

SKRIPSI

**STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL*
DEADRISE ANGLE 10 DERAJAT DAN *STEPPED HULL 2V*
MENGUNAKAN APLIKASI *ANSYS FLUENT***

Disusun dan diajukan oleh:

**PUTRI DIANA NURFANI PATIROI
D031 19 1023**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG PLANNING HULL
DEADRISE ANGLE 10 DERAJAT DAN STEPPED HULL 2V
MENGUNAKAN APLIKASI ANSYS FLUENT**

Disusun dan diajukan oleh

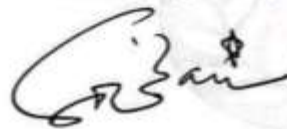
Putri Diana Nurfani Patiroi
D031191023

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 30 APRIL 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

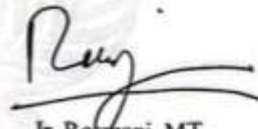
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



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



Ir. Rokhmani, MT.
NIP 19600620 198802 2 001

Ketua Program Studi,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Putri Diana Nurfani Patiroi
NIM : D031191023
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI TAHAPAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL* *DEADRISE ANGLE 10 DERAJAT* DAN *STEPPED HULL 2N* MENGUNAKAN APLIKASI *ANSYS FLUENT*

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, April 2024

Yang Menyatakan



Putri Diana Nurfani Patiroi

Putri Diana Nurfani Patiroi



ABSTRAK

PUTRI DIANA NURFANI PATIROI, “*Studi Efek Tahanan Kapal Berlambung Planning Hull Deadrise 10 Derajat Dan Stepped Hull 2V Menggunakan Aplikasi Ansys Fluent*” (dibimbing oleh Suandar Baso dan Rosmani)

Latar belakang penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tahanan kapal akibat variasi lambung planning hull dengan sudut deadrise 10° dan stepped hull 2V menggunakan aplikasi Ansys Fluent. Desain lambung kapal berkecepatan tinggi, khususnya planning hull, menjadi fokus utama dalam peningkatan efisiensi kapal. Stepped hull merupakan salah satu modifikasi yang dapat mengurangi tahanan kapal dengan mengurangi luas bidang basah dan meningkatkan gaya angkat hidrodinamis pada kecepatan tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan stepped hull menghasilkan penurunan signifikan pada tahanan kapal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numeric dengan bantuan software *maxsurf pro modeller* dan *rhinocheros 6*. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu model kapal yang menggunakan 3 stepped lebih baik dan efektif dalam mengurangi nilai tahanan kapal dibandingkan model kapal yang menggunakan 1 stepped dan 2 stepped. Perbandingan hasil analisis tahanan pada model 1 stepped 2V menggunakan Ansys Fluent rata-rata 66% lebih kecil dibandingkan dengan Autodesk Maxsurf. Pada model 2 stepped 2V menggunakan Ansys Fluent rata-rata 52% lebih kecil dibandingkan dengan Maxsurf. Sedangkan pada model 3 stepped 2V menggunakan Ansys Fluent rata-rata 56% lebih kecil dibandingkan dengan Maxsurf.

Kata Kunci : Tahanan Kapal, *Stepped Hull*, *ANSYS Fluen*



ABSTRACT

PUTRI DIANA NURFANI PATIROI, "Study of Ship Resistance Effect of Planning Hull with 10 Degree Deadrise and 2V Stepped Hull Using Ansys Fluent Application" (supervised by Suandar Baso and Rosmani)

The background of this research aims to examine the influence of ship resistance due to variations in planning hull with a deadrise angle of 10° and 2V stepped hull using the Ansys Fluent application. The design of high-speed hulls, especially planning hulls, is the main focus in improving ship efficiency. Stepped hull is one modification that can reduce ship resistance by reducing the wetted area and increasing hydrodynamic lift force at high speeds. Previous studies have shown that the addition of stepped hulls results in a significant reduction in ship resistance. The method used in this research is a numeric method with the assistance of Maxsurf Pro Modeller and Rhinoceros 6 software. The conclusion of this research is that the ship model using 3 stepped hulls is better and more effective in reducing ship resistance values compared to models using 1 stepped hull and 2 stepped hulls. The comparison of resistance analysis results on the 1 stepped 2V model using Ansys Fluent is on average 66% smaller than Autodesk Maxsurf. In the 2 stepped 2V model using Ansys Fluent, it is on average 52% smaller than Maxsurf. Meanwhile, in the 3 stepped 2V model using Ansys Fluent, it is on average 56% smaller than Maxsurf.

Keywords: Ship Resistance, Stepped Hull, ANSYS Fluent



DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kapal Cepat	5
2.2 <i>Planning Hull</i>	6
2.3 <i>Stepped Hull</i>	8
2.4 Tahanan Kapal	11
2.5 <i>Trim</i> Kapal	14
2.6 Hukum Perbandingan Model	15
2.6.1 Kesamaan geometris	16
2.6.2 Kesamaan kinematis	17
2.6.3 Kesamaan dinamis	17
2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD)	18
2.7.1 Proses simulasi CFD	22
2.8 Software Ansys	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.2 Jenis Penelitian	24
3.3 Metode Pengumpulan Data	24
3.3.1 Pengolahan Data	24
3.3.2 Kajian pustaka	24
3.3.3 Data kapal	25
3.3.4 Pemodelan kapal	25
3.3.5 Pemodelan Ulang Menggunakan Rhinoceros 6	30



3.4.5 Verifikasi	35
3.4.6 Analisis Data	36
3.4.7 Kesimpulan	36
3.5 Kerangka Alur Penelitian.....	37
BAB IV TINJAUAN PUSTAKA	38
4.1 <i>Initial Condition</i> dan <i>Boundary Layer</i>	38
4.2 <i>Meshing Independence Study</i>	40
4.3 <i>Convergence Condition</i>	42
4.4 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> , Pola Aliran dan <i>Static Pressure</i>	44
4.4.1 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i>	44
4.4.2 Visualisasi Pola Aliran.....	49
4.4.3 Visualisasi <i>Static Pressure</i>	51
4.4 Prediksi Tahanan Model Kapal.....	53
4.5 Perbandingan Nilai Tahanan dengan Penelitian Sebelumnya.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Lambung Kapal Cepat	6
Gambar 2 Tipe bentuk lambung kapal	7
Gambar 3 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull, planning hull, semi-displacement hull.....	7
Gambar 4 Deadrise angle pada kapal planning hull	8
Gambar 5 Visualisasi kapal dengan stepped.....	9
Gambar 6 Kapal dengan stepped hull.....	9
Gambar 7 Visualisasi kapal dengan stepped.....	11
Gambar 8 Kapal dengan lambung bertangga.....	11
Gambar 9 Grafik Rasio Hambatan/Displasmen dan Sudut Trim Terhadap Kecepatan	11
Gambar 10 Kapal Kondisi Even Keel	14
Gambar 11 Kapal Kondisi Trim by Stern	15
Gambar 12 Kapal Kondisi Trim by Head	15
Gambar 13 Lines Plan Kapal pada Software Autocad	25
Gambar 14 Body plan kapal dengan variasi deadrise angle 10°	26
Gambar 15 Sketsa peletakan stepped kapal.....	26
Gambar 16 Model kapal 1 stepped 2V pada maxsurf.....	27
Gambar 17 Model kapal 2 stepped 2V pada maxsurf.....	27
Gambar 18 Model kapal 3 stepped 2V pada maxsurf.....	27
Gambar 19 Tampilan awal model kapal tanpa stepped pada Maxsurf Modeller	28
Gambar 20 Tampilan awal penambahan stepped pada kapal berbentuk deadrise angle 10°	28
Gambar 21 Tampak bawah penampang 1 stepped pada kapal berbentuk deadrise angle 10°	29
Gambar 22 Tampak samping kapal berbentuk deadrise angle 10° dengan penampang 1 stepped.....	29
Gambar 23 Proses Trimming pada surface yang saling berpotongan	30
Gambar 24 Tampak kapal berbentuk lambung deadrise angle 10° dengan 1 stepped berbentuk 2V	30
Gambar 25 Proses import file Maxsurf ke Rhinoceros 6.....	31
Gambar 26 Proses penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 6.....	31
Gambar 27 Model kapal yang telah solid	32
Gambar 28 Model solid kapal 1 stepped 2V pada Rhinoceros 6	32
Gambar 29 Model solid kapal 2 stepped 2V pada Rhinoceros 6	32
Gambar 30 Model solid kapal 3 stepped 2V pada Rhinoceros 6	33
Gambar 31 Tampilan awal Ansys Fluent.....	33
Gambar 32 Tahap geometry model	34
Gambar 33 Mesh sizing model.....	34
Gambar 34 Detail meshing model.....	35
5 Boundary Layer	39
6 Inlet Boundary	39
7 Outlet Boundary	40
8 Wall Boundary	40
9 Hull Boundary	40



Gambar 40 Grafik hubungan antara tahanan terhadap jumlah mesh	41
Gambar 41 Visualisasi velocity magnitude model satu stepped 2V pada kecepatan 2,545 m/s dengan trim 2,580°	45
Gambar 42 Visualisasi velocity magnitude model dua stepped 2V pada kecepatan 2,513 m/s dengan trim 2,860°	46
Gambar 43 Visualisasi velocity magnitude model tiga stepped 2V pada kecepatan 2,786 m/s dengan trim 3,400°	47
Gambar 44 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada sarat kapal	48
Gambar 45 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada 5 mm dibawah sarat kapal	48
Gambar 46 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada 10 mm dibawah sarat kapal	48
Gambar 47 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada 15 mm dibawah sarat kapal	48
Gambar 48 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada 20 mm dibawah sarat kapal	49
Gambar 49 Visualisasi velocity model kapal 1 stepped pada 20 mm dibawah sarat kapal	49
Gambar 50 Visualisasi pola aliran model satu stepped 2V pada kecepatan 2,545 m/s dan trim 2,580°	49
Gambar 51 Visualisasi pola aliran model satu stepped 2V pada kecepatan 2,513 m/s dan trim 2,860°	50
Gambar 52 Visualisasi pola aliran model satu stepped 2V pada kecepatan 2,786 m/s dan trim 3,400°	50
Gambar 53 static pressure model satu stepped 2V pada kecepatan 2,545 m/s dengan trim 2,580°	51
Gambar 54 static pressure model satu stepped 2V pada kecepatan 2,513 m/s dengan trim 2,860°	52
Gambar 55 static pressure model tiga stepped 2V pada kecepatan 2,786 m/s dengan trim 3,400°	53
Gambar 56 Kurva hubungan antara luas bidang basah dan kecepatan model kapal stepped 2V	54
Gambar 57 Kurva hubungan antara F_nV dan koefisien tahanan model kapal stepped 2V	55
Gambar 58 Kurva hubungan antara F_nV dan tahanan total model kapal stepped 2V	55
Gambar 59 Kurva hubungan antara koefisien tahanan dengan F_nV yang sama	56
Gambar 60 Grafik persentase perbandingan koefisien tahanan terhadap Froude number Volume (F_nV) untuk setiap variasi jumlah stepped	57
Gambar 61 Kurva hubungan antara tahanan total dan F_nV yang sama	58
Gambar 62 Grafik Persentase perbandingan tahanan terhadap Froude number volume (F_nV) yang sama untuk setiap variasi jumlah stepped	59
Gambar 63 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 1 stepped	60
Gambar 64 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 2 stepped	60
Gambar 65 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 3 stepped	61



DAFTAR TABEL

Table 1 Ukuran utama kapal.....	25
Table 2 Kecepatan dan angle trim buritan model pada setiap kondisi	38
Table 3 Property fluida.....	38
Table 4 Hasil mesh study independence	41
Table 5 Nilai Residual belum Convergence	42
Table 6 Nilai Residual Convergence	42
Table 7 Kriteria Convergence Condition	43
Table 8 Nilai residual model kapal 1 stepped	43
Table 9 Nilai residual model kapal 2 stepped	44
Table 10 Nilai residual model kapal 3 stepped	44
Table 11 Nilai velocity magnitude model kapal satu stepped 2V	45
Table 12 Nilai velocity magnitude model kapal dua stepped 2V	46
Table 13 Nilai velocity magnitude model kapal 3 stepped 2V	47
Table 14 Koefisien tahanan pada model kapal 1 stepped	53
Table 15 Koefisien tahanan pada model kapal 2 stepped	53
Table 16 Koefisien tahanan pada model kapal 3 stepped	54
Table 17 Hubungan antara koefisien tahanan dengan F_nV yang sama	56
Table 18 Persentase perbandingan koefisien tahanan terhadap Froude number Volume (F_nV) untuk setiap variasi jumlah stepped.	57
Table 19 Hubungan antara tahanan total dengan F_nV yang sama.....	58
Table 20 Persentase perbandingan model setiap stepped.....	59
Table 21 Perbandingan nilai tahanan pada model 1 stepped.....	60
Table 22 Perbandingan nilai tahanan pada model 2 stepped.....	61
Table 23 Perbandingan nilai tahanan pada model 3 stepped.....	61



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s ²)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka <i>Froude</i>
FnV	= <i>Froud Number Volume</i>
V	= volume kapal (m ³)
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
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 LAMPIRAN

Lampiran 1 Penentuan Skala Model	65
Lampiran 2 Ukuran Utama Model	66
Lampiran 3 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i>	67
Lampiran 4 Visualisasi Pola Aliran	70
Lampiran 5 Visualisasi <i>Static Pressure</i>	73



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Studi Tahanan Kapal Berlabung Planning Hull Deadrise Angle 10 Derajat Dan Stepped Hull Menggunakan Aplikasi Ansys Fluent**. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu (S1) di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui berbagai macam tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moril berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Pintu surgaku, Ibunda Patmawati dan Superhero serta Panutanku, Ayahanda Muhammad Nur, terimakasih selalu berjuang untuk kehidupan penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang dengan penuh cinta dan selalu memberikan motivasi serta doa hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
 2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. . Selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan. Sekaligus pembimbing I yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.
 3. Ibu Ir. Rosmani., MT. Selaku ketua Laboratorium Hidrodinamika kapal sekaligus pembimbing II yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini
- Bapak Ir. Lukman Bochari, MT dan Ibu Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT.



Selaku dosen penguji atas masukan dan saran sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Seluruh pegawai/staff Departemen Teknik Perkapalan yang selalu membantu segala administrasi selama penulis kuliah.
6. Kepada Andita Pasulu, Fadhil Rahmat Ramadhan, Bahrul Wicaksono, Masri Mardiansyah dan teman-teman andromax 2019 yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. Teman-teman grup warga orang dalam, terima kasih atas kesenangan, canda tawa yang membahagiakan dan menjadi keluarga baru bagi penulis.
8. Teman – teman saya ZTARBOARD 2019, terima kasih atas kebersamaan serta suka duka yang sangat berarti dalam pendewasaan diri penulis.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu memberikan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini.
10. Terakhir untuk Putri Diana Nurfani Patiroi, last but no last! Diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya karna telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah di mulai. Terima kasih karna terus berusaha dan tidak menyerah serta senantiasa menikmati setiap proses yang bisa di bilang tidak mudah, terima kasih sudah bertahan.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan yang ada. Oleh karena itu, penulis harapkan masukan serta kritikan yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan diberkahi oleh Allah SWT. Amiin

Gowa, April 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai kajian yang telah dilakukan dalam bidang desain kapal yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kapal baik dalam hal ekonomis maupun performa. Salah satu aspek yang penting untuk meningkatkan performa kapal yaitu dengan mendesain lambung kapal karakter kecepatan tinggi yang telah populer untuk kepentingan pariwisata, rekreasi, penyelamat maupun untuk kepentingan militer. Selain itu target optimalisasi efisiensi desain kapal yaitu bagaimana mendesain lambung kapal dengan kecepatan optimum namun penggunaan daya mesin yang seminimal mungkin. Penggunaan daya mesin kapal sangat erat kaitannya dengan tahanan yang dialami suatu kapal. Dalam mendesain sebuah kapal, kecepatan merupakan poin utama dalam *owner recruitment*. Kapal dapat bergerak dengan kecepatan tertentu terjadi karena gaya yang mendorong kapal lebih besar dari tahanan kapal. Gaya dorong dihasilkan dari kerjasama antara permesinan kapal, sistem propulsi dan lambung kapal.

Tahanan kapal merupakan gaya yang bekerja pada kapal yang berlawanan dengan arah gerak kapal yang terjadi karena adanya interaksi lambung kapal dengan fluida. Desain lambung kapal dilakukan sedemikian rupa untuk mengurangi tahanan kapal. Salah satu cara untuk mengubah tahanan kapal dengan mengatur *rise of floor* atau *deadrise* dari lambung kapal. Modifikasi kapal cepat juga dilakukan dengan membuat *stepped hull*. Prinsip dari penggunaan *stepped hull* ini adalah mengurangi luas bidang basah (*water surface are*) yang akan menimbulkan turbulensi dibawah badan kapal dan akan menambah gaya tekan keatas (*lifting force*), hal ini akan mengurangi tahanan kapal serta menghasilkan kecepatan kapal yang lebih tinggi.

Planning hull merupakan desain kapal cepat dimana berat kapal sebagian besar ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika sehingga haluan kapal terangkat pada kecepatan tinggi. *Planning hull* memiliki nilai Froude : $Fr\sqrt{V} = 1,0 - 3,5$. Molland,

7).

sarkan hasil penelitian terdahulu Asidiq, M. I (2022) studi tahanan kapal pengaruh lambung planing hull dan stepped 2V. Perbandingan setiap



stepped dengan F_nV yang berada pada angka 2-3,25 pada 2 stepped mengalami penurunan nilai tahanan total sebesar 28,12%-33,81% terhadap satu stepped sedangkan untuk 3 stepped mengalami penurunan total sebesar 60,35%-61,76%. Dengan demikian inilah yang mendasari penulis untuk melakukan penelitian lanjutan pengaruh tahanan kapal berlambung *planning hull* dengan variasi jumlah *Stepped*. Penulis akan membandingkan hasil analisis menggunakan *Maxsurf* dengan hasil penelitian yang dilakukan dengan aplikasi *Ansys Fluent*. Penulis akan mengkaji tentang tahanan kapal di *Software Ansys Fluent*, pada tipe kapal berlambung *planning hull* dengan variasi jumlah *stepped hull* dengan judul :

**“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT LAMBUNG *PLANNING HULL*
DEADRISE ANGLE 10° DAN *STEPPED HULL 2V* MENGGUNAKAN
APLIKASI ANSYS FLUENT”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah stepped terhadap *Froude Number Volume* (F_nV) pada kapal *Planning Hull Deadriase Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2V* menggunakan *Ansys Fluent*?
2. Bagaimana perbandingan hasil analisis tahanan menggunakan *Ansys Fluent* dan menggunakan *Maxsurf* pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2V*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan pengaruh jumlah stepped terhadap *Froude Number Volume* (F_nV) pada kapal *Planning Hull Deadriase Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2V* menggunakan *Ansys Fluent*.

Menentukan perbandingan tahanan menggunakan *Ansys Fluent* dan menggunakan *Maxsurf* pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2V*.



1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah analisa, maka perlu adanya batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Stepped Hull 2V dengan variasi 1 Stepped, 2 Stepped, dan 3 Stepped.
2. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan yaitu, kecepatan 2,513 m/s hingga 3,922 m/s dengan kondisi Trim buritan sebesar 2,545 derajat hingga 4,671 derajat.
3. Skala model kapal yaitu 1 : 15

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah

1. Sebagai informasi dan referensi mengenai bagaimana pengaruh bentuk lambung bertangga dan hubungannya dengan tahanan kapal cepat.
2. Sebagai referensi bagi owner dalam memilih desain lambung kapal cepat.
3. Untuk menambah wawasan dan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *Stepped Hull*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian akan dituang dalam tulisan secara terperinci dan tersusun sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menjelaskan tentang teori-teori gambaran wilayah penelitian, berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.



: **METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini akan dikemukakan mengenai lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, metode pengolahan data, dan kerangka pikir penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan uraian mengenai pembahasan permasalahan yang diteliti yaitu hubungan antara penggunaan stepped pada kapal dengan nilai tahanan total dan koefisien tahanan yang dihasilkan kapal cepat menggunakan Ansys Fluent.

BAB V : PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Cepat

Kapal cepat adalah kapal dengan kecepatan operasi maksimum diatas 30 knot, mengingat banyaknya ragam karakteristik hidrostatik kapal dengan menggunakan *Froude number* (Fn), maka kapal dengan Fn diatas 0,4 atau *submerged hull* (lambung tercelup) masih tergolong sebagai kapal cepat seperti kapal *conventional monohull* dan *catamaran*. Zubaer H. dkk, (2018)

Dalam jurnal Rosmani (2013), Karakteristik *high speed craft* dipengaruhi *Froude number*-nya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk *planing craft*, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan *Froude number* (Fn) sering digunakan sebagai parameternya. (Fn) didefinisikan sebagai berikut:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \times L}} \quad (1)$$

Dimana:

- Fn = *Froude Number*
- V = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- L = Panjang kapal

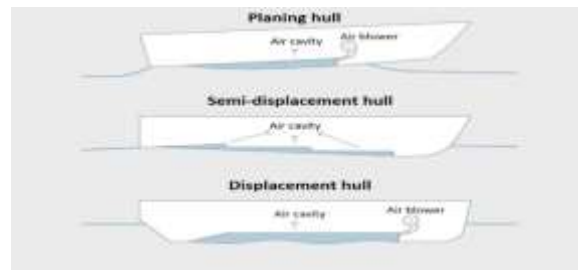
Berdasarkan Fn-nya kapal cepat dibagi dalam 3 jenis, yaitu :

- 1) *Displacement Vessel* (Fn<0,4)
- 2) *Semi-Displacement Vessel* (0,4-0,5 <Fn< 1,0-1,2)
- 3) *Planing hull/Vessel*((Fn>1,0-1,2)

Baird (1998), mengelompokkan batasan besaran angka Froude berdasarkan tipe lambung kapal (dapat dilihat pada Gambar 1) dibawah ini:

$Fn > 0.4-0.5$	<i>Displacement</i>
$0.4-0.5 > Fn > 1.0 -1.2$	<i>Semi displacement</i>
$Fn > 1.0 -1.2$	<i>Planing hull/vessel</i> (lambung <i>planing</i>)





Gambar 1 Lambung Kapal Cepat

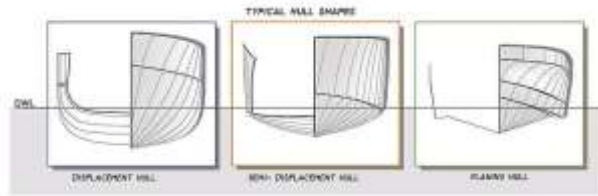
Sumber: (<https://mboat.eu/displacement-hull/>)

2.2 *Planning Hull*

Kapal planing merupakan salah satu jenis kapal yang mempunyai tingkat efisiensi 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 kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum hydrodynamic, setiap benda yang bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat. (Pradipta Rahman Hakim, IKAP Utama, 2018)

Menurut A. Haris Muhammad (2009), dalam jurnal Rosmani (2013), menyatakan Penelitian awal hidrodinamika kapal tipe planing hull telah dimulai di Amerika Serikat (AS) sejak 40 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. Di-Indonesia, kapal tipe planing hull umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe planing hull dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik.

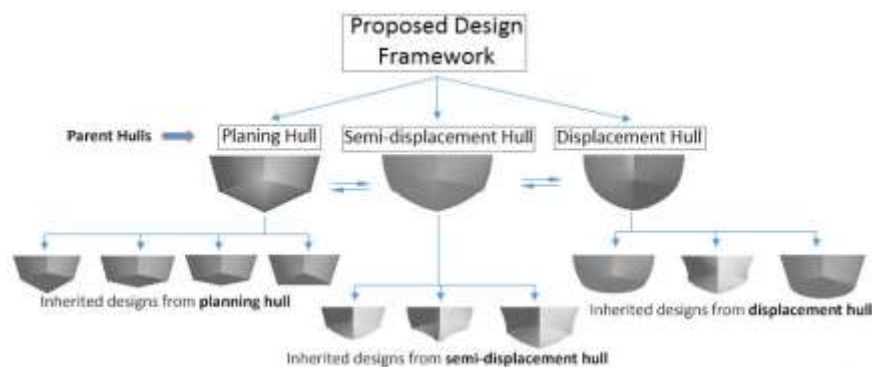




Gambar 2 Tipe bentuk lambung kapal

Sumber : www.boatinternational.com

Bentuk lambung untuk kapal-kapal seperti ini yakni tampak dari bentuk lambung di bagian bawah air umumnya diklasifikasikan dalam tiga kategori antara lain a). tipe displacement hull untuk kecepatan rendah, b). tipe semi planing hull untuk rentang kecepatan menengah, dan c). tipe planing hull untuk rentang kecepatan tinggi. Bentuk-bentuk tersebut disajikan pada Gambar berikut.



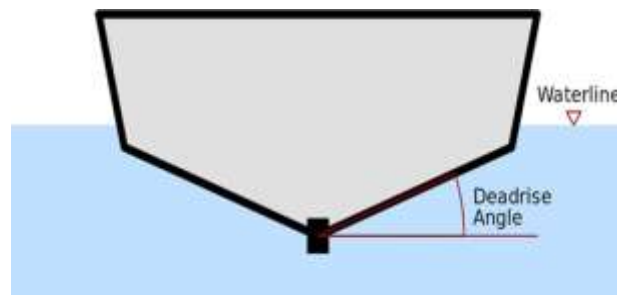
Gambar 3 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull, planning hull, semi-displacement hull

Sumber : www.researchgate.net

Kapal cepat (*planing hull*) terdiri dari gaya gesek (*friction*) dan gaya vertikal (*induced drag*), dimana hambatan geseknya lebih dominan dari total hambatan. Fenomena ini membuat para ahli kapal terinspirasi untuk menciptakan desain kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu belakangan ini banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: *air cushion vehicles* (ACV), *seaplanes*, *wing-in-ground effect* (WIG) *craft*, *planing hydrofoil ships*, *surface effect ships* (SES) dan kapal *Stolcraft*. Jenis kapal cepat tersebut memiliki karakteristik operasional dan keunggulan tertentu serta banyak diaplikasikan pada kapal patroli, kapal penyelamat, kapal penumpang, kapal riset dan kapal perang (Maluddin, 2012).



Kapal tipe Lambung *Planning Hull* ini memiliki *Deadrise Angle*. *Deadrise angle* adalah besar sudut kemiringan pelat dasar kapal terhadap sumbu horizontal.



Gambar 4 *Deadrise angle* pada kapal *planning hull*

Sumber : Putranto T,2016.

2.3 *Stepped Hull*

Stepped Hull atau lambung bertangga adalah konfigurasi alternatif untuk *planning hull* dengan kecepatan yang biasanya tinggi. *Stepped Hull* memiliki diskontinuitas melintang yang terletak di beberapa titik pada belakang pusat gravitasi kapal dan pusat tekanan. Lokasi dari peletakan diskontinuitas membujur transversal atau tangga ini sangat penting. Untuk memahami alasan di balik desain *Stepped Hull*, seseorang harus memahami prinsip-prinsip hidrodinamika *planning hull*. Saat sebuah kapal melaju, lambung bawah kapal awalnya akan memotong permukaan air pada suatu titik yang disebut titik stagnasi. Untuk kapal dengan *deadrise*, garis stagnasi ini akan memotong ke belakang sampai berpotongan dengan *hard chine* kedua sisi, pada titik dimana aliran tersebut akan terpisah. Bagian yang tepat di belakang garis stagnasi ini yakni bagian bawah lambung kapal, menghasilkan persentase trim yang sangat besar.

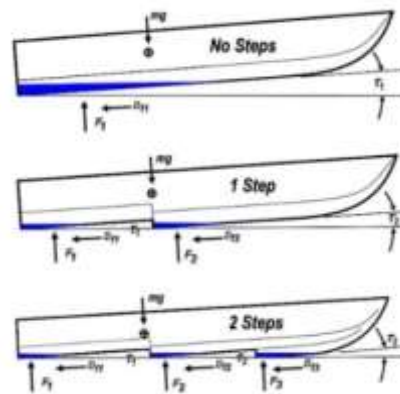
Clement dan Koelbel (1992) telah memperhitungkan persentase daya angkat lambung atau trim ini sekitar 90%. Trim pada lambung kapal paling sering terjadi di dekat pusat gravitasi kapal, kemudian posisinya akan maju ke haluan. Ketika sebuah kapal sedang trim, tekanan air di lambung bagian belakang kapal sangat rendah dan karena hal itu sangat kecil kemungkinan untuk dapat naik (trim). Hal tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tahanan kapal, dari sisi ekonomi hal ini sangat buruk karena dapat menambah



kebutuhan daya kapal yang berakibat kebutuhan bahan bakar yang naik. Garland (2010)

Dari hasil jurnal tentang analisa posisi stephull, posisi yang paling optimal adalah terletak pada bagian midship kapal karena memiliki nilai hambatan yang lebih rendah dibandingkan dengan posisi stephull yang berada 2-4 frame di depan midship kapal atau yang lebih kearah haluan.

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. Citra Eka (2018)



Gambar 5 Visualisasi kapal dengan stepped

Sumber : aeromarineresearch.com



Gambar 6 Kapal dengan stepped hull

Sumber : waylenbayyachtsales.com



Stepped Hull adalah konfigurasi pada lambung kapal yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, konfigurasi ini biasa berbentuk mirip “V”. *Stepped Hull* memiliki bukaan yang besar pada sisi outboard pada lambung untuk memberikan rongga udara yang bertujuan untuk mengarah ke bawah. Pada umumnya, *Stepped Hull* dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% dari kecepatan yang diinginkan apabila dibandingkan dengan tidak memakai *stepped hull* dengan *power* pada mesin yang sama.

Suatu alasan mengapa *Stepped Hull* lebih efektif adalah karena area/bagian yang tercelup air biasa dibagi pada beberapa beam sepanjang kapal., karena bentuk lebar kapal seperti ini sehingga lebih efisien, sehingga pada memperkecil gesekan antara lambung kapal dengan air. Jadi, tujuan dari ide tentang *Stepped Hull* adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti pada teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa *Stepped Hull* mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep *stepped hull* ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. Budiarto (2011).

Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga pembuatan kapal membutuhkan kritisasi dan efektifitas yang tinggi. Desain dan analisis prosedur diperlukan untuk kapal berkecepatan tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa bidang yang dibutuhkan. Oleh karena itu, diperlukan untuk membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka mengurangi hambatan kapal. *Stepped hull* merupakan modifikasi bentuk lambung berupa *stepped* melintang yang ditempatkan pada bawah lambung bagian *Midship* kapal. *Stepped hull* 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. (Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 6, No. 1 Januari 2018)

Berikut Visualisasi dan Gambar dari kapal dengan *stepped* atau lambung

yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 sebagai berikut:





Gambar 7 Visualisasi kapal dengan *stepped*

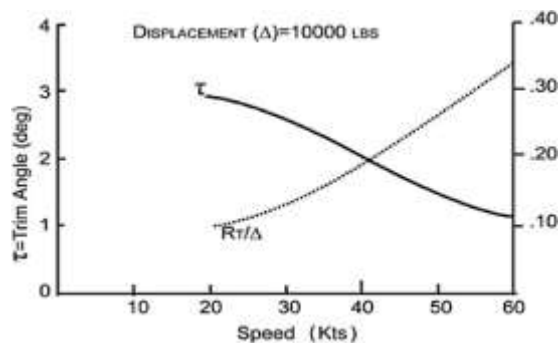
Sumber : Febian C K, 2018



Gambar 8 Kapal dengan lambung bertangga

Sumber : Febian C K, 2018.

Pada kapal cepat dengan modifikasi *stephull*, sudut trim dari kapal *Monohull Planning* akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan sedangkan rasio hambatan/displasemen akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan. Habib Zubaer, dkk (2018)



Gambar 9 Grafik Rasio Hambatan/Displasemen dan Sudut Trim Terhadap Kecepatan

Sumber : Zubaer, 2018.

2.4 Tahanan Kapal



Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Besarnya 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. Rosmani, dkk (2013).

Kapal planing memiliki dua komponen gaya yang bekerja yaitu *hydrostatic force* dan *hydrodynamic force* sehingga metode untuk memprediksi hambatan kapal planing berbeda dari metode untuk memprediksi hambatan kapal displasmen. Hambatan hidrodinamis total pada kapal planing terdiri dari hambatan akibat tekanan normal pada dasar kapal dan hambatan viskos tangensial pada dasar kapal di bagian pressure area maupun pada spray area. Pada kapal cepat, rumus yang digunakan untuk menghitung hambatan total kapal adalah dengan menggunakan savitsky's formula. Dari hasil analisa savitsky, komponen hambatan pada kapal cepat terdiri dari tekanan (*pressure force*) dan kekentalan (*viscous drag*). Mohtar Aziz, dkk (2019).

Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah Harnita (2011) :

a. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

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



- Angka Renold (Renold's number, R)

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (2)$$

Dimana :

V : Volume (m³)

L : Panjang (m)

ν : Kecepatan ($\frac{m}{s}$)

- Koefisien gesek (*friction coefficient, C*)

$$Cf = \frac{0.75}{(\log Rn - 2,0)^2} \quad (3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- Rasio kecepatan dan panjang kapal (*speed length ratio, S*)

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \quad (4)$$

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendicular*) dan Vs adalah kecepatan kapal.

- b. Tahanan Sisa (*Residual resistance*)

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

- 1) Tahanan gelombang (*Wakemaking 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.

- 2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai Tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (Superstruktire) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin

up maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin arah relatif angin terhadap kapal.



3) Tahanan bentuk

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

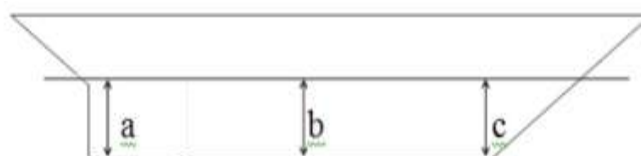
c. Tahanan Tambahan (*Added resistance*)

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.

2.5 Trim Kapal

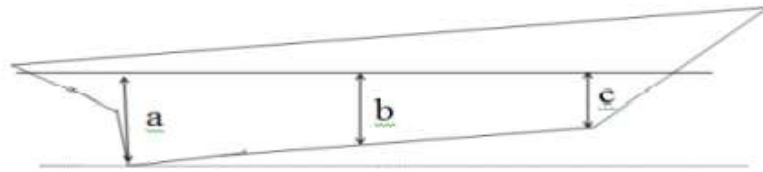
Trim adalah perbedaan antara draft depan dan draft belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Trim dapat diartikan sebagai suatu keadaan kapal senget (*list*) secara membujur (*longitudinal*). Hind (1967) menyatakan bahwa trim adalah perbedaan antara *draft* depan dan *draft* belakang. Trim pada kapal dibagi menjadi 3 bagian yaitu Trim Buritan (*Trim by Stern*), Trim Haluan (*Trim by Head*), dan Even Keel. Kondisi Trim kapal digambarkan bukan dalam besaran sudut kemiringan tetapi perbedaan antara sarat depan (*Forward Draft*) dan sarat belakang (*After Draft*).



Gambar 10 Kapal Kondisi *Even Keel*

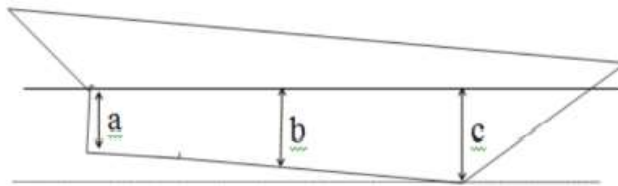


Gambar diatas menunjukkan kapal *even keel* yaitu draft depan sama dengan draft belakang ($a = c$) dimana $b = \frac{(a+c)}{2}$, hanya terjadi bilamana kapal tidak *hogging* atau *sagging*.



Gambar 11 Kapal Kondisi *Trim by Stern*

Gambar diatas menunjukkan kapal *trim by stern* yaitu draft belakang lebih besar dari draft depan ($a \neq c$).



Gambar 12 Kapal Kondisi *Trim by Head*

Gambar diatas menunjukkan kapal *trim by Head* yaitu draft balakang lebih kecil dari draft depan ($a \neq c$).

2.6 Hukum Perbandingan Model

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani (2011), Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan ini haruslah memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

1. Kesamaan geometris
2. Kesamaan kinematis
3. Kesamaan dinamis



2.6.1 Kesamaan geometris

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal dilaut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam atau lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (5)$$

Dimana :

- λ = skala perbandingan
- L_s = panjang kapal (m)
- L_m = panjang model (m)
- B_s = lebar kapal (m)
- B_m = lebar model (m)
- T_s = sarat kapal (m)
- T_m = sarat model (m)

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangka percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

$$L_m < T \text{ tangki}$$

$$L_m < \frac{1}{2} B \text{ tangki}$$

2) HARVALD:

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

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



3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

$$L_m < \frac{1}{2} b \text{ tangki}$$

$$B_m < \frac{1}{15} B \text{ tangki}$$

$$A_{o_m} < 0,4 A_o \text{ tangki}$$

2.6.2 Kesamaan kinematis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara kecepatan model dan kecepatan kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g.L}} \quad (6)$$

Atau :

$$Fr_m = Fr_s$$

$$\frac{v_m}{\sqrt{g.L_m}} = \frac{v_s}{\sqrt{g.L_s}} \quad (7)$$

Dimana :

Fr = angka froude

Ls = panjang kapal (m)

Lm = panjang model (m)

Vs = kecepatan kapal (m/dt)

Vm = kecepatan model (m/dt)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

2.6.3 Kesamaan dinamis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011) bahwa Gaya – gaya yang berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama,



dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas.

$$R_n = \frac{v.L}{\nu} \quad (8)$$

Atau :

$$R_{nm} = R_{ns}$$

$$\frac{v_m.L_m}{\nu} = \frac{v_s.L_s}{\nu} \quad (9)$$

Dimana :

- R_n = angka reynold
- L_s = panjang kapal (m)
- L_m = panjang model (m)
- V_s = kecepatan kapal (m/s)
- V_m = kecepatan model (m/s)
- ν = viskositas kinematis fluida (m^2/s)
= $1,1883 \times 10^{-6} (m^2/s)$
- g = percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

Dengan demikian jika diinginkan tercapainya kesamaan dinamis disamping kesamaan geometris dan kesamaan kinematis, maka angka Reynold untuk model harus sama dengan angka skala penuh.

2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu metode komputasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi.

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia (Versteeg H.K., 1995). Penggunaannya telah meliputi area yang luas industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk



menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kuantitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode:

- a. Model matematik (PDE)
- b. Metode numeric (diskritisasi dan teknik solusi)
- c. Perangkat lunak

Schowalter et al menyatakan bahwa toleransi kesalahan dalam pen-skala-an dapat dikurangi dengan adanya CFD. Dalam area penelitian yang berbeda, penerapan CFD dilakukan sebagai pembanding dengan eksperimen apabila memungkinkan dilakukan eksperimen dan menjadi superior dalam hal eksperimen sangat sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan. Dalam hal prediksi sebuah fenomena aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dan waktu. Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi- kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual. Meskipun demikian error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut :

- Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
- Kesalahan dalam diskritisasi
- Kesalahan dalam melakukan iterasi
- Kesalahan dalam implementasi.

Konsep dasar penggunaan Computational Fluid Dynamic adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. Dalam hal kemampuan mendiskripsikan secara kuantitatif sebuah fenomena, maka metode pengukuran/eksperiment hanya mendapatkan satu kuantitas dalam satu waktu dan terbatas dalam jumlah titik pengukuran dan waktunya. Selain itu skala yang digunakan terbatas pada skala laboratorium dan meliputi area permasalahan dan kondisi operasi yang terbatas.

Dalam persamaan ini fluida dianggap tidak dapat termampatkan(tidak termampatkan). Persamaan ini selanjutnya akan mengarah ke persamaan lain seperti persamaan kekekalan massa, kekekalan volume, dan lain-lain. Bentuk

rsamaan navier-stokes adalah sebagai berikut:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (1)$$



Dimana :

V = Kecepatan aliran

∇ = Perpindahan

ρ = massa jenis fluida

μ = frictional resistance yang mempresentasikan viskositas

f = gaya dari luar

t = waktu

Berdasarkan metode yang digunakan di Ansys Fluent CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

1) Segregated Solver

Permasalahan yang harus diselesaikan terhadap persamaan yang didiskritkan adalah tekanan yang hilang, maka digunakan persamaan kountinitas dengan penyelesaian integral :

$$\int N \left(\frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \quad (2)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega \quad (3)$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa laju peningkatan (pengurangan) massa di dalam suatu elemen sama dengan laju netto aliran massa kedalam (keluar) elemen *fluida* tersebut. Pada aliran *incompressible*, rapat massa konstan, laju perubahan massa didalam elemen adalah nol. Ketiga suku bagian kiri persamaan tersebut adalah aliran massa netto yang keluar elemen melalui dinding elemen dan disebut dengan suku konvektif. Persamaan diatas menunjukkan kondisi batas alami untuk persamaan tekanan

Untuk mengadakan tekanan yang hilang pada persamaan diatas maka, digunakan persamaan momentum yang kemudian disubtitusikan ke persamaan sebagai berikut :

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \quad (4)$$

$$V = V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y} \quad (5)$$

$$W = W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z} \quad (6)$$



Sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \quad (7)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega \quad (8)$$

Persamaan diatas merupakan bentuk diskrit dari persamaan Poisson. Oleh karena itu, akan menghasilkan matriks koefisien simetris.

Untuk aliran kompresibel, kopling desitas-tekanan juga harus dipertimbangkan sehingga,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (9)$$

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} + N \left(\frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega \quad (10)$$

$$= \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega \quad (11)$$

Persamaan disisi kiri ditulis ulang dalam bentuk tekanan menggunakan hukum gas ideal. Dengan persamaan tersebut maka, persamaan tekanan kompresibel akan menghasilkan matriks koefisien non-simetrik.

Dengan persamaan tekanan diatas, masing-masing persamaan dapat diselesaikan secara terpisah yaitu, persamaan x-momentum dapat diselesaikan untuk nilai U, persamaan y-momentum dapat diselesaikan untuk nilai V, persamaan z-momentum dapat diselesaikan untuk nilai W, persamaan tekanan dapat diselesaikan untuk nilai P dan sebagainya. Hal ini menyederhanakan permasalahan karena penyelesaian dilakukan dalam satu derajat kebebasan di setiap persamaan. Pendekatan ini yang disebut *Solver Segregated* karena masing – masing variabel diselesaikan secara terpisah.

2) Matrix Solver

ses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar disetiap penyelesaian, membentuk matriks (a_i, a_j) . Metode klasik dalam penyelesaian matriks akan eliminasi Gauss namun, dalam prosesnya membutuhkan waktu



yang lama untuk mendapatkan solusi karena eliminasi membutuhkan matriks banded selama penguraian. Ansys CFD mempunyai matriks yang jauh lebih kecil dengan menggunakan pemecahan matriks berulang dari metode gradien konjugasi, dimana dibuat untuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian.

Alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan yakni prosedur *Gauss-Seidel* dan prosedur *Tri-Diagonal Matrix Algorithm* (TDMA). Pada Ansys CFD digunakan pemecahan matrix metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iteasi yang ditetapkan terlampaui.

2.7.1 Proses simulasi CFD

Kemampuan Ansys CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalm dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaanya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. Terdapat tiga langkah umum dalam proses simulasi pada Ansys CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut.

1) *Pre Processor*

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

2) *Setup*

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

3) *Result*

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.

2.8 Software Ansys



ANSYS merupakan penerapan dari metode volume hingga (FVM). FVM metode numeric untuk mendiskritisasi diferensial parsial kontiniu menjadi persamaan aljabar. Langkah pertama diskritisasi adalah membagi

domain komputasi menjadi sejumlah volume yang terbatas dan membentuk mesh atau grid. Diferensial parsial kontinu diintegrasikan di setiap volume dengan menggunakan teorema divergensi, sehingga menghasilkan persamaan aljabar untuk setiap sel. Ditengah sel, nilai rata-rata sel dari variable aliran disimpan yang dinamakan node. Hal ini menyiratkan bahwa resolusi spasial dari solusi dibatasi oleh ukuran sel karena variable aliran tidak bervariasi di dalam sel.

FVM bersifat konservatif, artinya fluks yang meninggalkan sel melalui salah satu batasnya sama dengan fluks yang masuk ke sel yang berdekatan melalui batas yang sama. Sifat ini membuatnya menguntungkan untuk permasalahan dalam dinamika fluida. ANSYS adalah *software* untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). *Software* ANSYS merupakan *software* yang telah terintegrasi dengan perangkat lunak computer Aided Design (CAD) sehingga memudahkan dalam mendesain model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Suku (2018: 22) menjelaskan bahwa *software* ANSYS terdiri dari tiga tahapan yaitu:

1. *Pre Processor*

Merupakan proses awal pada *software* ANSYS diantaranya yaitu penyederhanaan model, menentukan bahan material, dan membuat meshing grid.

2. *Solver*

Merupakan proses analisa pada *software* ANSYS diantaranya yaitu menentukan batas analisa dan menjalankan analisa pada model.

3. *Post Processor*

Merupakan proses hasil pada *software* ANSYS yaitu mendapatkan daftar hasil dan periksa validitas.

