

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

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

Sarjana Teknik Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



OLEH:

ANWAR SOPYAN

D03 118 1309

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN DOUBLE GHOTIC VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN PADA LAMBUNG KAPAL

Disusun dan diajukan oleh:

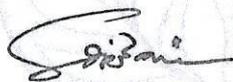
ANWAR SOPYAN

D031 18 1309

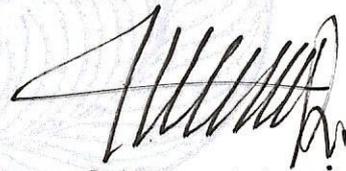
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 08 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



Pembimbing II



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. **Muhammad Akbar Asis, ST., MT.**
NIP: 19730206 200012 1 002 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 : Anwar Sopyan
NIM : D031 18 1309
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENAMBAHAN DOUBLE GHOTIC
VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN 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.

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

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

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

Gowa, 14 Juni 2023

Yang Menyatakan,



Anwar Sopyan

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

Anwar Sopyan, Suandar Baso, 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 menentukan 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*. Melalui penelitian ini diketahui terjadi pengurangan nilai tahanan model kapal dengan kecepatan 0,75 m/s, 1,513 m/s, 2,016 m/s, dan 2,762 m/s dengan adanya penambahan *vortex generator*. Dengan persentase pengurangan terbesar terjadi pada kecepatan 2,016 yaitu 14,01 % lebih kecil dibanding dengan model kapal tanpa *vortex generator* dengan kondisi trim 2 derajat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *vortex generator* terbukti dapat mengurangi tahanan kapal dan dapat berfungsi optimal pada kecepatan 2,016 m/s.

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

STUDY OF SHIP RESISTANCE DUE TO THE ADDITION OF DOUBLE GOTHIC VORTEX GENERATOR: CROSS POSITION ON SHIP BILL

Anwar Sopyan, Suandar Baso, Muhammad Akbar Asis

Shipping Department

Hasanuddin University Faculty of Engineering, Gowa

Jl. Malino Axis, Gowa Regency, South Sulawesi 92119

ABSTRACT

Today, the design trend for fast boats is changing or modifying in order to get a ship design that guarantees performance and minimizes the resistance value of the ship, one way is by adding a vortex generator. Therefore this study aims to determine the value of the ship's resistance using a vortex generator and without a vortex generator and determine the characteristics of the fluid flow that occurs along the ship's hull. The method used in this study is a computational method with the help of Maxsurf Modeller and Rhinoceros 6 software for modeling, as well as Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) in determining the value of ship resistance. The results obtained are a reduction in ship resistance with the addition of a vortex generator. Through this research it is known that there is a reduction in the resistance value of ship models with speeds of 0.75 m/s, 1.513 m/s, 2.016 m/s, and 2.762 m/s with the addition of a vortex generator. With the largest percentage reduction occurring at a speed of 2.016 which is 14.01% less than the ship model without a vortex generator with a trim condition of 2 degrees. 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 2.016 m/s.

Keywords: Ship Resistance, Vortex Generator, and CFD Autodesk

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 BERSILANGAN 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 Tahak dan Ibunda Impa, atas segala pengorbanan, kesabaran, nasehat, materi, support dan terutama doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., 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. Ibu Ir. Rosmani, MT dan Bapak Farianto Fachruddin L., ST., 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 di berikan selama ini. untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita pasti dapat melewatinya.
11. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tidak bisa sebutkan satu persatu.
12. 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, Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
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	5
BAB II - LANDASAN TEORI	
2.1 Kapal Cepat	6
2.2 Tahanan Kapal	7
2.3 Aliran Fluida Berdasarkan Prinsip Bernoulli	10
2.4 Vortex Generator	16

2.5 Autodesk CFD	18
2.6 Hukum Perbandingan.....	20

BAB III – METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengerjaan Penelitian.....	23
3.2 Jenis dan Pengumpulan Data	23
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	23
3.3.1 Data Kapal	23
3.3.2 Pemodelan Kapal Cepat Dengan Double Gothic Vortex Generator Posisi Bersilangan.....	24
3.3.3 Simulasi Autodesk CFD	34
3.3.4 Verifikasi.....	39
3.3.5 Analisa Data.....	39
3.3.6 Kesimpulan	40
3.3.7 Kerangka Pikir	41

BAB IV – ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 <i>Vortex Generator</i>	42
4.2 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual Out</i>	42
4.3 Visualisasi Velocity Magnitude.....	43
4.3.1 Kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 0°	44
4.3.2 Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 1°	46
4.3.3 Kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 2°	48
4.3.4 Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 3°	50
4.4 Visualisasi Pola Aliran dan Luas Bidang Basah.....	53

4.4.1 Kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 0°	53
4.4.2 Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 1°	54
4.4.3 Kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 2°	56
4.4.4 Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 3°	57
4.5 Perbandingan <i>Static Pressure</i>	59
4.5.1 Kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 0°	60
4.5.2 Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 1°	61
4.5.3 Kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 2°	63
4.5.4 Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi <i>trim</i> 3°	64
4.6 Perediksi Tahanan Model Kapal	66
4.7 Validasi Hasil.....	68

BAB V – PENUTUP

5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran.....	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= Percepatan gravitasi bumi (m/s ²)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froud Number Volume
μ	= Viskositas air (m ² /s)
Cf	= Koefisien gesek
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
V	= Volume kapal (m ³)
Pc	= Koefisien propulsif
RT	= Tahanan total (KN)
Ct	= Koefisien tahanan total
S	= Luas bidang basah (m ²)
p	= Tekanan (Pa)
h	= Tinggi tertentu dari garis datar (m)
t	= Waktu (detik)
MLT ⁻²	= Dimensi <i>fundamental</i>

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)
V_s	= Kecepatan kapal (m/s)
V_m	= Kecepatan model (m/s)
VG	= <i>Vortex generator</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu <i>body</i>	11
Gambar 2.2 Contoh aliran fluida dari <i>sub-merged body</i>	14
Gambar 2.3 Aliran Laminer.....	15
Gambar 2.4 Aliran Transisi	15
Gambar 2.5 Aliran Turbulen	16
Gambar 2.6 <i>Angle of attack</i> pada <i>vortex generator</i>	17
Gambar 2.7 Bentuk <i>vortex generator</i>	18
Gambar 3.1 <i>Lines plan</i> kapal pada <i>software</i> Autocad.....	24
Gambar 3.2 Sketsa peletakan dan ukuran <i>double gothic vortex generator</i>	26
Gambar 3.3 Tampilan awal model kapal tanpa <i>vortex generator</i> pada Maxsurf Modeler.....	27
Gambar 3.4 Tampilan awal model kapal tanpa <i>vortex generator</i> pada Rhinoseros.....	27
Gambar 3.5 Proses pembuatan <i>surface</i>	28
Gambar 3.6 Proses <i>trim</i> pada <i>surface</i> di luar model kapal	28
Gambar 3.7 Tampilan <i>gothic vortex generator</i> pada rhinoseros.....	29
Gambar 3.8 Tampilan <i>double gothic vortex generator</i> pada bagian <i>survace</i> <i>bottom</i>	30
Gambar 3.9 Tampilan model dengan menggunakan <i>double gothic vortex</i> <i>generator</i>	30
Gambar 3.10 Hasil model <i>close solid</i>	31
Gambar 3.11 Pemodelan kolam uji.....	32
Gambar 3.12 Kondisi <i>trim</i> 3° model kapal tanpa menggunakan <i>vortex</i> <i>generator</i>	33

Gambar 3.13	Visualisasi tahap <i>geometry</i> kapal dan <i>boundary layer</i>	34
Gambar 3.14	Visualisasi input material model kapal.....	35
Gambar 3.15	Visualisasi input <i>boundary condition</i> model kapal.....	36
Gambar 3.16	Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal dan <i>boundary layer</i>	37
Gambar 3.17	Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal.....	37
Gambar 3.18	Visualisasi input <i>solve result quantitation</i>	38
Gambar 3.19	Visualisasi tahap <i>solve</i> kapal dan <i>boundary layer</i>	39
Gambar 3.20	Kerangka pikir penelitian.....	41
Gambar 4.1	Tampak <i>vortex generator</i> pada model kapal.....	42
Gambar 4.2	Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> kecepatan 0,75 m/s.....	45
Gambar 4.3	Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> kecepatan 1,513 m/s.....	47
Gambar 4.4	Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> kecepatan 2,016 m/s.....	49
Gambar 4.5	Visualisasi <i>velocity magnitude planes</i> kecepatan 2,762 m/s.....	52
Gambar 4.6	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 0,75 m/s	54
Gambar 4.7	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 1,513 m/s..	55
Gambar 4.8	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2,016 m/s..	57
Gambar 4.9	Pola aliran berdasarkan <i>velocity magnitude</i> kecepatan 2,762 m/s...	58
Gambar 4.10	Visualisasi <i>static pressure planes</i> kecepatan 0,75.....	60
Gambar 4.11	Visualisasi <i>static pressure planes</i> kecepatan 1,513.....	62
Gambar 4.12	Visualisasi <i>static pressure planes</i> kecepatan 2,016.....	63
Gambar 4.13	Visualisasi <i>static pressure planes</i> kecepatan 2,762	65
Gambar 4.14	Grafik perbedaan tahanan tanpa <i>double gothic vortex generator</i> dan dengan <i>double gothic vortex generator</i>	67

Gambar 4.15 Grafik presentase perbedaan	67
Gambar 4.16 Grafik perbedaaan tahanan kapal menggunakan <i>double gothic vortex generator</i> bersilangan dengan metode Autodesk CFD dan dengan metode Maxsurf modeler.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ukuran utama kapal.....	24
Tabel 3.2	Ukuran <i>gothic vortex generator</i>	25
Tabel 3.3	Tabel Model Skala 1/5.....	31
Tabel 3.4	Ukuran Tangki Pengujian Skala 1/15	32
Tabel 3.5	Kecepatan model kapal tiap kondisi beserta nilai <i>Froude number</i> volume kapal.....	33
Tabel 4.1	Nilai <i>residual in</i> dan <i>residual out</i> model kapal	43
Tabel 4.2	Luas bidang basah tanpa <i>vortex generator</i> dan menggunakan <i>vortex generator</i>	59
Tabel 4.3	Presentasi perbandingan tahanan model kapal tanpa menggunakan <i>double gothic vortex generator</i> dan menggunakan <i>double gothic vortex generator</i>	66
Tabel 4.4	Presentasi perbandingan tahanan model kapal menggunakan metode Autodesk CFD dengan metode Maxsurf Modeler.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tabel <i>offset lines plan</i> model kapal.....	75
Lampiran 2.	Kondisi <i>trim</i> model kapal.....	76
Lampiran 3.	Statistik jumlah <i>elemen mesh</i>	77
Lampiran 4.	Visualisasi <i>mesh sizing</i>	80
Lampiran 5.	Hasil <i>residual in</i> dan <i>residual out</i> model.....	81
Lampiran 6.	Hasil <i>wall calculator drag force</i> model.....	83
Lampiran 7.	Penentuan skala.....	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam mendesain suatu kapal salah satu hal yang perlu untuk dipertimbangkan yakni menentukan tahanan kapal. Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal, tahanan/*resistance/drag* adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan pada kapal sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kecepatan kapal, untuk mengatasi tahanan tersebut, maka kapal membutuhkan sejumlah daya dorong sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya.

Besarnya tahanan kapal bergantung pada jenis kapal yang digunakan. Salah satu jenis kapal yang umumnya memiliki tahanan yang relatif kecil yaitu jenis kapal *high-speed craft* atau kapal cepat. Kapal cepat cenderung memiliki kecepatan yang relatif lebih besar di banding kapal lainnya, hal ini disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat bertujuan untuk meminimalisi tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat lebih dioptimal. Agar meminimalisir besarnya nilai tahanan kapal juga dapat dilakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan *vortex generator*.

Vortex generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk *fin* (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan *stabilizer* ekor *unmanned aerial vehicle* (UAV) yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi *separation* (Romadhon dan Herdiana, 2017). *Vortex generator* juga merupakan permukaan tambahan yang dapat membentuk aliran *vortices* dengan arah paralel terhadap aliran utama. Cara kerja dari *vortex generator* adalah mempercepat transisi aliran dari *laminar turbulent layer* menjadi *laminar boundary layer*. 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.

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 pemilihan bentuk juga dilakukan modifikasi pada pemasangan *gothic VG* yakni posisi bersilangan dengan arah 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 BERSILANGAN PADA LAMBUNG KAPAL”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tidak menggunakan *double gothic vortex generator* yang bersilangan berdasarkan analisis Autodesk CFD?
2. Bagaimana perbandingan tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double gothic vortex generator* yang bersilangan berdasarkan analisis Autodesk CFD?
3. Bagaimana karakteristik aliran fluida di sepanjang badan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double gothic vortex generator* yang bersilangan 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, dengan kondisi *trim* berturut-turut 0°, 1°, 2°, 3°.
5. Jenis *vortex generator* yang digunakan untuk mempengaruhi nilai tahanan yaitu *double gothic* yang bersilangan arah.
6. Ukuran *vortex generator* disesuaikan pada lambung kapal agar terlihat seperti sirip dikaitkan dengan fungsi *vortex generator* pada kondisi *trim* maksimum.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double gothic vortex generator* yang bersilangan berdasarkan analisis program Autodesk CFD.
2. Menentukan perbandingan tahanan kapal yang menggunakan dan tanpa menggunakan *double gothic vortex generator* yang bersilangan berdasarkan analisis program Autodesk CFD.
3. Mengetahui karakteristik aliran fluida yang dihasilkan di sepanjang lambung kapal 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 bersilangan.

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 bersilangan 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 (F_n) sering digunakan sebagai parameternya. Rumus Froude number dapat dilihat pada persamaan (2.1).

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

Dimana:

v = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

L = Panjang Kapal (m)

Adapun $F_n V$ dapat didefinisikan sesuai pada persamaan (2.2).

$$F_n V = \frac{v}{\sqrt{g \cdot (V^{\frac{1}{3}})}} \quad (2.2)$$

Dimana:

v = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

V = Volume kapal (m^3)

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 $F_n \leq 0,20$
- 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 viskositas (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskositas.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

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

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas yang mengkuilifikasikan hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi laminar dan turbulent. Rumus bilangan Reynolds dapat dilihat pada persamaan (2.3).

$$Rn = \frac{V \times L}{\mu} \quad (2.3)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

μ : Viskositas air (m^2/s)

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

Adapun rumus koefisien gesek sesuai pada persamaan (2.4).

$$Cf = \frac{0,075}{(\text{Log } Rn - 2)^2} \quad (2.4)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

Adapun rasio kecepatan dan panjang kapal terdapat pada persamaan (2.5).

$$Slr = \frac{vS}{\sqrt{L}} \quad (2.5)$$

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

3) Tahanan Bentuk (*Form Resistance*)

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

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

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

a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

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

b) Tahanan kekasaran (*rudeness Resistance*)

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 Harvald (Harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (2.6).

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

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)

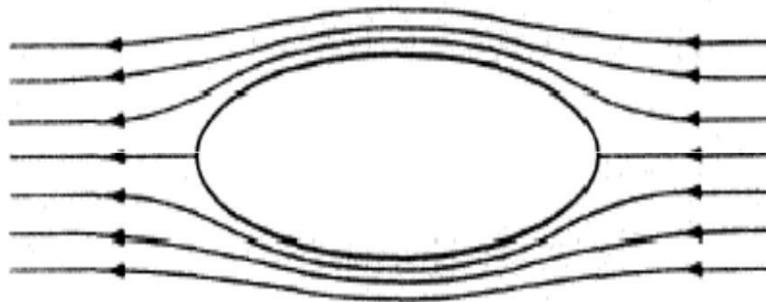
C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m^2)

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 massanya didalam *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 sesuai pada persamaan (2.7) (Suryo W. Adji, 2009).

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

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu *body* yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida *non-viscous* tersebut, maka *body* tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*) meskipun fluida tersebut dilalui oleh gerakan *body*, maka kondisi fluida tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah di lintasi *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 non-dimensional*. Dimana angka tersebut dapat mengkarakteristikan 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 kapal adalah (L), maka tahanan kapal dalam analisa *dimensional* dapat diformulasikan sesuai pada persamaan (2.8) (Sutiyo W. Adji, 2009).

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

Sejumlah *quantity* yang masuk pada ekpresi 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 sesuai pada persamaan (2.9) (Suryo W. Adji, 2009).

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

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 yang dapat di lihat pada persamaan (2.10) (Suryo W. Adji, 2009).

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

Maka, persamaan keseluruhan dari tahanan (*resistance*) dapat ditulis sesuai pada persamaan (2.11) (Suryo W. Adji, 2009).

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

Sehingga melalui analisa terhadap ekspresi tersebut di atas, dapat diindikasikan bahwa kombinasi *non-dimensional* yang signifikan yang dapat di lihat pada persamaan (2.12) (Suryo W. Adji, 2009)

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

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. 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 sesuai pada persamaan (2.13) (Suryo W. Adji, 2009).

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

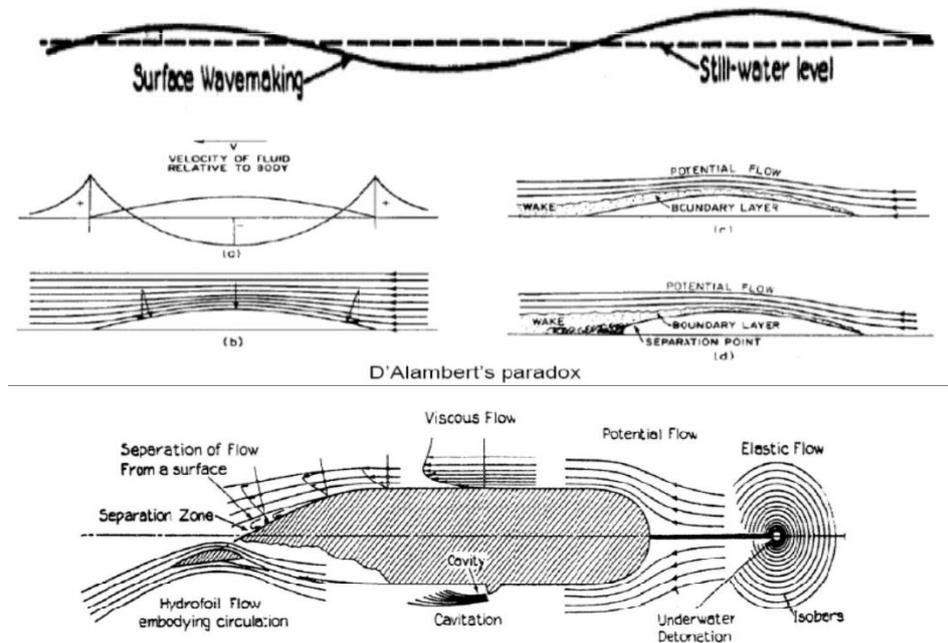
Dan tahanan kapal (*resistance*) dapat diformulasikan sesuai pada persamaan (2.14) (Suryo W. Adji, 2009).

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

Dimana, C_R adalah koefisien tahanan kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn, atau dapat dilihat pada persamaan (2.15) (Suryo W. Adji, 2009).

$$C_R = C_R(\text{Re}, \text{Fn}) \quad (2.15)$$

Beberapa contoh pola aliran fluida dari suatu *sub-marged body* (*no wave*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Suryo W. Adji, 2009).



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

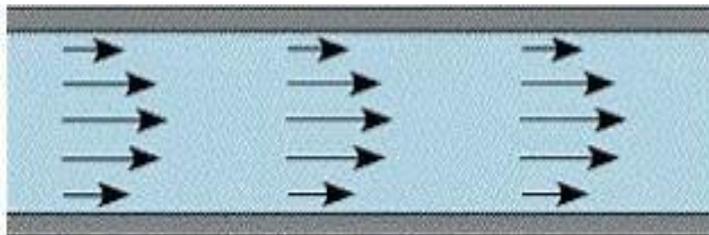
Sumber: Suryo W. Adji, 2009

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. 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 turbulen. *Skin friction* memiliki nilai proposional 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 16 bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan *skin friction* menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal

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

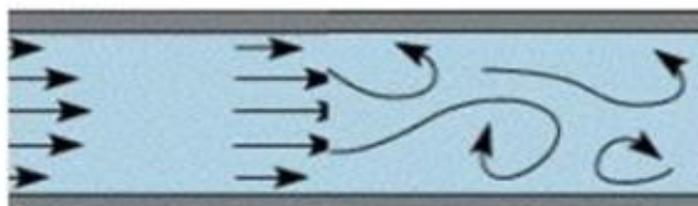
1. Aliran laminar ($Re < 2300$) adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah 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, adapun pola aliran laminar dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Senoaji, 2015).



Gambar 2.3 Aliran Laminar

Sumber: (Senoaji, 2015).

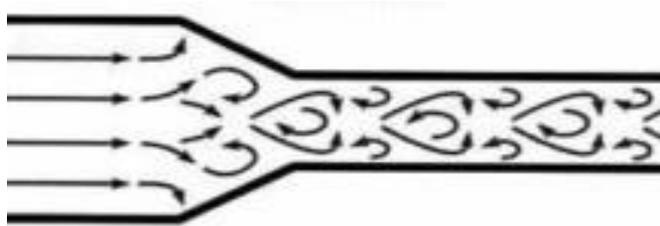
2. Aliran transisi ($2300 > Re > 4000$) aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi, adapun pola aliran transisi dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Senoaji, 2015).



Gambar 2.4 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, adapun pola aliran turbulen dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Senoaji, 2015).



Gambar 2.5 Aliran Turbulen

Sumber: (<https://air.eng.ui.ac.id>)

2.4 Vortex Generator

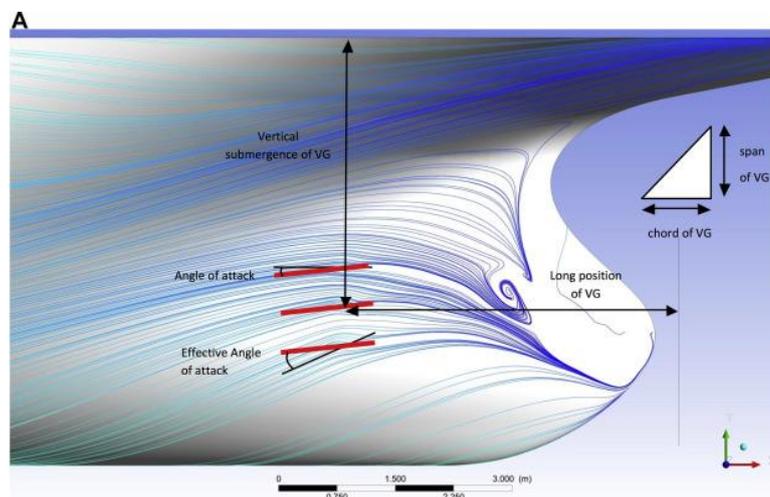
Vortex generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk *fin* (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan *stabilizer* ekor *unmanned aerial vehicle* (UAV) yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi *separation* (Romadhon dan Herdiana, 2017). *Vortex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

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

tersebut masing-masing bentuk *vortex generator* menghasilkan perubahan aliran pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk *vortex generator* menghasilkan perubahan aliran pada UAV.

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

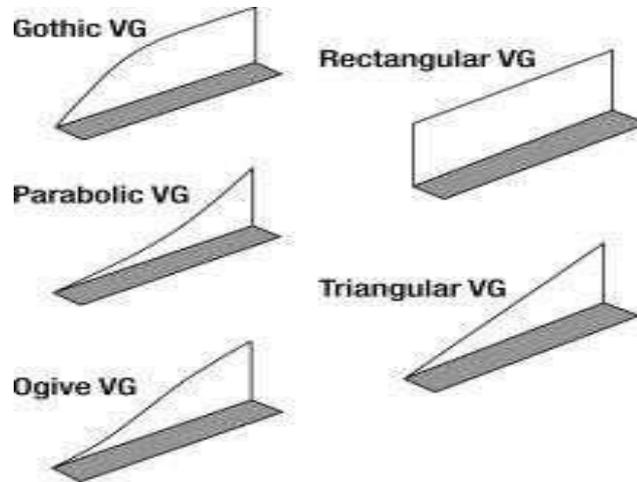
Sudut temu (*angle of attack*) merupakan sudut yang terbentuk dari tali busur *airfoil* dan arah aliran udara yang melewatinya (*relative wind*). Perbedaan *angle of attack* (α) akan menghasilkan *lift* yang berbeda-beda, adapun untuk aplikasi *angle of attack* (α) yaitu pada *airfoil*. Contoh *angle 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, *angle of attack* pada *vortex generator* dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Ghofar, 2018).



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 *turbulent K-epsilon (K- ϵ)* untuk pemodelan kekentalan murni dan *shear stress transport (K- ω)* untuk pemodelan *full viscous*. Metode penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Method (FEM)*, *Finite Volume Method (FVM)*, dan *Finite Difference*

Method (FDM). Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri sederhana dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method* (FVM) yang berhasil 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

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 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 system yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai *grid* spasi mendekati nol.
- 3) Stabilitas, merupakan penggunaan *factor* 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, 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 (λ) yang dapat dilihat pada persamaan (2.17).

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

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 :

$$L_m < T_t$$

$$L_m < \frac{1}{2} B_t$$

2) Harvald:

$$B_m < \frac{1}{10} B_t$$

$$T_m < \frac{1}{10} T_t$$

3) University of new castle :

$$L_m < \frac{1}{2} B_t$$

$$B_m < \frac{1}{15} B_t$$

$$A_{o_m} < 0,4 A_{o_t}$$

Dimana :

B_t = Lebar tangki (m)

T_t = Sarat tangka (m)

A_{o_m} = Luas permukaan Tangki (m^2)

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) dapat dilihat pada persamaan (2.18) sampai dengan (2.21).

$$Fr_m = Fr_m \tag{2.18}$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \tag{2.19}$$

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

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

Dimana :

Fr = angka froude

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

V_s = kecepatan kapal (m/s)

V_m = kecepatan model (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

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 besesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, kesatuan angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya-gaya inersia dengan viskositas, angka Reynold model sama dengan angka Reynold kapal dapat dilihat pada persamaan (2.22) sampai dengan (2.25).

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

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

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

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

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