STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED W DAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

MUHAMMAD FIRDAUS

D031 17 1010

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA 2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti
Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana
Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Makassar

Judul Skripsi

STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED W DAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD

Disusun Oleh :
Muhammad Firdaus
D031171010

Gowa, 25 Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Lukman Bochary, MT.	**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**
Nip. 19561127 198803 1 001	**Nip. 19730206 200012 1 002**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Firdaus

Nim : D031171010

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

"STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED W DAN DEADERISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD"

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan nerupakan pengambilan aliran tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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, 28. Maret 2022

Yang Menyatakan,

Muhammad Firdaus

ABSTRAK

Muhammad Firdaus/D031171010. **"STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED W DAN DEADERISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD".** (Dibimbing oleh Ir. Lukman Bochary, MT. dan Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT)

Trend desain kapal cepat mengalami perubahan atau modifikasi guna mendapatkan desain kapal yang menjamin performa dan hemat dalam pengunaan bahan bakar pada saat berlayar di lautan. Salah satunya pada modifikasi hull. Salah satu cara modifikasi hull ialah penambahan bentuk stepped hull. Prinsip dari pengunaan stepped hull adalah mengurangi permukaan basah (weted surface area) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal. Desain bentuk stepped yang diteliti yaitu stepped W dengan luas penampang yaitu sekitar 4.1899 m^2. Jumlah dari stepped yang dimodelkan dikategorikan satu, dua, dan tiga stepped hull. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian model untuk mendapatkan data kemiringan masing-masing model yang dikategorikan, adapun data kemiringan yang didapatkan berjumlah 8 kemiringan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode numerik dengan bantuan software maxsurf modeler dan Rhinoceros 6 untuk melakukan pemodelan kapal serta Autodesk CFD untuk melakukan proses Analisa nilai tahanan kapal. Kenaikan nilai tahanan cenderung naik atau berbentuk eksponensial, kenaikkan nilai tahanan kapal mengalami peningkatan sesuai dengan kecepatan kapal. Kenaikan nilai tahanan juga ditentukan oleh factor penurunan luas bidang basah model di bawah garis air. Persentase perbandingan tahanan model kapal stepped W deadrise angle 5 derajat, pada 1 stepped dengan 3 stepped menggunakan acuan FnV model 1 stepped sama. Pada FnV 1.561 sampai 2.813 persentase perbandingan 1 stepped dengan 3 stepped mengalami penurunan 68.008% - 37.881% ini membuktikan bahwa semakin bertambah jumlah stepped maka tahanan akan mengalami penurunan.

Kata Kunci : Semi Planing Hull, Stepped, Trim Kapal, Tahanan Kapal, Metode Numerik

ABSTRACT

Muhammad Firdaus/D031171010. **"STUDY OF FAST SHIP RESISTANCE DUE TO THE INFLUENCE OF STEPPED W SHAPE AND 5 DEGREE DEADRISE ANGLE USING AUTODESK CFD".** (Supervised by Ir. Lukman Bochary, MT. and Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT)

Design trend of fast boats is undergoing changes or modifications in order to get a ship design that guarantees performance and is efficient in fuel use when sailing on the ocean. One of them in the hull modification. One way to modify the hull is to add a stepped hull form. The principle of using a stepped hull is to reduce the wet surface area due to turbulence under the hull. The stepped form design studied is stepped W with a cross-sectional area of about 4.1899 m^2. The number of stepped hulls modeled is categorized as one, two, and three stepped hulls. In this study, model testing was conducted to obtain slope data for each categorized model, while the slope data obtained amounted to 8 slopes. The method used in this research is a numerical method with the help of software maxsurf modeler and Rhinoceros 6 to do ship modeling and Autodesk CFD to carry out the process of analyzing the value of ship resistance. The increase in the value of the resistance tends to increase or is in the form of an exponential, the increase in the value of the ship's resistance increases according to the speed of the ship. The increase in the resistance value is also determined by the factor of decreasing the wet area of the model below the waterline. The percentage ratio of the resistance of the stepped ship model W deadrise angle of 5 degrees, at 1 stepped with 3 stepped using the FnV 1 stepped model reference is the same. At FnV 1561 to 2,813 the percentage ratio of 1 stepped to 3 stepped decreased by 68.008% - 37.881% this proves that the more stepped the number of stepped, the resistance will decrease.

Keywords: Semi Planing Hull, Stepped, Ship Trim, Ship Resistance, Numerical Method

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Kuasa, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul

STUDI TAHANAN KAPAL CEPAT AKIBAT PENGARUH BENTUK STEPPED W DAN DEADRISE ANGLE 5 DERAJAT MENGGUNAKAN AUTODESK CFD

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh dari penulis.

Didalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Samsul Bahri dan Ibunda Sitti Halimah atas kesabaran, pengorbanan, nasehat dan yang terutama doa yang tak putus – putusnya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudara dan saudari tercinta yang telah memberikan support dan semangat tiada henti.

2. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Suandar baso, ST.,MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.

3. Bapak Dr.Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing dan Muhammad Akbar Azis, S.T., M.T. selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini

4. Ibu Ir. Hj. Rosmani, M.T dan Ibu Dian Eka ST., MT selaku dosen laboratorium hidrodinamika.

5. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. Selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.

6. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.

7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.

8. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
9. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2017 terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
10. Kepada teman-teman kontrakan dan juga teman labo hidrodinamika seperjuangan skripsi untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan tapi kita dapat melewatinya.
11. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
12. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dengan sepenuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu peneliti memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Makassar, Februari 2022
Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN

PERNYATAAN KEASLIAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR NOTASI v

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 3

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II LANDASAN TEORI 5

2.1 Kapal cepat (High Speed Craft) 5

2.2 Karakteristik kapal cepat 8

2.3 Stepped hull 9

2.4 Trim 12

2.5 Tahanan kapal 13

2.6 Autodesk Computational Fluida Dynamics (CFD) 16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 19

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 19

3.2 Jenis Penelitian 19

3.3 Metode Pengumpulan Data 19

3.4 Metode Pengolahan Data 20

3.4.1 Data Kapal.....20
3.4.2 Pemodelan Kapal Cepat dengan Lambung Deadrise Angle dan Lambung Bertangga.....21
3.4.3 Pemodelan Ulang menggunakan Rhinoceros 6.....26
3.4.4 Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic) 31
3.4.5 Verifikasi.....36
3.4.6 Analisis data.....37
3.4.7 Kesimpulan 38
3.5 Kerangka Pemikiran.....39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....40
4.1 Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure.....40
4.1.1 Visualisasi Velocity Magnitude 40
4.1.2 Visualisasi Static Preassure.....59
4.2 Nilai Residual In dan Residual Out.....66
4.3 Prediksi Tahanan Model Kapal.....68
4.4 Perbandingan Hasil Tahanan *Autodesk CFD* dengan Hasil Tahanan *Maxsurf Resistance*.....73
BAB V PENUTUP.....76
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran.....77
DAFTAR PUSTAKA.....78
LAMPIRAN.....80

DAFTAR NOTASI

Loa = Panjang keseluruhan kapal (m)

Lwl = Panjang garis air kapal (m)

v = Kecepatan kapal (knot)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s2)

Rn = Angka Reynold

Fn = Angka Froude

FnV = Froud Number Volume

Cw = Koefisien waterline

Cb = Koefisien blok

Slr = Rasio kecepatan dan panjang kapal

Pc = Koefisien propulsif

SHP = Shaft Horse Power (HP)

DHP = Delivery Horse Power (HP)

EHP = Efficiency Horse Power (HP)

Rt = Tahanan total (Kn)

Lr = Skala model

Lm = Panjang model (m)

Lp = Panjang Kapal (m)

Vm = Kecepatan model (m/s)

Vp = Kecepatan Kapal (m/s)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran utama kapal penumpang cepat 20

Tabel 3.2 Ukuran model kapal skala 1/15 27

Tabel 3.3 Ukuran *boundary layer* tangki pengujian skala 1/15 28

Tabel 3.4 Kecepatan model dan *angle trim* buritan model per *stepeed* 29

Tabel 4.2.1 Nilai *Residual in* dan *Residual out* model kapal 1 *stepped* W 67

Tabel 4.2.2 Nilai *Residual in* dan *Residual out* model kapal 2 *stepped* W 67

Tabel 4.2.3 Nilai *Residual in* dan *Residual out* model kapal 3 *stepped* W 67

Tabel 4.3.1 Nilai tahanan dan FnV model W 5° satu stepped.....68

Tabel 4.3.2 Nilai tahanan dan FnV model W 5° dua stepped 69

Tabel 4.3.3 Nilai tahanan dan FnV model W 5° tiga stepped 70

Tabel 4.3.4 Persentasi Perbandingan Tahanan Model Kapal *stepped* W 5°.....72

Tabel 4.4.1 Nilai Hasil Tahanan Model *Autodesk CFD* dan *Maxsurf Resistance* 74

Tabel 4.4.2 Persentase Perbandingan Hasil Tahanan dari *Autodesk CFD* Dan *Maxsurf Resistance*.....74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Kapal penumpang* ***cepat*** 5
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori *displacement hull, planing hull, semi planing hull* 7
Gambar 2.3 Deadrise angle pada kapal planning hull 7
Gambar 2.4 *Visualisasi Kapal dengan Stepped* 10
Gambar 2.5 *Kapal dengan Stepped hull* 10
Gambar 2.6 Berbagai bentuk stepped 11
Gambar 2.7 *Kapal Kondisi* Even Keel 12
Gambar 2.8 *Kapal Kondisi* Trim by Head 12
Gambar 2.9 *Kapal Kondisi* Trim by Stern 13

Gambar 3.1 *linesplan Kapal* pada *software autocad* 21
Gambar 3.2 *Body Plan* kapal dengan variasi *Deadrise Angle* 5° 22
Gambar 3.3 Sketsa peletakan *stepped* kapal 23
Gambar 3.4 Tampilan awal model kapal tanpa *stepped* pada *Maxsurf Modeller* 23
Gambar 3.5 Tampilan Depan 24
Gambar 3.6 Tampak bawah penampang 1 *stepped* pada kapal berbentuk *deadrise angle.* 24
Gambar 3.7 Tampak samping kapal berbentuk *deadrise angle* dengan penampang 1 *stepped* 25
Gambar 3.8 Proses *Trimming* pada *surface* yang saling berpotongan 25
Gambar 3.9 Tampak kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan 1 *stepped* bentuk W 26
Gambar 3.10 Hasil *import* kedalam aplikasi *Rhinoceros 6* 26
Gambar 3.11 Hasil model *closed* solid 27
Gambar 3.12 Hasil pemotongan *freeboard* dan *boundry layer* 28
Gambar 3.13 Kondisi kapal 1 stepped saat trim buritan 30

Gambar 3.14 Kondisi kapal 2 stepped saat trim buritan.....30
Gambar 3.15 Kondisi kapal 3 stepped saat trim buritan.....31
Gambar 3.16 Visual tahap *geometry* model kapal dan *boundary layer* 32
Gambar 3.17 Visualisasi *input* material model kapal dan *boundary layer* 32
Gambar 3.18 Visualisasi input boundary condition model kapal dan boundary layer.....33
Gambar 3.19 Visualisasi *mesh sizing* model kapal dan *boundary layer* 34
Gambar 3.20 Visualisasi *mesh sizing* model kapal.....34
Gambar 3. 21 Visualisasi tahap *clone* model kapal dan *boundary layer* 35
Gambar 3.22 Visualisasi tahap *solve* model kapal dan *boundary layer*.....36
Gambar 3.23 Kerangka Pikir Penelitian.....39

Gambar 4.1 Visualisasi *velocity magnitude planes* model kapal satu *stepped* W kecepatan 1.838 m/s dengan trim 2.579°.....41
Gambar 4.2 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal satu *stepped* W kecepatan 1.838 m/s dengan trim 2.579°.....41
Gambar 4.3 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 1.838 m/s dengan trim 2.579° 42
Gambar 4.4 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 1.838 m/s dengan trim 2.579° 42
Gambar 4.5 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.175 m/s dengan trim 3.906° 43
Gambar 4.6 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.175 m/s dengan trim 3.906°.....43
Gambar 4.7 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.175 m/s dengan trim 3.906°.....44

Gambar 4.8 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.175 m/s dengan trim 3.906° 44
Gambar 4. 9 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.546 m/s dengan trim 4.066° 45
Gambar 4.10 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.546 m/s dengan trim 4.066° 45
Gambar 4.11 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.546 m/s dengan trim 4.066° 46
Gambar 4.12 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal satu *stepped* W kecepatan 3.546 m/s dengan trim 4.066° 46
Gambar 4.13 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 1.795 m/s dengan trim 2.873° 47
Gambar 4.14 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 1.795 m/s dengan trim 2.873° 47
Gambar 4.15 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 1.795 m/s dengan trim 2.873° 48
Gambar 4.16 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 1.795 m/s dengan trim 2.873° 48
Gambar 4.17 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 2.793 m/s dengan trim 3.831° 49
Gambar 4. 18 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 2.793 m/s dengan trim 3.831°.....49

Gambar 4.19 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 2.793 m/s dengan trim 3.831° 50
Gambar 4.20 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 2.793 m/s dengan trim 3.831° 50
Gambar 4.21 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 4 m/s dengan trim 4.839° 51
Gambar 4. 22 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal dua *stepped* W kecepatan 4 m/s dengan trim 4.839° 51
Gambar 4.23 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 4 m/s dengan trim 4.839° 52
Gambar 4. 24 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal dua *stepped* W kecepatan 4 m/s dengan trim 4.839° 52
Gambar 4.25 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 1.835 m/s dengan trim 2.819° 53
Gambar 4.26 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 1.835 m/s dengan trim 2.819° 53
Gambar 4.27 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 1.833 m/s dengan trim 2.819° 54
Gambar 4.28 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 1.833 m/s dengan trim 2.819° 54
Gambar 4.29 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 2.740 m/s dengan trim 3.655° 55

Gambar 4.30 Pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 2.740 m/s dengan trim 3.655° 55
Gambar 4.31 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 2.740 m/s dengan trim 3.655° 56
Gambar 4.32 Pola aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 2.740 m/s dengan trim 3.655° 56
Gambar 4.33 Pola *aliran* berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 4.115 m/s dengan trim 4.974° 57
Gambar 4.34 *Pola* aliran berdasarkan *velocity magnitude* dan luas bidang basah model kapal tiga *stepped* W kecepatan 4.115 m/s dengan trim 4.974° 57
Gambar 4.35 Garis pola aliran berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 4.115 m/s dengan trim 4.974° 58
Gambar 4.36 *Pola* aliran yang terjadi di buritan model berdasarkan *velocity magnitude* model kapal tiga *stepped* W kecepatan 4.115 m/s dengan trim 4.974° 58
Gambar 4.37 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal satu stepped W kecepatan 1.838 m/s dengan trim 2.579° 59
Gambar 4.38 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal satu stepped W kecepatan 3.175 m/s dengan trim 3.906° 60
Gambar 4.39 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal satu stepped W kecepatan 3.546 m/s dengan trim 4.066° 61
Gambar 4.40 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal dua stepped W kecepatan 1.795 m/s dengan trim 2.873° 62
Gambar 4.41 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal dua stepped W kecepatan 2.792 m/s dengan trim 3.831° 63
Gambar 4.42 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal dua stepped W kecepatan 4 m/s dengan trim 4.839° 63

Gambar 4.43 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal tiga stepped W kecepatan 1.835 m/s dengan trim 2.819° 64
Gambar 4.44 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal tiga stepped W kecepatan 2.740 m/s dengan trim 3.655° 65
Gambar 4.45 *Visualisasi static preasure* dan luas bidang basah model kapal tiga stepped W kecepatan 4.115 m/s dengan trim 4.974° 66

Gambar 4.3.1 *Grafik froud number volume* (FnV) dan tahanan model kapal W satu *stepped* 69
Gambar 4.3.2 Grafik *froud number volume* (FnV) dan tahanan model kapal W dua *stepped* 70
Gambar 4.3.3 *Grafik froud number volume* (FnV) dan tahanan model kapal W tiga *stepped* 71
Gambar 4.3.4 *Grafik* hubungan antara froud number volume (FnV) dan tahanan per model kapal stepped W 71

Gambar 4.4.1 Grafik hubungan antara *Froude number volume* (FnV) dan tahanan per model kapal *stepped* W dengan model berbeda 73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Offset Lines Plan Kapal Penumpang Cepat SS 44 81

Lampiran 2. Statistik Jumlah Elemen Mesh 82

Lampiran 3. Visualisasi Velocity Magnitude untuk Semua Kondisi 90

Lampiran 4. Visualisasi Static Preassure untuk Semua Kondisi..... 138

Lampiran 5. Hasil Perhitungan Wall Calculator Tahanan Model Kapal 147

Lampiran 6. Prediksi Tahanan Model Dengan *Maxsurf Resistance* 136

Lampiran 7. Penentuan Skala Model 137

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan yang desain untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kapal dapat optimal secara signifikat. Kecepatan kapal cepat tergolong tinggi maka dalam merencanakan atau mendesain lambung harus memperhatikan aspek tahanan yang dihasilkan oleh kapal cepat tersebut. Pada kapal cepat memiliki kecepatan tinggi (kecepatan maksimum), memiliki 3 tahapan (fase) yaitu fase displasemen ($0.0<Fn<0.6$), fase pre-planing ($0.6<Fn<1.2$) dan fase planning ($Fn>1.2$) (Fretes,2020).

Kapal cepat memiliki kecepatan yang sangat tinggi, pada akhirnya menyebabkan pemakaian bahan bakar kapal meningkat dan terjadi pemborosan. Adapun mempergaruhi pemborosan bahan bakar pada kapal cepat ialah kapal dengan kecepatan yang tinggi, dan tahanan yang besar dengan pertimbangan kondisi demikian timbulah upaya-upaya untuk mendapatkan solusi terbaik agar mendapatkan penghematan pemakaian bahan bakar kapal.

Tren desain kapal cepat di dunia saat ini menunjukan bahwa bentuk lambung kapal bagian bawah (wetted surface area) sangat diperhatikan. Hal ini dibuktikan dengan desain lambung yang lebih mementingkan efisien dibandingkan dengan estetika. Salah satu desain lambung kapal cepat yang menjadi primadona pada saat ini adalah desain lambung dengan menggunakan bentuk stepped hull. Prinsip dari penggunaan stepped hull ialah mengurangi permukaan basah (wetted surface area) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah gaya tekan keatas sehingga tahanan kapal berkurang dan kecepatan bertambah tinggi. (Garland, W. R. (2010)) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besar hambatan pada kapal dengan

membandingkan antara kapal tipe lambung yang menggunakan desain stepped dengan tipe kapal tanpa stepped.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik melakukan penelitian berupa pengunaan software yakni Autodeck CFD (Computational Fluid Dynamic). CFD memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, oleh karena itu software ini dapat menjadi alternatif yang mudah dalam menganalisis dan mensimulasikan efek efek pengunaan stepped hull berbentuk W yang memiliki deadrise pada kapal planning hull terhadap tahanan kapal (ship resistance) dan mengatahui karakteristik aliran fluida yang terjadi sepanjang lambung kapal planning hull terkait tahanan kapal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang terkait penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan pada model kapal berbentuk lambung deadrise angle 5° dengan variasi jumlah *stepped*. Dengan menggunakan *Software Autodesk CFD.*
2. Berapa besar perubahan nilai tahanan pada model kapal berbentuk lambung deadrise angel 5° dengan bentuk lambung bertangga W pada beberapa kondisi trim buritan menggunakan *Software Autodesk CFD.*
3. Bagaimana pengaruh penggunaan jumlah *stepped* terhadap nilai tahanan kapal.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu adanya batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah batasan. Adapun Batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Model kapal yang diteliti adalah kapal feri penumpang cepat SS 44 *semi Planning Hull*
2. Perhitungan model tahanan dilakukan pada kondisi air tenang.

3. Perhitungan nilai tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan.
4. *Stepped hull* berbentuk V dengan variasi satu *stepped,* dua *stepped,* dan tiga *stepped.*
5. Perhitungan nilai tahanan menggunakan variasi trim berdasarkan kecepatan yang didapat pada eksperimen

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai tahanan pada model kapal berbentuk lambung deadrise angle 5° dengan variasi jumlah *stepped* dengan menggunakan *Software Autodesk CFD.*
2. Mengetahui besar perubahan nilai tahanan model kapal menggunakan berbentuk lambung *deadrise angle* 5° dengan variasi berbentuk lambung bertangga pada beberapa kondisi trim buritan menggunakan Software Autodesk CFD.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *stepped* terhadap nilai tahanan kapal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi mengenai pengaruh bentuk lambung bertangga dan hubungannya dangan tahanan kapal cepat.
2. Sebagai masukan bagi perancang kapal dalam merancang kapal cepat yang efisien saat beroperasi
3. Untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan nilai tahanan kapal cepat

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1: PENDAHULUAN

Dalam bab ini dijelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sitematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dijelaskan teori-teori gambaran wilayah penelitian, berbagi literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dalam penelitian ini.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini diuraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, Teknik dalam pengambilan data, metode analisis dan kerangka pikir.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V: PENUTUP

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang direkomendasikan penulis terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kapal cepat (High Speed Craft)

High Speed Craft adalah kapal yang berkecepatan tinggi untuk penggunaan sipil atau disebut juga ferry cepat. Pertama kali kapal jenis high-speed craft sering ditemukan pada jenis hydrofoil atau hovercraft, tetapi pada tahun 1990-an jenis kapal cepat katamaran dan monohull. Kebanyakan dari kapal jenis high speed craft berfungsi sebagai kapal ferry penumpang. (Erlangga dan Aryawan, 2018).

Gambar 2.1 Kapal penumpang cepat

Sumber (https://keposiasi.com/2019/11/kapal-cepat-sabang)

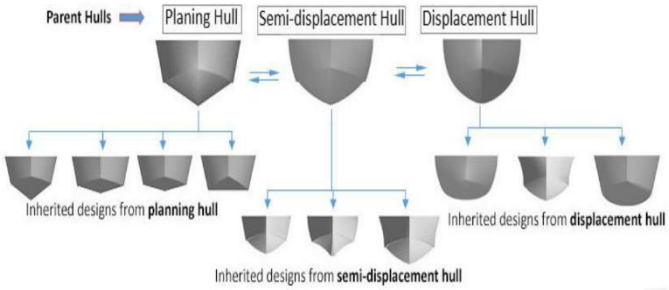
Adapun bentuk bentuk lambung kapal cepat dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

a. Planing Hull merupakan jenis kapal yang dapat mengangkat kapal dengan meningkatkan komponen hydrostatic lift yang berarti pada kecepatan lebih

rendah kapal bekerja seperti kapal displacement dan secara bertahap mulai ‘ploughing water’ dengan meningkatkan kecepatan dan kekuatan. Kapal dengan planing hull meluncur di sepanjang permukaan air dengan kecepatan tinggi dan akan naik di atas permukaan air dan akan menghempas permukaan air (seperti halnya dengan kapal berkecepatan sangat tinggi).

b. Semi-planing hull adalah lambung kapal yang mampu mencapai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lambung kapal displacement namun lebih rendah kecepatannya dibandingkan dengan lambung kapal planing hull. Artinya, kapal semi planing hull memiliki kecepatan berkisar antara tipe lambung planing hull dan displacement hull. Tipe semi-planing hull memberikan tumpangan yang nyaman dengan kecepatan yang tinggi. Kelebihan dari tipe lambung ini adalah sifat seakeeping mereka dan kemampuan untuk melampaui rasio panjang dengan kecepatan yang mungkin ingin anda pertimbangkan dari sudut pandang komersial. Bentuk lambung semiplaning digunakan pada trawler dan yacht. Lambung kapal ini menawarkan jarak tempuh yang unggul, memiliki jangkauan stabilitas positif dan tingkat bertahan tertinggi dalam kondisi laut yang sangat sulit.

c. Displacement hull sering digunakan untuk pelayaran dengan kecepatan relative rendah. Berat itu adalah prinsip displacement Archimedes dari kapal seperti yang kita semua ketahui ini adalah prinsip umum dari beberapa kapal yang secara harfiah menjadi tulang punggung perekonomian saat ini, displacement hull yang terlibat di kapal, yang bergerak di air dengan propulsi yang sangat kecil. Displacement hull ini membatasi kapal untuk menurunkan kecepatan. Kecepatan perpindahan maksimum ditentukan sebagai fungsi garis air. Bentuk round-bottomed adalah contoh dari displacement hull yang banyak digunakan pada kapal.

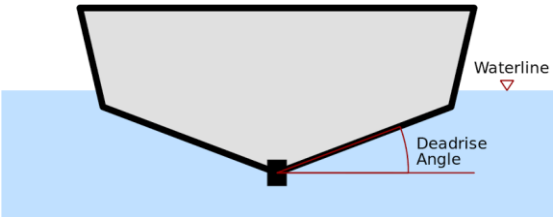


Gambar 2.2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull, planing hull, semi planing hull

Planning hull adalah jenis kapal yang dapat mengangkat kapal dengan meningkatkan komponen hydrostatic lift yang berarti pada kecepatan lebih rendah kapal bekerja seperti kapal displacement dan secara bertahap mulai "ploughing water" dengan meningkatkan kecepatan.

Kapal dengan planning hull meluncur di sepanjang permukaan air dengan kecepatan tinggi dan akan naik di atas permukaan air kemudian akan menghempas permukaan air. Lambung kapal tipe ini disesuaikan dengan sudut lambung pada saat pelayaran dengan kecepatan tinggi dan secara efektif lambung bagian bawah kapal mendukung tekanan air dinamis (dynamic water pressure). Luas penampang melintang pada lambung bagian bawah air dijaga secara tetap sepanjang setengah lambung kapal.

Kapal tipe lambung planning hull memiliki deadrise angle. Deadrise angle disebut juga rise of floor adalah besar sudut kemiringan alas terhadap garis dasar kapal apalabila kapal dilihat dari body plannya. Deadrise angle bertujuan untuk menguranggi tahanan pada model kapal. (Pranatal, 2020). Definisi deadrise angle dapat dilihat gambar 2.3



Gambar 2.3 Deadrise angle pada kapal planning hull

2.2 Karakteristik kapal cepat

Karakteristik high speed craft dipengaruhi Froude numbernya frounde number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk planing craft, luas bisang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal (Lawrence, 1985). Oleh karena itu, bilangan Froude number (FN) sering digunakan sebagai parameternya. (Fn) didefinisikan sebagai berikut:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g} x\ L}$$

Dimana:

Fn = Froude Number

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

L = Panjang kapal

FnV didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{FnV} = \frac{v}{\sqrt{g\ x\ \sqrt[3]{V}}}$$

Dimana :

v : Kecepatan kapal (m/s)

g : Percepatan gaya gravitasi (9.81 m/s^2)

V : Volume Kapal (m^3)

Bilangan Froude merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau kapal lambat. Penggolongan kapal menurut bilangan Froude:

a. Kapal lambat : kapal berlayar dengan Fn ≤ 0,20

b. Kapal sedang : jika 0,20 < Fn <0,35

c. Kapal cepat : Fn ≥ 0,35

2.3 Stepped hull

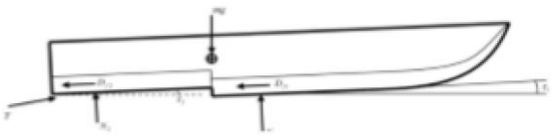
Stepped adalah bidang pada lambung yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air atau biasa disebut juga bentuk "V". Pada umumnya, stepped hull dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15 % yang diinginkan antara memakai stepped hull dengan yang tidak memakai stepped hull dengan power pada mesin yang sama Planing hull adalah perancangan bentuk lambung yang bertujuan untuk menambah kecepatan disini planning hull mempunyai bentuk V dengan menggunakan stepped hull untuk menambah gaya keatas sehingga mengurangi gesekan atara air dan lambung. Pada umumnya bentuk planning hull dioperasikan pada perairan yang tenang. Banyak mengira bahwa stepped hull mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep step hull ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung (Budiarto,2011)

Stepped hull adalah konfigurasi alternatif ke lambung planning kecepatan tinggi. Stepped hull memiliki diskontinuitas melintang terletak di beberapa titik di belakang pusat gravitasi kapal dan pusat tekanan. Lokasi membujur dari diskontinuitas transversal atau langkah adalah sangat penting untuk memahami prinsip-prinsip hidrodinamika planning hull. Lambung kapal bawah awalnya akan memotong permukaan air pada suatu titik. Untuk kapal dengan deadrise, gari stagnasi akan menyapu ke belakang sampai berpotongan dengan hard chine. (Garland, 2010)

Permukaan pengangkatan primer biasanya terletak di dekat pusat gravitasi kapal, biasanya tepat di depannya. Ketika kapal didesain, tekanan air pada bagian belakang lambung sangat rendah, yang memberikan kontribusi yang sangat kecil untuk pengangkatan lift. Namun, hal itu justru memberikan

kontribusi yang signifikan terhadap tahanan gesek, yang menguntungkan karena alasan yang jelas termasuk ekonomi bahan bakar yang buruk dan peningkatan kebutuhan daya (clement dan koelbel, 1992).

Meningkatnya kapal cepat meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, Desain dan analisis prosedur diperlukan untuk kapal berkecepatan yang tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, diperlukan untuk membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka mengurangi hambatan kapal. Stephull merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian midship kapal..Stephull atau transvers step atau step planing hull atau planing stepped hull merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya.



Gambar 1. Visualisasi *stephull*

Gambar 2.4 Visualisasi Kapal dengan Stepped

Sumber : Citra Eka, 2018

Gambar 2. Kapal planing dengan step melintang

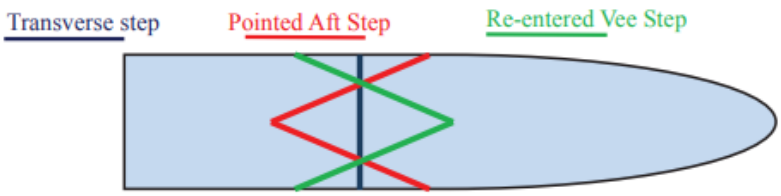
Gambar 2.5 Kapal dengan Stepped hull

Sumber : Citra Eka, 2018

Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga pembuatan kapal membutuhkan kritisasi efektifitas yang tinggi. Desain dan

analisis prosedur diperlukan untuk kapal kapal berkecepatan tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, diperlukan untuk membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka mengurangi hambatan kapal kapal. Step hull merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian midship kapal. Stepp hull atau transvers step atau step planning hull atau planning stepped hull merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping. Bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya. (Citra Eka, 2018)

Pada stepped dengan bentuk 2V sangat berpengaruh pada kapal karena pengurangan beberapa bagian dasar lambung menyebabkan pemisahan aliran dan akibatnya pengurangan dari daerah basah. tiga bentuk lambung step yang sama dapa dipertimbangkan dalam planning hull diidentifikasi sebagai Langkah melintang. Tinggi stepped dan posisi memanjang stepped juga merupakan factor penting yang mempengaruhi daerah basah. area yang dibasahi dari setiap bagian yang berbeda.



Gambar 2. 6 Berbagai bentuk stepped

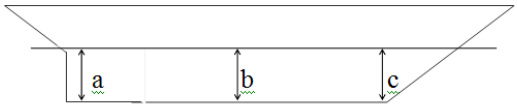
2.4 Trim

Trim adalah perbedaan antara *draft* depan dan *draft* belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Trim biasanya diukur dalam ukuran inci yang dinyatakan sebagai positif dan negatif. Trim terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *even keel*, *trim by the head*, dan *trim by the stern* (Hind, 1967)

Hasil positif menunjukkan terjadi trim buritan. Pada saat kapal dalam kondisi trim, displacemen dan kecepatan kapal tetap konstan, tidak ada penambahan ballast dan kapal tidak mengalami penambahan kecepatan meskipun hambatan berubah ketika kondisi trim (Larsen,dkk, 2012).

Secara umum terdapat tiga kondisi yang dapat dialami kapal, yaitu:

1. Evenkeel yaitu draft depan kapal sama dengan draft belakang kapal

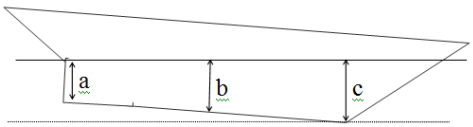


Gambar 2.7 Kapal Kondisi Even Keel

Sumber https://www.maritimeworld.web.id)

Gambar 2.7 menunjukkan kapal trim even keel yaitu *draft* depan sama dengan *draft* belakang (a = c) dimana b = (a + c) / 2 , hanya terjadi bilamana kapal tidak *hogging* atau *sagging*.

2. Trim Haluan yaitu draft belakang lebih kecil dari draft depan

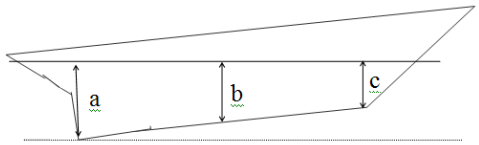


Gambar 2.8 Kapal Kondisi Trim by Head

Sumber https://www.maritimeworld.web.id)

Gambar 2.8 menunjukkan kapal *trim by Head* yaitu *draft* balakang lebih kecil dari *draft* depan (a tidak sama dengan c).

3. Trim buritan yaitu draft belakang lebih besar dari draft depan



Gambar 2.9 Kapal Kondisi Trim by Stern

Sumber https://www.maritimeworld.web.id)

Gambar 2.9 menunjukkan kapal *trim by stern* yaitu *draft* balakang lebih besar dari *draft* depan (a tidak sama dengan c).

Luas permukaan basah dihitung pada saat kapal dalam kondisi diam. Ketika kapal tersebut trim luas permukaan basah kapal akan berubah. Karena bentuk badan kapal yang lebih gemuk pada bagian buritan. Luas permukaan basah kapal pada saat trim buritan cenderung lebih besar dibandingkan denganluas permukaan basahpada saat kapal dalam kondisi even keel. Sebaliknya luas permukaan basah pada saat trim Haluan lebih kecil dibandingkan dengan luas permukaan basah pada saat kapal dalam kondisi even keel (Aria, 2017)

2.5 Tahanan kapal

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 karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika semata-mata disebabkan oleh pergerakan relatif kapal terhadap air.

Untuk mengatasi tahanan tersebut, 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.

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permuakaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan.

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

A. Tahanan gesek *(Friction resistance)*

Tahanan gesek 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 di lalulinya. Oleh semua fluida mempuyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (flow pattern). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan Viskos (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

a. Angka Renold (*Renold's number*, Rn)

$$Rn \quad \frac{V.L}{v} \tag{2}$$

Dimana :

V : Volume (m^3)

L : Panjang (m)

v : Kecepatan ($^{m}/_{s}$)

b. Koefisien gesek (*friction coefficient*, Cf)

$$Cf = \frac{0,75}{(\log Rn-2,0)^{2}} \tag{3}$$

(Merupakan formula dari ITTC)

B. Tahanan sisa *(Residual Resistance)*

Tahanan sisa didefenisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari;

a. Tahanan gelombang *(Wave Resistance)*

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

b. Tahanan udara *(Air Resistance)*

Tahanan udara diartikan debagai Tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (Superstrukture) karena gerakan kapal di udara. 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.

c. Tahanan bentuk *(Form Resistance)*

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.

d. Tahanan tambahan *(Added Resistance)*

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

1.) Tahanan anggota badan *(Appendages Resistance)*

Yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.

2.) Tahanan kekasaran

Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.

3.) Hambatan kemudi *(Steering Resistance)*

Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. (Arwini, 2018)

2.6 Autodesk Computational Fluida Dynamics (CFD)

Computational Fluida Dynamics (CFD) adalah perhitungan yang mengkhususnkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, perhitungan dengan CFD dapat dilakukan, secara sederhana proses perhitungan yang dilakukan oleh aplikasi oleh aplikasi CFD adalah dengan control perhitungan yang telah dilakukan maka control

perhitungan tersebut akan melibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain.

Pemakaian CFD ini sangat baik diterapkan untuk mencakup semua penggunaannya di dalam dunia industry diantaranya : Aerodinamika pada pesawat terbang dan kendaraan, menganalisa gaya angkat, pergerakan air yang dihasilkan oleh perahu, dll

Pengunaan CFD pada penelitian dimaksudkan untuk memvisualisasikan aliran fluida dan melihat tahanan yang dihasilkan oleh model kapal dengan bentuk lambung stepped hull.keunggulan/keuntungan Teknik analisis ini dibandingkan dengan perdekatan eksperimen dalam sebuah desain system fluida yaitu :

a) Reduksi substansial waktu dan biaya untuk desain baru
b) Kemampuan studi system yang tidak mampu dikontrol dengan eksperimen
c) Kemampuan studi system dalam kondisi berbahaya pada dan diluar batas kinerja normal
d) Detil hasil yang lebih banyak secara praktis

System analisis CFD tersusun dari beberpa algoritma numeric (disebut code), yang terbagi oleh 3 elemen sebagai berikut :

1. Pre-processor

   Merupakan Langkah pertama dalam membangun dan menganilisis sebuah model CFD. Tekniknya adalah membuat model dalam paket CAD (Computer Aided Design), membuat mesh yang cocok atau sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.
2. Solving

   Solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing
3. Post-processor

Adalah Langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada Langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi

Prosedur berikut terdapat pada semua pendekatan program CFD, yaitu (Tuakia, 2008) :

1. Pembuatan geometri dari model/problem
2. Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (meshing)
3. Pendefinisian model fisiknya, misalnya: persamaan-persamaan gerak + enyalpi+konservasi species (zat-zat yang kita definisikan, biasanya berupa komponen dari suatu reaktan)
4. Pendefinisian kondisi-kondisi batas, termasuk di dalamnya sifat-sifat dan perilaku dari batas-batas mode/problem. Untuk kasus transient, kondisi awal juga didefinikan
5. Persamaan-persamaan matematika yang membangun CFD diselesaikan secara iterative, bisa dalam kondisi tunak (steady state) atau transien
6. Analisis dan visualisasi dari solusi CFD