

SKRIPSI

**TAHANAN TOTAL KAPAL FERRY RO-RO DENGAN
MENGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMIC**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD RIZQAL MARWING
D091191049**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

TAHANAN TOTAL KAPAL FERRY RO-RO DENGAN MENGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

Disusun dan diajukan oleh

Muhammad Rizqal Marwing
D091191049

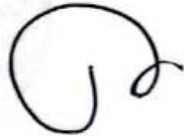
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal *.08.. Agustus 2024*
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19690404 200003 1 002


Muh. Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T
NIP. 19870131 201903 1 007

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Faisal Wahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng., IPM
NIP. 19710211 200501 1 003



ABSTRAK

MUHAMMAD RIZQAL MARWING. *Tahanan Total Kapal Ferry Ro-Ro dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic* (dibimbing oleh Andi Haris Muhammad dan Muh. Iqbal Nikmatullah)

Tahanan total kapal merupakan suatu gaya fluida yang bekerja pada kapal akibat interaksi antara kapal dan fluida yang sedemikian rupa yang arahnya melawan gerakan kapal. Penelitian ini menjelaskan mengenai tahanan kapal dan komponen tahanan *friction* dan *pressure* pada kapal. Komponen tahanan *friction* yang dimaksud adalah gaya gesek yang timbul akibat viskositas air. Sedangkan komponen tahanan *pressure* adalah komponen gaya tekan yang bekerja sepanjang permukaan lambung kapal saat kapal bergerak. Tahanan dan komponen tahanan tersebut didapatkan dari simulasi CFD menggunakan software Ansys Fluent. Simulasi tahanan tersebut menggunakan variasi kecepatan berdasarkan nilai froude number yang berbeda yaitu dari F_n 0.188 (10 knot) sampai F_n 0.338 (18 knot). Hasil penelitian ini menunjukkan tahanan total dan komponen tahanan total kapal mengalami peningkatan seiring meningkatnya nilai F_n . Pada F_n rendah nilai komponen tahanan *friction* cenderung lebih besar dari komponen tahanan *pressure*. Sedangkan pada F_n tinggi komponen tahanan *pressure* lebih besar dibandingkan dengan komponen tahanan *friction*. Visualisasi distribusi kecepatan fluida hasil simulasi CFD menunjukkan distribusi kecepatan aliran air terendah berada pada bagian buritan kapal sedangkan distribusi kecepatan aliran air terbesar berada di sisi samping kapal. Distribusi kecepatan aliran air disisi kapal dipengaruhi oleh tekanan air atau pola gelombang yang ditimbulkan oleh kapal. Sedangkan visualisasi distribusi tekanan pada permukaan air menunjukkan distribusi tekanan air terbesar berada pada haluan kapal terutama pada permukaan air disekitar *bulbousbow* kapal.

Kata Kunci: Tahanan Kapal, Tahanan Friction, Tahanan Pressure, CFD



ABSTRACT

MUHAMMAD RIZQAL MARWING. *Total Resistance of Ro-Ro Ferry Ship using Computational Fluid Dynamic Method* (supervised by Andi Haris Muhammad and Muh. Iqbal Nikmatullah)

The total resistance of a ship is a fluid force acting on the ship due to the interaction between the ship and the fluid in such a way that it opposes the ship's motion. This study explains ship resistance and the components of friction and pressure resistance on the ship. The friction resistance component refers to the frictional force arising from water viscosity. Meanwhile, the pressure resistance component is the component of the pressure force that acts along the surface of the ship's hull while in motion. The resistance and its components are obtained from CFD simulations using Ansys Fluent software. The resistance simulations involve varying speeds based on different Froude number values ranging from F_n 0.188 (10 knots) to F_n 0.338 (18 knots). The research results indicate that the total resistance and components of total ship resistance increase as the F_n value rises. At low F_n values, the friction resistance component tends to be larger from the pressure resistance component. On the other hand, at high F_n values, the pressure resistance component is greater than the friction resistance component. Visualization of the fluid velocity distribution from the CFD simulation shows that the lowest water flow velocity distribution is at the stern of the ship, while the highest water flow velocity distribution is at the side of the ship. The distribution of water flow velocity on the side of the ship is influenced by the water pressure or wave pattern generated by the ship. Meanwhile, visualization of the pressure distribution on the water surface shows that the largest water pressure distribution is at the bow of the ship, especially on the water surface around the ship's bulbous bow.

Keywords: Ship Resistance, Friction Resistance, Pressure Resistance, CFD



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Muhammad Rizqal Marwing
NIM : D091191049
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Tahanan Total Kapal Ferry Ro-Ro Dengan Menggunakan Metode 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.

Makassar, 22 Juli 2024

Menyatakan


Muhammad Rizqal Marwing



DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| KATA PENGANTAR | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Kapal Ferry Ro-Ro | 5 |
| 2.2 Tahanan Total Kapal | 5 |
| 2.3 Metode Perhitungan Tahanan Kapal | 7 |
| 2.3.1 Metode Empiris/Statistik..... | 7 |
| 2.3.2 Metode Computational Fluid Dynamic | 9 |
| 2.3.3 Metode Eksperimental..... | 11 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 13 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 13 |
| 3.2 Jenis Data | 13 |
| 3.3 Metode Pengumpulan Data | 13 |
| 3.4 Pemodelan Kapal dengan <i>Software</i> Maxsurf dan Rhinoceros | 15 |
| Mulasi Ansys Fluent..... | 17 |
| 3.1 Tahap Geometri..... | 18 |
| 3.2 Tahap Mesh | 19 |



| | |
|--|----|
| 3.5.3 Grid Independence Study | 21 |
| 3.5.4 Grid Convergence Study | 22 |
| 3.5.5 Tahap Setup | 23 |
| 3.5.6 Tahap Solution | 27 |
| 3.5.7 Tahap Result | 28 |
| 3.5.8 Validasi Wall y^+ | 29 |
| 3.6 Kerangka Penelitian | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 32 |
| 4.1 Tahanan Total Dengan Variasi F_n | 32 |
| 4.2 Karakteristik Aliran Air Disekitar Lambung Kapal | 35 |
| BAB V PENUTUP | 39 |
| 5.1 Kesimpulan | 39 |
| 5.2 Saran | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA | 40 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 Ilustrasi gaya geser tangensial τ dan gaya tekan P yang terjadi pada permukaan lambung kapal..... | 7 |
| Gambar 2 <i>Linesplan</i> kapal Ferry Ro-Ro 1500 GT..... | 14 |
| Gambar 3 Bentuk 3D model kapal pada maxsurf modeller..... | 15 |
| Gambar 4 <i>Front view</i> model kapal pada rhinoceros 6 | 16 |
| Gambar 5 <i>Back view</i> model kapal pada rhinoceros 6 | 17 |
| Gambar 6 <i>Perspective view</i> model kapal pada rhinoceros 6..... | 17 |
| Gambar 7 Simulasi Ansys Fluent..... | 17 |
| Gambar 8 <i>Boundary Condition</i> simulasi CFD..... | 19 |
| Gambar 9 <i>Face sizing mesh</i> pada lambung kapal | 20 |
| Gambar 10 Bentuk <i>boundary layer</i> disekitar lambung kapal | 20 |
| Gambar 11 Bentuk <i>volume mesh boundary</i> simulasi..... | 20 |
| Gambar 12 Grafik koefisien tahanan total terhadap jumlah grid..... | 21 |
| Gambar 13 Pengaturan inisialisasi simulasi..... | 27 |
| Gambar 14 Hasil simulasi Ansys Fluent..... | 28 |
| Gambar 15 komponen tekanan (pressure) dan tegangan geser (viscous shear stress) | 28 |
| Gambar 16 Nilai wall y^+ pada Fn 0,188 | 30 |
| Gambar 17 Diagram alir penelitian..... | 31 |
| Gambar 18 Grafik perbandingan tahanan total antara CFD dengan Eksperimen | 33 |
| Gambar 19 Grafik Perbandingan komponen tahanan <i>friction</i> dan <i>pressure</i> CFD..... | 33 |
| Gambar 20 Grafik perbandingan komponen tahanan <i>friction</i> pada CFD dan eksperimen | 34 |
| Gambar 21 Aliran air simulasi CFD pada Fn 0,188 | 35 |
| Gambar 22 Aliran air simulasi CFD pada Fn 0,226 | 35 |
| Gambar 23 Aliran air simulasi CFD pada Fn 0,263 | 36 |
| Gambar 24 Aliran air simulasi CFD pada Fn 0,300 | 36 |
| Gambar 25 Aliran air simulasi CFD pada Fn 0,338 | 36 |
| Gambar 26 Pressure permukaan air pada Fn 0,188..... | 37 |



Gambar 27 Pressure permukaan air pada F_n 0,226..... 37
Gambar 28 Pressure permukaan air pada F_n 0,263..... 37
Gambar 29 Pressure permukaan air pada F_n 0,300..... 37
Gambar 30 Pressure permukaan air pada F_n 0,338..... 38



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Range pengaplikasian untuk metode <i>Holthrop-Mennen</i> | 9 |
| Tabel 2. Ukuran utama kapal Ferry Ro-Ro 1500 GT | 14 |
| Tabel 3. Ukuran model skala kapal | 15 |
| Tabel 4. Validasi data <i>hydrostatics</i> model dan referensi | 15 |
| Tabel 5. <i>Grid independence study</i> | 21 |
| Tabel 6. Detail variasi 3 grid..... | 22 |
| Tabel 7. <i>Grid convergence test result</i> | 22 |
| Tabel 8. Sifat material fluida simulasi | 24 |
| Tabel 9. <i>Boundary condition inlet</i> | 24 |
| Tabel 10. <i>Boundary condition outlet</i> | 24 |
| Tabel 11. <i>Boundary condition wall</i> | 25 |
| Tabel 12. <i>Viscous model</i> simulasi | 25 |
| Tabel 13. Model <i>multiphase</i> simulasi | 26 |
| Tabel 14. Tabel parameter <i>solver</i> simulasi | 26 |
| Tabel 15. Perbandingan tahanan total antara CFD dengan Eksperimen..... | 31 |
| Tabel 16. Perbandingan tahanan <i>friction</i> antara CFD dengan Eksperimen.. | 33 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Visualisasi top view contour velocity..... | 43 |
| Lampiran 2 Visualisasi top view contour wave pattern | 46 |
| Lampiran 3 Visualisasi front view distribusi tekanan lambung kapal | 48 |
| Lampiran 4 Data hasil pengujian eksperimen tahanan model | 51 |
| Lampiran 5 Gambar pengujian eksperimen tahanan model..... | 52 |



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmat kesehatan jasmani serta rohani yang diberikan kepada penulis. Shalawat serta salam kita kirimkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, keluarga, dan para pengikutnya. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul “**Tahanan Total Kapal Ferry Ro-Ro Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic***” penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Marwing dan Ibunda Nur Rahmah
2. Bapak Prof. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembimbing I
3. Bapak Muh. Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku Pembimbing II
4. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing dan bapak Rahimuddin S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji.
5. Ibu Ir. Syerly Klara, M.T, selaku dosen penasehat akademik
6. Bapak Dr. Eng Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf., Tech., M,Eng. selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan
7. Seluruh pihak yang telah membantu penulis.

Semoga tugas akhir ini dapat menjadi kemudahan penulis mendapatkan gelar sarjana dan bermanfaat bagi seluruh pihak. Segala kekurangan dalam penelitian ini semoga dapat menjadi pembelajaran sehingga ke depan dapat meningkatkan kebaikannya.

Makassar, April 2024

Penyusun



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal ferry ro-ro (roll-on roll-off) merupakan moda transportasi laut yang penting untuk menghubungkan pulau-pulau di Indonesia. Kapal ini dirancang untuk mengangkut kendaraan dan penumpang secara bersamaan. Dalam perancangan dan operasi ferry ro-ro, tahanan kapal menjadi salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan. Besarnya tahanan akan mempengaruhi kecepatan, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi operasi kapal. (Fauzi et al, 2018)

Setiap kapal yang bergerak di permukaan air dengan kecepatan tertentu akan menghasilkan suatu gaya hambat. Gaya hambat tersebut ialah tahanan total kapal. Tahanan total kapal merupakan suatu gaya fluida yang bekerja pada kapal akibat interaksi antara kapal dan fluida yang sedemikian rupa yang arahnya melawan gerakan kapal. Sehingga besarnya tahanan kapal sangat dipengaruhi oleh karakteristik badan kapal yang berada dibawah permukaan air. Penentuan estimasi tahanan pada kapal diasumsikan bahwa kapal tersebut bergerak pada permukaan air yang tenang serta gaya hambat akibat badan kapal yang berada di atas air diabaikan. sehingga tidak terdapat wave breaking resistance dan wind resistance. (Molland et al, 2017)

Penentuan estimasi nilai tahanan total kapal dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti, *statistical method*, *numerical method (CFD)* dan *model experiment method*. Secara konvensional, analisis hidrodinamika pada kapal ditentukan menggunakan metode eksperimen dengan uji tarik menggunakan model kapal yang diskala lebih kecil di fasilitas towing tank. Hal ini dikarenakan metode ini sudah lama digunakan dan mempunyai hasil yang mampu memprediksi karakteristik kapal pada ukuran sebenarnya. Keterbatasan penggunaan metode eksperimen dengan uji tarik adalah memerlukan fasilitas towing tank yang jarang ditemukan, memerlukan waktu yang cukup lama, harga yang mahal dan hanya dapat dilakukan pada model yang akan diuji. Sedangkan metode Computational Fluid Dynamics merupakan metode yang saat ini sering digunakan seiring dengan berkembangnya teknologi dalam bidang komputasi. CFD menggunakan simulasi untuk memprediksi tingkah laku kapal pada saat berlayar yang dianalisis



menggunakan metode numerik. CFD mampu memprediksi hambatan sebuah model kapal dengan tingkat keakuratan yang tinggi, dan melakukan studi dan analisis pada sistem yang sulit untuk dilakukan dengan metode eksperimen. (Molland et al, 2017)

Hasil simulasi dengan menggunakan CFD mampu mendapatkan hasil yang sulit didapatkan apabila menggunakan uji eksperimen. Beberapa hasil tersebut seperti permukaan basah pada lambung pada kecepatan tertentu, bentuk dari wave pattern, pressure contour lambung kapal dan velocity fluida yang dihasilkan oleh model. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh (Putra et al, 2020) hasil dari simulasi tahanan kapal Computational Fluid Dynamic mempunyai keselarasan yang baik dengan hasil simulasi metode eksperimen dimana nilai tahanan yang didapat memiliki perbedaan hasil dibawah 5%.

Berdasarkan hal tersebut maka, penulis terdorong melakukan penelitian yang berjudul “Tahanan Total Kapal Ferry Ro-Ro Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana tahanan total kapal ferry ro-ro pada metode *Computational Fluid Dynamic*?
2. Bagaimana karakteristik aliran air disekitar lambung kapal ferry ro-ro pada metode *Computational Fluid Dynamic*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mendapatkan tahanan total kapal ferry ro-ro dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*.
2. Untuk mendapatkan karakteristik aliran air disekitar lambung kapal ferry ro-ro pada metode *Computational Fluid Dynamic*.



Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai metode numerik atau *computational fluid dynamic* pada

pengujian tahanan total kapal.

2. Hasil dari penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai karakteristik aliran air disekitar lambung kapal ferry ro-ro dengan metode numerik atau *computational fluid dynamic*.

1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian, peneliti memberi batasan masalah untuk memfokuskan penelitian sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan yang diharapkan. Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Objek penelitian yang digunakan adalah Kapal Ferry Ro-Ro 1500 GRT
2. Pengukuran nilai tahanan kapal metode numerik *Computational Fluid Dynamic* dengan menggunakan software ANSYS CFD. Pengukuran nilai tahanan eksperimental dilakukan melalui pengujian oleh LHI.
3. Pengukuran nilai tahanan kapal menggunakan model kapal ukuran skala dan diasumsikan bahwa kapal bergerak pada permukaan air tenang.

1.6 Sistematika Penulisan

Guna memudahkan penyusunan skripsi ini dan memudahkan pembaca memahami uraian secara sistematis, maka penelitian ini disusun dalam ringkasan sistematika penulisan ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan permasalahan secara umum yang meliputi : Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian yang terdiri dari: Tahanan Kapal, Metode Perhitungan Tahanan Kapal, Metode *Computational Fluid Dynamic*, Metode Eksperimen.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

ini diuraikan metodologi penelitian yang menjelaskan lokasi dan waktu, metode pengambilan data, metode analisis data, dan kerangka penelitian.

PEMBAHASAN



Pada bab ini diuraikan hasil dan pembahasan yang meliputi penyajian data, analisis data, hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan hasil penelitian tersebut.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini disajikan kesimpulan dan saran.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Ferry Ro-Ro

Kapal ferry merupakan salah satu jenis kapal yang digunakan untuk mengangkut kendaraan dan penumpang secara bersamaan dari satu pulau ke pulau lainnya. Kapal ini disebut juga sebagai kapal penyeberangan karena kapal ini sering digunakan berlayar dengan rute pelayaran yang pendek. Kapal ferry jenis roll-on/roll-off atau yang biasa disingkat kapal ferry ro-ro merupakan kapal yang dirancang memiliki dua pintu ramp doors yaitu pintu depan dan pintu belakang dengan tujuan memudahkan proses masuk keluarnya kendaraan dari kapal. (Fauzi et al, 2018)

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 115 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Pengangkutan Kendaraan Diatas Kapal bahwa kapal 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. Sedangkan kapal penumpang ro-ro adalah kapal ro-ro yang dilengkapi akomodasi untuk mengangkut penumpang.

2.2 Tahanan Total Kapal

Kapal yang bergerak pada permukaan air akan memiliki gaya hambat total atau tahanan total yang terdiri dari gaya hambat akibat badan kapal yang berada diatas permukaan air dan gaya hambat akibat badan kapal yang berada di bawah permukaan air. gaya hambat karena adanya badan kapal diatas permukaan air disebabkan oleh adanya fluida udara atau angin, gaya hambat inilah yang disebut *wind resistance* atau *aerodynamic resistance*. Sedangkan gaya hambat yang terjadi pada badan kapal yang berada dibawah permukaan air terjadi karena adanya fluida

menghambat gerakan kapal, gaya hambat inilah yang disebut sebagai *amic resistance* dimana *gaya hambat ini* merupakan komponen terbesar a hambat total kapal. Nilai dari *wind resistance* atau tahanan angin



umumnya bernilai kecil dari total tahanan kapal sehingga tahanan total yang dimaksud ialah gaya hambat akibat kapal yang bergerak dengan sebuah kecepatan pada kondisi perairan tenang dan mengabaikan *aerodynamic resistance*. (Molland et al, 2017)

Tahanan total pada kapal merupakan tahanan yang terjadi akibat Bergeraknya kapal dengan kecepatan konstan di permukaan air tenang. Tahanan kapal tersebut terbagi menjadi dua komponen utama. Komponen tahanan tersebut dibagi berdasarkan arah *drag* yang terjadi pada kapal seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Komponen tahanan yang pertama ialah jumlah dari komponen gaya geser tangensial τ yang bekerja di sepanjang permukaan lambung kapal, komponen ini disebut sebagai *frictional resistance* atau R_F . sedangkan komponen tahanan selanjutnya ialah komponen gaya tekan yang bekerja di sepanjang permukaan lambung kapal yang disebut sebagai *pressure resistance* atau R_P . sehingga berdasarkan 2 komponen di atas tahanan total kapal dapat ditulis sebagai berikut (Misra S. C, 2016)

$$R_T = R_F + R_P \quad (1)$$

$$R_T = R_F + (R_{VP} + R_W) \quad (2)$$

Menurut Misra S.C (2016) viskositas air juga menyebabkan adanya distribusi tekanan di sekitar lambung kapal dan dengan demikian akan menimbulkan peningkatan *pressure resistance*. Bagian dari *pressure resistance* akibat viskositas air di sekitar bentuk 3D lambung kapal disebut sebagai *viscous pressure resistance* (R_{VP}).

Berdasarkan teori tahanan kapal oleh William Froude, tahanan total dari sebuah kapal yang bergerak di permukaan air ialah jumlah dari komponen *frictional resistance* (R_f) dan *residual resistance* (R_r). Dimana *frictional resistance* disebabkan oleh tegangan tangensial akibat gaya hambat air atau *drag* yang bergerak sejajar dengan permukaan lambung kapal. Sedangkan *residual resistance* disebabkan oleh distribusi tekanan yang terjadi disekitar lambung kapal karena gelombang dan pusaran air ketika kapal bergerak. berdasarkan 2 komponen di atas tahanan total

at juga ditulis sebagai berikut (Birk, 2019)

$$= R_F + R_R \quad (3)$$





Gambar 1 Ilustrasi gaya geser tangensial τ dan gaya tekan P yang terjadi pada permukaan lambung kapal.

(Sumber: Ship Resistance and Propulsion, 2017)

Menurut Frisk, D dan Tegehall, L (2015) tahanan kapal yang bergerak melalui perairan yang tenang dan tidak dibatasi dapat diuraikan menjadi beberapa komponen. Salah satu cara yang umum adalah dengan membagi tahanan kapal menjadi pressure resistance dan friction resistance. Koefisien tekanan didefinisikan sebagai

$$C_P = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_{hull}^2} \quad (4)$$

Dimana P_∞ merupakan tekanan aliran bebas tidak terganggu, U_{hull} adalah kecepatan kapal. Sedangkan koefisien *skin friction* didefinisikan sebagai

$$C_f = \frac{\tau_\omega}{\frac{1}{2}\rho U_{hull}^2} \quad (5)$$

Dimana τ_ω merupakan tegangan geser dinding. Dan koefisien tahanan total yang merupakan besaran *non-dimensional* didefinisikan sebagai

$$C_T = \frac{R_{tot}}{\frac{1}{2}\rho U_{hull}^2 A_{W0}} \quad (6)$$

Dimana R_{tot} merupakan tahanan total, ρ massa jenis air, U_{hull} adalah kecepatan kapal, dan A_{W0} adalah area basah permukaan lambung kapal.

2.3 Metode Perhitungan Tahanan Kapal

2.3.1 Metode Empiris/Statistik

Menurut (Misra S. C, 2016) jika data hasil uji tahanan dari sejumlah besar model kapal tersedia (hasil uji tarik towing tank), data tersebut dapat dianalisis secara numerik (penyelesaian permasalahan yang diformulasikan secara matematis atau operasi hitungan) dan data tersebut dibuat dalam model regresi tahanan kapal sebagai fungsi dari sejumlah variabel yang menentukan bentuk kapal. Hal serupa dapat dilakukan pada lambung kapal dengan komponen



tambahan (bilge keel, skeg, shaft bracket, dll). Jika data hasil uji tahanan tersedia pada uji kecepatan tertentu maka dimungkinkan juga untuk memodelkan gaya hambat yang diekstrapolasi.

Metode Statistik merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam memprediksi tahanan kapal, khususnya pada tahap awal perancangan. Dibanding dengan metode pengujian ataupun metode numerik melalui komputer, metode statistik lebih efisien dari segi waktu dan pembiayaan. Namun penggunaan metode ini terbatas pada jenis-jenis kapal tertentu dan batasan dimensi yang disyaratkan.

Sejumlah metode yang telah dikembangkan sesuai tipe kapal:

- Metode Ayre (Remmers and Kempf 1949) : untuk cargo ship
- Metode Taggart : untuk tugboats
- Metode Series-60 (Todd 1957) : untuk cargo ship
- Metode BSRA (Moor 1961) : untuk cargo ship
- Metode Danckwardt (Danckwardt 1969) : untuk cargo ship dan trawler
- Metode Helm (Helm 1964) : untuk small ship
- Metode Lap-Keller (Lap 1954, Keller 1973) : untuk cargo ship dan ferries.

Sejumlah metode yang telah dikembangkan untuk berbagai tipe kapal:

- Metode Taylor-Gertler (Gertler 1954)
- Metode Guldhammer-Harvald (Guldhammer and Harvald 1974)
- Metode SSPA (Williams 1969)
- Metode Hollenbach (Hollenbach 1997, 1998)
- Metode Holtrop-Mennen (Holtrop and Mennen 1978, 1982)

Salah satu metode empiris/statistik yang sering digunakan ialah metode Holtrop-Mennen. Metode Holtrop dan Mennen mewakili analisis statistik dari hasil uji tahanan dan propulsi dari 334 model dan lebih diminati berdasarkan jangkauan input penggunaan (Sarris E, 2003). Menurut (Moody, 1996) metode Holtrop-Mennen memiliki akurasi yang relatif berdasarkan rentang penggunaan ana yang dijelaskan pada Tabel 1.



Tabel 1 Range pengaplikasian untuk metode *Holthrop-Mennen*

| Parameter | Lower Limit | Upper Limit |
|-----------|-------------|-------------|
| CP | 0.55 | 0.85 |
| L/B | 3.90 | 14.90 |
| B/T | 2.10 | 4.00 |
| Fn | 0.00 | 1.00 |

Sumber: Sarris, E. (2011)

Prediksi tahanan berdasarkan metode Holthrop-Mennen dapat dituliskan dalam beberapa komponen sebagai berikut (Sarris E, 2003):

$$R_{TOTAL} = (1 + M_D)(R_F(I + k_I) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A) \quad (7)$$

Dimana:

R_F adalah *friction resistance*

$(1 + k_I)$ adalah faktor bentuk lambung kapal

R_{APP} adalah *appendage resistance*

R_W adalah *wave-making resistance*

R_B adalah tahanan tambahan akibat *bulbous bow*

R_{TR} adalah tahanan tambahan akibat *transom stern immersion*

R_A adalah tahanan akibat korelasi model-kapal

2.3.2 Computational Fluid Dynamic

Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian simulasi numerik adalah persamaan *Navier-Stokes*. Pada simulasi numerik *Computational Fluid Dynamic* aliran fluida yang terjadi diatur oleh hukum kekekalan massa, momentum dan energi, yang secara kolektif disebut sebagai persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini ditemukan oleh *G.G. Stokes* di Inggris dan *M. Navier* di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Molland et al, 2017) :

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (8)$$



Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa laju perubahan massa dalam volume elemen yang sangat kecil sama dengan laju fluks massa yang melaluinya.

2. Persamaan Momentum

- Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (9)$$

- Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (10)$$

- Momentum ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (11)$$

Persamaan momentum menyatakan bahwa laju perubahan momentum untuk volume kendali yang sangat kecil sama dengan laju masuk atau keluarnya momentum melalui permukaan volume kendali, ditambah jumlah gaya yang bekerja pada volume itu sendiri.

3. Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_u)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_v)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_w)}{\partial z} = & -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \\ & \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{1}{Re_r Pr_r} + \left(\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} + \\ & \left(\frac{\partial}{\partial x} (U\tau_{xx} + U\tau_{xy} + U\tau_{xz}) + Cv\tau_{yy} + wv\tau_{yz} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial z} (U\tau_{xz} + U\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \end{aligned} \quad (12)$$



na,
 koordinat Sumbu X
 koordinat Sumbu Y
 koordinat Sumbu Z

- u = Komponen Kecepatan U (m/s)
 v = Komponen Kecepatan V (m/s)
 w = Komponen Kecepatan W (m/s)
 t = Waktu (s)
 ρ = Densitas (kg/m^3)
 E_t = Energi Total (kJ)
 p = Tekanan (N/m^2)
 q = Heat Flux (kW/m^2)
 Re = Bilangan Reynold
 Pr = Bilangan Prandtl

Persamaan energi menyatakan bahwa laju perubahan energi dalam pada volume kendali sama dengan laju masuknya entalpi, ditambah kerja yang dilakukan pada volume kendali oleh tegangan viskos τ .

2.3.3 Metode Eksperimental

Menurut (Misra S. C, 2016) terdapat 3 kondisi kesamaan yang harus dipenuhi dalam melakukan percobaan hambatan dengan model kapal:

1. Kesamaan Geometri, ialah mengharuskan perbandingan dua dimensi pada model harus sama dengan perbandingan dimensi yang bersesuaian pada kapal.
2. Kesamaan Kinematik, ialah mengharuskan rasio dua komponen kecepatan pada aliran di sekitar model dan komponen kecepatan yang bersesuaian pada aliran di sekitar kapal harus sama, yaitu pola aliran di sekitar model dan kapal harus serupa secara geometris.
3. Kesamaan Kinetik, ialah mengharuskan perbandingan dua gaya yang bekerja pada model harus sama dengan perbandingan gaya yang bersesuaian pada kapal.

Ketiga kesamaan tersebut dapat dipertahankan jika *Reynolds number* dan *Froude number* sama untuk model dan kapal, atau dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$C_{Tm} = C_{Ts} \quad (13)$$

Jika,

$$t = R_{ns}, F_{nM} = F_{nS} \quad (14)$$

symbol M dan S masing-masing mengacu pada model dan pada kapal kuran sebenarnya.



Dalam uji tahanan, model kapal ditarik oleh carriage (kereta Tarik) dan pengukuran total gaya longitudinal pada model dilakukan dalam berbagai kecepatan. Stimulator turbulen terdapat di haluan model kapal untuk menstimulasi transisi dari laminar menjadi turbulen dalam lapisan batas. Selama menjalankan pengukuran, model kapal terbebas untuk bergerak heave dan pitch.

Pada umumnya, hambatan kapal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_S = (R_m - R_{Fm}(1 + K)) \lambda^3 \frac{\rho_m}{\rho_s} + R_{Fs} (1+K) + R_{allowance} \quad (15)$$

$$R_S = (R_m - F_D) \lambda^3 \frac{\rho_m}{\rho_s} \quad (16)$$

Pengujian tahanan pada model kapal menghasilkan output data pengujian berupa gaya model kapal dalam satuan kgf yang mana data hasil pengujian tersebut harus dihitung menggunakan metode ekstrapolasi data untuk mendapatkan nilai tahanan kapal yang sesungguhnya pada skala 1:1. (Machfudin et al, 2018)

Berdasarkan prosedur metode ekstrapolasi modern yang mengacu pada MARIN (Maritime Research Institute Netherlands). Rumus koefisien tahanan gesek yang diformulasikan oleh ITTC 1957 harus dikombinasikan dengan Correlation Allowance (CA) antara model dan kapal dengan form factor (1+K) yang besarnya didapat dari nilai pretest. Ekstrapolasi uji hambatan metode MARIN berdasar pada konsep faktor bentuk. Oleh karena itu hambatan adalah skala dengan asumsi bahwa hambatan viskos kapal dan model adalah sebanding dengan hambatan gesek dari plat datar yang sama panjang dan luas permukaan basah ketika ditarik pada kecepatan yang sama. Hambatan plat datar ditentukan oleh rumus-1957 ITTC:

$$F_D = 0.5 \rho V^2 S C_F = 0.5 \rho V^2 S \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (17)$$

Efek skala pada hambatan (F_D) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_D = 0.5 \rho_m (V_m)^2 S_m \{ (1+K)(C_{Fm} - C_{Fs}) - C_A \} \quad (18)$$

