

**STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT *DOUBLE PARABOLIC*  
*VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL**

**SKRIPSI**

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



**OLEH:**

**ABDUL KHALIQ RAJIH  
D031181007**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan 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 CEPAT AKIBAT *DOUBLE PARABOLIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL**

Disusun Oleh:

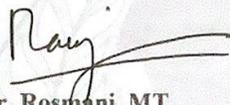
**ABDUL KHALIQ RAJIH**

**D031181007**

Gowa, 02 Maret 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

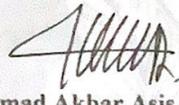
Pembimbing I



**Ir. Rosmani, MT.**

**Nip. 19600620 198802 2 001**

Pembimbing II

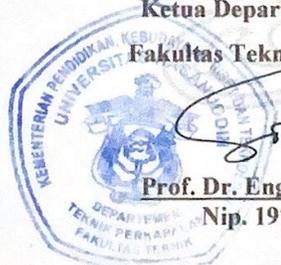


**Muhammad Akbar Asis, S.T., MT.**

**Nip. 19950501 202101 5 001**

Mengetahui,

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



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

**Nip. 19730206 200012 1 002**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

**Nama** : **Abdul Khaliq Rajih**

**NIM** : **D031 18 1007**

**Program Studi** : **Teknik Perkapalan**

**Jenjang** : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT *DOUBLE PARABOLIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL”**

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

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

Gowa, 02 Maret 2023



Yang menyatakan,

*Abdul Khaliq Rajih*  
Abdul Khaliq Rajih

# **STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT *DOUBLE PARABOLIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL**

**Abdul Khaliq Rajih, Rosmani, & Muhammad Akbar Asis**  
Departemen Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa  
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

## **ABSTRAK**

Kapal memiliki beragam bentuk untuk memenuhi estetika maupun kebutuhan. Terutama pada desain kapal cepat, berbagai alternatif digunakan pada lambung kapal, salah satunya dengan pemasangan *Vortex Generator* dimana *vortex generator* ini merupakan salah satu alternatif untuk lambung kapal dengan bentuk *planning hull* atau kapal berkecepatan tinggi. *Vortex generator* juga bertujuan untuk mengurangi tahanan kapal. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai tahanan kapal tanpa menggunakan *vortex generator* dan menggunakan *vortex generator* serta menentukan karakteristik pola aliran fluida. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komputasi dengan bantuan *software maxurf pro modeler* dan *rhinoceros 6* untuk pemodelan, dan *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)* dalam melakukan analisis tahanan kapal. Dengan bantuan dari aplikasi tersebut didapatkan hasil nilai tahanan kapal tanpa menggunakan *vortex generator* dan menggunakan *vortex generator* dimana terjadi pengurangan nilai tahanan pada kapal dengan menggunakan *vortex generator* dengan pengurangan nilai tahanan terbesar terjadi pada kondisi trim 2°, sebesar 20,24%.

**Kata kunci:** Tahanan kapal, *vortex generator*, dan *Autodesk CFD*

**FAST BOAT RESISTANCE STUDY DUE TO *DOUBLE PARABOLIC*  
*VORTEX GENERATOR* ALIGNED POSITION ON HULL**

**Abdul Khaliq Rajih, Rosmani, & Muhammad Akbar Asis**

Department of Shipping

Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa

Malino Axis St., Gowa Regency, South Sulawesi 92119

**ABSTRACT**

Ships come in a variety of shapes to suit both aesthetics and needs. Especially in the design of fast boats, various alternatives are used in ship hulls, one of which is by installing a Vortex Generator, where this vortex generator is an alternative for ship hulls with a planning hull or high-speed ships. The vortex generator also aims to reduce ship resistance. Therefore this study aims to determine the resistance value of the ship without using a vortex generator and using a vortex generator and to determine the characteristics of fluid flow patterns. The method used in this study is the processing method with the help of maxurf pro modeller and rhinoceros six software for modelling and Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) in analyzing ship control. With the help of this application, the ship's resistance value is obtained without using a vortex generator and using a vortex generator where there is a reduction in the resistance value on the ship using a vortex generator with the largest reduction in the resistance value occurring at 2° trim, by 20.24%

**Keywords: Ship resistance, *vortex generator*, and Autodesk CFD**

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmattulahi wabarakatuh

ALHAMDULILLAH, segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini dengan judul

“STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT *DOUBLE PARABOLIC VORTEX GENERATOR* POSISI SEJAJAR PADA LAMBUNG KAPAL”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh.

Dalam penyusunan laporan ini Penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kepada Ibunda tercinta dan Ayahanda Normah S.Pd dan Herman S.Pd, terimakasih atas segala dukungan, kesabaran, pengorbanan, cinta, semangat, materi dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Dan ayahanda Herman S.pd. terimakasih.
2. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing I dan bapak Muhammad Akbar Asis, ST., MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.

4. Bapak Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng dan bapak Prof. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku penguji dalam tugas akhir ini.
5. Seluruh staf Departemen Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
6. Seluruh Dosen Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
7. Kepada saudara-saudara angkatan saya THRUZTER 2018, terima kasih telah memberi pengalaman hidup yang sangat berharga selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
8. Kepada teman-teman seperjuangan Andromax 2018, merasa bersyukur kita pernah bersama di Laboratorium Hidrodinamika Kapal.
9. Kepada saudara-saudara tak sedarah RUMAH BAHAGIA terimakasih atas kebersamannya, kisahnya, susah senangnya, pengalamannya dan lain lain yang tak sempat terucap.
10. Penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan berharap kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Walaikumsalam warahmatullahi wabarakatuh

Gowa,02 Maret 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR NOTASI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kapal Cepat .....	6
2.2 Tahanan Kapal .....	8
2.3 Aliran Fluida dan prinsip mekanika fluida.....	12
2.4 <i>Vortex Generator</i> .....	15
2.5 <i>Autodesk CFD</i> .....	17
2.6 Hukum Perbandingan.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	22
3.2 Jenis dan Pengumpulan Data .....	22
3.3 Metode Pengolahan Data .....	22
3.3.1 Data Kapal.....	22
3.3.2 Pemodelan kapal dengan double parabolic <i>Vortex Generator</i> .....	24

3.3.3 Simulasi <i>Autodesk CFD</i> .....	31
3.3.4 Verifikasi.....	35
3.3.5 Analisa Data.....	35
3.3.6 Kesimpulan .....	36
3.3.7 Kerangka Pikir .....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	38
4.1 Desain <i>Vortex Generator</i> .....	38
4.1 Deskripsi Pra-Analisis.....	40
4.2 Nilai <i>Residual in</i> dan <i>Residual out</i> .....	42
4.3 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i> .....	43
4.3.1 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> .....	43
4.3.2 Visualisasi <i>Static Pressure</i> .....	55
4.4 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	61
BAB V PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan .....	64
5.1 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	66
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 <sup>2</sup> )
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froude Number Volume
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)
VG	= <i>Vortex Generator</i>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu body .....	12
<b>Gambar 2.2</b> Aliran laminar .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Aliran transisi.....	15
<b>Gambar 2.4</b> Aliran turbulen.....	15
<b>Gambar 2.5</b> Berbagai bentuk <i>Vortex Generator</i> .....	17
<b>Gambar 3.1</b> <i>Lines plan</i> kapal pada <i>software autocad</i> .....	23
<b>Gambar 3.2</b> <i>Parabolic Vortex Generator</i> .....	24
<b>Gambar 3.3</b> Tampilan awal model kapal tanpa <i>Vortex Generator</i> Pada <i>maxurf modeler</i> .....	25
<b>Gambar 3.4</b> Tampilan awal model kapal tanpa <i>Vortex Generator</i> pada aplikasi <i>Rhinocerros</i> .....	25
<b>Gambar 3.5</b> Proses Pembuatan <i>Surface</i> .....	26
<b>Gambar 3.6</b> Proses trim pada <i>surface</i> diluar model kapal.....	26
<b>Gambar 3.7</b> Tampilan <i>Parabolic Vortex Generator</i> yang telah didesain.....	27
<b>Gambar 3.8</b> Tampilan Tampilan Double <i>parabolic Vortex Generator</i> yang telah terpasang pada bagian <i>surface bottom</i> .....	27
<b>Gambar 3.9</b> Tampilan model setelah didesain dengan melakukan penambahan <i>Double parabolic Vortex Generator</i> .....	28
<b>Gambar 3.10</b> Tampilan model kapal setelah <i>close solid</i> .....	28
<b>Gambar 3.11</b> Pemodelan kolam uji .....	29
<b>Gambar 3.12</b> Kondisi trim 3° model kapal tanpa menggunakan <i>Vortex Generator</i> .....	30
<b>Gambar 3.13</b> Visualisasi tahap geometri model kapal .....	31
<b>Gambar 3.14</b> Visualisasi <i>input</i> material model kapal.....	32

<b>Gambar 3.15</b> Visualisasi <i>input boundary condition</i> model kapal .....	33
<b>Gambar 3.16</b> Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....	33
<b>Gambar 3.17</b> Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal.....	34
<b>Gambar 3.18</b> Visualisasi <i>input solve result quantition</i> .....	34
<b>Gambar 3.19</b> Visualisasi tahap <i>solve</i> kapal dan <i>boundary layer</i> .....	35
<b>Gambar 3.20</b> Kerangka pikir penelitian .....	37
<b>Gambar 4.1</b> Desain <i>vortex generator</i> yang telah terpasang pada lambung model kapal.....	39
<b>Gambar 4.2</b> Sketsa peletakan dan ukuran <i>Double Parabolic</i> <i>Vortex Generator</i> .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> kecepatan 0.75 m/s.....	43
<b>Gambar 4.4</b> Pola aliran model kapal kecepatan 0.75 m/s.....	45
<b>Gambar 4.5</b> Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> kecepatan 1.513 m/s.....	46
<b>Gambar 4.6</b> Pola aliran model kapal kecepatan 1.513 m/s.....	48
<b>Gambar 4.7</b> Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> kecepatan 2.016 m/s.....	49
<b>Gambar 4.8</b> Pola aliran model kapal kecepatan 2.016 m/s.....	51
<b>Gambar 4.9</b> Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> kecepatan 2.762 m/s.....	52
<b>Gambar 4.10</b> Pola aliran model kapal kecepatan 2.762 m/s.....	54
<b>Gambar 4.11</b> Visualisasi <i>Static Pressure</i> model kapal kecepatan 0.75 m/s .....	56
<b>Gambar 4.12</b> Visualisasi <i>Static Pressure</i> model kapal kecepatan 1,513 m/s .....	57
<b>Gambar 4.13</b> Visualisasi <i>Static Pressure</i> model kapal kecepatan 2.016 m/s .....	59
<b>Gambar 4.14</b> Visualisasi <i>Static Pressure</i> model kapal kecepatan 2.762 m/s.....	60
<b>Gambar 4.15</b> Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan model kapal..	62
<b>Gambar 4.16</b> Grafik persentase perbedaan.....	63

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Ukuran utama kapal.....	23
<b>Tabel 3.2</b> Ukuran <i>Vortex Generator</i> .....	24
<b>Tabel 3.3</b> Ukuran model kapal skala 1:15 .....	29
<b>Tabel 3.4</b> Ukuran <i>boundary layer</i> skala 1:15 .....	29
<b>Tabel 3.5</b> Kecepatan model kapal tiap kondisi.....	30
<b>Tabel 4.1</b> Jumlah total elemen mesh .....	41
<b>Tabel 4.2</b> Nilai <i>Froude number volume</i> model kapal.....	41
<b>Tabel 4.3</b> Nilai <i>residual in</i> dan <i>residual out</i> model kapal .....	42
<b>Tabel 4.4</b> Nilai dan persentase perbedaan tahanan model kapal .....	62

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Tabel *Offset Lines Plan* Model Kapal
- Lampiran 2** Penentuan Skala Model Statistik Jumlah *Elemen Mesh*
- Lampiran 3** Kondisi Trim Model Kapal
- Lampiran 4** Statistik Jumlah *Elemen Mesh*
- Lampiran 5** Bentuk dan ukuran *mesh*
- Lampiran 6** Hasil *Wall Calculator Drag Force* Model kapal

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kapal adalah bangunan apung diatas permukaan air yang berguna untuk menunjang aktivitas manusia. Sebagai contoh kapal penyeberangan yang mengangkut manusia atau barang untuk berpindah tempat dari satu lokasi ke lokasi yang lain, hal ini juga sebagai penghubung satu wilayah dengan wilayah yang lain yang tentu saja dapat digunakan untuk menunjang dan mendorong pembangunan nasional sebagai upaya untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat. Dimasa sekarang kapal memiliki banyak fungsi dan kegunaan mulai dari aktivitas eksplorasi, pelayaran, penelitian, penangkapan ikan, pertahanan, pengangkutan barang dan masih banyak lagi. Perbedaan fungsi dan dan tujuan dari kapal-kapal tersebut membuat para ahli merancang desain kapal yang efisien untuk tiap-tiap fungsi yang berbeda dengan ukuran dan bentuk yang beragam sesuai kebutuhannya.

Salah satu contohnya adalah kapal cepat, kapal cepat bergerak karena adanya interaksi antara sistem penggerak kapal, badan kapal, dan air sehingga menghasilkan gaya dorong bagi kapal. Namun kapal juga akan mendapat gaya hambat akibat pergerakan kapal disuatu fluida. Ketika badan kapal bergerak melintasi suatu fluida, maka badan kapal tersebut akan mengalami gaya hambat yang berlawanan arah terhadap arah gerak kapal. Sebagaimana badan kapal yang melewati air dan udara, maka badan kapal tersebut mengalami gaya hambat dari air dan udara. Massa air dan udara mungkin juga bergerak karena kondisi mereka sendiri, misalnya massa air digerakkan oleh arus air dan massa udara digerakkan oleh angin, yang mana kemungkinannya mempunyai besaran dan arah yang berbeda.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, hal ini disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat dibuat untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat dioptimalkan. Untuk itu dalam mendesain kapal berkecepatan tinggi harus mempertimbangkan aspek-aspek yang berkaitan dengan keselamatan dan performa kapal. Dalam perencanaan lambung kapal dikenal 3 jenis rancangan bentuk kapal,

yaitu *planning hull ship*, *semi planning hull*, dan *displacement hull*. Untuk kapal cepat digunakan bentuk *planning hull*. Untuk meningkatkan performa kapal *planning hull* ini akan dilakukan penambahan *vortex generator* pada lambung (*hull*) kapal.

*Generator vortex* adalah perangkat *hidrodinamik* yang dirancang untuk mengalihkan arah aliran dan menghasilkan aliran vertikal dan dengan demikian menghomogenkan aliran bangun ke dalam baling-baling. 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).

*Vortex Generator* memiliki beberapa bentuk yang lazim digunakan diantaranya bentuk *triangular*, *rectangular*, *gothic*, *parabolic*, dan *ogive VG*. Adapun pada penelitian ini penulis memilih untuk meneliti bentuk *parabolic vortex generator* karena tertarik dengan bentuk *parabolic VG* yang hampir serupa dengan *triangular VG* dan dalam penelitian ini pula dilakukan modifikasi pemasangan dengan posisi sejajar dan jumlah *vortex generator* menggunakan *double parabolic VG*.

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

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka, rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar terhadap tahanan model kapal?
2. Berapa besar nilai tahanan model kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?
3. Bagaimana perbandingan nilai tahanan model kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* yang sejajar berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*?
4. Bagaimana karakteristik pola aliran air disepanjang badan kapal kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar berdasarkan analisis *Autodesk CFD*?

## 1.3 Batasan Masalah

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

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. Kecepatan kapal yang di uji adalah kecepatan 0.75 m/s, 1.513 m/s, 2.016 m/s, dan 2.762 m/s.
4. Simulasi pengujian model kapal dilakukan pada kondisi air tenang
5. Komponen tambahan *double parabolic vortex generator*

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar terhadap tahanan kapal.

2. Untuk mengetahui besar nilai tahanan kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar.
3. Untuk mengetahui perbandingan nilai tahanan kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar.
4. Untuk mengetahui karakteristik pola aliran air di sepanjang badan kapal sebelum dan sesudah dipasangkan *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar terhadap tahanan kapal.
2. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double parabolic Vortex Generator* posisi sejajar terhadap karakteristik pola aliran air.
3. Sebagai masukan bagi perancang kapal untuk mendesain kapal cepat yang lebih optimal.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

#### **BAB I           PENDAHULUAN**

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

#### **BAB II          LANDASAN TEORI**

Bab ini menjelaskan tentang teori – teori gambaran wilayah penelitian, berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, Teknik dalam pengambilan data, metode analisis data dan kerangka pikir.

### BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran – saran untuk peneliti selanjutnya maupun pihak – pihak yang terkait tentang penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Kapal Cepat**

Menurut J. Lawrence (1985), Kapal cepat adalah kapal yang memiliki kecepatan yang sangat tinggi pada setiap dimensinya, hal ini berarti kapal memiliki angka Froude (Fn) yang. Angka Froude didefinisikan sebagai fungsi kecepatan (V) terhadap Panjang kapal (L).

Karakteristik kapal cepat dipengaruhi Froude numbernya (J. Lawrence, 1985). Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk planning craft, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Froude number (Fn) sering digunakan sebagai parameternya. Fn didefinisikan sebagai berikut:

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

Dimana:

Fn = Froude Number

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

L = Panjang kapal (m)

FnV didefinisikan sebagai berikut

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

Dimana:

V = Kecepatan (m/s)

G = Percepatan Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

V = Volume kapal (m<sup>3</sup>)

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  $F_n > 0,35$

Kapal cepat merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersil. Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis hydrofoils dan hovercraft, tetapi pada tahun 1990 jenis kapal cepat *catamaran* dan *monohull* menjadi lebih populer. Kapal cepat menggunakan sistem waterjet atau tekanan udara yang tinggi untuk bergerak dengan cepat di air. Adapun jenis-jenis kapal cepat atau highspeed craft antara lain:

1. *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 belakang 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).
2. *Hydrofoil* 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. (The International Hydrofoil Society).
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. Bila dibandingkan dengan kapal berbadan tunggal, banyak sekali kelebihan dari kapal katamaran ini yaitu stabilitas melintang yang lebih baik,

hambatan yang nilainya kecil, dan area geladak yang lebih luas. Katamaran berasal dari bahasa India Tamil “Kattumaram” atau multi lambung yang berarti kapal yang mempunyai dua lambung. 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. Pada kapal ro-ro, muatan mobil dan penumpang akan lebih banyak dibanding dengan kapal berjenis lain dengan kapasitas muatan yang sama besar.

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)

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

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

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

a. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

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

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas yang mengkualifikasikan hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi *laminar* dan *turbulen*.

Adapun rumus bilangan Reynolds sebagai berikut:

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

Dimana

V : Kecepatan ( $m/s$ )

L : Panjang (m)

$\nu$  : Viskositas air (cP)

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 (*superstructure*) karena gerakan kapal diudara. 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*)

Tahanan yang terjadi akibat dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.

b) Tahanan kekasaran

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

c) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

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

c. Tahanan Total (*Total Resistance*)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldahammer dan Harvald (Harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.

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

Dimana:

$R_T$  = Tahanan Total (N)

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

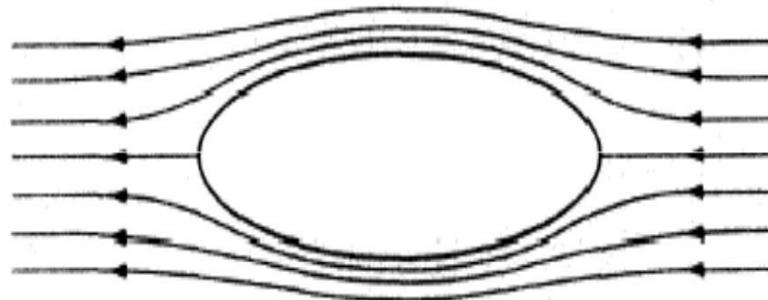
$C_T$  = Koefisien tahanan total

$S$  = Luas bidang basah ( $m^2$ )

$v$  = Kecepatan (m/s)

### 2.3 Aliran Fluida dan prinsip mekanika 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 massanya didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernoulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika  $P$ ,  $\rho$ ,  $v$ , dan  $h$  adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

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

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 lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (*Suryo W. Adji, 2009*).

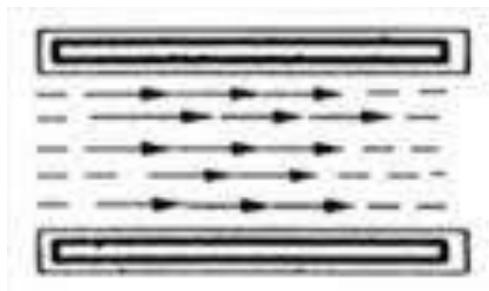
Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter-parameter non-dimensional. Dimana angka tersebut dapat mengkarakteristikan aliran dan gaya – gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat – sifat fluidanya. Sifat–sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ $\rho$ ], Viskositas [ $\mu$ ], Tekanan Statis Fluida [ $p$ ]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [ $R$ ], Kecepatan adalah [ $V$ ], dan Panjang adalah [ $L$ ], maka Tahanan kapal dalam Analisa dimensional dapat diformulasikan sebagai berikut (*Sutiyo 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 laminer, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminer 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 laminer, turbulen atau campuran antara keduanya (*Sardjadi, 2003*).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan *Reynold Number*. *Reynold Number* dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai *reynold* number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi, 2003).

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



**Gambar 2.2** Aliran Laminar.

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



**Gambar 2.3** Aliran Transisi.

3. Aliran turbulen ( $Re > 4000$ ) Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminer 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 2.4** Aliran Turbulen

#### **2.4 Vortex Generator**

*Generator vortex* adalah perangkat *hidrodinamik* yang dirancang untuk mengalihkan arah aliran dan menghasilkan aliran vertikal dan dengan demikian menghomogenkan aliran bangun ke dalam baling-baling.

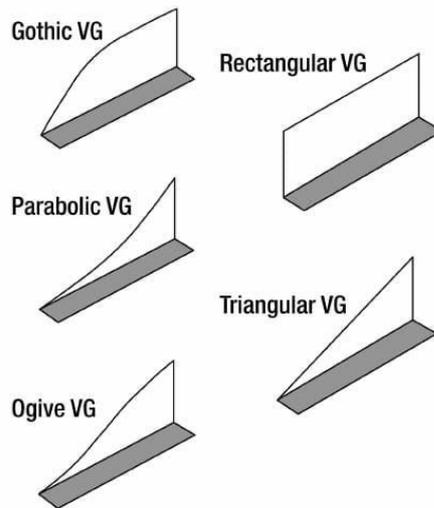
*Generator Vortex* (VGs) telah berhasil digunakan dalam banyak aplikasi penerbangan untuk mengurangi pemisahan baik aliran internal maupun eksternal. Vortisitas (atau turbulensi) yang tercipta mentransfer fluida berenergi rendah dari permukaan ke arus utama, dan membawa fluida berenergi lebih tinggi dari arus

utama ke permukaan di mana tingkat energi kinetik yang lebih tinggi mampu menahan kenaikan tekanan yang lebih besar sebelum pemisahan terjadi.

Penggunaan *generator vortex* sebagai sarana kontrol aliran adalah salah satu solusi, banyak digunakan dalam industri pesawat terbang baik untuk aliran inlet maupun aliran eksternal. Namun untuk aplikasi laut, sejumlah faktor lain juga harus dipertimbangkan, seperti kemungkinan kavitasi erosif, kelelahan karena banyaknya massa yang terlibat dalam aliran dibandingkan dengan VG yang digunakan dalam aerodinamika, dan akhirnya dampak dari puing-puing permukaan air. Ini berarti bahwa VG, bila digunakan di lingkungan hidrolis seperti pembangkit listrik tenaga air dan kendaraan laut, harus dirancang menggunakan pendekatan yang agak berbeda. (M. Oledal, 1997)

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

Terdapat berbagai macam bentuk *Vortex Generator* digunakan pada pesawat ataupun mobil, namun pada umumnya yang biasa digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Berbagai bentuk *Vortex Generator*  
 Sumber: Chinniyampalayam, 2016

### 2.5 Autodesk CFD

*Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)* adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)* digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

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

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

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

1. *PreProcessor*

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

2. *Solver*

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

3. *Post Processor*

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti grafik, vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.

Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Terdapat 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 kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
2. Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan sistem yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.

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

## 2.6 Hukum Perbandingan

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

Ada tiga hukum kesamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

### 1. Kesamaan Geometris

Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika bada kapal tidak lagi mulus, maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan dari model dalam suatu skala tertentu, walupun permukaan tersebut dibuat sesuai permukaan kapal itu sendiri, karena aliran yang terjadi disepanjang model dan kapal tidak sesuai. Fenomena lapisan batas pada kapal tidak dapat ditiru secara benar pada skala model.

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \dots\dots\dots (2.9)$$

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 :
  - $L_m < T$  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
  - $A_o m < 0,4 A_o$  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 angka Froude Number(Fn)

$$Fn_m = Fn_s \dots\dots\dots(2.10)$$

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

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

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

Dimana:

- Fr = angka froude
- $L_s$  = panjang kapal (m)
- $L_m$  = panjang model (m)
- $V_s$  = kecepatan kapal (m/s)
- $V_m$  = kecepatan model (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\lambda$  = 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 *Reynolds* model sama dengan angka *Reynolds* kapal

$$Re_m = Re_s \dots\dots\dots (2.11)$$

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

$$V_m = V_s \cdot L_s / L_m$$

$$V_m = V_s \cdot \lambda$$

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