

**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *DOUBLE GOTHIC*
VORTEX GENERATOR POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Strata 1 (S1)

Sarjana Teknik Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



OLEH:

AHMAD KLISTIANTO

D03 118 1313

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Judul Skripsi

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *DOUBLE GHOTIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL

Disusun oleh:

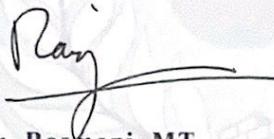
AHMAD KLISTIANTO

D031 18 1313

Gowa, 3 Maret 2023

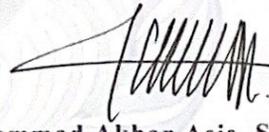
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T.
NIP: 19950501 202101 1 001

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 : Ahmad Klistianto
NIM : D031 18 1313
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *DOUBLE GHOTIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL”

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

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

Gowa, 3 Maret 2023

Yang Menyatakan,



Ahmad Klistianto

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *DOUBLE GOTHIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL

Ahmad Klistianto, Rosmani, Muhammad Akbar Asis
Departemen Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRAK

Dewasa ini, trend desain kapal cepat mengalami perubahan atau modifikasi guna mendapatkan desain kapal yang menjamin performa dan meminimalisir nilai tahanan kapal, Salah satu cara yakni penambahan *vortex generator*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan 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 komputasi dengan bantuan software *Maxsurf Modeller* dan *Rhinoceros 6* untuk pemodelan, serta *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)* dalam penentuan nilai tahanan kapal. Hasil yang didapat terjadi pengurangan tahanan kapal dengan penambahan *vortex generator*. Trend pengurangan tahanan kapal pada setiap kecepatan berbeda. Pada kecepatan 0.75 m/s dengan F_nV 0.239 pengurangan relatif kecil dengan persentase 7.71%. Akan tetapi pada kecepatan 2.762 m/s dengan F_nV 2.816 terjadi pengurangan tahanan yang besar dengan persentase 18.67%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *vortex generator* terbukti dapat mengurangi tahanan kapal dan dapat berfungsi optimal pada kecepatan 2.762 m/s

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

STUDY OF SHIP RESISTANCE DUE TO ADDITION DOUBLE GOTHIC VORTEX GENERATOR LEADERSHIP POSITION ON THE SHIP'S HULL

Ahmad Klistianto, Rosmani, Muhammad Akbar Asis
Departement Of Naval Architecture
Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Indonesia
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRACT

Nowdays, the trend of high speed craft design is changing or modifying in order to get a ship design that guarantees performance and minimizes the value of ship resistance. One way is to add vortex generator. Therefore this study aims to determine the resistance value of the ship using vortex generator and without vortex generator and know the characteristics of the fluid flow that occurs along the ship hull.

Method used in this study is a computational method with the help of softwareMaxsurf Modeller andRhinoceros 6 for modeling, as wellAutodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) in determining the value of the ship's resistance. The results obtained are a reduction in ship resistance with the addition of a vortex generator. The trend of reducing ship resistance at each different speed. At a speed of 0.75 m/s with F_nV 0.239 the reduction is relatively small with a percentage of 7.71%. However, at a speed of 2.762 m/s with an F_nV of 2.816, there is a large reduction in resistance with a percentage of 18.67%. So it can be concluded that the vortex generator is proven to be able to reduce ship resistance and can function optimally at a speed of 2,762 m/s.

Keywords: Ship Resistance, Vortex Generator, andAutodesk 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 PENAMBAHAN *DOUBLE GOTHIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL”

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 di sekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Mukhlis dan Ibunda Rahmi, atas segala pengorbanan, kesabaran, nasehat, materi, support dan terutama doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

2. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing I dan bapak Muhammad Akbar Asis, S.T., MT. selaku pembimbing II yang telah senantiasa mengarahkan serta membimbing penulis dalam pengerjaan skripsi ini
3. Bapak Prof. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal.
5. Bapak Farianto Fachruddin L., ST.,MT. selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.
6. Bapak Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng. dan Bapak Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, selaku penguji dalam tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen Departemen Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin
8. Seluruh staf Departemen Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
9. Kepada teman-teman angkatan saya THRUZTER 2018, terima kasih telah memberi pengalaman tentang rasa kebersamaan dan kekeluargaan sehingga menjadi pengalaman hidup yang sangat berharga selama penulis menuntut ilmu di kampus
10. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi ANDROMAX 2018, terima kasih untuk segala masukan dan dukungan yang telah diberikan selama ini. untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita pasti dapat melewatinya.
11. Kepada saudara-saudara grup RB (RUMAH BAHAGIA) terima kasih atas segala kebersamaan, suka dan duka yang kita alami bersama selama ini. Semoga kita senantiasa bahagia dimanapun berada.
12. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tidak bisa sebutkan satu persatu.

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

Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenaan untuk membaca dan mempelajarinya.

Wa'alaikumussalam warahmatullahi wabarakatuh

Gowa, February 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

BAB I - PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	4

BAB II - LANDASAN TEORI

2.1 Kapal Cepat.....	5
2.2 Tahanan Kapal	6
2.3 Aliran Fluida Berdasarkan Prinsip Bernoulli.....	9

2.4 Vortex Generator	15
2.5 Autodesk CFD	17
2.6 Hukum Perbandingan.....	19

BAB III – METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2 Jenis Penelitian.....	22
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	22
3.4 Metode Pengolahan Data	22
3.4.1 Data Kapal	23
3.4.2 Pemodelan Kapal Cepat Dengan Double Gothic Vortex Generator Posisi sejajar.....	24
3.4.3 Simulasi Autodesk CFD	30
3.4.4 Verifikasi.....	34
3.4.5 Analisa Data.....	35
3.4.6 Kesimpulan	35
3.4.7 Kerangka Pikir	36

BAB IV – ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Vortex Generator.....	37
4.2 Deskripsi Pra-Analisis.....	38
4.3 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i>	39
4.4 Perbandingan Velocity Magnitude dan Pola Aliran.....	40
4.4.1 Kecepatan 0.75 m/s dengan kondisi trim even keel.....	40

4.4.2 Kecepatan 1.513 m/s dengan kondisi trim 1°	43
4.4.3 Kecepatan 2.016 m/s dengan kondisi trim 2°	46
4.4.4 Kecepatan 2.762 m/s dengan kondisi trim 3°	49
4.5 Perbandingan <i>Static Pressure</i> dan Pola Aliran	51
4.5.1 Kecepatan 0.75 m/s dengan kondisi trim even keel	52
4.5.2 Kecepatan 1.513 m/s dengan kondisi trim 1°	53
4.5.3 Kecepatan 2.016 m/s dengan kondisi trim 2°	54
4.5.4 Kecepatan 2.762 m/s dengan kondisi trim 3°	56
4.6 Prediksi Tahanan Model Kapal	57

BAB V – PENUTUP

5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froude Number Volume
V	= Volume kapal (m^3)
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
Rt	= Tahanan total (KN)
Lr	= Skala model
Lm	= Panjang model (m)
VG	= <i>Vortex generator</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Aliran streamline yang melintasi suatu body</i>	10
Gambar 2.2	<i>Contoh aliran fluida dari sub-merged body</i>	13
Gambar 2.3	<i>Aliran Laminer</i>	14
Gambar 2.4	<i>Aliran Transisi</i>	14
Gambar 2.5	<i>Aliran Turbulent</i>	15
Gambar 2.6	<i>Angle of attack pada vortex generator</i>	16
Gambar 2.7	<i>bentuk Vortex Generator</i>	17
Gambar 3.1	<i>Lines Plan Kapal Pada Software Autocad</i>	23
Gambar 3.2	<i>Tampilan awal model kapal tanpa vortex generator pada maxsurf</i>	24
Gambar 3.3	<i>Tampilan awal model kapal tanpa vortex generator pada Rhinoceros</i>	25
Gambar 3.4	<i>Proses pembuatan surface</i>	25
Gambar 3.5	<i>Proses trim pada Surface di luar model kapal</i>	26
Gambar 3.6	<i>Tampilan gothic vortex generator pada rhinoceros</i>	26
Gambar 3.7	<i>Tampilan double gothic vortex generator pada bagian surface bottom</i>	27
Gambar 3.8	<i>Tampilan model dengan menggunakan double gothic vortex generator</i>	27
Gambar 3.9	<i>Hasil model close solid</i>	28
Gambar 3.10	<i>Pemodelan kolam uji</i>	29
Gambar 3.11	<i>Kondisi trim 3° model kapal tanpa menggunakan Vortex Generator</i>	29
Gambar 3.12	<i>Visualisasi tahap geometry kapal dan boundary layer</i>	30
Gambar 3.13	<i>Visualisasi input material model kapal</i>	31
Gambar 3.14	<i>Visualisasi input boundary condition model kapal</i>	32

Gambar 3.15	Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal dan <i>boundary layer</i>	33
Gambar 3.16	Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal.....	33
Gambar 3.17	Visualisasi <i>input solve result quantitation</i>	34
Gambar 3.18	Visualisasi tahap solve kapal dan <i>boundary layer</i>	34
Gambar 3.19	Kerangka pikir penelitian	36
Gambar 4.1	Sketsa Peletakan dan ukuran <i>Double Gothic Vortex Generator</i> .	37
Gambar 4.2	Sketsa sudut lengkungan <i>Double Gothic Vortex Generator</i>	38
Gambar 4.3	Visualisasi <i>Double Gothic Vortex Generator</i> Posisi sejajar.....	38
Gambar 4.4	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 0.75 m/s	40
Gambar 4.5	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 0.75 m/s...	41
Gambar 4.6	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 1.513 m/s	43
Gambar 4.7	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 1.513 m/s	45
Gambar 4.8	<i>Visualisasi Velocity Magnitude Planes</i> 2.016 m/s.....	46
Gambar 4.9	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2.016 m/s	48
Gambar 4.10	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 2.762 m/s	49
Gambar 4.11	Pola Aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2.762 m/s	51
Gambar 4.12	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 0.75	52
Gambar 4.13	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 1.513	53
Gambar 4.14	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 2.016	55
Gambar 4.15	<i>Visualisasi velocity magnitude planes</i> kecepatan 2.762	56

Gambar 4.16 Grafik perbandingan tahanan tanpa menggunakan <i>double gothic vortex generator</i> dan menggunakan <i>double gothic vortex generator</i>	58
Gambar 4.17 Grafik persentase perbedaan	59
Gambar 4.18\ Grafik persentase peningkatan kecepatan	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran utama kapal	23
Tabel 3.2 Ukuran <i>gothic vortex generator</i>	24
Tabel 3.3 Ukuran model skala 1/15.....	28
Tabel 3.4 Ukuran tangka pengujian skala 1/15	28
Tabel 3.3 Kecepatan model tiap kondisi	30
Tabel 4.1 Nilai <i>Froude number</i> volume model kapal	38
Tabel 4.2 Nilai <i>residual in</i> dan <i>residual out</i> model kapal	39
Tabel 4.3 Presentasi perbandingan tahanan model kapal tanpa menggunakan <i>double gothic vortex generator</i> dan menggunakan <i>double gothic vortex generator</i>	58

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Tabel Offset lines Plan Model Kapal
- Lampiran 2.** Kondisi trim model kapal
- Lampiran 3.** Statistik Jumlah *Elemen Mesh*
- Lampiran 4.** Ukuran dan bentuk *mesh sizing*
- Lampiran 5.** Hasil *Wall Calculator Drag Force Model*
- Lampiran 6.** Penentuan Skala Model

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

Karena kecepatan kapal cepat tergolong tinggi maka untuk meminimalisir kecelakaan kapal dalam merencanakan desain lambung harus memperhatikan aspek tahanan yang dihasilkan oleh kapal cepat. Tahanan berperan penting dalam pengoperasian kapal cepat, semakin cepat kapal semakin tinggi pula tahanan yang dihasilkan oleh kapal tersebut. Untuk meminimalisir tahanan pada kapal cepat akan dilakukan penambahan *Vortex Generator*. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari laminar boundary layer menjadi turbulent boundary layer.

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

Vortex generator memiliki beberapa bentuk diantaranya Gothic VG, Rectangular VG, Parabolic VG, Ogive VG dan Triangular VG. Adapun bentuk yang dijadikan sebagai objek penelitian Gothic VG. Gothic VG dipilih karena bentuk tersebut lazim digunakan dalam penelitian dan mudah dalam pembuatannya. Selain itu Gothic VG juga memiliki bentuk yang aerodinamis yang mengakibatkan sebaran aliran kecepatan lebih efisien dan juga sebaran tekanan yang terjadi pada gothic VG rendah (Luvan Ardiansyah, 2021). Selain pemilihan bentuk juga dilakukan dilakukan modifikasi pada pemasangan Gothic VG yakni posisi sejajar pada lambung kapal.

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian di atas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian serupa dengan judul penelitian: **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN *DOUBLE GOTHIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka, rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran fluida di sepanjang badan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?
2. Berapa besar nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tidak menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?
3. Bagaimana perbandingan tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu adanya batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah analisa. Adapun batasan masalah penelitian, sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software *Autodesk CFD*

2. Model dan data kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dan data kapal cepat dengan model *planning hull*
3. Simulasi pengujian kapal dilakukan pada kondisi air tenang (*still-water*).
4. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan 0.75 m/s, 1/513 m/s, 2.016 m/s dan 2.762 m/s
5. Komponen tambahan hanya *vortex generator*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik aliran fluida yang dihasilkan di sepanjang lambung kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.
2. Mengetahui besar nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.
3. Menentukan perbandingan tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai perbandingan tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *Double Gothic Vortex Generator yang sejajar*.
2. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang kapal cepat menggunakan *Double Gothic Vortex Generator* yang sejajar pada kaitannya dengan cara mengurangi tahanan kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori – teori Gambaran wilayah penelitian, berbagai 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 Cepat

Kapal cepat merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil. Secara umum, kapal cepat membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena resistance kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal.

Menurut J. Lawrence (1985), dalam Rosmani (2013) mengatakan karakteristik kapal cepat dipengaruhi Froude Numbernya. Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Oleh karena itu, bilangan Froude number (Fn) sering digunakan sebagai parameternya. Froude number didefinisikan sebagai berikut:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- v = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- L = Panjang Kapal

FnV didefinisikan sebagai berikut

$$FnV = \frac{v}{\sqrt{g_{x(V/3)}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- v = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- V = Volume kapal (m³)

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 : Kapal berlayar dengan $Fn \leq 0,20$

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

2.2 Tahanan Kapal

Tahanan (*resistance*) kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Tahanan kapal sama dengan suatu gaya karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika semata-mata disebabkan oleh pergerakan relatif kapal terhadap air. Untuk mengatasi tahanan tersebut, maka kapal membutuhkan sejumlah daya dorong sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya. Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada badan kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang berada di atas permukaan air laut. Hambatan-hambatan tersebut merupakan komponen tahanan kapal yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan.

Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah :

a. Tahanan Gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut 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 :

$$R_n = \frac{v \times L}{\nu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

ν : Viskositas air (cP)

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

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

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.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari :

a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

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

b) Tahanan kekasaran

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

c) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

Tahanan yang terjadi akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. (Arwini, 2018)

c. Tahanan Total (*Total Resistance*)

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

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 . \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m³)

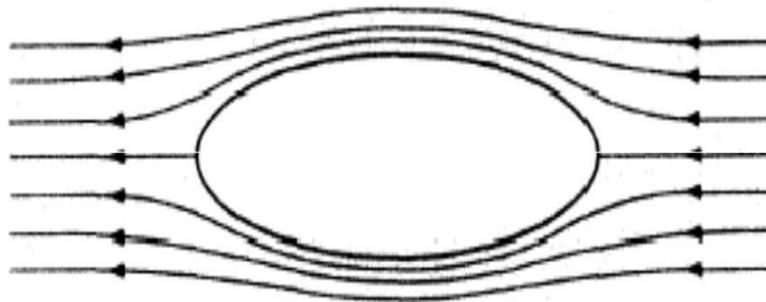
C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m²)

v = Kecepatan (m/s)

2.3 Aliran Fluida Berdasarkan Prinsip Bernoulli

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 2.1*



Gambar 2.1 Aliran *streamline* yang melintasi suatu body

Sumber: Suryo W.Adji, 2009

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massa-nya di dalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernoulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \dots\dots\dots (2.7)$$

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 [ρ], Viskositas [μ], 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 (*Sutiyo W. Adji, 2009*):

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \dots\dots\dots (2.8)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi formulasi tersebut di atas, 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 [ρ] memiliki dimensi [ML^{-3}], dan sebagainya, maka dengan men-subtitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[L^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{M}{L^3} \right)^c \left(\frac{M}{LT} \right)^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e \left(\frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

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*):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\mu}{\rho VL} \right)^d , \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e , \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \dots\dots\dots (2.10)$$

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

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho VL} \right)^d , f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e , f_3 \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

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

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2} VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dari ketiga rasio tersebut di atas, diperoleh *Resistance Coefficient* (C_T), *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 μ/ρ adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi ν . 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 di atas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho S V^2} = f\left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2}\right) \dots\dots\dots (2.13)$$

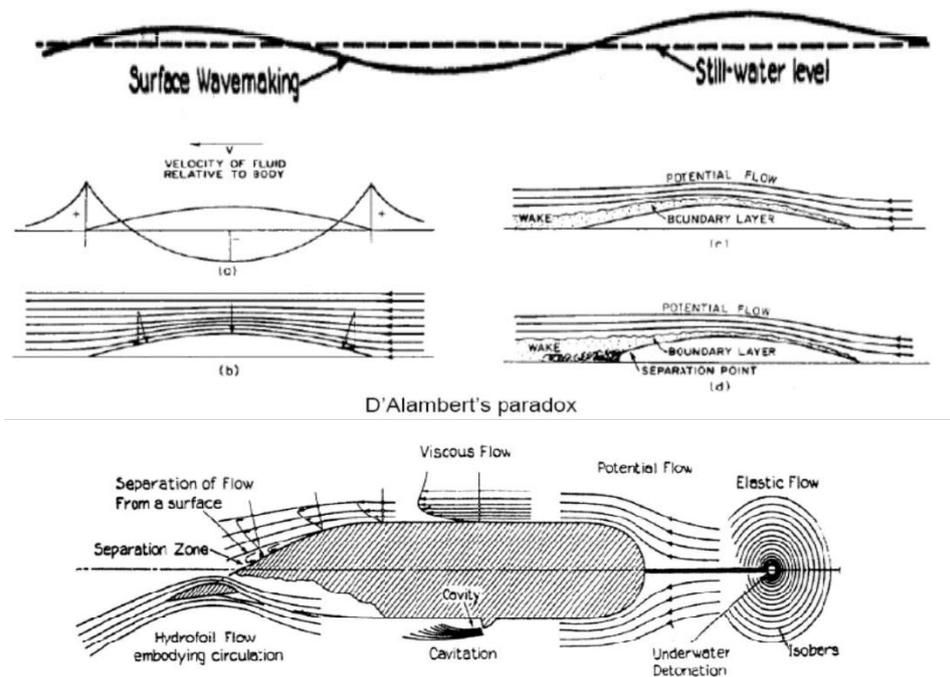
Dan Tahanan Kapal (Resistance) dapat diformulasikan dengan ekspresi di bawah ini (Suryo W. Adji, 2009):

$$R = \frac{1}{2} \rho C_R V^2 S \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana, C_R adalah Koefisien Tahanan Kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn . Atau dapat dituliskan dengan (Suryo W. Adji, 2009):

$$C_R = C_R (Re, Fn) \dots\dots\dots (2.15)$$

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



Gambar 2.2 Contoh aliran fluida dari suatu *sub-merged body*

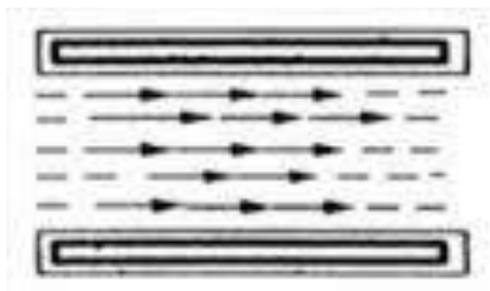
Sumber: Suryo W. Adji, 2009

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulenta. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah *skin friction* yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar dan turbulenta. Skin friction memiliki nilai proporsional dengan besar luasan basah. Skin friction drag pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulenta atau campuran antara keduanya (Sardjadi,2003).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulenta, 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

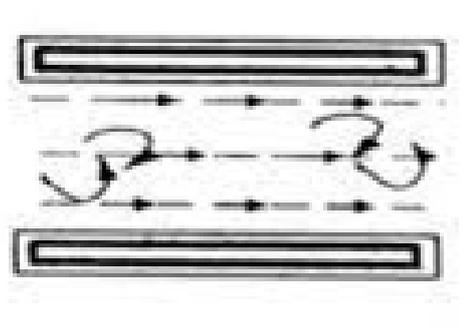
dengan lapisan batas turbulents. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulents disebut daerah transisi (Sardjadi,2003).

1. Aliran laminar ($Re < 2300$) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji,2015).



Gambar 2.3 Aliran Laminar

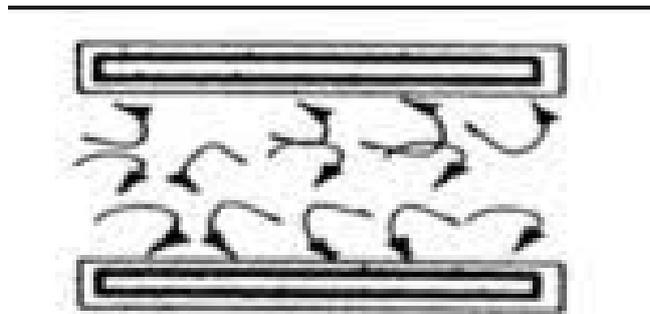
2. Aliran transisi ($2300 > Re > 4000$) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



Gambar 2.4 Aliran Transisi

3. Aliran turbulents ($Re > 4000$) 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 turbulenta yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji,2015).



Gambar 2.5 Aliran Turbulent

2.4 Vortex Generator

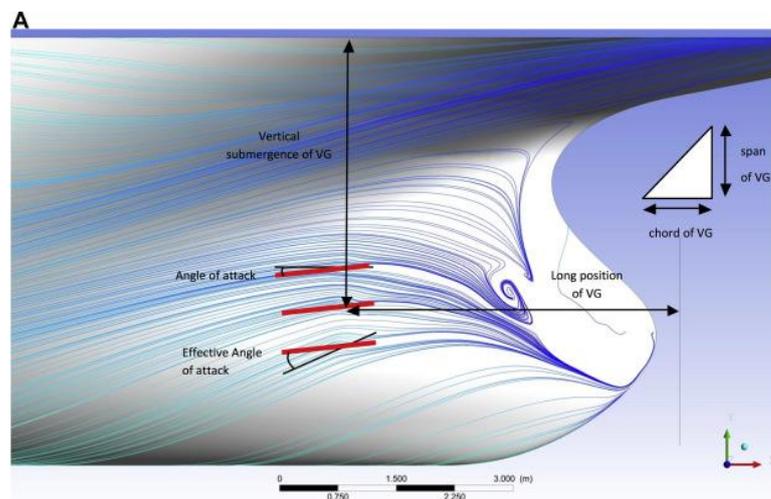
Vortex Generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan stabilizer ekor UAV yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara di sekitar permukaan UAV yang terjadi separation (Romadhon dan Herdiana, 2017: 47). Vortex generator juga merupakan permukaan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

Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), vortex generator memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian 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.

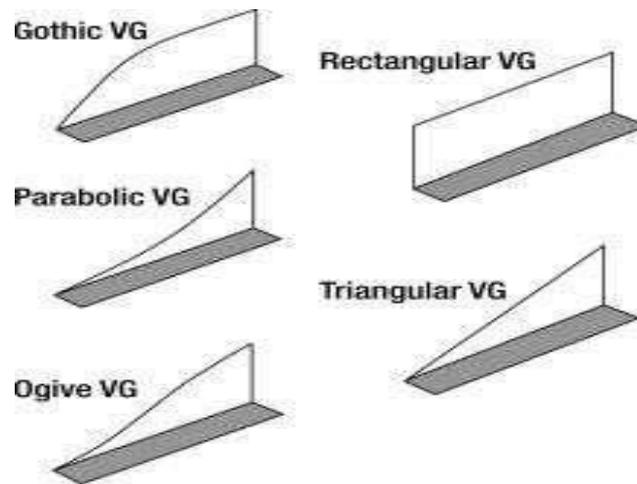
Sudut serang (*angle of attack*) merupakan sudut yang terbentuk dari tali busur airfoil dan arah aliran udara yang melewatinya (*relatif wind*). Perbedaan angle of attack (α) akan menghasilkan lift yang berbeda-beda, adapun untuk aplikasi angle of attack (α) yaitu pada airfoil. Contoh angle of attack (α) 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)



Gambar 2.6 *angle of attack* pada vortex generator

Sumber: (Ahmet Z S, 2018)

Terdapat berbagai macam bentuk vortex generator yang digunakan, namun pada umumnya dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.7 bentuk *Vortex Generator*

Sumber: (Chinniyampalayam, 2016)

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 suatu objek.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulents *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 turbulente 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

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.

Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Terdapat 3 tiga konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma :

- 1) Konvergensi, merupakan property numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai grid spacing, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
- 2) Konsistensi, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan sistem yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.

- 3) Stabilitas, merupakan penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi

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, walaupun permukaan tersebut dibuat sesuai permukaan kapal itu sendiri, karena aliran yang terjadi di sepanjang 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 (λ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- λ = 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 :
 - $L_m < T$ tangki
 - $L_m < \frac{1}{2} B$ tangki
- 2) Harvad:
 - $B_m < 1/10 B$ 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)

$$Fr_m = Fr_s \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g L_s}} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

- 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/dt²)
- λ = 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 bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, kesatuan angka Reynold Ayang mengGambarkan perbandingan gaya-gaya inersia dengan viskositas :

$$Re_m = Re_s \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$V_m = V_s \cdot L_s / L_m \dots\dots\dots (2.23)$$

$$V_m = V_s \cdot \lambda \dots\dots\dots (2.24)$$

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