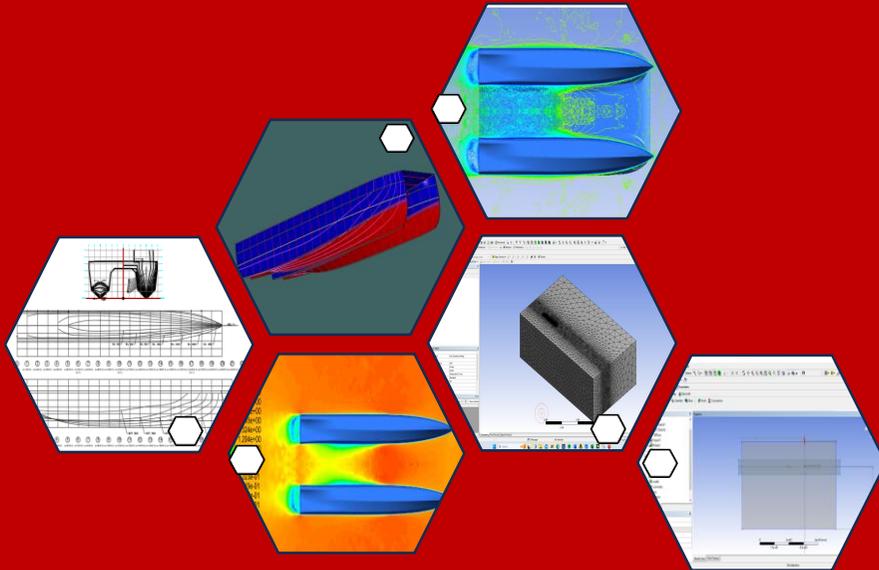


**STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK
LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS**



A. ALFANDY PERMANA PUTRA

D031201030

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



**STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK
LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS**

A. ALFANDY PERMANA PUTRA

D031201030



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

**STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK
LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS**

A.ALFANDY PERMANA PUTRA

D031201030

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Perkapalan

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS

A. ALFANDY PERMANA PUTRA

D031201030

Skripsi,

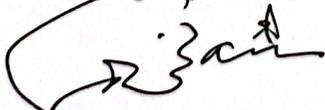
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Teknik Perkapalan pada tanggal 15 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Teknik Perkapalan
Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

NIP : 19730206 200012 1 002

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

NIP : 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "Studi Tahanan Kapal Katamaran Dengan Variasi Jarak Lambung Inverted Bow Menggunakan Ansys" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.** sebagai Pembimbing Utama. Karya ini belum pernah diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.



Gowa, 15 Agustus 2024

A. ALFANDY PERMANA PUTRA
D031201030

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS" yang diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua penulis, Ayahanda **Malaya** dan Ibunda **Hj. Andi Nurhayati** atas kesabaran dan pengorbanan yang tiada henti selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini. Tanpa doa dan dorongan mereka, saya tidak akan dapat mencapai tahap ini. Semoga beliau selalu dalam lindungan Allah.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Ibu **Ir. Rosmani, MT.** dan bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** selaku dosen penguji tugas akhir ini yang telah memberikan masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan, bimbingan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan.
5. Seluruh pegawai/staf Departemen Teknik Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas kebaikan dalam membantu segala administrasi selama kuliah.
6. Seluruh teman-teman **ANDROMAX 2020** yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis selama mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh teman-teman **CHAZER 2020** yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Perkapalan.
8. Sekumpulan orang baik (**Ipul, Razzan, Maurel, Alya, Byul dan Amel**) yang telah membantu penulis dengan memberikan motivasi dan semangat dalam mengerjakan penelitian ini dan menemani penulis dari awal hingga sampai ke tahap ini.
9. Kepada teman penulis **Sarlina, Yitro, Afni dan Akbar** yang selalu menemani, membantu dan memberikan semangat dalam pengerjaan dan penyusunan skripsi ini.

10. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik maupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

Penulis menyadari dalam proses pengerjaan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan. Sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan kepada pembaca pada umumnya.

Penulis

A. ALFANDY PERMANA PUTRA

ABSTRAK

A. ALFANDY PERMANA PUTRA. **Studi Tahanan Kapal Katamaran Dengan Variasi Jarak Lambung Inverted Bow Menggunakan Ansys** (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT)

Kapal katamaran merupakan jenis kapal yang sudah banyak digunakan di Indonesia. Dalam merancang kapal katamaran, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah tahanan kapal. Mengurangi besarnya tahanan kapal merupakan cara untuk mendapatkan kecepatan kapal yang diinginkan. Berbagai bentuk desain kapal yang dikembangkan untuk memenuhi kriteria desain kapal katamaran yang optimum salah satunya adalah bentuk haluan *inverted bow*. Selain itu, jarak antar lambung dapat mempengaruhi pola aliran air di sekitar kapal dan tahanan kapal secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar perubahan tahanan kapal katamaran terhadap variasi jarak lambung dengan bentuk haluan *inverted bow*. Penelitian ini terdapat 3 variasi jarak lambung yang divariasikan dengan jarak 3,4 m, 3,9 m dan 4,4 m, kemudian digunakan 5 Froude number (F_n) yaitu 0,334, 0,367, 0,400, 0,434 dan 0,467. Perhitungan tahanan dari setiap jarak lambung tersebut dilakukan menggunakan aplikasi Ansys Fluent. Hasil dari penelitian ini, besar perubahan kenaikan nilai tahanan kapal katamaran terhadap kenaikan Froude number (F_n) pada setiap variasi jarak lambung cenderung meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan yang didapatkan dari setiap variasi jarak lambung. Variasi jarak lambung 1 dengan jarak 3,4 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 6,79%. Variasi jarak lambung 2 dengan jarak 3,9 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 10,03%. Variasi jarak lambung 3 dengan jarak 4,4 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 12,80 %.

Kata Kunci : Katamaran; Variasi; Inverted; Tahanan; Ansys

ABSTRACT

A.ALFANDY PERMANA PUTRA. **Study of Catamaran Ship Resistance with Variation in Hull Distance Inverted Bow Using Ansys** (supervised by Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT)

Catamaran ships are a type of ship that has been widely used in Indonesia. In designing a catamaran ship, one of the things that needs to be considered is ship resistance. Reducing the amount of ship resistance is a way to get the desired ship speed. Various forms of ship design have been developed to meet the optimum catamaran ship design criteria, one of which is the inverted bow shape. In addition, the distance between the hulls can affect the water flow pattern around the ship and the overall ship's resistance. This study aims to determine the magnitude of changes in catamaran ship resistance to variations in hull spacing with an inverted bow shape. In this research, there are 3 variations of hull distance that are varied with a distance of 3.4 m, 3.9 m and 4.4 m, then 5 Froude numbers (F_n) are used, namely 0.334, 0.367, 0.400, 0.434 and 0.467. The calculation of the resistance of each hull distance is carried out using the Ansys Fluent application. The results of this study, the magnitude of the change in the increase in the resistance value of the catamaran ship against the increase in Froude number (F_n) at each hull distance variation tends to increase. This is indicated by the average percentage value of the change in resistance value obtained from each hull spacing variation. Hull distance variation 1 with a distance of 3.4 m has an average percentage change in the increase in resistance value against the increase in Froude number (F_n) value of 6.79%. The variation of hull distance 2 with a distance of 3.9 m has an average percentage change in the increase in resistance value to the increase in Froude number (F_n) value of 10.03%. Variation of hull distance 3 with a distance of 4.4 m has an average percentage change in the increase in the value of resistance to the increase in the value of Froude number (F_n) of 12.80%.

Keywords: Catamaran; Variation; Inverted; Resistance; Ansys

DAFTAR ISI

	Halaman
SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.2.1 Kapal Katamaran.....	2
1.2.2 Jenis-Jenis Haluan Kapal.....	3
1.2.3 Inverted Bow.....	8
1.2.4 Tahanan Kapal	10
1.2.5 Aliran Fluida.....	13
1.2.6 Hukum Kesamaan.....	15
1.2.7 Ansys.....	17
1.2.8 Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys Fluent.....	19

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	21
BAB II.....	22
METODE PENELITIAN	22
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
2.2 Jenis Penelitian	22
2.3 Metode Pengumpulan Data.....	22
2.4 Metode Pengolahan Data.....	23
2.4.1 Pemodelan Kapal Katamaran	23
2.4.2 Variasi Jarak Lambung Model Kapal Katamaran.....	28
2.4.3 Pemodelan Kapal Menggunakan Rhinoceros 7	29
2.4.4 Simulasi Model Kapal Menggunakan Ansys Fluent.....	31
2.4.5 Verifikasi Data	36
2.4.6 Analisis Data.....	36
2.4.7 Penarikan Kesimpulan	36
2.5 Kerangka Pikir	37
BAB III.....	38
HASIL DAN PEMBAHASAN	38
3.1 Skala Pemodelan Kapal	38
3.2 Variasi Jarak Lambung.....	39
3.3 Initial Condition dan Boundary layer.....	41
3.3.1 Initial Condition	41
3.3.2 Kecepatan Kapal dan Froude number (F_n).....	42
3.3.3 Boundary Layer	42
3.4 Mesh Independent Study	47
3.5 Convergence Situation	48

3.6 Tahanan Model Kapal	51
3.7 Perbandingan Nilai Tahanan Variasi Jarak Lambung.....	55
3.8 Visualisasi Velocity, Pola Aliran, dan Pressure	58
3.8.1 Visualisasi Velocity	58
3.8.2 Visualisasi Pola Aliran	59
3.8.3 Visualisasi Pressure	61
BAB IV	63
KESIMPULAN DAN SARAN	63
4.1 Kesimpulan.....	63
4.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Data ukuran utama kapal	22
2. Variasi jarak lambung	28
3. Penentuan skala model.....	38
4. Data ukuran kapal	39
5. Data ukuran model kapal dengan skala 1:25.....	39
6. Variasi jarak lambung	39
7. <i>Initial condition</i>	42
8. Data kecepatan kapal dan Froude number (Fn).....	42
9. Ukuran kolam uji	43
10. Mesh independent study	47
11. Nilai <i>residual</i> belum <i>convergence</i>	48
12. Nilai residual <i>convergence</i>	48
13. Kriteria <i>convergence condition</i>	49
14. Nilai residual pada bentuk awal model kapal.....	49
15. Nilai residual pada variasi jarak lambung 1	50
16. Nilai residual pada variasi jarak lambung 2	50
17. Nilai residual pada variasi jarak lambung 3	51
18. Nilai tahanan pada bentuk awal model kapal	51
19. Nilai tahanan pada variasi jarak lambung 1	52
20. Nilai tahanan pada variasi jarak lambung 2	53
21. Nilai tahanan pada variasi jarak lambung 3	54
22. Nilai tahanan setiap variasi jarak lambung	56

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Bentuk lambung katamaran	3
2. Haluan Kapal Plumb Bow/Straight Bow	4
3. Haluan Kapal Raked Bow	5
4. Haluan Kapal Spoon Bow	5
5. Haluan Kapal Bulbous Bow	6
6. Haluan Kapal Ram Bow	7
7. Haluan Kapal Axe Bow.....	7
8. Haluan Kapal Inverted Bow	8
9. Model AHTS Bourbon Orca	9
10. Contoh aliran streamline yang melintasi suatu body	13
11. Aliran Laminer	14
12. Aliran Transisi.....	14
13. Aliran Turbulen	15
14. Lines Plan kapal.....	23
15. Tampilan profile	24
16. Tampilan add surface	24
17. Tampilan duplicate surface.....	25
18. Tampilan setelah di bond edge setiap surface	25
19. Pembuatan model lambung	26
20. Tampilan data Design Grid untuk section, buttock, waterline	27
21. Tampilan Model Kapal Katamaran	27
22. Tampilan menu perubahan jarak.....	29
23. Tampilan Body Plan Kapal setelah perubahan jarak	29
24. Import file Maxsurf ke Rhinoceros 7	30
25. Penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 7.....	30
26. Model kapal yang sudah solid.....	31
27. Visualisasi pemodelan tangki pengujian pada geometry.....	32
28. Visualisasi tahap Mesh	33
29. Visualisasi tahap Setup.....	34
30. Visualisasi tahap Calculate.	35
31. Visualisasi tahap result	35

32. Kerangka berpikir	37
33. Jarak lambung kapal bentuk awal.....	40
34. Variasi jarak lambung 1.....	40
35. Variasi jarak lambung 2.....	41
36. Variasi jarak lambung 3.....	41
37. Boundary Layer.....	43
38. Boundary Layer.....	43
39. Input kecepatan dan <i>bottom level</i> pada <i>pressure inlet</i>	44
40. Input <i>bottom level</i> pada <i>pressure outlet</i>	45
41. Pendefinisian Side-wall sebagai <i>wall specified shear</i>	46
42. Symmetry	46
43. Mesh independent study.....	47
44. Hubungan antara tahanan dengan Froude number (F_n) pada bentuk awal model kapal.....	52
45. Hubungan antara koefisien tahanan (C_T) dengan Froude number (F_n) pada bentuk awal model kapal.....	52
46. Hubungan antara tahanan dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 1.....	53
47. Hubungan antara koefisien tahanan (C_T) dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 1	53
48. Hubungan antara tahanan dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 2.....	54
49. Hubungan antara koefisien tahanan (C_T) dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 2	54
50. Hubungan antara tahanan dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 3.....	55
51. Hubungan antara koefisien tahanan (C_T) dengan Froude number (F_n) pada variasi jarak lambung 3	55
52. Hubungan antara tahanan dengan Froude number (F_n) pada setiap variasi jarak lambung.....	57
53. Hubungan antara koefisien tahanan (C_T) dengan Froude number (F_n) pada setiap variasi jarak lambung.....	57
54. Visualisasi velocity variasi jarak lambung kapal pada kecepatan 1,440 m/s dengan Froude number (F_n) 0,467	59

55. Visualisasi pola aliran setiap variasi jarak lambung model kapal pada kecepatan 1,440 m/s dengan Froude number (Fn) 0,467 60
56. Visualisasi *pressure* setiap variasi jarak lambung model kapal pada kecepatan 1,440 m/s dengan Froude number (Fn) 0,467 62

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Visualisasi <i>velocity</i>	67
2. Visualisasi pola aliran.....	73
3. Visualisasi <i>pressure</i>	80

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
LOA	= Panjang keseluruhan kapal	(m)
LWL	= Panjang garis air kapal	(m)
B	= Lebar Kapal	(m)
H	= Tinggi Kapal	(m)
T	= Sarat Kapal	(m)
v	= Kecepatan Kapal	(m/s)
Re	= Angka Reynold	
C _f	= Koefisien Gesek	
v	= Viskositas Air	
R _T	= Tahanan Total	(N)
ρ	= Massa Jenis	(Kg/m ³)
C _T	= Koefisien Tahanan Total	
S	= Luas Bidang Basah	(m ²)
Fn	= Angka <i>Froude</i>	
Pa	= Pascal	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara prinsip, kapal dibangun dengan tujuan mengangkut manusia atau barang untuk menghubungkan satu pulau ke pulau yang lain. Sarana transportasi khususnya transportasi laut merupakan salah satu penghubung antar pulau, sarana ini dapat mengangkut jumlah penumpang yang cukup besar dan jauh lebih ekonomi, oleh karenanya muncullah ide atau gagasan untuk membangun kapal penumpang jenis katamaran dengan tujuan agar tahanan kapal lebih baik. Kecepatan kapal juga menjadi faktor yang penting dalam mendesain kapal, mengurangi besarnya tahanan kapal merupakan salah satu cara untuk mendapatkan kecepatan kapal yang diinginkan.

Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal, tahanan/*resistance/drag* adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kecepatan kapal. Tahanan dalam dunia perkapalan merupakan suatu hal yang teramat penting untuk dikalkulasi secara tepat karena sangat berkaitan dengan penentuan daya mesin yang bekerja di atas kapal. Untuk menyesuaikan besar daya mesin dengan kecepatan yang diinginkan, maka harus diketahui besar tahanan yang terjadi pada kapal tersebut.

Kapal katamaran merupakan jenis kapal yang sudah banyak digunakan di Indonesia. Kapal ini memiliki sarat yang kecil sangat cocok digunakan di perairan dangkal yang banyak terdapat di Indonesia. Kapal katamaran memiliki karakteristik yang kedua lambungnya dihubungkan dengan konstruksi geladak yang kuat dan merentang di atasnya. Susunan lambung terbagi menjadi simetris dan asimetris. Katamaran juga mempunyai bentuk lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah.

Konsep haluan dengan bentuk haluan yang tinggi dan bulat tetapi mengembang ke atas.. *Inverted bow* pertama kali diluncurkan pada tahun 2005. Dikenal sebagai *Inverted bow* karena dari bentuk haluan dengan bagian atas membalik kearah belakang. Dalam desain kapal, *inverted bow (reverse bow)*. memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki hambatan hidrodinamik yang lebih baik daripada bow biasa.

Variasi jarak lambung kapal katamaran dapat mempengaruhi pola aliran air disekitar kapal, interferensi gelombang dan tahanan kapal secara keseluruhan. Salah satu kajian tentang jarak antar lambung secara sistematis telah diteliti oleh Insel dan Molland (1991). Kajian tersebut berkesimpulan bahwa dengan variasi jarak lambung katamaran memberikan pengaruh interferensi yang signifikan terhadap hambatan

viskos. Semakin besar jarak antar lambung katamaran maka akan menghasilkan interferensi gelombang yang kecil begitupun sebaliknya

Berdasarkan uraian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap kapal katamaran dengan variasi jarak lambung *inverted bow*. Variasi jarak lambung tersebut diharapkan dapat mengetahui desain yang paling optimal untuk mengurangi tahanan saat kapal bergerak di air. Sehingga peneliti mengangkat judul **“STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG INVERTED BOW MENGGUNAKAN ANSYS”**.

1.2 Teori

1.2.1 Kapal Katamaran

Katamaran merupakan kapal dengan dua lambung kembar yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Dengan bentuk badan kapal katamaran yang memiliki dua lambung maka kapal jenis ini memiliki stabilitas yang cukup baik, selain itu luas permukaan kapal yang tercelup air relatif kecil sehingga memiliki sarat yang kecil pula. Katamaran mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah. Penentuan ketinggian struktur bagian atas badan kapal dari permukaan air merupakan fungsi dari tinggi gelombang dari rute pelayaran yang dilalui. Kombinasi luas deck yang besar dan berat kapal kosong yang rendah membuat kapal tipe ini dapat diandalkan untuk melayani transportasi muatan antar kota maupun untuk pariwisata. Katamaran memiliki beberapa kelebihan maupun kekurangan jika dibandingkan dengan kapal monohull (Nugroho dan Alamsyah, 2018).

Katamaran termasuk jenis kapal *multi-hull* dengan dua lambung (*demihull*) yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Struktur *bridging* ini merupakan sebuah keuntungan katamaran karena menambah tinggi lambung timbul (*freeboard*) sehingga kemungkinan terjadi deck wetness dapat dikurangi. Kapal jenis katamaran dirancang dengan lambung ganda (*Twin Hull*) sehingga, kedua lambung tersebut dihubungkan dengan konstruksi geladak yang kuat dan merentang di atasnya untuk menahan momen bending (*bending moment*) dan gaya geser (*shear force*) yang besar dan bekerja terhadap garis tengah (*Center line*) kapal. Bentuk kapal katamaran yang geser (*shear force*) yang besar dan bekerja terhadap garis tengah (*Center line*) kapal (Luhur dkk, 2017).

Adapun kelebihan dari kapal katamaran:

- a) Pada kapal dengan lebar yang sama tahanan gesek katamaran lebih kecil, sehingga pada tenaga dorong yang sama kecepatannya relatif lebih besar.
- b) Luas geladak dari katamaran lebih luas.
- c) Volume tercelup air dan luas permukaan basah lebih kecil.
- d) Stabilitas yang baik karena memiliki dua lambung.

- e) Dengan frekuensi gelombang yang tinggi, amplitudo relatif kecil sehingga tingkat kenyamanan lebih tinggi.
- f) Karena memiliki tahanan yang kecil maka biaya operasional menjadi kecil.
- g) Kekhawatiran penumpang pada faktor kapal terbalik menjadi lebih kecil, sehingga penumpang merasa lebih aman.

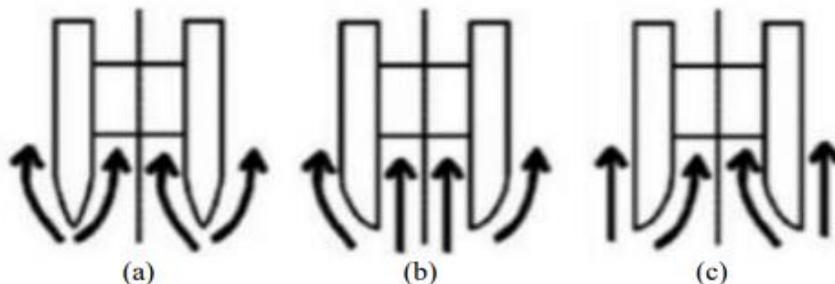
Sedangkan kekurangan kapal katamaran adalah:

- a) Teknik pembuatan yang lebih rumit sehingga membutuhkan keterampilan khusus.
- b) Dengan memiliki dua lambung maka manuver katamaran kurang baik jika dibandingkan dengan *monohull*.

Bentuk lambung katamaran pada berbagai kapal tidaklah sama. Terdapat banyak model bentuk badan katamaran, tetapi secara umum ada tiga bentuk dasar dari katamaran yaitu sebagai berikut :

- a. Simetris
- b. Asimetris dengan bagian dalam lurus
- c. Asimetris dengan bagian luar lurus

Bentuk improvisasi aliran air yang akan melewati ketiga bentuk tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk lambung katamaran

Sumber: Luhur M.A. dkk, 2017

1.2.2 Jenis-Jenis Haluan Kapal

Saat merancang konsep kapal, desain haluan menjadi faktor utama yang harus diperhatikan. Berbeda dengan pesawat, kapal menghadapi hambatan yang lebih besar di atas air daripada di udara. Oleh karena itu, perancangan kapal harus memperhitungkan bentuk haluan agar resistensi tetap minimal. Desain haluan kapal memiliki bentuk khusus yang dirancang untuk mengoptimalkan hidrodinamika dan meningkatkan kemampuan laju serta manuver kapal. Haluan kapal akan mempengaruhi kecepatan, stabilitas, dan navigasi kapal. Area haluan juga berdampak pada kemampuan kapal untuk menahan kerusakan akibat tubrukan,

ombak, gelombang, badai, dan angin. Ada banyak bentuk untuk haluan kapal, tetapi yang paling umum adalah bentuk pointed atau rounded. *Pointed Bow* adalah busur paling efisien untuk kecepatan maksimum dan kelaikan laut. Berikut ini adalah jenis-jenis haluan kapal atau tipe bow yaitu sebagai berikut (Alfaridzi, 2019):

1. *Plumb Bow/Straight Bow*

Plumb Bow (Tegak Lurus) adalah jenis haluan kapal yang sejajar sempurna dengan lunas. Ini merupakan bentuk yang sederhana dan umum digunakan untuk kapal yang berlayar di laut. Tipe haluan ini memberikan stabilitas yang memadai dan memastikan perjalanan kapal semulus mungkin. Bentuk haluan *Plumb Bow/Straight Bow* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Haluan Kapal *Plumb Bow/Straight Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

2. *Raked Bow*

Raked Bow adalah jenis haluan kapal yang memiliki bentuk panjang dan miring, sering digunakan pada kapal kayu untuk meningkatkan kemampuan berlayar. Desain ini umumnya ditemui pada kapal mewah dan kapal penumpang selama beberapa periode waktu. Ciri khas dari *Raked Bow* adalah kelengkungan cekungnya yang meruncing ke garis yang sangat tipis di permukaan air. Haluan *Raked Bow* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Haluan Kapal *Raked Bow*

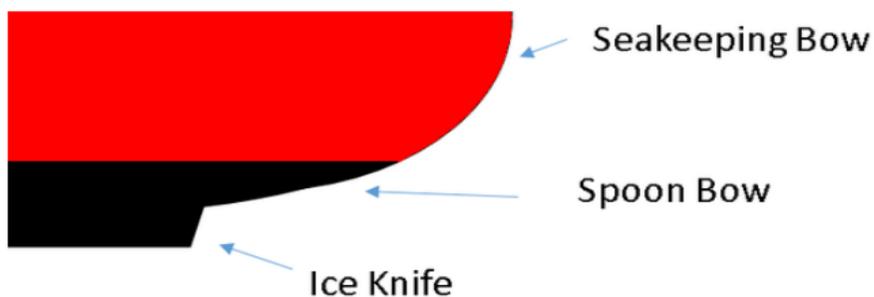
Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

3. *Clipper Bow*

Clipper Bow, atau yang dikenal sebagai Pemotong, awalnya dirancang dengan tujuan khusus untuk menjadi kapal yang cepat dan ramping. Nama “*clipper*” merujuk pada bentuk haluan kapal ini. Didesain dengan sisi yang tinggi dan tampilan yang sangat lurus ke depan, *Clipper Bow* memiliki bentuk yang hampir tajam. Busur jenis ini sangat cocok untuk berlayar karena mampu menembus air dengan hambatan minimum. *Clipper Bow* dikembangkan untuk kapal yang sangat cepat dan mampu berlari lebih cepat daripada sebagian besar kapal lainnya.

4. *Spoon Bow*

Spoon Bow adalah tipe haluan kapal dengan desain busur yang cembung ke geladak. Dinamakan “sendok” karena memiliki lekukan di bagian atasnya dengan kurva menyerupai sendok. Desain bow seperti ini dapat menghasilkan wave making resistance karena kelengkungan pada penampangnya. Bentuk haluan *Spoon Bow* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Haluan Kapal *Spoon Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

5. *Bulbous Bow*

Bulbous Bow adalah tipe haluan yang umumnya ditemui pada banyak kapal karena keuntungannya yang signifikan. Bentuk *Bulbous Bow* menciptakan kontur khusus pada lambung kapal saat dilihat dari permukaan air, di mana haluan yang bulat lebih dalam di dalam air dibandingkan dengan buritan. Hal ini menyebabkan aliran air mengelilingi lambung, mengurangi hambatan, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar hingga 12-15% lebih baik dibandingkan dengan kapal tanpa bulbous bow. Bentuk haluan *Bulbous Bow* dapat dilihat pada Gambar 5.

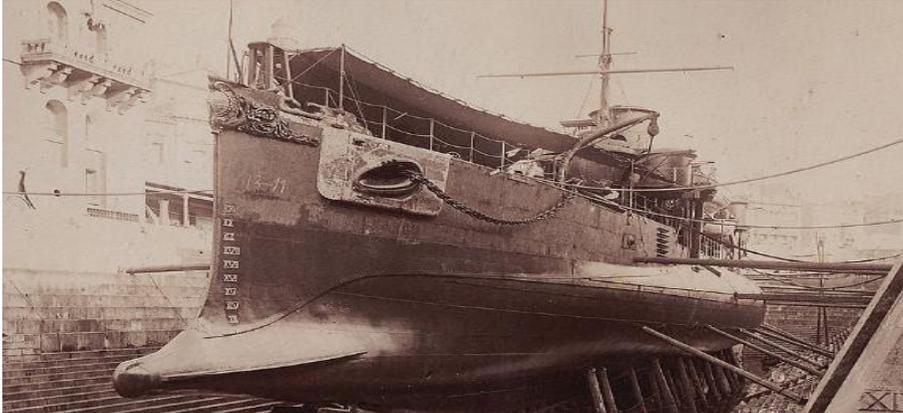


Gambar 5. Haluan Kapal *Bulbous Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

6. *Ram Bow*

Ram Bow adalah tipe haluan kapal yang memiliki perpanjangan di bawah air pada bagian bawah lambung kapal. Desain ini mencakup bentuk panjang dan ramping, memberikan kapal kemampuan untuk menembus air dengan efisiensi maksimum, serupa dengan anak panah yang mengarah ke depan. Bentuk haluan *Ram Bow* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Haluan Kapal *Ram Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

7. *Axe Bow*

Axe Bow, atau Haluan Kapak, adalah jenis haluan kapal yang memiliki bentuk tajam dan runcing ke depan. Desain *Axe Bow* umumnya diterapkan pada kapal cepat yang mampu memotong jalannya melalui berbagai kondisi laut. Dinamakan “*Axe*” karena bagian depan lambungnya panjang, dalam, dan sempit, menyerupai bentuk kapak. Prinsip penggunaan *Axe Bow* adalah untuk memotong air dengan efisien. Desain ini memungkinkan kapal untuk melewati ombak dengan mudah, sambil mengurangi gerakan naik turun kapal sebanyak mungkin jika dibandingkan dengan haluan konvensional. Namun, perlu diingat bahwa kapal dengan *Axe Bow* mungkin memerlukan lebih banyak daya pada kemudi saat melakukan maneuver. Bentuk haluan *Axe Bow* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Haluan Kapal *Axe Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

8. *Inverted Bow*

Inverted Bow, yang juga dikenal sebagai X Bow, mengacu pada jenis haluan kapal di mana bagian terpanjang tidak berada di bagian atas, melainkan terletak di bagian bawah lambung. Seperti desain bow kapak, haluan ini mengurangi lemparan gerakan naik turun dan bantingan, menciptakan pengalaman perjalanan yang lebih baik bagi kru kapal. Jenis Bow ini umumnya digunakan pada kapal-kapal seperti *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS), Kapal Seismik, Kapal Lepas Pantai, kapal Pipelay, dan lain-lain. Bentuk haluan ini dapat memaksimalkan garis air, meningkatkan kecepatan lambung secara signifikan, dan memberikan hambatan hidrodinamik yang lebih baik dibandingkan dengan busur konvensional. Namun, perlu dicatat bahwa dengan mencapai tujuan ini, mereka mungkin mengorbankan sedikit daya apung dan cenderung untuk menyelam di bawah ombak daripada naik ke atasnya. Bentuk haluan *Inverted Bow* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Haluan Kapal *Inverted Bow*

Sumber: Rifki Alfaridzi, 2019

1.2.3 *Inverted Bow*

Pada tahun 2005 Ulstein Group Industries memperkenalkan X-Bow yang diperkenalkan penggunaannya pada kapal *Anchor Handling tug Supply* (AHTS) Bourbon Orca.



Gambar 9. Model AHTS Bourbon Orca
Sumber: Ulstein, 2015

Seperti pada Gambar 9 X-Bow memiliki karakteristik bow yang mengarah kebelakang kapal dimulai dari ujung paling depan kapal. Desain bow ini diuji dan dipergunakan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang tinggi, hambatan kapal yang rendah serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan X-Bow dapat memecah gelombang haluan secara halus dan mengurangi speed loss pada saat kapal beroperasi.

Dalam desain kapal, *inverted bow* (reverse bow). *Inverted bow* memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki hambatan hidrodinamik yang lebih baik daripada bow biasa. Di sisi lain, *inverted bow* memiliki daya apung yang lebih kecil dan cenderung menyelam di bawah gelombang, bukannya menusuk atau melewatinya. Kemudian jenis bow ini dikembangkan dan dimodifikasi menjadi *inverted bow*. *Inverted bow* ini diaplikasikan terhadap bentuk badan kapal *combatant hull* (Utama dan Priyasambada, 2019).

Konsep haluan atau bow revolusioner untuk dunia perancangan kapal terutama kapal *Offshore Support Vessel* (OSV) diperkenalkan oleh Ulstein Group dari Norwegia. Konsep haluan dengan bentuk haluan yang tinggi dan bulat tetapi mengembang keatas. Desain terbaru ini sangat berbeda dari kapal – kapal konvensional. Kapal dengan desain haluan seperti *Ulstein X-Bow* memiliki daya apung besar sebab ada penambahan volume dari bentuknya. *Ulstein X-bow* pertama kali diluncurkan pada tahun 2005. Dikenal sebagai *Inverted Bow* karena dari bentuk haluan dengan bagian atas membalik kearah belakang. *Ulstein X-Bow* membuat ruang akomodasi kapal di bagian anjungan menjadi lebih luas. Kapal dengan desain *Ulstein X-Bow* awalnya memang dirancang untuk kapal pekerja lepas pantai. Kapal dengan bow seperti ini memiliki analisa seakeeping yang lebih baik dibanding kapal haluan konvensional. Selain seakeeping kapal dengan tipe haluan *Ulstein X Bow* ini juga dapat mengefisiensi bahan bakar. Bentuk haluan seperti ini membuat ombak-

ombak terpecahkan secara lebih halus. Kapal dengan desain haluan *Ulstein X-Bow* memiliki beberapa keuntungan, yaitu (Kuasa dkk, 2017):

- a) Kecepatan pelayaran yang lebih tinggi saat terjadi cuaca buruk
- b) Mengurangi konsumsi bahan bakar saat haluan kapal berhadapan langsung dengan ombak atau laut tenang
- c) Mengurangi konsumsi bahan bakar karena hambatan juga ikut berkurang
- d) Meniadakan guncangan-guncangan
- e) Anggukan-anggukan kapal lebih rendah
- f) Menghindari terjadinya kebasahan geladak
- g) Mengurangi kemungkinan kerusakan akibat cuaca buruk
- h) Meningkatkan kapasitas daya muat
- i) Mengurangi kebisingan dan getaran
- j) Menjaga peralatan mooring
- k) Mengurangi beban dari kulit kapal karena eliminasi dari flare
- l) Memecah ombak dengan lebih halus

1.2.4 Tahanan Kapal

Kapal yang bergerak pada permukaan air akan memiliki gaya hambat total atau tahanan total yang terdiri dari gaya hambat akibat badan kapal yang berada diatas permukaan air dan gaya hambat akibat badan kapal yang berada di bawah permukaan air. gaya hambat karena adanya badan kapal diatas permukaan air disebabkan oleh adanya fluida udara atau angin, gaya hambat inilah yang disebut *wind resistance* atau *aerodynamic resistance*. Sedangkan gaya hambat yang terjadi pada badan kapal yang berada dibawah permukaan air terjadi karena adanya fluida air yang menghambat gerakan kapal, gaya hambat inilah yang disebut sebagai *hydrodynamic resistance* dimana gaya hambat ini merupakan komponen terbesar dari gaya hambat total kapal. Nilai dari *wind resistance* atau tahanan angin umumnya bernilai kecil dari total tahanan kapal sehingga tahanan total yang dimaksud ialah gaya hambat akibat kapal yang bergerak dengan sebuah kecepatan pada kondisi perairan tenang dan mengabaikan *aerodynamic resistance* (Molland dkk, 2017).

Tahanan atau *resistance* pada kapal adalah gaya fluida yang bekerja melawan arah gerak kapal. Tahanan terdiri dari beberapa komponen, komponen tersebut ialah; tahanan gesek (R_f) dan tahanan sisa (R_r). Tahanan sisa terdiri dari beberapa komponen, yakni tahanan viskositas (R_v), tahanan tekanan (R_p), tahanan gelombang (R_w), dan tahanan tambahan (R_{app}) dari anggota badan kapal (Harvald, 1992).

1. Komponen Tahanan

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

- a. Tahanan Gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh 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 viskositas. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

1) Angka Reynolds (*Reynold's number, Re*)

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas yang mengkuantifikasi hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi laminar dan turbulen. Rumus bilangan Reynolds dapat dilihat pada Persamaan 1 sebagai berikut :

$$Re = \frac{V \times Lwl}{\nu} \quad (1)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

Lwl : Panjang Kapal (m)

ν : Viskositas air (cP)

2) Koefisien gesek (*friction coefficient, Cf*)

Rumus koefisien gesek dapat dilihat pada persamaan 2.

$$Cf = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \quad (2)$$

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 (*Wave Resistance*)

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

2) Tahanan Udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai tahanan yang dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada di atas 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 (*Form Resistance*)

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

4) 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 (Arwini, 2018).

2. Tahanan total (Total Resistance)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Halvard (1992), Tahanan total (R_t) dapat dihitung menggunakan metode Holtrop-Mennen yang menyatakan bahwa tahanan total merupakan fungsi serentak dari bilangan Reynolds dan bilangan froude melalui Persamaan 3 dibawah ini :

$$RT = \frac{1}{2} \rho CT S V^2 \quad (3)$$

Dimana :

- R_T = Tahanan Total (N)
- ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)
- C_T = Koefisien tahanan total
- S = Luas Bidang Basah
- V = Kecepatan Kapal (m/s)

Untuk menghitung koefisien tahanan total pada persamaan di atas dapat dilihat pada Persamaan 4.

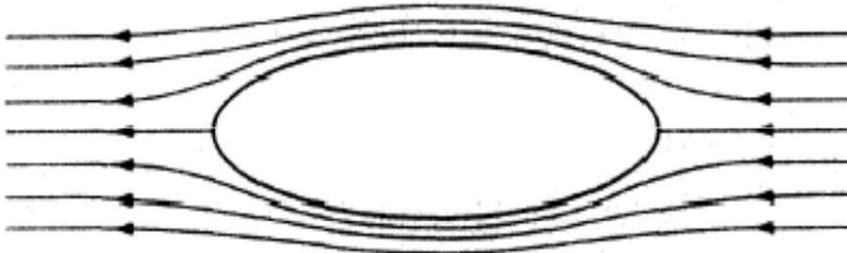
$$CT = CR + CF + CA \quad (4)$$

Dimana,

- C_T = koefisien tahanan total
- C_R = koefisien tahanan sisa
- C_F = koefisien tahanan gesek
- C_A = koefisien tahanan tambahan

1.2.5 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang mengalir atau berubah bentuk dan memiliki kecenderungan untuk mengalir. Ketika fluida mengalir melalui suatu titik atau jalur, terdapat berbagai parameter yang terkait dengan aliran fluida berubah dalam pola yang berbeda. Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Contoh aliran *streamline* yang melintasi suatu body
Sumber: Suryo W. Adji, 2009

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Di Dalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida non-viscous tersebut, maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*) meskipun fluida tersebut dilalui oleh gerakan body, maka kondisi fluida tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya – gaya lokal yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh body. Gaya – gaya lokal tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (Adji, 2009).

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminer, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Untuk menguji apakah suatu aliran laminer atau turbulen, biasanya digunakan formulasi yang dikenal dengan reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai Reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminer bergulung-gulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini dikenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminer ke turbulen disebut daerah transisi sehingga dapat dijabarkan bahwa (Sardjaji, 2003):

1. Aliran Laminar ($Re < 2300$)

Aliran Laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncursatu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji, 2015). Aliran Laminar dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Aliran Laminar

Sumber: Munson dkk, 2009

2. Aliran Transisi ($2300 < Re < 4000$)

Aliran transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji, 2015). Aliran Transisi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Aliran Transisi

Sumber: Munson dkk, 2009

3. Aliran Turbulen ($Re > 4000$)

Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besardan viskositasnya rendah (Senoaji, 2015). Aliran Turbulen dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Aliran Turbulen
Sumber: Munson dkk, 2009

1.2.6 Hukum Kesamaan

Menurut Djabbar 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 kesamaan ini haruslah memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

1. Kesamaan Geometris

Menurut Djabbar 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 dapat dilihat pada Persamaan 5.

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

Dimana :

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

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

1. TOOD :
 - $L_m < T$ tangki
 - $L_m < \frac{1}{2} B$ tangki
2. HARVALD:
 - $B_m < 1/10 B$ tangki
 - $T_m < 1/10 T$ tangki
3. UNIVERSITY OF NEW CASTLE :
 - $L_m < \frac{1}{2} B$ tangki
 - $B_m < 1/15 B$ tangki
 - $Ao_m < 0,4 Ao$ tangki

2. Kesamaan Kinematis

Menurut Djabbar 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. Rumus kesamaan kinematis dapat dilihat pada Persamaan 6 dan 7.

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (6)$$

Atau :

$$\frac{Vm}{\sqrt{g \cdot Lm}} = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot Ls}} \quad (7)$$

Dimana :

- Fn = angka froude
- Ls = panjang kapal (m)
- Lm = panjang model (m)
- Vs = kecepatan kapal (m/s)
- Vm = kecepatan model (m/s)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

3. Kesamaan Dinamis

Menurut Djabbar dan Rosmani (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. Rumus kesamaan dinamis dapat dilihat pada Persamaan 8 dan 9.

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

Atau :

$$\frac{V_m.L_m}{\nu} = \frac{V_s.L_s}{\nu} \quad (9)$$

Dimana :

Re	=	angka reynold
Ls	=	panjang kapal (m)
Lm	=	panjang model (m)
Vs	=	kecepatan kapal (m/s)
Vm	=	kecepatan model (m/s)
ν	=	viskositas kinematis fluida (m ² /s)
		= 1,1883 x 10 ⁻⁶ (m ² /s)
g	=	percepatan gravitasi (9,81 m/dt ²)

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

1.2.7 Ansys

Ansys merupakan software berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah – masalah rekayasa (engineering). Penggunaan Ansys mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. Ansys merupakan *Computer Aided Engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh Ansys, Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. Ansys Workbench berisi beberapa fasilitas, diantaranya (Ansys, 2009):

1. Mechanical, untuk analisa struktur (statik) dan thermal (perpindahan panas).
2. Fluid Flow, yang terdiri dari Ansys CFX dan Fluent, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

3. Engineering Data, sebagai database material lengkap dengan properties-nya, seperti:

A. Poisson Ratio

Poisson Ratio adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material. Sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan, ada juga perubahan bentuk ke arah yang tegak lurus dengan arah gaya. *Poisson Ratio* adalah perbandingan dari perubahan arah aksial dengan perubahan arah transversal tersebut. Ketika sebuah gaya satu arah diberikan kepada material tersebut sehingga menghasilkan regangan dan membuat material tersebut berdeformasi.

Poisson Ratio dapat menggambarkan karakter dan sifat masing-masing material. Mayoritas material memiliki rentang poisson ratio antara -1.0 22 sampai dengan 0,5. Material yang stabil, isotropis, dan elastis bisa memiliki poisson ratio yang berkisar antara 0,0 sampai 0,5. Hal ini dikarenakan modulus young, modulus puntir dan modulus deformasi harus bernilai positif. Karet memiliki poisson ratio mendekati 0,5. Polimer busa memiliki poisson ratio negatif, jika material tersebut ditarik, ketebalannya justru akan bertambah. Misalnya pada sebuah baja dengan poisson rasion 0,3. Hal tersebut berarti bahwa jika ada satu inci per inci deformasi ke arah tegangan yang diberikan, maka akan terdapat 0,3 inci per inci deformasi yang tegak lurus terhadap arah gaya yang diberikan.

B. Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda ialah total massa dibagi dengan total volumenya. Kerapatan suatu zat disebut massa jenis, yang dilambangkan dengan ρ (rho), yakni hasil bagi massa zat oleh volumenya. Hal ini sesuai dengan sifat utama dari suatu zat, yakni massa dan volume. Secara matematis, massa jenis suatu zat bisa ditentukan melalui Persamaan 10 berikut ini:

$$\rho = m/V \quad (10)$$

dengan: ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa zat (kg)

V = volume zat (m^3)

C. Modulus Young

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E dan satuannya N/m^2 . Modulus elastisitas disebut juga *Modulus Young*. Modulus

Elastisitas juga didefinisikan sebagai berikut: “Selama gaya F yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batas elastisitasnya sehingga perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ϵ) adalah konstan.”

Bilangan (konstantan) tersebut dinamakan modulus elastis atau *Modulus Young (E)*. Jadi, modulus elastis atau *Modulus Young* merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Secara matematis ditulis seperti Persamaan 11 berikut.

$$E = \sigma / \epsilon \quad (11)$$

dengan:

E = Modulus Young (N/m^2 atau Pa)

σ = tegangan (Pa)

ϵ = regangan

Nilai modulus elastisitas hanya bergantung pada jenis bahan suatu benda, tidak bergantung pada ukuran ataupun bentuk benda.

4. Design Modeler, digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa dan juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
5. Meshing Application, fasilitas untuk “meshing” baik pada CFD maupun Explicit Dynamics.
6. Explicit Dynamic, digunakan untuk menampilkan visualisasi fisik dalam kurun waktu tertentu terhadap pemodelan atau produk yang dibuat (Ansys, 2009).

1.2.8 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 dan Malalasekera, 1995).

Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kualitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode: Model matematik (PDE), Metode numerik (diskritisasi dan teknik solusi) dan perangkat lunak.

Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian simulasi numerik adalah persamaan Navier-Stokes. Pada simulasi numerik Computational Fluid Dynamic aliran fluida yang terjadi diatur oleh hukum kekekalan massa, momentum dan energi, yang secara kolektif disebut sebagai persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun

awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Molland dkk, 2017):

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial(p)}{\partial t} + \frac{\partial(pu)}{\partial x} + \frac{\partial(pv)}{\partial y} + \frac{\partial(pw)}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

Persamaan 12 adalah persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa laju perubahan massa dalam volume kendali yang sangat kecil sama dengan laju fluks massa yang melalui permukaan pembatasnya.

2. Persamaan Momentum

- Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(pu)}{\partial t} + \frac{\partial(pu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(puv)}{\partial y} + \frac{\partial(puw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (13)$$

- Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(pu)}{\partial t} + \frac{\partial(puv)}{\partial x} + \frac{\partial(pv^2)}{\partial y} + \frac{\partial(puw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (14)$$

- Momentum ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(pw)}{\partial t} + \frac{\partial(puw)}{\partial x} + \frac{\partial(pvv)}{\partial y} + \frac{\partial(pw^2)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \quad (15)$$

Persamaan 13 sampai dengan Persamaan 15 adalah persamaan momentum yang menyatakan bahwa laju perubahan momentum untuk volume kendali yang sangat kecil sama dengan laju masuk atau keluarnya momentum melalui permukaan volume kendali, ditambah jumlah gaya yang bekerja pada volume itu sendiri.

3. Persamaan Energi

$$\frac{\partial(Er)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_u)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_v)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_w)}{\partial z} = \frac{\partial(pu)}{\partial x} - \frac{\partial(pv)}{\partial y} - \frac{\partial(pw)}{\partial z} + \frac{1}{Re_r Pr_r} +$$

$$\left(\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial}{\partial x} (U\tau_{xx} + U\tau_{xy} + U\tau_{xz}) + Cv\tau_{yy} + wv\tau_{yz} \right) + \frac{\partial}{\partial z} (U\tau_{xz} + U\tau_{yz} + U\tau_{zz}) \quad (16)$$

Dimana,

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U (m/s)

v = Komponen Kecepatan V (m/s)

w = Komponen Kecepatan W (m/s)

t = Waktu (s)

ρ = Densitas (kg/m³)

Et = Energi Total (kJ)

p = Tekanan (N/m²)

q = Heat Flux (kW/m²)

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl

Persamaan 16 adalah persamaan energi yang menyatakan bahwa laju perubahan energi dalam pada volume kendali sama dengan laju masuknya entalpi, ditambah kerja yang dilakukan pada volume kendali oleh tegangan viskos τ .

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan besar perubahan tahanan kapal katamaran terhadap variasi jarak lambung dengan bentuk haluan *inverted bow* menggunakan aplikasi Ansys.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh jarak antara kedua lambung dengan bentuk haluan *inverted bow* terhadap tahanan kapal katamaran.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain kapal katamaran yang menggunakan bentuk haluan *inverted bow*.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian ini terhitung mulai dari bulan Februari 2024 sampai Agustus 2024.

2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berbasis simulasi numerik menggunakan aplikasi Ansys, dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan pada kapal katamaran dengan variasi jarak lambung *inverted bow*.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian. Data sekunder dalam penelitian ini adalah :

- A. Kajian Pustaka, merupakan metode pengambilan data dengan cara mempelajari literatur yang relevan dengan studi yang dilakukan.
- B. Data Umum Kapal
 - a. Type Kapal = Kapal Katamaran
 - b. *Gross Tonnage* = 100 MT
 - c. Jenis Material Kapal = Aluminium
- C. Ukuran Utama Kapal

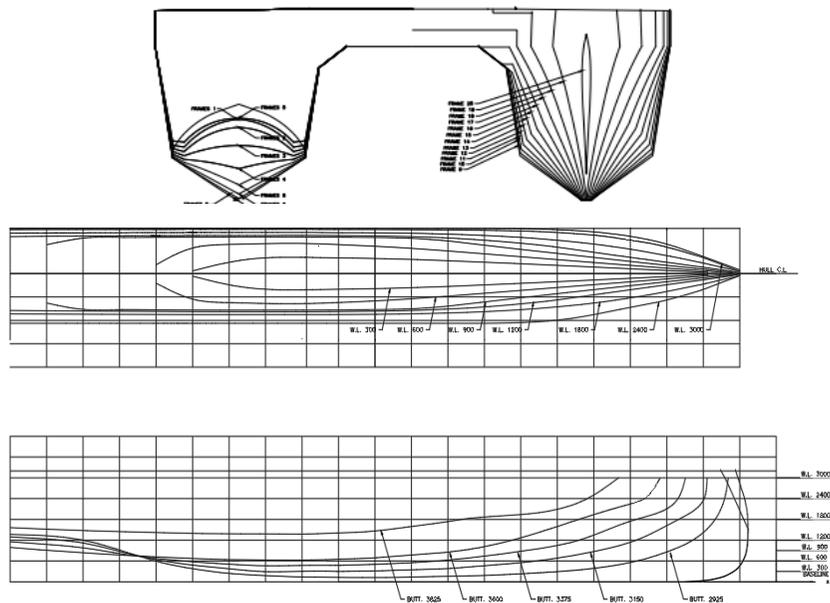
Tabel 1 menunjukkan data ukuran utama kapal.

Tabel 1. Data ukuran utama kapal

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	<i>Length Over All</i> (LOA)	24,26	m
2	<i>Length Water Line</i> (LWL)	24,26	m
3	<i>Breadth</i> (B)	8	m
4	<i>Depth</i> (H)	3,23	m
5	<i>Draught</i> (T)	1,84	m
6	Kecepatan (V)	12	Knot
7	Daya Mesin Induk	2 x 399	kW

D. Rencana Garis Air (*Lines Plan*) Kapal Katamaran

Rencana Garis Air (*Lines Plan*) Kapal Katamaran ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. *Lines Plan* kapal

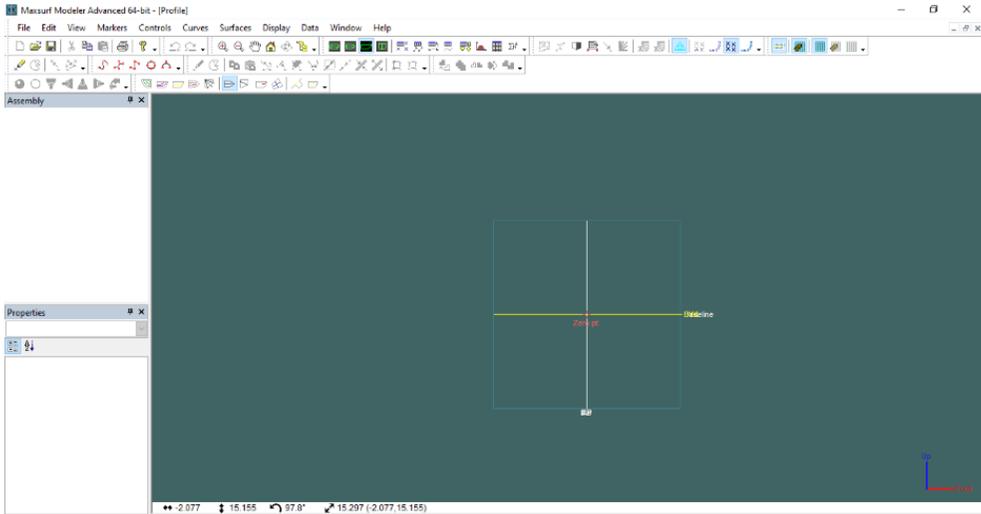
2.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* Maxsurf Modeller dan Rhinoceros 7 untuk melakukan pemodelan kapal serta Ansys Fluent untuk mensimulasi dan *run-up* dari rekayasa penelitian yang dibuat, yaitu menghitung tahanan yang dihasilkan oleh model kapal. Adapun teknik pengolahan data yang digunakan sebagai berikut:

2.4.1 Pemodelan Kapal Katamaran

Pada tahapan ini, dilakukan pemodelan 3D kapal katamaran sesuai dengan lines plan. Adapun Langkah-langkah pembuatan model kapal katamaran di *software* Maxsurf Modeller yaitu sebagai berikut:

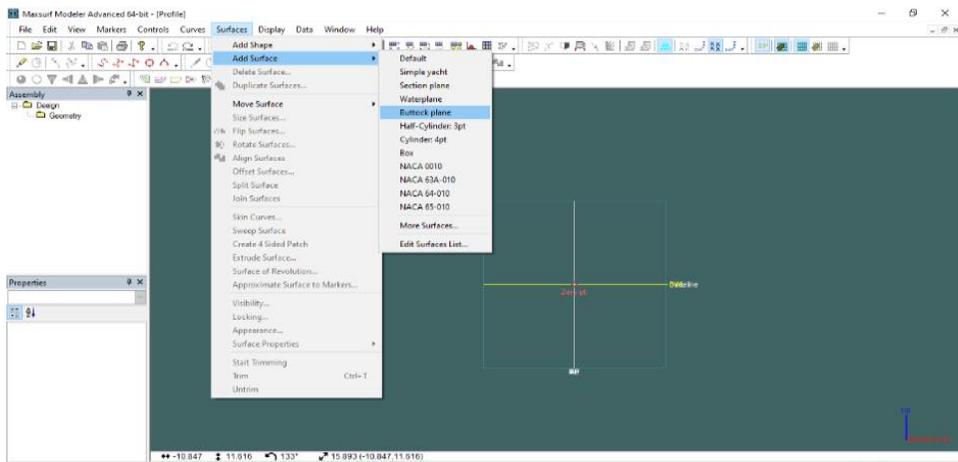
1. Membuka program Maxsurf Modeller, lalu pilih *profile* atau tampak samping yang dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan profile

Sumber: Hasil olah data

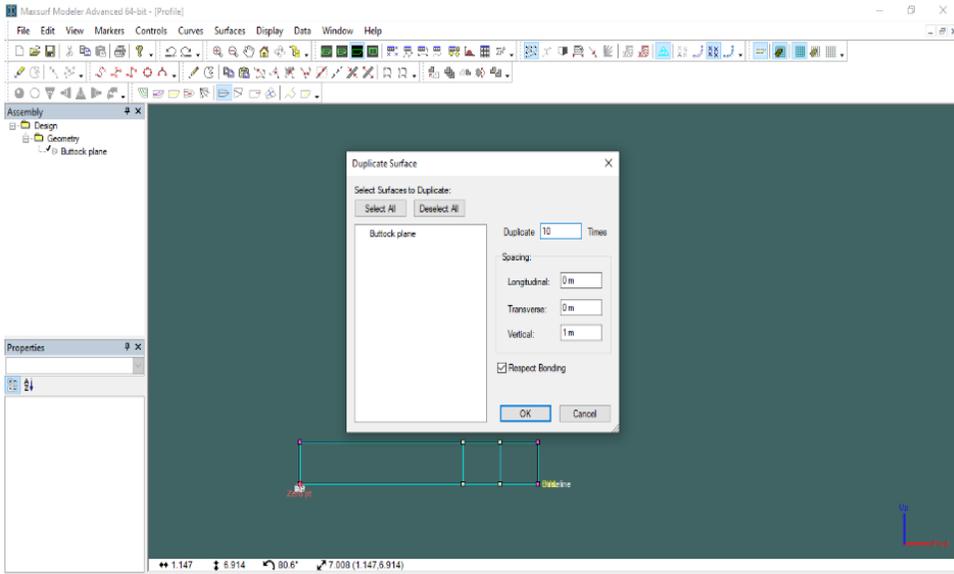
2. Pilih menu *Surface* lalu *Add Surface* dan pilih *Buttock Plane*. Selanjutnya, masukkan ukuran panjang kapal *Length Over All (LOA)* di tampilan *Long Pos* yang dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Tampilan add surface

Sumber: Hasil olah data

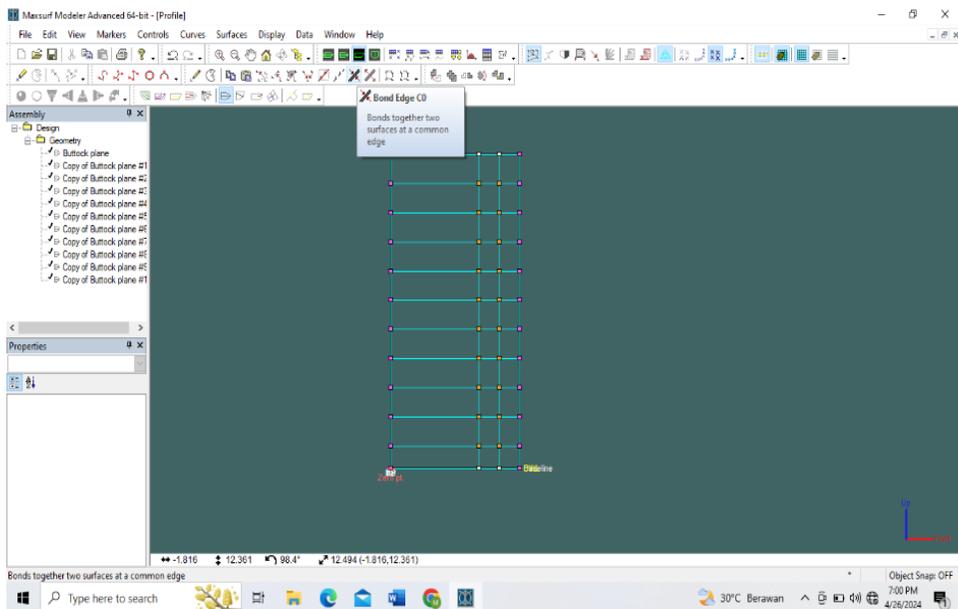
3. Selanjutnya tambahkan *Add Control Point*. Setelah itu, pilih menu *Surface* lalu *Duplicate Surface* sebanyak 10 karena yang di desain adalah kapal katamaran maka harus diperbanyak *Surface* yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Tampilan duplicate surface

Sumber: Hasil olah data

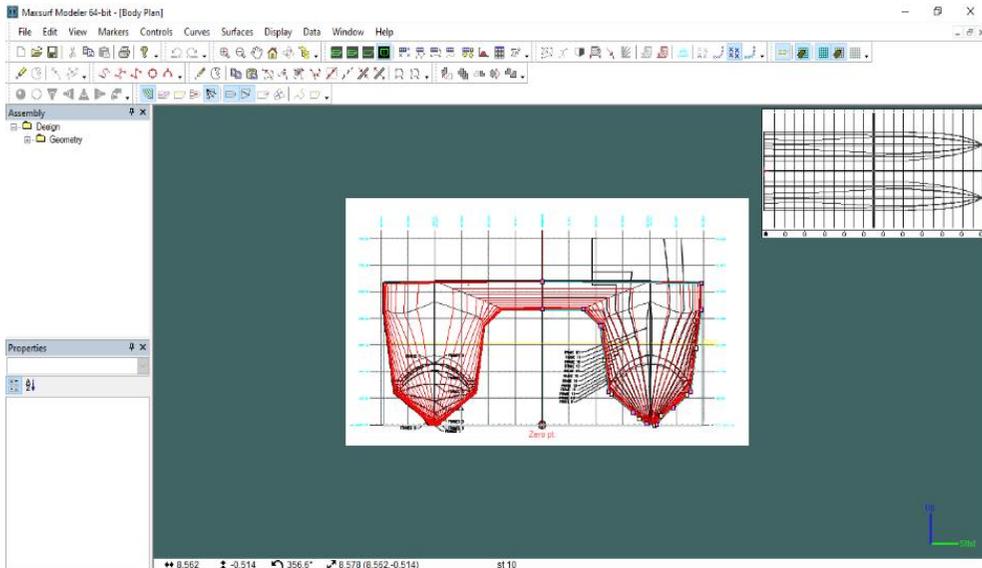
4. Setelah sudah di *Duplicate Surface* kemudian disambungkan masing-masing *Surface* dengan memblok surfacenya lalu pilih menu *Bond Edge* yang dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Tampilan setelah di bond edge setiap surface

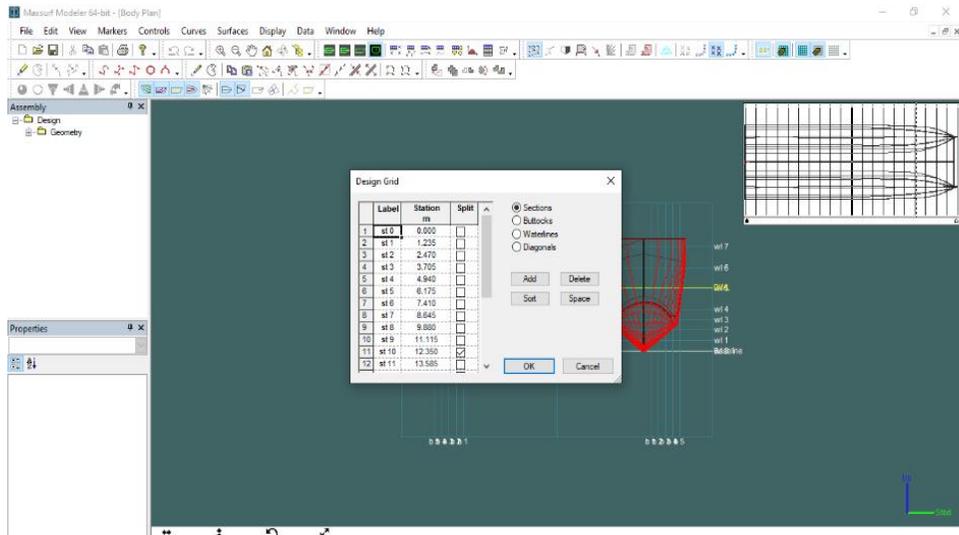
Sumber: Hasil olah data

- Selanjutnya masuk di tampak *body plan*, lalu *Surface* tersebut kita buka satu persatu. Selanjutnya kita sesuaikan bentuk lambung pada kapal katamaran yang dapat dilihat pada Gambar 19.



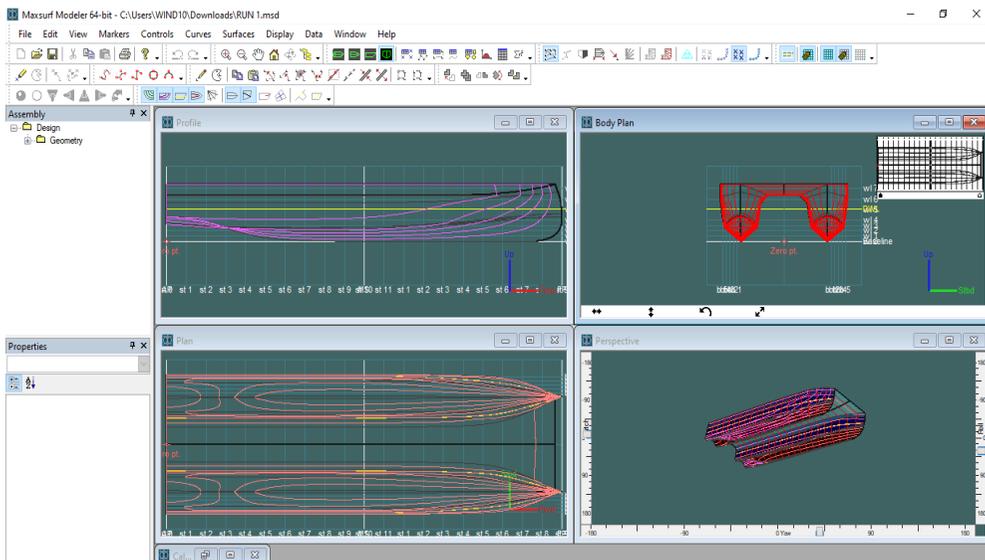
Gambar 19. Pembuatan model lambung
Sumber: Hasil olah data

- Setelah bentuk lambung atau body plannya sudah jadi. Pilih menu data lalu *Design Grid*, tambahkan jumlah *Sections*, *Buttock*, dan *Waterlines* yang dapat dilihat Gambar 20.



Gambar 20. Tampilan data *Design Grid* untuk *section*, *buttock*, *waterline*
Sumber: Hasil olah data

- Jadilah model 3D kapal katamaran sesuai dengan lines plan kapal tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Tampilan Model Kapal Katamaran
Sumber: Hasil olah data

2.4.2 Variasi Jarak Lambung Model Kapal Katamaran

Pada penelitian ini, lebar kapal dan volume displacementnya tidak dipertimbangkan serta sarat kapal yang digunakan konstan. Penelitian ini hanya mempertimbangkan variasi jarak lambung. Dalam tahapan ini, dilakukan variasi jarak lambung pada model kapal yang telah dibuat menggunakan program Maxsurf Modeller. Penelitian ini menggunakan 3 variasi jarak lambung dan dapat dilihat pada Tabel 2.

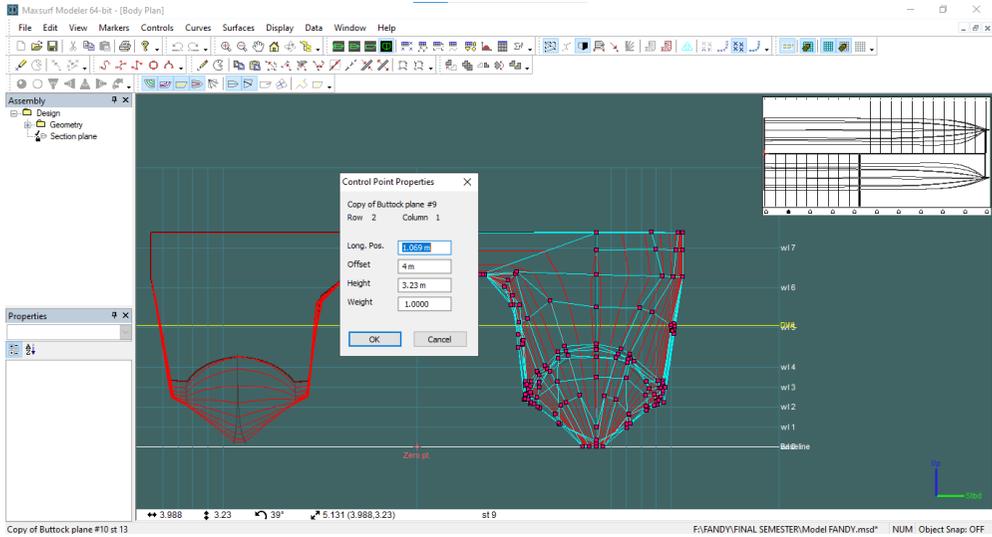
Tabel 2. Variasi jarak lambung

No	Variasi	Jarak Lambung (m)	Jarak Lambung Setelah Menggunakan Skala 1:25 (m)
1	Bentuk Awal Kapal	2,9	0,116
2	Variasi Jarak Lambung 1	3,4	0,136
3	Variasi Jarak Lambung 2	3,9	0,156
4	Variasi Jarak Lambung 3	4,4	0,176

Sumber: Hasil olah data

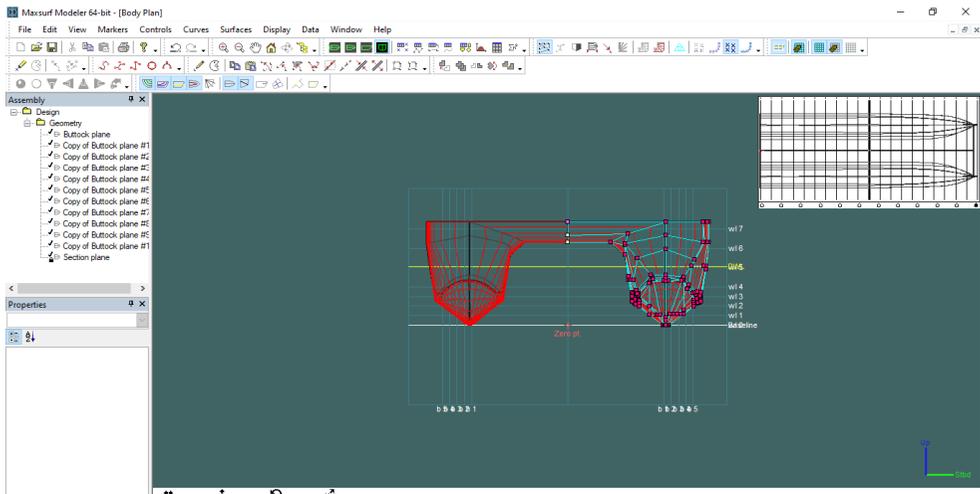
Adapun Langkah-langkah dalam memberikan variasi jarak lambung menggunakan program Maxsurf Modeller yaitu sebagai berikut :

1. Setelah model kapal katamaran selesai dibuat dengan menggunakan Maxsurf Modeller, Model yang sudah jadi tersebut diubah jarak antara lambungnya dengan cara pada tampilan body plan di blok lambung kapalnya lalu pilih menu group, setelah itu tekan salah satu control point pada lambungnya. Maka akan muncul menu *control point properties*, pada menu tersebut terdapat nilai offset lalu masukkan nilai sesuai dengan variasi jarak lambungnya yang artinya model akan mengalami perubahan jarak antara lambungnya dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Tampilan menu perubahan jarak
Sumber: Hasil olah data

2. Model akan mengalami perubahan penambahan jarak antara lambung dapat dilihat pada Gambar 23.



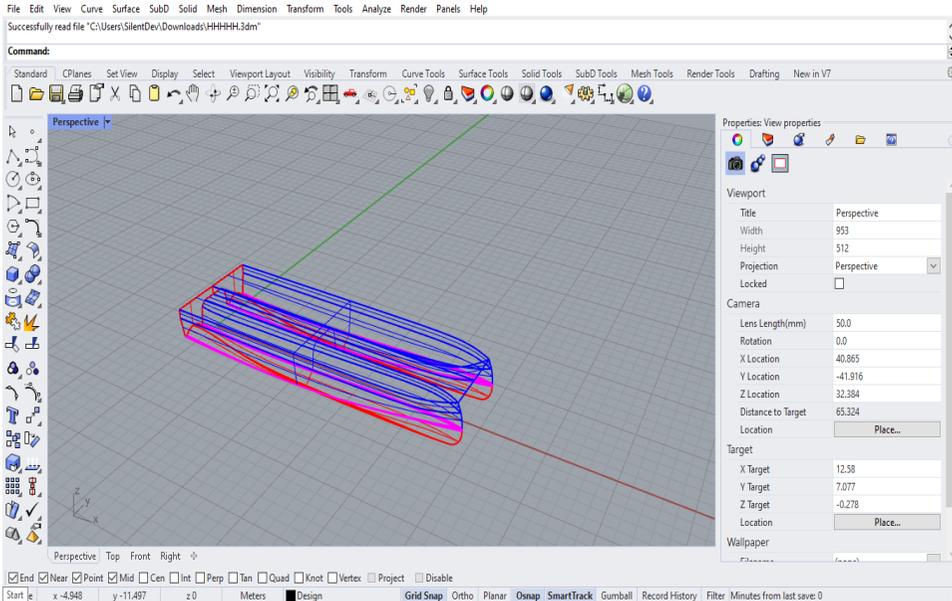
Gambar 23. Tampilan Body Plan Kapal setelah perubahan jarak
Sumber: Hasil olah data

2.4.3 Pemodelan Kapal Menggunakan Rhinoceros 7

Kemudian gambar yang diperoleh akan diubah jenis dan modelnya dibuat dalam bentuk solid dengan menggunakan Rhinoceros 7, tujuannya adalah agar model kapal

menjadi solid dan dapat disimulasikan menggunakan Ansys Fluent. Berikut langkah-langkah untuk membuat model kapal menjadi solid :

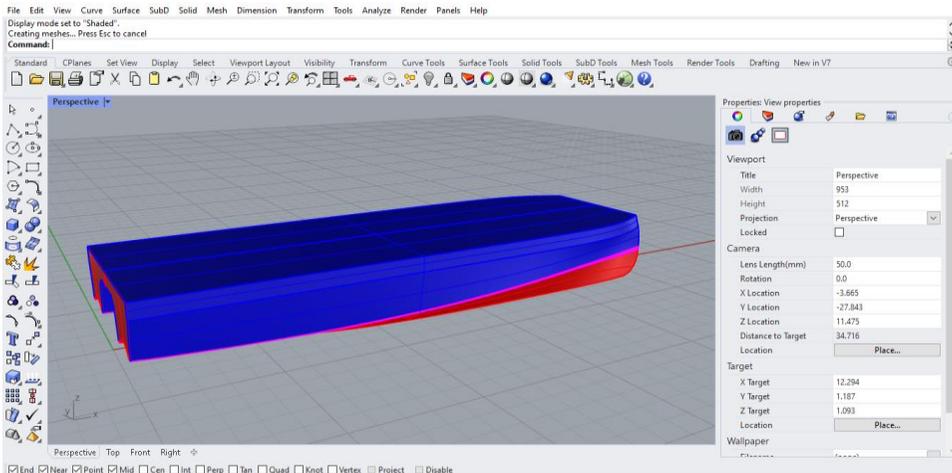
1. Buka *Software* Rhinoceros 7 dan *import* file model kapal yang telah dibuat pada Maxsurf Modeller dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Import file Maxsurf ke Rhinoceros 7

Sumber: Hasil olah data

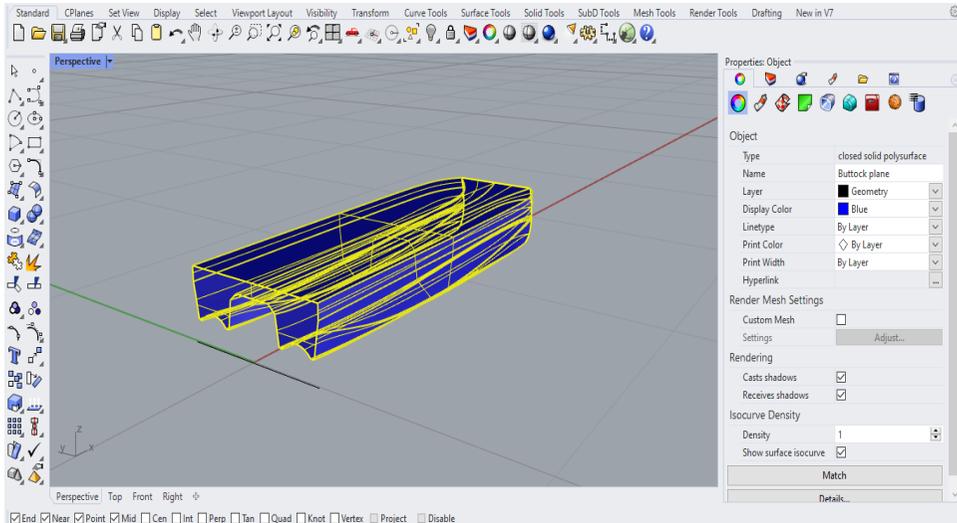
2. Setelah itu dilakukan penggambaran ulang menggunakan tool *Surface* agar semua sisi kapal tertutup dan dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 7

Sumber: Hasil olah data

- Setelah menggambar semua permukaan kapal, selanjutnya dilakukan penggabungan *surface* dengan perintah *join*. Penggabungan ini dilakukan agar model menjadi solid. Jika muncul tulisan *Closed Polysurface* pada bagian kanan atas maka model dinyatakan solid dan dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Model kapal yang sudah solid

Sumber: Hasil olah data

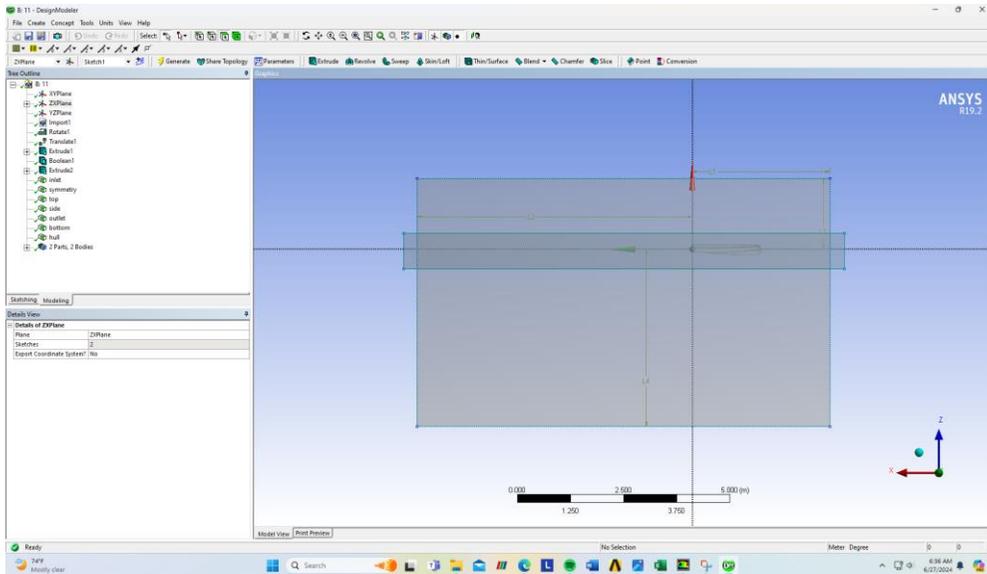
Selanjutnya model yang telah solid di *export* dalam format rhino 3-D model (.3dm) kemudian dilakukan simulasi pada *Software Ansys Workbance 2019 R2 – Fluid Flow (Fluent)*.

2.4.4 Simulasi Model Kapal Menggunakan Ansys Fluent

Simulasi numerik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Software Ansys Workbance 2019 R2 -Fluid Flow (Fluent)*. Simulasi ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Geometry

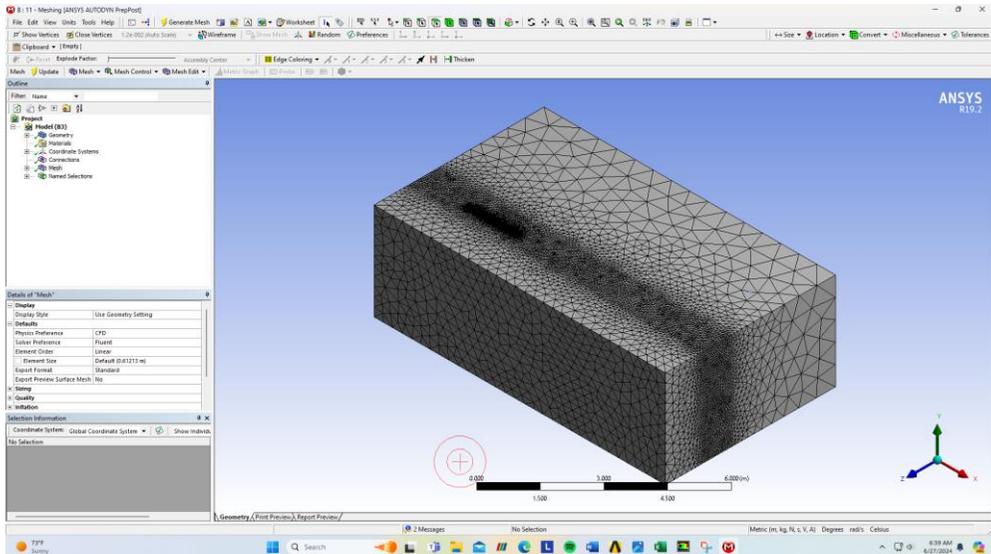
Pada tahap ini dilakukan import file model kapal yang telah dibuat di Software Rhinoceros 7, Setelah itu dilakukan pemodelan tangki pengujian untuk simulasi aliran. Berikut merupakan visualisasi tahap geometry yang ditunjukkan pada Gambar 27.



Gambar 27. Visualisasi pemodelan tangki pengujian pada geometry
Sumber: Hasil olah data

2. Mesh

Tahap *meshing* ini merupakan tahap membagi model menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen dan setiap ujung elemen disebut *nodes*. Jumlah elemen sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi dan ukuran *mesh* mempengaruhi jumlah elemen yang digunakan. Metode *mesh* yang digunakan adalah *Tetrahedrons*. Pada tahap *Mesh* ini juga dilakukan *name selection* tiap-tiap dinding dari tangki. Dinding bagian depan haluan sebagai *inlet*, dinding bagian belakang buritan sebagai *outlet*, dinding atas sebagai *Top-symmetry*, dinding bawah sebagai *Bottom-symmetry*, dinding luar sebagai *side-wall*, dan dinding bagian dalam sebagai *Symmetry*. Pada tahap ini juga diperlukan penambahan *Body sizing* dan *Face sizing* yaitu ukuran *mesh* sekitar permukaan air dan bagian lambung kapal diperkecil agar mendapatkan hasil yang akurat. Berikut merupakan visualisasi tahap mesh yang ditunjukkan pada Gambar 28.



Gambar 28. Visualisasi tahap Mesh

Sumber: Hasil olah data

3. Setup

Tahap *setup* ini merupakan tahap mendefinisikan proses simulasi. Sebelum melakukan simulasi maka terlebih dahulu dilakukan persiapan simulasi. Adapun langkah-langkah setup sebagai berikut :

- Models

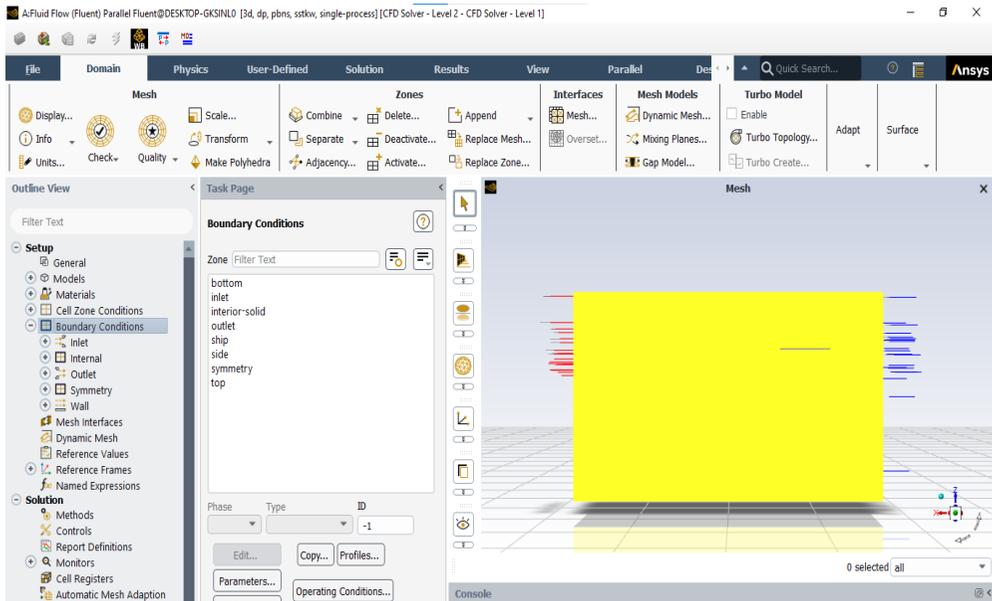
Percobaan ini dilakukan menggunakan 2 jenis fluida yaitu air (*Water*) dan udara (*Air*) maka percobaan ini dilakukan dengan *multiphase model : Volume of Fluid (VOF)*. Agar interaksi antara air dan udara dapat terjadi maka *VOF* dilakukan dengan mengaktifkan *Open Channel Flow*. Jenis aliran fluida yang digunakan adalah *turbulence* dengan persamaan standar *k-omega – SST*.

- Material

Pada tahap ini dilakukan penambahan jenis material yang akan digunakan. Simulasi ini dilakukan dengan 2 Fluida yaitu udara (*air*) dan air (*water*) sedangkan material solid yaitu Aluminium.

- Boundary Condition

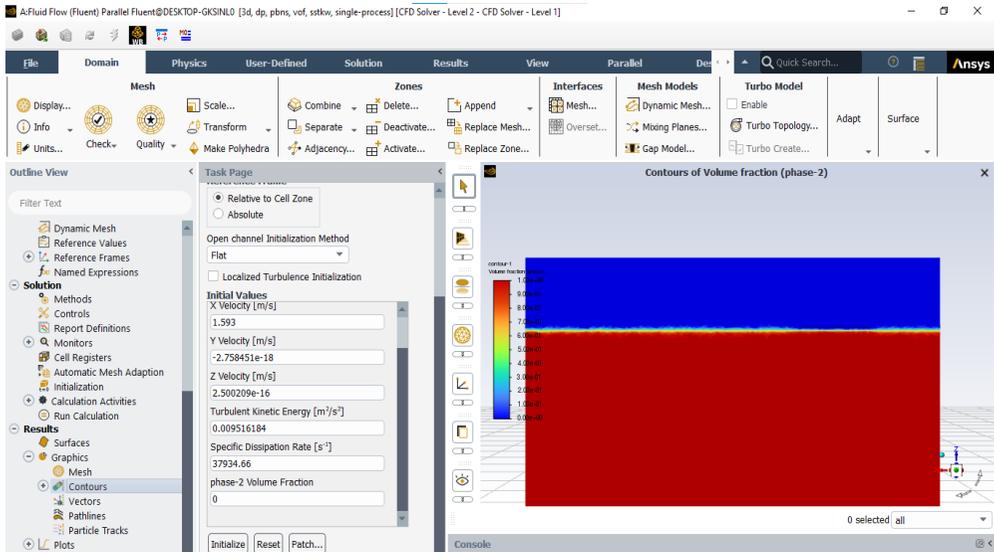
Selanjutnya *Boundary Condition* untuk mendefinisikan bagian dinding *inlet* sebagai *Pressure inlet* dengan kecepatan sesuai dengan kecepatan kapal, dinding *Outlet* sebagai *Pressure Outlet*, sedangkan bagian dinding dalam, top, dan bottom dianggap *Symmetry*, artinya aliran fluida dibiarkan mengalir bebas. Selanjutnya untuk memudahkan proses simulasi maka dilakukan pengaturan *convergence* agar proses simulasi akan berhenti ketika nilai *convergence* telah dicapai. Berikut merupakan tahap *Setup* pada *Fluid Flow (Fluent)* yang ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Visualisasi tahap Setup
Sumber: Hasil Olah Data

4. Solution

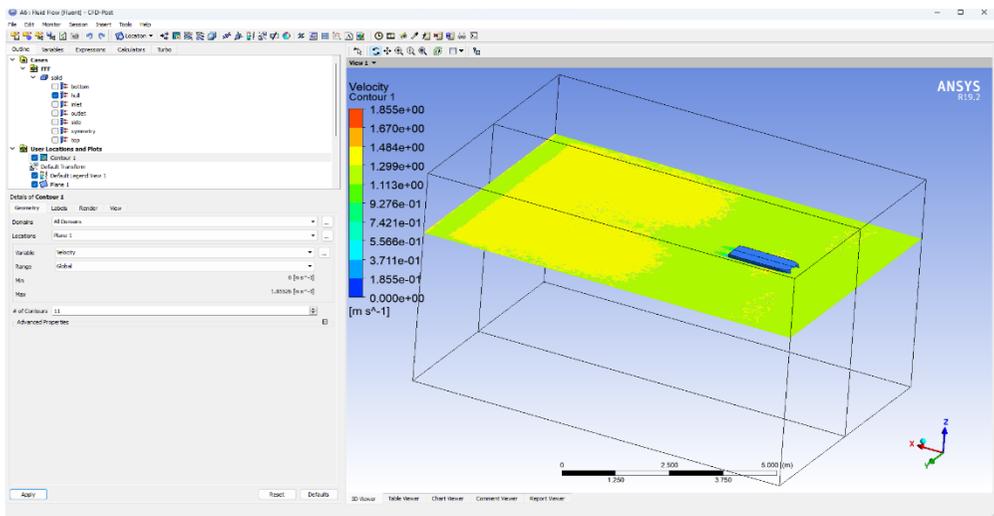
Tahap Solution merupakan tahap menjalankan simulasi numerik. Sebelum melakukan simulasi maka perlu dilakukan *Report definition* berupa *Drag Force* dan *Drag Coefficient* pada lambung kapal agar simulasi dapat menampilkan hasil perhitungan hambatan kapal. Solution method yang digunakan yaitu *Time Steady State*. Berikut merupakan visualisasi tahap yang ditunjukkan pada Gambar 30.



Gambar 30. Visualisasi tahap Calculate.
Sumber: Hasil Olah Data

5. Result

Setelah melakukan proses simulasi, maka hasil simulasi dapat dilihat pada menu *Result*. Pada menu ini dapat ditampilkan berupa Visualisasi interaksi antara fluida air dan udara berupa *volume fraction*, *Pressure*, *Velocity*, *Vector arah fluida*, nilai tahanan kapal (*Drag force*), dan koefisien tahanan kapal. Berikut merupakan Visualisasi tahap *Result* yang ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31. Visualisasi tahap result
Sumber: Hasil olah data

2.4.5 Verifikasi Data

Pada tahap ini, hasil simulasi yang didapatkan akan diverifikasi sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Adapun verifikasi yang dimaksudkan adalah pengecekan kontrol konvergensi model. Jika hasil simulasi tidak konvergen, maka dilakukan pengecekan ulang pada jumlah element pada tahap meshing dan tahap simulasi yang telah dikerjakan sebelumnya. Sedangkan jika hasil simulasi telah konvergen maka dilanjutkan ke tahap analisis data.

2.4.6 Analisis Data

Pada tahap ini, dilakukan analisis data terhadap hasil running dan verifikasi yang telah selesai dilakukan. Secara otomatis software ansys fluent mengeluarkan beberapa hasil sesuai parameter dan karakteristik yang telah diinput. Adapun hasil yang dikeluarkan antara lain:

1. Tahanan (*drag force*)

Setelah melakukan simulasi model pada aplikasi ansys fluent maka akan diperoleh nilai tahanan di setiap variasi jarak lambung. Analisis data tahanan dilakukan dengan mempertimbangkan kurva tahanan.

2. Koefisien tahanan

Setelah melakukan simulasi akan model pada aplikasi ansys fluent maka akan diperoleh nilai tahanan di setiap variasi jarak lambung. Selanjutnya dari nilai tahanan tersebut akan didapatkan nilai koefisien tahanannya dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan tahanan total. Analisis data koefisien tahanan dilakukan dengan mempertimbangkan kurva koefisien tahanan.

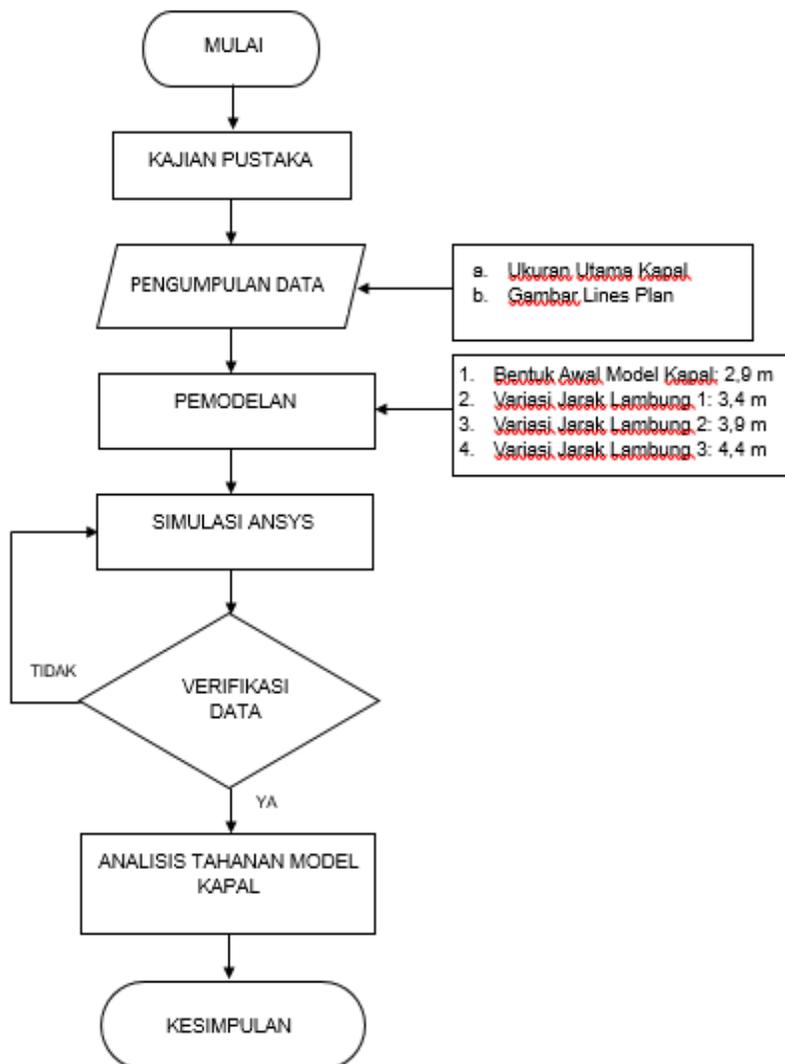
3. Visualisasi karakteristik aliran fluida seperti *volume fraction* yaitu interaksi antara fluida air dan udara, *velocity* yaitu kecepatan fluida yang mengalir disekitar lambung kapal, tekanan (*pressure*) dan arah aliran fluida (*vector*).

2.4.7 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan terhadap analisis yang dilakukan dalam penelitian.

2.5 Kerangka Pikir

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada gambar 32.



Gambar 32. Kerangka berpikir