

**SKRIPSI**

**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE OGIVE  
VORTEX GENERATOR : POSISI BERSILANGAN ARAH DIBELAKANG**

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



**OLEH:**

**HANS SANDA RITA**

**D031181320**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN ARAH DI BELAKANG

Disusun dan diajukan oleh:

**HANS SANDA RITA**

**D031 18 1320**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian

Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan

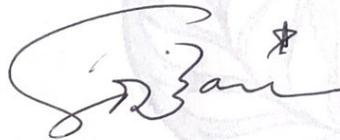
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 27 Maret 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



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

**NIP: 19730206 200012 1 002**

Pembimbing II



**Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT.**

**NIP: 19850526 201212 2 009**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

**NIP: 19730206 200012 1 002**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hans Sanda Rita  
NIM : D031 18 1320  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE OGIVE  
VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN ARAH DI BELAKANG”

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.

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, 29. Maret 2023

Menyatakan,



Hans Sanda Rita

## ABSTRAK

Hans Sanda Rita/D031181320.” **STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR : POSISI BERSILANGAN ARAH DIBELAKANG**”. (Dibimbing oleh Suandar Baso dan A.Ardianti).

Salah satu tujuan utama dalam mendesain kapal adalah untuk memiliki sistem hemat energi dengan tahanan yang lebih rendah dan sistem propulsi yang lebih baik. Ini memastikan bahwa kapal akan memiliki kecepatan yang dikehendaki dengan menggunakan daya yang seminimal mungkin. Oleh sebab itu diperlukan modifikasi pada lambung kapal seperti menggunakan *vortex generator*. Desain *vortex generator* menggunakan bentuk *Double Ogive vortex generator* bersilangan arah di belakang. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan dan trim. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik dengan bantuan software *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)*. Dengan didapatkannya nilai tahanan pada model kapal tanpa menggunakan *ogive vortex generator* dan model kapal menggunakan *ogive vortex generator* bersilangan arah dibelakang, maka hasilnya dibandingkan sesuai kecepatan dan trim. Perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan *double ogive vortex generator* bersilangan arah dibelakang berkisar 1,85% hingga 10,88% lebih kecil dibandingkan tahanan model kapal tanpa menggunakan *ogive vortex generator*. Pengurangan nilai tahanan terbesar pada kecepatan 1,513 dengan trim 1°.

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

## ABSTRACT

Hans Sanda Rita/D031181320.” **STUDY OF SHIP RESISTANCE DUE TO THE EFFECT OF DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR : CROSS POSITION**”. (Supervised by Suandar Baso and A.Ardianti).

One of the problems faced in ship planning concerns the resistance and speed of the ship which must be according to demand. Along with the rapid development of science and technology, the design of fast boats has undergone many changes to obtain designs that are able to reduce resistance on ships. One way is to add a *vortex generator* to the hull modification. The *vortex generator* uses the form of a *Double Ogive vortex generator*. The research was carried out with variations in speed and trim. The methods used in this study is a numerical simulation method with the help of *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)* software. By obtaining the resistance value on the ship model without using a *vortex generator* and the ship model using a *vortex generator*, the results are compared according to speed and trim. Comparison of the resistance value of the ship model using a *vortex generator* ranges from 1,85% to 10,88% less than the resistance of the ship model without using a *vortex generator*. The greatest reduction in resistance is at a speed of 1,513 with a 1° trim.

**Keywords: Fast Ship, Vortex Generator, Ship Trim, Ship Resistance**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE OGIVE VORTEX GENERATOR : POSISI BERSILANGAN ARAH DIBELAKANG** “. Yang disusun guna memenuhi salah satu 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, yaitu Bapak Marci Rita dan Ibu Lorina Sanda 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 sekaligus pembimbing 1 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis selama menjalani proses penelitian skripsi maupun pada saat menjalani perkuliahan ini.
3. Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT., selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Rosmani, MT. dan bapak Lukman Bochary, M.T. selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.

5. Ibu Dr. Andi Sitti Chairunnisa, ST., 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 saudara adik dan kakak saya ,Terima kasih dan maaf yang sedalam-dalamnya atas perbuatan penulis sebagai saudara, semoga kalian selalu dalam lindungan Tuhan.
9. Kepada teman- teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2018 yang telah memberikan banyak pelajaran serta pengalaman selama berada di perkapalan.
10. Kepada teman-teman ANDROMAX 2018 seperjuangan skripsi, Terima kasih atas bantuannya selama pengerjaan skripsi.
11. Kepada teman-teman Squad Queue (Aruc,Warman,Ruly,Eno,Risqan, Juan), terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
12. Kepada sodara-sodaraku anak-anak yang senantiasa dikasihi Tuhan Yesus Kristus MAINFRAME terima kasih atas kasihnya didalam keluarga KMKO PERKAPALAN.
13. Kepada teman-teman KKN (Ayu,Annis,Didin,Filah,Karno,Nana,Iyan,Izza,dan Tiara) yang boleh menjadi bagian dari cerita bahagia dalam hidup penulis , Terima Kasih boleh saling mengenal lebih dekat, berbagi canda dan tawa bersama penulis.
14. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
15. 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, Februari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Kapal .....	6
2.2 Tahanan Kapal .....	10

2.3 Aliran Fluida .....	13
2.4 Vortex Generator.....	17
2.5 Autodesk CFD.....	19
2.6 Hukum Perbandingan Model Kapal.....	20
<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 Desain Vortex Generator .....	27
3.4.3 Pemodelan Kapal Cepat dengan Double Ogive Vortex Generator .....	28
3.4.4 Pemodelan Kapal .....	35
3.4.5 Simulasi Autodesk CFD.....	36
3.4.6 Verifikasi .....	39
3.4.7 Analisa Data .....	39
3.4.8 Kesimpulan .....	40
3.4.9 Kerangka Pikir .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Vortex Generator.....	42
4.2 Nilai Residual In dan Residual Out.....	44
4.3 Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure.....	45

4.3.1 Visualisasi Velocity Magnitude .....	45
4.3.1.1 Visualisasi Velocity Magnitude tanpa Ogive Vortex Generator.....	46
4.3.1.2 Visualisasi Velocity Magnitude Menggunakan Ogive Vortex Generator.....	51
4.3.2 Visualisasi Static Pressure.....	56
4.3.2.1 Visualisasi Static Pressure pada Model Kapal tanpa Ogive Vortex Generator.....	56
4.3.2.2 Visualisasi Static Pressure pada Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator.....	60
4.4 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	63
BAB V PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran.....	67
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)
$\vartheta$	= Viskositas kinematis ( m <sup>2</sup> /s)

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Model.....	26
Tabel 3.2 Ukuran Ogive Vortex Generator.....	27
Tabel 3.3 Ukuran Model Kapal Skala 1/15.....	33
Tabel 3.4 Ukuran Boundary layer Tangki Numerik Skala 1/15 .....	33
Tabel 3.5 Kecepatan Model dan Trim Buritan Model .....	34
Tabel 4.1 Residual In dan Residual Out Model Kapal tanpa Ogive Vortex Generator.....	40
Tabel 4.2 Residual In dan Residual Out Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator.....	41
Tabel 4.3 Luas Bidang Basah tanpa Ogive Vortex Generator .....	44
Tabel 4.4 Luas Bidang Basah Menggunakan Ogive Vortex Generator.....	49
Tabel 4.5 Average Static Pressure Model tanpa Ogive Vortex Generator.....	53
Tabel 4.6 Average Static Pressure Model Menggunakan Ogive Vortex Generator.....	56
Tabel 4.7 Hasil Tahanan Model Kapal dari Simulasi CFD Autodesk .....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Streamline yang Melintasi Satu Body.....	13
Gambar 2.2 Aliran Laminar .....	14
Gambar 2.3 Aliran Transisi .....	15
Gambar 2.4 Aliran Turbulen.....	15
Gambar 2.5 Bentuk Vortex Generator .....	17
Gambar 3.1 Linesplan Kapal pada Software Autocad.....	26
Gambar 3.2 Desain Ukuran dan arah ogive vortex generator.....	27
Gambar 3.3 Tampilan Awal model kapal tanpa double ogive vortex generator ..	28
Gambar 3.4 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Buritan .....	28
Gambar 3.5 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Haluan .....	29
Gambar 3.6 Proses Pembuatan Sebuah Bidang yang Menjadi Patokan Panjang Vortex Generator.....	29
Gambar 3.7 Proses Trimming Bagian Luar Bidang dan Penempatan Persegi pada Bawah Kapal .....	30
Gambar 3.8 Proses Pembuatan Vortex Generator pada Bidang Bantu.....	30
Gambar 3.9 Proses Pemiringan Vortex Generator.....	30
Gambar 3.10 Proses Penempelan Ogive Vortex Generator pada patokan Bidang Bantu pada Kapal .....	31
Gambar 3.11 Penampakan Ogive Vortex Generator Sudah Terpasang pada Kapal .....	31
Gambar 3.12 Penampakan Ogive Vortex Generator Yang Telah Terpasang dari Berbagai Sudut .....	32
Gambar 3.13 Hasil Model Closed Solid .....	32
Gambar 3.14 Pemodelan Kolam Uji .....	33
Gambar 3.15 Visual Terhadap Geometry Model Kapal .....	35
Gambar 3.16 Visualisasi Input Material .....	35
Gambar 3.17 Visualisasi Input Boundary Condition Model Kapal .....	36
Gambar 3.18 Visualisasi Mesh Sizing Model Kapal .....	36

Gambar 3.19 Visualisasi Terhadap Solve Model Kapal dan Boundary Layer .....	37
Gambar 3.20 Kerangka Pikir Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator tampak samping .....	43
Gambar 4.2 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator tampak bawah.....	43
Gambar 4.3 Pola Aliran Berdasarkan Velocity Magnitude dan Luas Bidang Basah Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator .....	45
Gambar 4.4 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator tampak samping.....	47
Gambar 4.5 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator tampak bawah.....	48
Gambar 4.6 Pola Aliran Berdasarkan Velocity Magnitude dan Luas Bidang Basah Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator .....	49
Gambar 4.7 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s .....	51
Gambar 4.8 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator Kcepatan 1,513 m/s .....	51
Gambar 4.9 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator Kcepatan 2,016 m/s .....	52
Gambar 4.10 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Ogive Vortex Generator Kcepatan 2,762 m/s .....	53
Gambar 4.11 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s .....	54
Gambar 4.12 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator Kcepatan 1,513 m/s .....	55
Gambar 4.13 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator Kcepatan 2,016 m/s .....	55
Gambar 4.14 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Ogive Vortex Generator Kcepatan 2,762 m/s .....	56

Gambar 4.15 Grafik hubungan kecepatan dan tahanan tanpa <i>vortex generator</i> ...	58
Gambar 4.16 Grafik hubungan kecepatan dengan tahanan menggunakan vortex generator .....	59
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Hasil Tahanan Menggunakan CFD Autodesk .....	59

## DAFTAR LAMPIRAN

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

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

**Lampiran 3.** Hasil *wall calculator drag force* model

**Lampiran 4.** Penentuan Skala Model

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara maritim terbesar di Dunia, oleh karena itu Indonesia juga mempunyai potensi yang sangat besar di bidang maritim itu sendiri, dengan kata lain Indonesia harus mempunyai banyak armada guna menunjang optimalisasi potensi tersebut. Pada nyatanya saat ini masih banyak hal yang harus diperbaiki guna menunjang hal tersebut, salah satu aspek yang masih butuh diperbaiki yakni besar hambatan kapal dalam hal pengoperasiannya. Salah satu tujuan utama dalam mendesain kapal adalah untuk memiliki sistem hemat energi dengan tahanan yang lebih rendah dan sistem propulsi yang lebih baik. Ini memastikan bahwa kapal akan memiliki kecepatan yang dikehendaki dengan menggunakan daya yang seminimal mungkin. Seperti diketahui, bahwa setiap benda yang bergerak akan mengalami gaya lawan (*resisting force*) yang biasa disebut sebagai tahanan [1]. Suatu bentuk kapal dengan tahanan yang kecil adalah menjadi tujuan perencana, sebab akan berarti pemakaian *horse power* menjadi hemat dengan akibat penghematan bahan bakar dan berat mesin penggerak lebih ringan. Oleh sebab itu diperlukan modifikasi pada lambung kapal seperti menggunakan *vortex generator* yang dapat menunda separasi dimana akan menurunkan *resisting force* sehingga dapat meningkatkan efisiensi. *Vortex Generator* biasanya digunakan pada kendaraan mobil dan pesawat.

Sementara itu, Anand et al [2] meneliti efektifitas *vortex generator* jenis *triangle vortex generator* yang diletakkan pada 10% *chord length* pada *airfoil* jenis NACA 0012. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil yaitu penggunaan *vortex generator* dapat menunda separasi pada dinding *airfoil*. Zhen [3] 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*). Nurfadhil [4] juga melakukan penelitian dengan didaptkannya hasil tahanan kapal dengan bantuan Autodesk CFD, dengan kondisi *trim* yang

diperhitungkan yaitu *trim* 0° hingga 3°. Besarnya pengurangan nilai tahanan model kapal yang terbesar terjadi pada kecepatan 2,016 m/s pada kondisi *trim* 2°, dimana perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan *double rectangular vortex generator* posisi bersilangan didepan lebih kecil 11,67% jika dibandingkan dengan model kapal tanpa menggunakan *double rectangular vortex generator* posisi bersilangan didepan. *Vortex Generator* (VG) merupakan salah satu jenis turbulent generator yang dapat mempercepat transisi dari *laminar boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*. Oleh karena itu, salah satu cara modifikasi lambung yang dapat menurunkan nilai tahanan kapal yaitu dengan pemasangan *vortex generator* pada lambung kapal.

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

## 1.2. Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar nilai tahanan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis program Autodesk CFD?
2. Bagaimana perbedaan nilai tahanan model kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis program Autodesk CFD?
3. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis program Autodesk CFD?

### 1.3. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Autodesk CFD.
2. Tipe kapal yang digunakan yaitu kapal cepat dengan model *planning hull*
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Variasi kecepatan yang digunakan adalah 0,75 m/s, 1,513 m/s, 2,016 m/s, dan 2,762 m/s, dengan kondisi trim berturut-turut 0°, 1°, 2°, 3°.
5. Jenis *vortex generator* yang digunakan untuk mempengaruhi nilai tahanan yaitu *double ogive* yang posisinya bersilangan arah di belakang.
6. Ukuran *vortex generator* disesuaikan pada lambung kapal agar terlihat seperti sirip dikaitkan dengan fungsi *vortex generator* pada kondisi *trim* maksimum.

### 1.4. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang posisinya bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis program Autodesk CFD.
2. Mengetahui perbedaan tahanan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang posisinya bersilangan arah di belakang.
3. Mengetahui karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis program Autodesk CFD.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah:

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double ogive vortex generator* yang posisinya bersilangan arah di belakang terhadap besar nilai tahanan kapal.

2. Sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal cepat yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double ogive vortex generator* yang bersilangan arah di belakang dengan pertimbangan nilai tahanan kapal.
3. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis program Autodesk CFD.

## **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 literatur 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

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.

Kapal cepat merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil, karakteristik *high-speed craft* dipengaruhi Froude numbernya [5]. Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis hydrofoils dan hovercraft, tetapi pada tahun 1990 jenis kapal cepat catamaran dan monohull menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang, tetapi untuk jenis catamaran dan monohull yang terbesar juga membawa mobil, bus, truk besar, dan lain-lain. Adapun jenis-jenis kapal cepat atau *high-speed craft* antara lain:

1. Hovercraft, adalah suatu kendaraan yang berjalan di atas bantalan udara (*air cushion*) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Hovercraft digunakan karena kapal ini melayang di atas permukaan air karena tekanan udara, cara kerjanya sudah benar-benar mirip dengan pesawat terbang. Gaya angkat yang terjadi pada badan kapal bukan dihasilkan dari hembusan *fan* yang dipasang pada bagian bawah kapal. Tapi lebih karena gaya aerodinamik yang dihasilkan karena kecepatan. Gaya ini dihasilkan oleh sayap yang terpasang pada sisi kanan dan kiri kapal.



**Gambar 2.1.** Kapal Hovercraft.

2. Hidrofoil, adalah sebuah kapal dengan bagian seperti sayap yang dipasang pada penyangga di bawah lambung kapal dapat dilihat pada Gambar 2.2. Ketika kapal meningkatkan kecepatannya, hidrofoil memproduksi gaya angkat sehingga lambungnya terangkat dan keluar dari air. Hal ini menyebabkan pengurangan gesekan antara lambung kapal dengan air dan oleh karena itu terjadi peningkatan kecepatan.



**Gambar 2.2.** Kapal Hidrofoil.

3. Katamaran, Kapal cepat berjenis katamaran muncul pada tahun 90-an. Kapal katamaran adalah kapal yang memiliki 2 lambung kapal atau memiliki 2 badan kapal dapat dilihat pada Gambar 2.3. Sampai saat ini jenis kapal ini banyak digunakan untuk kapal-kapal penumpang. Keuntungan lain dari katamaran selain stabil adalah kapal jenis ini memiliki badan yang sangat lebar karena jembatan (*bridge*) antara satu lambung dengan lambung yang lainnya digunakan sebagai tempat muatan.



**Gambar 2.3.** Kapal Katamaran

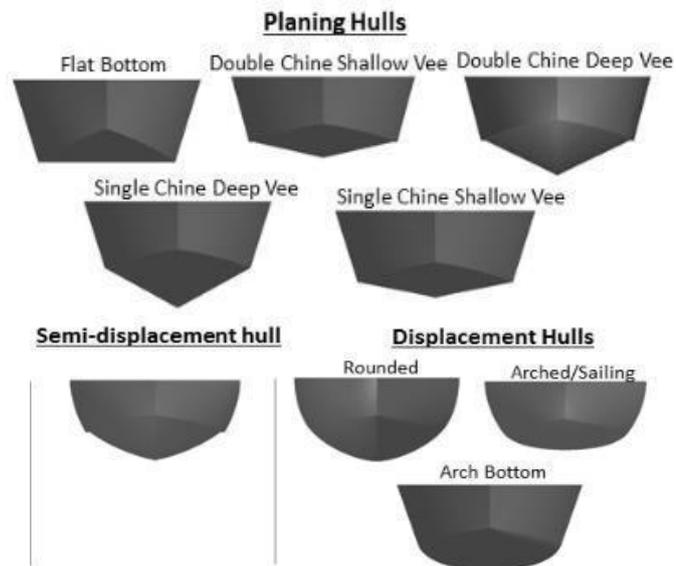
4. Monohull, Seperti namanya jenis kapal cepat ini memiliki lambung tunggal atau mono dapat dilihat pada Gambar 2.4. Kapal *monohull* menjadi populer di samping katamaran dalam periode waktu yang sama dengan demikian menambahkan banyak variasi untuk jenis kapal cepat yang ada. Alasan terpenting mengapa *monohull* digunakan adalah karena aspek stabilitas dari *ballast* (berat air yang ditambahkan untuk membuat kapal seimbang akibat gaya oleng).



**Gambar 2.4.** Kapal Monohull

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 (*hydrodynamic 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 [6].

Bentuk lambung di bagian bawah air umumnya diklasifikasikan dalam tiga kategori antara lain a). tipe *displacement hull* untuk kecepatan rendah, b). tipe *semi planing hull* untuk rentang kecepatan menengah, dan c). tipe *planning hull* untuk rentang kecepatan tinggi. Bentuk-bentuk tersebut disajikan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull, planing hull, semi-planing hull

Sumber : [7]

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 [6]. Rumus untuk mendapatkan nilai Froude number dapat dilihat pada persamaan (2.1).

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

Dimana :

Fn = Froude Number

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s)

L = Panjang kapal (m)

Dimana Froude number merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau lambat. Penggolongan kapal menurut Froude number yaitu;

- a. Kapal Lambat :  $Fn \leq 0,20$
- b. Kapal Sedang :  $Fn \geq 0,20$  dan  $\leq 0,35$
- c. Kapal Cepat :  $Fn \geq 0,35$

## 2.2. Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan 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 [8]. 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 atau 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 viskositas (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskositas. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, dapat dilihat pada persamaan (2.2) sampai (2.4) :

1) Angka Reynold (Reynold's number, Rn)

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

Dimana :

$\nu$  : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

$\nu$  : Viskositas air (m<sup>2</sup>/s)

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

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

(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 hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari

permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari ;

1) 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.

2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

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

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 (*Rough Resistance*)

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

c) Hambatan 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 [8], komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5).

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

Dimana:

$R_T$  = Tahanan Total (N)

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

$C_T$  = Koefisien tahanan total

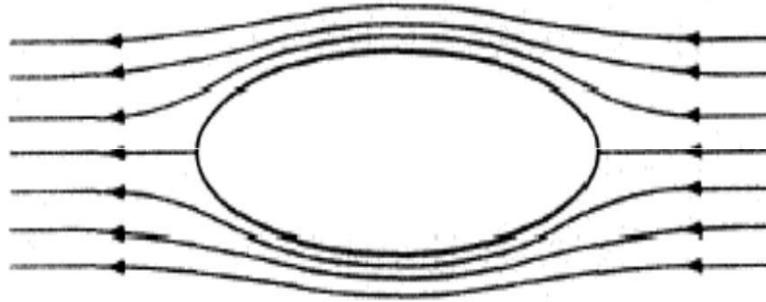
$S$  = Luas bidang basah ( $\text{m}^2$ )

$v$  = 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 2.6.



**Gambar 2.6** Aliran *streamline* yang melintasi suatu body

Sumber: [6]

Ketika fluida bergerak melintasi *body*, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massa-nya 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 diformulasikan, sebagai berikut [9]:

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

Dimana:

$P$  = Tekanan ( $N/m^2$ )

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

$h$  = Tinggi (m)

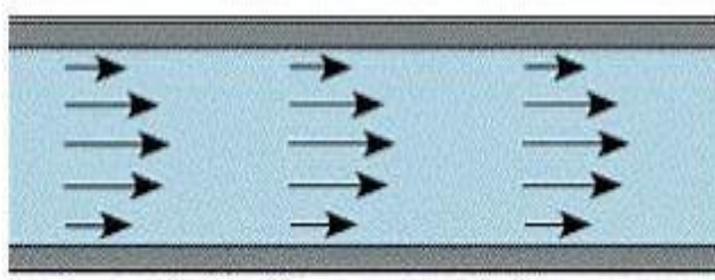
$g$  = Percepatan Gravitasi ( $m/s^2$ )

$V$  = Kecepatan (m/s)

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 *local* tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida [9].

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 [10].

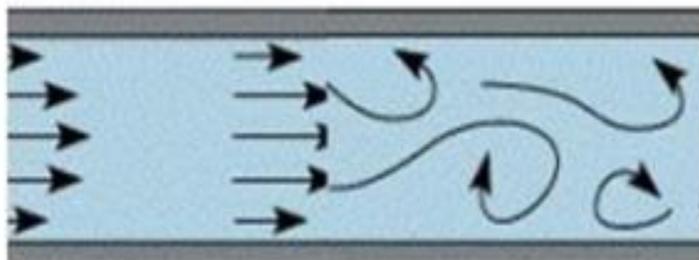
1. Aliran laminar ( $Re < 2300$ ) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan 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 [11].



**Gambar 2.7** Aliran Laminer.

Sumber: [11]

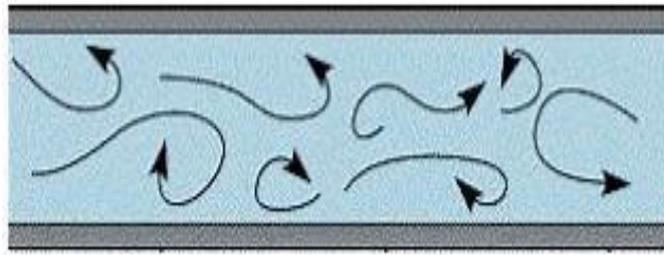
2. Aliran transisi ( $2300 > Re > 4000$ ) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak dapat dilihat pada Gambar 2.8, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi [11].



**Gambar 2.8** Aliran Transisi.

Sumber : [11]

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 dapat dilihat pada Gambar 2.9. 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 [11].



**Gambar 2.9** Aliran Turbulen

Sumber: [11]

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

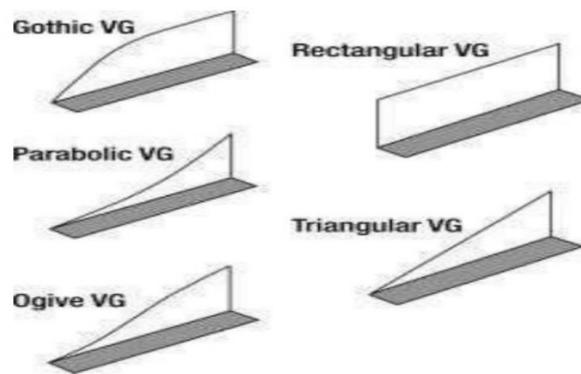
*Vortex Generator* (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan *stabilizer* ekor *unmanned aerial vehicle* (UAV) atau pesawat tanpa awak yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi *separation* [12]. *Vortex generator* juga merupakan permukaan tambahan yang dapat membentuk aliran *vortices* dengan arah paralel terhadap aliran utama. *Vortices* terbentuk karena adanya *strong swirling* dari *secondary flow*, yang diakibatkan oleh *flow separation* dan gesekan pada fluida.

Sedangkan menurut Sukoco [13], *vortex generator* memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian di setiap 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.

*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 temu (*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 [14].

Terdapat berbagai macam bentuk *vortex generator* yang digunakan, namun pada umumnya dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Bentuk Vortex Generator

Sumber: [15]

## 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* ( $K-\epsilon$ ) 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). 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 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
2. Matrix Solver

Penggunaan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) 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.

## 2.6. 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 bada 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 permukaannya rata disebut kondisi tangki. Hampir disemua tangki percobaan tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar [8]. Tekanan udara didalam tangki percobaan harus diturunkan.

Bila kapal sedang berlayar dilaut permukaan air luas tak berhingga dan dianggap dalam tak berhingga. Ukuran model kolam terbatas, dan ukuran model kapal kecil sebanding dengan ukuran tangki atau 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 ( $\lambda$ ) dapat dilihat pada persamaan (2.7) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.7)$$

Dimana :

$\lambda$  = 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 tangki percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

$$L_m < T \text{ tangki}$$

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

2) HARVALD:

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

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

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

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

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

$$A_{o m} < 0,4 A_o \text{ tangki}$$

Dimana :

$$B = \text{lebar (m)}$$

$$T = \text{sarat (m)}$$

$$L = \text{panjang (m)}$$

$$A_o = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$$

## 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), dapat dilihat pada persamaan (2.8) sampai dengan (2.11).

$$Fr_m = Fr_s \quad (2.8)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (2.9)$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m} \quad (2.10)$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \quad (2.11)$$

Dimana :

- Fr = angka froude
- $L_s$  = panjang kapal (m)
- $L_m$  = panjang model (m)
- $V_s$  = kecepatan kapal (m/s)
- $V_m$  = kecepatan model (m/s)
- g = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $\lambda$  = 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 Reynold model sama dengan angka Reynold kapal dapat dilihat pada persamaan (2.12) sampai dengan (2.15).

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

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

$$V_m = V_s \cdot L_s / L_m \quad (2.14)$$

$$V_m = V_s \cdot \lambda \quad (2.15)$$

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 atau kolam percobaan serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Hubungan antara lebar tangki dan lebar model sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa :

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

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

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