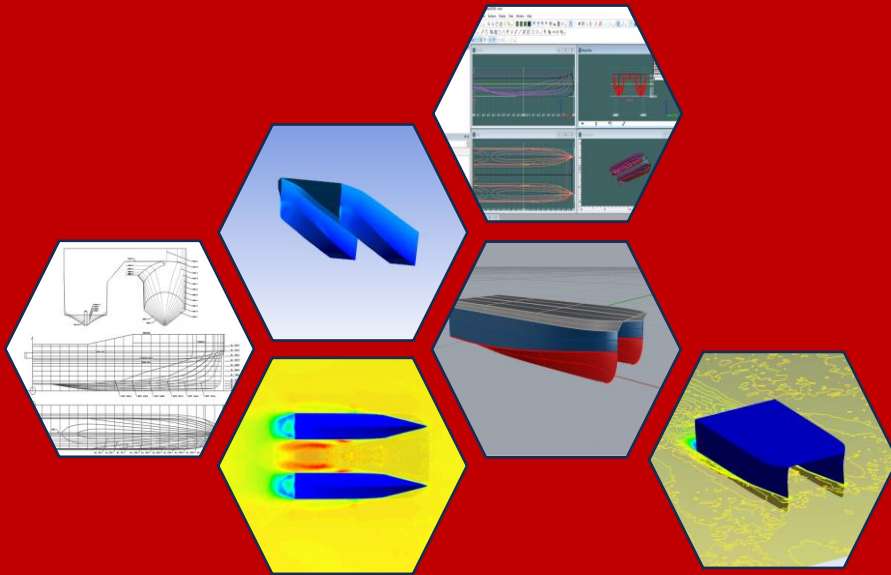


**STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK
LAMBUNG STRAIGHT BOW MENGGUNAKAN ANSYS**



**YITRO JULIANTO
D031201040**



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

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

**YITRO JULIANTO
D031201040**



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

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

YITRO JULIANTO
D031201040

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Perkapalan

Pada

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG
STRAIGHT BOW MENGGUNAKAN ANSYSYITRO JULIANTO

D031201040

Skripsi,

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

pada



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 Straight Bow Menggunakan Ansys" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.** sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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



D031201040

UCAPAN TERIMA KASIH

Shalom, puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Esa atas berkat dan anugerahnya untuk, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG STRAIGHT 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. Terkhusus kedua orang tua, Bapak **Benyamin Sura'** dan Ibu **Selvy Battung** yang telah berjuang dan terus mendoakan dari awal dan melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Semoga segala jerih payah dan doa kalian menjadi berkat dan berharga yang akan membawa manfaat bagi kita semua.
2. Kakak & adik tercinta dan terkasih Kesia Imanuela, Trifena Putri Sion dan Hesliana Mawar Saron. Terima kasih banyak atas doa dan dukungan bahkan sudah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dari awal perkuliahan sampai detik ini.
3. 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.
4. Ibu **Ir. Rosmani, MT.** dan bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** selaku dosen penguji tugas akhir ini yang telah memberiksan masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.
5. Seluruh pegawai/staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas kebaikan dalam membantu segala administrasi selama kuliah.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan, bimbingan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan.
7. Seluruh teman-teman **CHAZER** angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Perkapalan.
8. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik maupun dalam bentuk doa. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas dan memberkati selalu 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.

Gowa, 15 Agustus 2024

Yitro Julianto

ABSTRAK

YITRO JULIANTO. **Studi Tahanan Kapal Katamaran Dengan Variasi Jarak Lambung Straight Bow Menggunakan Ansys** (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT)

Kapal merupakan suatu bangunan sistemik yang digunakan manusia sebagai sarana melakukan segala aktifitas di perairan. Kecepatan kapal juga menjadi faktor penting dalam mendesain kapal, mengurangi besarnya tahanan kapal merupakan salah satu cara untuk mendapatkan kecepatan kapal yang diinginkan. Desain Haluan *Straight Bow* adalah jenis haluan kapal yang tegak lurus dengan lunas dan umum digunakan untuk kapal yang berlayar di laut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar perubahan tahanan kapal katamaran terhadap variasi jarak lambung dengan bentuk haluan straight bow. Penelitian ini terdapat 3 variasi jarak lambung yang divariasikan dengan jarak 3,1 m; 3,6 m; dan 4,1 m, kemudian digunakan 4 Froude number yaitu 0,359 ; 0,392; 0,424; dan 0,457. Perhitungan tahanan dari setiap jarak lambung tersebut dilakukan dengan menggunakan software Ansys Fluent. Hasil 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 persentase perubahan kenaikan nilai tahanan yang didapatkan dari setiap variasi jarak lambung. Variasi jarak lambung 1 dengan jarak 3,1 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 10,93%. Variasi jarak lambung 2 dengan jarak 3,6 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 25,03%. Variasi jarak lambung 3 dengan jarak 4,1 m memiliki rata-rata persentase perubahan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan nilai Froude number (F_n) sebesar 36,30%. Dengan demikian, jarak antar lambung yang diperbesar akan menghasilkan tahanan yang lebih rendah daripada tahanan awal model kapal.

Kata Kunci : Katamaran; Straight Bow; Tahanan; Ansys

ABSTRACT

YITRO JULIANTO. Study of Catamaran Ship Resistance with Variations in Hull Distance Straight Bow Using Ansys (supervised by Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT)

The ship is a systemic building used by humans as a means of carrying out all activities in the waters. Ship speed is also an important factor in designing ships, reducing the amount of ship resistance is one way to get the desired ship speed. Straight Bow Design is a type of bow that is perpendicular to the keel and is commonly used for ships sailing at sea. This study aims to determine the magnitude of changes in the resistance of catamaran ships to variations in hull distance with a straight bow bow shape. This research has 3 variations of hull distance that are varied with a distance of 3.1 m; 3.6 m; and 4.1 m, then 4 Froude numbers are used, namely 0.359; 0.392; 0.424; and 0.457. The calculation of the resistance of each hull distance is done using Ansys Fluent software. This is indicated by the percentage value of the change in resistance value obtained from each hull distance variation. Hull distance variation 1 with a distance of 3.1 m has an average percentage change in the increase in the value of resistance to the increase in the value of Froude number (Fn) of 10.93%. Hull distance variation 2 with a distance of 3.6 m has an average percentage change in the increase in resistance value against the increase in Froude number (Fn) value of 25.03%. The variation of hull distance 3 with a distance of 4.1 m has an average percentage change in the increase in the value of resistance to the increase in the value of Froude number (Fn) of 36.30%. Thus, the enlarged inter-hull distance will produce lower resistance than the initial resistance of the ship model.

Keywords: Catamaran; Straight Bow; Resistance; Ansys

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.2.1 Kapal Katamaran	2
1.2.2 Jenis-Jenis Haluan	4
1.2.3 Tahanan	7
1.2.4 Aliran Fluida	10
1.2.5 Hukum Kesamaan	12
1.2.6 Ansys	14
1.2.7 Computational Fluid Dynamic	16
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	17
BAB II METODE PENELITIAN	18
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
2.2 Jenis Penelitian	18
2.3 Metode Pengumpulan Data	18
2.3.1 Data Kapal	18
2.4 Metode Pengolahan Data	19
2.4.1 Pemodelan Kapal Katamaran	19
2.4.2 Variasi Jarak Lambung	23
2.4.3 Pemodelan Kapal Menggunakan Rhinoceros 7	24
2.4.4 Menghitung Tahanan Model Kapal dengan Ansys Fluent	25

2.4.5 Verifikasi	29
2.4.6 Analisis Data.....	29
2.4.7 Penarikan Kesimpulan	29
2.5 Kerangka Pikir	30
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	31
3.1 Skala Pemodelan Kapal	31
3.2 Variasi Jarak Lambung.....	32
3.3 Inital Condition dan Boundary Layer	34
3.3.1 Initial Condition	34
3.3.2 Kecepatan Kapal dan Froude number (F_n).....	34
3.3.3 Boundary Layer	35
3.4 Mesh Independent Study	38
3.5 Convergence Condition	39
3.6 Tahanan Model Kapal	42
3.7 Perbandingan Nilai Tahanan Variasi Jarak Lambung.....	46
3.8 Visualisasi <i>Velocity</i> , Pola aliran, dan <i>Pressure</i>	48
3.8.1 Visualisasi <i>Velocity</i>	48
3.8.2 Visualisasi Pola Aliran	50
3.8.3 Visualisasi <i>Pressure</i>	52
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
4.1 Kesimpulan	54
4.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57
Lampiran 1. Visualisasi <i>Velocity</i>	58
Lampiran 2. Visualisasi Pola Aliran	63
Lampiran 3. Visualisasi <i>Pressure</i>	69

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Ukuran Utama Kapal.....	18
2. Variasi Jarak Lambung	23
3. Penentuan Skala Model.....	31
4. Data Ukuran Kapal.....	32
5. Data ukuran model kapal dengan skala 1:27	32
6. Variasi Jarak Lambung	32
7. Initial Condition.....	34
8. Data Kecepatan Kapal	35
9. Ukuran Kolam Eksperimen	35
10. Mesh Independent Study	38
11. Nilai Residual belum Convergence.....	39
12. Nilai Residual Convergence.....	40
13. Kriteria Convergence Condition	40
14. Nilai Residual Pada Jarak Lambung Awal.....	40
15. Nilai Residual Pada Variasi Jarak Lambung 1.....	41
16. Nilai Residual Variasi Jarak Lambung 2	41
17. Nilai Residual Variasi Jarak Lambung 3	41
18. Nilai Tahanan Pada Jarak Lambung Awal.....	42
19. Nilai Tahanan Pada Variasi Jarak Lambung 1	43
20. Nilai Tahanan Pada Variasi Jarak Lambung 2	44
21. Nilai Tahanan Pada Variasi Jarak Lambung 3	45
22. Hasil Tahanan Setiap Variasi Jarak Antar Lambung	46

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Bentuk lambung katamaran	3
2. Penampang body plan catamaran	3
3. Haluan kapal plumb bow	4
4. Haluan Kapal Raked Bow	4
5. Haluan Kapal Clipper Bow	5
6. Haluan Kapal Spoon Bow	5
7. Bulbous Bow	6
8. Ram Bow.....	6
9. Axe Bow	7
10. Haluan Kapal Inverted Bow / X Bow	7
11. Contoh Aliran streamline yang melintasi suatu body	10
12. Aliran Laminer	11
13. Aliran Transisi	11
14. Aliran Turbulen.....	12
15. Lines Plan Kapal Katamaran	19
16. Tampilan <i>Profile</i>	20
17. Tampilan <i>Add Surface</i>	20
18. Tampilan <i>Duplicate Surface</i>	21
19. Tampilan <i>Duplicate Surface</i>	21
20. Pembuatan Model Lambung.....	22
21. Tampilan Data <i>Design Grid</i> Untuk <i>Section, Buttock, Waterpline</i>	22
22. Tampilan Model Kapal Katamaran.....	23
23. Tampilan Model Kapal Katamaran.....	24
24. Proses penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 7	24
25. Model kapal yang sudah solid.....	25
26. Visualisasi pemodelan tangki pengujian pada <i>Geometry</i>	26
27. Visualisasi tahap <i>Mesh</i>	26
28. Visualisasi tahap <i>Setup</i>	27
29. Visualisasi tahap <i>Calculate</i>	28
30. Visualisasi Tahap <i>Result</i>	28
31. Kerangka Pikir Penelitian	30
32. Jarak Lambung Bentuk Awal	33
33. Variasi Jarak Lambung 1 (0.5 m).....	33

34. Variasi Jarak Lambung 2 (1 m)	33
35. Variasi Jarak Lambung 3 (1.5 m)	34
36. Boundary Layer	35
37. Boundary Layer	36
38. Input kecepatan dan bottom level pada pressure inlet	36
39. Input bottom level pada pressure outlet	37
40. Pendefinisian Side-wall sebagai wall specified shear	37
41. Symmetry	38
42. Grafik Jumlah Element	39
43. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan tahanan pada variasi jarak lambung bentuk awal	42
44. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan koefisien tahanan pada variasi jarak lambung bentuk awal	43
45. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan tahanan pada variasi jarak lambung 1	43
46. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan koefisien tahanan pada variasi jarak lambung 1	44
47. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan tahanan pada variasi jarak lambung 2	44
48. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan koefisien tahanan pada variasi jarak lambung 2	45
49. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan tahanan pada model kapal variasi jarak lambung 3	45
50. Kurva hubungan antara Froude number (F_n) dengan koefisien tahanan pada variasi jarak lambung 3	46
51. Perbandingan nilai tahanan kapal dengan Froude number pada setiap variasi jarak lambung	47
52. Perbandingan nilai koefisien tahanan dengan Froude number pada setiap variasi jarak lambung	48
53. Visualisasi <i>velocity</i> setiap variasi jarak lambung pada kecepatan 1,386 m/s dan Froude number (F_n) 0,457	50
54. Visualisasi pola aliran setiap variasi jarak lambung pada kecepatan 1,386 m/s dan Froude number (F_n) 0,457	51
55. Visualisasi <i>Pressure</i> setiap variasi jarak lambung pada kecepatan 1,386 m/s dan Froude number (F_n) 0,457	53

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
LOA	Length of All	m
LWL	Length of Waterline	m
B	Lebar Kapal	m
H	Tinggi Kapal	m
T	Sarat Kapal	m
V	Kecepatan Kapal	m/s
Rn	Angka Reynold	
Cf	Koefisien Gesek	
ν	Viskositas Air	
Slr	Rasio Kecepatan dan Panjang Kapal	
R _T	Tahanan Total	N
ρ	Massa Jenis Fluida	Kg/m ³
C _T	Koefisien Tahanan Total	
S	Luas Bidang Basah	m ²
Fn	Froude number	

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Visualisasi Velocity.....	53
2. Visualisasi Pola Aliran.....	68
3. Visualisasi Pressure.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan suatu bangunan sistemik yang digunakan manusia sebagai sarana untuk melakukan segala aktifitas di wilayah perairan. Aktifitas- aktifitas tersebut diantaranya eksplorasi, pelayaran, penelitian ekosistem laut, penyeberangan, penangkapan ikan, dan pengangkutan barang sebagai muatan kapal. Adanya beragam fungsi dari macam- macam aktifitas kapal tersebut menggerakkan para ahli perancang kapal untuk membuat desain kapal dengan bentuk dan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan operasional kapal. Dalam operasi pengangkutan barang, terutama penyeberangan penumpang, 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. Pada kenyataannya dalam pengoperasian suatu kapal sering terjadi bahwa kecepatan yang diinginkan sering tidak sesuai dengan perencanaan atau daya mesin yang terpasang kadang terlalu besar. Untuk menyesuaikan besar daya mesin dengan kecepatan yang diinginkan, maka harus diketahui besar tahanan yang terjadi pada kapal tersebut (SHA Solo, 2023).

Desain Haluan *Straight Bow* adalah jenis haluan kapal yang tegak lurus 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. Penggunaan desain *Straight Bow* dipilih atas beberapa alasan, termasuk meningkatkan keamanan kapal dan efisiensi pelayaran. Desain ini memungkinkan lambung kapal untuk memotong air dengan sedikit perlawanan, yang pada akhirnya menghasilkan penghematan biaya bahan bakar kapal.

Ada berbagai jenis tipe kapal yang berlayar di Indonesia, salah satunya adalah kapal katamaran. Kapal katamaran memiliki 2 lambung kapal atau memiliki 2 badan kapal. Sampai saat ini jenis kapal ini digunakan untuk kapal-kapal penumpang. Kapal katamaran merupakan jenis kapal dengan struktur *demi hull* yang menghubungkan struktur menyerupai jembatan di bagian tengah kapal. Dengan struktur *demi hull* ini, kapal dengan lebar sama, tahanan gesek yang terjadi pada kapal katamaran lebih kecil dibandingkan dengan kapal tipe *monohull*.

Adapun faktor yang mempengaruhi performa kapal katamaran adalah jarak antar lambungnya. Dimana variasi dalam jarak lambung antara dua lambung kapal katamaran dapat mempengaruhi pola aliran air disekitar kapal dan tahanan kapal secara keseluruhan. Beberapa kajian tentang jarak antar lambung secara sistematis telah diteliti oleh Insel dan Molland (1991). Kajian tersebut berkesimpulan bahwa dengan perubahan jarak antar kedua lambung katamaran memberikan pengaruh interferensi yang signifikan terhadap hambatan viskos.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap kapal katamaran dengan variasi jarak lambung *Straight 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 BERBAGAI JARAK LAMBUNG STRAIGHT BOW MENGGUNAKAN ANSYS”**.

1.2 Teori

1.2.1 Kapal Katamaran

Katamaran merupakan kapal yang mempunyai dua lambung atau badan yang dihubungkan oleh geladak atau bridging platform ditengahnya. Bridging platform ini bebas dari permukaan air, sehingga slamming dan deck wetness kapal dapat dikurangi. Penentuan ketinggian struktur bagian atas dari permukaan air merupakan fungsi dari tinggi gelombang rute pelayaran yang dilalui. Kombinasi luas geladak yang besar dan berat kapal kosong yang rendah membuat kapal katamaran dapat diandalkan untuk transportasi muatan antar kota maupun pariwisata (Arianto, 2016).

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 M.A 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.

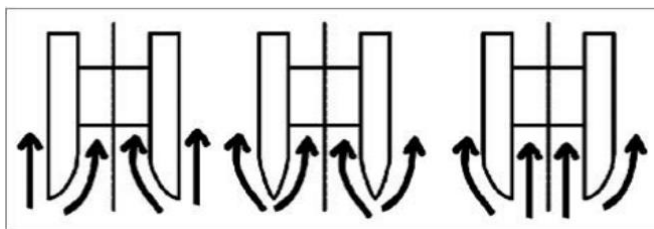
- g) Kekhawatiran penumpang pada faktor kapal terbalik menjadi lebih kecil, sehingga penumpang merasa lebih aman.

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 kapal katamaran memiliki banyak model, tetapi secara umum ada tiga bentuk dasar dari katamaran, yakni: Dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini

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

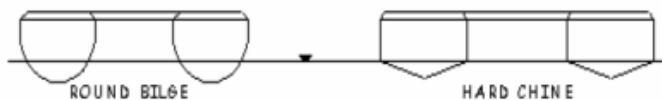


Gambar 1. Bentuk lambung katamaran

Sumber : Luhur M.A. dkk, 2017

Sedangkan penampang body plan katamaran dibedakan menjadi 2, yaitu seperti pada Gambar 2 :

- a. Round bilge
- b. Hard chine



Gambar 2. Penampang body plan catamaran

Sumber : Dwi Laksono, 2012

Bentuk lambung tipe *hard chine* agak sederhana dan mudah dalam pengerjaan konstruksinya. Tipe lambung ini memiliki luas bidang basah statik yang lebih besar sehingga dapat memperbesar hambatan gesek pada kecepatan rendah. Sedangkan pada kecepatan tinggi, luas bidang basah akan berkurang dengan sendirinya akibat timbulnya gaya angkat (*dynamic lift*).

Lambung dengan tipe *round bilge* sangat sesuai dengan untuk muatan yang lebih banyak dan kecepatan rendah. Lambung tipe ini memiliki gerakan yang relatif kecil dan tidak mudah mengalami hempasan gelombang (*slamming*) sehingga dapat memberikan rasa nyaman pada kondisi gelombang ekstrim. Biasanya tipe lambung ini dilengkapi

dengan spray pada bagian depan (*bow*) untuk menurunkan efek sibakan air atau *water spray* (Dwi Laksono, 2012).

1.2.2 Jenis-Jenis Haluan

Berikut ini adalah jenis-jenis haluan kapal atau tipe bow yaitu sebagai berikut:

1. Plumb Bow/Straight Bow

Plumb Bow (Tegak Lurus) adalah jenis haluan kapal yang tegak lurus 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. Haluan Plumb Bow/Straight Bow dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Haluan kapal plumb bow

Sumber : SHA Solo, 2023

Penggunaan desain Plumb Bow dipilih atas beberapa alasan, termasuk meningkatkan keamanan kapal dan efisiensi pelayaran. Desain ini memungkinkan lambung kapal untuk memotong air dengan sedikit perlawanan, yang pada akhirnya menghasilkan penghematan biaya bahan bakar kapal.

2. Raked Bow

Raked Bow adalah jenis haluan kapal yang memiliki bentuk panjang dan miring, sering digunakan pada kapal kayu untuk meningkatkan kemampuan berlayar. 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 4.



Gambar 4. Haluan Kapal Raked Bow

Sumber : SHA Solo, 2023

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. Haluan Clipper Bow dapat dilihat pada Gambar 5.

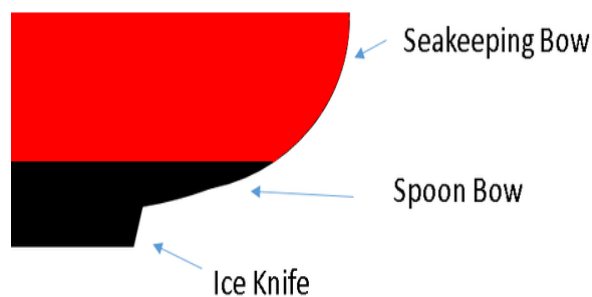


Gambar 5. Haluan Kapal Clipper Bow

Sumber : SHA Solo,2023

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. Haluan Spoon Bow dapat dilihat pada Gambar 6.



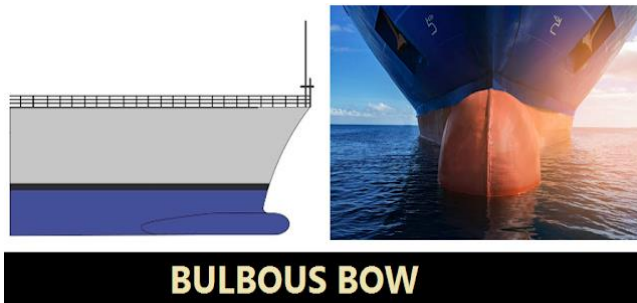
Gambar 6. Haluan Kapal Spoon Bow

Sumber : SHA Solo, 2023

5. Bulbous Bow

Tipe haluan yang paling sering ditemui di banyak kapal karena keuntungannya dalam pemakaian ini. Bulbous adalah bentuk khas lambung kapal jika dilihat dari permukaan air, yang disebabkan oleh haluan yang bulat lebih dalam

di dalam air daripada efisiensi bahan bakar, kecepatan, dan stabilitas. Haluan Bulbous Bow dapat dilihat pada Gambar 7.

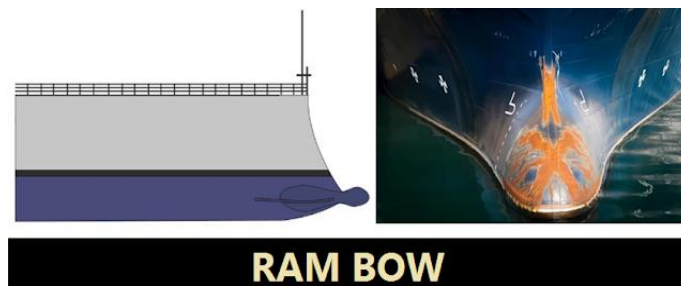


Gambar 7. Bulbous Bow

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

6. Ram Bow

Jenis haluan kapal dengan bentuk perpanjangan yang lebih dibangun di bawah air pada bawah lambung kapal. Ram bow ini merupakan desain panjang dan ramping yang membantu kapal menembus air dengan efisiensi maksimum, sehingga berbentuk seperti anak panah yang mengarah ke depan. Haluan Ram Bow dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Ram Bow

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

7. Axe Bow

Tipe bow kapal yang memiliki bentuk tajam dan runcing ke depan. Axe Bow ini biasanya digunakan untuk jenis kapal cepat yang memotong jalan melalui apapun yang dilewati kapal. Alasan disebut axe bow karena bagian depan lambung yang panjang, dalam dan sempit yang menyerupai kapak. Haluan Axe Bow dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Axe Bow

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

8. Inverted Bow

Inverted Bow, yang juga dikenal 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. Haluan Inverted Bow / X Bow dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Haluan Kapal Inverted Bow / X Bow

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

1.2.3 Tahanan

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.

Untuk mengatasi tahanan tersebut, maka kapal membutuhkan sejumlah daya dorong sehingga dapat melewati air laut dengan kecepatan tertentu sesuai dengan kebutuhan operasinya. Daya dorong ini berupa gaya yang bekerja untuk melawan hambatan pada badan kapal yang tercelup di air, hambatan gelombang dan hambatan dari angin yang mengenai badan kapal yang berada di atas permukaan air laut. Hambatan-hambatan tersebut merupakan komponen tahanan kapal yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal.

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan.

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 sebagai 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 viskos.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

a. Angka Renold (Renold"s number, Rn)

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskositas yang mengkuifikasikan hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi laminar dan turbulent. Rumus bilangan Reynolds sebagai berikut pada persamaan 1.

$$Rn = \frac{V \times L}{\nu} \quad (1)$$

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

ν : Viskositas air (cP)

b. Koefisien gesek (*friction coefficient*, Cf)

$$Cf = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (2)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- c. Rasio kecepatan dan panjang kapal (*speed length ratio*, Slr)

$$Slr = \frac{V_s}{\sqrt{L}} \quad (3)$$

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (m) dan V_s adalah kecepatan kapal (m/s)

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.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

- a. Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*) Yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.
- b. Tahanan kekasaran Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.
- c. Hambatan kemudi (*Steering Resistance*) Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi (Arwini, 2018).

C. Tahanan total (Total Resistance)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldhammer dan Halvard (Halvard, 1992), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan dibawah ini :

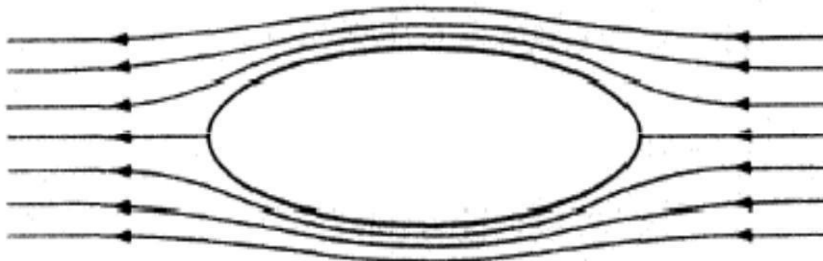
$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (4)$$

Dimana :

- R_T = Tahanan Total (N)
 ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)
 C_T = Koefisien tahanan total
 S = Luas bidang basah (m^2)
 V = kecepatan (m/s)

1.2.4 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 11 berikut.



Gambar 11. Contoh Aliran streamline yang melintasi suatu body

Sumber: Suryo W. Adji, 2009

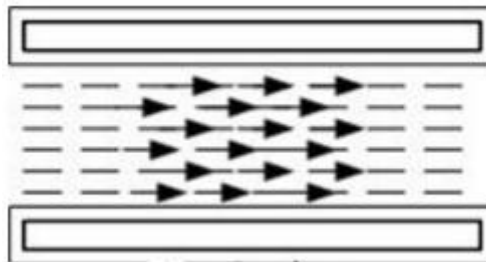
Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Di Dalam suatu sistem fluida non-viscous. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida non-viscous tersebut, maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (resistance) meskipun fluida tersebut 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 (Suryo W. Adji, 2009).

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Untuk menguji apakah suatu aliran laminar 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 laminar 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 laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjaji,2003). Sehingga dapat dijabarkan bahwa :

1. Aliran Laminar ($Re < 2300$)

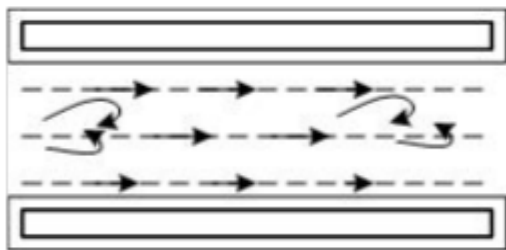
Aliran laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncursatu arah pada lapisan yang 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 12.



Gambar 12. Aliran Laminar

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

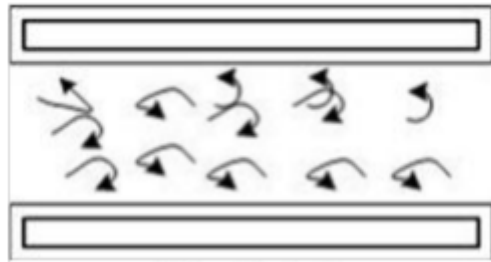
Aliran transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji, 2015). Aliran transisi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Aliran Transisi

3. Aliran Turbulen ($Re > 4000$)

Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besardan viskositasnya rendah (Senoaji, 2015). Aliran Turbulen dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Aliran Turbulen

1.2.5 Hukum Kesamaan

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

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 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) TODD :

- $L_m < T$ tangki
- $L_m < \frac{1}{2} B$ tangka

- 2) HARVALD:
 $B_m < 1/10$ B tangki
 $T_m < 1/10$ T tangki
- 3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :
 $L_m < 1/2$ b tangki
 $B_m < 1/15$ B tangki
 $Ao_m < 0,4$ Ao tangki

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. 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/dt)
Vm	= kecepatan model (m/dt)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/dt ²)

3. Kesamaan dinamis

Menurut Djabbar M.Alham dan Rosmani, (2011). Bahwa 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. Rumus kesamaan dinamis dapat dilihat pada Persamaan 8 dan 9

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

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 (m² /s)
= 1,1883 x 10⁻⁶ (m² /s)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

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

1.2.6 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:

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 kearah 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 ration 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:

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

dengan:

ρ = massa jenis (kg/m³)

m = massa zat (kg)

V = volume zat (m³)

C. Modulus Young

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E dan satuannya N/m². 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.

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

dengan:

E = modulus Young (N/m² atau Pa)

σ = tegangan (Pa)

e = regangan

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

1. *Design Modeler*, digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa dan juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.

2. *Meshing Application*, fasilitas untuk “meshing” baik pada CFD maupun Explicit Dynamics.
3. *Explicit Dynamic*, digunakan untuk menampilkan visualisasi fisik dalam kurun waktu tertentu terhadap pemodelan atau produk yang dibuat.

1.2.7 Computational Fluid Dynamic

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 oleh *G.G. Stokes* di Inggris dan *M. Navier* di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Molland et al, 2017) :

1. Persamaan Kontinuitas :

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

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

2. Persamaan Momentum

- Momentum kearah sumbu X

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

- Momentum kearah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{yz})}{\partial z} \right) \quad (14)$$

- Momentum kearah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{zz})}{\partial z} \right) \quad (15)$$

Persamaan 13 sampai dengan Persamaan 15 adalah persamaan momentum 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

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Er)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_u)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_v)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_w)}{\partial z} = \frac{\partial(pu)}{\partial x} - \frac{\partial(pv)}{\partial y} - \frac{\partial(pw)}{\partial z} + \frac{1}{Re_r Pr_r} + \\ \left(\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial}{\partial x} (U\tau_{xx} + U\tau_{xy} + U\tau_{xz}) + Cv\tau_{yy} + wv\tau_{yz} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial z} (U\tau_{xz} + U\tau_{yz} + U\tau_{zz}) \end{aligned} \quad (16)$$

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/m ³)
Et	= Energi Total (kJ)
p	= Tekanan (N/m ²)
q	= Heat Flux (kW/m ²)
Rn	= Bilangan Reynold
Pr	= Bilangan Prandtl

Persamaan 16 adalah persamaan energi 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 straight bow menggunakan simulasi ansys.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berbasis simulasi numerik menggunakan software ansys, dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan pada kapal katamaran dengan berbagai jarak lambung *Straight Bow*.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini yaitu Data Sekunder. Data sekunder adalah informasi yang diperoleh dari sumber yang sudah ada, 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 Penumpang
 - b. Jenis Material Kapal = Aluminium
- C. Ukuran Utama Kapal
- D. Rencana Garis Air (*Lines Plan*) Kapal Katamaran

2.3.1 Data Kapal

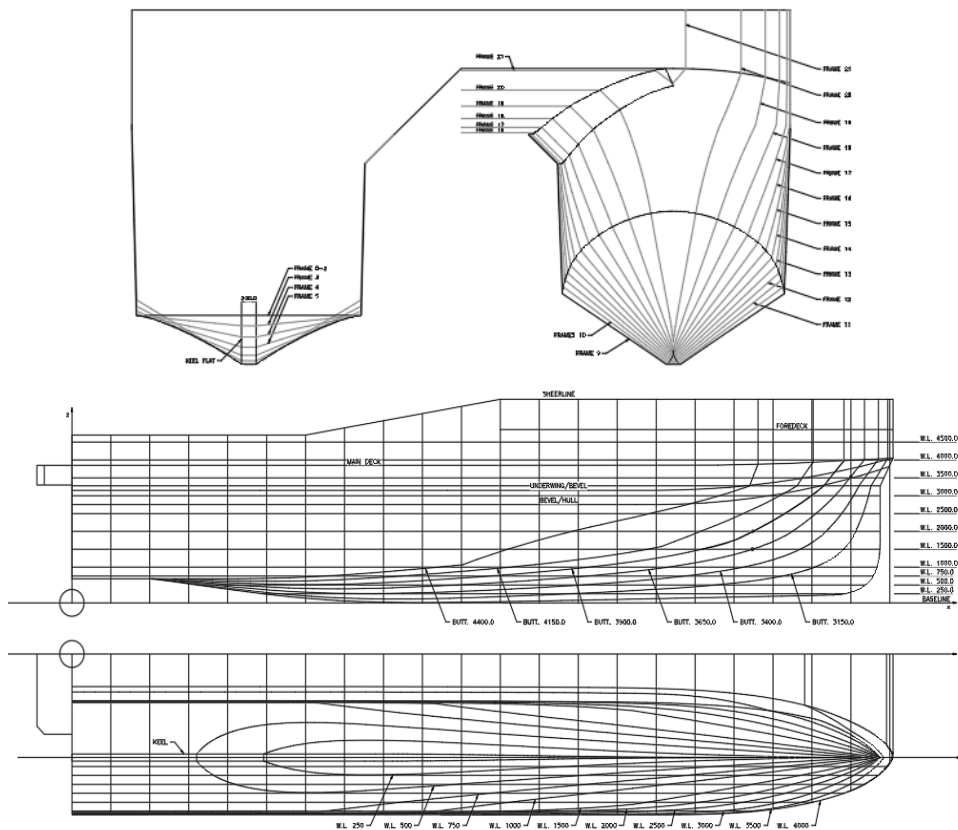
Kapal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal ferry jenis katamaran. Pada penelitian ini kapal akan dimodelkan dengan menggunakan software Maxsurf Modeller. Adapun data Kapal pada Tabel 1 dan Gambar 15 yaitu:

- A. Ukuran Utama Kapal

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	<i>Length Over All</i> (LOA)	25,30	m
2	<i>Length Water Line</i> (LWL)	25,30	m
3	<i>Breadth</i> (B)	9	m
4	<i>Depth</i> (H)	3,850	m
5	<i>Draught</i> (T)	1,4	m
6	Kecepatan (V)	12	Knot
7	Daya Mesin Induk	2 x 399	kW

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



Gambar 15. Lines Plan Kapal Katamaran

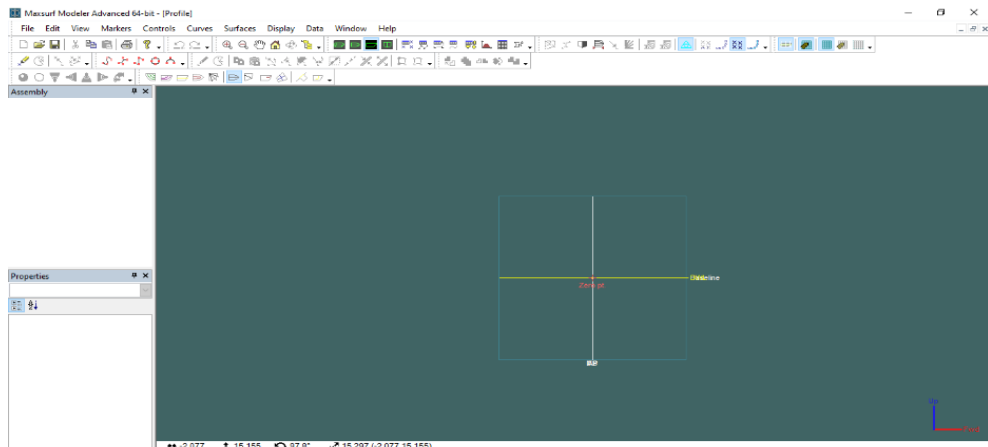
2.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan software *Maxsurf Modeller* dan *Rhinoceros* 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:

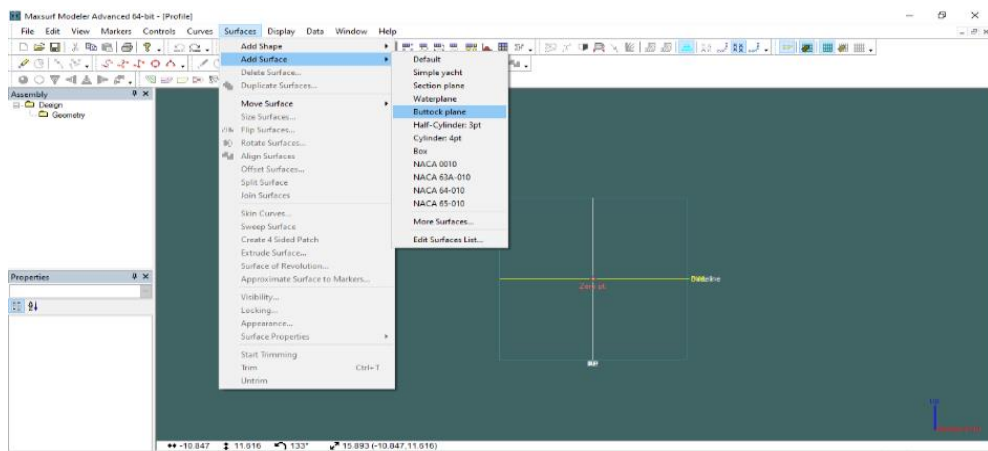
1. Membuka program *Maxsurf Modeller*, lalu pilih *profile* atau tampak samping yang dapat dilihat pada Gambar 16 dibawah ini:



Gambar 16. Tampilan *Profile*

Sumber : Hasil Olah Data

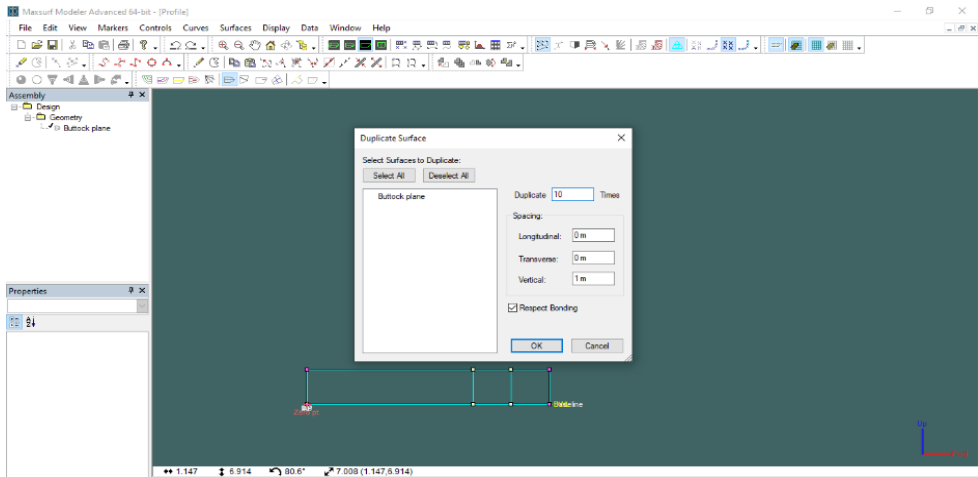
2. Pilih menu *Surface* lalu *Add Surface* dan pilih *Buttock Plane*. Selanjutnya, masukkan ukuran panjang kapal LOA di tampilan *Long Pos*, yang dapat dilihat pada Gambar 17 dibawah ini:



Gambar 17. Tampilan *Add Surface*

Sumber : Hasil Olah Data

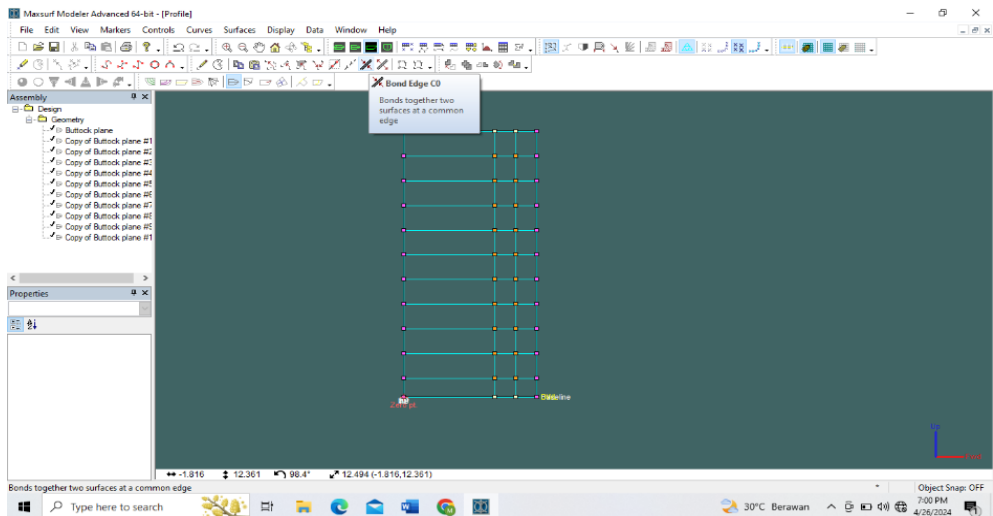
3. Selanjutnya tambahkan *Add Control Point*. Setelah itu, pilih menu *Surface* lalu *Duplicate Surface* sebanyak 10 karena yang di desain adalah kapal katamaran maka harus diperbanyak *Surface*, yang dapat dilihat pada Gambar 18 dibawah ini:



Gambar 18. Tampilan *Duplicate Surface*

Sumber : Hasil Olah Data

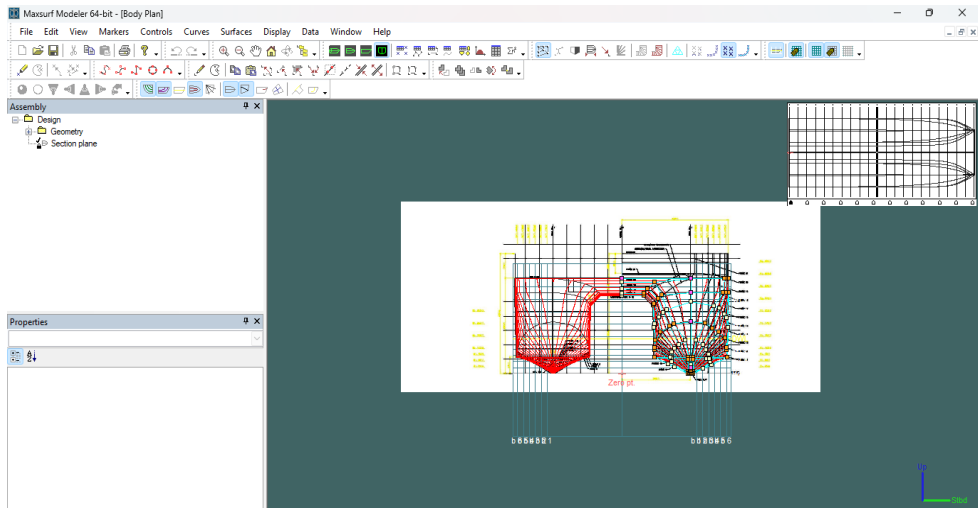
- Setelah sudah di *Duplicate Surface* kemudian disambungkan masing-masing *Surface* dengan memblok surfacenya lalu pilih menu *Bond Edge*, yang dapat dilihat pada Gambar 19 dibawah ini:



Gambar 19. Tampilan *Duplicate Surface*

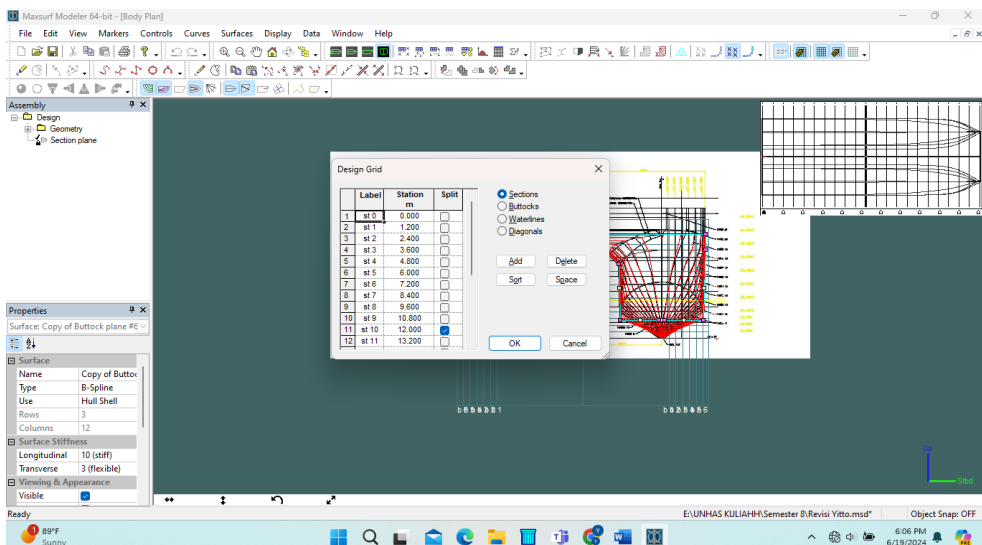
Sumber : Hasil Olah Data

5. 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 20 dibawah ini:



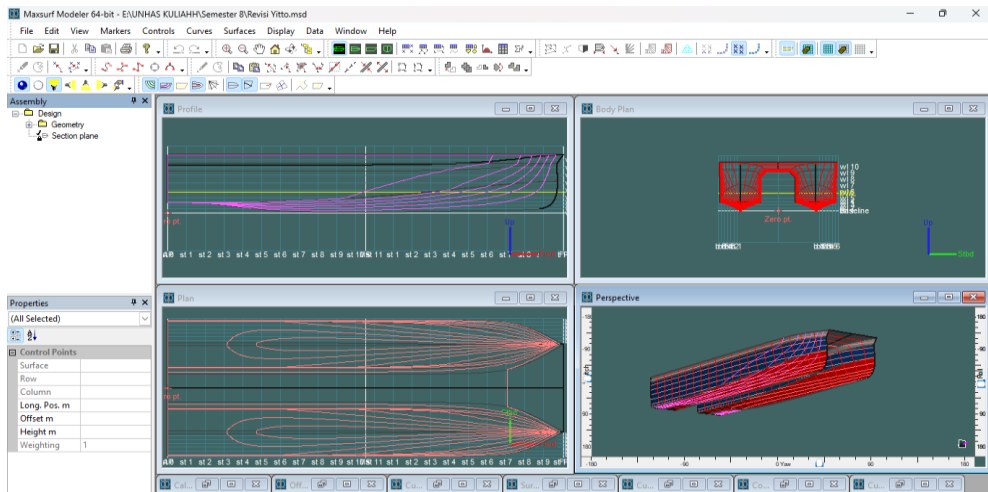
Gambar 20. Pembuatan Model Lambung
Sumber : Hasil Olah Data

6. Setelah bentuk lambung atau body plannya sudah jadi. Pilih menu data lalu *Design Grid*, tambahkan jumlah *Sections*, *Buttock*, dan *Waterlines*, yang dapat dilihat pada Gambar 21 dibawah ini:



Gambar 21. Tampilan Data *Design Grid* Untuk *Section*, *Buttock*, *Waterline*
Sumber : Hasil Olah Data

7. Jadilah model 3D kapal katamaran sesuai dengan lines plan kapal tersebut, yang dapat dilihat pada Gambar 22 dibawah ini:



Gambar 22. Tampilan Model Kapal Katamaran

Sumber : Hasil Olah Data

2.4.2 Variasi Jarak Lambung

Variasi jarak antar lambung pada kapal katamaran dapat memiliki dampak signifikan pada performa kapal. Variasi jarak antara lambung mempengaruhi karakteristik hidrodinamika kapal, khususnya tahanan kapal, stabilitas kapal, dan kelincuhan kapal. Dengan memperbesar jarak antara lambung, tahanan total kapal dapat diminimalkan. Namun, variasi jarak lambung juga dapat mempengaruhi stabilitas dan kelincuhan kapal.

Pada penelitian ini, digunakan 4 variasi jarak antar lambung dengan penambahan jarak antar lambung adalah 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m. dari jarak lambung awal Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu sebagai berikut :

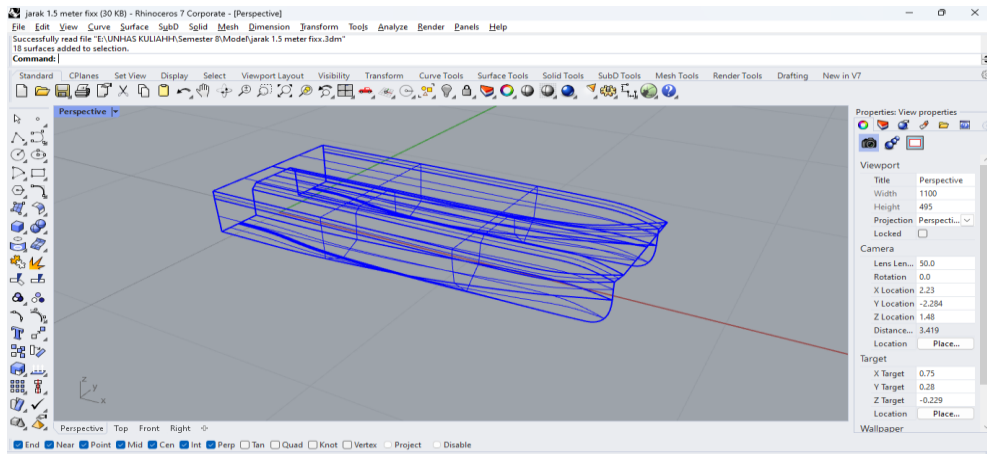
Tabel 2. Variasi Jarak Lambung

No	Variasi	Jarak (m)	Jarak Setelah Menggunakan Skala 1:27 (m)
1	Bentuk Awal Kapal	2,6	0,096
2	Variasi Jarak Lambung 1	3,1	0,11
3	Variasi Jarak Lambung 2	3,6	0,13
4	Variasi Jarak Lambung 3	4,1	0,15

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

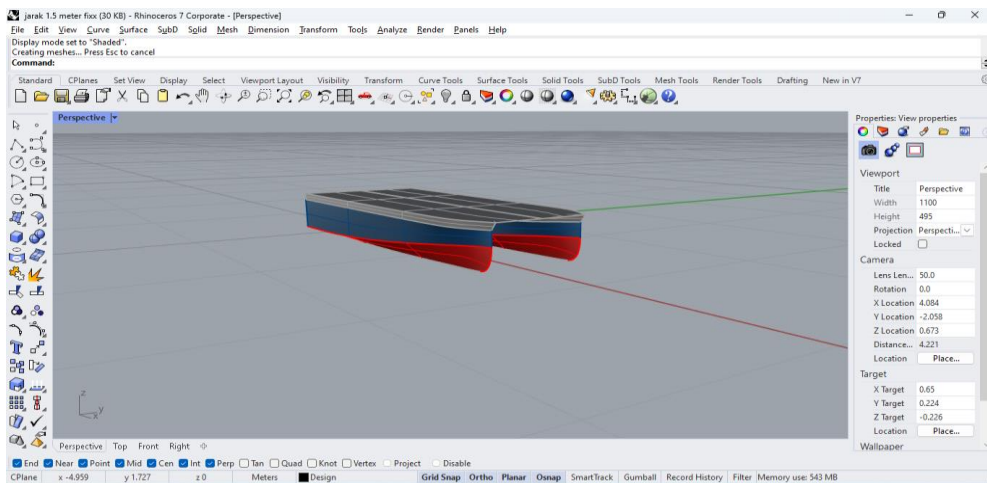
1. Buka *Software Rhinoceros 7* dan *import* file model kapal yang telah dibuat pada *Maxsurf*, yang dapat dilihat pada Gambar 23 dibawah ini.



Gambar 23. Tampilan Model Kapal Katamaran

Sumber : Hasil Olah Data

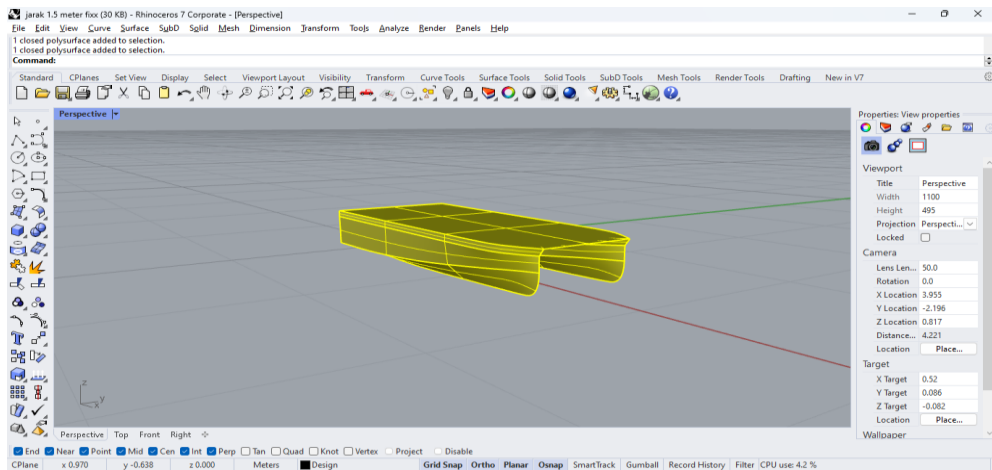
2. Setelah itu dilakukan penggambaran ulang menggunakan tool Surface agar semua sisi kapal tertutup, yang dapat dilihat pada Gambar 24 dibawah ini.



Gambar 24. Proses 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, yang dapat dilihat pada Gambar 25 dibawah ini.



Gambar 25. Model kapal yang sudah solid

Sumber : Hasil Olah Data

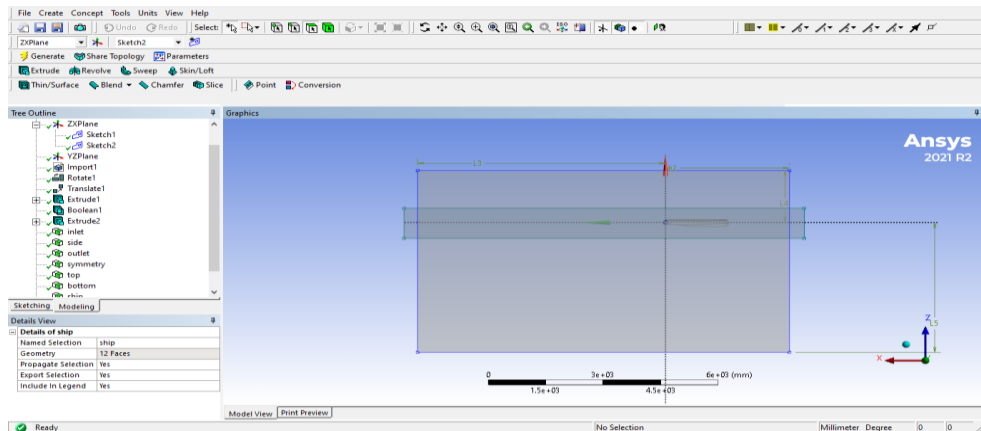
Selanjutnya model yang telah solid di export dalam format rhino 3-D model (.3dm) kemudian dilakukan simulasi pada Software Ansys Workbance 2019 R2 – Fluid Flow (Fluent).

2.4.4 Menghitung Tahanan Model Kapal dengan 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

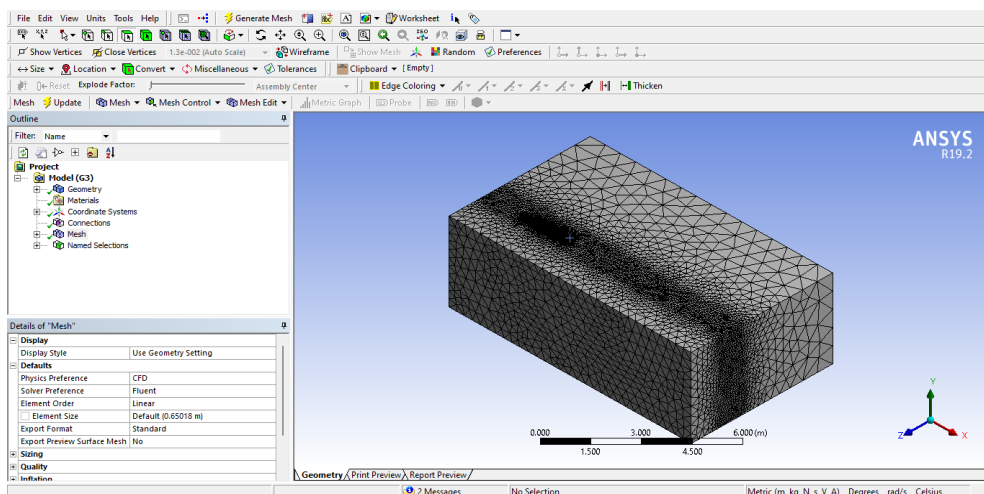
Pada tahap ini dilakukan import file model kapal yang telah dibuat di *Software Rhinoceros 7*, Setelah itu dilakukan pemodelan tangki pengujian untuk simulasi aliran. Berikut merupakan visualisasi tahap geometry yang dapat dilihat pada Gambar 26 :



Gambar 26. 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 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 dapat dilihat pada Gambar 27 :

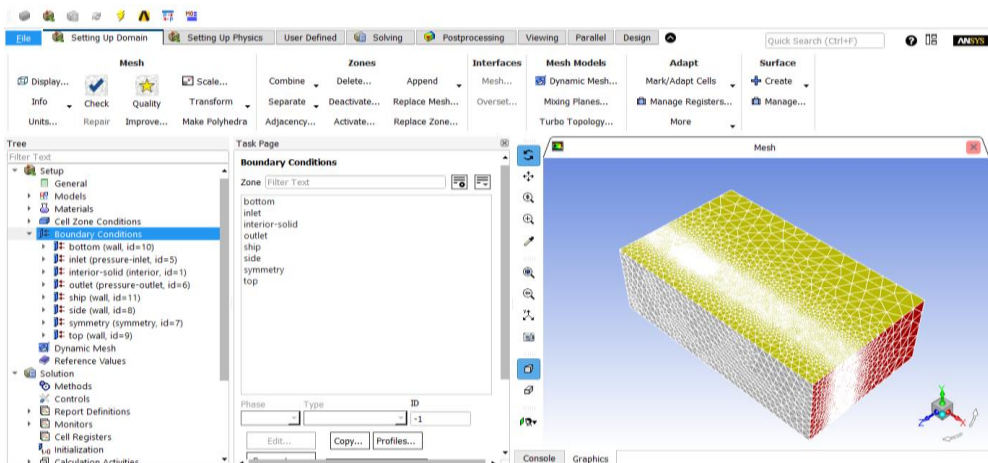


Gambar 27. Visualisasi tahap *Mesh*
Sumber : Hasil Olah Data

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 dapat dilihat pada Gambar 28 :

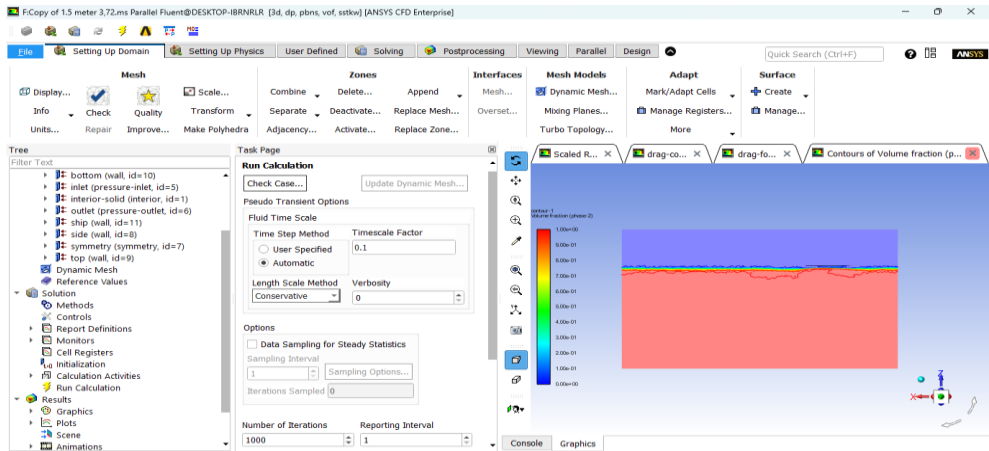


Gambar 28. Visualisasi tahap *Setup*

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 *Calculate* pada Gambar 29 :

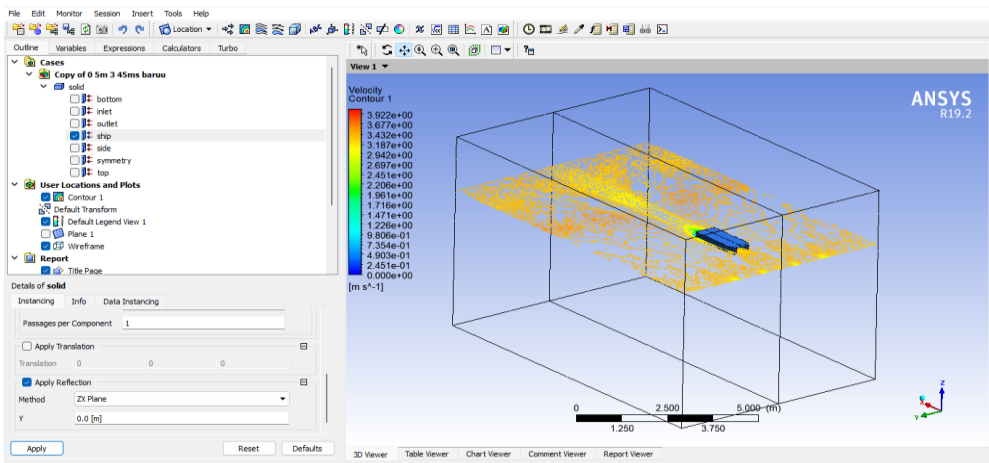


Gambar 29. Visualisasi tahap *Calculate*

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*. Berikut merupakan visualisasi tahap *Result* pada Gambar 30 :



Gambar 30. Visualisasi Tahap *Result*

Sumber : Hasil Olah Data

2.4.5 Verifikasi

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 tahap simulasi yang telah dikerjakan sebelumnya. Sedangkan jika hasil simulasi telah konvergen maka dilanjutkan ke tahap analisis data.

2.4.6 Analisis Data

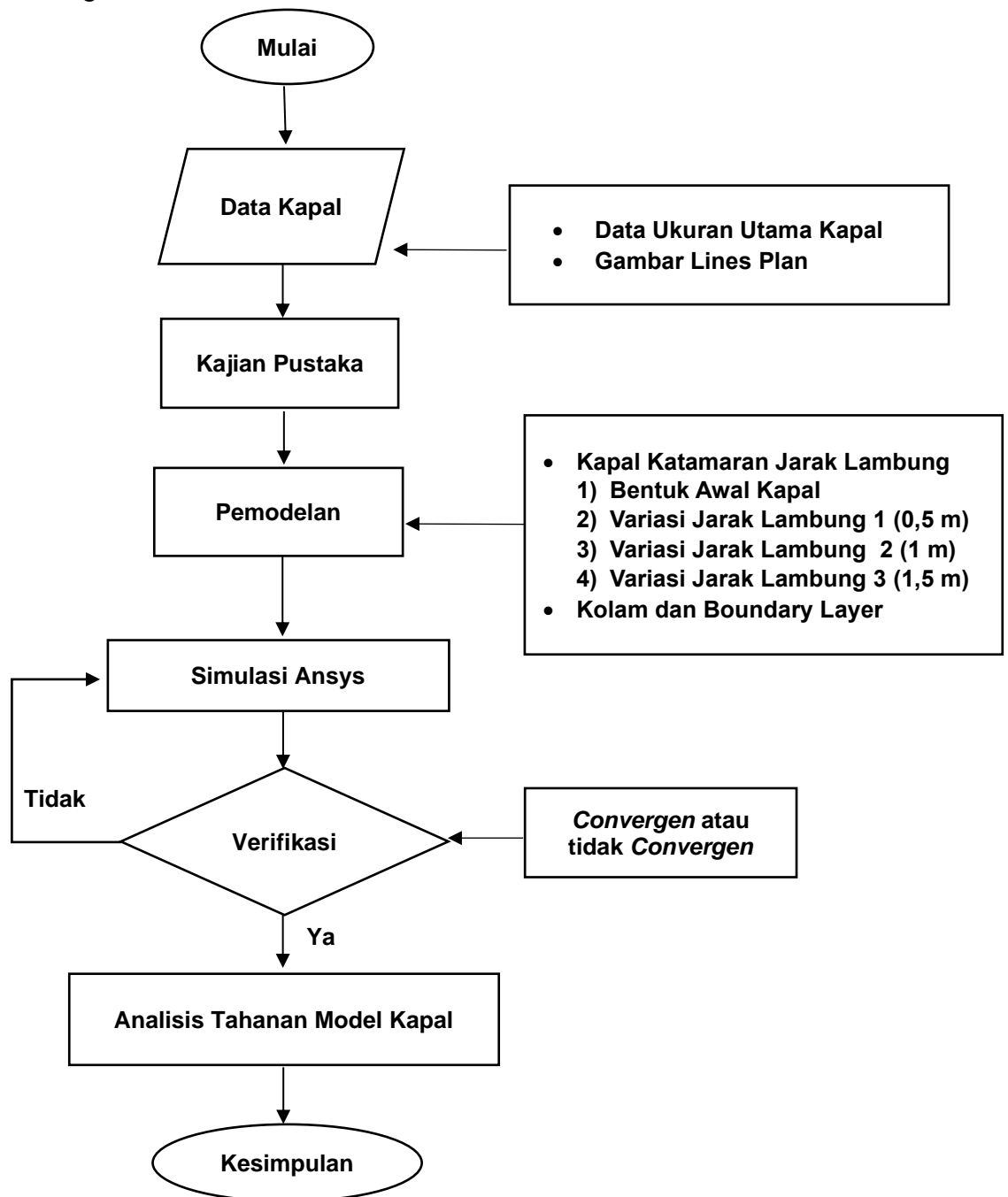
Setelah proses running dan verifikasi telah selesai, maka secara otomatis software mengeluarkan beberapa hasil sesuai parameter dan karakteristik yang telah diinput. Adapun hasil yang dikeluarkan antara lain:

1. Tahanan (*drag force*)
Setelah melakukan simulasi akan diperoleh nilai tahanan di setiap variasi jarak lambung dan akan mempertimbangkan kurva tahanan.
2. Koefisien tahanan
Hasil dari tahanan tersebut dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai koefisien tahanan di setiap variasi jarak lambung lalu 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



Gambar 31. Kerangka Pikir Penelitian