

**ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT
AKIBAT VARIASI DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN TRIM DAN
BENTUK LAMBUNG BERTANGGA**

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Oleh:

YUNANDA IKA RAMDHANI

D311 16 516

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

**ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT
AKIBAT VARIASI DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN TRIM DAN
BENTUK LAMBUNG BERTANGGA**

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Oleh:

YUNANDA IKA RAMDHANI

D311 16 516

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

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

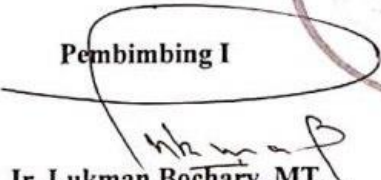
Analisis Pola Aliran Disepanjang Lambung Kapal Cepat Akibat Variasi Deadrise Angle, Perubahan Trim dan Bentuk Lambung Bertangga

Disusun Oleh :
Yunanda Ika Ramdhani
D31116516


Gowa, 18 April 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

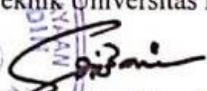

Ir. Lukman Bochary, MT.
Nip. 19561127 198803 1 001

Pembimbing II


Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng
Nip. 19490814 197903 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 : Yunanda Ika Ramdhani

NIM : D311 16 516

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT AIBAT VARIASI DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN TRIM DAN BENTUK LAMBUNG BERTANGGA”

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Februari 2022

menyatakan



Ika Ramdhani

ABSTRACT

Yunanda Ika Ramdhani / D311 16 516. **“THE ANALYSIS OF FLOW PATTERNS AROUND A HIGH-SPEED SHIP HULL DUE TO DEADRISE ANGLE VARIATIONS, CHANGES IN TRIM AND SHAPE OF THE BUTTON ”**. (Supervised by Ir. Lukman Bochary, M.T. and Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng)

High-speed ships have a higher speed than other regular ships because it is designed to minimize the resulting resistance allowing the ship's speed to be significantly optimized. The high demand for high-speed vessels has led to the development of various sophisticated hull designs, such as ships with a deadrise angle hull with variations in the Stepped shape, which is useful for increasing upward force and thus reducing friction between the water and the hull. One of the hull forms of the planning hull type is a ship with a deadrise angle hull. As a high-speed ship, this is a high-speed ship with a high level of efficiency. The stepped V, U, W and 2-U models with deadrise angles of 5°, 10°, and 15° and the same cross-sectional area were studied. The number of stepped hulls modelled is classified as one, two and three stepped hulls. Three hull conditions are assumed to be 3 grades of the slope, namely 1° aft trim, 2° aft trim, and 3° aft trim. The method used in this research is a numerical method that employs Maxsurf Modeller software to perform ship modelling and the Maxsurf Resistance software to carry out the process of analyzing ship resistance characteristics. The purpose of this research was to determine the characteristics of the ship's flow pattern and its suitability in various trim conditions. This research includes numerical analysis with the Maxsurf Modeler and Maxsurf Resistance Application Software. The results of this research show that the characteristics of the flow pattern formed around the ship's hull are strongly influenced by the deadrise angle and the shape of the tepped ship, even though the resulting ship resistance value is the same in all trim conditions.

Keywords: Planing Hull, Deadrise Angle, Stepped, Ship Trim, Resistance, Flow Pattern, Wyman Method

ABSTRAK

Yunanda Ika Ramdhani / D311 16 516. “ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT AKIBAT VARIASI DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN TRIM DAN BENTUK LAMBUNG BERTANGGA”. (Dibimbing oleh Ir. Lukman Bochari, M.T. dan Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng)

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat dirancang untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat optimal secara signifikan. Besarnya permintaan untuk kapal berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan variasi bentuk *Stepped* yang *berguna* untuk menambah gaya keatas sehingga mengurangi gesekan antara air dan lambung. Kapal dengan bentuk lambung *deadrise angle* adalah salah satu bentuk lambung dari jenis lambung *planing hull*. Kapal dengan tipe ini merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisien yang baik sebagai kapal cepat. Prinsip dasar dari penggunaan *Stepped* ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal. Desain bentuk *stepped* yang diteliti yaitu model *stepped V*, *U*, *W*, dan *2-U* dengan *deadrise angle* 5° , 10° dan 15° dan luas penampang yang sama. Jumlah dari *stepped* yang dimodelkan dikategorikan satu, dua dan tiga *stepped hull*. Tiga kondisi lambung diasumsikan menjadi 3 tingkatan kemiringan yaitu kondisi trim buritan 1° , trim buritan 2° , dan trim buritan 3° . Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode numerik dengan bantuan software *Maxsurf Modeller* untuk melakukan pemodelan kapal serta *Maxsurf Resistance* untuk melakukan proses analisis karakteristik tahanan kapal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik pola aliran kapal model kapal pada beberapa kondisi trim dan kesesuaiannya. Penelitian ini termasuk penelitian numerik dengan menggunakan Software Aplikasi *Maxsurf modeler* dan *Maxsurf Resistance*. Adapun dari penelitian ini dihasilkan bahwa karakteristik pola aliran yang terbentuk disekitar lambung kapal sangat dipengaruhi oleh *deadrise angle* dan bentuk *tepped* kapal, walaupun nilai tahanan kapal yang dihasilkan sama pada setiap kondisi trim.

Kata Kunci : Planing Hull, Deadrise Angle, Stepped, Trim Kapal, Tahanan, Pola Aliran, Metode Wyman

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr, Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul;

**“ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT
AKIBAT VARIASI DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN TRIM DAN
BENTUK LAMBUNG BERTANGGA”.**

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. Bapak Ir. Lukman Bochari, M.T. selaku pembimbing I dan Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Ibu Ir, Hj, Rosmani, MT. Dan bapak Farianto Fachruddin L., ST. MT., selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
4. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2016 terkhusus untuk saudara-saudara Cruizer.
5. Kepada Teknik09gank terima kasih sudah selalu ada dan memberikan banyak pengalaman berarti semasa kuliah.

6. Kepada teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini terkhusus (Ainun, Syaufi dan Dull).
7. 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.

Gowa, Januari 2022

YUNANDA IKA RAMDHANI

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
<i>1.1 Latar Belakang</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Rumusan Masalah</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Batasan Masalah</i>	<i>3</i>
<i>1.4 Tujuan Penelitian</i>	<i>3</i>
<i>1.5 Manfaat Penelitian</i>	<i>3</i>
<i>1.6 Sistematika Penulisan</i>	<i>4</i>
BAB II.....	v
LANDASAN TEORI	5
<i>2.1 Kapal Cepat (High Speed Craft).....</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Karakteristik Kapal Cepat</i>	<i>7</i>
<i>2.3 Lambung Bertangga (Stepped Hull)</i>	<i>9</i>
<i>2.4 Trim Kapal</i>	<i>11</i>
<i>2.5 Aliran Fluida.....</i>	<i>13</i>

2.6 Aliran Vortex.....	19
2.7 Maxsurf Pro	22
2.7.1 Maxsurf Modeler	22
2.7.2 Maxsurf Resistance.....	25
BAB III	27
METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.2 Jenis Penelitian.....	27
3.3 Metode Pengumpulan Data	27
3.4 Metode Pengolahan Data	28
3.4.1 Data Kapal	28
3.4.2 Pemodelan Kapal Cepat dengan Lambung deadrise angle dan lambung bertangga.....	30
3.4.3 Karakteristik Pola Aliran Model Kapal dengan Menggunakan Maxsurf Resistance	35
3.4.4 Penarikan Kesimpulan	39
3.5 Kerangka Pemikiran	39
BAB IV.....	40
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1. Desain Deadrise Angle dan Lambung Bertangga Pada Kapal	40
4.1.1 Desain Deadrise Angle Pada Lambung Melintang Kapal	40
4.1.2 Desain Lambung Bertangga Pada Kapal	44
4.2 Kondisi Trim	51
4.3 Karakteristik Pola Aliran Model Kapal	52
4.3.1 Deadrise Angle 5° Dengan Variasi Bentuk Lambung Bertangga	52
4.3.2 Deadrise Angle 10° Dengan Variasi Bentuk Lambung Bertangga	66
4.3.3 Deadrise Angle 15° Dengan Variasi Bentuk Lambung Bertangga	80

<i>4.4 Analisis Pola Aliran Kapal dengan Variasi Bentuk Stepped</i>	94
4.4.1 Stepped U dan V Deadrise Angle 5	94
4.4.2 Stepped U dan V Deadrise Angle 10	103
4.4.3 Stepped U dan V Deadrise Angle 15	112
4.4.4 Stepped 2-U dan 2-V	121
BAB IV	131
KESIMPULAN	131
5.1 Kesimpulan.....	131
5.2 Saran	131
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN	133

DAFTAR NOTASI

F_nV	= <i>Froude Number Volume</i>
C_w	= Koefisien Wyman
C_b	= Koefisien blok
Sl_r	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
P_c	= Koefisien propulsif
$\eta_{s\eta b}$	= Efisiensi poros dan baling - baling
η_{rr}	= Efisiensi relatif rotatif
η_o	= Efisiensi open water test
η_h	= Efisiensi lambung kapal
SHP	= Shaft Horse Power (HP)
DHP	= Delivery Horse Power (HP)
EHP	= Efficiency Horse Power (HP)
R_t	= Tahanan total (Kn)
L_r	= Skala model
L_m	= Panjang model (m)
L_p	= Panjang Kapal (m)
V_m	= Kecepatan model (m/s)
V_p	= Kecepatan Kapal (m/s)

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 Kapal penumpang cepat</i>	5
<i>Gambar 2.2 Deadrise angle pada kapal planing hull</i>	7
<i>Gambar 2.3 Visualisasi Kapal dengan lambung bertangga</i>	11
<i>Gambar 2.4 Kapal dengan Lambung bertangga</i>	11
<i>Gambar 2.5 Kapal Kondisi Even Keel.</i>	11
<i>Gambar 2.6 Kapal Kondisi Trim by Stern.</i>	12
<i>Gambar 2.7 Kapal Kondisi Trim by Head.</i>	12
<i>Gambar 2.8. Aliran streamline yang melintasi suatu body</i>	13
<i>Gambar 2.9 Contoh Aliran Fluida Sub-Marged</i>	16
<i>Gambar 2.10 Aliran Laminer</i>	17
<i>Gambar 2.11 Aliran Transisi</i>	18
<i>Gambar 2.12 Aliran Turbulen</i>	18
<i>Gambar 2.13 : Skema terbentuknya lapisan geser (sheer layer)</i>	19
<i>Gambar 2.14 : Skema mekanisme pelepasan vortex pada sebuah silinder dalam aliran stedy</i>	21
<i>Gambar 2.15 : Sistem koordinat 3D model maxsurf</i>	23
<i>Gambar 3.1 Gambar 3D (dimensi) kapal ferry cepat</i>	29
<i>Gambar 3.2 Bodyplan kapal</i>	29
<i>Gambar 3.3 Body plan kapal dengan variasi Deadrise Angle</i>	30
<i>Gambar 3.4 Sketsa peletakan stepped kapal</i>	31

<i>Gambar 3.5 Desain kapal berbentuk deadrise angle 5° tanpa menggunakan lambung bertangga</i>	<i>32</i>
<i>Gambar 3.6 Tampilan awal penambahan stepped pada kapal berbentuk deadrise angle 5°</i>	<i>32</i>
<i>Gambar 3.7 Tampak bawah penampang 1 stepped pada kapal berbentuk deadrise angle 5°</i>	<i>33</i>
<i>Gambar 3.8 Tampak samping kapal berbentuk deadrise angle 5° dengan penampang 1 stepped</i>	<i>33</i>
<i>Gambar 3.9 Proses Trimming pada surface yang saling berpotongan</i>	<i>34</i>
<i>Gambar 3.10 Tampak kapal berbentuk lambung deadrise angle 5° dengan 1 stepped bentuk V</i>	<i>35</i>
<i>Gambar 3.11 Tampilan awal Maxsurf Resistance</i>	<i>35</i>
<i>Gambar 3.11 Tampilan pemilihan surface</i>	<i>36</i>
<i>Gambar 3.6 Pemilihan Metode Wyman</i>	<i>36</i>
<i>Gambar 3.7 Pemilihan kecepatan model kapal</i>	<i>37</i>
<i>Gambar 3.8 Pemilihan efficiency model kapal</i>	<i>37</i>
<i>Gambar 3.9 Merunning model kapal</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 3.10 Karakteristik pola aliran yang terbentuk</i>	<i>38</i>
<i>Gambar 4.1 Linesplan kapal pada autocad hasil import ke dxf</i>	<i>40</i>
<i>Gambar 4.2 Pemodelan 3 dimensi kapal penumpang cepat SS 44</i>	<i>41</i>
<i>Gambar 4.3 Lines plan desain kapal dengan lambung deadrise angle 5°</i>	<i>41</i>
<i>Gambar 4.4 Deasin kapal dengan lambung Deadrise Angle 5°</i>	<i>41</i>

<i>Gambar 4.5 Lines plan desain kapal dengan lambung deadrise angle 10°</i>	42
<i>Gambar 4.6 Deasin kapal dengan lambung Deadrise Angle 10°</i>	42
<i>Gambar 4.7 Lines plan desain kapal dengan lambung deadrise angle 15°</i>	42
<i>Gambar 4.8 Deasin kapal dengan lambung Deadrise Angle 15°</i>	43
<i>Gambar 4.9 Desain model kapal 1 Stepped dengan sudut deadrise 5°</i>	44
<i>Gambar 4.10 Desain model kapal 2 Stepped dengan sudut deadrise 5°</i>	45
<i>Gambar 4.11 Desain model kapal 3 Stepped dengan sudut deadrise 5°</i>	45
<i>Gambar 4.12 Desain model kapal 1 Stepped dengan sudut deadrise 10°</i>	46
<i>Gambar 4.13 Desain model kapal 2 Stepped dengan sudut deadrise 10°</i>	47
<i>Gambar 4.14 Desain model kapal 3 Stepped dengan sudut deadrise 10°</i>	48
<i>Gambar 4.15 Desain model kapal 1 Stepped dengan sudut deadrise 15°</i>	48
<i>Gambar 4.16 Desain model kapal 2 Stepped dengan sudut deadrise 15°</i>	49
<i>Gambar 4.17 Desain model kapal 3 Stepped dengan sudut deadrise 15°</i>	50
<i>Gambar 4.18 Kondisi kapal 1 stepped saat trim buritan</i>	50
<i>Gambar 4.19 Kondisi kapal 2 stepped saat trim buritan</i>	50
<i>Gambar 4.20 Kondisi kapal 3 stepped saat trim buritan</i>	50
<i>Gambar 4.21 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	52
<i>Gambar 4.22 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	54
<i>Gambar 4.23 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 3 stepped saat</i>	

<i>kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>56</i>
<i>Gambar 4.24 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>58</i>
<i>Gambar 4.25 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>59</i>
<i>Gambar 4.26 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>61</i>
<i>Gambar 4.27 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>63</i>
<i>Gambar 4.28 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 5° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat</i>	<i>65</i>
<i>Gambar 4.29 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>67</i>
<i>Gambar 4.30 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>68</i>
<i>Gambar 4.31 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>70</i>
<i>Gambar 4.32 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>72</i>
<i>Gambar 4.33 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>74</i>
<i>Gambar 4.34 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>75</i>
<i>Gambar 4.35 Karasteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	<i>77</i>

<i>Gambar 4.36 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 10° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	79
<i>Gambar 4.37 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	81
<i>Gambar 4.38 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	82
<i>Gambar 4.39 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	84
<i>Gambar 4.40 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	86
<i>Gambar 4.41 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 2 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	88
<i>Gambar 4.42 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	89
<i>Gambar 4.43 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 1 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	91
<i>Gambar 4.44 Karakteristik pola aliran kapal Deadrise angle 15° 3 stepped saat kondisi trim buritan 1,2 dan 3 derajat.....</i>	93
<i>Gambar 4.45 a. Model Kapal 1 Stepped V, b. Model Kapal 1 Stepped U</i>	94
<i>Gambar 4.46 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V</i>	95
<i>Gambar 4.47 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V</i>	96
<i>Gambar 4.48 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	97
<i>Gambar 4.49 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	98
<i>Gambar 4.50 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	99

<i>Gambar 4.51 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>100</i>
<i>Gambar 4.52 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>101</i>
<i>Gambar 4.53 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>102</i>
<i>Gambar 4.54 a. Model Kapal 1 Stepped V, b. Model Kapal 1 Stepped U</i>	<i>103</i>
<i>Gambar 4.55 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V</i>	<i>104</i>
<i>Gambar 4.56 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V</i>	<i>105</i>
<i>Gambar 4.57 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>106</i>
<i>Gambar 4.57 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>107</i>
<i>Gambar 4.58 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>108</i>
<i>Gambar 4.59 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>109</i>
<i>Gambar 4.60 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>110</i>
<i>Gambar 4.62 a. Model Kapal 1 Stepped V, b. Model Kapal 1 Stepped U</i>	<i>112</i>
<i>Gambar 4.63 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V.....</i>	<i>113</i>
<i>Gambar 4.64 a. Model Kapal 1 Stepped U, b. Model Kapal 1 Stepped V.....</i>	<i>114</i>
<i>Gambar 4.65 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>115</i>
<i>Gambar 4.66 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>116</i>
<i>Gambar 4.67 a. Model Kapal 2 Stepped U, b. Model Kapal 2 Stepped V</i>	<i>117</i>
<i>Gambar 4.68 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>118</i>
<i>Gambar 4.69 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>119</i>
<i>Gambar 4.70 a. Model Kapal 3 Stepped U, b. Model Kapal 3 Stepped V</i>	<i>120</i>

Gambar 4.72 a. Model Kapal 1 Stepped 2-U, b. Model Kapal 1 Stepped 2-V ..121

Gambar 4.73 a. Model Kapal 1 Stepped 2-U, b. Model Kapal 1 Stepped 2-V . 122

Gambar 4.74 a. Model Kapal 1 Stepped 2-U, b. Model Kapal 1 Stepped 2- .. 123

Gambar 4.75 a. Model Kapal 2 Stepped 2-U, b. Model Kapal 2 Stepped 2-V . 124

Gambar 4.76 a. Model Kapal 2 Stepped 2-U, b. Model Kapal 2 Stepped 2-V . 125

Gambar 4.77 a. Model Kapal 2 Stepped 2-U, b. Model Kapal 2 Stepped 2-V.. 126

Gambar 4.78 a. Model Kapal 3 Stepped 2-U, b. Model Kapal 3 Stepped 2-V.. 127

Gambar 4.79 a. Model Kapal 3 Stepped 2-U, b. Model Kapal 3 Stepped 2-V.. 128

Gambar 4.80 a. Model Kapal 3 Stepped 2-U, b. Model Kapal 3 Stepped 2-V.. 129

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara maritim terbesar di dunia. Hampir dua per tiga wilayah Indonesia terdiri dari laut dan sisanya adalah pulau. Sehingga Indonesia menyandang predikat Negara Maritim atau Negara Kepulauan. Sifat maritim itu sendiri lebih mengarah pada terwujudnya aktifitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploritasi, pelayaran, pengangkutan barang, penelitian ekosistem laut, dan penyebrangan. Maka sangat diperlukan alat transportasi jalur laut yang memadai, yaitu kapal.

Kapal berkecepatan tinggi banyak digunakan diberbagai kebutuhan. Karakter kecepatan tinggi ini telah membuatnya menjadi populer untuk kepentingan pemerintahan, aplikasi militer, pariwisata, maupun rekreasi. Peningkatan permintaan untuk kendaraan laut berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal planing hull yang biasa digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi. Banyak penelitian tentang kapal planing hull, salah satu nya yaitu sebagian besar beratnya di dukung oleh tekanan hidrodinamik saat melaju dengan kecepatan tinggi dan kecepatannya mempengaruhi drag dengan energi yang diberikan oleh mesin kapal.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat dirancang untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat optimal secara signifikan. Besarnya permintaan untuk kapal berkecepatan tinggi telah menyebabkan perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya kapal berbentuk lambung *deadrise angle* dengan variasi bentuk *Stepped* yang *berguna* untuk menambah gaya keatas sehingga mengurangi gesekan antara air dan lambung.

Kapal dengan bentuk lambung deadrise angle adalah salah satu bentuk lambung dari jenis lambung *planing hull*. Kapal dengan tipe ini merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisien yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). Dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka jumlah tahanan air yang ditanggung juga kecil (D. Savitsky, 1964).

Prinsip dasar dari penggunaan *Stepped* ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi dibawah badan kapal, dan akan menambah daya tekan keatas kapal (*lifting force*), sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi dengan demikian maka akan menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih kecil serta bahan bakar yang lebih sedikit (*Sandiary dkk, 2019*).

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian serupa dengan memodifikasi model lambung kapal menjadi kapal cepat menggunakan lambung deadrise angle dengan berbagai variasi bentuk *Stepped* dengan judul penelitian: **“ANALISIS POLA ALIRAN DISEPANJANG LAMBUNG KAPAL CEPAT AKIBAT DEADRISE ANGLE, PERUBAHAN AIR CAVITY DAN BERBAGAI BENTUK LAMBUNG BERTANGGA ”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik bentuk pola aliran dengan berbagai bentuk lambung bertangga *deadrise angle*?
2. Bagaimana pengaruh kondisi trim buritan, kecepatan dan jumlah stepped terhadap pola aliran di sekitar lambung kapal?

1.3 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah untuk melakukan studi eksperimen ini batasan masalahnya adalah :

1. Tipe kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah Kapal ferry cepat.
2. Variasi deadrise angle yang digunakan adalah 5° , 10° , dan 15° .
3. Variasi jumlah lambung bertangga yang digunakan adalah lambung bertangga 1, lambung bertangga 2, dan lambung bertangga 3.
4. Bentuk lambung bertangga yang digunakan adalah bentuk 2-U, bentuk 2-V, bentuk U, dan bentuk V.
5. Prediksi pola aliran disepanjang kapal *planning hull* dilakukan dengan software maxsurf.
6. Trim buritan disimulasikan dalam 3 kondisi, yakni trim 1 derajat, 2 derajat, 3 derajat.
7. Kecepatan dan kondisi trim yang digunakan berdasarkan hasil pengujian.
8. Dilakukan pada kondisi air tenang.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana karakteristik pola aliran kapal berdasarkan nilai tahanan.
2. Mengetahui bagaimana perubahan pola aliran disekitar lambung kapal bertangga dengan berbagai bentuk U, V, 2-U dan 2-V yang terjadi pada setiap kondisi trim buritan 1° , 2° dan 3° .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi disepanjang lambung kapal berdasarkan analisis maxurf.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I: Pendahuluan

Dalam bab ini mengemukakan tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan Latar belakang judul penelitian yang kemudian diturunkan pada Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB II: Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan dengan singkat tentang teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini.

BAB III: Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dikemukakan mengenai lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik pengolahan data, serta kerangka pikir penelitian.

BAB IV: Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan 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-saran yang direkomendasikan penulis terkait tentang penelitian ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kapal Cepat (High Speed Craft)

Kapal cepat atau dalam bahasa Inggrisnya disebut *high speed craft* merupakan kapal yang dirancang untuk memiliki kecepatan tinggi untuk tujuan komersial. Kapal cepat pertama yang dibangun adalah jenis *hydrofoils* atau *hovercraft*, tetapi pada tahun 1990-an jenis kapal cepat katamaran dan monohull menjadi lebih populer. Kebanyakan kapal berkecepatan tinggi berfungsi sebagai kapal feri penumpang, tetapi untuk jenis katamaran dan monohull yang terbesar juga membawa mobil, bus, truk besar, dan lain-lain (*Wikipedia.org*).



Sumber : <https://www.balitoursclub.net/jadwal-speed-boat-dari-sanur-bali-kenusa-penida/>

Gambar 2.1 Kapal penumpang cepat

Menurut *J. Lawrence* (1985), dalam jurnal yang ditulis oleh Rosmani (2013), dalam perencanaan kapal cepat kita harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Dapat mempertahankan tahanan kapal yang rendah
- b. Dapat meminimalkan dampak gelombang yang dihasilkan
- c. Tidak terjadi propoising

d. Dapat mentransmisikan daya secara sempurna melalui system propulsi kapal.

Karakter kecepatan tinggi ini telah membuatnya menjadi populer sehingga menyebabkan banyaknya perkembangan beberapa bentuk desain lambung yang canggih, misalnya tipe lambung *planing hull* yang biasanya digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi yang mana sebagian besar beratnya didukung oleh tekanan hidrodinamik saat melaju dengan kecepatan tinggi (Zubaer dkk, 2018).

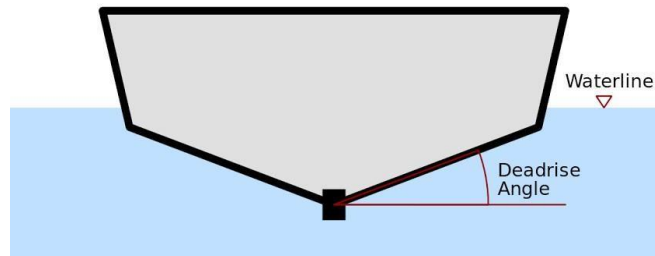
A. Haris Muhammad (2009), dalam jurnal yang ditulis oleh Rosmani (2013), menyatakan Penelitian awal hidrodinamika kapal tipe planing hull telah dimulai di Amerika Serikat (AS) sejak puluhan tahun yang lalu. Penelitian ini awalnya bertujuan untuk merencanakan sebuah aircraft (flying boat) dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan teknologi, konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan *planing hull*. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe planing hull dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.

Planing 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 *Planing 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 *planing hull* memiliki *deadrise angle*. *Deadrise angle* adalah besar sudut kemiringan pelat dasar kapal terhadap sumbu horizontal.

Definisi deadrise angle dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Deadrise angle pada kapal planing hull

2.2 Karakteristik Kapal Cepat

Menurut *J. Lawrence* (1985), dalam jurnal yang ditulis oleh Rosmani (2013), mengatakan karakteristik high speed craft dipengaruhi Froude numbernya. Froude number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk landing craft, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Froude number (F_n) sering digunakan sebagai parameternya.

Froude number (F_n) didefinisikan sebagai berikut:

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

F_n = Froude Number V_s = Kecepatan (m/s) g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81 m/s²)

L = Panjang kapal (m)

Froude number Volume (F_nV) didefinisikan sebagai berikut:

$$F_nV = \frac{V_s}{\sqrt{g \times V^{1/3}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$F_n V$ = Froude Number Volume V_s = Kecepatan (m/s) g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81m/s^2)

V = Volume kapal (m^3)

Secara umum, high speed craft membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena resistance kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal. Sehingga daya dorong yang dibutuhkan adalah:

$$P = R \cdot V \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P = k \cdot V^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan demikian mengandakan daya yang terpassang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua ialah dengan mencoba meningkatkan kecepatan pada kondisi rough water.

Dimana 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 $F_n \leq 0,20$

$$\text{Hambatan gelombang } (R_w) = 0$$

- b. Kapal sedang : jika $0,20 < F_n < 0,35$

$$\text{Hambatan gesek } (R_f) = 70-75\% R_t$$

$$\text{Hambatan gelombang } (R_w) = 25-30\% R_t$$

- c. Kapal cepat : $F_n \geq 0,35$

$$\text{Hambatan gelombang} = 50\% R_t$$

2.3 Lambung Bertangga (Stepped Hull)

Lambung bertangga merupakan modifikasi bentuk lambung berupa tangga melintang yang ditempatkan pada bawah lambung kapal. Penggunaan lambung bertangga dapat mengurangi sudut trim sehingga stabilitas lebih stabil, dan memperkecil luas permukaan basah yang dapat mengurangi nilai hambatan pada kapal cepat. Pada umumnya, penggunaan lambung bertangga dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% yang diinginkan antara memakai lambung bertangga dengan tidak memakai lambung bertangga dengan power mesin yang sama.

Suatu alasan mengapa *Lambung bertangga* lebih efektif adalah area/bagian yang tercelup air bisa dibagi beberapa beam dibandingkan dengan panjang kapal, lebar (*high-aspect*) permukaan lebih efisien, rendah (*low-aspect*) pada saat kondisi gesekan terhadap air. Jadi, dibalik sebuah ide tentang Lambung bertangga adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa *Lambung bertangga* mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep lambung bertangga ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung.

(Budiarto,2011).

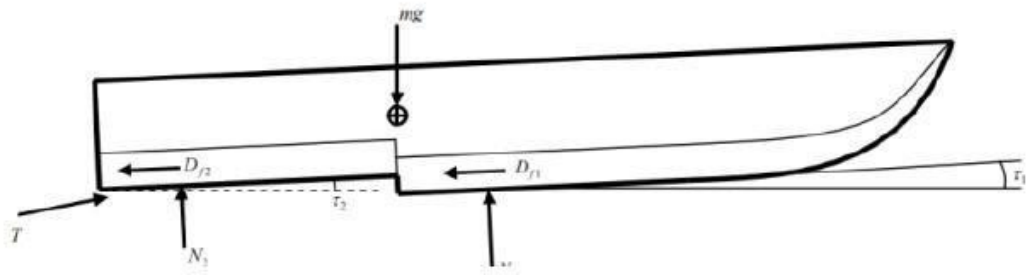
Lambung bertangga atau *stepped Hull* adalah sebuah alternatif untuk lambung kapal planning atau bentuk kapal berkecepatan tinggi. Lambung bertangga memiliki diskontinuitas melintang yang terletak di beberapa titik di belakang pusat grafitasi dan titik tekan kapal. Lokasi longitudinal dari diskontinuitas melintang ini sangat penting. Untuk mengetahui alasan dalam mendesain bentuk tangga ini, kita harus mengetahui prinsip-prinsip hidrodinamika dari bentuk lambung planing ini.

Ketika kapal mulai terangkat, dasar lambung awalnya akan memotong permukaan air pada titik yang disebut titik stagnasi. Untuk kapal dengan deadrise, garis stagnasi akan disapu kembali sampai memotong chine keras di kedua sisi, pada titik dimana aliran akan terpisah. Wilayah di belakang garis

stagnasi ini adalah bagian dari lambung bawah yang memberikan presentase yang sangat besar dari pengangkatan yang diperlukan karena tekanan dinamis besar sedang dikembangkan.

Jika diskontinuitas melintang, atau stepped, dari kedalaman yang memadai diletakkan di dasar lambung pada lokasi yang tepat dengan kondisi kecepatan yang tinggi, air yang mengalir disepanjang lambung kapal akan terpisah dari forebody pada stepped. Ini akan meninggalkan beberapa jumlah afterbody (bagian lambung belakang stepped) tidak tersetel asalkan dapat berventilasi memadai (akan dijelaskan kemudian). Air yang telah terpisah oleh stepped akan mengikuti profil permukaan bebas dan dapat menempel kembali ke afterbody. Kombinasi dari lift pada forebody harus dapat mendukung perpindahan kapal. Seperti yang telah dibahas, forebody lift, atau lift yang diselesaikan di pusat tekanan kapal, terhitung kasar 90% dari lift yang dibutuhkan. Oleh karena itu, afterbody harus dapat memberikan 10% sisa lift agar kapal menjadi stabil secara vertikal dan sekitar sumbu longitudinal melalui pusat gravitasi kapal. (Garland, 2010).

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 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. Stephull atau transvers step atau step planing hull atau planing lambung bertangga merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya. (Febrian dkk, 2018)



Sumber: (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018, Hal 151)

Gambar 2.3 Visualisasi Kapal dengan lambung bertangga

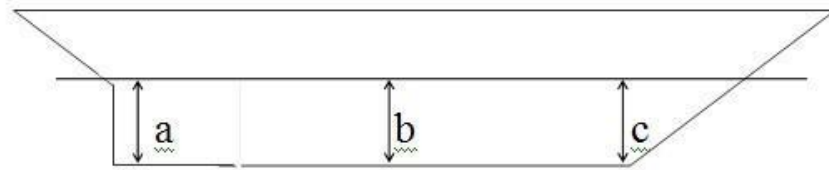


Sumber: (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018, Hal 151)

Gambar 2.4 Kapal dengan Lambung bertangga

2.4 Trim Kapal

Hind (1967) menyatakan bahwa 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*.

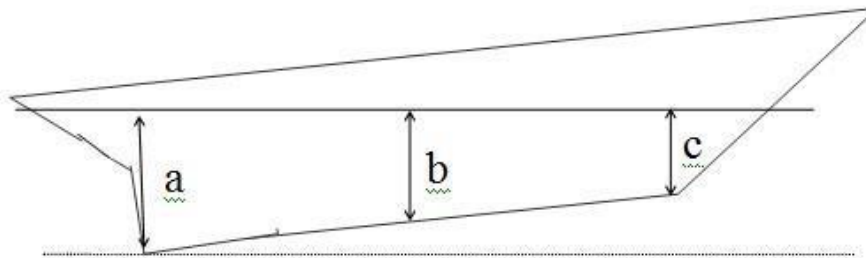


Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.5 Kapal Kondisi Even Keel.

Gambar 2.5 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*.

Gambar II

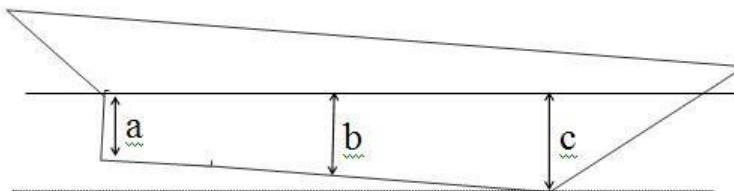


Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.6 Kapal Kondisi Trim by Stern.

Gambar 2.6 menunjukkan kapal *trim by stern* yaitu *draft* balakang lebih besar dari *draft* depan (a tidak sama dengan c).

Gambar III



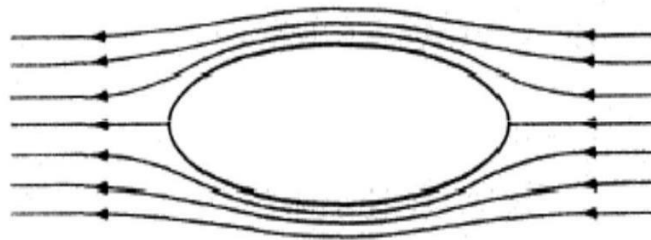
Sumber (<http://www.maritimeworld.web.id>).

Gambar 2.7 Kapal Kondisi Trim by Head.

Gambar 2.7 menunjukkan kapal *trim by Head* yaitu *draft* balakang lebih kecil dari *draft* depan (a tidak sama dengan c).

2.5 Aliran Fluida

Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.7*



Sumber : (Sumber : Suryo W. Adji,2009)

Gambar 2.8. Aliran streamline yang melintasi suatu body

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massa-nya didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar, maka dapat di formulasikan sebagai berikut. (Suryo W. Adji, 2009)

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.1)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositanya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakan pada sistem fluida *non-viscous* tersebut, maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*) meskipun fluida tersebut dilalui oleh gerakan body, maka kondisi fluida terebut kembali ke

bentuk awalnya setelah dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya – gaya lokal yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya - gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh bodi. Gaya - gaya lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (Suryo W. Adji, 2009).

Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter - parameter nondimensional. Dimana angka tersebut dapat meng-karakteristikan aliran dan gaya-gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat-sifat fluidanya. Sifat-sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ρ], Viskositas [μ], Tekanan Statis Fluida [p]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [R], Kecepatan adalah [V], dan Panjang adalah [L], maka Tahanan kapal dalam analisa dimensional dapat diformulsikan sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$R = \frac{R=f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f]}{15} \quad (2.2)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi formulasi tersebut diatas, masih dapat diekspresikan ke bentuk *fundamental dimensions*; Dimensi Waktu [T], Dimensi Massa [M], dan Dimensi Panjang [L]. Sebagai contoh Tahanan Kapal

[R] adalah gaya, sehingga memiliki dimensi fundamental

[MLT^{-2}] dan Massa Jenis [ρ] memiliki dimensi [ML^{-3}], dan sebagainya, maka dengan men- substitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamentalnya, diperoleh hubungan (Suryo W. Adji, 2009). :

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[\left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{M}{L^3} \right)^c \left(\frac{M}{LT} \right)^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e \left(\frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \quad (2.3)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental, yakni persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkat yang diketahui dan yang lainnya dengan angka pangkat yang tidak diketahui. Untuk persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkatnya tidak

diketahui, maka dapat digolongkan menjadi tiga ekspresi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009).

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^b, \left(\frac{gL}{V^2} \right)^b, \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^b \right] \quad (2.4)$$

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

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^b, f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^b, f_{31} \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^b \right] \quad (2.5)$$

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

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2} V L \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (2.6)$$

Dari ketiga rasio tersebut diatas, diperoleh, *Resistance Coefficient* (C_T), *Reynold Number* (Re), *Froude number* (Fn). Sedangkan rasio yang keempat adalah mempunyai relasi terhadap Kavitasi. Pada topik Tahanan Kapal, yang paling sering digunakan adalah angka Re dan Fn (Suryo W. Adji, 2009).

Rasio μ/ρ adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi ν . Jika L^2 pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama tersebut adalah merupakan luasan basah dari bodi, yang dinotasikan dengan S , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho V^2} = f \left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (2.7)$$

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

$$R = \frac{1}{2} \rho C_T V^2 S \quad (2.8)$$

Dimana C_T adalah koefisien Tahanan Kapal total yang merupakan fungsi dari Re dan Fn , secara sistematis diformulasikan sebagai berikut (Suryo W. Adji,

2009)

$$C_d \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (2.9)$$

Dimana :

C_d = coefficient of drag

F_d = drag force (N)

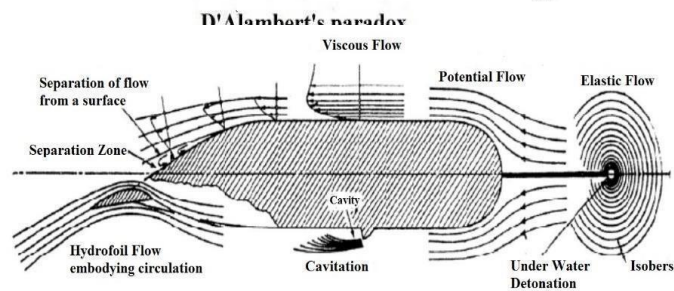
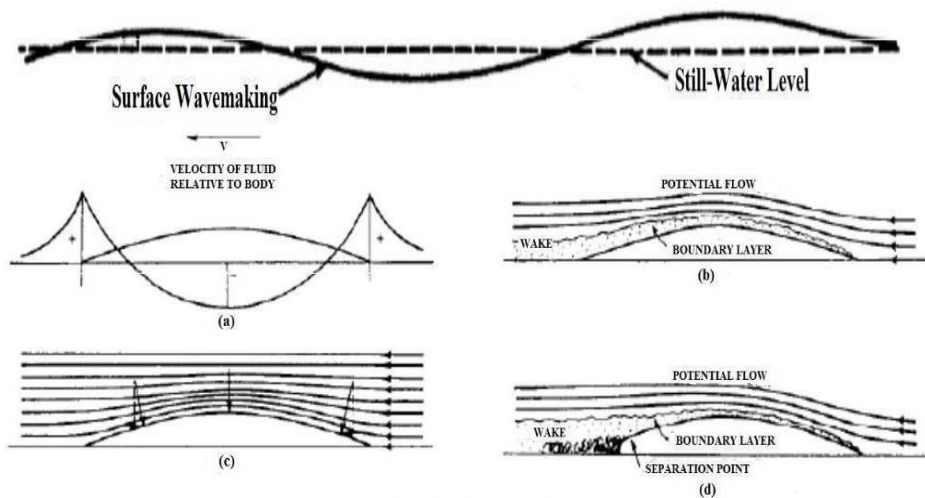
ρ = density of fluid (1025 kg/m^3)

v = velocity relative to fluid

(m/s) A = cross sectional area

(m^2)

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



Sumber : (Suryo W. Adji, 2009)

Gambar 2.9 Contoh Aliran Fluida Sub-Marged

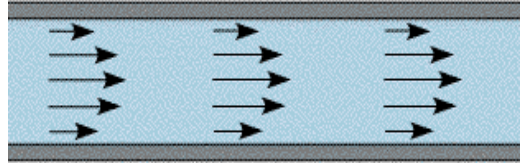
Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah *skin friction* yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar dan turbulen. *Skin friction* memiliki nilai proposional dengan besar luasan basah. *Skin friction drag* pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen atau campuran antara keduanya (Sardjadi, 2003).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan Reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai Reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini dikenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi, 2003).

1. Aliran laminar ($Re < 2300$)

Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran

air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji,2015).

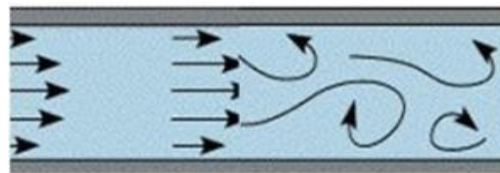


Sumber : (Senoaji,2015).

Gambar 2.10 Aliran Laminer

2. Aliran transisi ($2300 > Re > 4000$)

Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).

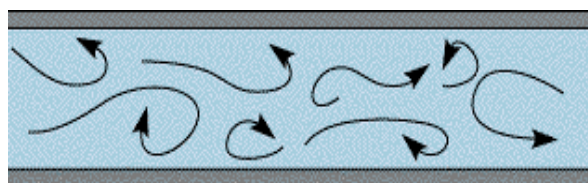


Sumber : (Senoaji,2015).

Gambar 2.11 Aliran Transisi

3. Aliran turbulen ($Re > 4000$)

Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen



yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji,2015).

Sumber : (Senoaji,2015).

Gambar 2.12 Aliran Turbulen

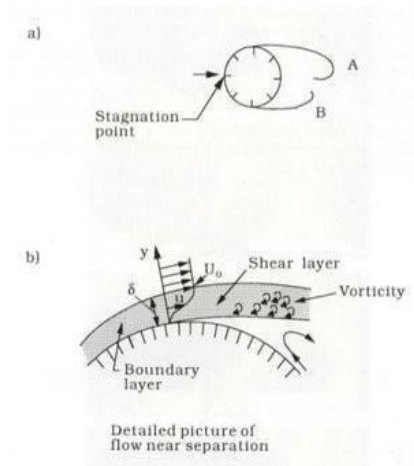
2.6 Aliran Vortex

Bila suatu medan aliran fluida (air atau udara, misalnya) terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stasionernya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya. Misalkan pada kasus sebuah silinder yang berada dalam aliran steady, maka akan terjadilah suatu pola aliran tertentu di sekeliling permukaan silinder tersebut. Ternyata, pola aliran ini salah satunya tergantung pada suatu parameter yang disebut Angka Reynolds (Reynolds number), Re . Parameter aliran fluida ini didefinisikan dengan (Rudi W.

Prastinto, 2006):

$$Re = \frac{D \cdot U}{\mu} \quad (2.10)$$

Dimana, D adalah diameter silinder, U adalah kecepatan aliran fluida datangnya dan μ menyatakan viskositas kinematis fluida. Berdasarkan banyak percobaan visualisasi aliran yang telah dilakukan, nilai Re inilah yang akan menentukan bagaimana bentuk pola aliran yang akan terjadi. Beberapa di antaranya misalnya, bila nilai $Re < 5$, maka yang terjadi adalah pola aliran yang mulus, tanpa terjadi pusaran- pusaran lokal fluida (*vortex*) dan tidak terjadi pula pemisahan aliran pada saat aliran sudah melewati silinder (*creeping flow*). Selanjutnya bila kecepatan aliran dinaikkan, yang berarti nilai Re makin bertambah besar, misalnya untuk rentang $5 < Re < 40$, maka akan mulai terbentuk vortek. Dalam rentang nilai Re ini akan terbentuk sepasang vortek simetris di belakang silinder yang berputar stasioner tanpa terpecah selama rentang nilai Re tidak berubah (Rudi W. Prastinto, 2006).



Sumber : (Rusi W. Prastinto, 2006)

Gambar 2.13 : Skema terbentuknya lapisan geser (*sheer layer*)

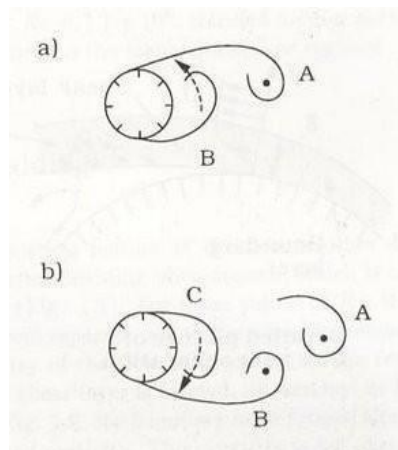
Namun ketika nilai Re ini terus dinaikkan, maka medan aliran makin menjadi tidak stabil, yang mana lambat-laun formasi vortek yang terbentuk mulai berantakan dengan pola-pola yang tertentu. Maka pada saat itulah akan timbul suatu fenomena yang dinamakan Pelepasan Vortek (*Vortex Shedding*), yang mulai terjadi pada saat nilai $Re > 40$. Fenomena ini adalah terlepasnya vortek secara bolak-balik di sisi-sisi silinder dengan pola dan frekuensi tertentu. Pola pelepasan vortek ini pun secara lebih detil akan memiliki bentuk tertentu sesuai dengan rentang angka Re -nya (Rudi W. Prastinto, 2006).

Fenomena pelepasan vortek ini memang biasa terjadi pada hampir semua jenis aliran fluida yang memiliki nilai angka $Re > 40$. Pada nilai Re ini, lapisan batas (*boundary layer*) di sekeliling permukaan silinder akan memisah akibat adanya gradien tekanan balik dari geometri yang divergen dari aliran di sekitar sisi belakang silinder. Akibatnya terbentuklah suatu lapisan geser (Rudi W. Prastinto, 2006).

Secara sederhana pelepasan *vortex*, yakni jika $Re > 40$, maka pasangan vortices yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan/usikan kecil, sehingga salah satu vortek akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya

(lihat gambar sket terjadinya *vortex shedding*). *Vorticity* dalam Vortek A berputar searah jarum jam (CW), sedangkan *vorticity* dalam Vortek B berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Selanjutnya gerakan aliran *vorticity* yang CCW akan memotong aliran *vorticity* yang mensuplay Vortek A, sehingga Vortek A terlepas lalu menjadi vortek bebas dan akhirnya terseret aliran ke arah belakang/menjauhi silinder (Rudi W. Prastinto, 2006).

Setelah vortek A terlepas, terbentuklah vortek baru menggantikan vortek A yaitu Vortek C. Maka selanjutnya, Vortek B akan mengalami hal yang sama dengan Vortek A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh Vortek C dan akhirnya terlepas menjadi vortek bebas. Proses seperti ini akan berlangsung terus menerus setiap terjadi pelepasan vortek baru pada setiap sisi silinder seperti gambar dibawah ini (Rudi W. Prastinto,



2006).

Sumber : (Rusi W. Prastinto, 2006)

Gambar 2.14 : Skema mekanisme pelepasan vortex pada sebuah silinder dalam aliran stedy

2.7 Maxsurf Pro

Bentley maxsurf adalah program komputer yang dikembangkan oleh FormSys (Formating Design System), dibawah naungan Bentley sejak tahun 2011, yang merupakan pengembangan dari beberapa program komputer yaitu SCAS, Maxsurf dan Moses.

Maxsurf adalah program aplikasi spesialis dalam bidang arsitektur laut dan galangan kapal, teknik lepas pantai dan rekayasa struktur. Program ini dapat memvisualisasikan, dan mengoptimalkan desain kapal dengan pengaturan lengkap yang telah di integrasikan.

Maxsurf terdiri dari beberapa sub-program aplikasi, yaitu:

1. Maxsurf modeler
2. Maxsurf motion
3. Maxsurf resistance
4. Maxsurf stability
5. Maxsurf structure
6. Maxsurf fitting
7. Maxsurf link
8. Masurf vpp

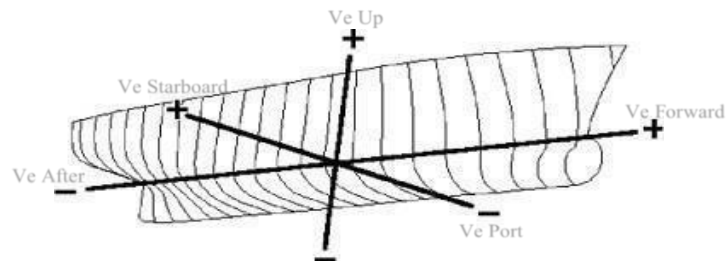
Beberapa fungsi pada program aplikasi ini seperti membuat bentuk lambung yang seimbang, sesuai dengan persyaratan stabilitas, tahanan kapal, *seakeeping* dan kekuatan kapal.

2.7.1 Maxsurf Modeler

Terdapat beberapa dasar pengaturan dan menu/*setup* dalam penggunaan maxsurf modeler sebagai berikut.

1. Sistem koordinat

Tampilan umum dan prinsip dasar pada pengoperasian maxsurf modeler, seperti yang diilustrasikan gambar 2.15 berikut



Sumber : (Rodditul Awwalin, 2014)

Gambar 2.15 : Sistem koordinat 3D model maxsurf

Window : Tampak Pandangan

Body Plan : Tampak depan haluan dan buritan

Profile view : Tampak samping kanan, starboard side

Plan view : Tampak dari bawah, starboard above the centerline

2. *Setting frame of refferance dan zero point*

Digunakan untuk mengatur posisi *baseline*, sarat kapal dan posisi *zero point*.

3. Pengaturan satuan

Digunakan untuk mengatur unit/satuan sebagai standar satuan ukuran desain model.

4. Pengaturan *desain grid*

Digunakan untuk menentukan jarak-jarak *section*, *buttocks lines*, *waterline* dan diagonal.

5. View assembly dan properties

Digunakan untuk menampilkan *assembly* dan *properties*, berfungsi untuk mempermudah saat pengoperasian *modeling*, mengatur properties tampilan warna *surface* dan jenis kehalusan (*surface stiffness*) dll.

Sedangkan dalam desain dan pemodelan yang digunakan aplikasi masurf modeler terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut.

1. Pemilihan jenis *surface*

Pilihan menu ini digunakan untuk memilih jenis *surface*/bentuk lambung, ada beberapa tipe *surface* antara lain :

- *section plane* : *surface* dengan bentuk melintang
- *water plane* : *surface* dengan bentuk penampang air
- *buttock plan* : *surface* dengan bentuk membujur Jenis-jenis *surface* tersebut memiliki fungsi yang sama, dan dapat dijadikan sesuai metode pemodelan yang akan kita gunakan.

2. Size *surface*

Pilihan menu ini digunakan untuk memasukan ukuran *surface*/ukuran rencana kapal.

3. Curve dan extrude *surface* (curve)

Pilihan menu ini digunakan untuk melakukan pemodelan dengan bentuk yang lebih spesifik seperti memodelkan sebuah tangki atau ruangan tertentu/*compartment*.

4. Trimming

Pilihan menu ini digunakan pada saat kita melakukan pemodelan tangki atau ruangan tertentu/*compartment* terjadi bagian yang melebihi model lain (*overlap*). Untuk itu guna menghilangkan bagian tersebut digunakan fungsi *trimming*.

5. Background

Pilihan menu ini digunakan untuk menyesuaikan pemodelan dengan gambar *lines plan* yang telah disetujui dan dapat dijadikan acuan

pemodelan. Sehingga proses pemodelan dapat sesuai dengan karakteristik bentuk dan model kapal yang direncanakan.

2.7.2 Maxsurf Resistance

Merupakan sub-program yang tersedia dalam aplikasi maxsurf. Fungsi dari program ini adalah untuk menghitung dan menganalisis tahanan kapal, dengan teori dan metode yang telah digunakan pada bidang ilmu perkapalan.

Adapun Langkah-langkah pengoperasian maxsurf resistance sebagai berikut.

1. *Open* model

Menu : File > Open design > Pilih desain

Pilihan menu ini digunakan untuk membuka file dari maxsurf modeler, gunakan opsi pemilihan *measure all* untuk dasar perhitungan seluruh model *body* kapal yang tercelup air.

2. Analisis

Menu : Analysis > Methods

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan metode/teori yang akan digunakan dalam analysis. Beberapa metode sebagai berikut.

a. Planing

- Savitsky pre-planing
- Savistky planing
- Blount and fox
- Lahtiharju
- Wyman

b. Displacement

- Holtrop
 - Compton
 - Fung
 - Van ootmerssen
 - Series 60
 - KR barge resistance
- c. Yachts
- Delft I,II
 - Delft III
- d. Analytical
- Slender body

3. *Speed*

Menu : Analysis > Speeds > Input kecepatan maximum

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan kecepatan uji coba dalam analisis tahanan.

4. *Efficient*

Menu : Analysis > Efficient > Input efficient

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan besar efisiensi dalam analisis tahanan.

5. *Solve*

Menu : Analysis > Solve resistance analysis >Klik

Pilihan menu ini digunakan untuk memulai analisis perhitungan tahanan pada masxsurf resistance dengan mengacu beberapa input diatas. Beberapa output dari solve antara lain :

1. *Graph* 2. *Result table* 6. *Calculate free surface*