahanan Total (*Total Resistance*)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldhammer dan Harvald [7], komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$R_t = 0,5 \rho C_T S V^2 \quad (2.5)$$

Dimana:

$R_T$  = Tahanan Total (N)

$\rho$  = Massa jenis Fluida ( $\text{Kg/m}^3$ )

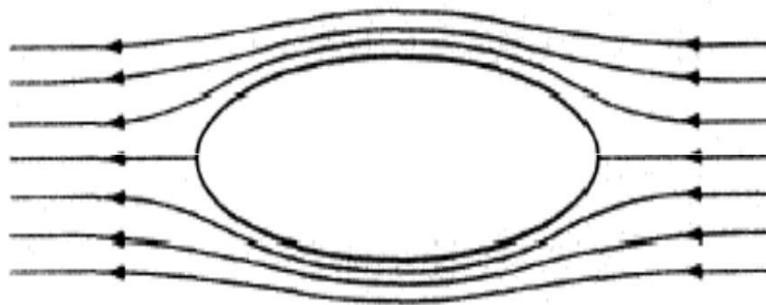
$C_T$  = Koefisien tahanan total

$S$  = Luas bidang basah ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan (m/s)

### 2.3. Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang mengalir atau berubah bentuk dan memiliki kecenderungan untuk mengalir. Ketika fluida mengalir melalui suatu titik atau jalur, terdapat berbagai parameter yang terkait dengan aliran fluida berubah dalam pola yang berbeda. Dua parameter umum dalam setiap aliran fluida adalah tekanan fluida dan kecepatan aliran partikel fluida. Aliran fluida dapat dibagi menjadi pola yang berbeda berdasarkan variasi parameter aliran dengan mempertimbangkan waktu dan jarak. Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 2.1** Aliran *streamline* yang melintasi suatu body

Sumber: Suryo W.Adji, 2009

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massanya didalam *streamlines* tersebut adalah konstan.

Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika  $p$ ,  $\rho$ ,  $v$ , dan  $h$  adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat dirumuskan, sebagai berikut [10]:

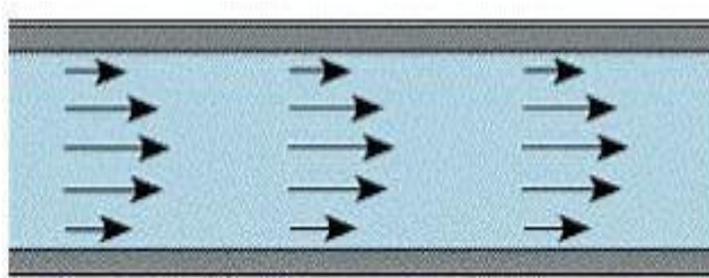
$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.6)$$

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 tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya – gaya local 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 oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida [10].

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi [11].

1. Aliran laminar ( $Re < 2300$ ) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan

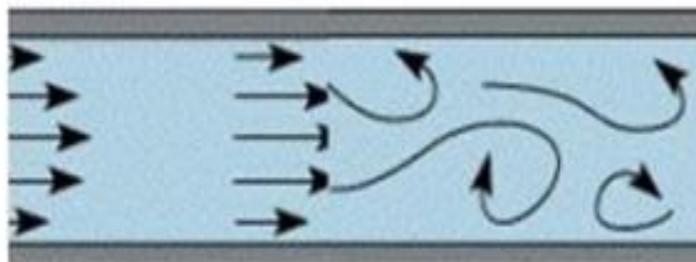
penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji,2015).



**Gambar 2.2** Aliran Laminar.

Sumber: (Senoaji,2015).

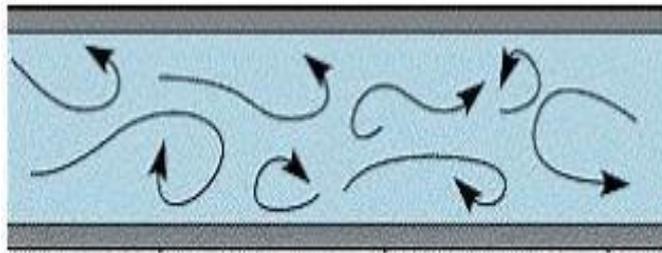
2. Aliran transisi ( $2300 > Re > 4000$ ) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



**Gambar 2.3** Aliran Transisi.

Sumber : (Senoaji,2015).

3. Aliran turbulen ( $Re > 4000$ ) Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji,2015).



**Gambar 2.4** Aliran Turbulen

Sumber: (Senoaji,2015).

#### **2.4. Vortex Generator**

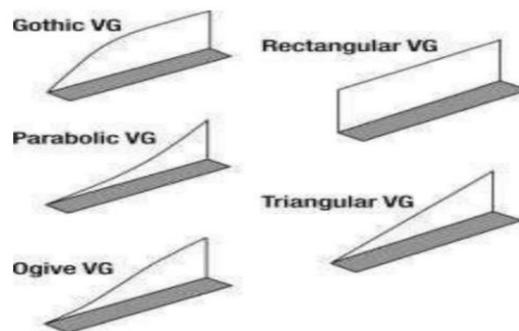
*Vortex Generator* (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan stabilizer ekor UAV yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi separation (Romadhon dan Herdiana, 2017: 47). *Vortex generator* juga merupakan permukaan tambahan yang dapat membentuk aliran vortices dengan arah parallel terhadap aliran utama. Vortices terbentuk karena adanya strong swirling dari secondary flo, yang diakibatkan oleh flo separation dan gesekan pada fluida (He et al, 2012).

Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), *vortex generator* memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua *vortex generator* berfungsi seperti miniatur sayap. Penempatan *vortex generator* yaitu tegak lurus terhadap permukaan sayap, serta dapat menghasilkan gaya angkat pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk *vortex generator* menghasilkan perubahan aliran pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk *vortex generator* menghasilkan perubahan aliran pada UAV.

*Vortex generator* memiliki fungsi untuk menunda efek separation sehingga dapat meningkatkan angle of attack pada UAV sehingga dapat dirumuskan dengan suatu metode, dimana *vortex generator* (VG) digantikan oleh subdomain sel sehingga menjadi bentuk seperti *vortex generator*, dimana distribusi gaya bekerja pada fluida, sehingga efek *vortex generator* dapat diketahui.

Sudut serang (angle of attack) merupakan sudut yang terbentuk dari tali busur airfoil dan arah aliran udara yang melewatinya (relative wind). Perbedaan angle of attack ( $\alpha$ ) akan menghasilkan lift yang berbeda-beda, adapun untuk aplikasi angle of attack ( $\alpha$ ) yaitu pada airfoil. Contoh angle of attack ( $\alpha$ ) pada airfoil simetris menghasilkan lift nol bila angle of attack nol, sedangkan pada airfoil tidak simetris pada angle of attack nol lift yang dihasilkan tidak nol, lift menjadi nol apabila airfoil tidak simetris membentuk sudut negatif terhadap aliran udara (Ghofar, 2018: 32)

Terdapat berbagai macam bentuk *vortex generator* yang digunakan, namun pada umumnya yaitu sebagai berikut:



**Gambar 2.5** bentuk Vortex Generator

Sumber: Chinniyampalayam, Coimbatore. "Numerical Analysis of Drag Reduction Method Using Vortex Generator on Symme

## 2.5. Autodesk CFD

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari 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 energi. 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 untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulensi *K-Epsilon (K-ε)* untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress Transport (K-ω)* 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)*. 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 memprediksikan aliran turbulensi 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

Permasalahan yang harus diselesaikan terhadap persamaan yang didiskritkan adalah tekanan yang hilang, maka digunakan persamaan kontinuitas dengan penyelesaian integral:

$$\int N \left( \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \quad (2.7)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT$$

$$- \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa laju peningkatan (pengurangan) massa di dalam suatu elemen sama dengan laju netto aliran massa kedalam (keluar) elemen *fluida* tersebut. Pada aliran

*incompressible*, rapat massa konstan, laju perubahan massa didalam elemen adalah nol. Ketiga suku bagian kiri persamaan tersebut adalah aliran massa netto yang keluar elemen melalui dinding elemen dan disebut dengan suku konvektif. Persamaan diatas menunjukkan kondisi batas alami untuk persamaan tekanan. Untuk mengadakan tekanan yang hilang pada persamaan diatas maka, digunakan persamaan momentum yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.18) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} U &= U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \\ V &= V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y} \\ W &= W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \quad (2.8)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega$$

Persamaan diatas merupakan bentuk diskrit dari persamaan Poisson. Oleh karena itu, akan menghasilkan matriks koefisien simetris. Untuk aliran kompresibel, kopling desitas-tekanan juga harus dipertimbangkan sehingga,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (2.9)$$

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan (II.17) sehingga,

$$\begin{aligned} \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right. \\ \left. + N \left( \frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega \end{aligned}$$

$$= \oint N \rho^0 U^0 dT + \oint N \rho^0 V^0 dT + \oint N \rho^0 W^0 dT + \int \rho^0 \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^0 U^0 + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^0 V^0 + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^0 W^0 \right) d\Omega$$

Persamaan disisi kiri ditulis ulang dalam bentuk tekanan menggunakan hukum gas ideal. Dengan persamaan tersebut maka, persamaan tekanan kompresibel akan menghasilkan matriks koefisien non-simetrik.

Dengan persamaan tekanan diatas, masing-masing persamaan dapat diselesaikan secara terpisah yaitu, persamaan x-momentum dapat diselesaikan untuk nilai U, persamaan y-momentum dapat diselesaikan untuk nilai V, persamaan z-momentum dapat diselesaikan untuk nilai W, persamaan tekanan dapat diselesaikan untuk nilai P dan sebagainya. Hal ini menyederhanakan permasalahan karena penyelesaian dilakukan dalam satu derajat kebebasan di setiap persamaan. Pendekatan ini yang disebut *Solver Segregated* karena masing – masing variabel diselesaikan secara terpisah. 2. Matrix Solver

Proses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar disetiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks  $(a_i, a_j)$ . Metode klasik dalam penyelesaian matriks menggunakan eliminasi Gauss namun, dalam prosesnya membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi karena eliminasi membutuhkan matriks banded selama penguraian. Autodesk CFD mempunyai matriks yang jauh lebih kecil dengan menggunakan pemecahan matriks berulang dari metode gradien konjugasi, dimana dibuat untuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian.

Alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan yakni prosedur *Gauss-Seidel* dan prosedur *Tri-Diagonal Matrix Algorithm* (TDMA). Pada Autodesk CFD digunakan pemecahan

matrix metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iterasi yang ditetapkan terlampaui.

## 2.6. 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. Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. 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. Solver

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.

## 2.7. Hukum Perbandingan Model Kapal

Dalam memakai model fisik, harus ditransfer dari skala model ke skala penuh. Oleh karena itu perlu dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada kapal yang sebenarnya.

Ada tiga hukum kesamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

- 1) Kesamaan Geometris
- 2) Kesamaan Kinematis
- 3) Kesamaan dinamis

## 1. Kesamaan Geometris

Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika badan kapal tidak lagi mulus, maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan dari model dalam suatu skala tertentu, walaupun permukaan tersebut dibuat sesuai permukaan kapal itu sendiri, karena aliran yang terjadi disepanjang model dan kapal tidak sesuai. Fenomena lapisan batas pada kapal tidak dapat ditiru secara benar pada skala model.

Dari segi permukaan kesamaan geometris umumnya diabaikan dan model kapal dibuat dengan mulus. Permukaan laut dan permukaan air didalam tangki percobaan juga harus mirip.

Kondisi yang kapalnya mulus dan kapal tersebut bergerak di air yang permuaannya rata disebut kondisi tangki. Hampir disemua tangki percobaan tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar (Sv. Aa. Harvald). Tekanan udara didalam tangki percobaan harus diturunkan.

Bila kapal sedang berlayar dilaut permukaan air luas tak berhingga dan dianggap dalam  $ta$  berhingga. Ukuran kolam model terbatas, dan ukuran model kapal kecil sebanding dengan ukuran tangki/kolam, berarti tidak kesamaan geometris dan mentransfer hasil yang diperoleh dari pengujian model.

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya :

Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala ( $\lambda$ ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

$$\lambda = \text{skala perbandingan}$$

$L_s =$  panjang kapal (m)

$L_m =$  panjang model (m)

$B_s =$  lebar kapal (m)

$B_m =$  lebar model (m)

$T_s =$  sarat kapal (m)

$T_m =$  sarat model (m)

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangka percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

$L_m < T$  tangki

$L_m < \frac{1}{2} B$  tangki

2) HARVALD:

$B_m < \frac{1}{10} B$  tangki

$T_m < \frac{1}{10} T$  tangki

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

$L_m < \frac{1}{2} b$  tangki

$B_m < \frac{1}{15} B$  tangki

$Ao_m < 0,4 Ao$  tangki

## 2. Kesamaan Kinematis

Rasio kecepatan model harus sama dengan rasio kapal pada skala penuh. Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Kesamaan ini dapat terpenuhi dengan kesamaan angka Froude (Fr)

$$Fr_m = Fr_s \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m}$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

Dimana :

- Fr = angka froude
- L<sub>s</sub> = panjang kapal (m)
- L<sub>m</sub> = panjang model (m)
- V<sub>s</sub> = kecepatan kapal (m/dt)
- V<sub>m</sub> = kecepatan model (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)
- λ = skala model

### 3. Kesamaan dinamis

Jika percobaan model yang dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai besarnya gaya yang bekerja pada pola yang ditinjau, maka harus ada kesamaan dinamis. Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang besesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, kesatuan angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas :

Angka Reynol model sama dengan angka Reynol kapal

$$Re_m = Re_s \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$V_m = V_s L_s/L_m \dots\dots\dots(2.14)$$

$$V_m = V_s \lambda \dots\dots\dots(2.15)$$

Kesamaan dinamis sangat sulit untuk dipenuhi melihat kecepatan model jauh lebih besar dari kecepatan kapal.

#### **A. Skala Model**

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangki percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut.

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan “*Blockage Effect*” maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran lebar tangki/kolam percobaan serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Hubungan antara lebar tangki dan lebar model sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki (menurut Harvald),}$$

$$B_m < 1/15 B \text{ tangki (menurut University Of New Catsle) dan}$$

$$T_m < 1/10 T \text{ tangki. (menurut Harvald)}$$