

**SKRIPSI**

**PENGARUH PERUBAHAN SARAT KAPAL  
DAN KEDALAMAN PERAIRAN TERHADAP GAYA  
HIDRODINAMIKA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMIC***

Disusun dan diajukan oleh:

**ILYAS TEGUH KHARISMA**

**D091191026**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGARUH PERUBAHAN SARAT KAPAL DAN KEDALAMAN PERAIRAN TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*

Disusun dan diajukan oleh

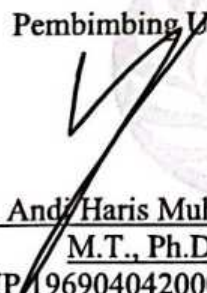
ILYAS TEGUH KHARISMA  
D091 19 1026


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 21 AGUSTUS 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T.,  
M.T., Ph.D.  
NIP 196904042000031002

  
M. Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.  
NIP 198701312019031007



Dr.Eng. Ir. Faisal Wahiduddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.  
NIP 198102112005011003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Ilyas Teguh Kharisma  
NIM : D091191026  
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **PENGARUH PERUBAHAN SARAT KAPAL DAN KEDALAMAN PERAIRAN TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

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, 21 Agustus 2024

Menyatakan



Ilyas Teguh Kharisma  
D091 19 1026



## ABSTRAK

**ILYAS TEGUH KHARISMA** Pengaruh Perubahan Sarat Kapal dan Kedalaman Perairan Terhadap Gaya Hidrodinamika Menggunakan *Computational Fluid Dynamic*. ( dibimbing oleh Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D. dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. )

Kapal feri ro-ro merupakan kapal untuk mengangkut kendaraan dan barang disuatu wilayah yang cenderung memiliki kedalaman perairan yang dangkal. Menggunakan metode Ansys CFX 18.2 telah disimulasikan fenomena tersebut mulai dari koefisien tahanan kapal, *surgeforce*, *swayforce*, dan *yaw (moment hydrodynamic)* sebagai output penelitian. Sarat kapal pada penelitian ini 2,05m, 2,25m dan 2,45m dengan Input kecepatan 9 – 12,864 knot dengan rasio kedalaman h/T 4 (perairan dalam), h/T 3 (perairan dalam), h/T 2 (perairan sedang), h/T 1,3 (perairan dangkal), dengan kondisi lambung kapal drift 0°, 4°, 8°, 12° dan 16°. Perbedaan sarat kapal dan kedalaman perairan mempengaruhi peningkatan tahanan kapal. Menggunakan K- $\omega$  SST (Shear Stress Transport) sebagai setup aliran turbulence hasil simulasi tersebut menunjukkan peningkatan tahanan total kapal. Sedangkan pada kondisi drift lambung kapal surge force, sway force, dan moment yaw akan meningkat terhadap meningkatnya sudut drift.

kata kunci : Kapal Feri ro-ro, Tahanan Kapal, Perubahan Sarat Kapal, Perairan dalam, Perairan Sedang, Perairan Dangkal.



## **ABSTRACT**

**ILYAS TEGUH KHARISMA** The Effect of Changes in Ship Draft and Water Depth on Hydrodynamic Forces Using Computational Fluid Dynamics. (supervised by Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D. and Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. )

*A ro-ro ferry is a ship used to transport vehicles and goods in an area that tends to have shallow water depths. Using the Ansys CFX 18.2 method, this phenomenon has been simulated, focusing on the ship's resistance coefficient, surge force, sway force, and yaw (hydrodynamic moment) as the research output. The ship drafts in this study are 2.05m, 2.25m, and 2.45m with an input speed of 9 – 12.864 knots and depth ratios  $h/T$  4 (deep water),  $h/T$  3 (deep water),  $h/T$  2 (medium water),  $h/T$  1.3 (shallow water), with hull drift conditions of  $0^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $12^\circ$  and  $16^\circ$ . The differences in ship draft and water depth affect the increase in ship resistance. Using the  $K-\omega$  SST (Shear Stress Transport) for the turbulence flow setup, the simulation results show an increase in the ship's total resistance. Meanwhile, in the hull drift conditions, surge force, sway force, and yaw moment increase with the increase in drift angle.*

*Keywords: Ro-ro Ferry, Ship Resistance, Ship Draft Changes, Deep Water, Medium Water, Shallow Water.*





## DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.2 Ruang Lingkup .....	3
BAB II TINJAUAN PUSATAKA.....	4
2.1 Kapal Ferry Ro-Ro .....	4
2.2 Tahanan Kapal .....	5
2.3 Komponen-Komponen Tahanan Kapal.....	7
2.3.1 Tahanan Gesek ( <i>Friction Resistance</i> ).....	7
2.3.2 Tahanan Sisa .....	8
2.4 Gaya yang Bekerja pada Kapal .....	10
2.5 Karakterisasi Restricted Water .....	13
2.5.1 Kedalaman Perairan .....	15
2.5.2 Lapisan Batas ( <i>Boundary Layer</i> ) .....	16
2.6 CFD ( <i>Computational Fluid Dynamic</i> ) .....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Lokasi Penelitian .....	24
3.2 Prosedur Penelitian.....	24
3.2.1 Studi Literatur .....	24
3.2.2 Perumusan Masalah .....	24
3.2.3 Pengumpulan Data.....	24
Diagram Alir.....	26
Pemodelan Kapal Ferry Ro-ro 750 GT .....	27



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
4.1 Hasil Simulasi CFD dan Pembahasan .....	35
4.1.1 Tahanan Kapal dengan Variasi Kecepatan menggunakan CFD, Holtrop dan Eksperimen .....	35
4.1.2 Tahanan Kapal Setiap Perubahan Sarat dengan Variasi kecepatan dan Kedalaman.....	38
4.2 <i>Surge force</i> , <i>Sway force</i> dan <i>Moment Yaw</i> Hidrodinamika.....	45
4.2.1 <i>Surge Force</i> , <i>Sway force</i> dan <i>Moment Yaw</i> Hidrodinamika Variasi Drift.....	45
4.2.2 Koefisien Hidrodinamika Hasil Simulasi CFD.....	56
4.3 Validasi dan Perbandingan.....	58
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran .....	61



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gaya yang Bekerja Pada Kapal.....	6
Gambar 2.2. Tahanan Gesek (Viscous Resistance) .....	7
Gambar 2.3. Tahanan Gelombang .....	9
Gambar 2.4. Derajat Kebebasan Kapal .....	10
Gambar 2.5. Koordinat Sistem.....	11
Gambar 2.6. Skema Parameter dari Geometrik Perairan .....	13
Gambar 2.7. Blockage Ratio .....	14
Gambar 2.8. Kurva Skema Tahanan Di Perairan Terbuka, Perairan Dangkal, dan Perairan Terbatas.....	15
Gambar 2.9. Skema Kedalaman Air .....	15
Gambar 3.1. Lines Plan Ferry Ro-Ro 750 GT .....	25
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 3.3. Model Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT .....	27
Gambar 3.4. Model Lambung Kapal.....	28
Gambar 3.5. Tahap Simulasi Pada Software Ansys CFX R18.2 .....	28
Gambar 3.6. Ukuran Boundary Condition .....	29
Gambar 3.7. Hasil Mesh pada Fluid Domain.....	30
Gambar 3.8. Hasil Mesh pada Lambung Kapal .....	30
Gambar 3.9. Grafik Grid Independence Study.....	31
Gambar 3.10. Visualisasi Aliran Model Lambung Kapal.....	34
Gambar 4.1. Nilai tahanan CFD, Holtrop dan Eksperimen .....	35
Gambar 4.2. Velocity dan pressure bottom view pada variasi kecepatan.....	37
Gambar 4.3. Tahanan pada Beda Kedalaman Sarat 2,25m.....	38
Gambar 4.4. Tahanan pada Beda Kedalaman Sarat 2,45m.....	40
Gambar 4.5. Tahanan pada Beda Kedalaman Sarat 2,05m.....	41
l.6. Tahanan Total pada Sarat 2,05m, 2,25m dan 2,45m.....	43
l.7. Grafik <i>surge force drift test</i> pada $h/T = 4$ .....	47
l.8. Grafik <i>sway force drift test</i> pada $h/T = 4$ .....	48





Gambar 4.9. Grafik momen <i>yaw drift test</i> pada $h/T = 4$ .....	49
Gambar 4.10. Grafik <i>surge force drift test</i> pada $h/T = 3$ .....	50
Gambar 4.11. Grafik <i>sway force drift test</i> pada $h/T = 3$ .....	50
Gambar 4.12. Grafik momen <i>yaw drift test</i> pada $h/T = 3$ .....	51
Gambar 4.13. Grafik <i>surge force drift test</i> pada $h/T = 2$ .....	52
Gambar 4.14. Grafik <i>sway force drift test</i> pada $h/T = 2$ .....	53
Gambar 4.15. Grafik momen <i>yaw drift test</i> pada $h/T = 2$ .....	53
Gambar 4.16. Grafik <i>surge force drift test</i> pada $h/T = 1,3$ .....	54
Gambar 4.17. Grafik <i>sway force drift test</i> pada $h/T = 1,3$ .....	55
Gambar 4.18. Grafik momen <i>yaw drift test</i> pada $h/T = 1,3$ .....	56



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Ukuran Utama Kapal Ferry Ro-ro 750 GT.....	25
Tabel 3.2. Koefisien Bentuk Kapal.....	25
Tabel 3.3. Grid Independence Study.....	31
Tabel 3.4. Mesh Resolution Detail.....	32
Tabel 3.5. Grid Convergence Test Result.....	32
Tabel 3.6. Domain fluid berdasarkan Kedalaman Perairan.....	33
Tabel 4.1. Variasi Kecepatan menggunakan CFD, Holtrop dan Eksperimen.....	36
Tabel 4.2. Tahanan kapal sarat 2,25m dengan CFD.....	39
Tabel 4.3. Perbandingan $R'0$ CFD dengan empirical Sarat 2,25m.....	39
Tabel 4.4. Tahanan kapal sarat 2,45m dengan CFD.....	40
Tabel 4.5. Perbandingan $R'0$ CFD dengan <i>empirical</i> Sarat 2,45m.....	41
Tabel 4.6. Tahanan kapal sarat 2,05m dengan CFD dan Holtrop.....	42
Tabel 4.7. Perbandingan $R'0$ CFD dengan empirical Sarat 2,05m.....	42
Tabel 4.8. Nilai Tahanan Total Hasil Simulasi CFD Sarat 2,05m, 2,25m dan 2,45m	44
Tabel 4.9. Drag Variasi drift Sarat 2,05m.....	45
Tabel 4.10. Momen yaw Sarat 2,05m.....	45
Tabel 4.11. Drag Variasi drift Sarat 2,25m.....	46
Tabel 4.12. Momen yaw Sarat 2,25m.....	46
Tabel 4.13. Drag Variasi drift Sarat 2,45m.....	46
Tabel 4.14. Momen yaw Sarat 2,45m.....	47
Tabel 4.15. Koefisien hidrodinamika drift test pada sarat 2,05m.....	57
Tabel 4.16. Koefisien hidrodinamika drift test pada sarat 2,25m.....	57
Tabel 4.17. Koefisien hidrodinamika drift test pada sarat 2,45m.....	57
Tabel 4.18. Validasi CFD terhadap Holtrop dan Eksperimen.....	58
Tabel 4.19. Koefisien hidrodinamika dengan pendekatan empiris.....	58



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kapal Ferry Roro 750 GT .....	65
Lampiran 2. Setup CFD .....	66
Lampiran 3. Nilai Tahanan Kapal Ferry Roro 750 GT .....	67
Lampiran 4. Velocity Contour Pada Setiap Perubahan Kedalaman Perairan .....	68
Lampiran 5. Visualisasi Tahanan Pada Variasi Kedalaman Sarat 2,05m .....	69
Lampiran 6. Visualisasi Tahanan Pada Variasi Kedalaman Sarat 2,25m.....	74
Lampiran 7. Visualisasi Tahanan Pada Variasi Kedalaman Sarat 2,45m .....	79
Lampiran 8. Visualisasi Aliran Drift Test Sarat 2,05m .....	84
Lampiran 9. Visualisasi Aliran Drift Test Sarat 2,25m .....	88
Lampiran 10. Visualisasi Aliran Drift Test Sarat 2,45m .....	92
Lampiran 11. Velocity Streamline Drift Test .....	96



## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.* Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT. atas kehendaknya skripsi ini dapat terselesaikan. Serta senantiasa tercurahkan salam dan *shalawat* kepada Nabi Muhammad SAW. Dalam penyusunan skripsi, tidak sedikit kendala yang menghadang penulis dalam menyelesaikannya. Berkat kemauan dan usaha penulis juga sehingga tersusun salah satu karya dari mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi dan menempuh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Hasanuddin. Penulis mengakui skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis memohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Perubahan Sarat dan Kedalaman Perairan Terhadap Gaya Hidrodinmika Menggunakan *Computational Fluid Dynamic*”. Penulis juga berharap masukan dan saran agar kedepannya skripsi ini dapat disempurnakan menjadi lebih baik lagi.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak-pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, secara morel maupun materiel. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada;

1. Kedua orang tua saya, Juraid dan Sri Suwarningsih serta kedua saudara saya Ilham Prajala Samudera dan Irfan Rais Prawira. Terimah kasih atas do'a dan segala kasih sayang yang diberikan kepada penulis dan juga terimah kasih atas dukungan dan kebersamaan untuk membimbing penulis untuk terus berjuang dalam meraih mimpi dan cita-cita.
2. Bapak Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M. Inf. Tech., M.Eng. IPM selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin;



3. Bapak Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing satu yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik maupun saran dalam penyusunan dan penulisan skripsi.
4. Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua sekaligus penasihat akademik yang senantiasa meluangkan waktunya dan selalu sabar membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik maupun saran terkait *software* yang digunakan pada penelitian ini.
5. Bapak Dr . Ir. Ganding Sitepu, Dipl.Ing. dan Bapak Rahimuddin, S.T., M.T.,Ph.D. Selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun saat seminar.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sistem Perkapalan yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. Staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala administrasi penulis selama ini.
8. Sitti Nurmaipa Deapati Idris yang selalu memberikan semangat dan membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.
9. Teman-teman KORTNOZZLE yang telah kebersamai penulis dalam setiap momen suka maupun duka selama masa perkuliahan.

Skripsi yang telah disusun ini mudah-mudahan dapat memberi kemudahan bagi penulis dalam mendapatkan gelar sarjana dan penelitian ini dapat digunakan sebagaimana mestinya sehingga menjadi referensi serupa di masa yang akan datang. Segala kekurangan dalam penelitian ini semoga dapat menjadi pembelajaran kedepannya.

Gowa, 5 Agustus 2024

Ilyas Teguh Kharisma



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemuatan kapal meliputi kendaraan dan penumpang menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal ferry ro-ro untuk meningkatkan aspek keselamatan, keamanan, dan kemudahan dalam menyelenggarakan angkutan transportasi, terdapat aturan yang telah dikembangkan mengenai standar pelayaran minimal angkutan penyeberangan. Standar pelayaran minimal angkutan penyeberangan adalah persyaratan minimal yang harus dipenuhi oleh perusahaan dalam memberikan pelayanan terhadap pengguna jasa.

Pengetahuan tentang ilmu gaya yang hakekatnya ada dalam kapal selama pelayaran itu perlu dipahami keberadaannya. Hal ini berkaitan dengan tata pengaturan muatan, baik itu pada saat ditambah maupun dikurangi. Setiap muatan memiliki berat yang secara otomatis akan berpengaruh terhadap perubahan sarat dan stabilitas kapal. Kesalahan dalam penempatan muatan akan menimbulkan ketidakseimbangan posisi kapal pada saat berlayar. Secara sederhana jika muatan terlalu berat di bagian tengah kapal saja akan mengakibatkan bagian tengah kapal agak melengkung kearah bawah (sagging). Begitu juga sebaliknya jika muatan terlalu berat pada bagian haluan dan buritan, maka tekanan muatan ini mengakibatkan bagian tengah kapal agak melengkung kearah atas (hogging).

Stabilitas kapal diperlukan untuk memperorel keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya (barang dan penumpang), dengan mengusahakan agar selalu dicapai stabilitas dan keseimbangan kapal. Stabilitas dan keseimbangan ini dipengaruhi oleh susunan muatan barang – barang diatas kapal pada saat pemuatan dilakukan. Penentuan penempatan muatan dan penumpang harus dilaukan sedemikian rupa sehingga, (1) tercapai keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya, (2) dapat dilakukan pemuatan maupun bongkarmuat dengan cepat dan sistematis, (3) dicapai daya angkut maksimum pada geladak muatan, (4) terjamin keselamatan para al dan penumpang.





Setiap daerah perairan yang ada di Indonesia memiliki kedalaman yang berbeda – beda pada setiap wilayahnya yang membuat tidak semua kapal dapat beroperasi pada perairan tertentu. Oleh karena itu, kehadiran kapal ferry ro-ro yang merupakan suatu kapal yang memenuhi syarat-syarat pelayaran di laut untuk menyelenggarakan perhubungan tetap antar pulau.

Kajian terhadap kapal ferry ro-ro harus terus dikembangkan agar dapat menghasilkan transportasi laut yang optimal dari segi perancangan dan operasionalnya. Berdasarkan pemaparan di atas penelitian ini dianggap perlu dikarenakan kapal ferry ro-ro merupakan pilihan yang tepat untuk perairan dangkal yang ekonomis dan efisien. Pada tahap perancangan desain juga membutuhkan ketelitian serta perhitungan yang matang guna memaksimalkan pemuatan penumpang dan kendaraan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perubahan sarat kapal ferry ro-ro terhadap koefisien hidrodinamika?
2. Bagaimana pengaruh perubahan kedalaman perairan terhadap koefisien hidrodinamika ferry ro-ro?

## 1.2 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan koefisien hidrodinamika kapal ferry ro-ro pada pengaruh perubahan sarat kapal.
2. Mendapatkan koefisien hidrodinamika kapal ferry ro-ro pada setiap perubahan kedalaman perairan.



## 1.2 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran karakteristik koefisien hidrodinamika kapal ferry ro-ro pada pengaruh perubahan sarat kapal.
2. Mengetahui karakteristik koefisien hidrodinamika kapal ferry ro-ro pada setiap perubahan kedalaman perairan.

## 1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini terarah, maka ada beberapa ruang lingkup sebagai berikut :

1. Kapal yang digunakan adalah kapal Ferry Ro Ro 750 GT
2. Penelitian menggunakan computer dengan *software Ansys CFX R18.2*
3. Sarat kapal yang disimulasikan yaitu 2,05 m, 2,25 m, dan 2,45m
4. Pada kondisi kapal Even Keel
5. Simulasi berdasarkan kedalaman perairan :
  - a.  $h/T = 4$  (*Deep water*)
  - b.  $h/T = 3$  (*Deep water*)
  - c.  $h/T = 2$  (*Medium water*)
  - d.  $h/T = 1,3$  (*Shallow water*)



## BAB II

### TINJAUAN PUSATAKA

#### 2.1 Kapal Ferry Ro-Ro

Kapal ferry Ro-Ro adalah kapal jenis penyeberangan dengan fungsi sebagai jembatan antar pulau yang mengangkut kendaraan, penumpang, dan barang. Secara kuantitas kapal ferry Ro-Ro termasuk salah satu kapal yang paling banyak digunakan untuk kegiatan penyeberangan di Indonesia. Oleh karena itu penelitian terkait kapal Ferry Ro-Ro baiknya terus dilakukan sehingga akan menghasilkan operasional kapal yang paling efisien, tentunya dalam hal ini adalah penentuan daya mesin yang dimulai dari perhitungan tahanan kapal tersebut. Mengingat investasi yang digunakan cukup besar maka hal ini dapat menjadi pertimbangan utama. (M. Ahmad Syafiul 2018)

Kapal ferry ro ro adalah kapal yang memiliki satu atau lebih geladak baik terbuka maupun tertutup yang digunakan untuk mengangkut segala jenis kendaraan sebagai muatan yang dimuat melalui sistem pintu rampa dibagian depan maupun belakang kapal dan dimuat serta dibongkar dari dan ke atas kapal menggunakan kendaraan atau platform yang dilengkapi dengan roda. Kapal ferry berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan jaringan jalan dan/atau jaringan jalur kereta api yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya. Kapal feri memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis kapal lain. Kapal feri memiliki pintu *rol on rol off* dibagian haluan dan buritan kapal, muatan kapal feri kebanyakan dimuat di atas bagian *deck*. (M. Ahmad Syafiul 2018)

Dibandingkan dengan kapal-kapal jenis lain, kapal feri cenderung memiliki harga sarat (T) yang lebih rendah, akan tetapi kapal ferry tidak berlayar sejauh kapal-kapal jenis lain. Kapal - kapal feri dioperasikan untuk *ferry service* pada trayek-trayek jarak dengan waktu tempuh pelayaran kurang lebih 24 jam. Kapal Ro – Ro tercatat kali diaplikasikan di Scotlandia pada tahun 1850 – an. Sedangkan di Indonesia perasionalnya dikelola oleh PT. ASDP, per tahun 2017 sudah memiliki 146 l ferry di seluruh Indonesia.



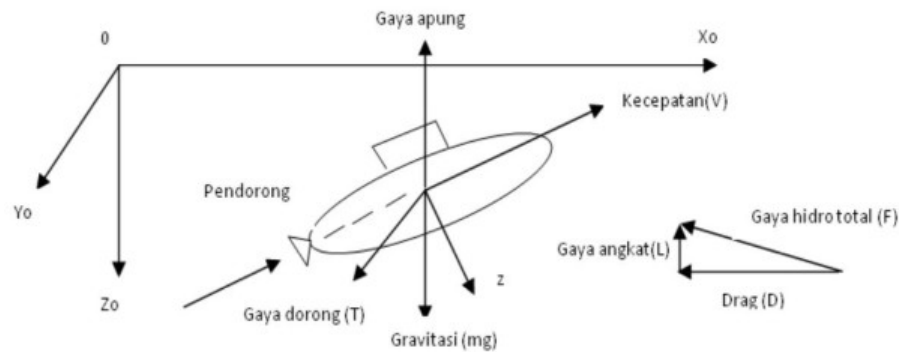
## 2.2 Tahanan Kapal

Pada dunia perkapalan hambatan dikenal dengan istilah tahanan kapal. Tahanan kapal sendiri merupakan estimasi kebutuhan daya yang efektif agar kapal bisa bergerak sesuai dengan kecepatan yang direncanakan. Kapal yang bergerak maju dengan kecepatan tertentu akan mengalami gaya hambat oleh fluida yang memiliki arah berlawanan dengan gerak kapal. Gaya hambat tersebut disebabkan oleh gaya fluida, yang dalam hal ini cenderung mengarah pada fluida air yang dinilai cukup besar hambatannya terhadap gerak kapal. Gaya hambat yang disebabkan oleh fluida ini yang disebut sebagai resistance atau tahanan kapal (M. Novan H.A 2011). Untuk mengatasi tahanan, maka kapal membutuhkan sejumlah daya dorong sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya. Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada badan kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang berada di atas permukaan air laut. Hambatan-hambatan tersebut merupakan komponen tahanan kapal yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

Secara umum, pengertian tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Sedangkan suatu tahanan kapal ini adalah sama dengan suatu gaya dan karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika ini semata-mata disebabkan oleh gerakan relatif kapal terhadap air. (Muhammad Taufan 2012)

Suatu tahanan kapal ini adalah sama dengan suatu gaya dan karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika ini semata-mata disebabkan oleh gerakan relatif kapal terhadap air. 5 Gerakan kapal di fluida bekerja seperti sistem sumbu orthogonal yaitu 3 (tiga) buah sumbu x, y, dan z, ditempatkan sedemikian rupa, pusat sumbu berimpit dengan titik berat kapal. Bidang x, dan y satu ang sejajar dengan permukaan bumi. (Muhammad Taufan 2012)





Gambar 2.1. Gaya yang Bekerja pada Kapal

Gerakan kapal dibebani 4 (empat) gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya :

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi ( $mg$ ).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung)  $F\Delta$  atau  $\gamma v$ . Seperti halnya  $mg$ , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan  $Zo$ .
3. Resultante gaya hidrodinamik ( $F$ ) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya  $F$  dapat diuraikan dalam 2 (dua) ; komponen gaya angkat ( $L$ ) dan komponen tahanan (atau *drag*)  $R$  (atau  $D$ ). Dimana  $L$  tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan  $R$  (atau  $D$ ) sejajar  $V$ .
4. Gaya dorong ( $T$ ), yang didesakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan arah dengan  $R$ .

Gaya-gaya tersebut diatas timbul akibat adanya ;

1. Kecepatan kapal ( $V$ ), relatif terhadap air dan udara atau yang dilintasi oleh kapal tersebut. 6
2. Gaya gravitasi bumi yang bekerja baik pada kapal maupun pada air yang dibebani oleh kapal itu.
3. Aksi yang dilakukan pendorong kapal (*propeller*).

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas

dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan. Hambatan-hambatan tersebut merupakan komponen tahanan kapal yang



bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Adapun rumus dari tahanan total adalah sebagai berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} C_T \rho V^2 S \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$R_T$  = Tahanan total (kN)

$C_T$  = Koefisien tahanan

$V$  = Kecepatan kapal (m/s)

$S$  = Luas bidang basah benda (m)

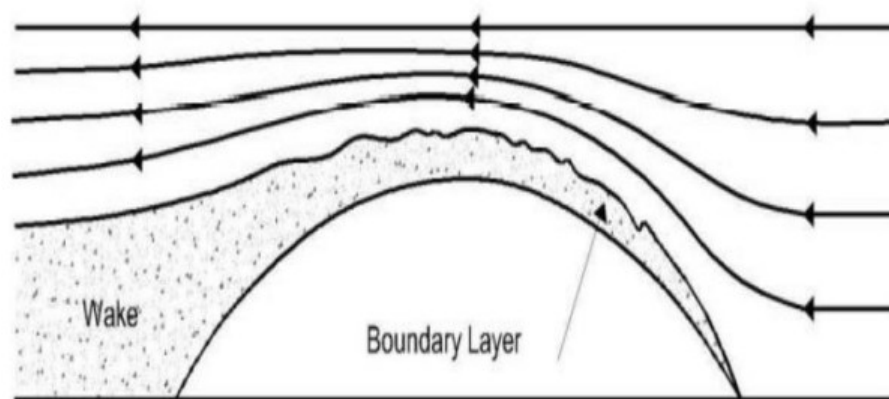
$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

### 2.3 Komponen-Komponen Tahanan Kapal

Komponen – komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung dalam air adalah :

#### 2.3.1 Tahanan Gesek (*Friction Resistance*)

Tahanan Gesek (*friction resistance*) timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. (RINDING 2021)



Gambar 2.2. Tahanan Gesek (*Viscous Resistance*)  
(Sumber: *Resistance and Powering of ships,* vol. 7. pp. 1–44.)





Gambar 2.2 menunjukkan lambung kapal yang terendam dalam fluida dengan viskositas, partikel fluida menempel pada tubuh menghasilkan pembentukan “*boundary layer*” dimana aliran dengan cepat mengubah kecepatan, dari kecepatan nol disisi tubuh ke kecepatan arus bebas. Dua bentuk tahanan terjadi sebagai akibat dari tahanan gesek dan tahanan viscous. (Resistance and Powering of Hips n.d.)

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal berikut :

- 1) Angka Renold (*Renold's number*  $R_n$ )

$$R_n = \frac{V \times L}{\nu} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$v$  = Kecepatan (m/s)

$L$  = Panjang (m)

$\nu$  = Viskositas air

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

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$C_f$  = Koefisien gesek

$R_n$  = Angka renold

- 3) Rasio kecepatan dan Panjang kapal ( $Slr$ )

$$C_f = \frac{V_s}{\sqrt{L}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$L$  = Panjang antara garis tegak kapal (*Length between perpendicular*)

$V_s$  = Kecepatan kapal

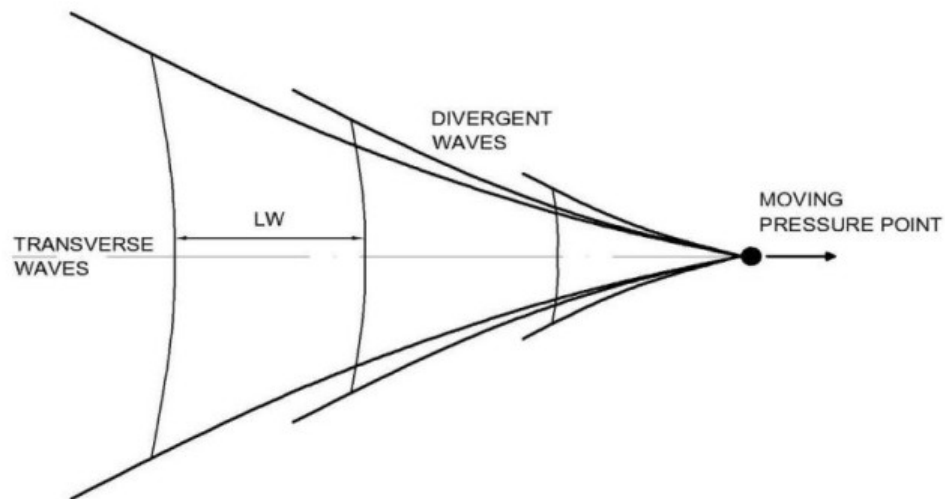
### 2.3.2 Tahanan Sisa

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan batan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. n sisa terdiri dari :



### 1. Tahanan gelombang

Saat kecepatan kapal meningkat maka tinggi gelombang yang terbentuk akibat gerakan kapal akan meningkat pula. Semakin tinggi gelombang yang terbentuk maka tahanan kapal akan meningkat pula begitupun sebaliknya semakin kecil gelombang yang terbentuk maka tahanan kapal akan berkurang. Panjang gelombang dan gelombang kapal secara melintang juga telah ditampikan pada Gambar 2.3 akibat dari gerakan kapal tersebut.



Gambar 2.3. Tahanan Gelombang  
(Sumber: Resistance and Powering of Hips, vol. 7. pp. 1–44.)

Gambar 2.3 menunjukkan hubungan antara Panjang gelombang dengan kecepatan kapal :

$$L_w = \frac{2\pi v^2}{g} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$L_w$  = Panjang gelombang (m)

$v$  = Kecepatan kapal (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )



tahanan udara (*air resistance*)

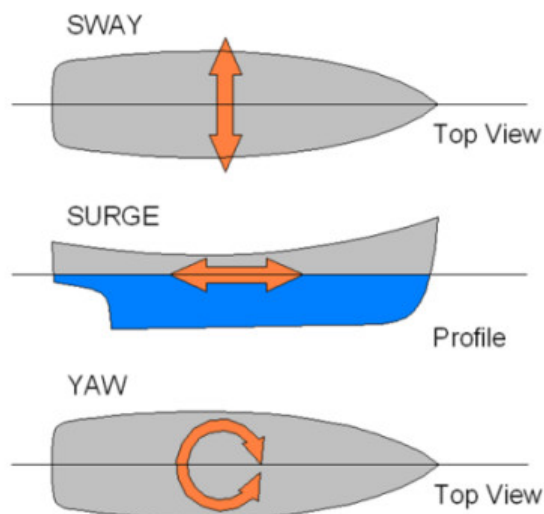
tahanan udara biasa berada pada 4 – 10 % dari total tahanan kapal keseluruhan  
saja hingga 10 % pada kapal – kapal berkecepatan tinggi. Cara yang bisa

dilakukan untuk mengurangi tahanan udara adalah mendesain bangunan atas kapal yang *streamline* dan sedapatnya luas bidang tangkap angin yang kecil. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

### 3. Tahanan bentuk

Tahanan ini erat kaitannya dengan bentuk badan kapal, dimana bentuk lambung kapal yang tercelup di bawah air menimbulkan suatu tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut.

## 2.4 Gaya yang Bekerja pada Kapal



Gambar 2.4. Derajat Kebebasan Kapal  
(Sumber: *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(1), 11-22)

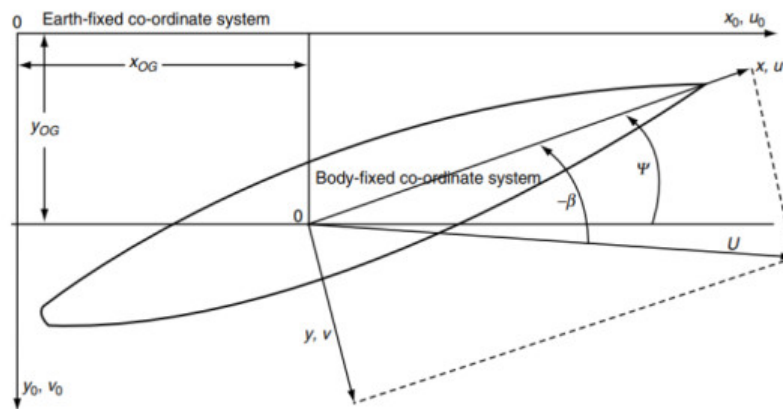
Berikut adalah gerakan kapal berdasarkan tiga derajat kebebasannya, yaitu *swaying*, *surgining*, dan *Yawing* :

1. *Swaying* adalah pergeseran kapal dari kiri ke kanan (horizontal).

*ing* adalah pergerakan lurus ke depan dan belakang lambung kapal.

*ng* adalah pergerakan memutar sisi bagian kapal agar dapat dikemudikan.





Gambar 2.5. Koordinat Sistem  
(Sumber : Janardhanan 2010)

Gambar 2.5 adalah gambar yang menunjukkan koordinat sistem pada kapal saat kondisi kapal manuver. Gaya – gaya yang bekerja ditampilkan dengan koordinat sistem sumbu sebagaimana disajikan pada Gambar 2.5 :

Persamaan gaya dan *moment* dari gerakan kapal dideskripsikan pada Rumus 2.6 – 2.8:

$$X_H = -X_0(u) + X_{vv}v^2 + X_{vv}vr + X_{rr}r^2 + X_{vvv}v^4 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Y_H = Y_vv + Y_r r + Y_{vvv}v^3 + Y_{vv}v^2r + Y_{vrr}vr^2 + Y_{rrr}r^3 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$N_H = N_vv + N_r r + Y_{vv}v^2r + Y_{vrr}vr^2 + Y_{rrr}r^3 \dots\dots\dots(2.8)$$

Selanjutnya untuk menghitung *drag* (X) dan *Lift* (Y) pada suatu lambung kapal, dapat digunakan Rumus 2.9 – 2.10 :

$$X = F_D \cos\beta + F_1 \sin\beta \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Y = -F_D \sin\beta + F_1 \cos\beta \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk mendapatkan hasil simulasi CFD, digunakan pengukuran gaya dan *moment* hidrodinamika dalam non – dimensional (X'H, Y'H, NH) yang bekerja pada lambung kapal diuraikan dalam Rumus 2.11 – 2.12 :

$$X'_H Y'_H = \frac{X_H Y_H}{\frac{1}{2} \rho L p p^2 dU^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$= \frac{N}{\frac{1}{2} \rho L p p^2 dU^2} \dots\dots\dots(2.12)$$



Adapun validasi drift simulasi lambung kapal ferry dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *empirical formula* (Lee, H.Y., Shin, S.S., Yum 1998) (2.13, 2.16, 2.18, 2.21, 2.23), (Yoshimura, Y., & Masumoto 2012) (2.14, 2.17, 2.19, 2.20, 2.24), dan (Kijima, K., Katsuno, T., Nakiri, Y., & Furukawa 1990) (2.15, 2.22) :

$$X'_{vv} = 0,0014 - 0,197d \left( \frac{1-Cb}{B} \right) \left( \frac{L}{d} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

$$X'_{vv} = 1,15 \left( \frac{Cb}{L/B} \right) - 0,18 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$Y'_v = - \left( 0,5\pi \frac{2d}{L} + 1,4 Cb \frac{B}{L} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Y'_v = \left( -0,4545 \frac{d}{L} + 0,065 Cb \frac{B}{L} \right) \frac{L}{d} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$Y'_v = - \left( 0,5\pi \frac{2d}{L} + 1,4 Cb \frac{B}{L/B} \right) \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Y'_{vvv} = \left( -0,6469 \left( \frac{1-Cb}{B} \right) \frac{d}{B} + 0,0027 \right) \frac{L}{d} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$Y'_{vvv} = \left( -0,185 \frac{L}{B} + 0,48 \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

$$N'_v = 2 \frac{d}{L} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$N'_v = \left( -0,23 \frac{d}{L} + 0,0059 \right) \frac{L}{d} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$N'_v = 2 \frac{d}{L} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$N'_{vvv} = \left[ 0,0348 - 0,5283(1 - Cb) \frac{d}{B} \right] \frac{L}{d} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$N'_{vvv} = -[-0,69Cb + 0,66] \dots\dots\dots(2.24)$$

Selanjutnya melakukan validasi koefisien tahanan berdasarkan variasi kedalaman dapat menggunakan pendekatan empirikal oleh Furukawa et al (2016) pada Rumus 2.25 dan 2.26 :

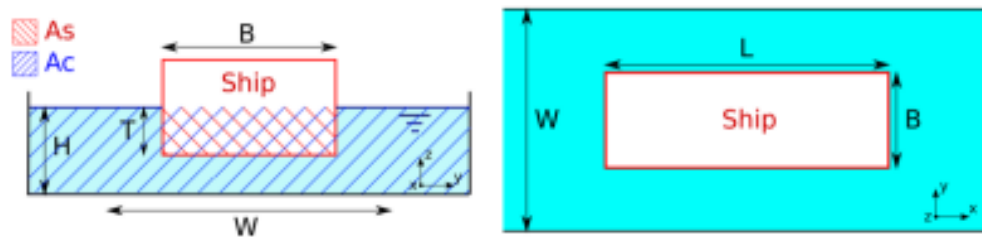
$$R'_0 = \frac{R_0}{\frac{1}{2}pLTU^2} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\frac{h_{allow}}{l_{deep}} = 0,388 \left( \frac{T}{H} \right)^2 + 1 \dots\dots\dots(2.26)$$



## 2.5 Karakterisasi Restricted Water

Untuk memperkirakan sifat dan tingkat perairan terbatas, parameter berikut biasanya digunakan: rasio kedalaman air terhadap sarat ( $H/T$ ), lebar kanal terhadap lebar kapal ( $W/B$ ) dan luas penampang kanal terhadap penampang tengah kapal ( $A_c/A_s$ ). Gambar 2.6 menunjukkan representasi skema dari parameter geometrik jalur air.



Gambar 2.6. Skema Parameter dari Geometrik Perairan  
(Sumber: F Linde 2017)

Rasio penampang saluran ( $A_c$ ) dan luas penampang kapal ( $A_s$ ) (biasanya  $A_s$  adalah lebar kapal dikali draft atau  $W \cdot d$ ), digunakan untuk menjelaskan pengaruh pembatasan saluran

Rumus persamaan blockage ratio yaitu:

$$K = \frac{B \times T}{W \times H} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

B = Lebar kapal (m)

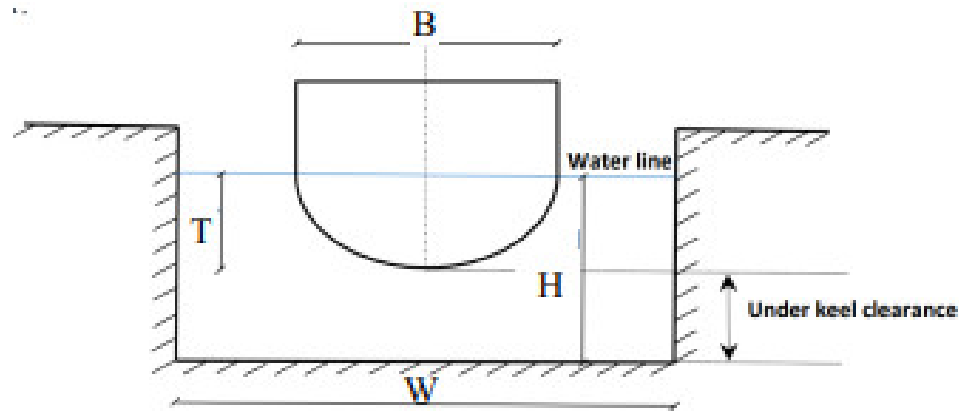
T = Sarat kapal (m)

W = Lebar kanal (m)

Tinggi air (m)







Gambar 2.7. *Blockage Ratio*  
(Sumber: M. Elkiki, Sheshtawy, M. Balah, Kitamura 2009)

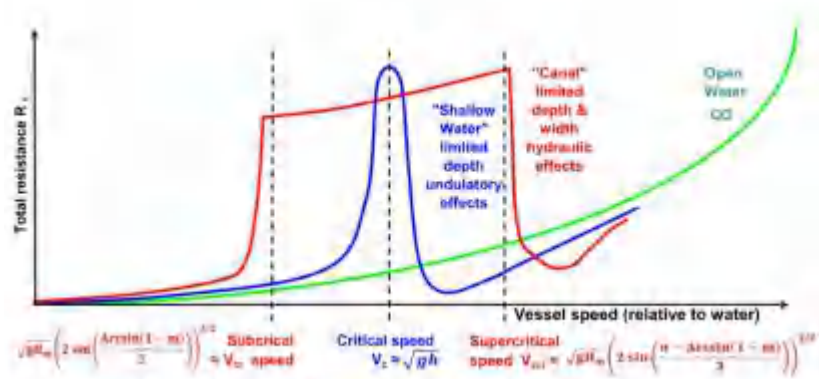
Ketika berlayar di perairan terbatas, sebuah kapal dapat bergerak dalam salah satu dari tiga rentang kecepatan : subkritis, kritis, dan superkritis. Rentang kecepatan tersebut dibatasi oleh kecepatan kritis bawah (atau kecepatan subkritis) dan kecepatan kritis atas (atau kecepatan superkritis):

1. Dalam rentang kecepatan subkritis, alirannya stabil dan kapal bergerak maju dengan memindahkan air dari haluan ke buritan.
2. Pada kecepatan yang lebih besar dari subkecepatan kritis, kapal memasuki kisaran kecepatan kritis dimana aliran menjadi tidak stabil. Beberapa air yang dipindahkan tidak dapat mengalir ke buritan dan membendung ke depan haluan.
3. Jika kapal bergerak dengan kecepatan lebih, kapal akan melampaui kecepatan kritis atas dan mencapai kisaran superkritis dimana alirannya stabil lagi.

Pada kondisi kecepatan subkritis, air yang dipindahkan oleh kapal layar harus mengalir dibawah dan disepanjang kapal. Ini menghasilkan aliran balik yang berlawanan dengan pengertian gerakan kapal. Konsekuensi dari aliran ini adalah kecepatan aliran relatif tinggi terhadap kapal. Berdasarkan hukum kekekalan massa, semakin rendah kedalaman air dan/atau semakin lebar kanal maka semakin aliran return flow. Hal ini dipengaruhi oleh gesekan dengan lapisan batas.

(Gourlay 2001)

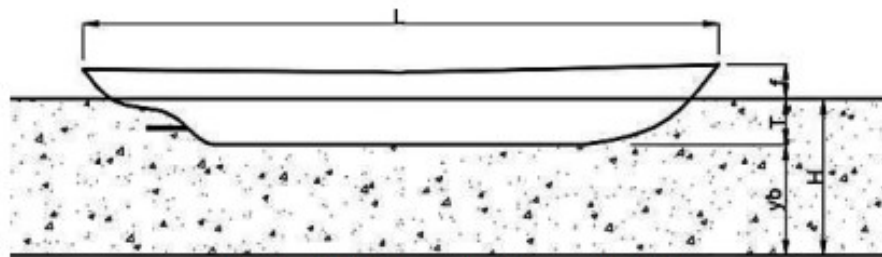




Gambar 2.8. Kurva skema tahanan di perairan terbuka, perairan dangkal, dan perairan terbatas  
(Sumber: P. J. Pompee 2015)

Gambar 2.8 menunjukkan kurva skema tahanan di perairan terbuka (hijau), perairan dangkal (biru), dan perairan terbatas (merah).

### 2.5.1 Kedalaman perairan



Gambar 2.9. Skema Kedalaman Air  
(Sumber: Q. Zeng, C. Thill, R. Hekkenberg, and E. Rotteveel 2018)

Gambar diatas merupakan gambar tampak samping kapal pada suatu perairan dengan simbol dan keterangan variabel sebagai berikut:

$L$  = Panjang keseluruhan (m)

$H$  = Tinggi air permukaan ke dasar perairan (m)

Sarat kapal (m)

Lambung timbul (m)

Jarak dasar kapal dengan dasar perairan (m)



Menurut (M. Vantorre 2003) Tipe kedalaman perairan dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian sebagai ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Parameter Kedalaman Perairan

No	Tipe Perairan	Rasio H/T
1	Sangat Dangkal ( <i>Very Shallow Water</i> )	<1,2
2	Dangkal ( <i>Shallow Water</i> )	1,2 – 1,5
3	Sedang ( <i>Medium Shallow Water</i> )	1,5 – 3,0
4	Dalam ( <i>Deep Water</i> )	>3,0

### 2.5.2 Lapisan batas (*Boundary Layer*)

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal bila aliran tersebut melewati suatu contour boundary yang berada pada aliran fluida tanpa batas. Contoh aliran eksternal adalah aliran fluida yang melewati sisi luar dari permukaan lengkung dan pelat datar. Pada saat aliran fluida nyata dari free stream menuju suatu body, fluida akan mengalami perubahan kecepatan dari keadaan uniform (U) ke kondisi aliran yang mempunyai distribusi kecepatan (velocity distribution). Hal ini terjadi karena pengaruh dari viskositas fluida dan contour body yang dilewati.

Distribusi kecepatan diawali dari suatu titik yang kecepatannya nol (zero velocity), yaitu tepat pada permukaan body yang dilewati aliran. Dimana vektor kecepatan menyinggung stream line secara tegak lurus terhadap arah normal dan besarnya kecepatan semakin bertambah bila titik pengamatan semakin menjauhi contour (wall) hingga mencapai harga kecepatan pada free stream bila aliran sudah tidak terpengaruh oleh dinding. Kondisi transisi terjadi bila kecepatan fluida berubah dari kecepatan yang tidak sama dengan kecepatan free stream menjadi sama. Hal ini terjadi pada suatu lapisan tipis yang mendekati dinding dan disebut boundary layer. Distribusi kecepatan tersebut akan terjadi selama fluida melewati contour body dengan ketebalan boundary layer yang semakin bertambah dari leading edge menuju ke belakang



## 2.6 CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

*Computational fluid dynamics* biasanya disingkat CFD, adalah cabang fluida mekanika yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang terlibat dalam aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa dan yang terkait fenomena melalui pemodelan matematika (persamaan diferensial parsial), metode numerik (diskritisasi dan teknik solusi), alat perangkat lunak (*solvers, pre and postprocessing utilities*). CFD sangat berguna untuk menyelesaikan dasar-dasar persamaan yang memodelkan gerakan aliran. Mayoritas persamaan ini tidak punya solusi analitis. Untuk alasan ini, kami menggunakan analisis numerik dengan CFD. Tujuan dari alat ini adalah untuk menyelesaikan perkiraan (secara numerik) aliran persamaan dasar yang solusinya memberi kita gerakan dan karakteristik lain dari aliran. Teknik-teknik ini mematahkan domain spasial dan waktu untuk mencapai *solution*. (Aktar 2012)

Persamaan-persamaan yang mengatur gerak suatu fluida dapat diturunkan dari persamaan massa, *momentum*, dan energi (Versteeg, H.K. and Malalasekera 1995). Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

1. Hukum kekekalan massa
2. Hukum kedua Newton
3. Hukum kekekalan energi

Dalam bentuk yang paling umum, gerak fluida diatur oleh sistem kesetimbangan *Navier-Stokes* tiga dimensi yang bergantung pada waktu (Versteeg, H.K. and Malalasekera 1995). Persamaan *Navier-Stokes* mendefinisikan seluruh aliran fluida satu fasa. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam *momentum* (percepatan) partikel-partikel fluida bergantung hanya kepada gaya viskos tekanan internal dan gaya viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida. Persamaan *Navier-Stokes* memiliki persamaan diferensial yang menerangkan pergerakan dari suatu fluida dan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal



tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya menurut (Versteeg, H.K. and Malalasekera 1995) pada persamaan 2.34 – 2.38:

1. Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = \dots\dots\dots(2.27)$$

2. Persamaan *Momenttum*

*Momenttum* ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \dots\dots(2.28)$$

*Momenttum* ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

*Momenttum* ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \dots\dots\dots(2.30)$$

3. Persamaan Energi

$$\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + c + v\tau_{yy} + w\tau_{yz} \right) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana :

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W



1  
itas  
gi Total  
nan

$q$  = Heat Flux

$Re$  = Bilangan Reynold

$Pr$  = Bilangan Prandtl

*Navier-Stokes* equation dapat diinterpretasikan sebagai penjumlahan dari 4 (empat) gaya: *gravitational body force*; *pressure gradient forces*; *viscous forces*; dan *inertial force*. (I Ketut Aria Pria Utama 2012)

1. *Gravitational body force* adalah seluruh gaya yang bekerja pada fluida tanpa adanya kontak fisik secara langsung dan terdistribusi secara merata dalam volume fluida.
2. *Pressure gradient forces* atau gradien tekanan adalah kuantitas fisik yang menjelaskan ke arah mana dan pada tingkat mana tekanan meningkat paling cepat di sekitar lokasi tertentu.
3. *Viscous forces* atau viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida. Viskositas fluida berhubungan dengan gaya gesek antar lapisan fluida ketika satu lapisan bergerak melewati lapisan yang lain.
4. *Inertial force* atau kelembaman adalah kecenderungan semua benda fisik untuk mempertahankan keadaannya atau menolak perubahan terhadap keadaan geraknya.

CFD terdiri dari metode-metode yang menyelesaikan persamaan bidang dasar yang sesuai dengan syarat batas oleh pendekatan yang melibatkan sejumlah besar elemen (matematika sederhana). Pendekatan ini mengarah secara otomatis ke sejumlah besar hal yang tidak diketahui.

Terdapat 3 macam teknik solusi numeric: beda hingga (*finite difference*), elemen hingga (*finite element*) dan metode spectral.



Metode Beda Hingga bekerja dengan mengganti suatu persamaan differensial dengan syarat batas menjadi sebuah sistem persamaan linier yang dilakukan

dengan mendiskretisasi daerah asal dan mengubah turunan pada persamaan dengan hampiran beda hingga pusat.

2. Metode Elemen Hingga adalah suatu metode yang membagi benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian – bagian ini disebut elemen yang dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda ini disebut meshing.
3. Metode Spectral adalah formulasi dari Metode Elemen Hingga yang menggunakan polinomial Piecewise. Metode Spektral lebih memilih fungsi – fungsi basis polinomial berdimensi tinggi yang tidak seragam. Dengan derajat kebebasan yang lebih sedikit per node, dapat berguna untuk mendeteksi kelemahan kecil. Non-keseragaman node membantu membuat matriks massa diagonal, yang menghemat waktu dan memori komputer. Namun, Metode Spectral kesulitan dalam pemodelan geometri yang kompleks.

Pada proses penyelesaian masalah dengan menggunakan CFD-Ansys Fluent terdapat tiga tahap yang harus dilalui, yaitu: *Pre-processor*, *Flow Solver (Solution)*, dan *Post Processor*.

#### 1. Tahap Pre-Processor

Merupakan tahap dimana data diinput mulai dari pembuatan domain serta pembuatan kondisi batas atau boundary condition. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan meshing. Secara umum, tahap ini terdiri dari:

- a. Pemodelan kapal
- b. Pembuatan domain fluida
- c. Pemodelan kondisi batas
- d. Optimasi model yang optimum



memilih jumlah grid yang optimum

yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model fisik terkait (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang diperlukan pada

kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi. Dibawah ini beberapa kondisi batas pada Ansys Fluent :

f. *Velocity Inlet*

Kondisi batas velocity inlet digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran incompressible.

g. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (absolute), tekanan gauge, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan gauge. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas velocity inlet.

h. *Pressure Outlet*

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

i. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

j. *Pressure Far-Field*

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran *kompresibel free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara inlet dan outlet jauh. Besaran yang dimasukkan adalah tekanan gauge bilangan Mach, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

k. Dinding (*wall*)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.





### l. *Symmetry* dan *Axis*

Pada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada input data yang diperlukan. Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini juga dapat digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos. Sedangkan kondisi batas axis digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axisymmetry*.

### m. *Periodic*

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang *periodic*, baik secara translasi atau rotasi.

### n. *Cell Zone : Fluid*

Kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida, didefinisikan sebagai media berpori.

### o. *Cell Zone : Solid*

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan heat generation rate pada kontinum solid. Sedangkan kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.

### p. Porous Media

Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pipihan porous zone pada panel fluida. Porous zone merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya: *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks*.

## 2. Tahap *Flow Solver (Solution)*

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Pada tahap ini dilakukan analisis secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum terdiri dari:



- a. Penentuan kondisi batas
- b. Pemilihan jenis fluida
- c. Penentuan kecepatan model
- d. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
- e. Penentuan batas konvergensi yang optimum

### 3. Tahap *Post Processor*

Tahap *Post-Processor* merupakan tahap yang digunakan untuk menganalisis, visualisasi dan mempresentasikan hasil interaktif sesuai dengan kasus yang sedang ditinjau. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Secara umum tahap ini terdiri dari:

- a. Perhitungan besar hambatan kapal
- b. Perhitungan distribusi kecepatan disekitar badan kapal
- c. Perhitungan distribusi tekanan disekitar badan kapa

