

SKRIPSI

**STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL*
DEADRISE ANGLE 15 DERAJAT DAN *STEPPED 2U*
MENGUNAKAN *ANSYS FLUENT***

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDITA PASULU
D031 19 1040**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL* *DEADRISE ANGLE 15 DERAJAT* DAN *STEPPED 2U* MENGUNAKAN *ANSYS FLUENT*

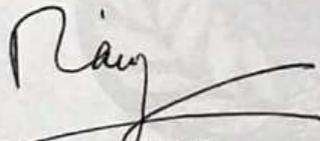
Disusun dan diajukan oleh

Andita Pasulu
D031 19 1040

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,

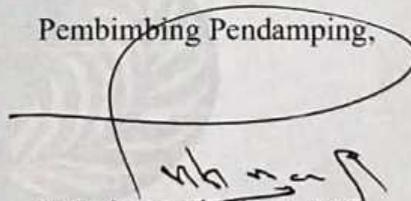
Pembimbing Utama,



Ir. Rosman, M.T.

NIP 19600620 198802 2 001

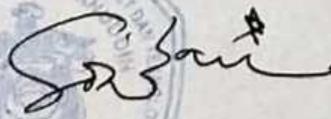
Pembimbing Pendamping,



Ir. Lukman Bochary, M.T.

NIP 19581127 198803 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, S.T. M.T.

NIP 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Andita Pasulu
NIM : D031 19 1040
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL* *DEADRISE ANGLE 15 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



Andita Pasulu



ABSTRAK

ANDITA PASULU. *Studi Tahanan Kapal Berlambung Planning Hull Deadrise Angle 15 Derajat Dan Stepped 2U Menggunakan Ansys Fluent* (dibimbing oleh Rosmani dan Lukman Bochary)

Salah satu cara modifikasi pada lambung ialah pemasangan *stepped hull*. Hal ini dilakukan guna mendapatkan desain kapal yang menjamin performa. Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (*stepped hull*) ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) dan mengurangi tahanan kapal, sehingga dapat meningkatkan performa kapal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan bantuan software *maxsurf pro modeller* dan *rhinoceros 6* untuk pemodelan, dan *ansys fluent* dalam melakukan analisis tahanan. Berdasarkan analisa tahanan pada lambung deadrise angle 15 derajat *stepped 2U*, diketahui bahwa tahanan total kapal cenderung menurun seiring dengan penambahan jumlah *stepped* serta peningkatan kecepatan dan trim kapal. Pada model kapal 3 *stepped 2U* memiliki nilai tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan model kapal 1 *stepped 2U* dan 2 *stepped 2U*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *stepped* pada model kapal dapat mengurangi tahanan

Kata Kunci: Tahanan Kapal, *Stepped Hull*, *Ansys Fluent*



ABSTRACT

ANDITA PASULU: *Study of Planning Hull with a Deadrise Angle of 15 Degrees and Stepped 2U Design Using Ansys Fluent* (Supervisor by Rosmani and Lukman Bochary)

One way to modify a hull is by installing a *stepped* hull. This is done to achieve a ship design that ensures performance. The basic principle of using a *stepped* hull is to reduce the wetted surface area and decrease the resistance of the ship, thereby improving its performance. The method used in this research is numerical method with the assistance of Maxsurf Pro Modeller and Rhinoceros 6 software for modeling, and Ansys Fluent for resistance analysis. Based on the resistance analysis on the 15-degree deadrise angle hull with 2U *stepped* design, it is known that the total resistance of the ship tends to decrease with the addition of *stepped* and an increase in the speed and trim of the ship. The ship model with 3 *stepped* 2U has a smaller resistance value compared to the ship model with 1 *stepped* 2U and 2 *stepped* 2U. Thus, it can be concluded that the addition of *stepped* to the ship model can reduce resistance.

Keywords: Ship Resistance, *Stepped* Hull, Ansys Fluent



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	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.....	15
2.6 Hukum Perbandingan Model.....	16
2.6.1 Kesamaan geometris.....	16
2.6.2 Kesamaan kinematis.....	17
2.6.3 Kesamaan dinamis.....	18
2.7 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	18
<i>Software Ansys</i>	22
METODE PENELITIAN.....	24
Metode dan Waktu Penelitian.....	24



3.2 Jenis Penelitian.....	24
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	24
3.4 Pengelohan Data.....	24
3.4.1. Kajian pustaka.....	24
3.4.2 Data kapal	24
3.4.3 Pemodelan kapal.....	25
3.4.4 Pemodelan Ulang Menggunakan <i>Rhinoceros 6</i>	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>	41
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.....	50
4.4.3 Visualisasi <i>Static Pressure</i>	52
4.5 Prediksi Tahanan Model Kapal	54
4.6 Perbandingan Nilai Tahanan dengan Penelitian Sebelumnya.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Lambung Kapal Cepat.....	6
Gambar 2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori displacement hull, planning hull, semi-planning hull.....	7
Gambar 3 Tipe Planning Hull	8
Gambar 4 Deadrise angle pada kapal planning hull.....	8
Gambar 5 Visualisasi Kapal dengan <i>Stepped</i>	10
Gambar 6 Kapal dengan Lambung Bertangga	10
Gambar 7 Grafik Rasio Hambatan/Displasmen dan Sudut Trim Terhadap Kecepatan	11
Gambar 8 Kapal Kondisi Even Keel.....	15
Gambar 9 Kapal Kondisi Trim by Stern	15
Gambar 10 Kapal Kondisi Trim by Head	15
Gambar 11 Lines Plan Kapal pada Software Autocad.....	25
Gambar 12 Body plan kapal dengan variasi deadrise angle 15°.....	26
Gambar 13 Sketsa peletakan <i>stepped</i> kapal	26
Gambar 14 Model kapal 1 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	27
Gambar 15 Model kapal 2 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	27
Gambar 16 Model kapal 3 <i>stepped</i> 2U pada <i>maxsurf</i>	27
Gambar 17 Tampilan awal model kapal tanpa <i>stepped</i> pada <i>maxsurf</i> modeller. 28	
Gambar 18 Tampilan awal penambahan <i>stepped</i> pada kapal berbentuk deadrise angle 15°	28
Gambar 19 Tampak bawah penampang 1 <i>stepped</i> pada kapal berbentuk <i>deadrise</i> angle 15°	29
Gambar 20 Tampak samping kapal berbentuk deadrise angle 15° dengan penampang 1 <i>stepped</i>	29
Gambar 21 Proses Trimming pada surface yang saling berpotongan.....	30
Gambar 22 Tampak kapal berbentuk lambung deadrise angle 15° dengan 1 <i>stepped</i> berbentuk 2U	30
Gambar 23 Proses import file Maxsurf ke Rhinoceros 6.....	31
Gambar 24 Proses penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 6.....	31
Gambar 25 Model kapal yang telah solid	32
Gambar 26 Model solid kapal 1 <i>stepped</i> 2U pada Rhinoceros 6	32
Gambar 27 Model solid kapal 2 <i>stepped</i> 2U pada Rhinoceros 6	32
Gambar 28 Model solid kapal 3 <i>stepped</i> 2U pada Rhinoceros 6	33
Gambar 29 Tampilan awal Ansys Fluent.....	33
Gambar 30 Tahap geometry model	34
Gambar 31 Mesh sizing model	34
Gambar 32 Detail meshing model.....	35
Gambar 33 Boundary layer	39
Gambar 34 <i>Inlet boundary</i>	39
Gambar 35 <i>Outlet boundary</i>	40
Gambar 36 <i>Wall boundary</i>	40



Gambar 37	<i>Hull boundary</i>	40
Gambar 38	Grafik hubungan antara tahanan terhadap jumlah mesh	41
Gambar 39	Kriteria convergence condition	43
Gambar 40	Visualisasi velocity magnitude model satu <i>stepped</i> 2U pada kecepatan 2,519 m/s dan trim 1,695°	45
Gambar 41	Visualisasi velocity magnitude model dua <i>stepped</i> 2U pada kecepatan 2,525 m/s dengan trim 1,955°	46
Gambar 42	Visualisasi velocity magnitude model tiga <i>stepped</i> 2U pada kecepatan 2,584 m/s dengan trim 2,468°	47
Gambar 43	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada sarat kapal.....	48
Gambar 44	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada 5 mm dibawah sarat kapal.....	48
Gambar 45	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada 10 mm dibawah sarat kapal.....	48
Gambar 46	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada 15 mm dibawah sarat kapal.....	49
Gambar 47	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada 20 mm dibawah sarat kapal.....	49
Gambar 48	Visualisasi velocity model kapal 1 <i>stepped</i> pada 25 mm dibawah sarat kapal.....	49
Gambar 49	Visualisasi pola aliran model satu <i>stepped</i> 2U pada kecepatan	50
Gambar 50	Visualisasi pola aliran model satu <i>stepped</i> 2U pada kecepatan	51
Gambar 51	Visualisasi pola aliran model satu <i>stepped</i> 2U pada kecepatan 2,584 m/s dan trim 2,468°	51
Gambar 52	Static pressure model satu <i>stepped</i> 2U pada kecepatan	52
Gambar 53	Static pressure model dua <i>stepped</i> 2U pada kecepatan.....	53
Gambar 54	Static pressure model tiga <i>stepped</i> 2U pada kecepatan	53
Gambar 55	Kurva hubungan antara FnV dan koefisien tahanan model kapal <i>stepped</i> 2U	55
Gambar 56	Kurva hubungan antara koefisien tahanan dengan Froude Number Volume (FnV) yang sama.....	56
Gambar 57	Grafik persentase perbandingan koefisien tahanan terhadap Froude number Volume (FnV) yang sama	56
Gambar 58	Kurva hubungan antara FnV dan tahanan total model kapal <i>stepped</i> 2U	57
Gambar 59	Kurva hubungan antara tahanan total dan <i>Froude Number Volume</i> (FnV) yang sama	58
Gambar 60	Grafik persentase perbandingan tahanan total terhadap Froude number Volume (FnV) yang sama	58
Gambar 61	Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 1 <i>stepped</i>	59
Gambar 62	Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 2 <i>stepped</i>	60
Gambar 63	Kurva perbandingan nilai tahanan pada model 3 <i>stepped</i>	61



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Ukuran utama kapal	25
Tabel 2 Kecepatan dan <i>angle trim</i> buritan model pada setiap kondisi	38
Tabel 3 Properti fluida	38
Tabel 4 Hasil <i>mesh study independence</i>	41
Tabel 5 Nilai <i>residual</i> belum <i>convergence</i>	42
Tabel 6 Nilai <i>residual convergence</i>	42
Tabel 7 Nilai residual model kapal 1 <i>stepped</i>	43
Tabel 8 Nilai <i>residual</i> model kapal 2 <i>stepped</i>	44
Tabel 9 Nilai residual model kapal 3 <i>stepped</i>	44
Tabel 10 Nilai gradasi warna velocity magnitude model kapal satu <i>stepped</i> 2U	45
Tabel 11 Nilai gradasi warna velocity magnitude model kapal dua <i>stepped</i> 2U.	46
Tabel 12 Nilai gradasi warna velocity magnitude model kapal 3 <i>stepped</i> 2U.....	47
Tabel 13 Koefisien tahanan pada model kapal 1 <i>stepped</i>	54
Tabel 14 Koefisien tahanan pada model kapal 2 <i>stepped</i>	54
Tabel 15 Koefisien tahanan pada model kapal 3 <i>stepped</i>	55
Tabel 16 Hubungan antara koefisien tahanan dengan FnV yang sama	56
Tabel 17 Hubungan antara tahanan total dengan FnV yang sama.....	57
Tabel 18 Perbandingan nilai tahanan pada model 1 <i>stepped</i>	59
Tabel 19 Perbandingan nilai tahanan pada model 2 <i>stepped</i>	60
Tabel 20 Perbandingan nilai tahanan pada model 3 <i>stepped</i>	61



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 Penentuan Skala Model	66
Lampiran 2 Ukuran Utama Model	67
Lampiran 3 Visualisasi Velocity Magnitude dan Pola Aliran	68
Lampiran 4 Visualisasi Pola Aliran.....	71
Lampiran 5 Visualisasi Static Pressure	74



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**STUDI TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL DEADRISE ANGLE 15 DERAJAT* DAN *STEPPED 2U* MENGGUNAKAN *ANSYS FLUENT*”.**

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

Dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak terima kasih pada semua pihak yang ikut membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Rasa terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Kedua Orang tua saya Piter Pasulu dan Ludia Palamba yang senantiasa melimpahkan kasih sayang, doa, dukungan serta motivasi yang tiada hentinya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
2. Ibu Ir. Rosmani., MT. Selaku ketua Labo Hidrodinamika kapal sekaligus penasehat akademik serta pembimbing I yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. Selaku pembimbing II yang meluangkan waktunya memberikan arahan dan masukan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. Selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan sekaligus dosen penguji dalam tugas akhir ini.
5. Bapak Muhammad Akbar Asis, ST., MT. Selaku dosen penguji atas masukan dan saran sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Seluruh pegawai/staff Departemen Teknik Perkapalan yang selalu membantu segala administrasi selama penulis kuliah.



7. Seluruh Dosen Departmen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, dan didikan yang diberikan. Semoga ilmu yang telah diajarkan membawa keberkahan dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
8. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2019, terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
9. Teman-teman ZTARBOARD, terima kasih atas kebersamaan dan bantuannya yang sangat berarti selama penulis berkuliah
10. Teman-teman saudara seiman CYNOSURE dan CONVERSION, terima kasih atas persekutuan yang sehat ini sehingga penulis bisa terus bertumbuh dalam iman.
11. Sobat perskripsian (Bahrul, Fajruzzaman, Fadhil, Masri, Putri) yang membantu penulis untuk mendalami penelitian ini serta dukungan afirmasi positifnya sehingga penulis bisa terus termotivasi untuk menyelesaikannya.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

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.

Gowa, April 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia maritim sekarang kapal telah menjadi alat transportasi laut yang sangat bermanfaat bagi perekonomian Negara Indonesia. Dimana Negara Indonesia sendiri sebagai negara kepulauan yang memiliki ribuan pulau tentunya sangat membutuhkan transportasi laut yang dapat menjangkau ke semua pulau di Indonesia.

Kapal memiliki banyak jenis sesuai dengan fungsi dan tujuan dari dibuatnya kapal tersebut, baik itu untuk transportasi barang, manusia ataupun untuk kepentingan lainnya. salah satu jenis kapal yang ada adalah kapal cepat. Saat ini kebutuhan akan kapal cepat semakin meningkat, baik itu untuk kepentingan pemerintahan, militer, pariwisata maupun rekreasi. Peningkatan kebutuhan ini menyebabkan makin meningkatnya pula permintaan untuk pembuatan kapal cepat. Hal ini mendorong perkembangan beberapa bentuk desain lambung kapal, misalnya kapal *planing hull* yang biasa digunakan untuk transportasi air berkecepatan tinggi.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, hal ini disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat di rancang untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat dioptimal. Untuk itu dalam merencanakan desain lambung harus memperhatikan aspek tahanan yang dihasilkan oleh kapal cepat, maka dari itu jenis lambung yang biasa digunakan adalah jenis lambung dengan tipe *planing hull* yang mana sebagian besar beratnya didukung oleh tekanan hidrodinamik saat melaju dengan kecepatan tinggi.

Untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat dari pencapaian kecepatan kapal telah banyak cara digunakan yaitu dengan melakukan perubahan atau modifikasi pada *engine*, *hull* maupun *propulsor*.

Salah satu cara modifikasi pada lambung ialah pemasangan *stepped hull*. Hal

kan guna mendapatkan desain kapal yang menjamin performa prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (*stepped planing hull*) mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya



turbulensi dibawah badan kapal, dan akan menambah daya tekan ke atas kapal (*lifting force*), sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan dan menaikkan efisiensi dengan demikian maka akan menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih kecil serta bahan bakar yang lebih sedikit (Sandiary dkk, 2019).

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu oleh Fadhlurrahman (2023), studi eksperimen tahanan kapal *planning hull* dengan *deadrise angle* 15 derajat dan *stepped hull* berbentuk 2U bahwa pada kecepatan 2,5 m/s – 3,5 m/s. Perbandingan nilai tahanan model kapal 2 *stepped* 2U lebih kecil 51,21 %, 62,45%, dan 66,39 % daripada nilai tahanan 1 *stepped* 2U. Lalu perbandingan nilai tahanan model kapal 3 *stepped* 2U lebih kecil 85,75%, 85,18 %, dan 85,39% daripada 2 *stepped* 2U. Kemudian perbandingan nilai tahanan model kapal 3 *stepped* 2U lebih kecil 93,04%, 94,43%, dan 95,09 % daripada nilai tahanan 1 *stepped* 2U. Dalam hal ini dapat disimpulkan model kapal 3 *Stepped* 2U memiliki nilai tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai tahanan model kapal 1 *Stepped* 2U dan 2 *Stepped* 2U.

Berdasarkan dari uraian penjelasan di atas maka penulis akan melakukan penelitian lanjutan menggunakan aplikasi *ansys fluent* dengan judul :

“STUDI EFEK TAHANAN KAPAL BERLAMBUNG *PLANNING HULL* *DEADRISE* 15° DAN *STEPPED* 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 jumlah *stepped* terhadap koefisien tahanan kapal *planning hull deadrise angle* 15° dan *stepped hull* 2U menggunakan *ansys fluent*?
2. Seberapa besar persentase perbandingan nilai tahanan satu *stepped* , dua *stepped* , dan tiga *stepped* pada kapal *planning hull deadrise angle* 15° dan *stepped hull* 2U menggunakan *ansys fluent*?



1.3 Batasan Masalah

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

1. Skala model kapal yaitu 1 : 15
2. *Stepped Hull* berbentuk 2U dengan variasi satu *stepped* , dua *stepped* , dan tiga *stepped* .
- 3 Perhitungan nilai tahanan menggunakan variasi *trim* berdasarkan kecepatan yang didapatkan pada eksperimen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan pengaruh jumlah *stepped* terhadap koefisien tahanan kapal *planning hull deadrise angle 15°* dan *stepped hull 2U* menggunakan *ansys fluent*.
2. Menentukan besar persentase perbandingan nilai tahanan satu *stepped* , dua *stepped* , dan tiga *stepped* pada kapal *planning hull deadrise angle 15°* dan *stepped hull 2U* menggunakan *ansys fluent*.

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 masukan bagi perancang kapal dalam merancang kapal cepat yang efisien saat beroperasi.
3. Untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang pengaruh kenaikan trim dan hubungannya dengan nilai tahanan kapal cepat.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian akan dituang dalam tulisan secara terperinci dan tersusun sebagai



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.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dikemukakan mengenai lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, metode pengolahan data, dan kerangka piker 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 hidrostatis 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 *planning 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:

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

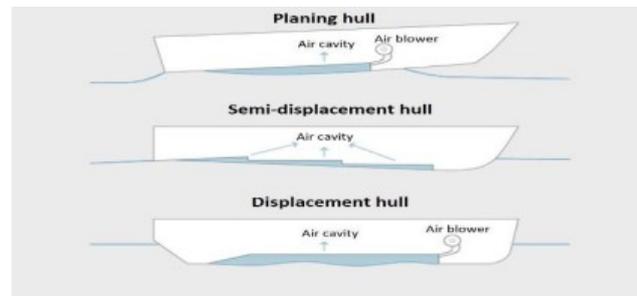
Dimana:

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

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>Planning hull/vessel</i> (lambung <i>planning</i>)





Gambar 1 Lambung Kapal Cepat

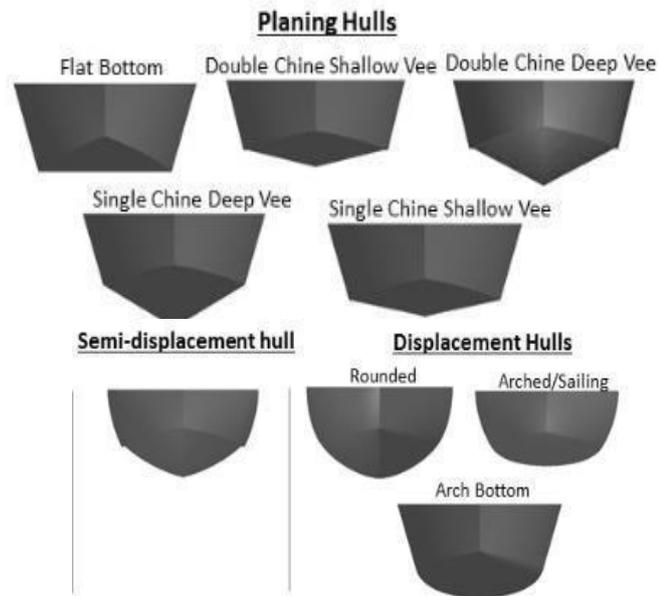
Sumber: (<https://mboat.eu/displacement-hull/>)

2.2 *Planning Hull*

Kapal *planning hull* 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)

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 2 berikut.





Gambar 2 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori *displacement hull*, *planning hull*, *semi-planning hull*

Sumber : Sharoz Khan,2017

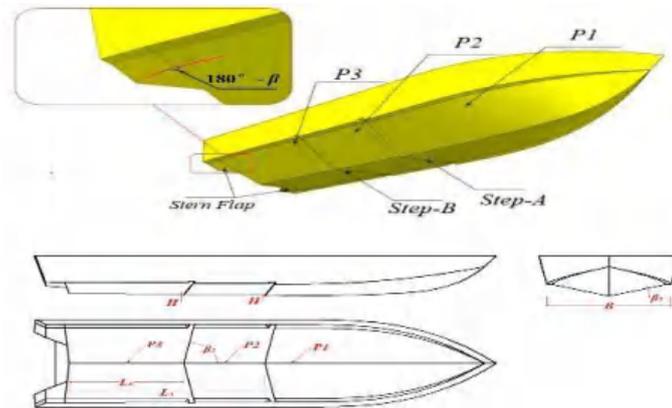
Kapal cepat (*planing hull*) terdiri dari gaya gesek (*friction*) dan gaya vertikal (*induced drag*), dimana hambatan geseknya lebih dominan dari total hambatan. Fenomena ini membuat para ahli kapal terinspirasi untuk menciptakan desain kapal yang memiliki hambatan gesek lebih rendah. Oleh karena itu belakangan ini banyak dijumpai tipe kapal cepat yang disebut: *air cushion vehicles* (ACV), *seaplanes*, *wing-in-ground effect* (WIG) *craft*, *planning 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)

Menurut Muhammad, A.H. (2009), 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* (*flyingboat*) dimana air adalah sebagai media pendaratan kapal. Seiring dengan kemajuan

, konsep ini dikembangkan untuk desain lambung sebuah kapal pendaratan tinggi atau dikenal dengan *planing hull*. Di-Indonesia, kapal tipe *hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan

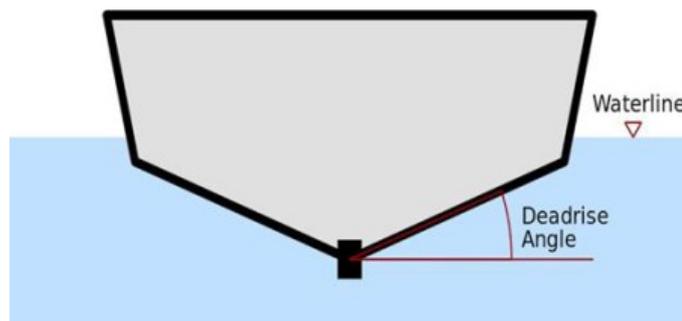


pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe planing hull dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik. (Rosmani, 2013).



Gambar 3 Tipe *Planing Hull*

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



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

Sumber : Putranto T, 2016.

2.3 *Stepped Hull*

Stepped Hull atau lambung bertangga adalah konfigurasi alternatif untuk *planing hull* dengan kecepatan yang biasanya tinggi. *Stepped Hull* memiliki

uitas melintang yang terletak di beberapa titik pada belakang pusat kapal dan pusat tekanan. Lokasi dari peletakan diskontinuitas membujur al atau tangga ini sangat penting. Untuk memahami alasan di balik desain



Stepped Hull, seseorang harus memahami prinsip-prinsip hidrodinamika *planing 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). Namun hal tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tahanan gesek kapal, dari sisi ekonomi hal ini sangat buruk karena dapat menambah kebutuhan daya kapal yang berakibat kebutuhan bahan bakar yang naik. Garland(2010)

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.

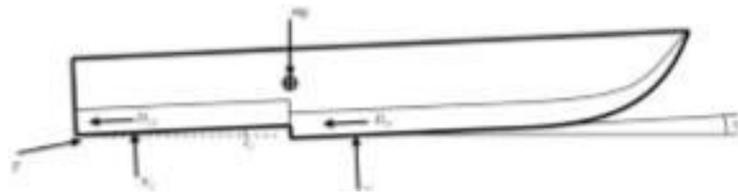
Suatu alasan mengapa *Stepped Hull* lebih efektif adalah karena area/bagian yang tercelup air biasa dibagi pada beberapa beam sepanjang kapal., karena bentuk lebar kapal seperti ini sehingga lebih efisien, sehingga pada memperkecil gesekan antara lambung kapal dengan air. Jadi, tujuan dari ide tentang *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 *hull* ini adalah untuk meminimalkan bagian lambung. (Budiarto,2011).

ring dengan meningkatnya modifikasi kapal cepat, meningkat pula 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 bertangga yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 5 Visualisasi Kapal dengan *Stepped*

Sumber : Febrian C K,2018

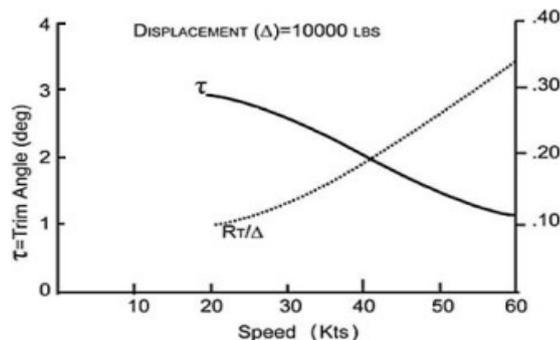


Gambar 6 Kapal dengan Lambung Bertangga

Sumber : Febrian C K,2018.

Pada kapal cepat dengan modifikasi *stephull*, sudut trim dari kapal *Monohull Planning* akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan sedangkan rasio Δ /displasemen akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan. (Muhaer, Untung Budiarto, Muhammad Iqbal, 2018)





Gambar 7 Grafik Rasio Hambatan/Displasmen dan Sudut Trim Terhadap Kecepatan

Sumber : Zubaer,2018.

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. .

2.4 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. (Rosmani dkk, 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

s formula. Dari hasil analisa savitsky, komponen hambatan pada kapal terdiri dari tekanan (*pressure force*) dan kekentalan (*viscous drag*). (Mohtar . 2019).



Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengangap 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 (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*)

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

di mana 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 dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstructure*) 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.

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

Hambatan kemudi (*Steering Resistance*) Yaitu akibat pemakaian kemudi



mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi.

d. Tahanan Total (*Total Resistance*)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldhammer dan Harvald (harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (5)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m³)

C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m²)

v = Kecepatan (m/s)

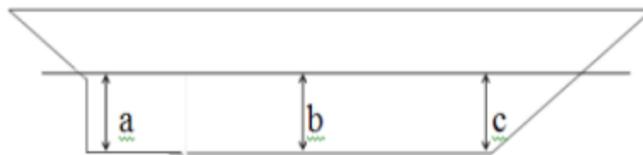
Maka untuk mencari nilai koefisien tahanan digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$C_T = \frac{2 R_T}{\rho S v^2} \quad (6)$$



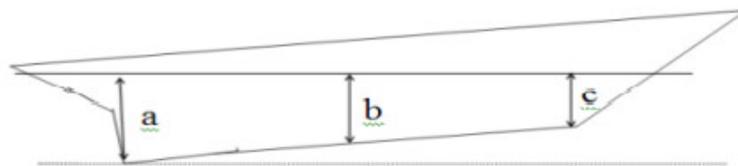
2.5 Trim Kapal

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.



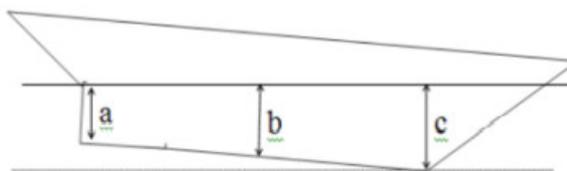
Gambar 8 Kapal Kondisi *Even Keel*

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 9 Kapal Kondisi *Trim by Stern*

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



Gambar 10 Kapal Kondisi *Trim by Head*

Gambar diatas menunjukkan kapal *trim by Head* yaitu draft balakang lebih 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 :

$$\lambda = \frac{Ls}{Lm} = \frac{Bs}{Bm} = \frac{T_s}{Tm} \quad (7)$$

Dimana :

- λ = skala perbandingan
- Ls = panjang kapal (m)
- Lm = panjang model (m)
- Bs = lebar kapal (m)
- Bm = lebar model (m)
- T_s = sarat kapal (m)
- = sarat model (m)



Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangki 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:

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

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

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.

$$Fr_m = Fr_s \quad (8)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m}$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

Dimana :



= angka froude

= 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)

2.6.3 Kesamaan dinamis

Jika percobaan model yang dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai besarnya gaya yang bekerja pada pola yang ditinjau, maka harus ada kesamaan dinamis. Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang besesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, kesatuan angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas :

Angka Reynol model sama dengan angka Reynold kapal

$$Re_m = Re_s \quad (9)$$

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu}$$

$$V_m = V_s \cdot L_s / L_m$$

$$V_m = V_s \cdot \lambda$$

Kesamaan dinamis sangat sulit untuk dipenuhi melihat kecepatan model jauh lebih besar dari kecepatan kapal.

2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan Computational Fluid Dynamic adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan 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 pembandingan 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.

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:

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (10)$$

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 :

$$\int N \left(\frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \quad (11)$$

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

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 :

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \quad (13)$$

$$V = V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y} \quad (14)$$

$$W = W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z} \quad (15)$$

Sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \quad (16)$$

$$\oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega \quad (17)$$



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,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (18)$$

Dimana, nilai o mengacu pada persamaan sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} + N \left(\frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega \quad (19)$$

$$= \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega \quad (20)$$

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 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 disetiap 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

tuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian. alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan 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 iterasi yang ditetapkan terlampaui.

2.8 Software Ansys

ANSYS merupakan penerapan dari metode volume hingga (FVM). FVM adalah 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 tau 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.

