

**SKRIPSI**  
**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE**  
**RECTANGULAR VORTEX GENERATOR : POSISI**  
**BERSILANGAN ARAH DI DEPAN**

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



OLEH:

MUH. NURFADHIL M  
D031181310

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE RECTANGULAR VORTEX  
GENERATOR : POSISI BERSILANGAN ARAH DI DEPAN

Disusun dan diajukan oleh

**MUH. NURFADHIL M**

**D031 18 1310**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi  
Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 26 Januari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

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

NIP: 19730206 200012 1 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. A. Ardianti, ST., MT,

NIP: 19850526 201212 2 002

Ketua Program Studi,

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

NIP: 19730206 200012 1 002

**ABSTRAK**  
**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE  
RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN DI  
DEPAN**

**Muh. Nurfadhil M, Suandar Baso, Andi Ardianti**

Departemen Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa

Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

Salah satu komponen yang harus dipertimbangkan dalam mendesain kapal yakni besar tahanan kapal yang timbul saat beroperasi, dimana terkait langsung dalam penentuan daya mesin utama kapal, sehingga dalam perencanaan kapal diusahakan tahanan kapal yang timbul lebih kecil untuk dapat mencapai kecepatan yang optimum dengan daya mesin yang sama. Salah satu cara meminimalisir besarnya nilai tahanan kapal dengan melakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan *Vortex Generator*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *double rectangular vortex generator* dengan posisi bersilangan didepan dan tanpa *double rectangular vortex generator* dengan posisi bersilangan didepan 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 melakukan proses analisis nilai tahanan kapal. Dengan didapatkannya hasil tahanan kapal dengan bantuan *Autodesk CFD*, dengan kondisi trim yang diperhitungkan yaitu trim  $0^\circ$  hingga  $3^\circ$ . Besarnya pengurangan nilai tahanan model kapal yang terbesar terjadi pada kecepatan 2,016 m/s pada kondisi trim  $2^\circ$ , dimana perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan *double rectangular vortex generator* posisi bersilangan didepan lebih kecil 11,67% jika dibandingkan dengan model kapal tanpa menggunakan *double rectangular vortex generator* posisi bersilangan didepan

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

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF SHIP RESISTANCE DUE TO THE INFLUENCE OF DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSITION IN THE CROSS DIRECTION IN FRONT**

**Muh. Nurfadhil M, Suandar Baso, Andi Ardianti**

Departement of Naval Architecture

Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa

Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

One of the components that must be considered in designing a ship is the ship's resistance. To minimize the amount of ship resistance value, modifications can also be made to the hull, namely by installing a Vortex Generator. Therefore, this study aims to determine the comparison of ship resistance values using vortex generators and without vortex generators and determine the characteristics of fluid flow that occurs along the hull. The methods used in this study are computational methods with the help of Maxsurf Modeller and Rhinoceros 6 software for modeling, as well as Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) in carrying out the process of analyzing ship resistance values. By obtaining the results of ship resistance with the help of Autodesk CFD, the results of the comparison of ships using a vortex generator and without the use of a vortex generator there is a reduction in the resistance value under trim conditions of  $0^\circ$  to  $3^\circ$ . With the largest percentage reduction occurring in  $2^\circ$  trim conditions, it was 11,67% smaller than the ship model without a vortex generator using the same ship model speed of 2,016 m/s.

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

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu,

**ALHAMDULILLAH**, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN DI DEPAN.**

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh dari penulis.

Didalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terimakasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Munandar dan Ibunda Rosmani atas kesabaran, pengorbanan, nasehat dan yang terutama doayang tak putus – putusnya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku Ketuan Departemen Teknik Perkapalan sekaligus sebagai dosen pembimbing I dan Ibu Dr. A. Ardianti, ST., MT. selaku Sekretaris Departemen Teknik Perkapalan sekaligus sebagai pembimbing II yang dengan penuh kesabaran membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. dan Ibu Ir. Rosmani, M.T selaku penguji Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Dr. A. Sitti Chairunnisa M., ST., MT. selaku Penasehat Akademik

yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.

5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
6. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
7. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2018 terimakasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
8. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi (Aju, Karim, Anto, Amrul, Aqif, Khaliq dkk.), untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita dapat melewatinya.
9. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
10. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dengan sepenuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu peneliti memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Makassar, Maret 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	i
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Kapal Cepat.....	5
2.2 Tahanan Kapal.....	11
2.3 Aliran Fluida.....	14
2.4 Vortex Generator.....	17
2.5 Autodesk CFD .....	18
2.6 Proses simulasi autodesk CFD .....	21
2.7. Hukum Perbandingan Model Kapal.....	22
BAB III .....	26
METODOLOGI PENELITIAN .....	26
3.1. Pengerjaan Penelitian .....	26
3.1.1 Lokasi penelitian.....	26
3.1.2 Waktu penelitian.....	26
3.2. Jenis dan Pengumpulan Data .....	26
3.3. Metode Pengumpulan Data .....	26
3.4. Metode Pengolahan Data .....	26
3.4.1 Data Kapal .....	27

3.4.2. Desain Vortex Generator .....	28
3.4.3 Pemodelan Kapal Cepat dengan Double Rectangular Vortex Generator ....	28
3.4.4. Pemodelan kapal.....	34
3.4.5 Simulasi Autodesk CFD .....	31
3.4.6. Verifikasi .....	34
3.4.7. Analisa data.....	34
3.4.8 Kesimpulan.....	35
3.4.9 Kerangka Pikir .....	40
BAB IV .....	37
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	37
4.1. Vortex Generator.....	37
4.2. Pemodelan kapal .....	38
4.3. Nilai Residual In dan Residual Out .....	38
4.4. Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure .....	39
4.4.1. Visualisasi Velocity Magnitude.....	39
4.2.2. Visualisasi Static Pressure.....	50
4.3 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	53
BAB V PENUTUP.....	56
5.1. Kesimpulan .....	56
5.2. Saran .....	56
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN.....	58



## DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s <sup>2</sup> )
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= Froud <i>Number Volume</i>
V	= volume kapal (m <sup>3</sup> )
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)
Lp	= Panjang Kapal (m)
Vm	= Kecepatan model (m/s)
Vp	= Kecepatan Kapal (m/s)

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Model.....	26
Tabel 3.2 Ukuran Boundarylayer Tangki Numerik Skala 1/15.....	33
Tabel 3.3 Kecepatan Model dan Trim Buritan Model.....	33
Tabel 4.1 Desain ukuran dan arah double <i>rectangular vortex generator</i> bersilangan di depan .....	52
Tabel 4.2 Ukuran Model Kapal .....	53
Tabel 4.3 Residual In dan Residual Out Model Kapal tanpa Rectangular Vortex Generator .....	53
Tabel 4.4 Residual In dan Residual Out Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator.....	54
Tabel 4.5 Luas Bidang Basah tanpa Rectangular Vortex Generator .....	57
Tabel 4.6 Luas Bidang Basah Menggunakan Rectangular Vortex Generator ....	60
Tabel 4.7 Average Static Pressure Model tanpa Rectangular Vortex Generator. ....	64
Tabel 4.8 Average Static Pressure Model Menggunakan Rectangular Vortex Generator. ....	67
Tabel 4.9 Hasil Tahanan Model Kapal Tanpa Vortex Generator dari Simulasi CFD Autodesk .....	68
Tabel 4.10 Hasil Tahanan Model Kapal Menggunakan Vortex Generator dari Simulasi CFD Autodesk .....	69
Tabel 4.11 Hasil perbedaan tahanan model kapal dari simulasi CFD Autodesk	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Hovercraft .....	8
Gambar 2.2 Kapal Hidrofoil.....	8
Gambar 2.3 Kapal Katamaran .....	9
Gambar 2.4 Kapal Monohull.....	9
Gambar 2.5 Aliran Streamline yang Melintasi Satu Body.....	13
Gambar 2.6 Aliran Laminar .....	15
Gambar 2.7 Aliran Transisi .....	15
Gambar 2.8 Aliran Turbulen .....	15
Gambar 2.9 Bentuk Vortex Generator .....	17
Gambar 3.1 Linesplan Kapal pada Software Autocad.....	26
Gambar 3.2 Kerangka Pikir Penelitian .....	27
Gambar 3.3 Tampak Awal Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator pada Rhinocheros .....	27
Gambar 3.4 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Buritan.....	28
Gambar 3.5 Batas Panjang Vortex Generator pada Bagian Haluan .....	28
Gambar 3.6 Proses Pembuatan Sebuah Bidang yang Menjadi Patokan Panjang Vortex Generator .....	29
Gambar 3.7 Proses Trimming Bagian Luar Bidang dan Penempatan Persegi pada Bawah Kapal .....	29
Gambar 3.8 Proses Pembuatan Vortex Generator pada Bidang Bantu.....	30
Gambar 3.9 Proses Pemasangan Vortex Generaor.....	30
Gambar 3.10 Proses Penempatan Rectangular Vortex Generator pada Bidang Bantu pada Kapal.....	31
Gambar 3.11 Penampakan Rectangular Vortex Generator Sudah Terpasang pada Kapal.....	31
Gambar 3.12 Penampakan Rectangular Vortex Generator Yang Telah Terpasang dari Berbagai Sudut .....	32
Gambar 3.13 Hasil Model Closed Solid .....	32
Gambar 3.14 Pemodelan Kolam Uji.....	33

Gambar 3.15 Visual Terhadap Geometry Model Kapal .....	34
Gambar 3.16 Visualisasi Input Material .....	35
Gambar 3.17 Visualisasi Input Boundary Condition Model Kapal.....	36
Gambar 3.18 Visualisasi Mesh Sizing Model Kapal.....	36
Gambar 3.19 Visualisasi Terhadap Solve Model Kapal dan Boundary Layer ....	37
Gambar 3.20 Kerangka Piker Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Rectangular Vortex Generator.....	40
Gambar 4.2 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator .....	44
Gambar 4.3 Pola Aliran Berdasarkan Velocity Magnitude dan Luas Bidang Basah Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator.....	45
Gambar 4.4 Visualisasi Velocity Magnitude Planes Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator .....	47
Gambar 4.5 Pola Aliran Berdasarkan Velocity Magnitude dan Luas Bidang Basah Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator .....	48
Gambar 4.6 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s.....	50
Gambar 4.7 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kcepatan 1,513 m/s.....	51
Gambar 4.8 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kcepatan 2,016 m/s.....	51
Gambar 4.9 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kcepatan 2,762 m/s.....	52
Gambar 4.10 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s .....	53
Gambar 4.11 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator Kcepatan 1,513 m/s .....	54
Gambar 4.12 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator Kcepatan 2,016 m/s .....	54
Gambar 4.13 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator Kcepatan 2,762 m/s .....	55
Gambar 4.14. Grafik Hasil Tahanan Tanpa Vortex Generator .....	56

Gambar 4.15. Grafik Hasil Tahanan Menggunakan Vortex Generator .....	57
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Hasil Tahanan Menggunakan CFD Autodesk .....	58

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan yang desain untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kapal dapat optimal secara signifikan. Kecepatan kapal cepat tergolong tinggi maka dalam merencanakan atau mendesain lambung harus memperhatikan aspek tahanan yang dihasilkan oleh kapal cepat tersebut (Fretes,2020).

Salah satu komponen yang harus dipertimbangkan dalam mendesain kapal yakni tahanan atau hambatan kapal. Dimana tahanan (resistance) kapal bergantung pada ukuran kapal, berbentuk badan kapal dan kecepatan operasional kapal (Harvald, 1983).

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 tersebut sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kecepatan kapal.

Tahanan dalam dunia perkapalan merupakan suatu hal yang teramat penting untuk dikalkulasi secara tepat karena sangat berkaitan dengan penentuan daya mesin yang bekerja di atas kapal. Pada kenyataannya dalam pengoperasian suatu kapal sering terjadi bahwa kecepatan yang diinginkan sering tidak sesuai dengan perencanaan atau daya mesin yang terpasang kadang terlalu besar. Untuk menyesuaikan besar daya mesin dengan kecepatan yang diinginkan, maka harus diketahui besar tahanan yang terjadi pada kapal tersebut.

Besarnya tahanan kapal juga bergantung pada jenis kapal yang digunakan. High-speed craft atau 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. Beberapa cara modifikasi lambung yang

dapat menurunkan nilai tahanan kapal adalah pemasangan stepped hull, dimana dapat menurunkan nilai tahanan kapal sampai 47% (Awaliyah, 2021) dan pemasangan *Vortex Generator* pada lambung kapal. 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 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). Berdasarkan uraian dari pembahasan sebelumnya, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR : POSISI BERSILANGAN ARAH DI DEPAN**

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang terkait dengan penelitian ini adalah, sebagai berikut:

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

### **1.3. Batasan Masalah**

Beberapa hal yang menjadi Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software *Autodesk CFD*.
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 maksimal kapal.
5. Komponen tambahan yang mempengaruhi tahanan yaitu *vortex generator* jenis *double rectangular* yang bersilangan arah di depan

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

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

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah:

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double rectangular vortex generator* yang bersilangan arah di depan 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* dan tanpa menggunakan *double rectangular vortex generator* yang bersilangan arah dengan pertimbangan nilai 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 diuraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori , Bab ini dijelaskan 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 diuraikan 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 adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut (sungai dsb) seperti halnya sampan atau perahu yang lebih kecil. Kapal biasanya cukup besar untuk membawa perahu kecil seperti sekoci. Sedangkan dalam istilah Inggris, dipisahkan antara ship yang lebih besar dan boat yang lebih kecil. Secara kebiasaannya kapal dapat membawa perahu tetapi perahu tidak dapat membawa kapal. Ukuran sebenarnya di mana sebuah perahu disebut kapal selalu ditetapkan oleh undang-undang dan peraturan atau kebiasaan setempat.

Berabad-abad kapal digunakan oleh manusia untuk mengarungi sungai atau lautan yang diawali oleh penemuan perahu. Biasanya manusia pada masa lampau menggunakan kano, rakit ataupun perahu, semakin besar kebutuhan akan daya muat maka dibuatlah perahu atau rakit yang berukuran lebih besar yang dinamakan kapal. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan kapal pada masa lampau menggunakan kayu, bambu ataupun batang-batang papyrus seperti yang digunakan bangsa mesir kuno kemudian digunakan bahan-bahan logam seperti besi/baja karena kebutuhan manusia akan kapal yang kuat. Untuk penggeraknya manusia pada awalnya menggunakan dayung kemudian angin dengan bantuan layar, mesin uap setelah muncul revolusi Industri dan mesin diesel serta Nuklir. Beberapa penelitian memunculkan kapal bermesin yang berjalan mengambang di atas air seperti Hovercraft dan Eakroplane. Serta kapal yang digunakan di dasar lautan yakni kapal selam (Wikipedia.org).

Indonesia yang merupakan Negara maritim terbesar di dunia. Hampir dua per tiga wilayah Indonesia terdiri dari laut dan sisanya adalah pulau. Sifat maritim itu sendiri lebih mengarah pada terwujudnya aktifitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploritasi, pelayaran, pengangkutan barang, dan penyebrangan antar pulau. Dalam menunjang konektifitas antar pulau di Indonesia, sangat diperlukan alat transportasi jalur laut yang memadai. Kapal 6 yang digunakan sebagai moda transportasi penghubung antar daerah/pulau diantaranya menggunakan kapal penyeberangan berupa feri roll on roll off (roro).

Kapal cepat atau dalam bahasa Inggrisnya disebut high-speed craft merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersial. Menurut J. Lawrence (1985), dalam jurnal Rosmani (2013) mengatakan karakteristik high-speed craft dipengaruhi Froude Numbernya. Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi.

Pengukuran yang umum digunakan untuk mengetahui karakteristik hambatan bentuk gelombang pada kapal planing adalah dimensionless *froude number* ( $Fr$ ), yang berhubungan dengan gaya inersia dan gaya eksternal (Savitsky, dikutip dalam Hakim, 2018). Rumus untuk mendapatkan nilai *Froude number* adalah sebagai berikut.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot lwl}} \quad (2.1)$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \sqrt[3]{V}}} \quad (2.2)$$

Kapal planing hull merupakan kapal cepat dengan *Volume Froude Number*  $Fr\sqrt[3]{V}=1,0-3,5$  dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi (Molland, Turnock, & Hudson, 2017).

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

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

dihasilkan oleh sayap yang terpasang pada sisi kanan dan kiri kapal. Sumber (Majalah Teknologi dan Strategi Militer 26).



**Gambar 2.1.** Kapal Hovercraft.

Sumber: (Bakti Saraswati, 2016).

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



**Gambar 2.2.** Kapal Hidrofoil.

Sumber: (delhipage).

3. Katamaran, Kapal cepat berjenis katamaran muncul pada tahun 90-an. Kapal katamaran adalah kapal yang memiliki 2 lambung kapal atau memiliki 2 badan kapal. Sampai saat ini jenis kapal ini banyak digunakan untuk kapal-kapal penumpang. Keuntungan lain dari katamaran selain stabil adalah kapal jenis ini memiliki badan yang sangat lebar karena jembatan

(bridge) antara satu lambung dengan lambung yang lainnya digunakan sebagai tempat muatan.



**Gambar 2.3.** Kapal Katamaran

Sumber: (inameq).

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



**Gambar 2.4.** Kapal Monohull

Sumber: (seanocsboat.com)

## **2.2 Tahanan Kapal**

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan Gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu Gerakan kapal (*Harvald, 1992*). Tahanan kapal ini perlu diketahui karena merupakan faktor

penting yang berpengaruh dalam merencanakan bentuk lambung kapal, selain itu juga tujuannya adalah dalam menghitung daya mesin induk kapal, yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat dihitung/diestimasi biaya operasional kapal.

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

a. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (flow pattern). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan 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*)

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

Dimana :  $v$  : Kecepatan ( $m/s$ )

$L$  : Panjang (m)

$\nu$  : Viskositas air

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

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

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

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

3) Tahanan bentuk (*Form Resistance*)

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

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

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

Komponen tahanan tambahan terdiri dari :

a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

Yaitu tahanan 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:

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

Dimana:

$R_T$  = Tahanan Total (N)

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

$C_T$  = Koefisien tahanan total

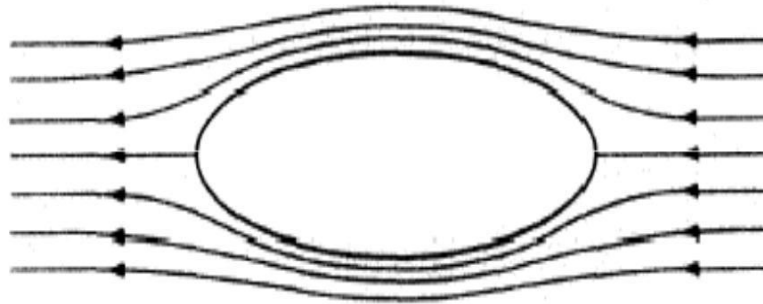
$S$  = Luas bidang basah ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan (m/s)

### 2.3 Aliran Fluida

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





**Gambar 2.5** 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  $p$ ,  $\rho$ ,  $v$ , dan  $h$  adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

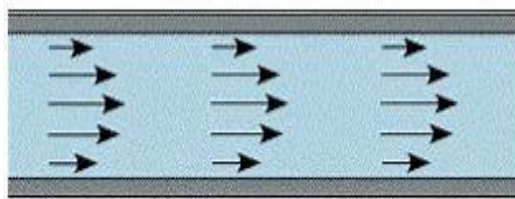
$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.7)$$

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 (Suryo W. Adji, 2009).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang

benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas 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).

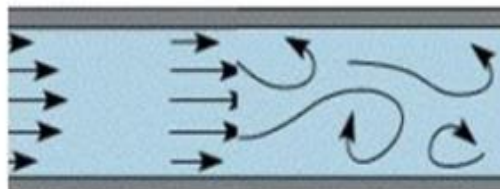
1. Aliran laminer ( $Re < 2300$ ) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminer, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu 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).



**Gambar 2.6** Aliran Laminer.

Sumber: (Senoaji,2015).

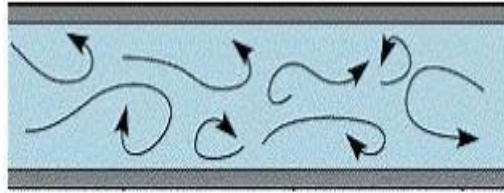
2. Aliran transisi ( $2300 > Re > 4000$ ) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



**Gambar 2.7** Aliran Transisi.

Sumber : (Senoaji,2015).

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



**Gambar 2.8** Aliran Turbulen

Sumber: (Senoaji,2015).

## 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). *Vortex generator* juga merupakan permukaan tambahan yang dapat membentuk aliran vortices dengan arah parallel terhadap aliran utama. Vorticea terbentuk karena adanya strong swirling dari secondary flo, yang diakibatkan oleh flo separation dan gesekan pada fluida (He et al, 2012).

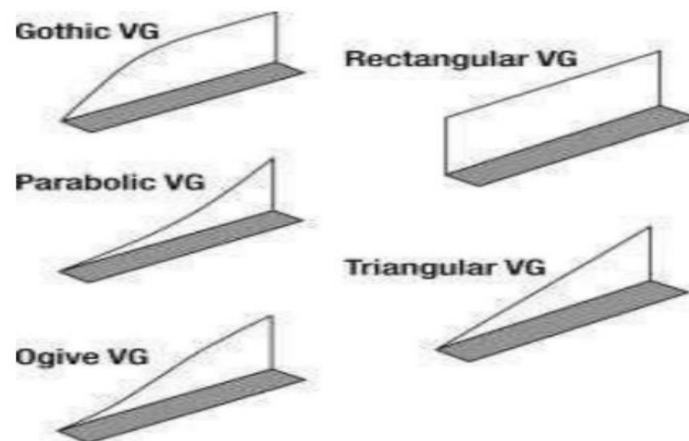
Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), *vortex generator* memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua *vortex generator* berfungsi seperti 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 (Ghofar, 2018: 32).

Terdapat berbagai macam bentuk *vortex generator* yang digunakan, namun pada umumnya yaitu sebagai berikut:

1. Gothic Vg
2. Rectangular Vg
3. Parabolic Vg
4. Triangular Vg
5. Ogive V



**Gambar 2.9** bentuk Vortex Generator

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

## 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 turbulente *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 turbulente kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

Berdasarkan metode yang digunakan Autodesk CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

1. Segregated Solver

Permasalahan yang harus diselesaikan terhadap persamaan yang didiskritkan adalah tekanan yang hilang, maka digunakan persamaan kountinitas dengan penyelesaian integral:

$$\int N \left( \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \tag{2.8}$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa laju peningkatan (pengurangan) massa di dalam suatu elemen sama dengan laju netto aliran massa kedalam (keluar) elemen *fluida* tersebut. Pada aliran *incompressible*, rapat massa konstan, laju perubahan massa didalam elemen adalah nol. Ketiga suku bagian kiri persamaan tersebut adalah aliran massa netto yang keluar elemen melalui dinding elemen dan disebut dengan suku konvektif. Persamaan diatas menunjukkan kondisi batas alami

untuk persamaan tekanan. Untuk mengadakan tekanan yang hilang pada persamaan diatas maka, digunakan persamaan momentum yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2.9)$$

$$V = V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$W = W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z}$$

Sehingga,

$$\int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega$$

(2.10)

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega$$

Persamaan diatas merupakan bentuk diskrit dari persamaan Poisson. Oleh karena itu, akan menghasilkan matriks koefisien simetris. Untuk aliran kompresibel, kopling desitas-tekanan juga harus dipertimbangkan sehingga,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (2.11)$$

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan (2.10) sehingga,

$$\int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (2.12)$$

$$+ N \left( \frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) d\Omega$$

$$= \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) +$$

$$\left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega$$

Persamaan disisi kiri ditulis ulang dalam bentuk tekanan menggunakan hukum gas ideal. Dengan persamaan tersebut maka, persamaan tekanan kompresibel akan menghasilkan matriks koefisien non-simetrik.

Dengan persamaan tekanan diatas, masing-masing persamaan dapat diselesaikan secara terpisah yaitu, persamaan x-momentum dapat diselesaikan untuk nilai U, persamaan y-momentum dapat diselesaikan untuk nilai V, persamaan z-momentum dapat diselesaikan untuk nilai W, persamaan tekanan dapat diselesaikan untuk nilai P dan sebagainya. Hal ini menyederhanakan permasalahan karena penyelesaian dilakukan dalam satu derajat kebebasan di setiap persamaan. Pendekatan ini yang disebut *Solver Segregated* karena masing – masing variabel diselesaikan secara terpisah. 2. Matrix Solver

Proses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar disetiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks  $(a_i, a_j)$ . Metode klasik dalam penyelesaian matriks menggunakan eliminasi Gauss namun, dalam prosesnya membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi karena eliminasi membutuhkan matriks banded selama penguraian. Autodesk CFD mempunyai matriks yang jauh lebih kecil dengan menggunakan pemecahan matriks berulang dari metode gradien konjugasi, dimana dibuat untuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian.

Alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan yakni prosedur *Gauss-Seidel* dan prosedur *Tri-Diagonal Matrix Algorithm* (TDMA). Pada Autodesk CFD digunakan pemecahan matrix metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iteasi yang ditetapkan terlampaui.

## **2.6 Proses simulasi autodesk CFD**

Kemampuan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalm 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.

## 2.7. Hukum Perbandingan Model Kapal

Dalam memakai model fisik, harus ditransfer dari skala model ke skala penuh. Oleh karena itu perlu dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada kapal yang sebenarnya.

Ada tiga hukum kesamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

- 1) Kesamaan Geometris
- 2) Kesamaan Kinematis
- 3) Kesamaan dinamis

### 1. Kesamaan Geometris

Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika bada kapal tidak lagi mulus, maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan dari model dalam suatu skala tertentu, 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 tersbut bergerak di air 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 diturunka.



Bila kapal sedang berlayar dilaut permukaan air luas tak berhingga dan dianggap dalam ta berhingga. Ukuran mkolm model terbatas, dan ukuran model kapal kecil sebanding dengan ukuran tangk/kolam, berarti tidak kesamaan geometris dan mentransfer hasil yang diperoleh dari pengujian model.

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya :

Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala ( $\lambda$ ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.13)$$

Dimana :

$\lambda$  = skala perbandingan

$L_s$  = panjang kapal (m)

$L_m$  = panjang model (m)

$B_s$  = lebar kapal (m)

$B_m$  = lebar model (m)

$T_s$  = sarat kapal (m)

$T_m$  = sarat model (m)

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangka percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

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

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

2) HARVALD:

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

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

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

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

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

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

## 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)

$$\begin{aligned}Fr_m &= Fr_s & (2.14) \\ \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} &= \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \\ V_m &= V_s \sqrt{L_s/L_m} \\ V_m &= V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}}\end{aligned}$$

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/dt<sup>2</sup>)
- $\lambda$  = skala model

## 3. Kesamaan dinamis

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

Angka Reynol model sama dengan angka Reynol kapal

$$\begin{aligned}Re_m &= Re_s & (2.15) \\ \frac{V_m \cdot L_m}{\nu} &= \frac{V_s \cdot L_s}{\nu}\end{aligned}$$

$$V_m = V_s L_s / L_m$$

$$V_m = V_s \lambda$$

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

#### A. Skala Model

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangki percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut.

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan "*Blockage Effect*" maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran lebar tangki/kolam percobaan serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Hubungan antara lebar tangki dan lebar model sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa

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

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

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

Apabila tangki percobaan cukup besar dan gelombang yang terjadi dari pantulan dinding tangki tidak mempengaruhi gerak model, maka dapat digunakan persamaan perbandingan panjang model kapal dengan ukuran angki, yaitu :

$$L_m < T \text{ tangki (menurut Todd)}$$

$$L_m < 1/2 B \text{ tangki (menurut Todd)}$$

$$A_o_m < 0,4 A_o \text{ tangki (menurut University Of New Catsle)}$$