

**SKRIPSI**

**PENGARUH PEMASANGAN DOUBLE TRIANGULAR  
VORTEX GENERATOR POSISI SEJAJAR TERHADAP  
TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN APLIKASI  
ANSYS FLUENT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD MASRI MARDIANSYAH**

**D031191008**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGARUH PEMASANGAN DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR POSISI SEJAJAR TERHADAP TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN APLIKASI ANSYS FLUENT

Disusun dan diajukan oleh

**Muhammad Masri Mardiansyah**  
**D031191008**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 30 April 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

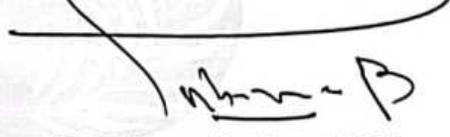
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng Suandar Baso, S.T., M.T.  
NIP. 19730206 200012 1 002

Pembimbing Pendamping,



Ir. Lukman Bochari, M.T.  
NIP. 19581127 198803 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng Suandar Baso, S.T., M.T.  
NIP. 19730206 200012 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Muhammad Masri Mardiansyah  
NIM : D031191008  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Pemasangan Double Triangular Vortex Generator Posisi Sejajar  
Terhadap Tahanan Kapal Menggunakan Aplikasi Ansys Fluent}

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

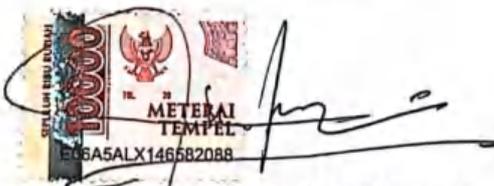
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul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

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

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

Gowa, 26 April 2024

Yang Menyatakan

  
Muhammad Masri Mardiansyah



## ABSTRAK

**MUHAMMAD MASRI MARDIANSYAH.**”Pengaruh Pemasangan *Double Triangular Vortex Generator* Posisi Sejajar Terhadap Tahanan Kapal Menggunakan Aplikasi *Ansys Fluent*”. (Dibimbing oleh Suandar Baso dan Lukman Bochary)

Tahanan kapal menjadi salah satu problematika dalam perencanaan kapal. Suatu bentuk lambung kapal dirancang dengan tahanan yang sekecil mungkin. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, desain kapal cepat banyak mengalami perubahan untuk mendapatkan desain yang mampu mengurangi tahanan pada kapal. Salah satu cara dengan menambahkan *vortex generator* pada modifikasi lambung kapal. Desain *vortex generator* menggunakan bentuk *Double Triangular vortex generator*. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan dan trim. Metode pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan *software Rhinoceros 5* untuk pemodelan *vortex generator* dan *Ansys Fluent* untuk melakukan proses analisa tahanan. Hasil yang didapatkan yaitu perbedaan tahanan pada model kapal tanpa menggunakan *vortex generator* dan model kapal menggunakan *vortex generator*, maka hasilnya dibandingkan sesuai kecepatan dan trim. Perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan *vortex generator* berkisar 5,68% hingga 15,01% lebih kecil dibandingkan tahanan model kapal tanpa menggunakan *vortex generator*. Pengurangan nilai tahanan terbesar pada FnV 2,816.

Kata Kunci: *Vortex generator*, Tahanan Kapal, Ansys Fluent



## ABSTRACT

**MUHAMMAD MASRI MARDIANSYAH.** " *The Effect Of Installing A Double Triangular Vortex Generator In A Parallel Position On The Resistance Of The Ship Using The Ansys Fluent Application*". (Supervised by Suandar Baso dan Lukman Bochary.)

Ship resistance is one of the problems in ship planning. A shape of the hull is designed with the smallest possible resistance. Along with the rapid development of science and technology, the design of fast boats has undergone many changes to obtain a design that is able to reduce the resistance on the ship. One way is by adding *vortex generator* on hull modifications. Design *vortex generator* using shapes *Double Triangular vortex generator*. The research was carried out with variations in speed and trim. The data processing method in this research uses numerical methods with assistance *software Rhinoceros 5* for modeling *vortex generator* and *Ansys Fluent* to carry out a resistance analysis. The results obtained are the difference in resistance on the ship model without using *vortex generator* and ship models using *vortex generator*, then the results are compared according to speed and trim. Comparison of resistance values using ship models *vortex generator* ranging from 5,68% to 15,01% less than the resistance of the ship model without using *vortex generator*. The greatest reduction in the value of resistance is at  $F_nV$  2,816

Keywords: Vortex generator, Ship Resistance, Ansys Fluent



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
KATA PENGANTAR .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kapal Cepat.....	4
2.2 Karakteristik Kapal Cepat.....	4
2.3 Tahanan Kapal .....	5
2.4 Aliran Fluida .....	8
2.5 Vortex Generator.....	11
2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	12
2.6.1 Proses Simulasi Ansys Fluent .....	15
2.7 Hukum Perbandingan Model Kapal.....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Lokasi Penelitian.....	20
3.2 Jenis Penelitian.....	20
3.3 Pengumpulan Data .....	20
3.4 Pengolahan Data.....	21
3.4.1 Permodelan 3D .....	21
3.4.2 Simulasi Ansys Fluent .....	28
3.4.3 Verifikasi .....	32
3.4.4 Analisa Data .....	32
3.4.5 Kesimpulan.....	32
3.4.6 Ringkasan dan Saran Berpikir .....	33
3.4.7 Kesimpulan dan Saran Berpikir .....	34
BAB IV PEMBAHASAN.....	34



4.1 Initial Condition .....	34
4.1.1 Perbandingan Model Kapal.....	34
4.1.2 Properti Fluida dan Kecepatan Kapal .....	35
4.2 Mesh (Grid).....	36
4.2.1 <i>Mesh Independence Study</i> .....	37
4.3 <i>Boundary Condition</i> .....	38
4.4 Visualisasi <i>Velocity</i> , Vektor, dan <i>Pressure</i> .....	41
4.4.1 Visualisasi <i>Velocity</i> .....	41
4.4.2 Visualisasi <i>Static Pressure</i> .....	47
4.4.2 Visualisasi Pola Aliran.....	52
4.5 Prediksi Tahanan Model Kapal .....	57
BAB 5.....	61
KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	62



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Aliran Streamline yang Melintasi Body .....	11
Gambar 2 Aliran Laminer .....	13
Gambar 3 Aliran Transisi.....	13
Gambar 4 Aliran Turbulen .....	13
Gambar 5 Bentuk Vortex Generator .....	15
Gambar 6 Linesplan Kapal pada Software Autocad .....	26
Gambar 7 Sketsa Peletakan dan Ukuran Vortex Generator .....	27
Gambar 8 Tampak Awal Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator pada Rhinocheros .....	28
Gambar 9 Batas Panjang Vortex Generator pada Lambung Model.....	28
Gambar 10 Proses Pembuatan Sebuah Bidang yang Menjadi Patokan Panjang Vortex Generator.....	29
Gambar 11 Proses Trimming Bagian Luar Bidang dan Penempatan Persegi pada Bawah Kapal .....	29
Gambar 12 Proses Pembuatan Vortex Generator pada Bidang Bantu.....	30
Gambar 13 Proses Pemiringan Vortex Generaor .....	30
Gambar 14 Proses Penempatan Rectangular Vortex Generator pada Bidang Bantu pada Kapal .....	31
Gambar 15 Penampakan Rectangular Vortex Generator Sudah Terpasang pada Kapal .....	31
Gambar 16 Penampakan Rectangular Vortex Generator Yang Telah Terpasang dari Berbagai Sudut .....	32
Gambar 17 Hasil Model Closed Solid .....	32
Gambar 18 Visualisasi Terhadap Geometry Model Kapal .....	34
Gambar 19 Visualisasi terhadap Mesh Sizing model kapal dan Boundary Layer	34
Gambar 20 Kerangka Pikir Penelitian.....	37
Gambar 21 Boundary Layer Sesuai Rekomendasi ITTC.....	39
Gambar 22 Penampang Inlet Pada Boundary Layer .....	39
Gambar 23 Pengaturan Pada Zona Inlet.....	40
Gambar 24 Penampang Outlet Pada Boundary Layer .....	40



Gambar 25 Pengaturan Pada Zona Outlet .....	41
Gambar 26 Penampang Wall Pada Boundary Layer.....	41
Gambar 27 Pengaturan Pada Zona Wall .....	42
Gambar 28 Penampang Model Pada Boundary Layer .....	42
Gambar 29 Pengaturan Pada Zona Hull.....	43
Gambar 30 Grafik Hubungan Antara Tahanan Terhadap Jumlah Mesh.....	44
Gambar 31 Visualisasi Velocity Contour Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kecepatan 1,513 m/s .....	46
Gambar 32 Visualisasi Velocity Contour Model Kapal menggunakan Rectangular Vortex Generator Kecepatan 1,513 m/s .....	46
Gambar 33 Visualisasi Static Pressure Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s .....	48
Gambar 34 Visualisasi Static Pressure Model Kapal dengan Rectangular Vortex Generator Kcepatan 0,75 m/s .....	48
Gambar 35 Grafik Koefisien Tahanan Kapal Tanpa Vortex Generator .....	50
Gambar 36 Grafik Koefisien Tahanan Menggunakan Vortex Generator .....	50
Gambar 37 Grafik Perbedaan Koefisien Tahanan .....	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Ukuran Utama Model.....	25
Tabel 2 Ukuran Vortex Generator.....	33
Tabel 3 Ukuran Model Kapal Hasil Skala .....	33
Tabel 4 Kecepatan Model Kapal dan Trim Buritan .....	38
Tabel 5 Property Fluida.....	38
Tabel 6 Hasil Mesh Sudy Independence.....	44
Tabel 7 Nilai Sclaed Residual Model Kapal Tanpa Rectangular Vortex Generator.....	45
Tabel 8 Nilai Sclaed Residual Model Kapal Menggunakan Rectangular Vortex Generator.....	45
Tabel 9 Nilai Velocity Contour model kapal tanpa menggunakan Rectangular Vortex Generator .....	49
Tabel 10 Nilai Velocity Contour model kapal menggunakan Rectangular Vortex Generator .....	49
Tabel 11 Hasil Tahanan Model Kapal Tanpa Vortex Generator .....	51
Tabel 12 Hasil Tahanan Model Kapal Menggunakan Vortex Generator .....	52
Tabel 13 Hasil Perbedaan Tahanan Model Kapal Tanpa Vortex Generator .....	53



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
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	<i>Froud 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)

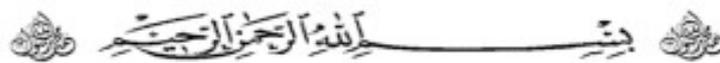


## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Offset Lines Plan Model Kapal
- Lampiran 2 Visualisasi Velocity Magnitude
- Lampiran 3 Visualisasi Static Pressure
- Lampiran 4 Grafik Scaled Residual
- Lampiran 5 Hasil Fungsional Calculation
- Lampiran 6 Penentuan skala model



## KATA PENGANTAR



### Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“PENGARUH PEMASANGAN DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR POSISI SEJAJAR TERHADAP TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN APLIKASI ANSYS FLUENT** “. Yang disusun guna memenuhi salah satu 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 terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Ayahanda Mahmuddin, S.P., M.P. dan Ibunda Sitti Saharia, S.Pd.,M.Pd atas kasih sayang, kesabaran, dukungan, pengorbanan dan doa yang selama ini telah diberikan kepada saya, serta terima kasih kepada keluarga besar atas sumbangsi dan dorongan yang telah diberikan.
2. Ibu Ir. Rosmani., MT. Selaku kepala Laboratorium Hidrodinamika kapal sekaligus Dosen Penguji yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin sekaligus pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik saya selama menjalani proses penelitian skripsi maupun pada saat menjalani penelitian ini.



4. Ir. Lukman Bochary, MT., selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri S.T. selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini yang telah banyak memberikan masukan, wejangan serta pendidikan moral dan etika yang sangat berharga kepada penulis.
6. Bapak Abdul Haris Djalante, ST., MT selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
8. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
9. ZTARBOARD' 2019, dan Teknik 2019, yang menemani suka dan duka serta berdedikasi terhadap pembentukan karakter saya.
10. HMDP FT-UH dan OKFT-UH, karena telah menjadi wadah belajar bekerja dan berkarya dalam rangka membentuk pribadi yang memiliki spirit *Keep On Fighting Till' The End*, dalam kebaikan.
11. Kepada seluruh pihak terkait yang turut membantu baik langsung maupun tidak langsung saya ucapkan

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. Semoga tugas akhir ini diberkahi oleh Allah SWT dan memberi manfaat.

Gowa, April 2024

Penulis



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Keberadaan kapal di Indonesia sangat penting, karena Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang berjejer dari Sabang sampai Merauke. Sehingga Indonesia menyanggah predikat Negara Maritim atau Negara Kepulauan. Sifat maritim itu sendiri mengarah pada terwujudnya aktivitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploitasi, pelayaran, pengangkutan barang, penelitian, dan penyebrangan.

Salah satu masalah yang di hadapi dalam perencanaan kapal yakni menyangkut tahanan serta kecepatan kapal yang harus sesuai permintaan. Besarnya tahanan kapal akan menentukan kecepatan suatu kapal. Semakin kecil tahanan kapal yang diperoleh maka, semakin tinggi kecepatan suatu kapal. Begitu pun sebaliknya semakin besar tahanan kapal yang diperoleh maka, semakin rendah kecepatan pada suatu kapal. Hal ini berpengaruh dalam penentuan daya mesin kapal yang ingin digunakan. Oleh karena itu banyak bermunculan inovasi kapal cepat yang didesain dengan spesifikasi untuk dapat mengatasi masalah tersebut.

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

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hariyadi S. dan Mahaputra R.P. (2020) ada perbedaan antara menggunakan *trapezoida vortex generator* dengan tidak menggunakan *trapezoida vortex generator*. Perbedaan terjadi pada aliran udara yang melewati *airfoil*. Jika menggunakan *trapezoida vortex generator* maka aliran udara masih terarah dan mengikuti bentuk dari *airfoil*. Sedangkan jika tidak menggunakan *trapezoida vortex generator* aliran udara terarah hanya saat dibagian depan *airfoil* tersebut. Setelah melewati *airfoil* dan pada

as, aliran udara tersebut tidak mengikuti bentuk dari *airfoil*, melainkan terarah ke bagian belakang.

Berdasarkan penelitian terdahulu, oleh Abudin M.K, (2023) di inginkan percobaan menggunakan aplikasi yang lain selain Autodesk CFD. Olehnya



itu berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **“PENGARUH PEMASANGAN DOUBLE TRIANGULAR VORTEX GENERATOR YANG SEJAJAR TERHADAP TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN APLIKASI ANSYS FLUENT”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar nilai tahanan kapal sebelum dan setelah dilakukan pemasangan double triangular *vortex generator* yang sejajar?
2. Bagaimana pola aliran air pada lambung kapal sebelum dan setelah dilakukan pemasangan double triangular *vortex generator* yang sejajar?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah analisa, maka perlu adanya batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Model dan ukuran utama kapal yang digunakan adalah kapal cepat dengan model *planning hull*.
2. Kecepatan model yang digunakan berturut turut adalah 0,75 m/s, 1,513 m/s, 2,016 m/s, dan 2,762 m/s.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan perubahan nilai tahanan setelah dilakukan pemasangan double triangular *vortex generator* yang sejajar pada model.
2. Menentukan pola aliran air setelah dilakukan pemasangan double triangular *vortex generator* yang sejajar pada model.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, diharapkan ada manfaat yang didapatkan dengan rincian sebagai berikut:

Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh double triangular *vortex generator* yang sejajar terhadap besar nilai tahanan kapal. Sebagai masukan bagi perancang kapal untuk mendesain kapal cepat yang lebih baik.



## 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

Dalam Rosmani (2013) perencanaan kapal cepat kita harus memperhatikan hal-hal berikut :

1. Dapat mempertahankan Tahanan kapal yang rendah
2. Dapat meminimalkan dampak gelombang yang dihasilkan
3. Tidak terjadi propoising
4. Dapat mentransmisikan daya secara sempurna melalui sistem propulsi kapal.

Secara umum, *high speed craft* membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena *resistance* kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal.

Dengan demikian mengadakan daya yang terpasang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua ialah dengan mencoba meningkatkan kecepatan pada kondisi *rough water*. (Rosmani, A. Haris Muhammad, Muh. Algan, 2013)

### 2.2 Karakteristik Kapal Cepat

Dalam Rosmani (2013), Karakteristik *high speed craft* dipengaruhi *Froude number*-nya. *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* ( $F_n$ ) sering digunakan sebagai parameternya. ( $F_n$ ) didefinisikan sebagai berikut:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \times L}} \quad (1)$$

Dimana:

- $F_n$  = *Froude Number*
- $V$  = Kecepatan (m/s)
- = Percepatan Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- = Panjang kapal

kan  $F_n$ -nya kapal cepat dibagi dalam 3 jenis, yaitu :

*Displacement Vessel* ( $F_n < 0,4$ )



- 2) *Semi-Displacement Vessel* ( $0,4-0,5 < F_n < 1,0-1,2$ )
- 3) *Planing hull/Vessel* ( $F_n > 1,0-1,2$ )

### 2.3 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 sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya.

Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada badan kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang beradadi 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 tahanan 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 (flowpattern). 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*,  $R_n$ )

$$R_n = \frac{v \times L}{\nu} \quad (2)$$

Dimana :

V: Kecepatan ( $m/s$ )

L: Panjang (m)

$\nu$ : Viskositas air

- 2) Koefisien gesek (*friction coefficient*,  $C_f$ )

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \quad (4)$$

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 di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (Superstruktura) 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 :

1) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

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

2) Tahanan kekasaran

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

3) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. Arwini, (2018)

4) Tahanan Total (*Total Resistance*)

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



$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (5)$$

Dimana:

$R_T$	= Tahanan Total (N)
$\rho$	= Massa jenis Fluida (Kg/m <sup>3</sup> )
$C_T$	= Koefisien tahanan total
$S$	= Luas bidang basah (m <sup>2</sup> )
$V$	= Kecepatan (m/s)

## 2.4 Aliran Fluida

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*).

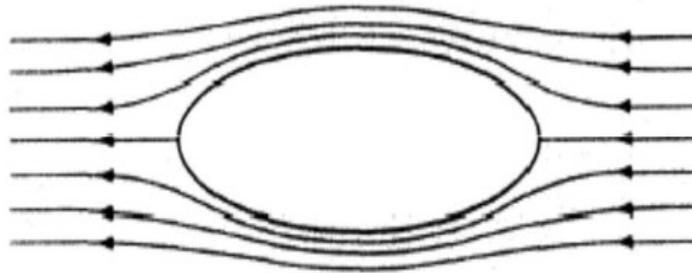
Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter – parameter non-dimensional. Dimana angka tersebut dapat meng-karakteristikan aliran dan gaya – gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat – sifat fluidanya. Sifat–sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ $\rho$ ], 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*):

$$V^b \rho^c \mu^d g^e p^f \quad (6)$$

a aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, an turbuen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang



terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar dan turbulen. Skin friction memiliki nilai proposional dengan besar luasan basah. Skin friction drag pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen atau campuran antara keduanya (Sardjadi,2003).



Gambar 1 aliran streamline yang melintasi body

Sumber : Suryo W. Adi, 2009

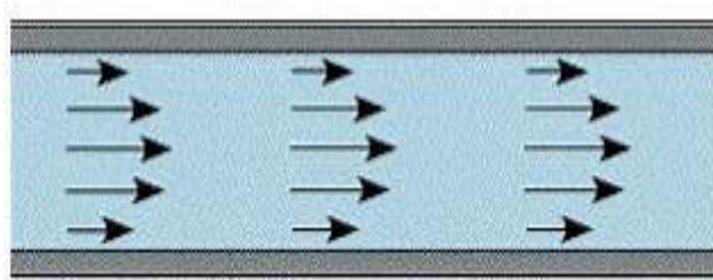
Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan Reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai Reynold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

#### 1. Aliran Laminar

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).

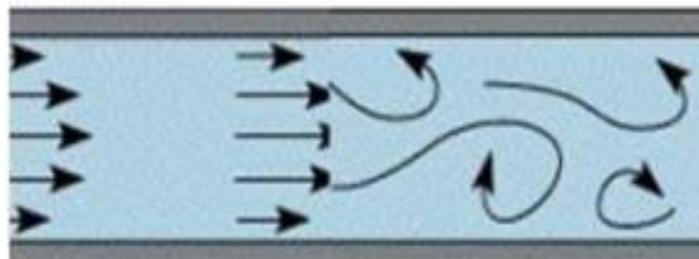


Gambar 2 Aliran Laminer.

Sumber: Senoaji, 2015

## 2. Aliran Transisi

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).



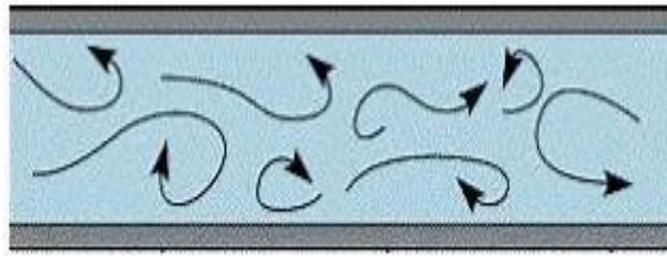
Gambar 3 Aliran Transisi.

Sumber : Senoaji, 2015

## 3. Aliran Turbulen

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 4 Aliran Turbulen

Sumber: Senoaji,2015

## 2.5 Vortex Generator

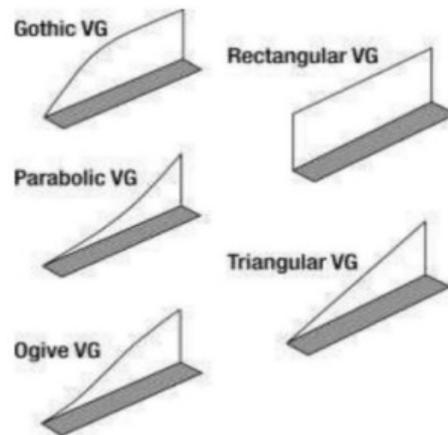
Vortex Generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan stabilizer ekor UAV yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi separation (Romadhon dan Herdiana, 2017: 47).

Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), vortex generator memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua vortex generator berfungsi seperti miniatur sayap. Penempatan vortex generator,yaitu tegak lurus terhadap permukaan sayap, serta dapat menghasilkan gaya angkat pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk vortex generator menghasilkan perubahan aliran pada UAV.

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

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





Gambar 5 Berbagai bentuk Vortex Generator

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

## 2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)

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.

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering (Versteeg H.K., 1995). Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kuantitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode:

- a. Model matematik (PDE)
- b. Metode numeric (diskritisasi dan teknik solusi)
- c. Perangkat lunak.

Schowalter et al menyatakan bahwa toleransi kesalahan dalam pen-skala-an dapat dikurangi dengan adanya CFD. Dalam area penelitian yang berbeda, penerapan CFD dilakukan sebagai pembandingan dengan eksperimen apabila

tidak mungkin dilakukan eksperimen dan menjadi superior dalam hal eksperimen yang sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan. Dalam hal prediksi sebuah aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dan waktu.



Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi- kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual. Meskipun demikian error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut :

- Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
- Kesalahan dalam diskritisasi
- Kesalahan dalam melakukan iterasi
- Kesalahan dalam implementasi.

Konsep dasar penggunaan Computational Fluid Dynamic adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. Dalam hal kemampuan mendiskripsikan secara kuantitatif sebuah fenomena, maka metode pengukuran/eksperiment hanya mendapatkan satu kuantitas dalam satu waktu dan terbatas dalam jumlah titik pengukuran dan waktunya. Selain itu skala yang digunakan terbatas pada skala laboratorium dan meliputi area permasalahan dan kondisi operasi yang terbatas.

Dalam persamaan ini fluida dianggap tidak dapat termampatkan(tidak termampatkan). Persamaan ini selanjutnya akan mengarah ke persamaan lain seperti persamaan kekekalan massa, kekekalan volume, dan lain-lain. Bentuk umum persamaan navier-stokes adalah sebagai berikut:

$$\rho \left( \frac{\partial V}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (7)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan aliran

$\nabla$  = Perpindahan

$\rho$  = massa jenis fluida

$\mu$  = frictional resistance yang mempresentasikan viskositas

$f$  = gaya dari luar

$t$  = waktu

Berdasarkan metode yang digunakan di Ansys Fluent CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

1. Coupled Solver

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



$$\begin{aligned}
& \int N \left( \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \\
& = \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \right. \\
& \quad \left. \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega \tag{8}
\end{aligned}$$

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 (8) sebagai berikut :

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x}$$

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

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

Sehingga,

$$\begin{aligned}
& \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \\
& = \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega \tag{9}
\end{aligned}$$

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,

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

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan (7) sehingga,

$$\begin{aligned}
& \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} + N \left( \frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega \\
& = \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + \right. \\
& \quad \left. W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega \tag{10}
\end{aligned}$$



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. Matriks Solver

Proses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar disetiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks  $(a_{i,j})$ . 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. Ansys 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 Ansys CFD digunakan pemecahan matrix metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iteasi yang ditetapkan terlampaui.

### 2.6.1 Proses Simulasi Ansys Fluent

Kemampuan Ansys Fluent CFD 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 lima langkah umum dalam proses simulasi pada Ansys CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut:



## 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

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 diturunkan.

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.

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

:

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (11)$$

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 :

- TOOD :

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

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

- HARVALD:

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

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

- 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)

$$Fr_m = Fr_s \quad (12)$$

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

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

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

Dimana :

Fr = angka froude

$L_s$  = panjang kapal (m)

$L_m$  = panjang model (m)

$V_s$  = kecepatan kapal (m/dt)



$V_m$  = kecepatan model (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/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

$$Re_m = Re_s \quad (13)$$

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

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

$$V_m = V_s \cdot \lambda$$

Kesamaan dinamis sangat sulit untuk dipenuhi melihat kecepatan model jauh lebih besar dari kecepatan kapal. 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 lan dinding tangki tidak mempengaruhi gerak model, maka dapat akan persamaan perbandingan panjang model kapal dengan ukuran angki,

:



$L_m < T$  tangki (menurut Todd)

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

$Ao_m < 0,4 Ao$  tangki (*menurut University Of New Catsle*)

