

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh:

**FADHIL RAHMAT RAMADHAN
D031 19 1082**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

Fadhil Rahmat Ramadhan
D031191082

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,

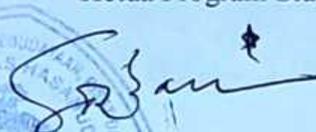
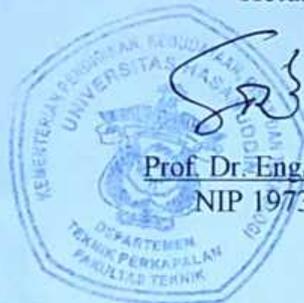
Pembimbing Pendamping,



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

Ir. Rosmani, 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 : Fadhil Rahmat Ramadhan
NIM : D031191082
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 2U* MENGUNAKAN *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, 30 April 2024

Yang Menyatakan



Fadhil Rahmat Ramadhan



Optimization Software:
www.balesio.com

ABSTRAK

FADHIL RAHMAT RAMADHAN. *Studi Tahanan Kapal Berlambung Planning Hull Deadrise Angle 10 Derajat dan Stepped 2U Menggunakan Ansys Fluent.* (dibimbing oleh Suandar Baso dan Rosmani)

Desain kapal karakter kecepatan tinggi yang telah populer untuk kepentingan pariwisata, rekreasi, penyelamatan maupun untuk kepentingan militer. Kapal *planning hull* merupakan desain kapal cepat yang sebagian besar berat kapal ditopang oleh gaya angkat hidrodinamika (*lifting force*). Optimalisasi efisiensi desain kapal yaitu desain kapal dengan kecepatan optimum namun penggunaan daya mesin yang seminimal mungkin. Kapal dapat bergerak dengan kecepatan tertentu terjadi karena gaya yang mendorong kapal lebih besar dari tahanan kapal. Tahanan kapal merupakan gaya yang bekerja pada kapal yang berlawanan dengan arah gerak kapal yang terjadi karena adanya interaksi lambung kapal dengan fluida. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi lambung kapal dengan menambahkan *stepped 2U*. *Stepped hull* ini bertujuan untuk mengurangi luas bidang basah karena adanya turbulensi dibawah lambung kapal dan akan meningkatkan gaya angkat (*lifting force*) hal ini yang akan mengurangi tahanan kapal. Metode yang digunakan adalah metode numerik dengan menggunakan software *Rhinoceros 5* dan *Maxsurf modeller* untuk pemodelan kapal dan menggunakan *ANSYS Fluent* untuk menganalisis tahanan kapal. Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa persentase perbandingan koefisien tahanan model kapal 2 *stepped 2U* dengan 1 *stepped 2U* lebih kecil sebesar 5.31% hingga 10.03%, untuk model kapal 3 *stepped 2U* dibandingkan dengan model kapal 2 *stepped 2U* yaitu lebih kecil sebesar 13.81% hingga 24.60%, sedangkan untuk model kapal 3 *stepped 2U* dibandingkan dengan 1 *stepped 2U* yaitu lebih kecil sebesar 19.50% hingga 31.24%.

Kata Kunci: *Planning Hul*, Tahanan kapal, *Stepped*, *ANSYS Fluent*



ABSTRACT

FADHIL RAHMAT RAMADHAN. *Study of Planning Hull Ship with 10 Degrees Deadrise Angle and Stepped 2U Using Ansys Fluent.* (supervisor : Suandar Baso and Rosmani)

Design of high-speed vessel has been popular for tourism, recreation, rescue, and military purposes. Planning hull ships are fast vessel designs where most of the vessel's weight is supported by hydrodynamic lifting force. Optimization of vessel design involves achieving optimum speed with minimal engine power usage. Vessels can reach certain speeds because the propelling force is greater than the vessel's resistance. Vessel resistance is the force acting on the vessel in the opposite direction of its motion due to the interaction between the vessel's hull and the fluid. In this study, hull modification was conducted by adding stepped 2U. The stepped hull aims to reduce the wetted area due to turbulence beneath the vessel's hull and increase the lifting force, thereby reducing vessel resistance. The method used is a numerical method using Rhinoceros 5 and Maxsurf modeler for vessel modeling, and ANSYS Fluent for analyzing vessel resistance. From the results of this study, it was found that the percentage comparison of resistance coefficient between the 2 stepped 2U model and the 1 stepped 2U model is smaller by 5.31% to 10.03%, for the 3 stepped 2U model compared to the 2 stepped 2U model is smaller by 13.81% to 24.60%, while for the 3 stepped 2U model compared to the 1 stepped 2U vessel is smaller by 19.50% to 31.24%.

Keywords: *Planning Hull, Ship resistance, Stepped, ANSYS Fluent*



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Alhamdulillah ala ni'mat il iman wa ni'mat il islam segala puji dan syukur kepala Allah subhanahu wa ta'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan sesuai dengan yang kita harapkan. Sholawat serta salam kita kirimkan kepada nabiullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wa sallam yang diutus oleh Allah kepada seluruh umat manusia untuk menjadi teladan. Adapun tugas akhir ini berjudul “Studi Tahanan Kapal Berlambung *Planning Hull Deadrise Angle 10 Derajat dan Stepped 2U Menggunakan Ansys Fluent*” yang disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini merupakan suatu kesyukuran bagi penulis karena adanya beberapa tantangan dan hambatan selama melakukan simulasi. Alhamdulillah semua itu dapat teratasi dengan kesabaran dan keikhlasan dalam menuntut ilmu, serta arahan, bimbingan, kritikan, dan saran dari berbagai pihak yang terlibat. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran sebagai bahan pelajaran bagi penulis.

Tidak lupa penulis ucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu dan turut terlibat dalam banyak hal selama penulis menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin. Penulis menyampaikan banyak terimakasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Kedua orangtua penulis, **Usman T Hade** dan **Syamsuriah Kajar** atas kesabaran, pengorbanan, dan dukungan doa yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini. Semoga beliau selalu dalam lindungan Allah.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan sekaligus sebagai Pembimbing I dan Ibu **Ir. Rosmani, MT.** selaku ketua Labo Hidrodinamika sekaligus Pembimbing 2 yang telah



membantu dan memberikan arahan sehingga penulis dapat dalam menyelesaikan skripsi ini.

3. Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** dan Bapak **Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T.**, selaku dosen laboratorium hidrodinamika sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
4. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, didikan dan motivasi yang telah yang telah diberikan selama di Pendidikan strata satu.
5. Seluruh Staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas kemurahan hatinya membantu segala administrasi penulis, Selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Senior Laboratorium Hidrodinamika atas kesediaannya untuk berdiskusi mengenai tugas akhir ini
7. Teman-teman Andromax 19 yang bersedia kebersamai dalam pengerjaan skripsi ini
8. Teman-teman Teknik Perkapalan 2019
9. Teman-teman Ztarboard 2019 yang telah memberikan semangat selama berkuliah.
10. Seluruh komunitas penulis yang menjadi tempat untuk belajar, mengasah skil, dan menambah wawasan diluar ilmu perkapalan.
11. Seluruh pihak terkait yang telah hadir di kehidupan kampus penulis.

Semoga pihak yang membantu dalam penulisan tugas akhir ini mendapatkan keberkahan dan diberkahi oleh Allah subhanahu wa ta'ala.

Gowa 25 April 2024

Penulis



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
Kata pengantar	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kapal Cepat (High Speed Craft)	4
2.2 Karakter Jenis Lambung Kapal Cepat	4
2.3 <i>Planning Hull</i>	5
2.4 <i>Stepped Hull</i>	7
2.5 Tahanan Kapal	9
2.6 Trim Kapal	13
2.7 Deadrise Angle	14
2.8 Hukum Perbandingan Model	14
2.9 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) ANSYS Fluent	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Lokasi Penelitian	22
3.2 Jenis Penelitian	22
3.3 Pengumpulan Data	22
3.4 Pengolahan Data	23
3.5 Kerangka Pemikiran	33
BAB 4.	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Permodelan dan <i>Boundary Layer</i>	34
4.2 Initial Condition	37
4.3 <i>Mesh Independent Study</i>	37
4.4 <i>Convergence Condition</i>	39
4.5 Visualisasi Velocity, Pola aliran, dan Pressure	41
4.6 Tahanan Model Kapal	49
4.7 Perbandingan Nilai Tahanan dengan Penelitian Sebelumnya	58
KESIMPULAN DAN SARAN	62
Kesimpulan	62
Daftar Pustaka	62
Daftar Pustaka	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tipe bentuk lambung kapal	6
Gambar 2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori <i>displacement hull</i> , <i>planning hull</i> , <i>semi-displacement hull</i>	6
Gambar 3 Visualisasi kapal dengan <i>stepped</i>	9
Gambar 4 Kapal dengan <i>stepped hull</i>	9
Gambar 5 Kapal kondisi <i>even keel</i>	13
Gambar 6 Kapal kondisi <i>trim by stern</i>	13
Gambar 7 Kapal kondisi <i>trim by head</i>	13
Gambar 8 <i>Deadrise angle</i> pada kapal <i>planning hull</i>	14
Gambar 9 Lines plan kapal pada software Autocad	23
Gambar 10 Visualisasi model kapal <i>planning hull</i> <i>deadrise angle</i> 10 derajat	23
Gambar 11 Sketsa peletakan <i>stepped</i> kapal	24
Gambar 12 Model kapal 1 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	24
Gambar 13 Model kapal 2 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	25
Gambar 14 Model kapal 3 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	25
Gambar 15 Proses import file <i>Maxsurf</i> ke <i>Rhinoceros 5</i>	26
Gambar 16 Proses penggambaran ulang model kapal pada <i>Rhinoceros 5</i>	26
Gambar 17 Model kapal yang telah solid	27
Gambar 18 Model solid kapal 1 <i>stepped</i> 2U pada <i>Rhinoceros 5</i>	27
Gambar 19 Model solid kapal 2 <i>stepped</i> 2U pada <i>Rhinoceros 5</i>	27
Gambar 20 Model solid kapal 3 <i>stepped</i> 2U pada <i>Rhinoceros 5</i>	28
Gambar 21 Visualisasi pemodelan tangki pengujian pada <i>Geometry</i>	28
Gambar 22 Visualisasi tahap <i>Mesh</i>	29
Gambar 23 Visualisasi tahap <i>Setup</i>	30
Gambar 24 Visualisasi proses <i>calculate</i>	31
Gambar 25 Visualisasi proses <i>result</i>	31
Gambar 26 Kerangka Pikir Penelitian	33
Gambar 27 <i>Boundary layer</i>	34
Gambar 28 Input kecepatan dan <i>bottom level</i> pada <i>pressure inlet</i>	35
Gambar 29 Input <i>bottom level</i> pada <i>pressure outlet</i>	35
Gambar 30 Pendefinisian <i>Side-wall</i> sebagai <i>wall specified shear</i>	36
Gambar 31 <i>Symmetry</i>	36
Gambar 32 Grafik jumlah element	38
Gambar 33 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.123 m/s dengan trim 2.190°	42
Gambar 34 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 2 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.169 m/s dengan trim 2.241°	42
Gambar 35 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 3 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.132 m/s dengan trim 2.194°	43
Gambar 36 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada sarat kapal	44
Gambar 37 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada 5 mm dibawah sarat kapal	44
Gambar 38 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada 10 mm dibawah sarat kapal	45



Gambar 39 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada 15 mm dibawah sarat kapal.....	45
Gambar 40 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada 20 mm dibawah sarat kapal.....	45
Gambar 41 Visualisasi <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada 25 mm dibawah sarat kapal.....	45
Gambar 42 Visualisasi pola aliran model kapal 1 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.123 m/s dengan trim 2.190°	46
Gambar 43 Visualisasi pola aliran model kapal 2 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.169 m/s dengan trim 2.241°	46
Gambar 44 Visualisasi pola aliran model kapal 3 <i>stepped</i> pada kecepatan kapal 2.132 m/s dengan trim 2.194°	47
Gambar 45 Visualisasi <i>pressure</i> model kapal 1 <i>stepped</i> pada kecepatan 2.123 m/s dengan trim 2.190°	48
Gambar 46 Visualisasi <i>pressure</i> model kapal 2 <i>stepped</i> pada kecepatan 2.169 m/s dengan trim 2.241°	48
Gambar 47 Visualisasi <i>Pressure</i> model kapal 3 <i>Stepped</i> pada kecepatan 2.132 m/s dengan trim 2.194°	49
Gambar 48 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan tahanan pada model 1 <i>stepped</i> 2U.....	50
Gambar 49 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan koefisien tahanan pada model 1 <i>stepped</i> 2U	50
Gambar 50 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan tahanan pada model 2 <i>stepped</i> 2U.....	51
Gambar 51 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan koefisien tahanan pada model 2 <i>stepped</i> 2U	51
Gambar 52 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan tahanan pada model 3 <i>stepped</i> 2U.....	52
Gambar 53 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan koefisien tahanan pada model 3 <i>stepped</i> 2U	52
Gambar 54 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan tahanan	53
Gambar 55 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) dengan koefisien tahanan.....	53
Gambar 56 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) yang sama dengan tahanan.....	54
Gambar 57 Grafik Persentase perbandingan tahanan terhadap <i>Froude number volume</i> (FnV) yang sama untuk setiap variasi jumlah <i>stepped</i>	55
Gambar 58 Kurva hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) yang sama dengan koefisien tahanan	56
Gambar 59 Grafik persentase perbandingan koefisien tahanan terhadap <i>Froude number Volume</i> (FnV) untuk setiap variasi jumlah <i>stepped</i>	57
60 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 1 <i>stepped</i>	58
61 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 2 <i>stepped</i>	59
62 Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 3 <i>stepped</i>	60



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Ukuran utama kapal	22
Tabel 2 Ukuran utama model.....	34
Tabel 3 <i>Initial condition</i>	37
Tabel 4 Kecepatan dan trim kapal.....	37
Tabel 5 <i>Mesh Independent Study</i>	38
Tabel 6 Nilai <i>Residual</i> belum <i>Convergence</i>	39
Tabel 7 Nilai <i>Residual Convergence</i>	39
Tabel 8 Kriteria <i>Convergence Condition</i>	40
Tabel 9 Nilai <i>residual</i> model kapal 1 <i>stepped</i>	40
Tabel 10 Nilai <i>residual</i> model kapal 2 <i>stepped</i>	41
Tabel 11 Nilai <i>residual</i> model kapal 3 <i>stepped</i>	41
Tabel 12 Nilai <i>velocity</i> model kapal 1 <i>stepped</i>	43
Tabel 13 Nilai <i>velocity</i> model kapal 2 <i>stepped</i>	44
Tabel 14 Nilai <i>velocity</i> model kapal 3 <i>stepped</i>	44
Tabel 15 Koefisien tahanan pada model kapal 1 <i>stepped</i>	50
Tabel 16 Koefisien tahanan pada model kapal 2 <i>stepped</i>	51
Tabel 17 Koefisien tahanan pada model kapal 3 <i>stepped</i>	52
Tabel 18 Hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) yang sama dengan tahanan	54
Tabel 19 Persentase perbandingan tahanan terhadap <i>Froude number volume</i> (FnV) yang sama untuk setiap variasi jumlah <i>stepped</i>	55
Tabel 20 Hubungan antara <i>Froude Number Volume</i> (FnV) yang sama dengan koefisien tahanan.....	56
Tabel 21 Persentase perbandingan koefisien tahanan terhadap <i>Froude number Volume</i> (FnV) untuk setiap variasi jumlah <i>stepped</i>	57
Tabel 22 Perbandingan nilai tahanan pada model 1 <i>stepped</i>	59
Tabel 23 Perbandingan nilai tahanan pada model 2 <i>stepped</i>	59
Tabel 24 Perbandingan nilai tahanan pada model 3 <i>stepped</i>	60



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
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 Visualisasi Velocity	64
Lampiran 2 Visualisasi Pola Aliran	67
Lampiran 3 Visualisasi <i>Pressure</i>	70
Lampiran 4 <i>Scaled Residual</i>	74
Lampiran 5 Statistik Jumlah <i>Element Mesh</i>	77



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

kecepatan tinggi. *Planning hull* memiliki nilai Froude : $Fr\sqrt{L} = 1,0 - 3,5$.
dkk, (2017).



Berdasarkan hasil penelitian terdahulu Destiana (2022) investigasi pengaruh tahanan kapal cepat pada *planning hull* dengan modifikasi kapal berlambung *stepped* menggunakan aplikasi *Autodesk CFD*. Perbandingan nilai tahanan pada kapal *Deadrise Angle* 10° dan menggunakan variasi 1 *Stepped 2U* dengan 2 *Stepped 2U* mengalami penurunan nilai tahanan sebesar 3.11% hingga 42.15%. Sedangkan perbandingan nilai tahanan pada kapal *Deadrise Angle* 10° dan menggunakan variasi 2 *Stepped 2U* dengan 3 *Stepped 2U* mengalami penurunan nilai tahanan sebesar 13.26% hingga 26.64%. Sedangkan perbandingan nilai tahanan pada kapal *Deadrise Angle* 10° dan menggunakan variasi 1 *Stepped 2U* dengan 3 *Stepped 2U* mengalami penurunan nilai tahanan sebesar 15.98% hingga 57.56%. 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 *Autodesk CFD* 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 BERLAMBUNG *PLANNING HULL*
DEADRISE ANGLE 10 DERAJAT DAN *STEPED 2U* MENGGUNAKAN
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 koefisien tahanan terhadap *Froude Number Volume* (FnV) pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle* 10 Derajat dan *Stepped Hull 2U*?
2. Bagaimana perbandingan hasil analisis tahanan menggunakan *Autodesk CFD* dan menggunakan *Ansys Fluent* pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle* 10 Derajat dan *Stepped Hull 2U* ?



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Koefisien tahanan pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2U* pada variasi jumlah *stepped*.
2. Menentukan perbandingan hasil analisis tahanan menggunakan *Autodesk CFD* dan menggunakan *Ansys Fluent* pada kapal *Planning Hull Deadrise Angle 10* Derajat dan *Stepped Hull 2U*

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 2U* dengan variasi 1 *Step*, 2 *Step*, dan 3 *Step*.
2. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan yaitu, kecepatan 2.123 m/s hingga 3.650 m/s dengan kondisi Trim buritan sebesar 2.190 derajat hingga 4.283 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 bertanggung 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*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Cepat (High Speed Craft)

Kapal Cepat merupakan kapal yang memiliki kecepatan yang sangat tinggi pada setiap dimensinya, hal ini berarti kapal memiliki angka *Froude* (F_n) yang besar Lawrence (1985). Angka *Froude* didefinisikan sebagai fungsi kecepatan (V) terhadap Panjang kapal (L) sebagaimana persamaan Andi Haris Muhammad (2013):

$$F_n = V/\sqrt{gL} \quad (1)$$

Dalam perencanaan kapal cepat kita harus memperhatikan hal-hal berikut Rosmani (2013):

- 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.

2.2 Karakter Jenis Lambung Kapal Cepat

Karakter sebuah kapal itu dipengaruhi oleh Froude Numbrnya. Froude Number yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk jenis kapal Planning hull, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Foude Number (F_n) sering digunakan sebagai parameter sebuah kapal. Rosmani (2013) :

Secara umum, *high speed craft* membutuhkan daya yang besar. Hal ini karena *resistance* kapal merupakan suatu fungsi yang sangat berpengaruh dengan kecepatan kapal.

Dengan demikian mengandakan daya yang terpasang, menghasilkan peningkatan kecepatan hingga 26%. Kesulitan kedua ialah dengan mencoba atkan kecepatan pada kondisi *rough water*. Rosmani dkk, (2013)

imana Bilangan Froude merupakan bilangan yang menunjukkan ngan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau kapal



lambat. Penggolongan kapal menurut bilangan Froude:

a. Kapal lambat : kapal berlayar dengan $F_n \leq 0,20$

Hambatan gelombang (R_w) = 0

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

Hambatan gesek (R_f) = 70-75% R_t

Hambatan gelombang (R_w) = 25-30% R_t

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

Hambatan gelombang = 50% R_t

Menurut Muhammad A.H. Dkk, (2013), pada kapal dengan lambung *planning*, kenaikan kecepatan kapal sangat dipengaruhi oleh panjang efektif permukaan basah kapal, khususnya dalam menentukan koefisien lift dan drag kapal sehingga dalam hal ini angka *Froude* dapat didefinisikan sebagai fungsi kecepatan terhadap lebar permukaan basah kapal.

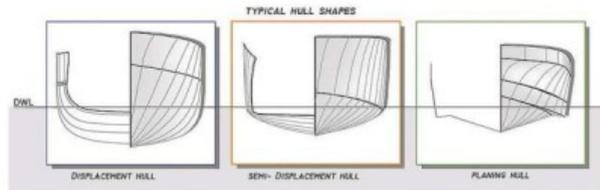
2.3 *Planning Hull*

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. Hakim P. R. (2018)

Menurut Muhammad A. H. (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 tahanan kapal. Seiring dengan kemajuan teknologi, konsep ini dikembangkan desain lambung sebuah kapal berkecepatan tinggi atau dikenal dengan *hull*. Di-Indonesia, kapal tipe *planing hull* umumnya difungsikan sebagai



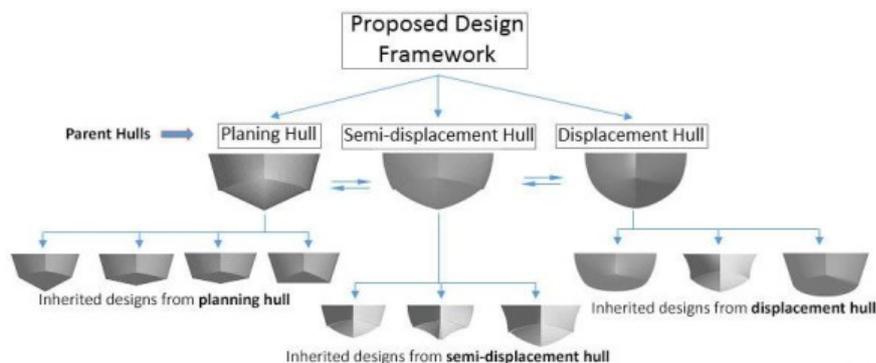
kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe planing hull dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik



Gambar 1 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 2 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 kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu, banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: *air cushion* (ACV), *seaplanes*, *wing-in-ground effect (WIG) craft*, *planing hydrofoil*



ships, surface effect ships (SES) dan kapal Stolkraft. Jenis kapal cepat tersebut memiliki karakteristik operasional dan keunggulan tertentu serta banyak diaplikasikan sebagai kapal patroli, kapal penyelamat, kapal penumpang, kapal riset dan kapal pesiar. Jamaluddin (2012)

2.4 Stepped Hull

Menurut Citra Eka F, (2018). *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. *Step hull* sendiri berfungsi mengurangi luasan permukaan basah karena timbulnya turbulensi di bawah badam kapal dan akan menambah gaya angkat ke atas, sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan pada kapal. Aziz M. dkk, (2019)

Stepped Hull adalah bidang pada lambung kapal yang bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air, atau biasa juga berbentuk “V”. Steps memiliki bukaan yang besar pada sisi outboard paada lambung untuk memberikan udara yang bertujuan untuk menyedot kebawa. Pada umumnya, stepped hull dapat meningkatkan kecepatan sekitar 10-15% yang diinginkan antara memakai stepped hull dengan tidak memakai stepped hull dengan power pada mesin yang sama.

Suatu alasan mengapa Stepped Hulls lebih efektif adalah area/bagian yang tercelup air bias dibagi beberapa beam dibandingkan dengan panjang kapal, lebar (high-aspect) permukaan lebih efisien, rendah (low-aspect) pada saat kondisi gesekan terhadap air. Jadi, dibaik sebuah ide tentang Stepped Hull adalah untuk mengurangi permukaan yang tercelup air seperti teori pada pesawat terbang. Banyak yang mengira bahwa Stepped Hull mengurangi lapisan/permukaan lambung yang terkena air, tetapi sesungguhnya pada konsep step hull ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. Budiarto (2011).

Stepped Hull adalah sebuah alternatif untuk lambung kapal planning atau bentuk kapal berkecepatan tinggi. Lambung stepped memiliki diskontinuitas yang terletak di beberapa titik di belakang pusat grafitasi dan titik tekan lokasi longitudinal dari diskontitas melintang ini sangat penting. Untuk



mengetahui alasan dalam mendesain bentuk stepped 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 grafitasi kapal. Garland (2010).

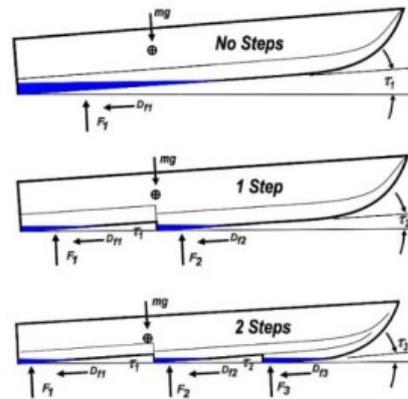
Seiring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula resistensi yang disebabkan oleh gelombang yang signifikan, sehingga pembuatan kapal membutuhkan kritisasi efektifitas yang tinggi. Desain dan analisis prosedur diperlukan untuk kapal berkecepatan tinggi dikarenakan kinerja dan karakter kecepatan tinggi menjadi sangat penting di beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, diperlukan untuk membuat strategi perancangan bentuk lambung dalam rangka mengurangi hambatan kapal.

Stephull merupakan modifikasi bentuk lambung berupa step melintang yang

akan pada bawah lambung bagian midship kapal. Stephull atau transvers step planing hull atau planing stepped hull merupakan modifikasi pada bawah lambung kapal berupa step melintang atau jika dilihat bangunan



kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya. Eka C. (2018)



Gambar 3 Visualisasi kapal dengan *stepped*

Sumber : aeromarineresearch.com



Gambar 4 Kapal dengan *stepped hull*

Sumber : waylenbayyachtsales.com

2.5 Tahanan Kapal

Tahanan (resistance) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Sedangkan suatu tahanan kapal ini adalah sama dengan suatu gaya karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya

hidrodinamika semata-mata disebabkan oleh pergerakan relatif kapal terhadap air. (Eka C, (2013).

kapal planning 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*). Aziz M. 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)



v : Kecepatan (m/s)

- Koefisien gesek (*friction coefficient, C*)

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

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendicular*) dan V_s 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 bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.



3) Tahanan bentuk

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

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.

Tahanan Total (*Total resistance*)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Adapun persamaan dari tahanan total kapal adalah sebagai berikut :

$$R_t = \frac{1}{2} \times \rho \times C_t \times S \times V^2 \quad (5)$$

Dimana :

R_t = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

C_t = Koefisien tahanan total

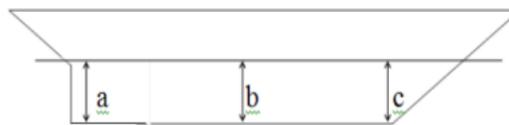
S = Luas bidang basah

= Kecepatan (m/s)



2.6 Trim Kapal

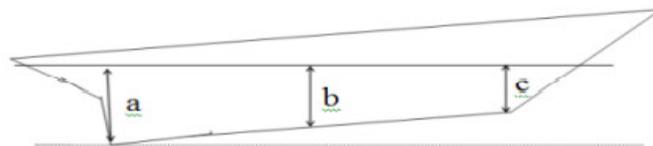
Trim adalah perbedaan antara draft depan dan draft belakang. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. Trim dapat diartikan sebagai suatu keadaan kapal senget (list) secara membujur (longitudinal). Hind (1967) menyatakan bahwa trim adalah perbedaan antara *draft* depan dan *draft* belakang. 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 (*Aft Draft*).



Gambar 5 Kapal kondisi *even keel*

Sumber : www.maritimeworld.web.id

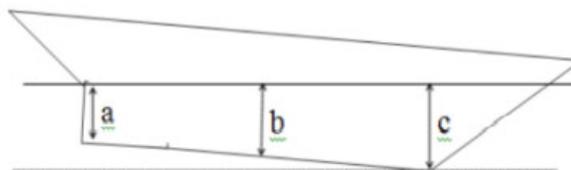
Gambar diatas menunjukkan kapal *even keel* yaitu draft depan sama dengan draft belakang ($a = c$) dimana $b = \frac{(a+c)}{2}$, hanya terjadi bilamana kapal tidak *hogging* atau *sagging*.



Gambar 6 Kapal kondisi *trim by stern*

Sumber : www.maritimeworld.web.id

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



Gambar 7 Kapal kondisi *trim by head*

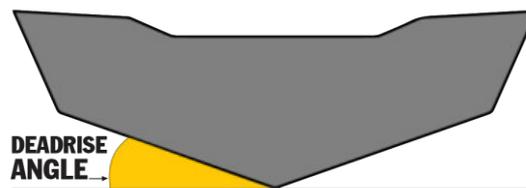
Sumber : www.maritimeworld.web.id



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

2.7 Deadrise Angle

Kapal yang memiliki *Deadrise angle* merupakan salah satu bentuk lambung dari jenis lambung planning hull. *Deadrise Angle* memiliki besar sudut kemiringan pelat dasar kapal terhadap sumbu *horizontal*s. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8 *Deadrise angle* pada kapal planning hull

Sumber : www.clipartmax.com

2.8 Hukum Perbandingan Model

Menurut Alham D. M. Dkk, (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

2.8.1 Kesamaan Geometris

Menurut Alham D. M. Dkk, (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

banding dengan ukuran kolam atau lainnya. Demikian pula tekanan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, harusnya 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 :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (6)$$

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)

2.8.2 Kesamaan Kinematis

Menurut Alham D. M. Dkk, (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.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (7)$$

Atau :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (8)$$

Dimana :

Fr	= angka froude
L_s	= panjang kapal (m)
L_m	= panjang model (m)
V_s	= kecepatan kapal (m/dt)
V_m	= kecepatan model (m/dt)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/dt ²)



2.8.3 Kesamaan Dinamis

Menurut Alham D. M. Dkk, (2011), bahwa Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas.

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (9)$$

Atau :

$$\frac{Vm.Lm}{\nu} = \frac{Vs.Ls}{\nu} \quad (10)$$

Dimana :

- Rn = angka reynold
- Ls = panjang kapal (m)
- Lm = panjang model (m)
- Vs = kecepatan kapal (m/dt)
- Vm = kecepatan model (m/dt)
- ν = viskositas kinematis fluida (m² /dt)
- = 1,1883 x 10⁻⁶ (m² /dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

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

2.9 Computational Fluid Dynamics (CFD) ANSYS Fluent

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 membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering Versteeg H.K. (1995).



Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada 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 umum persamaan Navier-Stokes adalah sebagai berikut:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (11)$$

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 kontinuitas dengan penyelesaian integral :

$$\int N \left(\frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \quad (12)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega \quad (13)$$

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 atas menunjukkan kondisi batas alami untuk persamaan tekanan



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

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \quad (14)$$

$$V = V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y} \quad (15)$$

$$W = W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z} \quad (16)$$

Sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \quad (17)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega \quad (18)$$

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,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (19)$$

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} + N \left(\frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega \quad (20)$$

$$= \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega \quad (21)$$

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

Proses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar di setiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks (a_i, a_j) . Metode klasik dalam penyelesaian matriks menggunakan 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.

2.9.1 Proses simulasi ANSYS CFD

Simulasi ANSYS merupakan penerapan dari metode volume hingga atau *Finite Volume Method* (FVM). FVM merupakan metode numeric untuk mendiskritisasi diferensial parsial kontiniu menjadi sekumpulan persamaan aljabar. Langkah pertama diskritisasi adalah membagi domain komputasi menjadi sejumlah volume yang terbatas dan membentuk mesh atau grid. Diferensial parsial kontiniu 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.

Kemampuan Ansys CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaannya 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.

