

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh:

**YOEL MARTHEN TE'DANG
D031 18 1507**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 3 L MENGUNAKAN APLIKASI CFD

Disusun dan diajukan oleh

YOEL MARTHEN TE'DANG
D031 18 1507

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. Hj. Rosmani., MT.
NIP: 19600620 198802 2 001

Pembimbing II



Prof. Dr. Eng Suandar Baso, 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 : Yoel Marthen Te'dang
NIM : D031 18 1507
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

"STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) BERDASARKAN PANJANG TALI 3 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, 24 Januari 2024

Yang Menyatakan

Yoel Marthen Te'dang



ABSTRAK

YOEL MARTHEN TE'DANG. *Studi Tahanan Kapal Tandem (Tugboat Dan Tongkang) Berdasarkan panjang Tali 3 L Menggunakan Aplikasi CFD* (dibimbing oleh **Rosmani** dan **Suandar Baso**)

Kapal Tandem adalah kendaraan air berupa Kapal Tugboat yang menarik Kapal Tongkang di belakangnya, dan terpisah dengan jarak variasi panjang sampai 3 L. Panjang tali kapal Tandem juga menimbulkan tahanan diantara kedua kapal. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai tahanan kapal tandem dengan variasi panjang tali tarik 3 L, serta menentukan karakteristik aliran fluida yang terjadi saat pengujian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini 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. Hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai tahanan yang terjadi pada kapal Tugboat, kapal Tongkang dan gabungan kedua kapal atau tandem dengan variasi panjang tali tarik 3 L. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai tahanan yang didapatkan mengalami kenaikan seiring bertambahnya kecepatan dengan persentase kenaikan sebesar 41.924% dan 29.540% pada kapal tugboat, 50.422% dan 30.084% pada kapal tongkang, 49.637% dan 30.055% pada gabungan kedua kapal atan tandem. Karakteristik Aliran Fluida pada model kapal tandem variasi panjang tali tarik 3 L membentuk sebuah aliran gelombang yang diakibat oleh gaya dorong dari kapal tongkang. Dan diasumsikan aliran dari kapal Tugboat menabrak kapal Tongkang di belakangnya. Lalu terjadi beberapa fase dalam pembentukkan pola aliran, yaitu *Elastic Flow*, *Viscous Flow*, dan *Separation of Flow*.

Kata Kunci: Kapal Tandem, Tahanan Kapal, Autodesk CFD



ABSTRACT

YOEL MARTHEN TE'DANG. Study of Resistance of Tandem Ships (Tugboats and Barges) Based on 3 L Rope Length Using CFD Applications (supervised by **Rosmani** and **Suandar Baso**)

Tandem ships are water vehicles in the form of tugboats that tow a barge behind them, and are separated by varying lengths of up to 3 L. The length of the Tandem ship's rope also creates resistance between the two ships. Therefore, this research aims to calculate the resistance value of a tandem ship with variations in the length of the towing rope of 3 L, as well as determine the characteristics of the fluid flow that occurs during testing. The method used in this research is a numerical method with the help of Maxsurf Modeller and Rhinoceros 7 software for 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 large resistance values that occur on Tugboats, Barges and a combination of both ships or tandems with variations in the length of the towing rope of 3 L. Based on the calculation results, the resistance values obtained increase with increasing speed with a percentage increase of 41,924% and 29,540% on tugboats, 50.422% and 30.084% on barges, 49.637% and 30.055% on both tandem boats combined. Fluid Flow Characteristics in the tandem ship model, variations in the length of the 3 L towing rope form a wave flow caused by the thrust force of the barge. And it can be assumed that the flow from the tugboat hit the barge behind it. Then several phases occur in forming the flow pattern, that was *Elastic Flow*, *Viscous Flow* and *Separation Flow*.

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.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
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.....	17
2.4 Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics)	18
2.4.1 Pengertian Autodesk CFD	18
2.4.2 Finite Element Method (FEM)	19
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
3.5.2 Menarik Kesimpulan.....	32
ISIS 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 Variasi Panjang Tali Tarik (L)	35
4.3 Nilai <i>Residual In</i> dan <i>Residual out</i>	36
4.4 Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure	36
4.4.1 Visualisasi Velocity Magnitude	36
4.4.2 Visualisasi Static Pressure	41
4.5 Visualisasi Pola Aliran	45
4.6 Prediksi Tahanan Model Kapal Tandem	47
4.7 Perhitungan Nilai Hambatan Total (RTs) Kapal Sebenarnya	49
4.7.1 Perhitungan hambatan sebenarnya pada kapal tugboat	49
4.7.2 Perhitungan hambatan sebenarnya pada kapal tongkang	49
4.8 Grafik Hubungan Antara Tahanan Kapal Dan Kecepatan	51
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tongkang	4
Gambar 2. 2 Tali towing	5
Gambar 2. 3 Tugboat	5
Gambar 2. 4 Diagram komponen tahanan kapal.....	10
Gambar 2. 5 Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu body.....	10
Gambar 2. 6 Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body	13
Gambar 2. 7 (a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous	13
Gambar 2. 8 Aliran Transisi.....	15
Gambar 2. 9 Aliran Turblen.....	15
Gambar 2. 10 Simlulasi CFD pada lambung kapal.....	18
Gambar 2. 11 Simulasi Pengujian Model dengan CFD	19
Gambar 3. 1 Lines Plan Tugboat	24
Gambar 3. 2 Lines plan Tongkang.....	25
Gambar 3. 3 Penggabungan model Tugboat dan Tongkang.....	25
Gambar 3. 4 Model Simulasi Kolam	26
Gambar 3. 5 Pengaturan Sarat	26
Gambar 3. 6 tabel keterangan solid close	27
Gambar 3. 7 Pengaturan Geometry.....	28
Gambar 3. 8 Pengaturan Material	28
Gambar 3. 9 Boundary Condition.....	29
Gambar 3. 10 Mesh Sizing Kolam.....	29
Mesh Sizing Tugboat	30
Mesh Sizing Tongkang	30



Gambar 3. 13 Solve.....	31
Gambar 3. 14 Hasil Convergensi	31
Gambar 4. 1 Variasi panjang tali tarik 3 L.....	35
Gambar 4. 2 Visualisasi Velocity Magnitude 3 L kecepatan 3 knot	37
Gambar 4. 3 Visualisasi Velocity Magnitude 3 L kecepatan 4 knot	39
Gambar 4. 4 Visualisasi Velocity Magnitude 3 L kecepatan 5 knot	40
Gambar 4. 5 Visualisasi static pressure 3 L kecepatan 3 knot.....	42
Gambar 4. 6 Visualisasi static pressure 3 L kecepatan 4 knot.....	43
Gambar 4. 7 Visualisasi static pressure 3 L kecepatan 5 knot.....	44
Gambar 4. 8 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 3 knot.....	46
Gambar 4. 9 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 4 knot.....	46
Gambar 4. 10 Visualisasi pola aliran kapal tandem kecepatan 5 knot.....	46
Gambar 4. 11 Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan model kapal tandem	48
Gambar 4. 12 Grafik hubungan kecepatan terhadap tahanan kapal sebenarnya.....	52



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data ukuran utama kapal Tugboat	24
Tabel 3. 2 Data ukuran utama kapal Tongkang	24
Tabel 3. 3 Data Ukuran kolam	26
Tabel 4. 1 Ukuran model skala 1:70	34
Tabel 4. 2 Ukuran kolam eksperimen (Boundary Layer)	35
Tabel 4. 3 Data Kecepatan (Velocity)	35
Tabel 4. 4 Nilai Residual In dan Residual Out model kapal Tugboat dan Tongkang	36
Tabel 4. 5 Nilai <i>Velocity Magnitude</i> kapal tandem berdasarkan hasil simulasi	40
Tabel 4. 6 Hasil <i>Static Pressure</i> kapal tandem berdasarkan hasil simulasi	45
Tabel 4. 7 Persentase kenaikan hambatan kapal tandem pada setiap variasi kecepatan	47
Tabel 4. 8 Persentase kenaikan hambatan kapal tugboat pada setiap variasi kecepatan	47
Tabel 4. 9 Persentase kenaikan hambatan kapal tongkang pada setiap variasi kecepatan	48
Tabel 4. 10 Hubungan antara tahanan dan kecepatan kapal tugboat	51
Tabel 4. 11 hubungan antara tahanan dan kecepatan kapal tongkang	52
Tabel 4. 12 hubungan antara tahanan dan kecepatan kapal tandem	52



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	57
Lampiran 2. Visualisasi Static Pressure pada setiap kecepatan	60
Lampiran 3. Visualisasi velocity vector pada setiap kecepatan	63
Lampiran 4. Data statistik jumlah elemen mesh	66
Lampiran 5. Penentuan nilai kecepatan model kapal (V_m)	67
Lampiran 6. Visualisasi Pola Aliran pada setiap kecepatan	68
Lampiran 7. Persentase tahanan dan rata – rata untuk model kapal Tugboat dan Tongkang...	69



KATA PENGANTAR

Shalom, salam sejahterah buat kita semua

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya yang selalu menyertai sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini. Berdasarkan hasil seminar proposal, judul penelitian yang dikaji adalah

“STUDI TAHANAN KAPAL TANDEM (TUGBOAT DAN TONGKANG) DENGAN PANJANG TALI 3 L MENGGUNAKAN APLIKASI CFD”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan 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 yang sangat penulis sayangi Ayahanda Yohanis Kosso Te'dang serta Ibunda Nita Nelwina Manahera, atas segala dukungan, semangat, kesabaran, pengorbanan, materi, serta iringan doa yang selalu menyertai perjalanan penulis.
 2. Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT. selaku pembimbing I, sekaligus Kepala Labo Hidrodinamika Kapal dan bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku pembimbing II, sekaligus Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas
- ddin dan Penasehat Akademik. Penulis bersyukur tersebut telah banyak dalam memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini memberikan dalam perencanaan mata kuliah.



3. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. dan Ibu A. Ardianti, ST., MT., Ph.D selaku penguji, yang mana saran-saran diberikan sangat membantu dalam pengembangan penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh staf Departemen Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
5. Seluruh Dosen Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya dalam membimbing penulis baik dalam menuntut ilmu.
6. Kepada saudara kandung penulis yaitu kak Yonika dan kak Yohan yang selalu membantu penulis mengirimkan materi sehingga penulis bisa bersemangat dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Kepada pujaan hati yang sedang bersanding di dalam diri penulis, semoga kamu selalu dilancarkan dalam segala urusan, semua keinginan bisa terwujud, maafkan semua kekurangan apapun itu selama bersama penulis. Penulis mengharapkan kamu adalah masa depan untuk saat ini, besok, dan selamanya hingga waktu memisahkan kita.
8. Segenap keluarga di KMKO Perkapalan, penulis sangat bersyukur memiliki saudara seiman yang selalu menaungi penulis dalam beribadah. Terkhususnya teman – teman seangkatan di MAIN FRAME, terima kasih atas segala bantuan yang diberikan selama ini, tempat bernaung sementara di gowa untuk penulis agar bisa menyelesaikan penelitian ini, INI MI KELUARGA TA’.
9. 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.
10. Kepada HMDP FT-UH dan segenap warganya penulis ucapkan banyak terima



tas segala pewartannya, mulai dari penulis sebagai mahasiswa baru penulis berada pada tahap ini. Penulis merasa bangga dan sangat bersyukur diberi kesempatan mengabdikan diri bagi HMDP FT-UH. Tetaplah jaya di bumi nitam.

11. Kepada teman – teman RB squad walaupun sering bikin sakit kepala melihat kelakuan kalian, tetapi penulis sangat bersyukur atas kebersamaan yang dilewati. Dimanapun kalian, jangan lupa bahagia, karena kita Rumah Bahagia.
12. Kepada segenap kakanda senior dan adinda junior yang telah penulis repotkan serta susahkan selama menuntut ilmu dan berbagi pengalaman di Jurusan Perlapan ini.
13. 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.

Shalom, salam sejahterah buat kita semua.

Gowa, 24 Januari 2024



Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam PM. 48 tahun 2018 pasal 1 ayat 4 yang berbunyi, kapal adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakkan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, energi lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah. Penyelenggaraan kewajiban pelayanan publik untuk angkutan barang adalah pelaksanaan angkutan barang dari dan ke daerah tertinggal, terpencil, terluar, dan perbatasan sesuai dengan trayek yang telah ditetapkan, dengan tetap memperhatikan dan menjaga keselamatan serta keamanan transportasi. Angkutan laut adalah kegiatan angkutan yang menurut kegiatannya melayani kegiatan angkutan laut. Salah satu jenis kapal yang digunakan dalam pelayanan angkutan barang adalah kapal Tongkang.

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).



penarik pada kapal tugboat umumnya digunakan untuk menarik kapal la tulisan ini akan dibahas mengenai tahanan kapal Tug Boat dan Barge si dengan menggunakan tali penarik dengan ukuran panjang tiga (3) L. kukan 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 Tug yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $3L$ berdasarkan analisis CFD?
2. Berapa besar nilai tahanan kapal Barge yang menggunakan tali penarik dengan Panjang $3L$ berdasarkan analisis CFD?
3. Berapa besar nilai tahanan total kapal Tandem yang menggunakan tali penarik dengan panjang $3L$ 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 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 tarik $3L$
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 $3L$ berdasarkan analisis Autodesk CFD.



an besar nilai tahanan kapal Barge yang menggunakan tali penarik Panjang sarkan analisis Autodesk CFD.

an nilai tahanan total kapal tandem yang menggunakan tali penarik L berdasarkan analisis Autodesk CFD.

4. 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 dengan Panjang tali penarik Panjang 3 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.

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.

STAKA



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

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 penggunaan 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.



da di gunakan dalam pengoperasian kapal tongkang, Kapal tuongkang 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

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 2. 3 Tugboat



Kapal Tunda dengan penggerak konvensional memiliki balingbaling di belakang, efisien untuk 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 (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



kan pernyataan diatas maka kapal tunda ialah kapal yang memiliki tenaga dibandingkan dengan ukurannya, dan dapat digunakan untuk olah gerak utamanya, menarik atau mendorong kapal lain dilaut lepas atau 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 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



Tahanan sisa dari model

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

$$R \quad (2.3)$$

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

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

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

$(1 + k)$ 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



al di air tenang (*calm water*), secara praktis, dalam 2 (dua) komponen na yaitu tahanan *viscous* (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan in tahanan gelombang (*wave-making resistance*) yang tergantung pada *Reynolds number*, dimana korelasi kedua komponen tahanan terseut 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,

$(1 + k)$: 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 CR 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).

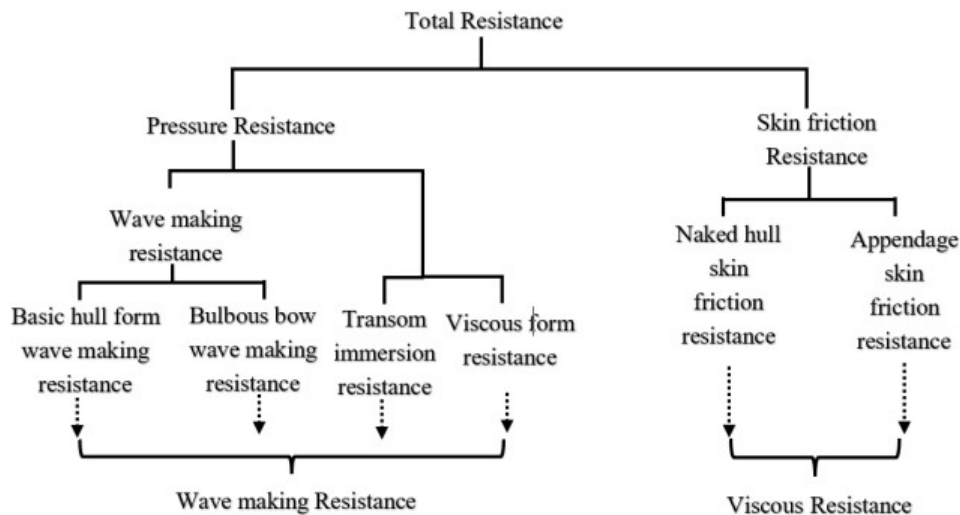
Mengasumsikan $C_{RM} = a F_n^n$ pada kecepatan rendah (pada umumnya $F_n < 0.2$)



persamaan tahanan total kapal sebagai beriku:

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

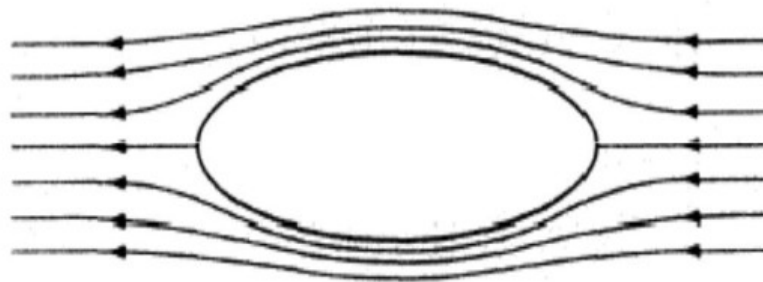
mana $(1 + k)$, a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari percobaan pada kecepatan rendah. Secara skematik pembagian komponen tahanan seperti dibawah ini (Sutiyo, 2014).



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 (Suryo W. Adji, 2009):



$$= \text{constant} \quad (2.9)$$

linamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan 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 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-substitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (*Suryo W. Adji, 2009*):

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

Dari persamaan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental, 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



bagai berikut (*Suryo W. Adji, 2009*):

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

maian keseluruhan dari Tahanan (*resistance*) dapat ditulis sebagai berikut (*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_R), *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).:

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

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

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

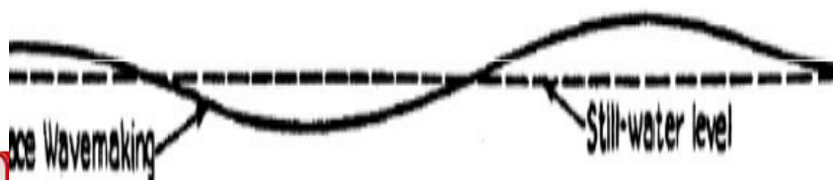
Dimana, C_R adalah Koefisien Tahanan Kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn . Atau dapat dituliskan dengan (Suryo W. Adji, 2009).:

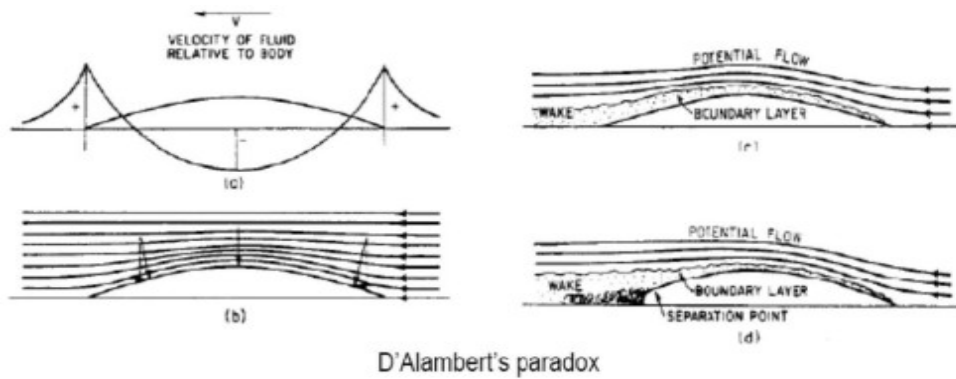
$$C_R = C_R (Re, Fn) \quad (2.17)$$

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



Optimized using
trial version
www.balesio.com



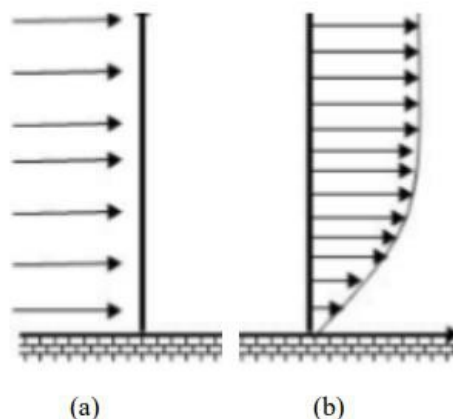


Gambar 2. 6 Contoh aliran fluida dari suatu sub-merged body

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 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

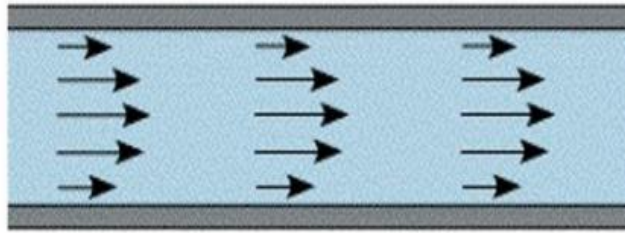
Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar 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 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

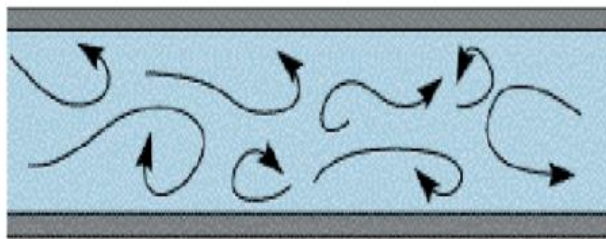


zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di ran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah aktu.



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 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 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 tangki 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).



percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan yang dipakai harus dit – 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 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 :

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

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

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

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

urut University of New Castle

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

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

$$< 0,4 A_{\text{otangki}}$$



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)

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

$$R_{Ts} \div R_{Tm} = \lambda^3$$

Maka, Nilai $R_{Ts} \times R_{Tm} \lambda^3$

Dimana:

R_{Ts} = Nilai tahanan total pada ukuran sebenarnya (kN)

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

λ = Faktor skala kapal

Rumus diatas juga berlaku pada ukuran kapal yang sebenarnya (2.21)

2.3.3 Kesamaan Dinamis



yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama. Ini kesatuan angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas :

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (2.22)$$

Atau

$$Rn = \frac{Vm.Lm}{\nu} = \frac{Vs.Ls}{\nu} \quad (2.23)$$

Dimana

Rn = Angka reynold

Ls = Panjang kapal (m)

Lm = Panjang model (m)

Vs = Kecepatan kapal (m/s)

Vm = Kecepatan model (m/s)

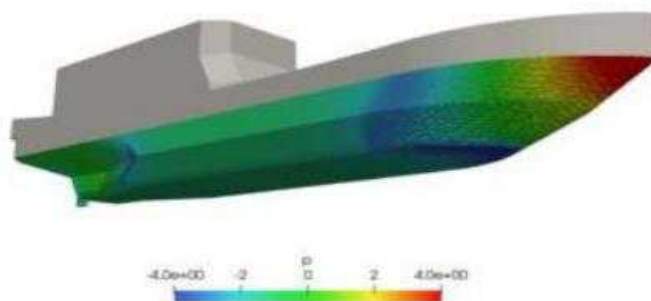
g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ν = Viskositas kinematis fluida (m^2/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 pembaginya. 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.



Gambar 2. 10 Simulasi CFD pada lambung kapal

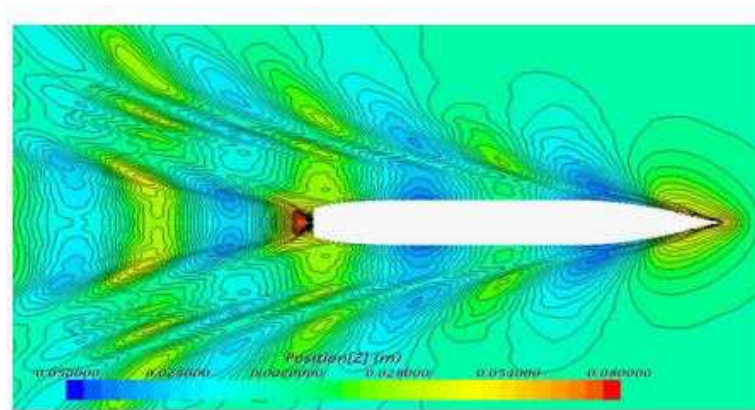


Optimized using
trial version
www.balesio.com

erapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya, atau 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.

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 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



ariabel dependen pada titik diskrit atau node pada setiap elemen. Sejalan objek nyata menjadi sejumlah besar elemen hingga dianalisis dengan salah satu jenis metode analisis komputerisasi, analisis elemen hingga sk CFD menggunakan FEM karena fleksibilitasnya dalam memodelkan tris 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 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (2.24)$$

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 :

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

Persamaan momen-Y yaitu :

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

Persamaan momen-Z yaitu :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \\ &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Dimana, g_x , g_y , g_z adalah percepatan gravitasi dalam arah x,y,z, μ adalah viskositas dinamis, ω adalah rotasi $S\omega$, dan SDR adalah resistance terdistribusi.



Setiap sumber dalam persamaan momentum masing-masing adalah $S\omega$ untuk rotasi dan resistance terdistribusi SDR . Istilah resistensi terdistribusi dapat

dituliskan sebagai berikut :

$$S_{DR} = - \left(K_i + \frac{f}{DH} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C_\mu V_i \quad (2.28)$$

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 :

$$S_\omega = -2 \rho \omega_i \times V_i - \rho \omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (2.29)$$

Dimana, ω adalah kecepatan rotasi dan r adalah jarak dari sumbu rotasi. Untuk model turbulensi, penelitian ini menggunakan fungsi dinding atau k Epsilon (K - ϵ), k adalah energi kinetik 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 untuk mencoba 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.

