

SKRIPSI

**STUDI TAHANAN KAPAL FERRY RO-RO *TWIN SKEG*
MENGUNAKAN *AUTODESK CFD***

Disusun dan diajukan oleh :

**RAYHAN MAULANA
D031191041**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL KAPAL FERRY RO-RO TWIN SKEG MENGGUNAKAN AUTODESK CFD

Disusun dan diajukan oleh

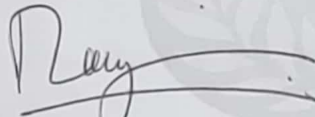
RAYHAN MAULANA
D031191041

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 23 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,




Ir. Rosmani, MT
NIP. 19600620 198802 2 001

Muhammad Akbar Asis, ST., MT
NIP. 19950501 202101 5 001

Ketua Program Studi,




Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT
NIP. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Rayhan Maulana

NIM : D031191041

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI TAHANAN KAPAL KAPAL FERRY RO-RO *TWIN* SKEG MENGGUNAKAN *AUTODESK CFD*

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, 23 Oktober 2023

Menyatakan



Rayhan Maulana

ABSTRAK

RAYHAN MAULANA. *Studi Tahanan Kapal Ferry Ro-Ro Twin Skeg Menggunakan Autodesk CFD* (dibimbing oleh Rosmani dan Muhammad Akbar Asis)

Kapal ferry sebagai sarana transportasi laut yang mengangkut penumpang, kendaraan, dan kargo, memerlukan perencanaan lambung yang baik untuk mengurangi tahanan. Pada penelitian ini membahas penggunaan twin skeg, sebuah komponen di bagian buritan kapal yang dimodifikasi untuk meningkatkan kelancaran aliran fluida. Meskipun umumnya diterapkan pada kapal besar seperti LNG dan tanker, penelitian ini mengeksplorasi kemungkinan penggunaan modifikasi twin skeg pada kapal ferry ro-ro berukuran kecil. Tujuan penelitian ini adalah menentukan besaran nilai tahanan, besaran perbedaan daya mesin dari *software* CFD dengan data LHI dan karakteristik aliran fluida pada kapal ferry ro-ro *twin skeg*. Penelitian ini dengan mengolah data ukuran utama dan gambar *linesplan* menggunakan *software* CFD. Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa persentase perbedaan nilai tahanan pada kecepatan 15 knot menggunakan *software* CFD dan data LHI sebesar 14,23%, namun pada saat kecepatan tinggi nilai persentasenya berubah mendekati nilai 5%. Untuk perbandingan daya mesin pada kecepatan 15 knot sebesar 14,27% dan pola aliran pada bagian lambung kapal mengalami perubahan bentuk sebanding dengan bentuk kapal dan kecepatan kapal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan pada penelitian ini sangat bergantung pada parameter yang digunakan.

Kata Kunci : Tahanan kapal, *Autodesk CFD*, pola aliran, *twin skeg*

ABSTRACT

RAYHAN MAULANA. *Resistance Study of Ro-Ro Twin Skeg Ferry Ship Using Autodesk CFD (supervised by Rosmani and Muhammad Akbar Asis)*

Ferries, as a means of sea transportation that carry passengers, vehicles, and cargo, require careful hull planning to reduce resistance. This research discusses the use of twin skegs, a component at the stern of the ship that is modified to improve fluid flow. Although commonly applied to large vessels such as LNG and tankers, this study explores the possibility of using twin skeg modifications on small ro-ro ferries. The purpose of this study is to determine the resistance value, the difference in engine power compared to CFD software with LHI data, and the fluid flow characteristics on a twin skeg ro-ro ferry. This research is conducted by processing main size data and line plan drawings using CFD software. The results of this study show that the percentage difference in resistance value at 15 knots, as obtained from CFD software and LHI data, is 14.23%. However, at higher speeds, the percentage value changes to be close to 5%. The comparison of engine power at 15 knots is 14.27%, and the flow pattern on the hull changes proportionally to the shape of the ship and the ship's speed. Therefore, it can be concluded that the method used in this study is highly dependent on the parameters employed.

Keywords: Ship resistance, Autodesk CFD, flow patterns, twin skeg

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kapal Ferry Ro-Ro.....	4
2.2 <i>Skeg</i>	4
2.2.1 Bentuk-bentuk <i>Skeg</i>	5
2.2.1 <i>Twin Skeg</i>	5
2.3 Tahanan Kapal	6
2.3.1 Komponen Tahanan Kapal	7
2.3.2 <i>Added Resistance</i> Akibat <i>Twin Skeg</i>	9
2.4 Aliran Fluida	10
2.4.1 Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Non Viscous</i>	13
2.4.2 Pengaruh Bentuk Lambung Terhadap Aliran.....	14
2.5 Daya Mesin Kapal.....	16
2.5.1 Daya Efektif (EHP)	16
2.5.2. Daya yang disalurkan (DHP).....	16
2.5.3. Daya Poros (SHP).....	17
2.5.4. Daya Penggerak Utama (BHP).....	18
2.6 Hukum Perbandingan Model	18
2.6.1 Kesamaan Geometris.....	19
2.6.2. Kesamaan Kinematis	20
2.6.3. Kesamaan Dinamis	21
2.7 <i>Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)</i>	22
2.7.1. Pengertian <i>Autodesk CFD</i>	22
2.7.2. <i>Finite Element Method (FEM)</i>	23
2.7.3. Proses Simulasi <i>Autodesk CFD</i>	25
BAB III	27
METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27

3.2	Jenis Penelitian.....	27
3.3	Pengumpulan Data	27
3.3.1	Data Sekunder	27
3.4	Pengolahan Data	28
3.4.1	Pemodelan 3D	28
3.4.2	Proses Simulasi <i>CFD (Computational Fluid Dynamics)</i>	31
3.4.3	Verifikasi	35
3.4.5	Pembentukan Pola Aliran	36
3.4.6	Kesimpulan.....	36
3.5	Kerangka Alur Penelitian.....	37
BAB IV		38
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1.	Skala Pemodelan dan <i>Boundary Layer</i>	38
4.1.1	Penentuan Skala Model	38
4.1.2	Pemodelan <i>Boundary Layer</i>	39
4.2.	<i>Initial Condition</i>	40
4.3.	<i>Mesh Independence Study</i>	41
4.4.	Nilai <i>Residual in</i> dan <i>Residual Out</i>	42
4.5.	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i>	44
4.3.1	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i>	44
4.3.2	Visualisasi <i>Static Pressure</i>	46
4.6.	Prediksi Tahanan Model kapal.....	48
4.7.	Perhitungan Nilai Hambatan Total (RTs) Kapal Sebenarnya.....	50
4.8.	Perbandingan Nilai Tahanan Kapal	51
4.9.	Perhitungan Daya Mesin Kapal	52
4.10.	Karakteristik Pola Aliran Fluida.....	53
BAB V		56
PENUTUP.....		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Twin Skeg</i>	6
Gambar 2 Percobaan aliran viskositas melalui sebuah pilar berbentuk tabung...	13
Gambar 3 Aliran non viscous melalui pilar berbentuk tabung	14
Gambar 4 Aliran laminar	15
Gambar 5 Aliran transisi	15
Gambar 6 Aliran Turbulen.....	16
Gambar 7 Simulasi CFD pada lambung kapal.....	23
Gambar 8 <i>Linesplan</i> Ferry Ro-Ro Rute Lembar – Padang Bai	28
Gambar 9 Visualisasi model kapal	29
Gambar 10 Proses <i>export</i> ke <i>software Rhinoceros 6</i>	29
Gambar 11 Proses penutupan pada bagian-bagian yang terbuka pada model	30
Gambar 12 Proses penggabungan antara bagian lambung dan <i>twin skeg</i>	30
Gambar 13 Tampilan model setelah <i>closed solid</i>	31
Gambar 14 Tahapan <i>geometry</i>	31
Gambar 15 Visualisasi input material model kapal dan <i>boundary layer</i>	32
Gambar 16 Visualisasi input temperature air yang digunakan	32
Gambar 17 Visualisasi input boundary condition.....	33
Gambar 18 Visualisasi tahap <i>mesh sizing</i>	33
Gambar 19 Visualisasi tahap <i>clone</i>	34
Gambar 20 Visualisasi tahap <i>solve</i>	35
Gambar 21 Kerangka Alur Penelitian.....	37
Gambar 22 Visualisasi model kapal dan dimensi <i>boundary layer</i>	39
Gambar 23 Perbandingan nilai tahanan terhadap jumlah mesh.....	41
Gambar 24 Hasil simulasi pada kecepatan 1,22 m/s yang tidak konvergen	42
Gambar 25 Hasil simulasi pada kecepatan 1,22 m/s yang konvergen	43
Gambar 26 Visualisasi <i>velocity magnitude</i> tampak memanjang model kapal pada kecepatan 1,220 m/s	44
Gambar 27 Visualisasi <i>velocity magnitude</i> tampak bawah model kapal pada kecepatan 1,220 m/s	45
Gambar 28 (a) dan (b) merupakan visualisasi <i>static pressure</i> model kapal pada kecepatan 1,220 m/s	46
Gambar 29 Grafik hubungan antara kecepatan dan <i>pressure</i>	48
Gambar 30 Grafik hubungan antara kecepatan dan tahanan model.....	49
Gambar 31 Grafik hubungan antara kecepatan dan tahanan kapal	51
Gambar 32 Pola aliran pada lambung model kapal	54
Gambar 33 Visualisasi pola aliran fluida tampak bawah.....	54
Gambar 34 Visualisasi pola aliran fluida tampak memanjang	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Ukuran Utama Kapal Ferry Ro-Ro <i>twin skeg</i>	27
Tabel 2	Data ukuran model kapal hasil penskalaan	38
Tabel 3	Ukuran kolam eksperimen (<i>boundary layer</i>)	39
Tabel 4	Data kecepatan (<i>velocity</i>)	40
Tabel 5	Data input yang digunakan untuk melakukan simulasi	40
Tabel 6	Nilai <i>Residual in</i> dan <i>Residual out</i> hasil simulasi	43
Tabel 7	Nilai gradasi warna <i>velocity magnitude</i>	45
Tabel 8	Nilai <i>static pressure</i> dari variasi kecepatan model	47
Tabel 9	Hasil perhitungan nilai tahanan kapal dengan CFD	49
Tabel 10	Nilai tahanan kapal pada setiap variasi kecepatan	50
Tabel 11	Nilai hubungan antara kecepatan dengan tahanan kapal pada setiap variasi kecepatan.	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Penentuan nilai kecepatan model kapal (V_m)	61
Lampiran 2	Visualisasi <i>velocity magnitude</i> pada setiap variasi kecepatan.....	65
Lampiran 3	Visualisasi <i>Static Pressure</i> pada setiap variasi kecepatan.....	70
Lampiran 4	Nilai <i>Static Pressure</i> pada setiap variasi kecepatan	75
Lampiran 5	Hasil nilai perhitungan <i>wall calculator</i> tahanan model kapal di setiap variasi kecepatan menggunakan <i>software CFD (Computational Fluid Dynamic)</i>	77
Lampiran 6	Hasil nilai perhitungan <i>wall calculator</i> tahanan model kapal di setiap variasi kecepatan menggunakan <i>software Maxsurf</i>	80
Lampiran 7	Hasil nilai perhitungan <i>wall calculator</i> tahanan model kapal di setiap variasi kecepatan diubah menjadi tahanan kapal sesungguhnya....	83
Lampiran 8	Visualisasi pola aliran fluida pada setiap variasi kecepatan menggunakan <i>software CFD (Computational Fluid Dynamic)</i>	86
Lampiran 9	Data Ukuran Utama Kapal ferry Roro Lintas Lembar Padang-Bai	90
Lampiran 10	Data hasil perhitungan nilai tahanan kapal yang dilakukan Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI)	91

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
SSPA	<i>Swedish State Shipbuilding Experimental Tank</i>
LHI	Laboratorium Hidrodinamika Indonesia
R_T	Tahanan Total (kN)
C_T	Koefisien tahanan
V	Kecepatan kapal (m/s)
S	Luas bidang basah (m ³)
ρ	Massa jenis (ton/m ³)
R_n	Angka Reynold
F_n	Angka Froude
C_f	Koefisien gesek
Sl_r	Rasio kecepatan dan Panjang kapal
C_d	<i>Coefficient of drag</i>
F_d	<i>Drag force (N)</i>
EHP	<i>Efektif Horsepower</i>
DHP	<i>Delivery Horsepower</i>
SHP	<i>Shaft Horsepower</i>
BHP	<i>Brake Horsepower</i>
η_H	Efisiensi lambung
w	<i>Wake friction</i>
η_{rr}	Efisiensi Relatif Rotatif
η_o	Efisiensi propulsi
$\eta_s \eta_b$	Efisiensi Shaft Transmisi
η_G	Efisiensi roda sistem gigi transmisi

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
R _{TS}	Nilai tahanan total kapal ukuran sebenarnya (kN)
R _{TM}	Nilai tahanan gesek kapal model (kN)
FEM	<i>Finite Element Method</i>
LOA	<i>Length Over All</i>
LBP	<i>Length Between Perpendicular</i>
B	<i>Breadth</i>
T	<i>Draught</i>

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan berkah, rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “**STUDI TAHANAN KAPAL FERRY RO-RO TWIN SKEG MENGGUNAKAN AUTODESK CFD**” dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk menyelesaikan salah satu persyaratan yang harus ditempuh guna mendapatkan gelar strata satu pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai masa penyelesaian penulisan skripsi ini. Untuk itu pada kesempatan kali ini penulis akan mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat kesehatan, kesabaran dan kelancaran dalam proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Ahmadi dan Ibunda Ulvi Wahdaningsih S.Pd.AUD serta adik adik penulis Mely Meilani, Farel Maulana, dan Faeza Caesar Maulana. Terima kasih atas kepercayaan yang diberikan, serta pengorbanan, cinta, doa, motivasi, semangat dan nasehat yang tiada hentinya diberikan. Dan juga tanpa lelah mendukung segala keputusan dan pilihan hidup penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Ir. Rosmani., MT. selaku kepala Laboratorium Hidrodinamika Kapal sekaligus selaku penasehat akademik dan pembimbing utama yang selalu bersedia meluangkan waktunya dan juga memberikan masukan, saran dan motivasi selama proses penulisan skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Akbar Asis, ST., MT. selaku pembimbing pendamping yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan serta memberikan nasihat dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan dan bapak Ir. Lukman Bochary, MT. selaku penguji dalam tugas akhir ini.
6. Ibu Uti, pak Afif, Kak Ani dan Kak Jeje selaku staf Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala administrasi kampus.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
8. Kepada teman-teman Angkatan ZTARBOARD 2019, terima kasih telah memberi pengalaman hidup yang sangat berarti selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.

9. Juwita Nurdin ST., yang telah memberikan semangat, motivasi, bantuan serta memberikan saran yang baik agar penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
10. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi ANDROMAX 2019. Semangat untuk runningnya untuk mendapatkan gelar sarjana.
11. Kepada anak-anak ka di assyarif Tintong ST., Gondes ST., Esco, Bulu, Sopo, Adudu, Faza, Agen H, Picolo, Bucin. Terima kasih atas bantuan, motivasi dan prinsip ada-ada ji itu yang selalu ditanamkan kepada teman teman.
12. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior atas segala bantuannya.
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis berharap kritikan dan saran untuk menutupi kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan dapat menambah wawasan bagi penulis dan pembaca.

Gowa, 24 Oktober 2023

Rayhan Maulana

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal yang bergerak maju di air akan mendapatkan berbagai macam gaya fluida yang dilewatinya, yang salah satunya adalah gaya tahanan. Tahanan ini terdiri dari dua komponen yaitu tahanan tekan dan tahanan gesek. Umumnya pada kapal memiliki 65-80% tahanan gesek terhadap tahanan total (Lammeren, 1948).

Kapal ferry merupakan salah satu jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut penumpang, kendaraan maupun kargo yang melintasi perairan, seperti laut, sungai, dan danau, sehingga dalam pembuatannya harus mempertimbangkan perencanaan lambung yang baik dan untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan dengan tetap mengacu pada aspek-aspek yang berkaitan dengan keselamatan dan performa dari kapal tersebut. Berkaitan dengan tahanan kapal, semua komponen yang menempel atau yang terpasang pada lambung kapal akan menimbulkan tahanan tambahan dan mempengaruhi aliran fluida yang akan berdampak pada efisiensi propulsi. Semakin banyak komponen yang menempel pada lambung kapal maka nilai tahanan tambahan akan semakin besar. Salah satu komponen tambahan yang dapat berpengaruh terhadap tahanan kapal adalah *skeg*, dimana komponen ini terletak pada bagian buritan kapal yang dimodifikasi agar mampu membantu aliran fluida mengalir menjadi lebih *smooth* melewati *hull* dan *propeller after*. (Dwitara, dkk. 2013).

Menurut *Swedish State Shipbuilding Experimental Tank (SSPA)* mengungkapkan bahwa bentuk lambung dengan penggunaan modifikasi bentuk *skeg* terbaru yang dikenal dengan istilah *twin skeg*, pada umumnya memerlukan daya propulsi 6% lebih rendah dibandingkan dengan kapal ulir tunggal dengan kapasitas muatan yang sama. Selain itu, kemampuan manuver dan stabilitas lateral ditingkatkan, redundansi ditambahkan dan risiko pulse tekanan yang diinduksi propeller dapat dikurangi. Pada umumnya *twin skeg* digunakan pada kapal-kapal besar seperti kapal LNG dan kapal kontainer. Namun tidak menutup kemungkinan kapal dengan ukuran yang lebih kecil akan menggunakan modifikasi dari bentuk *twin skeg* ini (Kim, dkk. 2014). Dimana salah satu jenis kapal ferry ro-ro dengan

ukuran 1500 GT yang sementara dalam proses pembangunan dengan rute pelayaran Lembar Padang-Bai juga menggunakan modifikasi bentuk dari *twin skeg*, dan sebagaimana kita ketahui pada umumnya kapal ferry ro-ro hanya menggunakan *shaft bracket*. Kapal ferry ro-ro *twin skeg* ini telah melakukan proses pengujian model kapal yang dilakukan oleh Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) yang dimana salah satu dari pengujian tersebut berupa tahanan dari kapal ferry ro-ro *twin skeg*, hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi Autodesk CFD.

Sehingga berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti tertarik melakukan penelitian dengan judul “**STUDI TAHANAN KAPAL FERRY RO-RO TWIN SKEG MENGGUNAKAN AUTODESK CFD.**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka peneliti tertarik untuk menyajikan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan kapal pada kapal Ferry Ro-Ro *twin skeg*?
2. Berapa besar perbedaan daya mesin yang dibutuhkan berdasarkan nilai tahanan yang didapatkan dari perhitungan analisis *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan data perhitungan Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI)?
3. Bagaimana karakteristik aliran fluida kapal Ferry Ro-Ro *twin skeg*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai tahanan kapal kapal Ferry Ro-Ro *twin skeg*.
2. Mengetahui berapa besar perbedaan daya mesin yang dibutuhkan dari hasil perhitungan analisis *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan data perhitungan Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI).
3. Mengetahui karakteristik aliran fluida di sepanjang lambung kapal Ferry Ro-Ro *twin skeg*

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah kapal Ferry Ro-Ro Rute Lembar – Padang Bai yang sementara di bangun di PT IKI Makassar.
2. Pemodelan kapal Ferry Ro-Ro *twin skeg* menggunakan *software Maxsurf*.
3. Analisa karakteristik aliran fluida dalam penelitian ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
4. Variasi kecepatan yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 - 18 knot.
5. Penelitian ini akan mengacu pada hasil dari data perhitungan Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. sebagai informasi untuk mengetahui besar perbedaan tahanan kapal ferry twin skeg secara eksperimen dan analisis software Autodesk CFD.
2. Sebagai informasi mengenai pengaruh *twin skeg* terhadap aliran fluida.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Ferry Ro-Ro

Kapal ferry merupakan jenis transportasi laut yang menghubungkan antar pulau digunakan untuk menampung penumpang dengan jumlah yang cukup banyak dan dapat juga mengangkut kendaraan seperti mobil dan truk, sehingga kapal jenis ini dilengkapi dengan pintu (*rump door*) baik pada sisi haluan maupun buritan.

Kapal jenis *Ro-Ro* adalah kapal yang bisa memuat penumpang ataupun kendaraan yang berjalan masuk kedalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga sehingga disebut sebagai kapal *Roll On-Roll Off* disingkat *Ro-Ro*. Kapal ini memiliki fungsi mirip jembatan yang bergerak. (Wibawa, dkk. 2017).

Sebagai negara kepulauan penggunaan kapal ferry sangat berperan penting sebagai jaringan angkutan penyeberangan. salah satu karakteristik muatan dari kapal ferry itu sendiri terdiri dari kendaraan, barang maupun manusia dengan jarak pelayaran yang beragam. Kapal ferry sendiri merupakan pendukung konektivitas nasional yang berperan sebagai penghubung pulau-pulau utama. Selain dalam mendukung konektivitas lokal atau intra wilayah, jaringan ini juga berperan sebagai penghubung antar pulau dalam satu *region*, penghubung antar lokasi dalam satu daratan dan sebagai pendekatan angkutan jalan raya.

2.2 Skeg

Skeg merupakan salah satu bentuk modifikasi yang diberikan pada bagian buritan kapal (semacam sirip) yang bertujuan untuk membantu fluida mengalir lebih *smooth* melewati lambung kapal. (Slade, 2017).

Pada umumnya skeg dibagi menjadi dua jenis, pertama adalah jenis skeg yang ditempatkan *inboard* dengan *shaft propeller*, skeg jenis ini mempunyai dua fungsi yaitu untuk menyangga shaft itu sendiri, juga untuk memperlancar aliran fluida. Yang kedua adalah skeg yang ditempatkan *outer shaft*, skeg jenis akan lebih efektif dalam mengatur aliran fluida agar lebih *smooth* menuju propeller.

2.2.1 Bentuk-bentuk Skeg

Bentuk-bentuk skeg pada kapal dapat bervariasi tergantung pada desain dan aplikasinya. Berikut adalah beberapa bentuk skeg yang umum ditemukan pada kapal:

1. Skeg *inboard*

Skeg jenis ini ditempatkan di dalam kapal dengan *shaft propeller*. Skeg inboard biasanya berbentuk seperti sirip dan terletak di bawah lambung kapal.

2. Skeg *outboard*

Skeg jenis ini ditempatkan di luar *shaft propeller*. Skeg outboard biasanya berbentuk seperti sirip dan terletak di bawah lambung kapal.

3. *Semi-balanced skeg rudder*

Skeg jenis ini memiliki rudder yang terletak di belakangnya. Skeg semi-balanced rudder biasanya digunakan pada kapal-kapal besar dan memiliki bentuk yang lebih kompleks.

4. *Full skeg*

Skeg jenis ini memiliki bentuk yang penuh dan menutupi seluruh bagian bawah lambung kapal.

5. *Spade skeg*

Skeg jenis ini memiliki bentuk yang menyerupai belati dan terletak di bawah lambung kapal

6. Skeg Ganda (*Twin Skeg*)

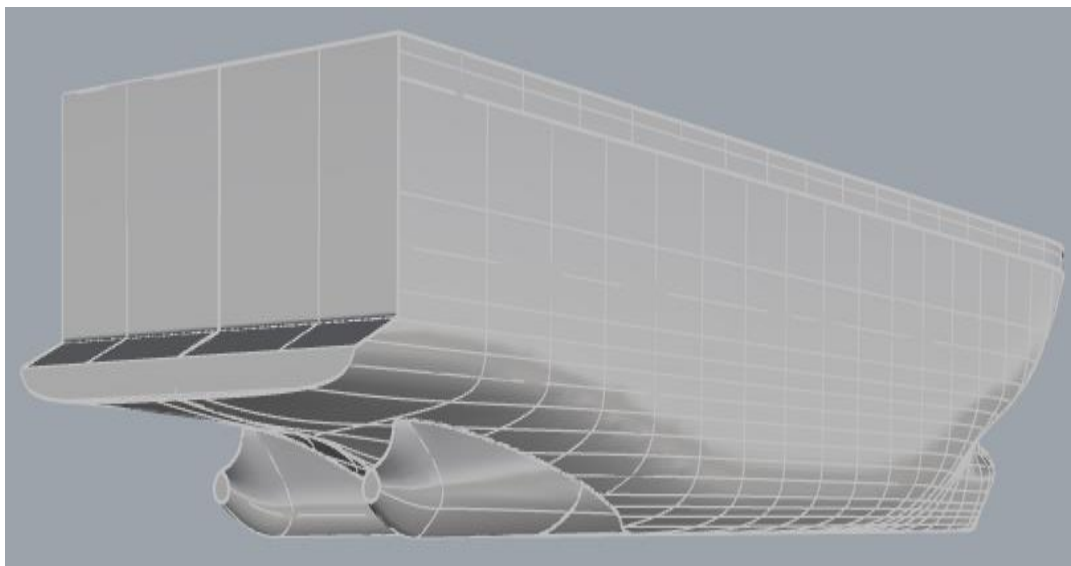
Kapal dengan skeg ganda memiliki dua skeg yang terletak di kedua sisi lambung kapal. Ini membantu dalam meningkatkan stabilitas dan manuverabilitas kapal. Skeg ganda umumnya digunakan pada kapal berukuran besar.

2.2.1 *Twin Skeg*

Twin skeg adalah rancangan bagian bawah kapal yang melibatkan dua struktur yang disebut skeg yang terletak di buritan kapal pada kedua sisi keel dengan bentuk sirip memanjang secara radial. *Twin Skeg* merupakan komponen yang menonjol ke bawah dari bagian kapal yang bertujuan untuk memberikan stabilitas dan kontrol yang baik saat kapal bergerak di atas permukaan air. Desain

twin skeg dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi propulsi, terutama pada kapal dengan *full form, low draught*, atau *high beam to draught ratio*.

Dari studi eksperimental, bentuk lambung kapal dengan penggunaan *twin skeg* dianggap sebagai salah satu solusi dengan istilah kapal hijau oleh *Swedish State Shipbuilding Experimental Tank (SSPA)* untuk kapal dengan rasio Panjang terhadap lebar yang rendah, rasio lebar terhadap sarat yang tinggi, dan sarat yang dibatasi atau baling-baling bermuatan berat. Konsep *twin skeg* terbukti baik dengan keuntungan yang jelas untuk desain kapal dengan bentuk lambung penuh. Lambung dengan penggunaan *twin skeg* pada umumnya memerlukan daya propulsi 6% lebih rendah dibandingkan dengan dengan *single skeg* dengan kapasitas muatan yang sama. Selain itu, kemampuan manuver dan stabilitas lateral ditingkatkan, redundansi ditambahkan dan risiko pulse tekanan yang diinduksi propeller yang berlebihan dapat dikurangi. (Kim, dkk. 2014)



Sumber: Hasil olah data
Gambar 1 *Twin Skeg*

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. (Harvard, 1983). Sedangkan suatu tahanan kapal 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. (Rosmani dkk, 2013).

Tahanan kapal perlu untuk diketahui karena merupakan faktor penting yang sangat berpengaruh terhadap perencanaan bentuk lambung kapal, serta tujuannya adalah menghitung daya mesin induk kapal yang berhubungan dengan banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat diestimasikan biaya operasional kapal.

Dibutuhkan sejumlah daya dorong untuk mengatasi tahanan kapal tersebut sehingga kapal dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasional. Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada lambung kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang berada diatas permukaan air.

Adapun persamaan dari tahanan total kapal adalah sebagai berikut:

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

Dimana:

R_T = Tahanan total (kN)

C_T = Koefisien tahanan

V = Kecepatan kapal (m/s)

S = Luas bidang basah (m²)

ρ = Massa jenis (ton/ m³)

2.3.1 Komponen Tahanan Kapal

Umumnya tahanan kapal terbagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada diatas permukaan air dan tahanan yang berada pada bawah permukaan air.

Tahanan yang berada diatas permukaan air adalah tahanan yang bekerja pada bagian badan kapal yang terlihat diatas permukaan air, dalam hal ini dipengaruhi oleh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan. Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah sebagai berikut:

1. Tahanan Gesek (*Friction Resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat adanya kapal yang bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung

dengan permukaan badan kapal yang tercelup pada saat 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. Viskositas inilah yang akan 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. Ada beberapa hal yang mempengaruhi tahanan gesek yaitu sebagai berikut:

- a. Angka Reynold (Rn)

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (2)$$

Dimana:

V = Volume (m^3)

L = Panjang (m)

ν = Kecepatan (m/s)

- b. Koefisien gesek (Cf)

$$Cf = \frac{0,75}{(\log Rn - 2,0)^2} \quad (3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- c. Rasio kecepatan dan Panjang kapal (Slr)

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

Dimana:

L = Panjang antara garis tegak kapal (LBP) (m)

Vs = kecepatan kapal (m/s)

2. Tahanan Sisa (*Residual Resistance*)

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

- a. 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.

b. 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 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.

c. 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.

d. 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) Tahanan kemudi (*Steering Resistance*), yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya tahanan kemudi.

2.3.2 *Added Resistance Akibat Twin Skeg*

Tahanan kapal merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan suatu kapal, jika nilai tahanan semakin besar maka akan semakin besar juga daya mesin yang digunakan, sehingga akan berdampak pada penggunaan bahan

bakar. Nilai tahanan tersebut juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya bentuk lambung, tingkat *streamline* dan kekasaran lambung. Secara khusus, bentuk modifikasi dari lambung atau penambahan komponen pada lambung kapal sangat mempengaruhi aliran fluida yang mengalir di sepanjang lambung hingga akhirnya akan diteruskan ke bagian *propeller*. Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya *wake* yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan fluida yang melalui bagian buritan kapal. Komponen tambahan pada lambung kapal seperti : *rudder behind stern, rudder behind skeg, twin screw balance rudders, shaft bracket, skeg, strut bossing, hull bossing, shaft, stabilizer fins, dome, bilge keels*. Semakin banyak komponen yang menempel pada lambung kapal maka nilai tahanan tambahan akan semakin besar, sehingga akan sangat berpengaruh pada *efisiensi propulsi*.

Modifikasi dari beberapa bagian komponen tambahan merupakan solusi yang dilakukan dimana satu komponen dapat mewakili beberapa komponen tambahan lainnya. Modifikasi yang dimaksud dalam hal ini adalah bentuk *skeg*. Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh *Swedish State Shipbuilding Experimental Tank (SSPA)* mengenai bentuk *skeg* terbaru yaitu *twin skeg* merupakan salah satu solusi *green ship* yang menarik dengan keuntungan yang jelas untuk desain kapal dengan lambung penuh, rancangan terbatas maupun baling-baling bermuatan tinggi.

Twin skeg merupakan modifikasi *skeg* dimana pada umumnya berbentuk datar namun berbeda dengan *twin skeg* yang berbentuk *bulb* sehingga dapat mengganti fungsi dari *shaft bracket* sebagai penopang poros *propeller*. Namun penggunaan *twin skeg* ini akan berpengaruh pada peningkatan nilai *fictional resistance*.

2.4 Aliran Fluida

Ketika fluida melintasi suatu permukaan benda atau *body*, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida juga akan mengalami perubahan, peristiwa ini terjadi akibat aliran massa-nya di dalam

streamlines tersebut adalah konstan. Berdasarkan Teorema Bernoulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu streamline yang diberikan tersebut ; jika p , ρ , v , dan h adalah tekanan, massa jenis, kecepatan, dan tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Adji, 2009) : v^2

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{constant} \quad (5)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Jika suatu permukaan benda atau *body* dicelupkan dan digerakkan pada sistem fluida *non-viscous*, maka benda atau *body* tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*). Meskipun pada dasarnya fluida tersebut berinteraksi dengan permukaan benda atau *body*, maka kondisi fluida tersebut akan kembali ke bentuk awalnya, hal ini diakibatkan karena adanya sejumlah gaya-gaya lokal yang bekerja pada permukaan atau *body* tersebut. Akan tetapi gaya-gaya tersebut saling meniadakan. Ketika diintegrasikan pada seluruh permukaan benda atau *body*. Gaya-gaya lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida. (Adji, 2009)

Dalam mempelajari dinamika fluida, maka akan sangat berguna jika angka dari parameter-parameter non-dimensional dikembangkan, dimana angka tersebut dapat mengkararakteristikan aliran beserta gaya-gaya yang bekerja berdasarkan pada sifat-sifat fluidanya. Sifat-sifat fisik fluida yang erat kaitannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ρ], Viskositas [μ], Tekanan Statis Fluida [p]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [R], kecepatan adalah [V], dan Panjang adalah [L], maka tahanan kapal dalam Analisa dimensional dapat diformulasikan sebagai berikut. (Adji, 2009).

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (6)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi formulasi diatas, maka dapat diekspresikan ke dalam bentuk *fundamental dimensions* seperti; Dimensi Waktu [T], Dimensi Massa [M], dan Dimensi Panjang [L]. Sebagai contoh Tahanan Kapal [R] adalah gaya, sehingga memiliki dimensi fundamental [MLT^{-2}] dan Massa Jenis [ρ] memiliki dimensi [ML^{-3}], dan sebagainya, maka

dengan mem-substitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamentalnya, diperoleh persamaan (Adji, 2009).

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[L^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{M}{L^3} \right)^c \left(\frac{M}{LT} \right)^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e \left(\frac{M}{LT^2} \right)^b \right] \quad (7)$$

Dari persamaan diatas diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental, yaitu persamaan fundamental dengan angka pangkat yang diketahui dan lainnya dengan angka pangkat yang tidak diketahui. Untuk persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkatnya tidak diketahui, maka dapat digolongkan menjadi tiga ekspresi, sebagai berikut (Adji, 2009).

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\mu}{\rho VL} \right)^d, \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (8)$$

Maka, persamaan keseluruhan dari tahanan (*resistance*) dapat ditulis f_1 sebagai berikut (Adji, 2009).

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho VL} \right)^d, f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, f_3 \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (9)$$

Sehingga melalui Analisa terhadap ekspresi diatas tersebut, maka dapat diindikasikan bahwa kombinasi non-dimensional yang signifikan adalah (Adji, 2009).

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2} VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{\rho}{\rho V^2} \quad (10)$$

Dari ketiga rasio diatas, maka diperoleh *Resistance Coefficient* (C_T), *Reynold Number* (Re), *Froude Number* (Fn), dimana ketiga komponen diatas sering digunakan dalam topik tahanan kapal. Rasio μ/ρ juga dikenal dengan angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi ν . Jika L^2 pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama merupakan luasan basah dari permukaan benda atau *body*, yang dinotasikan dengan simbol S , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut. (Adji, 2009)

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho SV^2} = f \left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (11)$$

Dan tahanan kapal (*Resistance*) dapat diformulasikan dengan ekspresi sebagai berikut. (Adji, 2009)

$$R = \frac{1}{2} \rho C_T V^2 S \quad (12)$$

Dimana, C_T adalah koefisien tahanan kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn . Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Adji, 2009).

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho A V^2} \quad (13)$$

Dimana,

C_d : *Coefficient of drag*

F_d : *Drag force (N)*

ρ : *Density of fluid (kg/m³)*

A : *Cross sectional area (m²)*

V : *Velocity relative to fluid (m/s)*

2.4.1 Aliran *Viscous* dan *Non Viscous*

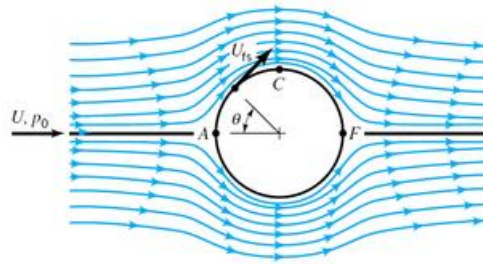
Aliran *viscous* disebut juga aliran fluida nyata adalah aliran yang disebabkan oleh viskositas. Viskositas apa pun menghasilkan tegangan geser dan kehilangan energi. Gesekan antara cairan dengan dinding atau saluran pipa terjadi di aliran ini.



Sumber: fluidadinamis.weebly.com

Gambar 2 Percobaan aliran viskositas melalui sebuah pilar berbentuk tabung

Aliran *non viscous* atau aliran fluida ideal adalah aliran yang tidak dipengaruhi oleh kekentalan sehingga aliran tidak mempunyai tegangan geser dan kehilangan energi.



Sumber: fluidadinamis.weebly.com

Gambar 3 Aliran non viscous melalui pilar berbentuk tabung

2.4.2 Pengaruh Bentuk Lambung Terhadap Aliran

Fenomena aliran yang berkaitan dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Bentuk lambung Kapal sangat berpengaruh pada pola aliran yang terbentuk, dimana fenomena ini terjadi karena adanya *skin friction* yang memiliki nilai proporsional dengan besar luasan bidang basah. *Skin friction drag* pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen, bahkan campuran antara keduanya. (Sardjadi, 2003).

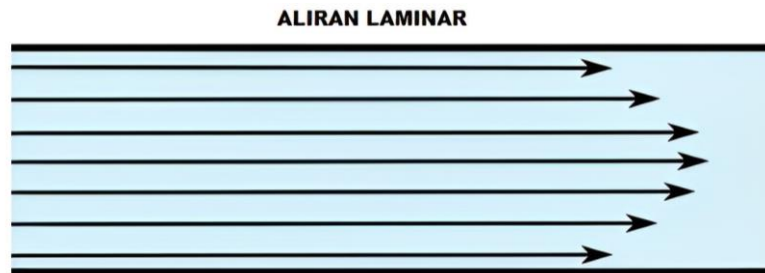
Reynold number merupakan rasio antara kecepatan dan Panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Angka *Reynold number* biasanya digunakan untuk menguji apakah suatu aliran bersifat laminar atau turbulen. Pada nilai *reynold number* yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar akan bergulung-gulung 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).

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir, baik cairan maupun gas. Pemakaian mekanika kepada medium kontinyu, baik benda padat maupun fluida adalah didasari pada hukum gerak newton yang digabungkan dengan hukum gaya yang sesuai. Aliran dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis seperti :

a. Aliran laminar ($R_e < 2300$)

Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar,

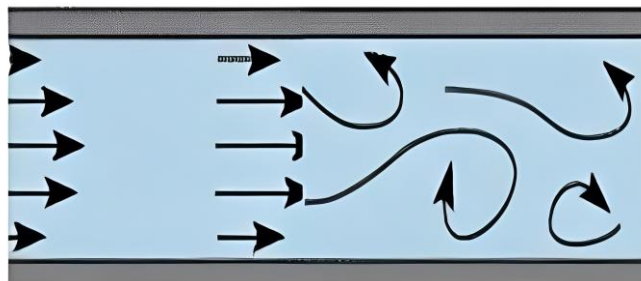
partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak di sepanjang lintasan yang halus dan lancer, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* atau aliran tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatannya tidak berubah menurut waktu.



Sumber: etsworlds.id
Gambar 4 Aliran laminar

b. Aliran Transisi ($2300 > Re > 4000$)

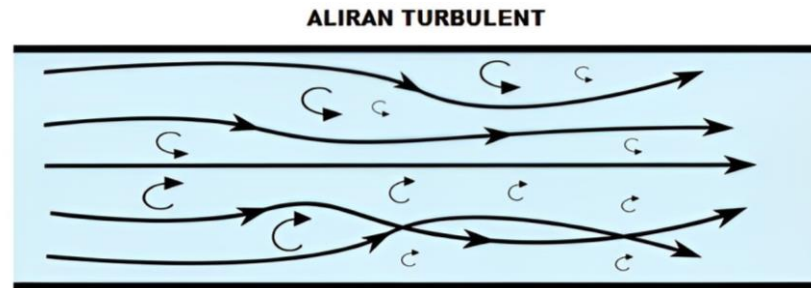
Aliran transisi merupakan kondisi dimana partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit.



Sumber: Simanjuntak et.al (2017)
Gambar 5 Aliran transisi

c. 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, akhirnya banyak tercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah.



Sumber: etsworlds.id
Gambar 6 Aliran Turbulen

2.5 Daya Mesin Kapal

2.5.1 Daya Efektif (EHP)

Menurut Harvard dalam buku *Resistance and Propulsion of Ships* hal. 135, *Efektif Horsepower* (EHP) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat atau tahanan dari lambung kapal, agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan dinas sebesar v_s . Daya efektif ini merupakan fungsi dari besarnya nilai tahanan total dan kecepatan kapal. Untuk menentukan besarnya daya efektif kapal dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{EHP} = R_T \times V_s \quad (14)$$

Dimana :

- EHP = Daya Efektif (kW)
- R_T = Gaya Hambat Total (kN)
- V_s = Kecepatan Dinas ($K_n = 0,5144 \text{ m/s}$)

2.5.2. Daya yang disalurkan (DHP)

Delivery Horsepower (DHP) merupakan daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan daya dorong (THP) atau dengan kata lain, DHP merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (*propeller*) yang kemudian diubah menjadi daya dorong kapal (THP). Untuk menentukan besarnya *delivery Horsepower* digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{DHP} = \text{EHP} / P_c \quad (15)$$

Dimana $P_c = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$

a. Efisiensi Lambung (η_H)

$$\eta_H = (1-t) / (1-w) \quad (16)$$

- Menghitung *wake friction* (w)

Pada kapal *twin screw propeller*, biasanya penempatan *propeller* diluar daerah lapisan gesek (*friction belt/boundary layers*) sehingga nilai w dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$w = 0,55 \times C_b - 0,2 \quad (17)$$

- Menghitung *Thrust Deduction Factor* (t) dimana nilai t dapat dihitung dari nilai w yang telah diketahui dengan persamaan sebagai berikut.

$$t = k \times w \quad (18)$$

Menurut buku *Principal Of Naval Architecture hal 158* nilai k berkisar antara 0,7 – 0,9

b. Efisiensi Relatif Rotatif (η_{rr})

Harga η_{rr} untuk kapal dengan propeller type twin screw berkisar 0,99.

c. Efisiensi Propulsi (η_o)

Nilai ini merupakan nilai *open water efficiency* yaitu *efficiency* dari propeller pada saat dilakukan *open water test* yang bernilai antara 40 – 70%.

2.5.3. Daya Poros (SHP)

Shaft Horsepower merupakan daya yang terukur hingga daerah didepan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal-kapal yang mempunyai penggerak dengan turbin gas. Menurut buku *Principal Of Naval Architecture hal 131* untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami *losses* sebesar 2% sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya berada di daerah *midship* kapal akan mengalami *losses*

sebesar 3% dimana untuk mendapatkan nilai dari *Shaft Horsepower* (*SHP*) maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$SHP = DHP / \eta_s \quad (19)$$

Dimana,

$$\eta_s = \text{Efisiensi Shaft Transmisi yang bernilai } 0,98$$

2.5.4. Daya Penggerak Utama (BHP)

Brake Horsepower (BHP) adalah daya yang digunakan untuk mengerem atau menghentikan kapal. *Scr* (*service continue rating*) adalah daya penggerak motor pada pelayaran atau kecepatan normal. Adanya pengaruh efisiensi roda sistem gigi transmisi (η_G) yang dimana bernilai 0,98. Nilai *Brake Horsepower* (BHP) dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$BHP_{scr} = SHP / \eta_G \quad (20)$$

2.6 Hukum Perbandingan Model

Sebelum membuat model, ukuran model merupakan prioritas utama yang perlu diperhatikan karena dalam hal ini besarnya ukuran model haruslah sesuai dengan tempat melakukan pengujian model sehingga diperlukan penskalaan terhadap ukuran kapal sampel untuk mendapatkan ukuran model (Rosmani, 2013).

Dalam menentukan 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 yang mengakibatkan getaran sehingga mempengaruhi Gerakan model tersebut. (Djabbar & Rosmani, 2011)

Agar terhindar dari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan "*blockage effect*" maka dari itu ukuran model harus disesuaikan dengan tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. (Djabbar & Rosmani, 2011)

Dalam melakukan percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut.

(Djabbar & Rosmani, 2011) Hukum perbandingan ini haruslah memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:

2.6.1 Kesamaan Geometris

Menurut Djabbar M.A. dan Rosmani, 2011 bahwa kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal di laut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam satu lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (21)$$

Dimana:

λ = Skala perbandingan

L_s = Panjang kapal (m)

L_m = Panjang model (m)

B_s = Lebar kapal (m)

B_m = Lebar model (m)

T_s = Sarat kapal (m)

T_m = Sarat model (m)

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

a) TOOD:

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

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

b) HARVARD:

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

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

c) UNIVERSITY OF NEWCASTLE:

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

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

$$A_{o_m} < 0,4 A_o \text{ tangki}$$

2.6.2. Kesamaan Kinematis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, 2011 bahwa kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara kecepatan model dan kecepatan kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (22)$$

Atau:

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (23)$$

Dimana:

Fn = 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 (9,8 m/s²)

Menurut Ayat Maulana, 2011 untuk menghitung nilai kecepatan kapal ukuran sebenarnya juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{V_s}{V_m} = \sqrt{\lambda} \quad (24)$$

Maka, $V_s = V_m * \lambda^{1/2}$

Dimana:

V_s = Kecepatan kapal sebenarnya (m/s)

V_m = Kecepatan kapal model (m/s)

λ = Faktor skala kapal

Selanjutnya untuk menghitung tahanan total kapal ukuran sebenarnya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{R_{TS}}{R_{TM}} = \lambda^3 \quad (25)$$

Maka, nilai dari $R_{TS} = R_{TM} * \lambda^3$

Dimana:

R_{TS} = Nilai tahanan total kapal ukuran sebenarnya (kN)

R_{TM} = Nilai tahanan gesek kapal model (kN)

λ = Faktor skala kapal

Rumus diatas juga berlaku ketika menghitung nilai tahanan gesek kapal ukuran yang sebenarnya. Sedangkan nilai tahanan sisa kapal ukuran sebenarnya dapat dihitung dengan selisih diantara nilai tahanan total dengan nilai tahanan gesek kapal ukuran sebenarnya.

2.6.3. Kesamaan Dinamis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, 2011 bahwa Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya-gaya inersia dengan viskositas.

$$Rn = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad (26)$$

Atau:

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu_{fw}} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_{sw}} \quad (27)$$

Dimana:

Rn = Angka Reynold

L_s = Panjang kapal (m)

L_m = Panjang model (m)

V_s = Kecepatan kapal (m/s)

V_m = kecepatan model kapal (m/s)

ν = viskositas kinematis fluida (m²/s)

= 1,1883 x 10⁻⁶ (m²/s)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Dengan demikian jika diinginkan tercapainya kesamaan dinamis disamping kesamaan geometris dan kesamaan kinematis, maka angka *Reynold* untuk model harus sama dengan angka skala penuh.

2.7 *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)*

2.7.1. Pengertian *Autodesk CFD*

Autodesk CFD (computational Fluid Dynamic) merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang berkaitan dengan aliran fluida dan menggunakan simulasi berbasis komputer yang akan melakukan perhitungan pada setiap elemen pembagiannya. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya-gaya yang bekerja pada model di kondisi batas tertentu.

Autodesk CFD menerapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya, seperti aliran suatu fluida (*fluid flow*), perpindahan kalor (*heat transfer*), dan juga reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Perhitungan dengan menggunakan CFD ini didasarkan atas prinsip-prinsip mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa.

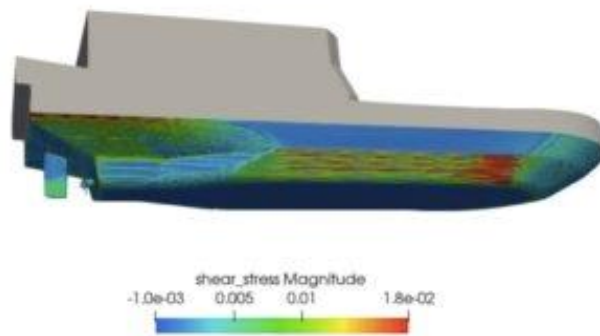
Secara umum aplikasi *Autodesk CFD* dapat memberikan penyelesaian terhadap masalah secara eksperimen yaitu dengan memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas suatu objek penelitian.

Pada *Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic)* digunakan pemodelan *turbulen Mixing Length* untuk pemodelan kekentalan murni dan *Sheer Stress Transport (K-w)* untuk pemodelan *full viscous* Metode penyelesaian *Govering 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 dimasukkan sehingga tidak hanya dapat memprediksi aliran turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulen flow*) termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

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

- *Segregated Solver*
- *Matrix Solver*



Sumber: Aeroengineering.co.id

Gambar 7 Simulasi CFD pada lambung kapal

2.7.2. *Finite Element Method (FEM)*

Finite Element Method (FEM) dapat digunakan dalam aplikasi dinamika fluida dengan teknik khusus untuk solusi konservatif. *FEM* jauh lebih stabil dibandingkan dengan metode diskritisasi lainnya. Dalam *Autodesk CFD*, *FEM* digunakan untuk mengurangi persamaan diferensial parsial yang mengatur (PDES) menjadi satu set persamaan aljabar. Dimana pada metode ini, variabel dependen diwakili oleh fungsi bentuk polinomial atas area kecil atau volume. *FEM* merupakan metode numerik khusus yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial dalam dua maupun tiga variabel ruang dan untuk memprediksi perilaku tiap-tiap elemen. Selain itu objek nyata akan menjadi sejumlah besar elemen hingga dianalisis dengan menggunakan salah satu jenis metode analisis komputerisasi, analisis bilangan hingga (FEA). *Autodesk CFD* menggunakan *FEM* karena fleksibilitasnya dalam memodelkan bentuk geometris apapun seperti linier untuk elemen tetrahedral 3D (kisi tidak terstruktur) dimana metode residu tertimbang galerkin umumnya yang digunakan. Oleh karena itu,

fleksibilitas geometrik yang melekat pada elemen hingga telah dipertahankan di *Autodesk CFD* (Baso dkk, 2021).

Konsep dasar dalam menggunakan *Computational Fluid Dynamics* adalah persamaan *Navier-Stokes* dengan prinsip kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan energi. PDES yang mengatur untuk persamaan kontinuitas yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (28)$$

Dimana, ρ adalah density, t adalah waktu, u adalah komponen kecepatan arah- x , v adalah komponen kecepatan arah- y , dan w adalah komponen kecepatan ke arah- z . Kemudian, persamaan momentum- X , momentum- Y , dan momentum- Z diturunkan dari persamaan kontinuitas sebagai berikut :

Persamaan Momentum- X yaitu :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \rho V_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} + \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (29)$$

Persamaan Momentum- Y yaitu :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} + \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (30)$$

Persamaan Momentum- Z yaitu :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial x} + \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (31)$$

Dimana, g_x , g_y , g_z , adalah percepatan gravitasi dalam arah x , y , z , μ adalah viskositas, $S\omega$ adalah aliran rotasi, dan S_{DR} adalah *resistance* terdistribusi.

Dua komponen dalam persamaan momentum masing-masing adalah $S\omega$ untuk aliran rotasi dan S_{DR} sebagai *resistance* terdistribusi. Istilah *resistance* terdistribusi dapat ditulis secara umum sebagai berikut :

$$S_{DR} = - \left(A_i + \frac{f}{DH} \right) \frac{\rho v i^2}{2} - C_\mu V i \quad (32)$$

Dimana, V adalah kecepatan, i mengacu pada arah koordinat global (u , v , persamaan momentum w), f adalah faktor gesekan, D adalah diameter hidrolis, dan C adalah permeabilitas. Istilah K-faktor dapat beroperasi pada persamaan momentum Tunggal pada satu waktu, ini dikarenakan setiap arah memiliki K-faktor uniknya sendiri. Dua jenis *resistance* lainnya beroperasi sama pada setiap persamaan momentum.

Istilah sumber lainnya adalah aliran rotasi. Istilah ini dapat ditulis secara umum sebagai berikut :

$$S\omega = -2 \rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (33)$$

Dimana, ω adalah kecepatan rotasi dan r adalah jarak dari sumbu rotasi. Untuk model turbulensi, penelitian ini menggunakan fungsi dinding atau k-Epsilon ($K-\epsilon$), k adalah energi kinetik per satuan massa dan merupakan disipasi turbulen yang cocok digunakan interaksi antara aliran luar mampat dengan geometry kompleks.

2.7.3. Proses Simulasi *Autodesk CFD*

Secara umum *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk memberikan penyelesaian dari permasalahan aliran pada kapal. Dengan menggunakan CFD memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang lebih kompleks dengan variasi tingkat akurasi.

Kemampuan *Autodesk CFD* dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi membuat penggunaan aplikasi CFD sebagai salah satu alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaan aplikasi ini telah meliputi area yang sangat luas pada industri dan aplikasi keilmuan. Suatu kode CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*. Tiga langkah ini merupakan langkah umum dalam proses simulasi pada *Autodesk CFD*.

- *Pre-Processing*, pada tahap awal ini proses dimulai dengan membuat model yang akan dianalisa, kemudian dilakukan proses *input* data seperti penentuan geometri benda, membentuk *grid* dan *mesh*, pengaturan *property fluida*, serta penentuan kondisi batas model geometri yang akan disimulasikan.

- *Processing / Solver Manager*, tahap ini dapat dilakukan setelah tahap *Pre-Processing* telah selesai dilakukan. Pada tahap ini data yang telah dimasukkan pada proses sebelumnya akan dihitung dan ditemukan hasilnya. Proses perhitungan yang dilakukan berupa perhitungan yang dilakukan hingga hasil menunjukkan error terkecil atau hingga mencapai nilai konvergensinya.
- *Post-Processing*, pada tahapan ini hasil dari *running* atau simulasi yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dapat dilihat untuk dianalisa lebih lanjut. Hasil perhitungan yang ditampilkan berupa data numerik, animasi, grafik, dan data visualisasi pola aliran fluida pada model.

Setiap tahapan tersebut membutuhkan *tool* dan analisa yang sesuai dan bagaimana tahapan ini diterapkan tergantung pada pendekatan numerik dan *layout* kode komputasi. Dalam proses CFD ada proses verifikasi dan validasi untuk mengetahui seberapa baik untuk mewakili formula matematika yang diterapkan. Proses ini dilakukan guna memastikan kode dari komputasi bebas dari error karena kesalahan dalam penggunaan bahasa komputer.