

SKRIPSI

**STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN
TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 2 L
MENGUNAKAN APLIKASI CFD**

Disusun dan diajukan oleh:

**DAN RANDIKA BANNE
D031 18 1508**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 2 L MENGUNAKAN APLIKASI CFD

Disusun dan diajukan oleh

Dan Randika Banne
D031 18 1508

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Lukman Bochary, MT.
NIP: 19581127 198803 1 001

Pembimbing II



Muhammad Akbar Asis, ST., MT
NIP: 19730206 200012 1 002

Ketua Program Studi,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Dan Randika Banne
NIM : D03118508
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG)
BERDASARKAN PANJANG TALI 2 L MENGGUNAKAN APLIKASI 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, November 2023

Menyatakan



Dan Randika Banne



ABSTRAK

DAN RANDIKA BANNE. *Studi Tahanan Kapal Tandem (Tugboat Dan Tongkang) Berdasarkan panjang Tali 2 L Menggunakan Aplikasi CFD (dibimbing oleh Lukman Bochary dan Muhammad Akbar Asis)*

Kapal tongkang adalah kapal pengangkut yang umumnya tidak memiliki baling-baling sendiri sehingga bergantung pada kapal tugboat untuk memberinya daya dorong. Sementara kapal *tugboat* adalah penggerak utama tongkang, yang terhubung ke tongkang menggunakan tali penarik. Kapal tandem merupakan kendaraan air yang terdiri dari kapal tugboat yang menarik kapal tongkang menggunakan tali penarik. Panjang tali kapal tandem juga menimbulkan tahanan diantara kedua kapal yang diakibatkan oleh putaran propeller. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan kapal tandem dengan panjang tali tarik $2L$, serta mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi saat pengujian. Mengenai tahanan kapal Tug Boat dan Tongkang saat beroperasi dengan menggunakan tali penarik dengan ukuran panjang Dua (2) L. Dalam hal ini "L" sama dengan panjang kapal tongkang, maka panjang tali yang digunakan sama dengan 2 kali panjang tongkang. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode numerik dengan bantuan software Maxsurf Modeller dan Rhinoceros 7 untuk pemodelan, serta Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) dalam melakukan proses analisis nilai tahanan kapal. Dari hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai tahanan kapal Tugboat, kapal Tongkang dan nilai tahanan total yang diperoleh dengan panjang tali $2L$ dan karakteristik aliran fluida. Berdasarkan hasil perhitungan nilai tahanan total, pada kapal tandem panjang tali tarik $2L$ disetiap kecepatan 3 knot, 4 knot, dan 5 knot, memiliki nilai tahanan berturut-turut yaitu 56,12852 KN ; 113,61875 KN dan 157,20719 KN.

Kata Kunci: Tahanan Kapal, Tugboat, Tongkang, Autodesk CFD



ABSTRACT

DAN RANDIKA BANNE. *Study of Resistance of Tandem Ships (Tugboats and Barges) Based on 2 L Rope Length Using CFD Applications (supervised by Lukman Bochary and Muhammad Akbar Asis)*

Barges are transport vessels that generally do not have their own propellers and therefore rely on tugboats to provide thrust. Meanwhile, the tugboat is the main driver of the barge, which is connected to the barge using a towing rope. A tandem boat is a water vehicle consisting of a tugboat that pulls a barge using a towing rope. The length of the tandem ship rope also creates resistance between the two ships caused by the rotation of the propeller. Therefore, this research aims to determine the resistance value of a tandem ship with a towing rope length of $2L$, as well as the characteristics of the fluid flow that occurs during testing. Regarding the resistance of tug boats and barges when operating using a towing rope with a length of two (2) L . In this case, "L" is the same as the length of the barge, so the length of the rope used is 2 times the length of the barge. In this research, the method used is a numerical method with the help of Maxsurf Modeler and Rhinoceros 7 software for modeling, as well as Autodesk CFD (computational fluid dynamics) in carrying out the process of analyzing ship resistance values. The research results show the magnitude of the resistance value of tugboats, barges and the total resistance value obtained with a rope length of $2L$ and fluid flow characteristics. Based on the results of calculating the total resistance value, on a tandem ship with a length of $2L$ of towing rope at each speed of 3 knots, 4 knots, and 5 knots, the respective resistance values are 56,12852 KN ; 113,61875 KN and 157,20719 KN..

Keywords: *Tandem Ship, Resistance, Tugboat, Barge, Autodesk CFD*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kapal Tongkang dan Tug Boat	5
2.1.1 Kapal Tongkang	5
2.1.2 Kapal Tug Boat.....	6
2.2 Tahanan Kapal	8
2.2.1 Komponen tahanan	8
2.2.2 Aliran fluida.....	12
2.2.3 Aliran <i>Viscous dan Non Viscous</i>	15
2.2.4 Aliran Terkait Bentuk Lambung Kapal	16
2.3 Hukum Perbandingan.....	18
2.3.1 Kesamaan Geometris	18
2.3.2 Kesamaan Kinematis	20
2.3.3 Kesamaan Dinamis	20
2.4 Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics).....	21
2.4.1 Pengertian Autodesk CFD	21
2.4.2 Finite Element Method (FEM)	22
2.4.3 Proses Simulasi Autodesk CFD.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.2 Jenis Penelitian.....	26
3.3 Metode Pengumpulan Data	26
3.4 Metode Pengolahan Data	26
3.4.1 Data kapal	27
3.4.2 Penggabungan model kapal tugboat dan tongkang	28
3.4.3 Pembuatan kolam dan pengaturan sarat kapal.....	29
3.4.4 Simulasi Autodesk CFD.....	31
3.5.1 Verifikasi	36
3.5.2 Penarikan Kesimpulan	37



BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Skala Pemodelan dan Boundary Layer	39
4.1.1 Penentuan skala model	39
4.1.2 <i>Boundary layer</i>	39
4.2 Variasi Panjang Tali Tarik (L)	40
4.3 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual out</i>	41
4.4 <i>Visualisasi Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i>	42
4.4.1 <i>Visualisasi velocity magnitude</i>	42
4.4.2 <i>Visualisasi Static Pressure</i>	47
4.5 <i>Visualisasi Pola Aliran</i>	52
4.6 <i>Prediksi Tahanan Kapal Tandem</i>	53
4.7 <i>Perhitungan Nilai Hambatan Total (RTs) Kapal Sebenarnya</i>	56
4.7.1 <i>Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Barge</i>	56
4.7.2 <i>Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Tug</i>	57
4.7.3 <i>Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Tandem</i>	57
4.8 <i>Grafik Hubungan Antara Tahanan Kapal Dan Kecepatan</i>	58
Bab V Penutup	60
5.1 <i>Kesimpulan</i>	60
5.2 <i>Saran</i>	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Tongkang	5
Gambar 2. 2	Tali towing.....	6
Gambar 2. 3	Tugboat.....	7
Gambar 2. 4	Diagram komponen tahanan kapal	12
Gambar 2. 5	Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu body	12
Gambar 2. 6	Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body	15
Gambar 2. 7	(a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous.....	16
Gambar 2. 8	Aliran Transisi	17
Gambar 2. 9	Aliran Turblen	18
Gambar 2. 10	Simulasi CFD pada lambung kapal	21
Gambar 2. 11	Simulasi Pengujian Model dengan CFD	22
Gambar 3. 1	Lines Plan Tugboat.....	27
Gambar 3. 2	Lines plan Tongkang	28
Gambar 3. 3	Penggabungan model tugboat dan tongkang dengan panjang tali penarik 2L	29
Gambar 3. 4	Model Simulasi Kolam.....	30
Gambar 3. 5	Pengaturan Sarat	30
Gambar 3. 6	Tabel keterangan solid close	31
Gambar 3.7	Pengaturan <i>geometry</i>	32
Gambar 3.8	Pengaturan material	32
Gambar 3.9	<i>Boundary Condition</i>	33
Gambar 3. 10	Mesh Sizing Kolam	34
Gambar 3. 11	Mesh Sizing Tugboat.....	34
Gambar 3. 12	Mesh Sizing Tongkang.....	35
Gambar 3. 13	Solve	36
Gambar 3. 14	Hasil Convergenasi	37
Gambar 4. 1	Model kapal dengan panjang tali 2 L	41
Gambar 4. 2	Visualisasi Velocity Magnitude 2 L kecepatan 3 knot.....	43
Gambar 4. 3	Visualisasi Velocity Magnitude 2 L kecepatan 4 knot.....	45
Gambar 4. 4	Visualisasi Velocity Magnitude 2 L kecepatan 5 knot.....	46
Gambar 4. 5	Visualisasi static pressure 2 L kecepatan 3 knot	48
Gambar 4. 6	Visualisasi static pressure 2 L kecepatan 4 knot	50
Gambar 4. 7	Visualisasi static pressure 2 L kecepatan 5 knot	51
Gambar 4. 8	Visualisasi pola aliran kapal tandem panjang tali tarik 2 L kecepatan 3 knot	52
Gambar 4. 9	Visualisasi pola aliran kapal tandem panjang tali tarik 2 L kecepatan 4 knot	52
Gambar 4. 10	Visualisasi pola aliran kapal tandem panjang tali tarik 2 L kecepatan 5 knot	53
Gambar 4. 11	Grafik perbedaan Tahanan Tugboat berdasarkan hasil simulasi	54
Gambar 4. 12	Grafik perbedaan Tahanan Tongkang berdasarkan hasil simulasi	55
Gambar 4. 13	Grafik perbedaan tahanan total kapal tandem berdasarkan hasil simulasi.....	55
Gambar 4. 14	Hubungan Kecepatan Dengan Tahanan Kapal.....	59



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Data ukuran utama kapal Tugboat.....	27
Tabel 3. 2	Data ukuran utama kapal Tongkang.....	27
Tabel 3. 3	Data Ukuran kolam.....	29
Tabel 4. 1	Ukuran model skala 1:70.....	39
Tabel 4. 2	Ukuran kolam eksperimen (Boundary Layer).....	40
Tabel 4. 3	Data Kecepatan (Velocity)	40
Tabel 4. 4	Nilai Residual In dan Residual Out model kapal Tugboat dan Tongkang	42
Tabel 4. 5	Persentase perbedaan tahanan kapal tandem berdasarkan kecepatan model dan variasi panjang tali (L).....	54
Tabel 4. 6	Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Tugboat	58
Tabel 4. 7	Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Barge	58
Tabel 4. 8	Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Tandem	58



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Loa	Panjang keseluruhan kapal (m)
H	Tinggi kapal (m)
B	Lebar kapal (m)
T	Sarat kapal (m)
L	Panjang tali
Δ	Displacement (ton)
v	Kecepatan (knot)
g	Percepatan Gravitasi (m/s)
Rn	Angka Renold
ν	Viskositas air
Cf	Koefisien Gesek
Slr	Rasio kecepatan dan panjang kapal
RT	Tahanan Total (N)
ρ	Massa jenis Fluida (Kg/m ³)
CT	Koefisien tahanan total
S	Luas bidang basah (m ²)
Re	Angka Reynold
R	Jari-jari (m)
ν	Viskositas kinematis (m ² /s)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Visualisasi Velocity Magnitude pada setiap kecepatan.....	64
Lampiran 2. Visualisasi Static Pressure pada setiap kecepatan	67
Lampiran 3. Visualisasi velocity vector pada setiap kecepatan.....	70
Lampiran 4. Data statistik jumlah elemen mesh	73
Lampiran 5. Penentuan nilai kecepatan model kapal (V_m)	74
Lampiran 6. Visualisasi Pola Aliran pada setiap kecepatan	75
Lampiran 7. Persentase perbandingan tahanan dan rata – rata untuk model kapal Tugboat dan model kapal Tongkang.	76



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 2 L MENGGUNAKAN APLIKASI CFD “. 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 Bapak Yohanis Randa Banne dan Ibu Monika Karaeng atas kasih sayang, kesabaran, dukungan, pengorbanan dan doa yang selama ini telah diberikan kepada saya, serta terima kasih kepada keluarga besar atas doa dan dukungannya.
2. Bapak Prof Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin sekaligus pembimbing akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis selama menjalani proses perkuliahan ini.
3. Ir. Lukman Bochary, MT. selaku pembimbing 1 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Muhammad Akbar Asis, ST., M.T. selaku pembimbing 2 yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.



5. Prof Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT., dan Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
 6. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
 7. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
 8. Kepada adik-adik saya terima kasih dan maaf yang sedalamdalamnya atas perbuatan penulis sebagai saudara, semoga kalian selalu dalam lindungan Tuhan.
 9. Kepada teman- teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2018 yang telah memberikan banyak pelajaran serta pengalaman selama berada di perkapalan.
 10. Teman – teman penulis yang tidak serahim tetapi seperti saudara kandung saya THRUZTER 2018. Pengalaman hidup yang tak terlupakan dan tidak akan pernah terulang kembali, seperti kapal yang akan selalu berlayar hingga akhir masanya menghampiri. Tetaplah dalam satu bingkai kesederhanaan dan kekeluargaan.
 11. Kepada sodara-sodaraku anak-anak yang senantiasa dikasihi Tuhan Yesus Kristus MAINFRAME terima kasih atas kasihnya didalam keluarga KMKO PERKAPALAN.
 12. Kepada HMDP FT-UH dan segenap warganya penulis ucapkan banyak terima kasih atas segala pewardahannya, mulai dari penulis sebagai mahasiswa baru hingga penulis berada pada tahap ini. Penulis merasa bangga dan sangat bersyukur pernah diberi kesempatan mengabdikan bagi HMDP FT-UH. Tetaplah jaya di bumi merah hitam.
 13. Kepada teman-teman ANDROMAX 2018 seperjuangan skripsi, Terima kasih atas bantuannya selama pengerjaan skripsi.
 14. Kepada segenap kakanda senior dan adinda junior yang telah penulis repotkan serta susahkan selama menuntut ilmu dan berbagi pengalaman di departemen Teknik Perkapalan ini.
- serta kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini yang tak sempat penulis sebutkan satu persatu, terutama



bagi support system yang belum pasti dan belum bisa penulis cantungkan namanya karena penulis masih penuh dengan rasa ragu dan takut tak terbalas.

Penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Gowa, November 2023

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal tongkang adalah kapal pengangkut yang umumnya tidak memiliki baling-baling sendiri sehingga bergantung pada kapal tugboat untuk memberinya daya dorong. Sementara kapal tugboat adalah penggerak utama tongkang, yang terhubung ke tongkang menggunakan tali penarik. Kapal tongkang umumnya memerlukan tenaga dari kapal Tugboat untuk mendapatkan gaya dorong dari mesin kapal Tugboat dengan cara ditarik, sehingga kapal Tongkang bergerak. Sistem penarik pada kapal Tugboat umumnya menggunakan system tali Tambat (Towing Line) untuk menarik kapal tongkang.

Dalam pengoperasiannya, seperti kapal lainnya, kapal Tongkang dan Tugboat bergerak karena adanya interaksi antara sistem penggerak kapal, badan kapal dan air sehingga, menghasilkan gaya dorong bagi kapal. Namun kapal juga akan mendapat gaya hambat akibat pergerakan kapal di suatu fluida. Ketika badan kapal bergerak melintasi suatu fluida, maka badan kapal tersebut akan mengalami gaya hambat yang berlawanan arah terhadap arah gerak kapal. Sebagaimana badan kapal yang melewati air dan udara, maka badan kapal tersebut mengalami gaya hambat dari air dan udara. Massa air dan udara mungkin juga bergerak karena kondisi mereka sendiri, misalnya massa air digerakkan oleh arus air dan massa udara digerakkan oleh angin, yang mana kemungkinannya mempunyai besaran dan arah yang berbeda (Suryo W. Adji, 2009).

Pada tulisan ini akan dibahas mengenai seberapa besar tahanan kapal tandem (tugboat dan tongkang) saat beroperasi dengan menggunakan tali penarik dengan ukuran panjang dua (2) L. Dalam hal ini "L" sama dengan panjang kapal tongkang, maka panjang tali pada penelitian ini sama dengan 2 kali panjang tongkang. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian dengan judul "**STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG)**"



BERDASARKAN PANJANG TALI 2L MENGGUNAKAN APLIKASI CFD", penelitian dilakukan dengan cara mendesign dan menganalisa menggunakan software Maxsurf dan melakukan simulasi model menggunakan software CFD untuk mendapatkan nilai tahanan kapal.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa besar nilai tahanan kapal tugboat yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $2L$ berdasarkan analisis CFD?
2. Berapa besar nilai tahanan kapal tongkang yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $2L$ berdasarkan analisis CFD?
3. Berapa besar nilai tahanan total kapal Tandem yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $2L$ berdasarkan analisis CFD?
4. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal berdasarkan analisis CFD?

1.3 Ruang Lingkup

Beberapa hal yang menjadi Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software CFD
2. Model dan data kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dan data kapal tugboat dan tongkang
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang (*still-water*).
4. Perhitungan tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tambahan (*appendages*).
5. Perhitungan tahanan kapal dengan variasi panjang tali $2L$
6. Kondisi kecepatan kapal tandem yang digunakan adalah 3 knot, 4 knot, dan 5 knot.



1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menemukan besar nilai tahanan kapal tugboat yang menggunakan tali penarik Panjang $2 L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.
2. Menemukan besar nilai tahanan kapal tongkang yang menggunakan tali penarik Panjang $2 L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.
3. Menemukan perbandingan nilai tahanan total kapal tandem menggunakan tali penarik dengan panjang $2 L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.
4. Menemukan karakteristik aliran fluida disepanjang lambung kapal berdasarkan analisis CFD.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah:

1. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai perbandingan tahanan kapal Tugboat dan Barge dengan Panjang tali penarik Panjang $2 L$ berdasarkan analisis CFD.
2. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis CFD.

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.

B 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 Tongkang dan Tug Boat

2.1.1 Kapal Tongkang

Merupakan suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, digunakan untuk mengangkut barang dan ditarik dengan kapal tunda atau digunakan untuk mengakomodasi pasang-surut seperti pada dermaga apung. (Wikipedia, 2020).



Gambar 2. 1 Tongkang

Sumber : <https://seosatu.com>

Berdasarkan pengertian tersebut maka tongkang merupakan jenis kapal yang digunakan untuk membawa barang, namun tongkang tidaklah dapat bekerja sendiri atau tidak seperti kapal pada umumnya yang memiliki penggerak sendiri namun tongkang harus ditarik bersama dengan kapal atau angkutan laut lainnya di air. Pada umumnya tongkang digunakan pada perairan yang agak dangkal seperti sungai ataupun kanal. Namun pada saat sekarang ini sebagian besar tongkang digunakan secara luas di pelabuhan. Tongkang telah dioperasikan sebelum masa revolusi industri. Sebelum revolusi industri di Eropa, tongkang digunakan sebagai alat transportasi utama untuk mengangkut barang melintasi tempat-tempat yang dihubungkan oleh perairan atau dalam hal ini sebagai jembatan untuk transportasi perairan.

Tetapi setelah revolusi industry dan penemuan mesin uap, permintaan akan penggunaan tongkang sebagai moda alat pengangkut barang mulai



berkurang karena terkendala pada kecepatan. Namun pada zaman millennial ini, tongkang masih dapat ditemukan karena tongkang berkembang menjadi alat utilitas yang penting untuk mengangkut barang seperti batubara, minyak, dan berbagai macam barang curah.

Tali tunda di gunakan dalam pengoperasian kapal tongkang, Kapal tuongkang dibantu ditarik oleh tug boat (kapal Tunda) yang terhubung dengan tali penarik di jarak beberapa meter dapat dilihat pada “Gambar 2” Kapal tongkang menjadi pilihan utama dalam mengangkut barang bentuk curah dalam jumlah yang besar



Gambar 2. 2 Tali towing

Sumber : <https://www.udsamudrajaya.com>

2.1.2 Kapal Tug Boat

Menurut situs kutipan dari id.wikipedia.org/wiki/Kapal_tunda menyatakan bahwa pengertian kapal tunda (bahasa Inggris: tug boat) adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan manouver/ pergerakan, utamanya menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai atau terusan. Kapal tunda digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya. Kapal tunda memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Kapal tunda zaman dulu menggunakan mesin uap, saat ini menggunakan mesin diesel. Mesin Induk kapal tunda biasanya berkekuatan antara 750 sampai 3.000 tenaga kuda (500 s.d 2.000 kW), tetapi kapal yang lebih besar (digunakan di laut lepas) dapat ekuatan sampai 25.000 tenaga kuda (20.000 kW). Kebanyakan mesin ; digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan ug-baling. Dan untuk keselamatan biasanya digunakan minimum dua



buah mesin induk. Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerak.



Gambar 2. 3 Tugboat
Sumber : <https://daerah.sindonews.com>

Kapal Tunda dengan penggerak konvensional memiliki balingbaling di belakang, efisien untuk 10 menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Jenis penggerak lainnya sering disebut Schottel propulsion system (azimuth thruster/ Z propeller) di mana baling-baling di bawah kapal dapat bergerak 360 derajat atau sistem propulsi Voith-Schneider, yang menggunakan semacam pisau di bawah kapal yang dapat membuat kapal berputar 360 derajat. Secara umum, kapal tunda atau tug boat diperlukan untuk membantu menarik kapal lainnya, sesuai dengan kegunaannya maka kemampuan tenaga pendorong dan peruntukan kapal tunda atau tug boat ditetapkan oleh syahbandar.

Posisi kapal tunda ini berbeda saat menunda kapal, oleh karena itu menurut posisinya kapal tunda pada saat menunda kapal dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Towing Tug Boat (Kapal Tunda Tarik)
2. Pushing Tug Boat (Kapal Tunda Dorong)
3. Side Tug Boat (Kapal Tunda Tempel)

Adapun keputusan Menteri Perhubungan yang dikutip dari KM No. 24 in 2002 BAB IV Penyelenggaraan Pemanduan, menerangkan tentang gunaan kapal tunda untuk membantu olah gerak kapal. Adapun aturan penggunaan jasa penundaan yang berlaku yaitu:



1. Panjang kapal 70 meter sampai dengan 100 meter menggunakan 1 (satu) unit kapal tunda yang mempunyai daya minimal 800 HP
2. Panjang kapal diatas 100 meter sampai dengan 150 meter menggunakan 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya minimal 1600 HP
3. Panjang kapal diatas 150 meter sampai dengan 200 meter menggunakan 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya minimal 3400 HP
4. Panjang kapal diatas 200 meter sampai dengan 300 meter menggunakan minimal 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya minimal 5000 HP
5. Panjang kapal diatas 300 meter, ditunda minimal 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah daya minimal 10000 HP

Berdasarkan pernyataan diatas maka kapal tunda ialah kapal yang memiliki tenaga besar bila dibandingkan dengan ukurannya, dan dapat digunakan untuk maneuver/mengolah gerak utamanya, menarik atau mendorong kapal lain dilaut lepas maupun membantu proses lepas sandar di dermaga suatu pelabuhan.

2.2 Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan Gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu Gerakan kapal (*Harvald, 1992*). Tahanan kapal ini perlu diketahui karena merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam merencanakan bentuk lambung kapal, selain itu juga tujuannya adalah dalam menghitung daya mesin induk kapal, yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat dihitung/diestimasi biaya operasional kapal.

2.2.1 Komponen tahanan

William Froude (1867) pertama kali memperkenalkan total hambatan yang terdiri atas dua komponen yaitu tahanan sisa (*residual*) dan gesek (*friction*). Tahanan sisa dalam hal ini meliputi komponen *wave system energies*, *eddy* dan *viscous energy losses* akibat bentuk lambung



kapal. Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek suatu pelat dasar 2 – dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal (Sutiyo, 2014).

Komponen tahanan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana tahanan total merupakan penjumlahan tahanan gesek (R_f) dengan hambatan sisa (R_R) sehingga, didapat persamaan (Sutiyo, 2014):

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.1)$$

Dimana:

R_{TM} : Tahanan total model dari percobaan

R_{FM} : Tahanan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model, yang mana dapat ditentukan dari:

$$R_{FM} = f S V^n \quad (2.2)$$

f, n : Konstanta, fungsi dari panjang dan sifat permukaan

R_{RM} : Tahanan sisa dari model

Dengan menggunakan motedo Froude, dapat diperhitungkan untuk koefisien tahanan kapal full scale dari hasil percobaan model kapal, dengan persamaan koefisien tahanan (Sutiyo, 2014):

$$C_T = C_F + C_R \quad (2.3)$$

Metode Analisa 2 – dimensi diatas tidak cukup meng-refleksikan konstribusi bentuk/kontur lambung (yang 3-dimensi) terhadap hambatan *viscous*, sehingga kemudian *Hughes* (1954) memperkenalkan metode untuk digunakan dalam koreksi model kapal dimana tahanan total adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen (Sutiyo, 2014):

- 1) Tahanan gesek (*friction*) adalah gaya tangential stress yang timbul antara molekul air dan kulit badan kapal, yang kemudian sebagai tahanan bidang permukaan dengan area dan panjang yang sama dengan model.
- 2) Tahanan bentuk (form) adalah komponen tahanan yang dinyatakan dalam langan “k” dimana merupakan tahanan diluar batas item diatas dalam isus lambung yang tercelup cukup dalam. *Hughes* mengasumsikan



bahwa untuk lamung yang *streamline* pada aliran *turbulent*, dapat diekspresikan sebanding dengan tahanan *friction*.

- 3) Tahanan *free surface* sebagai tahanan gelombang (C_W) adalah tahanan yang timbul akibat pergerakan kapal relatif terhadap air sehingga timbul perbedaan tekanan pada permukaan (bidang) basah kapal yang selanjutnya menimbulkan *wave pattern*. Tahanan gelombang merupakan pengurangan total tahanan gesek (C_F) dan tahanan bentuk (C_{FO}) dari model.

$$C_T = C_F + C_{FO} + C_W$$

dimana

$$C_{FO} = K_{CF}$$

$$C_T = (1 + k) C_F + C_W \quad (2.4)$$

(1 + k) disebut form factor dan dapat diperoleh dari eksperimen pada kecepatan rendah ($Fr < 0.1$) dimana C_W dapat diabaikan, sehingga *form factor* dapat dihitung dengan (Sutiyo, 2014):

$$(1 + k) = \frac{C_T}{C_{FO}} \quad (2.5)$$

Selanjutnya standar internasional dari ITTC (1978) dengan judul “1978 Performance Prediction Method for Simple Single Screw Ships” mengklasifikasikan tahanan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis, dalam 2 (dua) komponen tahanan utama yaitu tahanan *viscous* (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan *Reynolds* dan tahanan gelombang (*wave-making resistance*) yang tergantung pada bilangan *Froude*, dimana korelasi kedua komponen tahanan tersebut diperlihatkan pada persamaan dibawah ini (Sutiyo, 2014). Tahanan total kapal dibagi dalam empat koponen:

$$C_T = (1 + k) C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad (2.6)$$

Dimana,

+ k) : merupakan form factor.

F : Tahanan gesek dengan menggunakan ITTC' 57.

R : Tahanan sisa dari percobaan model.



C_F : Roughness Allowance (0 for smooth model)

C_{AA} : Air Resistance (assumed 0 for model without superstructure)

Metode untuk mendapatkan k dengan pengukuran pada kecepatan rendah dimana C_R diasumsikan mendekati 0 dan $(1+k) = C_T/C_F$. Dengan penurunan sebagai berikut:

$$C_R \approx 0$$

$$C_F \approx 0 \text{ (0 for smooth model).}$$

$$C_{AA} \approx 0 \text{ (assumed 0 for model without superstructure)}$$

Sehingga,

$$C_T = (1 + k) C_F + C_R + C_F + C_{AA}$$

$$C_T = (1 + k) C_F + 0$$

$$C_T = (1 + k) C_F$$

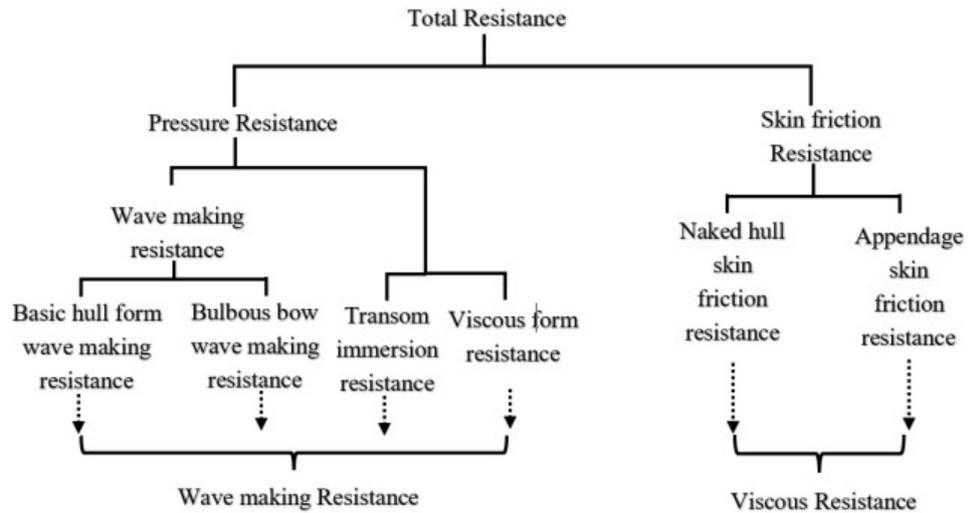
$$(1 + k) = C_T / C_F \quad (2.7)$$

Pada prakteknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam menjamin keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam memperhitungkan tahanan, yaitu metode yang diusulkan prohaska (Sutiyo, 2014). Mengasumsikan $C_{RM} = a F_n^n$ pada kecepatan rendah (pada umumnya $F_n < 0.2$) sehingga persamaan tahanan total kapal sebagai beriku:

$$C_T = (1 + k) + a F_n^n \quad (2.8)$$

Dimana $(1 + k)$, a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari pengukuran pada kecepatan rendah. Secara skematik pembagian komponen tahanan diperlihatkan seperti dibawah ini (Sutiyo, 2014).

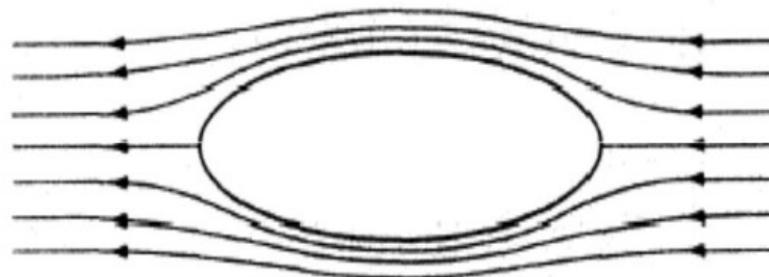




Gambar 2. 4 Diagram komponen tahanan kapal

2.2.2 Aliran fluida

Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.2*



Gambar 2. 5 Aliran *streamline* yang melintasi suatu body

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massa-nya didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Sudono W. Adji, 2009):

$$\frac{v^2}{2} + gh = constant \tag{2.9}$$



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 [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 (*Sutiyo W. Adji, 2009*):

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (2.10)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekpresi formulasi tersebut diatas, masih dapat diekspresikan ke bentuk *fundamental dimensions*; 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 substitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (*Suryo W. Adji, 2009*):



$$f \left[L^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{M}{L^3} \right)^c \left(\frac{M}{LT} \right)^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e \left(\frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \quad (2.11)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi mental, yakni persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkat

yang diketahui dan yang lainnya dengan angka pangkat yang tidak diketahui. Untuk persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkatnya tidak diketahui, maka dapat digolongkan menjadi tiga ekspresi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.12)$$

Maka, persamaan keseluruhan dari Tahanan (resistance) dapat ditulis sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, f_3 \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.13)$$

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

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2}, VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (2.14)$$

Dari ketiga rasio tersebut diatas, diperoleh *Resistance Coefficient* (C_T), *Reynold Number* (Re), *Froude Number* (Fn). Sedangkan rasio yang keempat adalah mempunyai relasi terhadap Kavitasi (*catatan: Hal ini akan dibahas kemudian*). Pada topik Tahanan kapal, yang paling sering digunakan adalah angka Re dan Fn (Suryo W. Adji, 2009).

Rasio μ/ρ adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi ν . Jika L^2 pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama tersebut adalah merupakan luasan basah dari body, yang dinotasikan dengan S , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f \left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (2.15)$$

Dan Tahanan Kapal (Resistance) dapat diformulasikan dengan ekspresi dibawah ini (Suryo W. Adji, 2009):

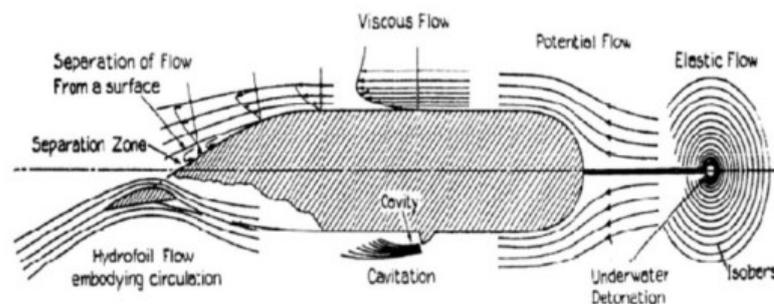
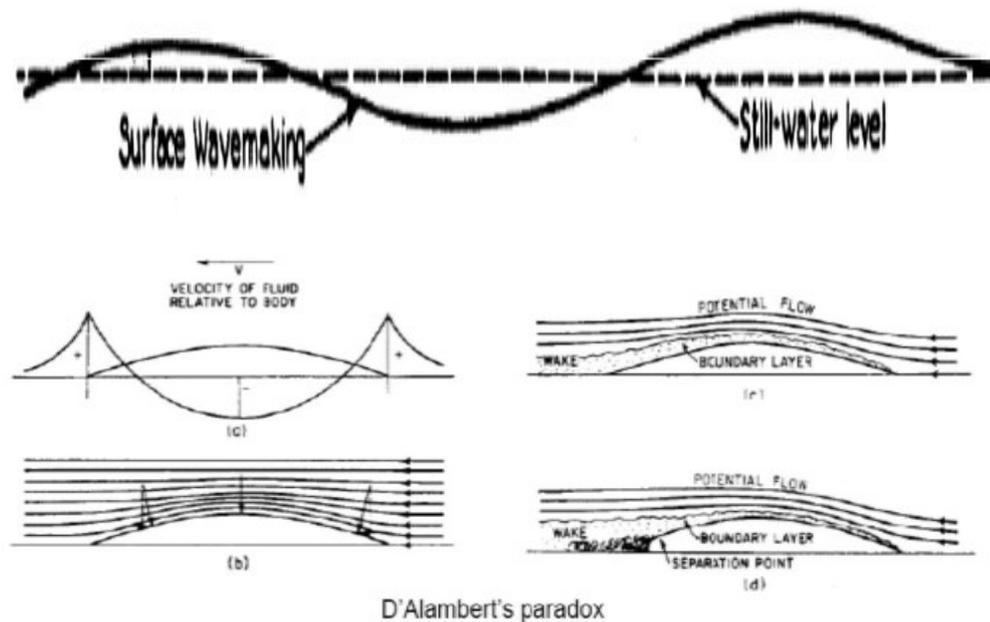


$$\frac{1}{2} \rho C_R V^2 S \quad (2.16)$$

Dimana, C_R adalah Koefisien Tahanan Kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn . Atau dapat dituliskan dengan (Suryo W. Adji, 2009):

$$C_R = C_R(Re, Fn) \quad (2.17)$$

Beberapa contoh pola aliran fluida dari suatu *Sub-marged body (no wave)* (Suryo W. Adji, 2009):



Gambar 2. 6 Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body
Sumber : (Suryo W. Adji, 2009)

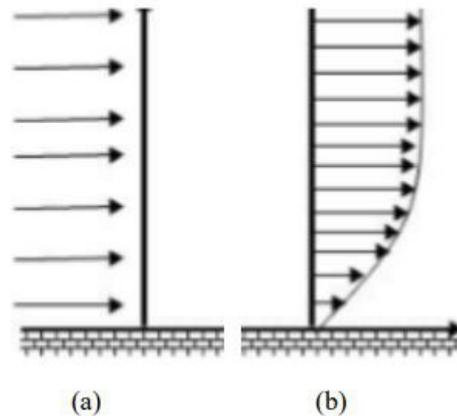
2.2.3 Aliran *Viscous dan Non Viscous*

Pada dasarnya aliran terbagi atas dua jenis yaitu aliran viscous dan aliran non viscous. Aliran non viscous merupakan aliran yang mempunyai gradien kecepatan dan tegangan geser yang mendekati nol. Sedangkan aliran viscous adalah merupakan aliran yang mempunyai gradien



dan tegangan geser (mempunyai nilai yang lebih besar dari pada non viscous).

Pada aliran fluida ideal, semua partikel akan bergerak pada kecepatan yang sama, tetapi pada aliran viscous yang mempunyai tegangan geser akan menjadikan profil kecepatannya menjadi tidak seragam. Sebagaimana gambar di bawah ini



Gambar 2. 7 (a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous

Menurut Yulistiyanto, pada aliran viscous, kecepatan fluida yang tepat diatas permukaan padat sama dengan nol. Dan semakin jauh dari permukaan padat, secara berangsur-angsur tegangan geser yang terjadi semakin berkurang, sehingga berangsur-angsur pula kecepatan aliran potensial akan membesar. Dan pada suatu titik tertentu pengaruh tegangan geser terhadap aliran akan hilang sehingga kecepatan aliran potensial akan mencapai harga yang sama dengan aliran bebasnya (Nurrohman, 2017).

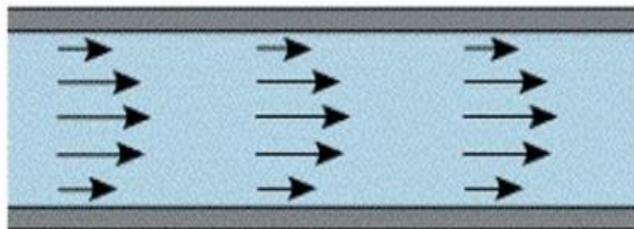
2.2.4 Aliran Terkait Bentuk Lambung Kapal

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar atau turbulen. Skin friction memiliki nilai proposional dengan besar luasan permukaan. Skin friction drag pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida



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

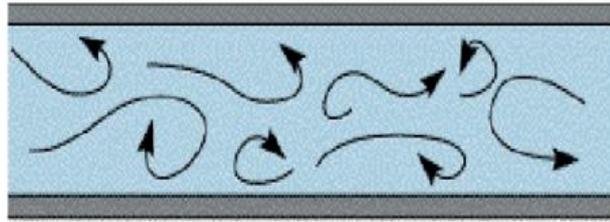
- a. Aliran Laminar ($Re < 2300$) Aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada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



Gambar 2. 8 Aliran Transisi

- b. 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.





Gambar 2. 9 Aliran Turblen

2.3 Hukum Perbandingan

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, 2011).

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangka percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut (Rosmani, 2011). Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan “blockage effect” maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model (Rosmani, 2011).

Dalam 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. Hukum perbandingan yang dipakai harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut: (Rosmani, 2011).

2.3.1 Kesamaan Geometris

Kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal di laut, permukaan air laut dianggap tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan 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 linear model, misalnya: Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.18)$$

Dimana :

λ	= Skala perbandingan
L_s	= Panjang kapal (m)
L_m	= Panjang model (m)
B_s	= Lebar kapal (m)
B_m	= Lebar model (m)
T_s	= Sarat kapal (m)
T_m	= Sarat model (m)

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

1) Menurut Todd

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

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

2) Menurut Harvald

$$B_m < 1/10 B_{\text{tangki}}$$

$$T_m < 1/10 T_{\text{tangki}}$$

3) Menurut University of New Castle

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

$$B_m < 1/15 B_{\text{tangki}}$$

$$A_{om} < 0,4 A_{otangki}$$



2.3.2 Kesamaan Kinematis

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.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g.L}} \quad (2.19)$$

Atau :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g.L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g.L_s}} \quad (2.20)$$

Dimana :

- Fr = Angka fraude
- Ls = Panjang kapal (m)
- Lm = Panjang model (m)
- Vs = Kecepatan kapal (m/s)
- Vm = Kecepatan model (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.3.3 Kesamaan Dinamis

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 angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas :

$$Rn = \frac{v.L}{\nu} \quad (2.21)$$

Atau

$$Rn = \frac{V_m.L_m}{\nu} = \frac{V_s.L_s}{\nu} \quad (2.22)$$

Dimana :

- Rn = Angka reynold
- Ls = Panjang kapal (m)
- Lm = Panjang model (m)
- Vs = Kecepatan kapal (m/s)
- Vm = Kecepatan model (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)



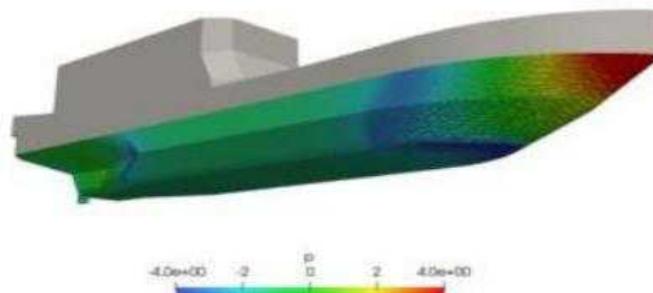
$$\nu = \text{Viskositas kinematis fluida (m}^2/\text{s)} = 1,1883 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.4 Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)

2.4.1 Pengertian Autodesk CFD

Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang berkaitan aliran fluida dengan 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 ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu.

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 CFD ini didasarkan atas prinsip-prinsip mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa.

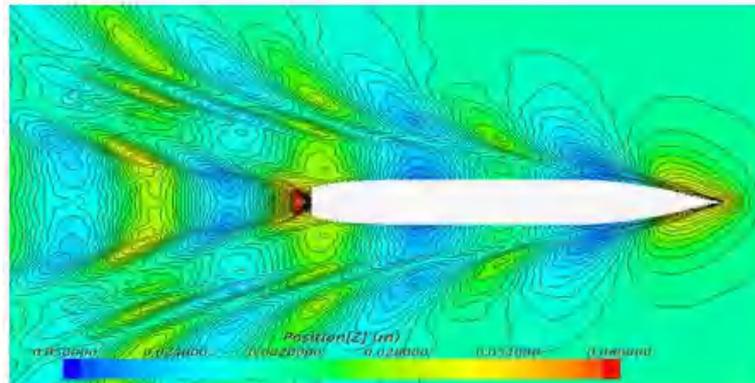


Gambar 2. 10 Simulasi CFD pada lambung kapal

dengan mendefinisikan suatu model menjadi elemen-elemen kecil. Setiap elemen yang terbentuk akan dikontrol dengan menggunakan konsep persamaan dinamika fluida. Persamaan dinamika fluida tersebut memanfaatkan kondisi (Boundary conditions) sebagai variabel inputan untuk mendapatkan nilai hasil. Autodesk CFD ini banyak digunakan karena mampu



mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk melakukan eksperimen dan mengefisiensi waktu yang panjang untuk melakukan eksperimen.



Gambar 2. 11 Simulasi Pengujian Model dengan CFD

2.4.2 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. Dalam metode ini, variabel dependen diwakili oleh fungsi bentuk polinomial atas area kecil atau volume (elemen). Kemudian, FEM adalah metode numerik khusus untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial dalam dua atau tiga variabel ruang dan untuk memprediksi perilaku setiap elemen. Hasilnya adalah satu set persamaan aljabar untuk variabel dependen pada titik diskrit atau node pada setiap elemen. Sejalan dengan itu, objek nyata menjadi sejumlah besar elemen hingga dianalisis dengan menggunakan salah satu jenis metode analisis komputerisasi, analisis elemen hingga (FEA). Autodesk CFD menggunakan FEM karena fleksibilitasnya dalam memodelkan bentuk geometris apa pun seperti linier untuk elemen tetrahedral 3D (kisi tidak terstruktur) di mana metode residu tertimbang Galerkin umumnya digunakan. Oleh karena itu, fleksibilitas geometrik yang melekat pada elemen hingga dipertahankan di Autodesk CFD (Baso, 2021).

Konsep dasar penggunaan Computational Fluid Dynamics adalah persamaan Navier-Stokes dengan prinsip yakni kekekalan massa, kekekalan



29 momentum, dan kekekalan energi. PDES yang mengatur untuk persamaan kontinuitas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (2.23)$$

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

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\ & = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Persamaan momen-Y yaitu :

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\ & = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Persamaan momen-Z yaitu :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\ & = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (2.26)$$

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

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



$$= - \left(K_i + \frac{f}{DH} \right) \frac{\rho V i^2}{2} - C\mu V i \quad (2.27)$$

Dimana, V adalah kecepatan, i mengacu pada arah koordinat global (u , persamaan momentum w), f adalah faktor gesekan, D adalah diameter

hidrolik, C adalah permeabilitas. Istilah K-faktor dapat beroperasi pada persamaan momentum tunggal pada satu waktu karena setiap arah memiliki K-faktor 30 uniknya sendiri. Dua jenis resistance lainnya beroperasi sama pada setiap persamaan momentum.

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

$$S\omega = -2 \rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (2.28)$$

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 kinetic per satuan massa dan merupakan disipasi turbulen yang cocok untuk interaksi aliran luar mampat dengan geometry kompleks.

2.4.3 Proses Simulasi Autodesk CFD

Secara umum Computational fluid dynamics (CFD) digunakan untuk memberikan penyelesaian dari masalah aliran pada kapal. Dengan menggunakan CFD memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi. Dalam melakukan sebuah simulasi pada CFD, dibutuhkan sebuah dasar yang berupa pemodelan numerik sehingga simulasi yang dilakukan pada CFD dapat berjalan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Adapun proses simulasi pada CFD terdapat tiga langkah proses, yaitu :

a. 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.

b. Processing / Solver Manager

Tahap ini dapat dilakukan setelah tahap Pre-processing telah selesai dilakukan. Pada tahap ini data yang telah diinput pada proses sebelumnya akan dihitung dan coba ditemukan hasilnya.



Proses perhitungan yang dilakukan berupa iterasi atau perhitungan yang dilakukan hingga hasil menunjukkan error terkecil atau hingga mencapai nilai konvergensinya.

c. 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 itu diterapkan tergantung pada pendekatan numerik dan layout kode komputasi. Dalam proses CFD ada proses verifikasi dan validasi untuk mengetahui seberapa baik mewakili formula matematika yang diterapkan. Proses ini untuk memastikan kode komputasi bebas dari error karena kesalahan dalam penggunaan bahasa komputer.

