

# SKRIPSI

## *STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR : POSISI BERLAWANAN*

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar  
Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin**

*Disusun dan Diajukan Oleh :*

SYAIFUL

D031 18 1023



**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**G O W A**

**2024**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT DOUBLE TRIANGULAR  
VORTEX GENERATOR: POSISI BERLAWANAN ARAH**

Disusun dan diajukan oleh:

**SYAIFUL**

**D031 18 1023**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian

Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 14 Maret 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Muhammad Akbar Asis, ST., MT.**  
NIP: 19950501 202101 5 001

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 : Syaiful  
NIM : D031 18 1023  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE TRIANGULAR  
VORTEX GENERATOR: POSISI BERLAWANAN ARAH”

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.

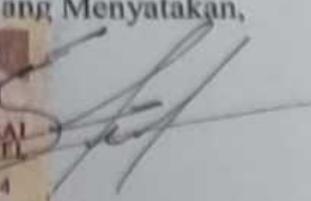
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul 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, 13 Maret 2024

Yang Menyatakan,

  
Syaiful



## ABSTRAK

**Syaiful**, “*Studi Tahanan Kapal Akibat Double Triangular Vortex Generator: Posisi Berlawanan Arah*” (Dibimbing oleh **Rosmani** dan **Muhammad Akbar Asis**)

Salah satu komponen yang harus dipertimbangkan dalam mendesain kapal yakni tahanan kapal. Agar meminimalisir besarnya nilai tahanan kapal juga dapat dilakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan *Vortex Generator*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *vortex generator* dan tanpa *vortex generator* serta mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi di sepanjang lambung kapal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan bantuan software *Maxsurf Modeller* dan *Rhinoceros 7* untuk pemodelan, serta *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)* dalam melakukan proses analisis nilai tahanan kapal. Hasil penelitian ini menunjukkan besarnya nilai tahanan akibat penambahan *vortex generator* dibandingkan dengan tanpa *vortex generator*. Melalui penelitian ini diketahui terjadi pengurangan nilai tahanan model kapal pada kondisi trim  $0^\circ$  hingga  $3^\circ$  dengan adanya penambahan *vortex generator*. Dengan persentase pengurangan terbesar terjadi pada kondisi trim  $1^\circ$  yaitu 25,65% lebih kecil dibanding dengan model kapal tanpa *vortex generator* dengan menggunakan kecepatan 1,513 m/s.

**Kata Kunci:** Tahanan Kapal, *Vortex Generator*, dan *Autodesk CFD*



## ABSTRACT

**Syaiful**, “*Study of Ship Resistance Due To Double Triangular Vortex Generator: Position In The Opposite Direction*” (Supervisor by **Rosmani and Muhammad Akbar Asis**)

*One of the components that must be considered in designing a ship is the ship's resistance. To minimize the amount of ship resistance value, modifications can also be made to the hull, namely by installing a Vortex Generator. Therefore, this study aims to determine the comparison of ship resistance values using vortex generators and without vortex generators and determine the characteristics of fluid flow that occurs along the hull. The methods used in this study are numerical methods with the help of Maxsurf Modeller and Rhinoceros 7 software for modeling, as well as Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) in carrying out the process of analyzing ship resistance values. The results of this study show the magnitude of the resistance value due to the addition of a vortex generator compared to without a vortex generator. Through this study, it is known that there is a reduction in the resistance value of the ship model under trim conditions of  $0^\circ$  to  $3^\circ$  with the addition of a vortex generator. With the largest percentage reduction occurring in  $1^\circ$  trim condition, which is 25,65% smaller than the ship model without a vortex generator using a speed of 1,513 m/s.*

**Keywords:** *Ship Resistance, Vortex Generator, and Autodesk CFD*



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmattulahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini. Berdasarkan hasil seminar proposal, judul penelitian yang dikaji adalah

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH *DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR*: POSISI BERLAWANAN ARAH”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terimah kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang sangat penulis cintai Ayahanda Arifin Rangan dan Ibunda Nurmiana, atas segala dukungan, kesabaran, pengorbanan, semangat, materi dan doanya yang tak henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
2. Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT. selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal sekaligus pembimbing I dan bapak Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin dan bapak Ir. Lukman Bochary, ST., selaku penguji, yang mana saran-saran diberikan sangat membantu dalam pengembangan penyusunan tugas akhir ini



4. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing. selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.
5. Seluruh staf Departemen Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
6. Seluruh Dosen Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya dalam membimbing penulis baik dalam menuntut ilmu.
7. Kepada kakak saya Ichsan dan kedua adik saya Muspira dan Rosniar yang membuat penulis semangat sebagai seorang saudara.
8. Segenap keluarga besar THRUZTER 2018, yang telah bersama-sama berjuang melewati segala naik dan turunnya gelombang dan pasang surut air laut, dinamika kehidupan perkuliahan di jurusan perkapalan ini. Hingga memberi pengalaman hidup yang sangat berarti bagi penulis, yang akan selalu menjadi motivasi serta pembatas diri bagi penulis. Tetaplah sederhana dalam bingkai keluarga yang tak akan berakhir sampai usia tua.
9. Kepada HMDP FT-UH dan segenap warganya penulis ucapkan banyak terimakasih atas segala pewartahannya, mulai dari penulis sebagai mahasiswa baru hingga penulis berada pada tahap ini. Terimakasih telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk bisa belajar, bekerja dan berkarya demi jayanya Perkapalan.
10. Kepada Kabinet Revolusi dan OKFT-UH yang telah memberikan penulis pengalaman yang berharga sebagai seorang mahasiswa. Kesan bersama mengabdikan untuk Teknik adalah kesan yang tidak akan dilupakan oleh penulis. Terimakasih untuk kesempatan yang sangat besar dalam membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih dewasa dan menyadarkan penulis bahwa hidup tidak akan terhindarkan dari masalah.
11. Kepada teman-teman RB Squad walaupun terkadang tingkah laku kalian sangat tidak berkenan di hati penulis, akan tetapi penulis tetap saja akan memaafkan serta mendoakan kalian sebagai seorang saudara. Terimakasih untuk motivasi serta materi yang setiap hari penulis dapatkan dari kalian.



Dimanapun kalian berpijak tetaplah berbahagia, karena kita keluarga Rumah Bahagia.

12. Kepada segenap kakanda senior dan adinda junior yang telah penulis repotkan serta susahkan selama menuntut ilmu dan berbagi pengalaman di Jurusan Perkapalan ini.
13. Serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu, terutama bagi support system yang telah menemani penulis dalam susah maupun senang, meskipun akhirnya tidak dapat menemani sampai akhir.

Penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Wa'alaikumus salam warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, 12 Desember 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
<b>BAB I - PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
<b>BAB II - LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Kapal .....	5
2.1.1 Kapal Cepat.....	5
2.1.2 Planning Hull .....	6



2.2 Tahanan Kapal .....	8
2.2.1 Komponen Tahanan .....	8
2.3 Aliran Fluida .....	11
2.3.1 Jenis-Jenis Aliran Fluida .....	14
2.3.2 Boundaray Layer .....	16
2.4 Vortex Generator .....	18
2.5 Autodesk CFD .....	20
2.6 Hukum Perbandingan .....	24

### BAB III - METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	24
3.2 Jenis Penelitian .....	24
3.3 Metode Pengumpulan Data .....	24
3.4 Metode Pengolahan Data .....	25
3.4.1 Data Kapal .....	25
3.4.2 Pemodelan Kapal Menggunakan Double Triangular Vortex Generator .....	26
3.4.3 Simulasi Autodesk CFD .....	34
3.4.5 Verifikasi .....	37
3.4.6 Analisa Data .....	38
3.4.7 Kesimpulan .....	38
3.4.8 Kerangka Pikir .....	39



## BAB IV – ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Vortex Generator.....	40
4.1.1 Penentuan Skala Mode.....	40
4.1.2 Visualisasi Velocity Magnitude .....	42
4.2 <i>Initial Condition</i> .....	43
4.3 <i>Mesh Independence Study</i> .....	44
4.4 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> .....	45
4.5 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i> .....	47
4.5.1 Visualisasi Velocity Magnitude .....	47
4.5.2 Visualisasi Pola Aliran dan Luas Bidang Basah.....	56
4.5.3 Visualisasi <i>Static Pressure</i> .....	69
4.6 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	79

## BAB V – PENUTUP

5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	81

DAFTAR PUSTAKA .....	83
----------------------	----

## LAMPIRAN



**DAFTAR NOTASI**

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
B	= Lebar kapal (m)
T	= Tinggi kapal (m)
$\Delta$	= Displacement (ton)
Fn	= Froude Number
v	= Kecepatan (m/s)
g	= Percepatan Gravitasi (m/s)
Rn	= Angka Renold
$\nu$	= Viskositas air (kg/(m·s))
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> )
R	= Jari-jari (m)

Viskositas kinematis (m<sup>2</sup>/s)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori <i>displacement hull</i> , <i>planing hull</i> , <i>semi-planing hull</i> .....	7
Gambar 2	Contoh Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu <i>body</i> .....	11
Gambar 3	Contoh Aliran Fluida dari suatu <i>sub-marged body</i> .....	14
Gambar 4	Contoh Aliran Laminer .....	15
Gambar 5	Contoh Aliran Transisi .....	16
Gambar 6	Contoh Aliran Turbulen .....	16
Gambar 7	Boundary layer laminar dan turbulen.....	17
Gambar 8	Profil kecepatan boundary layer laminar dan turbulen di dekat permukaan .....	18
Gambar 9	Bentuk Bentuk Vortex Generator.....	20
Gambar 10	Lines Plan Kapal Pada Software Autocad.....	25
Gambar 11	Tampilan Awal Model Kapal Pada <i>Software Rhinoceros 7</i> .....	26
Gambar 12	Penggambaran Batas Panjang <i>Vortex Generator</i> .....	27
Gambar 13	Proses Pembuatan <i>Surface</i> .....	27
Gambar 14	Proses <i>Trim</i> Pada <i>Surface</i> di Luar Model Kapal .....	28
Gambar 15	Tampilan <i>Double Triangular Vortex Generator</i> .....	28
Gambar 16	Proses Pemasangan <i>Vortex Generator</i> Pada Model Kapal .....	29
Gambar 17	Tampilan <i>Vortex Generator</i> Yang Sudah Terpasang.....	29
Gambar 18	Tampilan Model Setelah <i>Closed Solid</i> .....	30
Gambar 19	Pemodelan Kolam Uji .....	31
Gambar 20	Kondisi Model tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	32
Gambar 21	Kondisi Model menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	33
Gambar 22	Visual Tahap <i>Geometry</i> Model .....	34
Gambar 23	Visualisasi Input Material .....	35
Gambar 24	Visualisasi Input <i>Boundary Condition</i> .....	35
Gambar 25	Visualisasi <i>Mesh Sizing</i> Model Kolam Uji.....	36
Gambar 26	Visualisasi <i>Mesh Sizing</i> Model Kapal .....	36
Gambar 27	Visualisasi Tahap Solve .....	37
Gambar 28	Hasil Simulasi Model Kapal.....	38



Gambar 29	Kerangka Pikir Penelitian.....	39
Gambar 30	Sketsa Peletakan <i>Vortex Generator</i> .....	42
Gambar 31	Hasil Pemodelan Kapal .....	43
Gambar 32	Perbandingan nilai tahanan terhadap jumlah mesh .....	44
Gambar 33	Hasil Simulasi Pada Kecepatan 0,75 yang tidak <i>Konvergen</i> .....	45
Gambar 34	Hasil Simulasi Pada Kecepatan 0,75 yang tidak <i>Konvergen</i> .....	46
Gambar 35	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,750 m/s dengan Trim 0°.....	48
Gambar 36	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513m/s dengan Trim 1° .....	49
Gambar 37	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	50
Gambar 38	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3° .....	51
Gambar 39	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	52
Gambar 40	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan Trim 1° .....	53
Gambar 41	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	54
Gambar 42	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	55
Gambar 43	Pola aliran pada lambung model kapal.....	56
Gambar 44	Visualisasi Pola Aliran tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	57
Gambar 45	Visualisasi Pola Aliran tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan Trim 1° .....	58
Gambar 46	Visualisasi Pola Aliran tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	60
Gambar 47	Visualisasi Pola Aliran tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	61



Gambar 48	Visualisasi Pola Aliran menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	63
Gambar 49	Visualisasi Pola Aliran menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan Trim 1°. .....	64
Gambar 50	Visualisasi Pola Aliran menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	66
Gambar 51	Visualisasi Pola Aliran menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	67
Gambar 52	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	70
Gambar 53	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan Trim 1°. .....	71
Gambar 54	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	72
Gambar 55	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	73
Gambar 56	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	74
Gambar 57	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan Trim 1°. .....	75
Gambar 58	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2°. .....	77
Gambar 59	Visualisasi <i>Static Pressure</i> tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3°. .....	78
Gambar 60	Grafik Perbedaan Tahanan model kapal tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> dan menggunakan <i>vortex generator</i> .....	80



## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Ukuran Utama Kapal .....	25
Tabel 2	Ukuran Vortex Generator.....	26
Tabel 3	Ukuran Model Kapal dengan Skala 1:15 .....	30
Tabel 4	Ukuran Model Vortex Generator dengan skala 1:15 .....	31
Tabel 5	Ukuran Kolam Pengujian dengan Skala 1:15 .....	31
Tabel 6	Kecepatan Model Kapal Tiap Kondisi.....	33
Tabel 7	Data Ukuran Model Kapal Hasil Penskalaan.....	41
Tabel 8	Ukuran Kolam Eksperimen ( <i>Boundary Layer</i> ).....	42
Tabel 9	Data Input yang Digunakan ybtyk melakukan simulasi .....	43
Tabel 10	Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i> model kapal tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> dan menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	46
Tabel 11	<i>Velocity Magnitude</i> Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	48
Tabel 12	<i>Velocity Magnitude</i> Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 1,153 m/s dengan Trim 1° .....	49
Tabel 13	<i>Velocity Magnitude</i> Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	50
Tabel 14	<i>Velocity Magnitude</i> Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	51
Tabel 15	<i>Velocity Magnitude</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	52
Tabel 16	<i>Velocity Magnitude</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 1,153 m/s dengan Trim 1° .....	53
Tabel 17	<i>Velocity Magnitude</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	54
Tabel 18	<i>Velocity Magnitude</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	55
	Luas Bidang Basah Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> dan Menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	68



Tabel 20	<i>Static Pressure</i> tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	69
Tabel 21	<i>Static Pressure</i> tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 1,153 m/s dengan Trim 1° .....	70
Tabel 22	<i>Static Pressure</i> tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	71
Tabel 23	<i>Static Pressure</i> tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	72
Tabel 24	<i>Static Pressure</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 0,75 m/s dengan Trim 0° .....	74
Tabel 25	<i>Static Pressure</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 1,153 m/s dengan Trim 1° .....	75
Tabel 26	<i>Static Pressure</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,016 m/s dengan Trim 2° .....	76
Tabel 27	<i>Static Pressure</i> Menggunakan <i>Vortex Generator</i> Kecepatan 2,762 m/s dengan Trim 3° .....	78
Tabel 28	Pengurangan Tahanan Model Kapal tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i> dan Menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	79



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Offset lines Plan Model Kapal
- Lampiran 2 Keterangan Bar Warna Hasil Simulasi
- Lampiran 3 Visualisasi *Velocity Magnitude*
- Lampiran 4 Visualisasi Pola Aliran pada Autodesk CFD
- Lampiran 5 Visualisasi *Static Pressure*
- Lampiran 6 Nilai *Static Pressure*
- Lampiran 7 Hasil *Wall Calculator Drag Force Model*
- Lampiran 8 Penentuan Skala Model



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia secara Geografi berbentuk kepulauan, banyak pulau-pulau kecil yang sejak lama terisolir karena kurangnya infrastruktur yang dibutuhkan untuk distribusi sumber daya. Presiden Joko Widodo dalam programnya mengusulkan visi untuk mengembangkan Indonesia dari “periferi” dengan Program bernama Tol Laut pada tahun 2015. Tentu komponen paling berpengaruh dalam program ini adalah Kapal.

Kelancaran transportasi laut di Indonesia sangat dipengaruhi oleh kondisi gelombang di perairan kepulauan Indonesia. Sementara itu, kondisi gelombang di kepulauan Indonesia itu sangat dipengaruhi oleh angin monsoon Asia-Australia dan swell yang datang dari Samudra Hindia dan Pasifik. Pemanasan global akan meningkatkan kekuatan angin monsoon dan intensitas dan frekuensi kejadian siklon tropis. Bagi Indonesia hal tersebut berarti meningkatnya tingkat bahaya bagi pelayaran antar pulau.

Salah satu yang menjadi perhatian penting bagi seorang desainer kapal adalah bagaimana perilaku kapal dilaut dalam kaitan dengan kecepatan kapal yang tetap pada kondisi gelombang. Kondisi laut yang bergelombang dapat menyebabkan terjadinya gerakan kapal dan pada gilirannya gerakan kapal akan menimbulkan tahanan tambahan. Kemampuan untuk mempertahankan kecepatan pada saat berlayar adalah salah satu tujuan utama dalam mendesain alat transportasi laut. *Added resistance* atau hambatan tambahan menjadi sangat penting karena meningkatnya permintaan dalam kecepatan transportasi. Istilah *added resistance* digunakan untuk menggambarkan fenomena kehilangan energi karena adanya gelombang sebagai akibat dari gerakan kapal karena gelombang laut( M. Ridwan

(1)

esarnya tahanan kapal bergantung pada bentuk lambung. Salah satu lambung yang menjadi tantangan saat ini yakni *Planning hull* yang memiliki



karakteristik tahanan yang berbeda dengan adanya gaya hidrodinamika yang lebih dominan dan fenomena yang kompleks di bawah lambung. Salah satu cara untuk mengurangi gaya hidrodinamika yang berdampak pada tahanan kapal dengan pemasangan *Vortex Generator*. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari laminar *boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*.

*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 *separasi 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 laminar boundary layer menjadi turbulent boundary layer (Ulul Azmi 2015).

*Vortex generator* memiliki beberapa bentuk diantaranya Gothic VG, Rectangular VG, Parabolic VG, Ogive VG dan Triangular VG. Adapun bentuk yang dijadikan sebagai objek penelitian Triangular VG. Triangular VG dipilih karena bentuk tersebut lazim digunakan dalam penelitian dan mudah dalam pembuatannya. Selain pemilihan bentuk juga dilakukan dilakukannya modifikasi pada pemasangan Triangular VG yakni posisi berlawanan dengan arah kapal.

Berdasarkan uraian dari pembahasan sebelumnya, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH *DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR*: POSISI BERLAWANAN ARAH”**.



## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang terkait dengan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *double triangular vortex generator* yang berlawanan arah terhadap tahanan model kapal berdasarkan simulasi program *Autodesk CFD*?
2. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang model lambung kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double triangular vortex generator* yang berlawanan arah berdasarkan simulasi program *Autodesk CFD*?

## 1.3. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode numerik dengan bantuan proses simulasi pada software *Autodesk CFD*.
2. Tipe kapal yang digunakan yaitu kapal cepat dengan model *planning hull*.
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Kondisi yang digunakan yaitu pada kecepatan 0,75 m/s saat trim 0°, 1,513 m/s saat trim 1°, 2.016 m/s saat trim 2°, dan 2.762 m/s saat trim 3°.
5. Komponen tambahan untuk mempengaruhi tahanan yaitu *vortex generator* jenis *double triangular* yang posisinya berlawanan arah.

## 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan nilai tahanan model kapal yang menggunakan dan tidak menggunakan *double triangular vortex generator*.
2. Menentukan 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:

sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double triangular vortex generator* yang posisinya berlawanan arah.



2. Sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal cepat yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double triangular vortex generator* yang berlawanan arah dengan mempertimbangkan nilai tahanan model 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, serta 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.

#### 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

Indonesia yang merupakan negara maritim terbesar di dunia. Hampir dua pertiga wilayah Indonesia terdiri dari laut dan sisanya adalah pulau. Sifat maritim itu sendiri lebih mengarah pada terwujudnya aktivitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploitasi, pelayaran, pengangkutan barang, dan penyeberangan antar pulau. Dalam menunjang konektivitas antar pulau di Indonesia, sangat diperlukan alat transportasi jalur laut yang memadai. Kapal yang digunakan sebagai moda transportasi penghubung antar daerah/pulau diantaranya menggunakan kapal penyeberangan jenis kapal cepat.

#### 2.1.1. Kapal Cepat

Kapal cepat (*high-speed craft*) merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil. Menurut J. Lawrence (1985), Rosmani (2013) mengatakan karakteristik *high-speed craft* dipengaruhi *Froude Number*nya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Oleh karena itu, bilangan *Froude number* ( $F_n$ ) sering digunakan sebagai parameternya.

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

Dimana:

- v = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi ( $m/s^2$ )
- L = Panjang Kapal

Dimana *Froude Number* merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau lambat.

Penggolongan kapal menurut *Froude Number* yaitu;

- Kapal Lambat : Kapal berlayar dengan  $F_n \leq 0,20$
- Kapal Sedang : Kapal berlayar dengan  $F_n \geq 0,20$  dan  $\leq 0,35$
- Kapal Cepat : Kapal berlayar dengan  $F_n \geq 0,35$

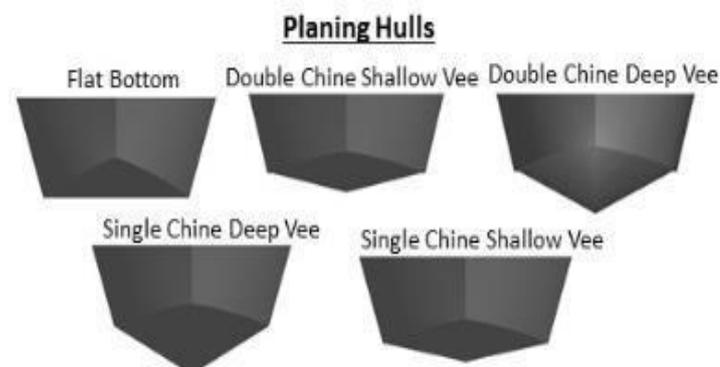


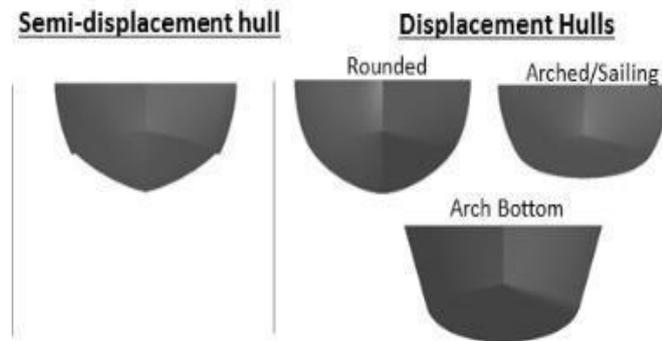
Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis *hydrofoils* dan *hovercraft*, tetapi pada tahun 1990 jenis kapal cepat catamaran dan monohull menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang, tetapi untuk jenis catamaran dan monohull yang terbesar juga membawa mobil, bus, truk besar, dan lain-lain.

### 2.1.2. Planing Hull

Kapal planning merupakan salah satu jenis 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 yang 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. (Pradipta Rahman Hakim, IKAP Utama, 2018)

Bentuk lambung untuk kapal-kapal seperti ini tampak dari 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 1.





**GAMBAR 1** Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori *displacement hull*, *planing hull*, *semi-planing hull*

Kapal cepat (*planing hull*) terdiri dari gaya gesek (*friction*) dan gaya vertikal (*induced drag*), dimana hambatan geseknya lebih dominan dari total hambatan. Fenomena ini membuat para ahli kapal terinspirasi untuk menciptakan desain kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu belakangan ini banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: *air cushion vehicles* (ACV), *seaplanes*, *wing-in-ground effect* (WIG) *craft*, *planning hydrofoil ships*, *surface effect ships* (SES) dan kapal *Stolkraft*. Jenis kapal cepat tersebut memiliki karakteristik operasional dan keunggulan tertentu serta banyak diaplikasikan sebagai kapal patroli, kapal penyelamat, kapal penumpang, kapal riset dan kapal pesiar (Jamaluddin,2012).

Menurut A. Haris Muhammad (2009), Penelitian awal hidrodinamika kapal tipe *planning hull* telah dimulai di Amerika Serikat (AS) sejak 40 tahun yang lalu. Penelitian ini awalnya bertujuan untuk merencanakan sebuah *aircraft* (*flying boat*) dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan teknologi, konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan *planning hull*. Di Indonesia, kapal tipe *planning hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan

lambung dengan alas rata serta garis muat (*sarat*) yang rendah sangat penting. Dengan desain lambung kapal tipe *planning hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik (Rosmani.2013).



## 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 (Harvald, 1992). 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/estimasi biaya operasional kapal.

### 2.2.1. Komponen Tahanan

William Froude (1867) pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu tahanan sisa (residual) dan tahanan gesek (*friction*). Tahanan sisa dalam hal ini meliputi komponen *wave-making system energies*, *eddy* dan *viscous energy losses* akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek suatu pelat dasar, dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal (Sutiyo, 2014).

Komponen tahanan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana tahanan total merupakan penjumlahan tahanan gesek ( $R_f$ ) dengan hambatan sisa ( $R_R$ ) sehingga, didapat persamaan (Sutiyo, 2014):

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.2)$$

Dimana,

$R_{TM}$  : Tahanan total model dari percobaan

$R_{FM}$  : Tahanan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model.

$R_{RM}$  : Tahanan sisa dari model

na dapat ditentukan dari:

$$R_{FM} = f S V^n \quad (2.3)$$

ana,



$f S V^n$  : Konstanta fungsi dari panjang dan sifat permukaan

Untuk 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 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 Reynolds (*Renold's number, Rn*)

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas yang mengkualifikasikan hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi laminar dan turbulent. Rumus bilangan Reynolds sebagai berikut :

$$Rn = \frac{V \times L}{\nu} \quad (2.4)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

$\nu$  : Viskositas air (cP)

Koefisien gesek (*friction coefficient, Cf*)

$$Cf = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^{\sqrt{2}}} \quad (2.5)$$



(Merupakan formula dari ITTC)

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

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \quad (2.6)$$

Dimana  $L$  adalah panjang antara garis tegak kapal (m) dan  $V_s$  adalah kecepatan kapal (m/s)

- 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 dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada di atas 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.



c. Tahanan Total (*Total Resistance*)

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

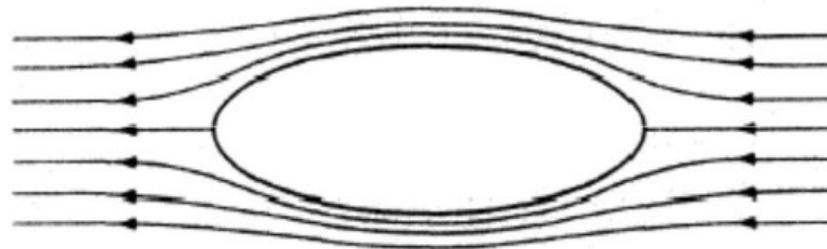
$$RT = \rho CT S v^2 \quad (2.7)$$

Dimana:

- RT = Tahanan Total (N)
- $\rho$  = Massa jenis Fluida (Kg/m<sup>3</sup>)
- CT = Koefisien tahanan total
- S = Luas bidang basah (m<sup>2</sup>)
- 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. Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



**GAMBAR 2** Contoh 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, sebabkan aliran massa-nya di dalam streamlines tersebut adalah konstan. 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 (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.8)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Di Dalam 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 lokal yang bekerja pada *body* tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh *body*. Gaya – gaya lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (Suryo W. Adji, 2009).

Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter – parameter non-dimensional. Dimana angka tersebut dapat meng-karakteristikan aliran dan gaya – gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat – sifat fluidanya. Sifat – sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ $\rho$ ], Viskositas [ $\mu$ ], Tekanan Statis Fluida [ $p$ ]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [ $R$ ], Kecepatan adalah [ $V$ ], dan Panjang adalah [ $L$ ], maka Tahanan kapal dalam Analisa dimensional dapat diformulasikan sebagai berikut (Sutyio W. Adji, 2009):

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (2.9)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi formulasi tersebut diatas, masih dapat diekspresikan ke bentuk *fundamental dimensions*; Dimensi Waktu [ $T$ ], Dimensi Massa [ $M$ ], dan Dimensi Panjang [ $L$ ]. Sebagai contoh Tahanan Kapal [ $R$ ] adalah gaya, sehingga memiliki dimensi fundamental [ $MLT^{-2}$ ] dan Massa Jenis [ $\rho$ ] memiliki dimensi [ $ML^{-3}$ ], dan sebagainya, maka dengan men-subtitusi keseluruhan

ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[ L^a \left( \frac{L}{T} \right)^b \left( \frac{M}{L^3} \right)^c \left( \frac{M}{LT} \right)^d \left( \frac{L}{T^2} \right)^e \left( \frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \quad (2.10)$$



Dari persamaan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental, yakni persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkat yang diketahui dan yang lainnya dengan angka pangkat yang tidak diketahui. Untuk persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkatnya tidak diketahui, maka dapat digolongkan menjadi tiga ekspresi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[ \left( \frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, \left( \frac{gL}{V^2} \right)^e, \left( \frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.11)$$

Maka, persamaan keseluruhan dari Tahanan (*resistance*) dapat ditulis sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[ f_1 \left( \frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, f_2 \left( \frac{gL}{V^2} \right)^e, f_3 \left( \frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.12)$$

Sehingga melalui Analisa terhadap ekspresi tersebut diatas, dapat diindikasikan bahwa kombinasi *non-dimensional* yang signifikan adalah (Suryo W. Adji, 2009) :

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2}, VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (2.13)$$

Dari ketiga rasio tersebut diatas, diperoleh *Resistance Coefficient* (CT), *Reynold Number* (Re), *Froude Number* (Fn). Sedangkan rasio yang keempat adalah mempunyai relasi terhadap Kavitasi (catatan: Hal ini akan dibahas kemudian). Pada topik tahanan kapal, yang paling sering digunakan adalah angka Re dan Fn (Suryo W. Adji, 2009).

Rasio  $\mu/\rho$  adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi  $\nu$ . Jika  $L^2$  pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama tersebut adalah merupakan luasan basah dari *body*, yang dinotasikan dengan  $S$ , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f \left( \frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (2.14)$$

Dan Tahanan Kapal (*Resistance*) dapat diformulasikan dengan ekspresi sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009).

$$R = \frac{1}{2} \rho C_R V^2 S \quad (2.15)$$

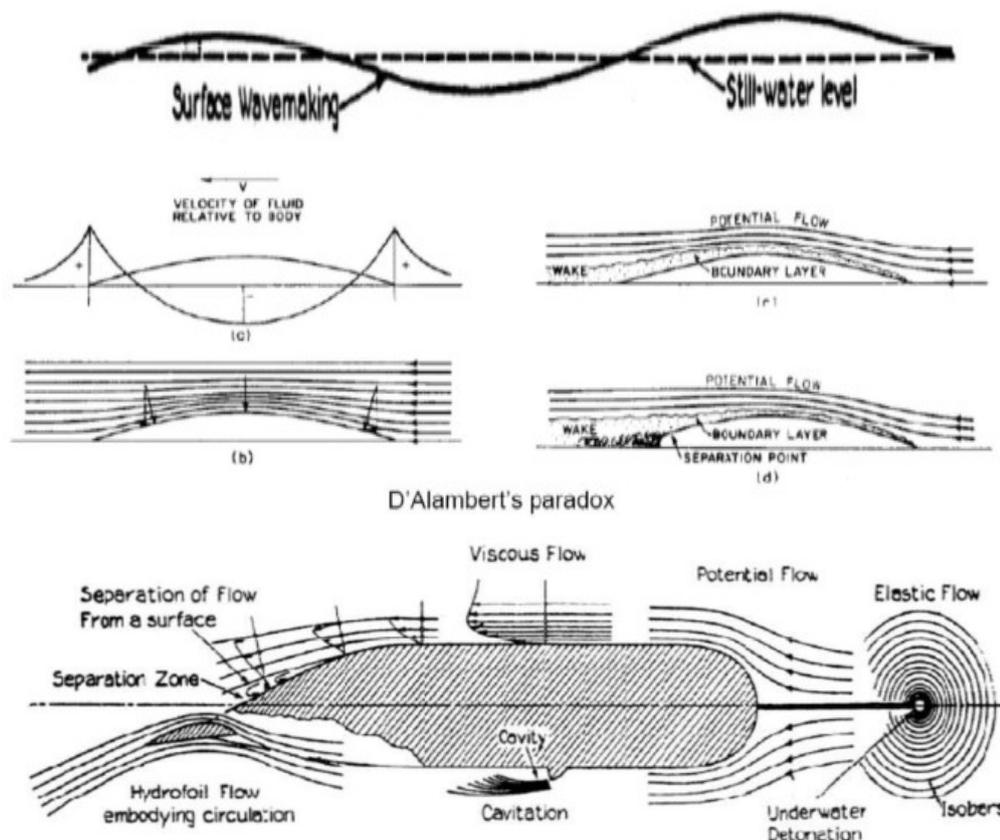


Dimana,  $C_R$  adalah Koefisien Tahanan Kapal yang merupakan fungsi dari  $Re$  dan  $Fn$ .

Atau dapat dituliskan dengan (Suryo W. Adji, 2009).

$$C_R = C_R(Re, Fn) \quad (2.16)$$

Beberapa contoh pola aliran fluida dari suatu *sub-merged body* (*no wave*) (Suryo W. Adji, 2009):



**GAMBAR 3** Contoh aliran fluida dari suatu *sub-merged body*

Sumber: Suryo W. Adji, 2009

### 2.3.1. Jenis- jenis Aliran Fluida

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap fenomena ini adalah bentuk lambung kapal. Dimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang mana akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar dan turbulen.

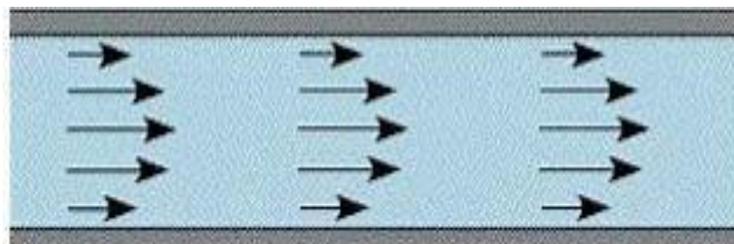


*Skin friction* memiliki nilai proporsional dengan besar luasan basah. *Skin friction drag* pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen atau campuran antara keduanya (Sardjadi,2003).

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 dikenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi,2003). Sehingga dapat dijabarkan bahwa:

1. Aliran Laminar ( $Re < 2300$ ),

Aliran laminar 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).



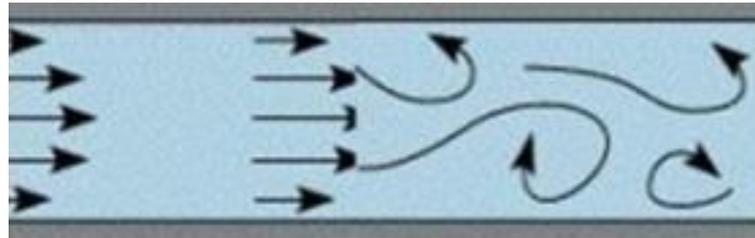
**GAMBAR 4** Aliran Laminar.

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 nyata kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



**GAMBAR 5** 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 6** Aliran Turbulen

Sumber: Senoaji,2015

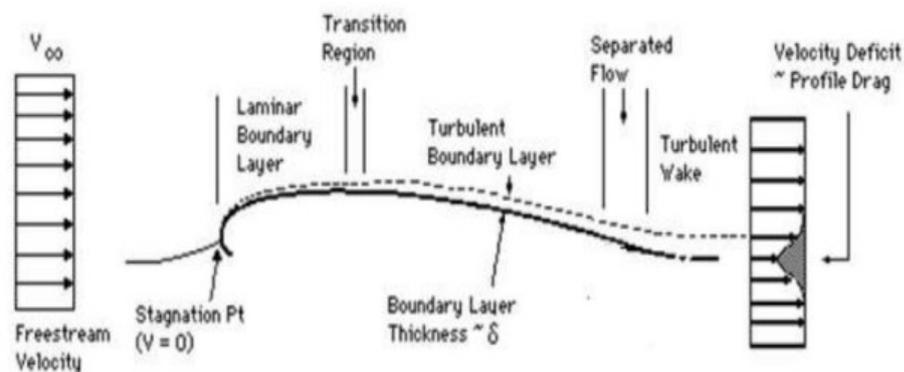
### 2.3.2. Boundary Layer

Berdasarkan karakteristiknya, *boundary layer* digolongkan menjadi boundary layer laminar dan turbulen. Umumnya klasifikasi ini bergantung gangguan-gangguan yang dapat dialami oleh suatu aliran yang dipengaruhi gerak dari partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran punyai kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *viscous*, gangguan



yang mungkin dialami oleh medan aliran akibat getaran, ketidakrataan permukaan batas, dan sebagainya relatif cepat terendam oleh viskositas fluida tersebut maka *boundary layer* digolongkan sebagai *boundary layer* laminar. Semakin jauh dari jarak leading edge, maka kemampuan fluida untuk meredam gangguan menjadi semakin kecil sehingga keadaan peralihan (*transition state*) akan tercapai. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi semakin kuat, dimana partikel bergerak fluktuatif atau acak dan terjadi percampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatasan. Kondisi yang demikian disebut *boundary layer turbulen*.

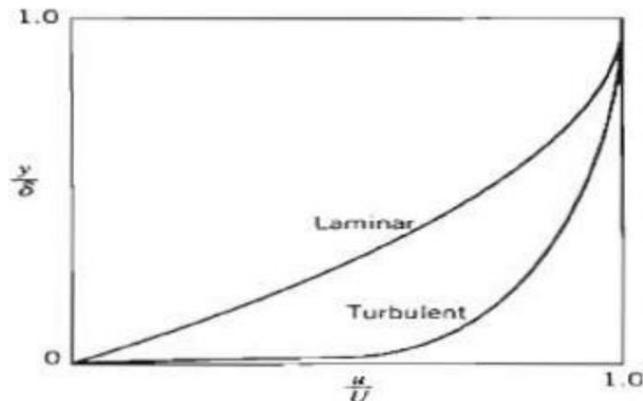
Pada airfoil tekanan dan kecepatan yang dimiliki oleh aliran berubah di sepanjang permukaan *airfoil*. Pada umumnya pada *leading edge* dari suatu *airfoil*, *boundary layer* yang terbentuk adalah laminar. Seiring dengan pertumbuhan *boundary layer*, akan terjadi peralihan dari *boundary layer* laminar menjadi *boundary layer turbulen* seperti gambar 7.



**GAMBAR 7** *Boundary layer* laminar dan turbulen (Anderson, 2001)

Perbedaan yang mendasar antara *boundary layer* laminar dan turbulen adalah olakan pada *boundary layer* turbulen jauh lebih efektif dalam pengangkutan massa serta momentum fluidanya. Bila diamati secara visual, perbedaan antara *boundary layer* laminar dan turbulen dari profil kecepatan *boundary layer* turbulen lebih landai di daerah dekat dinding daripada profil kecepatan *boundary layer* laminar seperti gambar 8.





**GAMBAR 8** Profil kecepatan *boundary layer* laminar dan turbulen di dekat permukaan (Fox dkk, 2010).

#### 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 di sekitar 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).

Menurut Vasantha Kumar, solusi menambah *vortex generator* dapat menghindari separasi yang terjadi pada permukaan sayap (G. Vasantha Kumar 2016. Dalam hal ini diambil solusi menambah *vortex generator* karena tidak merubah konfigurasi secara signifikan dan lebih hemat.

Dalam dinamika fluida, vorteks adalah sebuah daerah di dalam fluida dimana aliran sebagian besar bergerak memutar pada terhadap sumbu yang imajiner. Pusaran sangat tinggi di wilayah inti sekitar sumbu dan hampir nol di ujung pusaran; sementara tekanan turun tajam saat mendekati wilayah itu. Setelah terbentuk, vorteks dapat berpindah, meregang, berputar, dan berinteraksi secara

Sebuah vorteks bergerak membawa serta momentum sudut dan linear, dan massa di dalamnya. Pola gerakan disebut Aliran Vorteks.



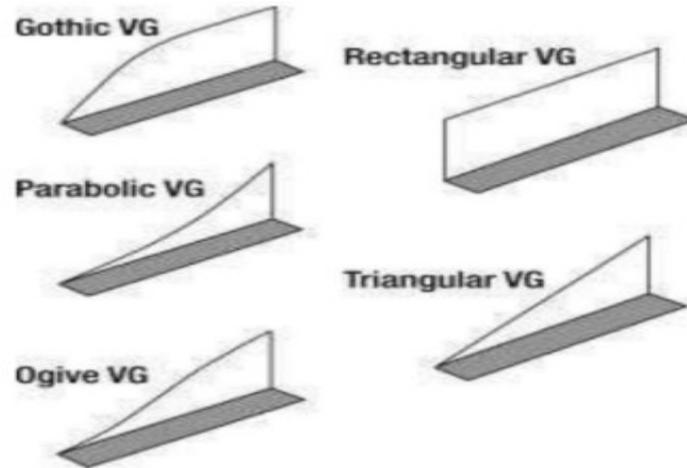
Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), *vortex generator* memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian di setiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua *vortex generator* berfungsi seperti 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, 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 yang digunakan dapat dilihat pada gambar 9.





**GAMBAR 9** Bentuk bentuk *Vortex Generator*

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

## 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.

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas (Widayatno, Utama KAP, 2011)

Manfaat dan keuntungan dari penggunaan metode CFD yaitu:

1. Mengurangi biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.



2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).

Perangkat lunak Autodesk CFD melakukan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD), memungkinkan insinyur dan analisis membuat prediksi informasi mengenai perilaku cairan dan gas. Perangkat lunak CFD ini menggunakan *Finite Element Method* (FEM), suatu teknik numerik untuk memecahkan *Partial Differential Equations* (PDEs) dalam dua atau tiga dimensi spasial. Ini menghasilkan sistem persamaan aljabar untuk variabel tergantung pada titik atau node diskrit pada setiap elemen. Begitu pula, menganalisis objek fisik dengan membaginya menjadi banyak elemen hingga menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA), suatu metode analitis terkomputerisasi. Autodesk CFD utamanya menggunakan FEM karena kemampuannya untuk memodelkan berbagai bentuk geometris, termasuk elemen linear dan tetrahedral 3D (*unstructured grids*). Hal ini mempertahankan fleksibilitas geometris bawaan dalam Autodesk CFD.

PDEs yang mewakili persamaan kontinuitas dapat diungkapkan dengan cara berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Dimana,  $\rho$  adalah massa jenis,  $t$  adalah waktu,  $u$  adalah komponen kecepatan dalam arah  $x$ ,  $v$  adalah komponen kecepatan dalam arah  $y$ , dan  $w$  adalah komponen kecepatan dalam arah  $z$ .

Selanjutnya, persamaan untuk Momentum- $X$ , Momentum- $Y$ , dan Momentum- $Z$  diperoleh berdasarkan persamaan kontinuitas dengan cara berikut.

Persamaan Momentum- $X$  disajikan sebagai berikut:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} + \rho g_x - \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial x} \left[ 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial \tau}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial \tau}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{DR} \quad (2)$$



Persamaan Momentum-Y diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial \rho v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\ & = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ & + S_\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (3)$$

Persamaan Momentum-Z diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\ & = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] \\ & + S_\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana,  $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$  adalah percepatan gravitasi dalam arah  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\mu$  adalah viskositas,  $S_\omega$  adalah aliran rotasi, dan  $S_{DR}$  adalah istilah resistansi terdistribusi

Pada persamaan momentum terdapat dua istilah sumber,  $S_\omega$  untuk koordinat berputar dan  $S_{DR}$  untuk resistansi terdistribusi. Ekspresi umum untuk istilah resistansi terdistribusi adalah sebagai berikut:

$$S_{DR} = - \left( K_i + \frac{f}{D_H} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C \mu V_i \quad (5)$$

Dimana,  $V$  mewakili kecepatan,  $i$  menunjukkan arah koordinat global (persamaan momentum  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ),  $f$  merupakan faktor gesekan,  $d$  menunjukkan diameter hidrolis, dan  $C$  melambangkan permeabilitas. Istilah faktor  $K$  dapat diterapkan pada satu persamaan momentum pada satu waktu karena setiap arah memiliki faktor  $K$  yang berbeda. Dua jenis resistansi lainnya memengaruhi setiap persamaan momentum secara seimbang.

$$S_\omega = -2\rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (6)$$

Dimana,  $\omega$  adalah kecepatan rotasi dan  $r$  adalah jarak dari sumbu rotasi.

Model turbulensi, penelitian ini menggunakan fungsi dinding atau  $k-\varepsilon$  dan energi kinetik turbulen ( $k-\varepsilon$ ), di mana  $k$  adalah energi kinetik per unit



massa dan  $\varepsilon$  adalah dissipasi turbulen yang cocok untuk interaksi aliran eksternal tak dapat dimampatkan dengan geometri kompleks.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulen *K-Epsilon* ( $K-\varepsilon$ ) 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 turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

Kemampuan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaanya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. Terdapat tiga langkah umum dalam proses simulasi pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut.

#### 1. *Pre-Processor*

Tahapan ini merupakan awal ketika akan melakukan proses simulasi. Pada tahap ini terdiri dari penggambaran model serta pembuatan mesh yang sesuai. Penggambaran model dapat dilakukan di luar software simulasi atau dapat juga melakukan penggambaran model pada software simulasi tersebut. Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

#### *Solver Manager*

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan terasi atau perhitungan terhadap kondisi-kondisi batas yang telah



ditentukan dalam tahapan *preprocessing*. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program. Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

### 3. *Post Processor*

*Postprocessing* adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang berupa data, gambar, grafik ataupun animasi. Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti grafik, vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.

## 2.6. Hukum Perbandingan

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

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, walupun 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.

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi-dimensi linear model. Misalnya hubungan kapal dan model yang dinyatakan dengan skala ( $\lambda$ ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.17)$$

mana :

= skala perbandingan

= 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 :
  - $L_m < T$  tangki
  - $L_m < \frac{1}{2} B$  tangki
- 2) Harvald:
  - $B_m < 1/10 B$  tangki
  - $T_m < 1/10 T$  tangki
- 3) University of new castle :
  - $L_m < \frac{1}{2} b$  tangki
  - $B_m < 1/15 B$  tangki
  - $Ao_m < 0,4 Ao$  tangki

## 2. Kesamaan Kinematis

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

$$Fr_m = Fr_s \quad (2.18)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (2.19)$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m} \quad (2.20)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \quad (2.21)$$

mana :



Fr	=	angka froude
$L_s$	=	panjang kapal (m)
$L_m$	=	panjang model (m)
$V_s$	=	kecepatan kapal (m/dt)
$V_m$	=	kecepatan model (m/dt)
g	=	percepatan gravitasi (9,81 m/dt <sup>2</sup> )
$\lambda$	=	skala model

### 3. Kesamaan Dinamis

Jika percobaan model yang dilakukan dimaksudkan 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 :

$$Re_m = Re_s \quad (2.22)$$

$$\frac{V_m L_m}{\nu} = \frac{V_s L_s}{\nu} \quad (2.23)$$

$$V_s = V_m L_m/L_s \quad (2.24)$$

$$V_s = V_m \lambda \quad (2.25)$$

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

