

SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 1 L MENGUNAKAN APLIKASI CFD

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD ARYA S
D031 18 1002



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN
TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 1 L
MENGUNAKAN APLIKASI CFD**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ARYA S
D031 18 1002**

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



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

NIP: 19730206 200012 1 002

Pembimbing II



Muhammad Akbar Asis. S.T.,M.T.

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 : Muhammad Arya S
NIM : D031 18 1002
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG)
BERDASARKAN PANJANG TALI 1 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, tanggal November 2023

Yang Menyatakan


Muhammad Arya S



ABSTRAK

MUHAMMAD ARYA S. *Studi Tahanan Kapal Tandem (Tugboat Dan Tongkang) Berdasarkan panjang Tali 1 L Menggunakan Aplikasi CFD* (dibimbing oleh **Suandar Baso** dan **Akbar Asis**)

Kapal Tandem adalah kendaraan air berupa Kapal Tugboat yang menarik Kapal Tongkang di belakangnya, dan terpisah dengan jarak sama dengan satu kali Panjang kapal tongkang, yang selanjutnya disebut satu (1) L . Adanya jarak diantara kedua kapal menimbulkan aliran yang saling bertabrakan. Aliran air dari kapal tug yang bersumber dari perputaran propeller (Turbulen) mengalir dan bertabrakan langsung pada haluan kapal tongkang yang berbentuk hampir kotak sehingga berpengaruh terhadap hambatan kapal tongkang. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menghitung tahanan kapal tandem (Tongkang dan Tugboat) berdasarkan perubahan kecepatan kapal tug mulai dari kecepatan 3 knot, 4 knot, dan 5 knot, serta menentukan karakteristik aliran fluida yang terjadi saat pengujian menggunakan aplikasi CFD. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan bantuan software Maxsurf Modeller dan Rhinoceros 7 untuk pemodelan kapal dan pemodelan kolam uji, serta Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) dalam melakukan proses analisis nilai tahanan kapal. Hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai tahanan kapal Tugboat, kapal Tongkang dan nilai tahanan keduanya serta karakteristik aliran fluida. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai tahanan yang didapatkan mengalami kenaikan seiring bertambahnya kecepatan dengan persentase kenaikan sebesar 50.166% dan 27.818% pada kapal tongkang, 46.178% dan 23.081% pada kapal Tug, dan 49.628% dan 27.385% untuk kedua kapal jika digabungkan.

Kata Kunci: Kapal Tandem, Tahanan Kapal, Autodesk CFD



ABSTRACT

MUHAMMAD ARYA S. Study of Resistance of Tandem Ships (Tugboats and Barges) Based on 1 L Rope Length Using CFD Applications (supervised by **Suandar Baso** and **Akbar Asis**)

A tandem ship is a water vehicle in the form of a tugboat that tows a barge behind it, and is separated by a distance equal to one barge's length, hereinafter referred to as one (1) L. The distance between the two ships causes the flow to collide with each other. The water flow from the tug ship which originates from the rotation of the propeller (turbulent) flows and collides directly with the bow of the barge which is almost square, thus affecting the resistance of the barge. Therefore, this research aims to calculate the resistance of tandem ships (barges and tugboats) based on changes in tug ship speed starting from speeds of 3 knots, 4 knots, and 5 knots, as well as determining the fluid flow characteristics that occur during testing using the CFD application. The method used in this research is a numerical method with the help of Maxsurf Modeler and Rhinoceros 7 software for ship modeling and test pool modeling, as well as Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) in carrying out the process of analyzing ship resistance values. The results of the research show the magnitude of the resistance value of Tugboats, Barges and the resistance values of both, and the characteristics of fluid flow. Based on the calculation results, the resistance value obtained increases with increasing speed with a percentage increase of 50,166% and 27,818% for barges, 46,178% and 23,081% for tug ships, and 49,628% and 27,385% for both ships combined.

Keywords: Tandem Ship, Resistance, Autodesk CFD



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kapal Tongkang dan Tug Boat.....	4
2.1.1 Kapal Tongkang	4
apal Tug Boat	5
Kapal	7



2.2.1	Komponen tahanan.....	7
2.2.2	Aliran fluida	10
2.2.3	Aliran <i>Viscous dan Non Viscous</i>	13
2.2.4	Aliran Terkait Bentuk Lambung Kapal.....	14
2.3	Hukum Perbandingan.....	15
2.3.1	Kesamaan Geometris.....	16
2.3.2	Kesamaan Kinematis	17
2.3.3	Kesamaan Dinamis.....	18
2.4	Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)	18
2.4.1	Pengertian Autodesk CFD.....	18
2.4.2	Finite Element Method (FEM).....	20
2.4.3	Proses Simulasi Autodesk CFD	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2	Jenis Penelitian.....	23
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	23
3.4	Metode Pengolahan Data	23
3.4.1	Data Kapal.....	23
3.4.2	Penggabungan model kapal Tugboat dan Tongkang	25
3.4.3	Pembuatan kolam dan pengaturan sarat kapal	25
3.5	Simulasi Autodesk CFD	27
3.5.1	Verifikasi.....	31
	Menarikan Kesimpulan.....	32
	Latihan Berpikir.....	33



BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Skala Pemodelan dan Boundary Layer.....	34
4.1.1 Penentuan Skala Model.....	34
4.1.2 Boundary Layer.....	34
4.2 Tali Tarik Kapal Tandem.....	35
4.3 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual out</i>	36
4.4 Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure	37
4.4.1 Visualisasi Velocity Magnitude	37
4.4.2 Visualisasi Static Pressure.....	42
4.5 Visualisasi Pola Aliran.....	46
4.6 Prediksi Tahanan Model Kapal Tandem.....	48
4.7 Perhitungan Nilai Hambatan Total (RTs) Kapal Sebenarnya.....	50
4.7.1 Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Barge.....	50
4.7.2 Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Tug.....	51
4.7.3 Perhitungan Hambatan Sebenarnya Pada Kapal Tandem	52
4.8 Grafik Hubungan Antara Tahanan Kapal Dan Kecepatan.....	52
Bab V Penutup.....	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tongkang	4
Gambar 2 Tali Tambat	5
Gambar 3 Kapal Tug (Tunda).....	6
Gambar 4 Diagram komponen tahanan kapal.....	10
Gambar 5 Aliran streamline yang melintasi suatu body	10
Gambar 6 Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body	13
Gambar 7 (a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous	14
Gambar 8 Aliran Transisi.....	15
Gambar 9 Aliran Turblen.....	15
Gambar 10 Simulasi CFD pada lambung kapal.....	19
Gambar 11 Simulasi Pengujian Model dengan CFD	19
Gambar 12 Lines plan Tongkang.....	25
Gambar 13 Penggabungan model Tugboat dan Tongkang.....	25
Gambar 14 Model Simulasi Kolam	26
Gambar 15 Pengaturan Sarat	26
Gambar 16 Indikator keterangan solid close	27
Gambar 17 Pengaturan Geometry.....	28
Gambar 18 Pengaturan Material	28
Gambar 19 Boundary Condition.....	29
Gambar 20 Mesh Sizing Kolam.....	29
Gambar 21 Mesh Sizing Tugboat	30
Gambar 22 Mesh Sizing Tongkang	30
Gambar 23 Solve.....	31
Gambar 24 Hasil Convergensi	31
Gambar 25 Kapal Tandem Dengan Panjang Tali 1 L.....	36
Gambar 26 Visualisasi Velocity Magnitude 1 L kecepatan 3 knot	38
 Visualisasi Velocity Magnitude 1 L kecepatan 4 knot	40
Visualisasi Velocity Magnitude 1 L kecepatan 5 knot	41
Visualisasi static pressure 1 L kecepatan 3 knot.....	43



Gambar 30 Visualisasi static pressure 1 L kecepatan 5 knot.....	45
Gambar 31 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 3 knot.....	46
Gambar 32 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 4 knot.....	47
Gambar 33 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 5 knot.....	47
Gambar 34 Grafik Hubungan Antara Kecepatan dan Hambatan Model	49
Gambar 35 Hubungan Kecepatan Dengan Tahanan Kapal	Error!

Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Ukuran Utama Kapal Tug	24
Tabel 2 Lines Plan Tongkang	24
Tabel 3 Data Ukuran kolam.....	26
Tabel 4 Ukuran model skala 1:70	34
Tabel 5 Ukuran kolam eksperimen (Boundary Layer)	35
Tabel 6 Data Kecepatan (Velocity).....	35
Tabel 7 Nilai Residual In dan Residual Out	37
Tabel 8 Persentase Kenaikan Hambatan Model Kapal Tandem	48
Tabel 9 Persentase Kenaikan Hambatan Mode Kapal Barge	49
Tabel 10 Persentase Kenaikan Hambatan Mode Kapal Tug	49
Tabel 11 Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Tugboat.....	52
Tabel 12 Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Barge	53
Tabel 13 Hubungan Antara Tahanan dan Kecepatan Kapal Tandem.....	53



DAFTAR NOTASI

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	58
Lampiran 2. Visualisasi Static Pressure pada setiap kecepatan	61
Lampiran 3. Visualisasi velocity vector pada setiap kecepatan	64
Lampiran 4. Data statistik jumlah elemen mesh	67
Lampiran 5. Penentuan nilai kecepatan model kapal (V_m)	68
Lampiran 6. Visualisasi Pola Aliran pada setiap kecepatan	69
Lampiran 7. Persentase perbandingan tahanan dan rata – rata untuk model kapal Tugboat dan model kapal Tongkang.....	71



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikumwarahmattulahiwbaramakatu.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir yang berjudul :

**“STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG)
BERDASARKAN PANJANG TALI 1 L MENGGUNAKAN APLIKASI CFD
(Computational Fluid Dynamics)”**

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan tugas akhir penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Sakaruddin Hamid dan Ibunda Rahmi Gairah, serta kakak penulis Muhammad Rafly, dan adik penulis Muhammad Taufik atas segala dukungan, kesabaran, pengorbanan, semangat, motivasi, materi dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan sekaligus selaku pembimbing I dan bapak Muhammad Akbar Asis. S.T.,M.T. selaku selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran mendidik dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Lukman Bochary, M.T dan Ibu Ir. Rosmani ,M.T. selaku penguji dalam tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. selaku penasehat akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.



5. 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 persuratan di kampus.
6. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
7. Kepada teman-teman angkatan THRUZTER 2018, terima kasih telah memberi pengalaman hidup yang sangat berarti selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
8. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi ANDROMAX 2018. Untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan, tapi yakin kita dapat melewatinya.
9. Kepada seseorang yang penulis temui ditahun 2020. ‘Nanda Auliah’ Terima kasih telah kebersamai penulis sampai hari ini
10. Kepada saudara tak sedarah penulis ANAK SHOLEH, Rahil, Aqif, Arif, Piang, Tebe, Uppi, Wanul, Yasar, Yasin, Abyan, dan Sahrul.
11. Kepada UKM SEPAK BOLA UNHAS. Terima kasih telah menjadi rumah kedua penulis selama menjalani status sebagai mahasiswa.
12. Kepada kawan-kawan yang saudara temui pada akhir tahun 2021 yaitu teman posko KKN Takalar Gel. 107 Galesong Selatan
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

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. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Wa'alaikumussalamwarahmatullahiwabarakatuh

Makassar, 23 Januari 2023

Penulis



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 Tongkang (Barge) adalah jenis kapal yang membawa barang-barang dan muatan dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Dalam pengoperasian, 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.

Pada saat kedua kapal bergerak, 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).

Sistem penarik pada kapal tugboat umumnya digunakan untuk menarik kapal tongkang. Pada saat kapal tongkang ditarik aliran air yang berasal dari kapal tugboat akan memengaruhi aliran disekitar haluan kapal tongkang sehingga peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai tahanan kapal tongkang tersebut. Sehingga peneliti akan melakukan penelitian dengan judul **“STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 1 L MENGGUNAKAN APLIKASI CFD”**



masalah

masalah yang terkait dengan penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan kapal Tug yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $1L$ berdasarkan analisis CFD?
2. Berapa besar nilai tahanan kapal Barge yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $1L$ berdasarkan analisis CFD?
3. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal berdasarkan analisis CFD?

1.3 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software CFD
2. Model dan data kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dan data kapal Tug dan Barge
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 $1L$
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. Menentukan besar nilai tahanan kapal Tug yang menggunakan tali penarik Panjang $1L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.
2. Menentukan besar nilai tahanan kapal Barge yang menggunakan tali penarik Panjang $1L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.
3. Menentukan 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 tahanan kapal Tugboat dan Barge yang menggunakan tali tarik panjang $1L$ berdasarkan analisis CFD.



mbahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi gerakan kapal berdasarkan analisis CFD.

uhan pertimbangan bagi perancang kapal dalam pertimbangan penggunaan tali penarik tongkang kaitannya dengan tahanan kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : LANDASAN TEORI

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

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal 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 1 Tongkang

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 melintasi perairan.

Tetapi setelah revolusi industri dan penemuan mesin uap, permintaan untuk tongkang sebagai moda alat pengangkut barang mulai berkurang karena la kecepatan. Namun pada zaman millennial ini, tongkang masih dapat rena tongkang berkembang menjadi alat utilitas yang penting untuk arang 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 Tali Tambat

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 berkekuatan sampai 25.000 tenaga kuda (20.000 kW). Kebanyakan mesin yang digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan baling-baling. Dan untuk keselamatan biasanya digunakan minimum dua buah mesin induk. Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerak.





Gambar 3 Kapal Tug (Tunda)

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 Tahun 2002 BAB IV Penyelenggaraan Pemanduan, menerangkan tentang penggunaan kapal tunda untuk membantu olah gerak kapal. Adapun ketentuan 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 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 kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu tahanan sisa (*residual*) dan tahanan gesek (*friction*). Tahanan sisa dalam hal ini meliputi komponen *wave-making system energies*, *eddy* dan *viscous energy loses* 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*):

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (1)$$

Dimana:



tahanan total model dari percobaan

tahanan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama

yang mana dapat ditentukan dari:

(2)

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

R_{RM} : Tahanan sisa dari model

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

$$C_T = C_F + C_R \quad (3)$$

Metode Analisa 2 – dimensi diatas tidak cukup meng-refleksikan kontribusi 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 bilangan “k” dimana merupakan tahanan diluar batas item diatas dalam kasus 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

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

$$C_T = (1 + k) C_F + C_W \quad (4)$$

(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



(Sutiyo, 2014):

$$\frac{C_T}{C_{FO}} \quad (5)$$

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:

$$C_T = (1 + k) C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad (6)$$

Dimana,

$(1 + k)$: merupakan form factor.

C_F : Tahanan gesek dengan menggunakan ITTC' 57.

C_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,

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

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

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



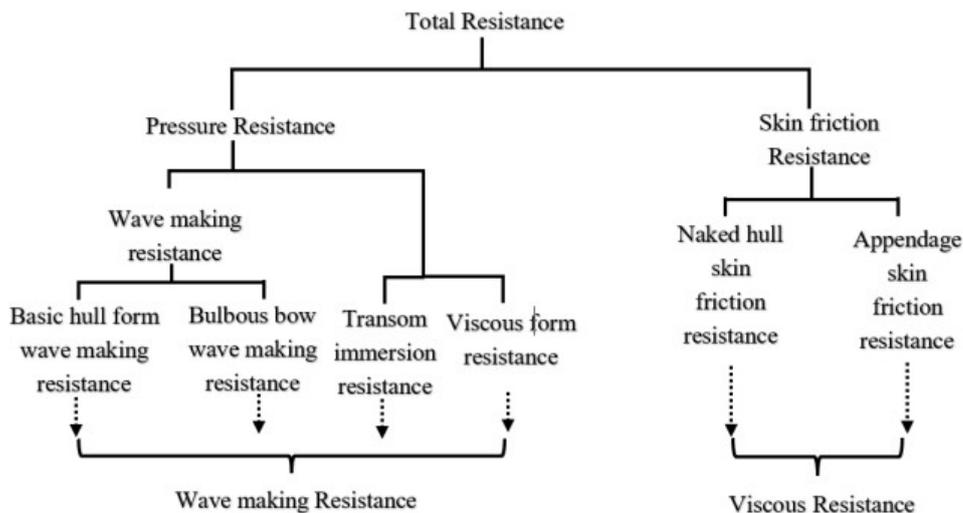
$$C_T / C_F \quad (7)$$

prakteknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam mengukur 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:

$$C_T = (1 + k) + a F_n^n \tag{8}$$

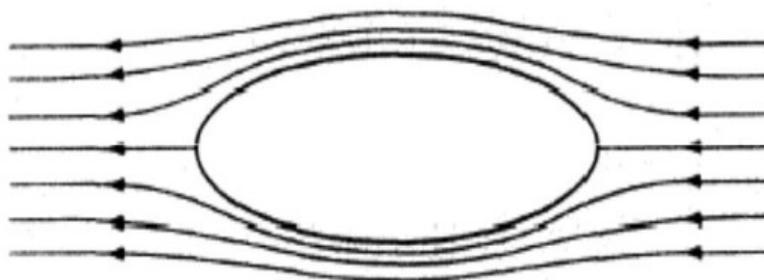
Dimana $(1 + k)$, a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari pengukuran pada kecepatan rendah. Secara skematik pembagian komponen tahanan diperlihatkan seperti dibawah ini (Sutiyo, 2014).



Gambar 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 5 Aliran streamline yang melintasi suatu body

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, hal ini disebabkan karena didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernoulli, hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu aliran yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan tahanan tersebut;



Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{constant} \quad (9)$$

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):

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (10)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi 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 men-subtitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (Suryo W. Adji, 2009):



$$\left(\frac{M}{L^3}\right)^c \left(\frac{M}{LT}\right)^d \left(\frac{L}{T^2}\right)^e \left(\frac{M}{LT^2}\right)^f \quad (11)$$

maan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental,

n dimensi fundamental dengan angka pangkat yang diketahui dan yang
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):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (12)$$

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

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, f_3 \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (13)$$

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

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2}, VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (14)$$

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 diekpresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f \left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (15)$$

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

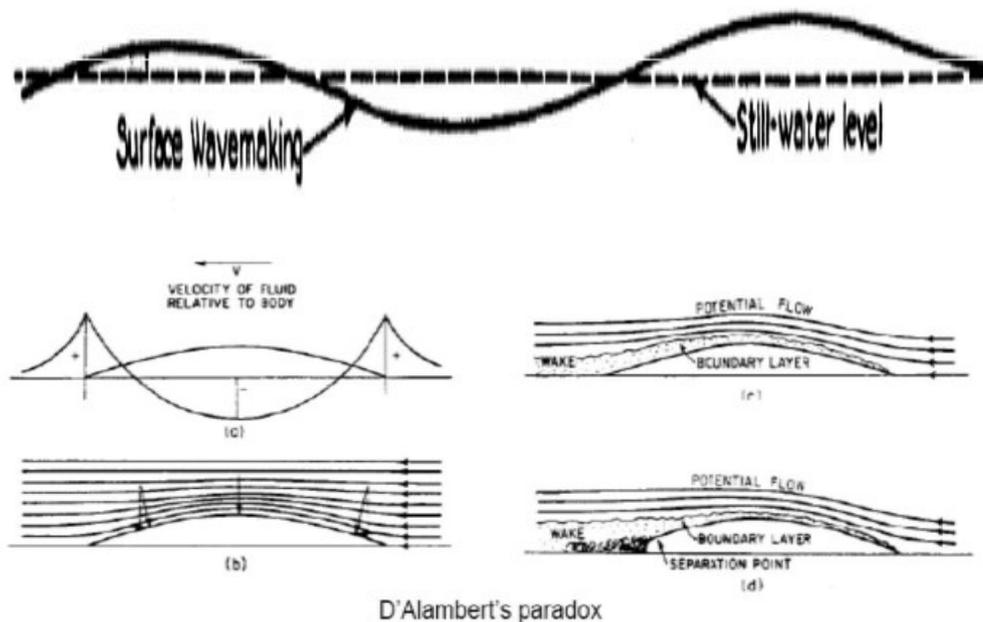
$$R = \frac{1}{2} \rho C_R V^2 S \quad (16)$$

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

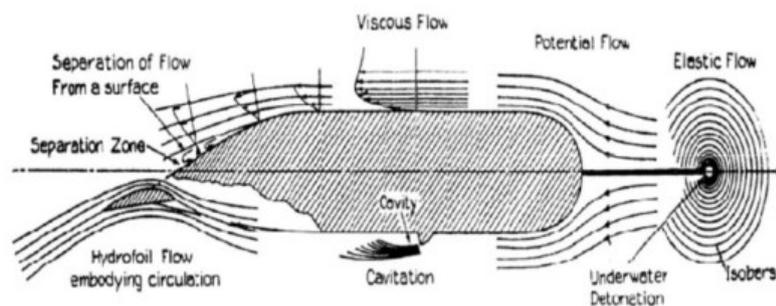


i) (17)

ontoh pola aliran fluida dari suatu *Sub-marged body* (*no wave*) (Suryo W.



D'Alambert's paradox



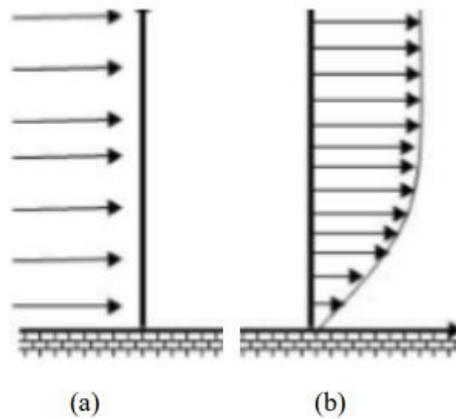
Gambar 6 Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body

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 menjadi tidak seragam. Sebagaimana gambar di bawah ini





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

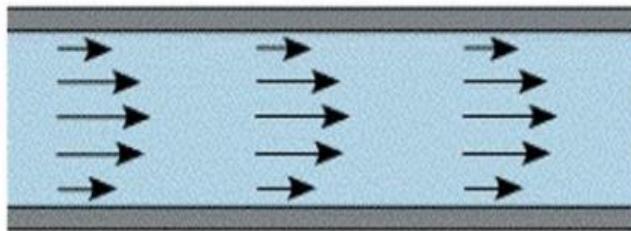
Menurut Yulistiyanto, pada aliran viscous, kecepatan fluida yang tepat diatas permukaan padat sama dengan nol. Dan semakin jauh dari permukaan padat, secara berangsur-angsur tegangan geser yang terjadi semakin berkurang, sehingga berangsur-angsur pula kecepatan aliran potensial akan membesar. Dan pada 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 dan turbulen. Skin friction memiliki nilai proposional dengan besar luasan basah. Skin friction drag pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen 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 fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan membentuk gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi,2003).

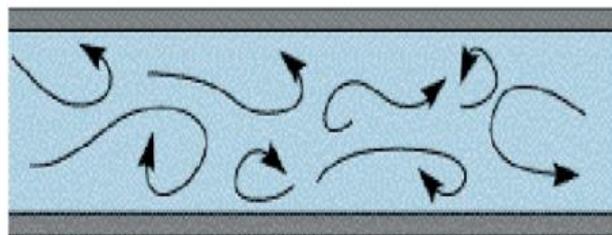


- a. Aliran Laminer ($Re < 2300$) Aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminer, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada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



Gambar 8 Aliran Transisi

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



Gambar 9 Aliran Turbulen

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 ujiannya model sehingga diperlukan penskalaan terhadap ukuran kapal. Untuk mendapatkan ukuran model (Rosmani, 2011).



penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair dalam 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

Menurut Djabbar M.A. dan Rosmani, 2011, 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 linear model, misalnya: Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (18)$$

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)



geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangki
 erapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model

urut Todd

< Ttangki

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

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

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, 2011, 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.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (19)$$

Atau :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (20)$$

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)

Selanjutnya untuk menghitung tahanan total kapal ukuran sebenarnya menggunakan



kut:

$$= \lambda^3$$

$$\text{ai } R_{TS} = R_{TM} \times \lambda^3$$

ai tahanan total kapal ukuran sebenarnya (kN)

(21)

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.

2.3.3 Kesamaan Dinamis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, 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 :

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (22)$$

Atau

$$Rn = \frac{Vm.Lm}{\nu} = \frac{Vs.Ls}{\nu} \quad (23)$$

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)

ν = Viskositas kinematis fluida (m² /s) = 1,1883 x 10⁻⁶ m²/s

2.4 Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)

2.4.1 Pengertian Autodesk CFD

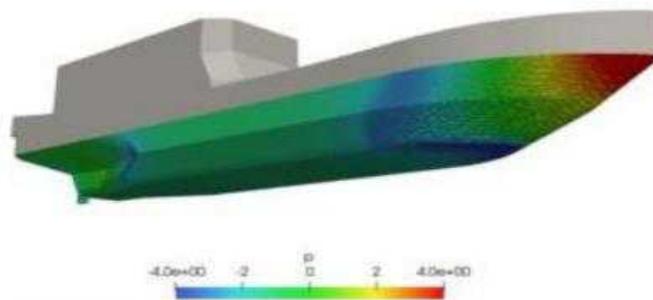
Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan



masalah yang berkaitan aliran fluida dengan menggunakan simulasi iter yang akan melakukan perhitungan pada setiap elemen pembagiannya. tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan kemudian diperoleh hasil berupa gaya-gaya yang bekerja pada model

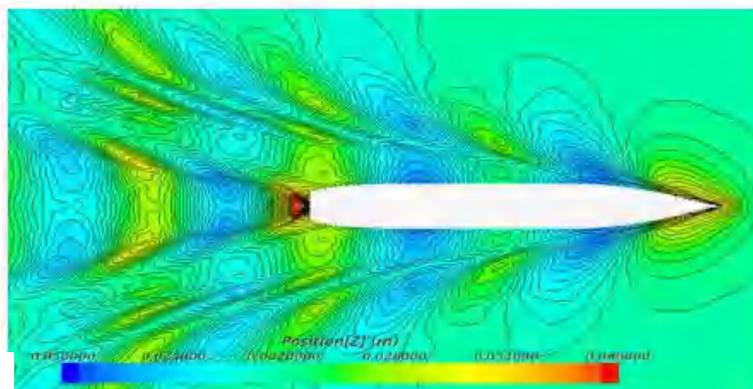
ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu.

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 10 Simulasi CFD pada lambung kapal

Secara sederhana proses perhitungan CFD dapat diawali 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 batas (Boundary conditions) sebagai variabel inputan untuk mendapatkan suatu 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 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 telah 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 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (24)$$

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 :

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] + S_{\omega} + S_{DR} \quad (25)$$

nen-Y yaitu :



$$\begin{aligned}
& \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \\
& = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\
& + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_\omega + S_{DR}
\end{aligned} \tag{26}$$

Persamaan momen-Z yaitu :

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\
& = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\
& + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S_\omega + S_{DR}
\end{aligned} \tag{27}$$

Dimana, g_x , g_y , g_z adalah percepatan gravitasi dalam arah x, y, z , μ adalah viskositas, aliran rotasi S_ω , dan SDR adalah resistance terdistribusi.

Dua suku sumber dalam persamaan momentum masing-masing adalah S_ω untuk koordinator rotasi dan resistance terdistribusi SDR. Istilah resistensi terdistribusi dapat ditulis secara umum sebagai berikut :

$$S_{DR} = - \left(K_i + \frac{f}{DH} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C_\mu V_i \tag{28}$$

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

$$S_\omega = -2 \rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i \tag{29}$$

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.



lasi Autodesk CFD

num Computational fluid dynamics (CFD) digunakan untuk memberikan ari masalah aliran pada kapal. Dengan menggunakan CFD memungkinkan liksi fenomena aliran fluida yang lebih kompleks dengan berbagai tingkat 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.

