

**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PEMASANGAN DOUBLE
RECTANGULAR VORTEX GENERATOR : POSISI SEJAJAR**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



**DISUSUN OLEH:
AMRUL MAULANA
D031 18 1017**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

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 PEMASANGAN DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI SEJAJAR

Disusun oleh:

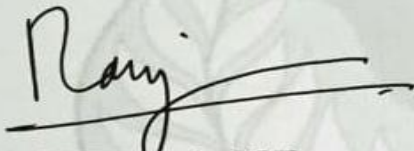
AMRUL MAULANA

D031 18 1017

Gowa, 20 Februari 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

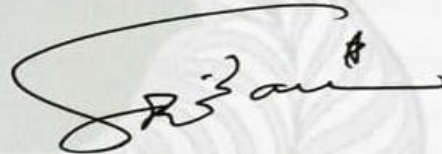
Pembimbing I



Ir. Rosmani, MT.

NIP: 19600620 198802 2 001

Pembimbing II



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

NIP: 19730206 200012 1 002

Mengetahui,

**Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**



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

NIP: 19730206 200012 1 002

PERTANYAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Amrul Maulana**
NIM : **D031 18 1017**
Program Studi : **Teknik Perkapalan**
Jenjang : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Studi Tahanan Kapal Akibat Pemasangan Double Rectangular Vortex Generator : Posisi Sejajar”

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dari 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 say bersedia menerima sanksi atas perbuatan.

Gowa, 20 Februari 2023



Yang Menyatakan,

Amrul Maulana

ABSTRAK

Maulana, Amrul. 2022 “Studi Tahanan Kapal Akibat Pemasangan Double Rectangular Vortex Generator : Posisi Sejajar” (dibimbing oleh **Rosmani** dan **Suandar baso**)

Salah satu masalah yang di hadapi dalam perencanaan kapal yakni menyangkut tahanan serta kecepatan kapal yang harus sesuai permintaan. Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Besarnya tahanan kapal juga bergantung pada jenis kapal yang digunakan. Agar meminimalisir besarnya nilai tahanan kapal juga dapat di lakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan *Vortex Generator*. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari laminar *boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*. Penelitian ini untuk melakukan “studi tahanan kapal akibat pemasangan double rectangular vortex generator : posisi sejajar”. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi CFD (Computational Fluid Dynamics). Tahanan model kapal menggunakan *double rectangular vortex generator* pada kecepatan 0,75 m/s hingga kecepatan 2,762 m/s memiliki nilai tahanan model yang lebih kecil dibanding model kapal tanpa menggunakan *double rectangular vortex generator*. Dengan pengurangan terkecil nilai tahanan model kapal terjadi pada kecepatan 0,75 m/s yaitu 0,014 N dan pengurangan terbesar nilai tahanan model kapal terjadi pada kecepatan 2,762 m/s yaitu 1,112 N. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi pengurangan tahanan model kapal akibat penambahan *double rectangular vortex generator* sejajar arah terjadi pada setiap kecepatan.

Kata Kunci : *Tahanan, Vortex generator, fluida, CFD*

ABSTRAK

Maulana, Amrul. 2022 "Study of Ship Resistance Due to Installation of a Double Rectangular Vortex Generator: Parallel Position" (supervised by **Rosmani** and **Suandar Baso**)

One of the problems faced in ship planning is related to resistance and the speed of the ship which must be made according to demand. Ship resistance is the science that studies fluid reactions due to the movement of ships through the fluid. The amount of ship resistance also depends on the type of ship used. In order to minimize the magnitude of the ship's resistance value, modifications can also be made to the ship's hull, namely by installing a *Vortex Generator*. The way the *Vortex Generator* works is to accelerate the flow transition from the laminar boundary layer to the turbulent boundary layer. This research is to conduct a "Study of Ship Resistance Due to Installation of a *Double Rectangular Vortex Generator*: Parallel Position". The research was conducted using the CFD (Computational Fluid Dynamics) application. The resistance of the ship model using a *double rectangular vortex generator* at a speed of 0.75 m/s to a speed of 2.762 m/s has a smaller model resistance value than the ship model without using a *double rectangular vortex generator*. With the smallest reduction in the resistance value of the ship model occurring at a speed of 0.75 m/s, which is 0.014 N and the largest reduction in the resistance value of the ship model occurring at a speed of 2.762 m/s, which is 1.112 N. So it can be concluded that there is a reduction in the resistance of the ship model due to the addition of a double rectangular direction parallel generator vortex occurs at every speed.

Keywords: *Resistance, Vortex generator, fluid, CFD*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Studi Tahanan Kapal Akibat Pemasangan Double Rectangular Vortex Generator : Posisi Sejajar**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu (S1) di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui berbagai macam tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moril berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua saya: **Omar Mansyur, dan Sutriani**; orang tua tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, do'a serta dukungan yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga beliau selalu dalam lindungan Allah dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.
2. Ibu **Ir. Rosmani, MT.** selaku pembimbing I dan juga selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak **Prof. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT.** selaku pembimbing II dan juga selaku Kepala Laboratorium Hidrodinamika Kapal senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan

keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

4. Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** dan Bapak **Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T.**, selaku dosen laboratorium hidrodinamika sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
5. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini.
6. Seluruh **Pegawai/Staff** Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
7. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan, semoga ilmu dan bimbingan bapak dan ibu membawa keberkahan dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
8. Teman-teman angkatan saya **THRUZTER 2018**, terima kasih telah memberi pengalaman hidup yang sangat berarti selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
9. Saudara-saudaraku **RUMAH BAHAGIA (RB)** yang selalu menemani pengerjaan tugas dari semester 1 hingga semester akhir serta memberi pengalaman hidup dan tempat bagi penulis bercanda. Bangga dan senang memiliki teman seperjuangan seperti kalian.
10. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik ataupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

Semoga proses belajar selama ini dan tugas akhir ini diridhoi dan diberkahi oleh Allah SWT. Aamiin.

Gowa, Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Kapal Cepat.....	5
2.2 Tahanan Kapal	6

2.3 Aliran Fluida	10
2.4 <i>Vortex Generator</i>	13
2.5 <i>Autodesk CFD</i>	15
2.6 Hukum Perbandingan.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	21
3.2 Jenis penelitian	21
3.3 Metode pengumpulan data	21
3.4 Metode Pengolahan Data	21
3.4.1 Data Kapal.....	22
3.4.2 Pemodelan kapal dengan double rectangular <i>Vortex Generator</i>	23
3.4.3 Simulasi CFD	29
3.4.4 Verifikasi.....	33
3.4.5 Analisis Data	33
3.4.6 Kesimpulan	34
3.5 Kerangka Berpikir	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Desain <i>Vortex Generator</i>	36
4.2 Deskripsi Pra-Analisis.....	37
4.3 Nilai <i>Residual in</i> dan <i>Residual out</i>	39
4.4 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i>	40

4.4.1 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i>	40
4.4.2 Visualisasi Pola Aliran dan Luas Bidang Basah.....	45
4.4.3 Visualisasi <i>Static Pressure</i>	55
4.5 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	63
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan	68
5.1 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	70
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	= Froud 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)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Streamline	10
Gambar 2.2 Aliran Laminer	12
Gambar 2.3 Aliran Transisi.....	13
Gambar 2.4 Aliran Turbulen	13
Gambar 2.5 Berbagai Bentuk Vortex Generator.....	15
Gambar 3.1 Lines Plan Kapal Pada Software Autocad.....	22
Gambar 3.2 Tampilan awal model kapal pada <i>software rhinoceros 6</i>	23
Gambar 3.3 Batas panjang <i>vortex generator</i>	24
Gambar 3.4 Proses pembuatan <i>surface</i>	24
Gambar 3.5 Proses <i>trim</i> pada <i>surface</i> diluar model kapal	25
Gambar 3.6 Tampilan <i>double rectangular vortex generator</i>	25
Gambar 3.7 Proses pemasangan <i>vortex generator</i> pada model kapal.....	26
Gambar 3.8 Tampilan <i>vortex generator</i> yang sudah terpasang	26
Gambar 3.9 Tampilan model setelah <i>closed solid</i>	27
Gambar 3.10 Pemodelan kolam uji.....	28
Gambar 3.11 Kondisi trim 3 tanpa menggunakan <i>vortex generator</i>	28
Gambar 3.12 Visual Tahap Geometry Model	30
Gambar 3.13 Visualisasi Input Material Model Kapal Dan <i>Boundary Layer</i>	30
Gambar 3.14 Visualisasi Input <i>Boundary Condition</i> Model Kapal Dan <i>Boundary Layer</i>	31
Gambar 3.15 Visualisasi <i>Mesh Sizing</i> Model Kapal Dan <i>Boundary Layer</i>	31
Gambar 3.16 Visualisasi <i>Mesh Sizing</i> Model Kapal.....	32

Gambar 3.17 Visualisasi Tahap Solve Model Kapal Dan <i>Boundary Layer</i>	32
Gambar 3.18 Kerangka Pikir Penelitian.....	35
Gambar 4.1 Rectangular Vortex Generator.....	36
Gambar 4.2 Sketsa peletakan vortex generator.....	37
Gambar 4.3 <i>velocity magnitude</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s trim 0°	41
Gambar 4.4 <i>velocity magnitude</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	42
Gambar 4.5 <i>velocity magnitude</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016m/s dengan trim 2°	42
Gambar 4.6 <i>velocity magnitude</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	42
Gambar 4.7 <i>velocity magnitude</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	44
Gambar 4.8 <i>velocity magnitude</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	44
Gambar 4.9 <i>velocity magnitude</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	44
Gambar 4.10 <i>velocity magnitude</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	45
Gambar 4.11 Pola aliran tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	46
Gambar 4.12 Pola aliran tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	47
Gambar 4.13 Pola aliran tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	48
Gambar 4.14 Pola aliran tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	48
Gambar 4.15 Pola aliran menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	51

Gambar 4.16 Pola aliran menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	52
Gambar 4.17 Pola aliran menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	53
Gambar 4.18 Pola aliran menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	54
Gambar 4.19 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0° tampak samping	56
Gambar 4.20 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi 0° tampak bawah	56
Gambar 4.21 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1° tampak samping	57
Gambar 4.22 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1° tampak bawah	57
Gambar 4.23 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2° tampak samping	58
Gambar 4.24 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2° tampak bawah	58
Gambar 4.25 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3° tampak samping	59
Gambar 4.26 <i>static pressure</i> tanpa menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3° tampak bawah	59
Gambar 4.27 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi trim 0° tampak samping.....	60
Gambar 4.28 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi trim 0° tampak bawah.....	60
Gambar 4.29 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi trim 1° tampak samping.....	61
Gambar 4.30 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi trim 1° tampak bawah.....	61
Gambar 4.31 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada kecepatan 2,016	

m/s dengan kondisi trim 2° tampak samping.....	62
Gambar 4.32 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi trim 2° tampak bawah.....	62
Gambar 4.33 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi trim 3° tampak samping.....	63
Gambar 4.34 <i>static pressure</i> menggunakan <i>vortex generator</i> pada Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi trim 3° tampak samping.....	63
Gambar 4.35 Grafik <i>Kecepatan</i> (m/s) dan Tahanan model kapal tanpa <i>Vortex Generator</i>	65
Gambar 4.36 Grafik <i>Kecepatan</i> (m/s) dan Tahanan model kapal menggunakan <i>Vortex generator</i>	66
Gambar 4.37 Grafik hubungan antara <i>Kecepatan</i> (m/s) dan Tahanan model kapal	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal	22
Tabel 3.2 Ukuran Model Kapal Skala 1:15.....	27
Tabel 3.3 Ukuran Tangki Pengujian dengan Skala 1:15.....	27
Tabel 3.5 Kecepatan Model Kapal Tiap Kondisi.....	29
Tabel 4.1 Ukuran Vortex Generator.....	36
Tabel 4.1 Nilai <i>Froude number</i> volume model kapal	38
Tabel 4.2 Nilai Residual In dan Residual Out Model Kapal Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i>	39
Tabel 4.3 Nilai Residual In dan Residual Out Model Kapal Menggunakan <i>Vortex Generator</i>	40
Tabel 4.4 Luas Bidang Basah Tanpa Menggunakan <i>Vortex Generator</i>	50
Tabel 4.5 Luas Bidang Basah Menggunakan <i>Vortex Generator</i>	55
Tabel 4.6 Kecepatan (m/s) dan Tahanan model kapal tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i>	64
Tabel 4.7 Kecepatan dan Tahanan model kapal menggunakan <i>Vortex Generator</i>	65
Tabel 4.8 Presentase perbedaan Tahanan model kapal tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> dan menggunakan <i>Vortex Generator</i>	66

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Tabel Offside lines Plan Model Kapal
- Lampiran 2. Kondisi trim model kapal
- Lampiran 3. Statistik Jumlah *Elemen Mesh*
- Lampiran 4. Visualisasi *Velocity Magnitude*
- Lampiran 5. Visualisasi pola aliran dan luas bidang basah
- Lampiran 6. Visualisasi *Static Pressure*
- Lampiran 7. Hasil *Wall Calculator Drag Force Model*
- Lampiran 8. Penentuan Skala Mode

BAB I

PENDAHULUAN.

1.1 Latar Belakang Masalah

Salah satu masalah yang di hadapi dalam perencanaan kapal yakni menyangkut tahanan serta kecepatan kapal yang harus sesuai permintaan. 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 gerakkan kapal tersebut. Besarnya tahanan kapal akan menentukan kecepatan suatu kapal.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, desain kapal cepat banyak mengalami perubahan untuk mendapatkan desain yang mampu mengurangi tahanan pada kapal. Salah satu cara dengan menambahkan *vortex Generator* pada modifikasi lambung kapal. *Vortex Generator* biasanya digunakan pada kendaraan mobil dan pesawat.

Besarnya tahanan kapal juga bergantung pada jenis kapal yang digunakan. Salah satu jenis kapal yang umumnya memiliki tahanan yang relative kecil yaitu jenis kapal *high-speed craft* atau kapal cepat. Kapal cepat cenderung memiliki kecepatan yang 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 di lakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan *Vortex Generator*. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari laminar *boundary layer* menjadi *turbulent boundary layer*.

Separasi boundary layer merupakan fenomena penting yang mempengaruhi performansi airfoil. Salah satu upaya untuk menunda atau menghilangkan separasi aliran adalah meningkatkan momentum fluida untuk melawan *adverse pressure* dan tegangan geser permukaan. Pada *separasi boundary layer*, kecepatan fluida yang dekat dengan permukaan nilainya akan lebih

besar dibandingkan dengan pada laminar *boundary layer*. Jika kecepatan fluida lebih besar, maka energi kinetik fluida juga akan semakin besar sehingga fluida dapat melawan *adverse pressure* dan tegangan geser. Hal ini mengakibatkan separasi aliran akan tertunda lebih ke belakang. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan penambahan turbulent generator pada upper surface airfoil. *Vortex Generator* (VG) merupakan salah satu jenis turbulent generator yang dapat mempercepat transisi dari laminar boundary layer menjadi turbulent boundary layer (Ulul Azmi 2015).

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

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PEMASANGAN DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR : POSISI SEJAJAR”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang dapat kita kaitkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran fluida pada model kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double rectangular vortex generator* yang sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *double rectangular vortex generator* sejajar arah terhadap nilai tahanan model kapal berdasarkan simulasi program *Autodesk CFD*?
3. Bagaimana perbedaan nilai tahanan kapal menggunakan dan tidak menggunakan *double rectangular vortex generator* yang sejajar berdasarkan program *Autodesk CFD*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
2. Model dan ukuran utama kapal yang digunakan adalah kapal cepat dengan model *planning hull*.
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan 0,75 m/s, 1,513 m/s, 2,016 m/s, 2,762 m/s.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double rectangular vortex generator* yang sejajar terhadap besar nilai tahanan kapal.
2. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.
3. Sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal cepat yang menggunakan *double rectangular vortex generator* yang sejajar dengan pertimbangan nilai tahanan.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun menjadi beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis, yaitu.

BAB I : Pendahuluan, pada bab ini dijelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka, pada bab ini akan dipaparkan dengan singkat teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini.

BAB III : Metodologi Penelitian, dalam bab ini dikemukakan lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik pengolahan data, serta kerangka pikir penelitian.

BAB IV :Hasil dan Pembahasan, dalam bab ini berisi penyajian data, analisis data dan evaluasi yang dilakukan sesuai dengan permasalahan penelitian dan juga hasil dari penelitian tersebut.

BAB V :Penutup, dalam bab ini dijelaskan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran- saran yang direkomendasikan penulis terkait tentang penelitian ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Cepat

Menurut J. Lawrence (1985), dalam jurnal yang ditulis oleh Rosmani(2013), mengatakan karakteristik high speed craft dipengaruhi Froude Numbrnya. Untuk landing craft, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Froude number (Fn) sering digunakan sebagai parameternya.

Froude number (Fn) didefinisikan sebagai berikut:

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

Dimana:

Fn = Froude number

Vs = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81 m/s²)

Lwl = Panjang kapal (m)

Froude number Volume (FnV) didefinisikan sebagai berikut:

$$FnV = \frac{v}{\sqrt{g \times \sqrt[3]{V}}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

FnV = Froude number Volume

Vs = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81 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 $F_n \leq 0,20$
- b. Kapal Sedang : Kapal berlayar dengan $F_n \geq 0,20$ dan $\leq 0,35$
- c. Kapal Cepat : Kapal berlayar dengan $F_n \geq 0,35$

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

2.1 Tahanan Kapal

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan 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 (Harvald, 1992).

Ketika kapal bergerak pada daerah permukaan bebas dari suatu fluida, maka variasi tekanan di daerah sekitar bodi kapal tersebut akan menghasilkan gelombang pada permukaan fluida. Energy dibutuhkan untuk mempertahankan terjadinya gelombang tersebut, sehingga hal ini menjadikannya disebut tahanan (*resistance*). Selain hal itu, terjadi pula gaya-gaya tangensial yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal tersebut yang disebabkan oleh factor viskositas fluida dan gerakan kapal. Berdasarkan kedua hal tahanan tersebut, maka dikenallah dengan wave making resistance dan viscous atau frictional resistance. (S.W. Adji, 2009).

Viskositas menyebabkan perubahan aliran disekitar lambung kapal, yang secara perlahan akan menaikkan tekanan hingga daerah ujung akhir dari lambung kapal. Akibat kondisi ini, sering pula dikenal dengan sebutan viscous pressure resistance, atau form resistance tergantung bentuk lambung kapal. (S.W. Adji, 2009).

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaanair.

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 sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang di lalulinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (flow pattern). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan Viskos (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

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

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

Dimana:

v: Kecepatan (m/s)

L: Panjang (m)

ν : Viskositas air

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

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

(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 (*length between perpendicular*) dan V_s adalah kecepatan kapal.

B. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

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

1) Tahanan gelombang (*Wave Resistance*)

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

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

3) Tahanan bentuk (*Form Resistance*)

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

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat

adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari :

a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

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

b) Tahanan kekasaran

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

c) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

Yaitu 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 di bawah ini:

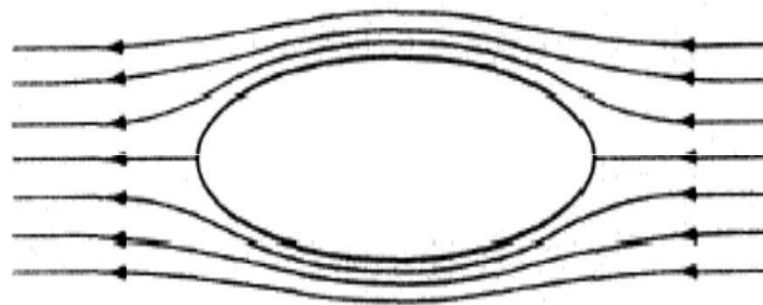
$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- R_T = Tahanan Total (N)
- ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)
- C_T = Koefisien tahanan total
- S = Luas bidang basah (m^2)
- v = Kecepatan (m/s)

2.3 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang mengalir atau berubah bentuk dan memiliki kecenderungan untuk mengalir. Ketika fluida mengalir melalui suatu titik atau jalur, terdapat berbagai parameter yang terkait dengan aliran fluida berubah dalam pola yang berbeda. Dua parameter umum dalam setiap aliran fluida adalah tekanan fluida dan kecepatan aliran partikel fluida. Aliran fluida dapat dibagi menjadi pola yang berbeda berdasarkan variasi parameter aliran dengan mempertimbangkan waktu dan jarak. Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.1*



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 didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (*Suryo W. Adji, 2009*):

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

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 dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya-gaya local yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh body. Gaya – gaya local tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (S.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 (S.W. Adji, 2009):

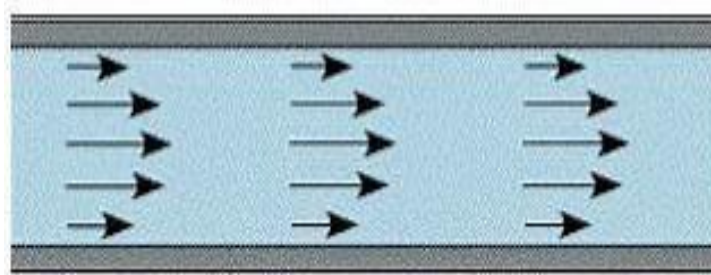
$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \dots\dots\dots (2.8)$$

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 laminer 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 laminer ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi,2003).

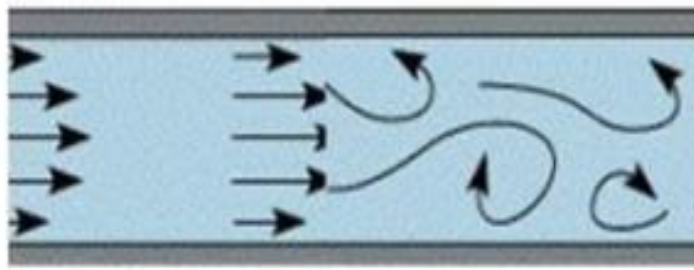
1. Aliran laminer ($Re < 2300$) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminer, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah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



Sumber: (Senoaji,2015).

Gambar 2.2 Aliran Laminer.

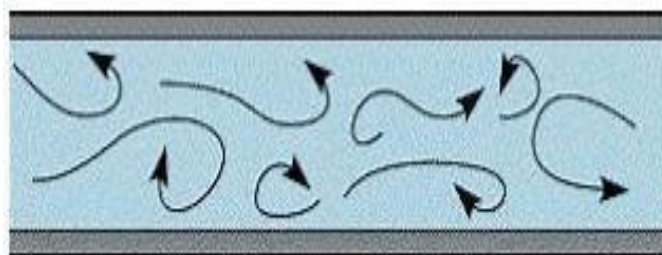
2. Aliran transisi ($2300 > Re > 4000$) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



Sumber : (Senoaji,2015).

Gambar 2.3 Aliran Transisi.

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



Sumber: (Senoaji,2015).

Gambar 2.4 Aliran Turbulen

2.4 Vortex Generator

Vortex Generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan stabilizer ekor UAV yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi separation (Romadhon dan Herdiana, 2017: 47).

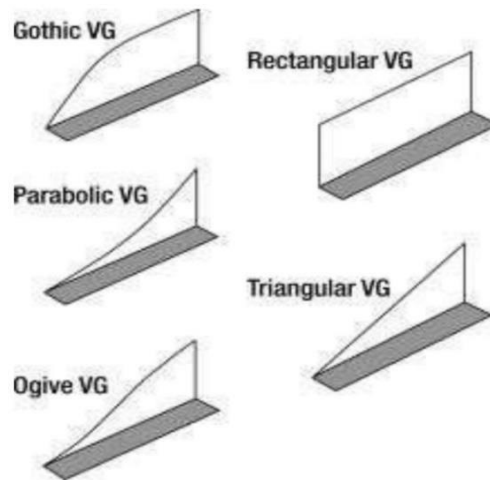
Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), vortex generator memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua vortex generator berfungsi

seperti miniatur sayap. Penempatan vortex generator, yaitu tegak lurus terhadap permukaan sayap, serta dapat menghasilkan gaya angkat pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk vortex generator menghasilkan perubahan aliran pada UAV. Vortex generator memiliki fungsi untuk menunda efek separation sehingga dapat meningkatkan angle of attack pada UAV sehingga dapat dirumuskan dengan suatu metode, dimana vortex generator (VG) digantikan oleh subdomain sel sehingga menjadi bentuk seperti vortex generator, dimana distribusi gaya bekerja pada fluida, sehingga efek vortex generator dapat diketahui.

Sudut serang (angle of attack) merupakan sudut yang terbentuk dari tali busur airfoil dan arah aliran udara yang melewatinya (relative wind). Perbedaan angle of attack (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)

Terdapat berbagai macam bentuk vortex generator digunakan pada pesawat ataupun mobil, namun pada umumnya yang biasa digunakan yaitu sebagai berikut :

- 1) Gothic Vg
- 2) Rectangular Vg
- 3) Parabolic Vg
- 4) Triangular Vg
- 5) Ogive Vg



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

Gambar 2.5 Berbagai Bentuk Vortex Generator

2.5 Autodesk CFD

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi.

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulensi *K-Epsilon* ($K-\varepsilon$) untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress Transport* ($K-\omega$) untuk pemodelan *full viscous*. Metode penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Method* (FEM), *Finite Volume Method* (FVM), dan *Finite Difference Method* (FDM). Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri

sederhana dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method (FEM)* dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method (FVM)* yang berhasil dimasukan sehingga, tidak hanya dapat memprediksikan aliran turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

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

- 1) Pre Processor

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.

Tinjauan pustaka komprehensif tentang penggunaan CFD untuk aplikasi ini telah diterbitkan (Stathopoulos, 1997; Reichrath dan Davies, 2002; Blocken dan Karmeliet, 2004; Bitsuamlak dkk., 2004; Franke et al., 2004). (Blocken, et al, 2007)

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

- 1) Konvergensi, merupakan properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai grid spacing, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
- 2) Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan system yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.
- 3) Stabilitas, yaitu 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. (Jurnal Teknik Perkapalan – Vol. 6, No. 1 Januari 2018 /<http://ejournal3.ac.id/index.php/naval>)

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.

Ad 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.

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

Kondisi yang kapalnya mulus dan kapal tersebut bergerak diair yang permuaannya rata disebut kondisi tangki. Hamper disemua tangki percobaan

tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar (Sv. Aa. Harvald). Tekanan udara didalam tangki percobaan harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya :

Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala (λ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m}$$

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 tangka percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

$L_m < T$ tangki

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

2) HARVALD:

$B_m < 1/10 B$ 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 kapal pada skala penuh. Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Kesamaan ini dapat terpenuhi dengan kesamaan angka Froude (Fr):

$$Fr_m = Fr_s$$

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

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

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

Dimana :

Fr = angka froude

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

Angka Reynol model sama dengan angka Reynol kapal

$$Re_m = Re_s$$

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu}$$

$$V_m = V_s L_s / L_m$$

$$V_m = V_s \lambda$$

Sifat-sifat kayu yang penting sehubungan dengan penggunaannya meliputi sifat fisik, sifat mekanik, sifat kimia dan keawetan alami. Sifat kayu yang erat kaitannya dengan kekuatan kayu adalah sifat mekanik kayu. Kekuatan dan ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan disebut sebagai sifat-sifat mekaniknya (Dwiki, 2021 dalam Damanik, 2005). Menurut Damanik (2005) sifat-sifat mekanik kayu yang penting diketahui kaitannya dengan kekuatan kayu, yaitu salah satunya adalah modulus elastisitas (MOE) sejajar serat (modulus young) yaitu ukuran ketahanan terhadap pemanjangan atau pemendekan suatu contoh uji di bawah tarikan atau tekanan.