

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Transportasi laut memiliki peranan penting dalam mendukung distribusi barang dan mobilitas manusia, terutama bagi negara kepulauan seperti Indonesia. Sebagai negara maritim dengan ribuan pulau, kebutuhan akan kapal yang efisien, stabil, serta memiliki performa hidrodinamika yang baik menjadi sangat penting. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi efisiensi kapal adalah besarnya tahanan kapal saat bergerak di air. Tahanan kapal yang besar akan menyebabkan kebutuhan daya mesin meningkat sehingga konsumsi bahan bakar juga bertambah. Oleh karena itu, perancangan bentuk lambung kapal yang mampu meminimalkan tahanan menjadi salah satu fokus utama dalam bidang teknik perkapalan. (Molland, Turnock, & Hudson, 2011).

Dalam beberapa dekade terakhir, pengembangan bentuk lambung kapal terus dilakukan untuk meningkatkan performa hidrodinamika kapal. Salah satu inovasi yang banyak diteliti adalah kapal multihull, khususnya kapal trimaran. Kapal trimaran terdiri dari satu lambung utama (*main hull*) dan dua lambung samping (*outrigger*) yang berfungsi meningkatkan stabilitas serta mengurangi tahanan gelombang pada kecepatan tertentu. Dibandingkan dengan kapal *monohull*, konfigurasi trimaran memiliki potensi menghasilkan tahanan yang lebih kecil serta efisiensi bahan bakar yang lebih baik, terutama pada kapal berkecepatan tinggi. (Doctors, 2003).

Selain konfigurasi lambung, bentuk haluan kapal juga berpengaruh terhadap karakteristik aliran fluida di sekitar kapal. Salah satu bentuk haluan yang mulai banyak digunakan adalah *inverted bow*. *Inverted bow* merupakan bentuk haluan yang condong ke dalam sehingga memiliki sudut masuk air yang lebih tajam. Bentuk ini diketahui dapat mengurangi pembentukan gelombang di bagian depan kapal, meningkatkan efisiensi hidrodinamika, serta memberikan performa yang lebih baik pada kondisi gelombang tertentu. Oleh karena itu, penerapan *inverted bow* pada kapal *multihull* seperti trimaran menjadi topik penelitian yang menarik untuk dikaji lebih lanjut. (Bertram, 2012).

Melalui studi ini, akan dilakukan simulasi dan analisis tahanan total pada kapal trimaran dengan konfigurasi *inverted bow* pada lambung utama dan *flat side inside* pada *outriggers*, serta variasi jarak antar lambung. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain kapal multihull yang efisien dan ekonomis, khususnya dalam aspek hidrodinamika.

1.2 Teori

1.2.1 Kapal Trimaran

Kapal Trimaran merupakan kapal *multihull* yang mempunyai tiga lambung, dimana lambung pada posisi tengah sebagai lambung utama dan dua lambung di sisinya yaitu *sidehull* atau yang sering disebut *outrigger*, dengan

tambahan lambung di sisinya kapal trimaran tentu memiliki nilai stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan kapal dengan lambung tunggal. Kapal Trimaran dengan desain 3 lambung adalah pengembangan dari bentuk lambung tunggal yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan kapal yang disertai berkurangnya daya yang dibutuhkan dalam pengoperasiannya. Secara umum Kapal Trimaran juga sama dengan kapal yang lain. Hanya saja kapal trimaran memiliki nilai efisiensi dan lebih efektif dibandingkan dengan kapal yang ada. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan mengapa kapal ini lebih efisien dan efektif melihat kelebihan yang dimiliki (A. Gibson, dan I.K.A.P Utama, 2016).

Adapun beberapa kelebihan yang dimiliki Kapal Trimaran yaitu Geladak yang ada pada kapal trimaran lebih lebar dan luas sehingga mempermudah dalam penempatan muatan yang membutuhkan *space* lebih besar. Desain bentuk lambung trimaran cukup berperan penting dalam mengurangi hambatan pada, tentu konsumsi bahan bakar akibat daya mesin jadi lebih efisien. Hal ini bermanfaat bagi kapal patroli yang dirancang tidak untuk nilai ekonomis.

Peningkatan kecepatan dari daya mesin yang rendah akan tercapai disertai konsumsi bahan bakar lebih ekonomis. Kenyamanan dan kestabilan yang dihasilkan dari desain kapal trimaran lebih baik sehingga apabila digunakan sebagai alat transportasi pun sesuai atau bahkan jauh lebih baik.



Gambar 1. Kapal Trimaran

Sumber:

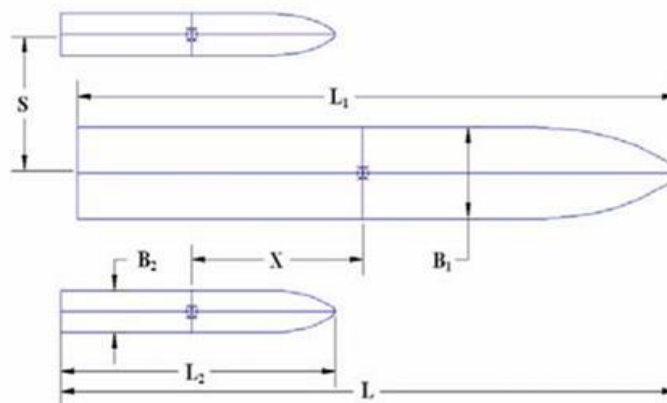
a. Kelebihan

- Meskipun ada kemungkinan kapal trimaran terbalik, hal ini frekuensinya kecil bila dibandingkan dengan kapal *monohull*. Karena mendapatkan sebuah gaya perlawanan yang besar apabila terjadi gerak *rolling* yang diberikan Ama atau katir (*outrigger*) .
- Desain kapal trimaran dianggap hampir tidak dapat tenggelam karena walaupun kapal diisi penuh dengan air. Gaya apung pada salah satu Ama atau katir sudah cukup untuk menahan seluruh gaya apung kapal.

- Kecepatan yang lebih besar dibandingkan dengan kapal *monohull* juga menjadi penting bagi keselamatan saat kondisi cuaca yang buruk atau menjadi lebih buruk karena kapal dapat meninggalkan daerah berbahaya lebih cepat.

b. Kekurangan

- Apabila kapal trimaran terbalik maka akan menjadi lebih sulit untuk mengembalikan legak kembali atau keposisi semula dari pada kapal *monohull*. Terbaliknya trimaran biasanya menyebabkan kerusakan berat pada tiang dan tali-temali.
- Pada waktu kapal trimaran di pelabuhan dimungkinkan kapal mengikuti angin karena kapal yang ringan dan sarat yang dangkal sementara untuk kapal *monohull* biasanya mengikuti arus. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya tubrukan dengan kapal lain yang ada di dekatnya dan bisa terjadi tumpang tindih.
- Kesulitan jalur perairan yang sempit.

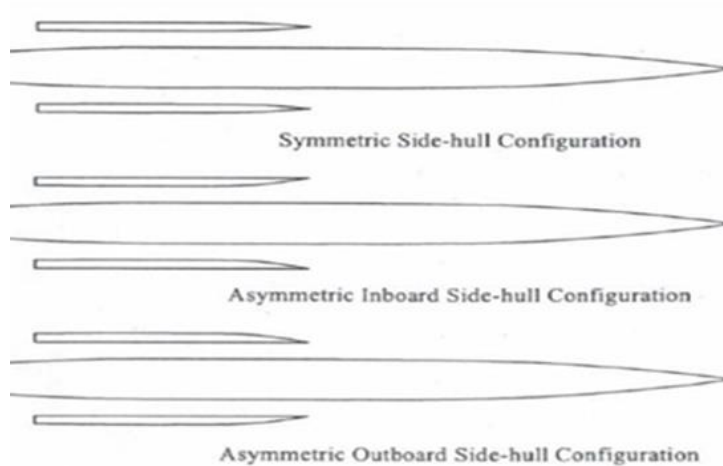


Gambar 2. Konfigurasi untuk kapal trimaran
Sumber : Gibson, (2016)

konfigurasi kapal trimaran terdiri dari L yang dimana mewakili panjang keseluruhan lambung utama (*main hull*) dan B melambangkan lebar total kapal dari sisi terluar *outrigger*. Dimensi spesifik untuk lambung pendukung ditandai dengan L_1 sebagai panjang *outrigger* dan B_1 untuk lebar maksimalnya. Penempatan *outrigger* terhadap lambung utama ditentukan secara longitudinal oleh jarak X , yang diukur dari buritan lambung utama ke buritan *outrigger*, serta secara vertikal/melintang melalui variabel L_2 yang menunjukkan panjang garis air dan B_2 untuk lebar pada garis air. Seluruh pengaturan posisi ini berpusat pada variabel S , yaitu jarak transversal antara sumbu tengah lambung utama dengan sisi dalam *outrigger*, yang menjadi fokus utama dalam mengoptimalkan interaksi gelombang dan meminimalkan tahanan total kapal.

Desain lambung kapal trimaran pada berbagai kapal tidak sama. Trimaran memiliki berbagai macam bentuk. Namun secara umum ada tiga bentuk atau model dari lambung trimaran yaitu sebagai berikut:

- Simetris
- Asimetris *in-board*
- Asimetris *out-board*



Gambar 3. Jenis lambung trimaran

Sumber : Samuel, Semarang 2013

Pemilihan bentuk badan kapal harus didasarkan pada metode yang tepat sehingga hasilnya akan dapat diandalkan. Trimaran dengan geladak yang lebih besar adalah salah satu contoh konsep rancangan yang berhasil dalam mengatasi gerakan oleng yang merupakan kelemahan generic kapal konvensional.

Dalam penelitian ini saya menggunakan Jenis Lambung Kapal Trimaran *Flat Side Inside*. Kapal dengan bentuk lambung *flat side inside* dimana sisi lambung bagian dalam memiliki bidang yang datar atau asimetris di dalam. Kapal trimaran dengan *outrigger* asimetris *flat side inside* dikembangkan dengan menggeser volume displasemen *centerline demihull* guna mengurangi efek dari interferensi yang menjadi hambatan yang merugikan antara *outrigger*. Pada kapal trimaran bagian dalam *outrigger* berupa bidang datar. Pada desain datar dari lambung bagian dalam yang ada di kedua sisi lambung utama dapat membuat tekanan dan kecepatan aliran disekitar kapal berbeda untuk setiap lambung. Pengaruh besar kecil distribusi tekanan dan aliran sekitar kapal yang disebabkan oleh badan kapal maupun gelombang yang bergesekan pada kapal trimaran asimetris

Dengan desain lambung ini, aliran fluida dari haluan kapal terkonsentrasi lurus mengikuti bentuk sisi dalam kapal diantara lambung utama kapal trimaran yang bergerak hingga ke ujung buritan, sedangkan bagian luar lambung, aliran fluida terdistribusi dengan merata mengikuti bentuk lambung kapal hingga ke buritan.

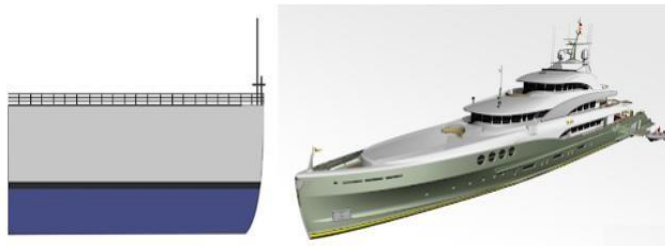
Desain ini cukup efisien bila beroperasi di sungai atau tempat sekitarnya cukup padat penghuni. Lambung trimaran *flat side inside* dapat dilihat pada Gambar 2 (A. Gibson, dan I.K.A.P.Utama, 2016).

1.2.2 Jenis Haluan Kapal

Jenis-jenis haluan kapal atau tipe *bow* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Plumb Bow/Straight Bow*

Tipe haluan kapal yang sejajar secara sempurna dengan lunas. Bentuk ini sederhana dan sering digunakan pada kapal laut. Haluan ini memberikan stabilitas yang cukup serta menjamin pelayaran kapal berjalan semulus mungkin. Bentuk tersebut tampak pada Gambar 4.

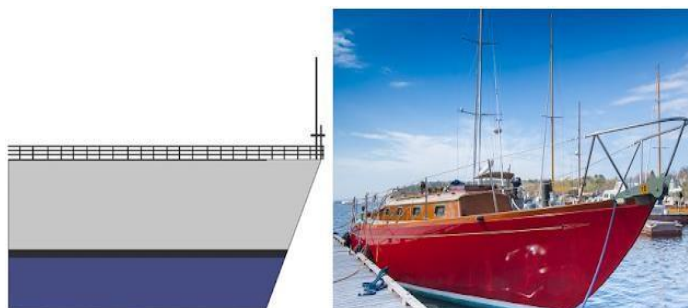


Gambar 4. Haluan kapal *plumb bow/straight bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

2. *Raked Bow*

Merupakan tipe haluan kapal yang memiliki desain panjang dan condong, umum diaplikasikan pada kapal kayu guna meningkatkan kemampuan berlayar. Rancangan ini kerap dijumpai pada kapal penumpang dan kapal mewah dalam rentang waktu tertentu. Ciri utama dari *raked bow* ialah kelengkungan cekung yang meruncing hingga membentuk garis tipis di permukaan air. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 5.

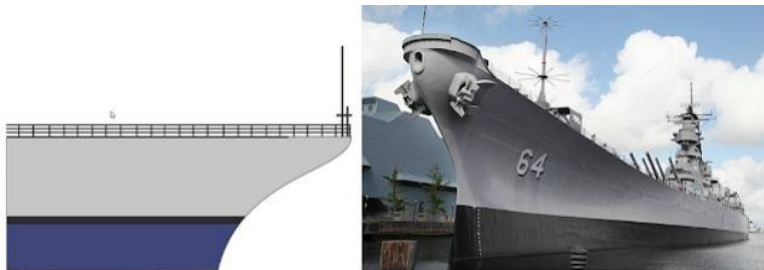


Gambar 5. Haluan kapal *raked bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

3. *Clipper Bow*

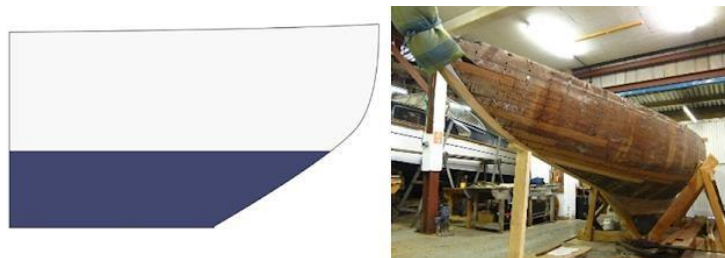
Haluan ini awalnya dirancang secara khusus untuk kapal yang cepat dan ramping. Istilah “*clipper*” berasal dari bentuk haluan kapalnya. Desainnya menampilkan sisi yang tinggi dengan tampilan sangat lurus ke depan dan bentuk yang hampir tajam. Jenis haluan ini sangat cocok digunakan untuk berlayar karena mampu menembus air dengan hambatan yang sangat kecil. *Clipper bow* dibuat untuk kapal sangat cepat yang mampu melaju lebih cepat dan melampaui sebagian besar kapal lainnya. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Haluan kapal *clipper Bow*
 Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

4. *Spoon Bow*

Merupakan tipe haluan kapal yang memiliki desain busur melengkung ke arah geladak. Dinamakan haluan “sendok” karena lekukan pada bagian atasnya membentuk kurva menyerupai sendok. Rancangan *bow* seperti ini dapat menimbulkan *wave making resistance* akibat kelengkungan pada bagian penampangnya. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 7.



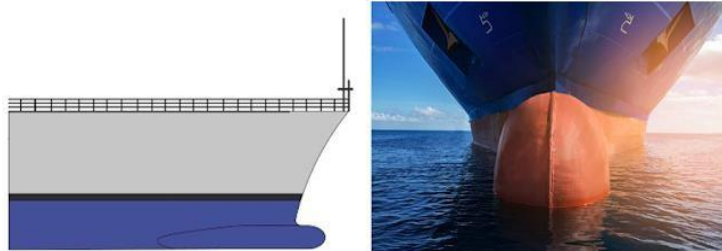
Gambar 7. Haluan kapal *spoon Bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

5. *Bulbous bow*

Merupakan tipe haluan yang paling umum dijumpai pada berbagai jenis kapal karena keunggulannya dalam aspek penggunaan. *Bulbous bow* adalah

bentuk khas lambung kapal jika diamati dari permukaan air, ditandai oleh tonjolan bulat yang lebih dalam ke dalam air dan berkontribusi terhadap efisiensi bahan bakar, peningkatan kecepatan, serta kestabilan kapal. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 8.

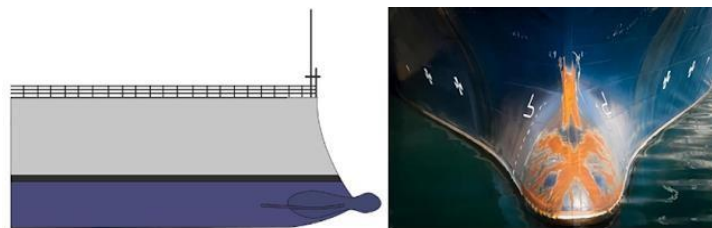


Gambar 8. Haluan kapal *bulbous Bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

6. *Ram Bow*

Jenis haluan kapal yang memiliki bentuk perpanjangan tambahan di bawah permukaan air pada bagian bawah lambung kapal. *Ram bow* merupakan desain yang panjang dan ramping yang memungkinkan kapal membelah air secara efisien, sehingga bentuknya menyerupai anak panah yang mengarah ke depan. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Haluan kapal *ram bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

7. *Axe Bow*

Merupakan tipe haluan kapal yang berbentuk tajam serta meruncing ke arah depan. *Axe bow* umumnya diaplikasikan pada kapal cepat yang mampu membelah jalur melalui apapun yang dilewati. Dinamakan *axe bow* karena bagian depan lambungnya yang panjang, dalam, dan sempit menyerupai bentuk kapak. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Haluan kapal *axe bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

8. *Inverted Bow*

Inverted Bow, yang juga dikenal sebagai *X-Bow*, merujuk pada tipe haluan kapal di mana bagian terpanjang tidak berada di atas, melainkan terletak di bagian bawah lambung kapal. Serupa dengan desain *axe bow*, jenis haluan ini mengurangi gerakan lemparan (naik turun) dan benturan, sehingga memberikan pengalaman pelayaran yang lebih nyaman bagi awak kapal. Bentuk haluan ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 11. Haluan kapal *inverted bow*

Sumber : Ilmu Kapal dan Logistik, 2023

1.2.3 Tahanan Kapal

Hambatan kapal pada suatu kecepatan tertentu merupakan gaya fluida yang bekerja pada kapal dengan cara sedemikian hingga menentang arah gerakannya. Hambatan ini setara dengan komponen gaya fluida yang berarah sejajar terhadap sumbu gerakan kapal. Kata hambatan lebih sering dipakai dalam bidang hidrodinamika kapal, sementara istilah hambatan lebih umum ditemukan pada konteks aerodinamika serta benda-benda yang terendam. (Harvald, 1992).

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 bersentuhan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan kapal yang terendam, inilah yang disebut tahanan gesek. Tahanan gesek menjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan

media yang dilaluinya. Oleh semua fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Viskositas yang merupakan 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:

1) Angka Reynolds (*Reinold's number*, Rn)

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya Viskositas yang mengkualifikasikan hubungan gaya tersebut dengan suatu kondisi laminar dan turbulent. Rumus bilangan Reynolds pada Persamaan 1 sebagai berikut:

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

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)
L : Panjang (m)
 ν : Viskositas air (cP)

2) Koefisien gesek (*friction coeficient*, CF), pada Persamaan 2:

$$Cf = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^4} \quad (2)$$

3) 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 utama kapal yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstructure*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan serta luasbentuk

bangunan atas kapal. 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 dibawa air menimbulkan tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut.

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk kolerasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekerasan permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal ini tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi. (Arwini, 2018).

c. Tahanan total (*Total Resistance*)

Tahanan ini terdiri dari beberapa komponen tahanan, komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan pada Persamaan 4

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

Dimana:

- R_T = Tahanan Total (N)
- ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m³)
- C_T = Koefisien tahanan total
- S = Luas bidang basah (m²)
- V = Kecepatan (m/s)

Angka Froude dapat menjadi tolak ukur dalam menentukan jenis kapal apakah dalam kategori kapal cepat atau kapal non-cepat yang tentunya pemilihan koefisien bentuk kapal dalam rancangan (Risqi, 2013). Berikut pergolongan F_n :

- a. Kapal Lambat : $F_n < 0,20$
- b. Kapal Sedang: $0,20 < F_n < 0,35$
- c. Kapal Cepat : $F_n > 0,35$

Rumus Froude number dapat dilihat pada persamaan 5:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (5)$$

Dimana:

- F_n = *Froude number*
- V = Kecepatan kapal (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- L = Panjang kapal (m)

1.2.4 Software Ansys

ANSYS merupakan salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) dan metode elemen hingga volume (*Finite Volume Method/FVM*) yang banyak digunakan dalam bidang teknik untuk melakukan simulasi numerik terhadap fenomena fisika kompleks, termasuk mekanika fluida, perpindahan panas, serta analisis struktural dan dinamika. Dalam studi ini, ANSYS digunakan untuk melakukan simulasi hidrodinamika guna menganalisis tahanan kapal trimaran dengan konfigurasi lambung yang divariasikan.

Secara umum, ANSYS memiliki beberapa modul atau aplikasi yang terintegrasi, salah satunya adalah ANSYS Fluent, yang merupakan solver berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD). ANSYS Fluent digunakan untuk memecahkan permasalahan aliran fluida dan interaksinya dengan permukaan padat, seperti aliran air di sekitar badan kapal. Dengan kemampuan pemodelan geometri, pemrosesan *mesh*, serta simulasi dan pascaproses yang lengkap, ANSYS menjadi alat yang efisien dan akurat dalam studi karakteristik hidrodinamika kapal.

Dalam konteks studi tahanan kapal, penggunaan ANSYS memungkinkan pengguna untuk memodelkan bentuk lambung kapal trimaran secara 3D, kemudian dilakukan proses *mesh generation* pada domain fluida di sekitar kapal. Setelah itu, simulasi dilakukan dengan kondisi batas tertentu untuk mengetahui distribusi tekanan dan kecepatan aliran di sekitar lambung, yang kemudian digunakan untuk menghitung gaya tahanan total yang bekerja pada kapal.

Keunggulan utama dari ANSYS dalam analisis ini antara lain:

- Kemampuan visualisasi hasil simulasi yang tinggi, seperti kontur tekanan, garis arus, dan distribusi kecepatan aliran.
- Akurasi dalam menghitung gaya tahanan berdasarkan interaksi fluida dan permukaan badan kapal.
- Fleksibilitas dalam memvariasikan bentuk geometri, seperti variasi jarak antar lambung pada kapal trimaran, yang menjadi fokus utama studi ini.

Dengan demikian, ANSYS menjadi perangkat lunak yang sangat sesuai untuk digunakan dalam analisis tahanan kapal, karena dapat memberikan data kuantitatif dan visual yang mendukung evaluasi performa hidrodinamika kapal berdasarkan bentuk dan konfigurasi lambung.

1.2.4.1 Ansys Fluent

ANSYS Fluent merupakan modul dalam paket perangkat lunak ANSYS yang secara khusus digunakan untuk simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Setelah proses pemodelan dan pengaturan domain simulasi dilakukan pada tahap

awal di ANSYS *Workbench* dan *SpaceClaim*, ANSYS Fluent berperan sebagai solver utama dalam menghitung fenomena aliran fluida di sekitar badan kapal. Dalam studi ini, ANSYS Fluent digunakan untuk mensimulasikan aliran air di sekitar kapal trimaran dengan berbagai variasi jarak antar lambung, guna memperoleh data gaya tahanan total.

Fluent bekerja dengan menyelesaikan persamaan konservasi massa dan momentum untuk aliran fluida tidak termampatkan (*incompressible flow*), yang merupakan representasi dari kondisi aliran air laut pada kecepatan rendah hingga sedang. Selain itu, simulasi juga melibatkan pemilihan model turbulensi, penentuan kondisi batas, dan penyesuaian parameter fisik yang relevan.

Adapun beberapa komponen penting dari penggunaan ANSYS Fluent dalam penelitian ini adalah:

- **Model Turbulensi**
Model turbulensi yang digunakan adalah $k-\epsilon$ *realizable* atau $k-\omega$ SST, tergantung karakteristik aliran dan geometri kapal. Model ini memungkinkan Fluent menangkap efek-efek turbulen yang mempengaruhi tahanan total, khususnya pada daerah *boundary layer* dan *wake*.
- **Kondisi Batas (*Boundary Conditions*)**
Aliran masuk (*inlet*) diberi nilai kecepatan sesuai skenario studi, sedangkan permukaan kapal dikenakan kondisi dinding (*no-slip wall*). Outlet menggunakan *pressure-outlet* dengan tekanan tetap, dan domain fluida dibatasi oleh simetri atau dinding bebas tergantung konfigurasi simulasi.
- **Metode Solusi dan Konvergensi**
Fluent menyelesaikan sistem persamaan diferensial secara iteratif. Simulasi dinyatakan konvergen jika perubahan residual dari setiap variabel turun di bawah batas tertentu, serta gaya tahanan menunjukkan kestabilan nilai terhadap waktu atau iterasi.
- **Pengolahan Hasil (*Post-Processing*)**
Hasil simulasi berupa data tahanan kapal diekstrak dari gaya total pada permukaan kapal. Selain itu, Fluent menyediakan visualisasi kontur tekanan, vektor kecepatan, dan distribusi aliran untuk membantu memahami perilaku hidrodinamika dari masing-masing variasi desain.

Melalui ANSYS Fluent, studi ini dapat menganalisis pengaruh jarak lambung terhadap distribusi tekanan dan pola aliran di sekitar kapal trimaran. Pendekatan ini menghasilkan data numerik yang mendalam, yang sangat berguna dalam mengevaluasi efisiensi desain lambung tanpa perlu melakukan pengujian model fisik secara langsung.

1.2.5 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 6.

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

Dimana :

λ = skala perbandingan

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

B_s = lebar kapal (m)

B_m = lebar model (m)

T_s = sarat kapal (m)

T_m = sarat model (m)

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

TOOD :

$L_m < T$ tangki

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

HARVALD:

$B_m < 1/10 B$ tangki

$T_m < 1/10 T$ tangki

UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

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

$B_m < 1/15 B$ tangki

$A_o m < 0,4 A_o$ 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 7 dan 8.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g.L}} \quad (7)$$

Atau :

$$\frac{Vm}{\sqrt{g.Lm}} = \frac{Vs}{\sqrt{g.Ls}} \quad (8)$$

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 9 dan 10.

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

Atau :

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

Dimana :

Rn = angka reynold

Ls = panjang kapal (m)

Lm = panjang model (m)

Vs = kecepatan kapal (m/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/dt²)

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

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh lambung trimaran dengan konfigurasi *Outrigger* asimetris *flat side inside* dan lambung utama berbentuk *inverted bow* terhadap nilai tahanan total kapal?
2. Bagaimana variasi jarak antar lambung mempengaruhi nilai tahanan kapal berdasarkan simulasi Ansys?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fokus utama penelitian adalah pada analisis kapal trimaran yang menggunakan konfigurasi lambung asimetris dengan sisi datar di bagian dalam (*Flat side inside*) serta bentuk haluan *inverted bow*
2. Variasi jarak antar lambung (*hull spacing*) yang dikaji dibatasi pada rentang nilai yang sesuai dan relevan untuk desain kapal trimaran
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Ansys
4. Penelitian ini tidak menelaah aspek struktur kapal maupun pemilihan material yang digunakan dalam konstruksi kapal
5. Simulasi difokuskan pada kondisi operasional kapal pada kecepatan tertentu

1.5 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh penggunaan desain lambung trimaran dengan konfigurasi *outriggers* asimetris *flat side inside* dan lambung utama berbentuk *inverted bow* terhadap nilai tahanan total kapal.
2. Menentukan konfigurasi jarak antar lambung yang menghasilkan performa hidrodinamika paling efisien berdasarkan nilai tahanan.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan pertimbangan teknis bagi perancang kapal dalam perencanaan desain lambung Trimaran yang lebih efisien secara hidrodinamika.
2. Sebagai referensi dan landasan awal bagi penelitian lanjutan dalam pengembangan serta optimasi desain kapal Trimaran di masa mendatang

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. penelitian ini berlangsung mulai dari bulan juni 2025 sampai Maret 2026

2.2 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini berbasis kuantitatif simulasi numerik menggunakan *software* ANSYS, dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan pada kapal trimaran dengan variasi jarak lambung asimetris *flat side Inside* dan *inverted bow*

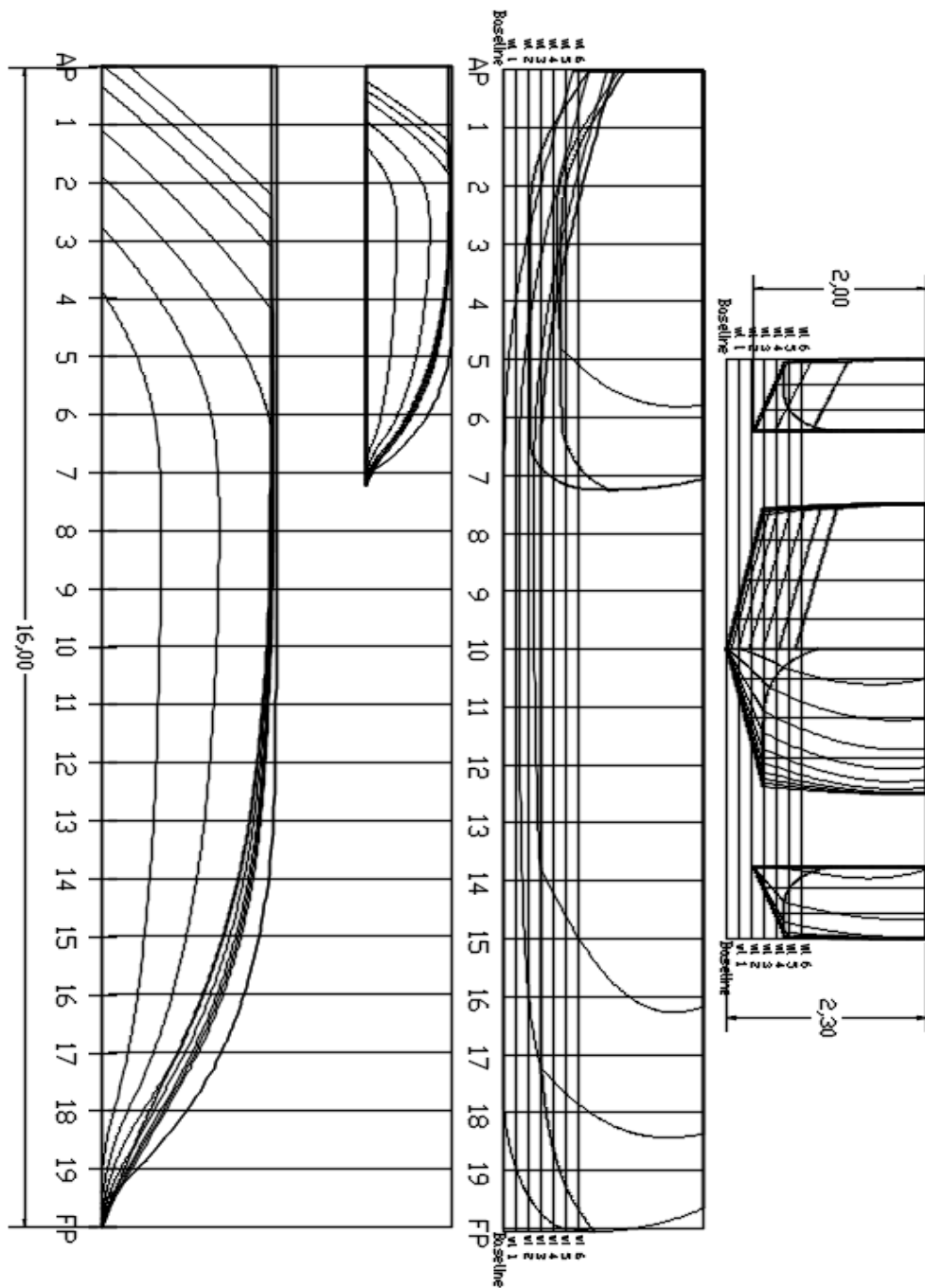
2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data dalam penilaian ini yaitu Data sekunder atau tidak langsung, merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini. Setelah data sekunder kapal terkumpul, kemudian data akan diverifikasi untuk persiapan pemodelan kapal. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal trimaran. Data sekunder dalam penelitian ini Adalah :

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Ukuran Utama	Main Hull	Side Hull	Satuan
1	<i>Length Over All (LOA)</i>	16	5,78	m
2	<i>Length Water Line (LWL)</i>	15,97	5,45	m
3	<i>Breadth (B)</i>	4	1	m
4	<i>Depth (H)</i>	2,3	2	m
5	<i>Draught (T)</i>	0,87	0,57	m
7	<i>Tunnel Width</i>	1	1	m

Sumber: Hasil metode

A. Rencana Garis (*Lines Plan*)**Gambar 12.** *Lines Plan*

Sumber : Hasil metode

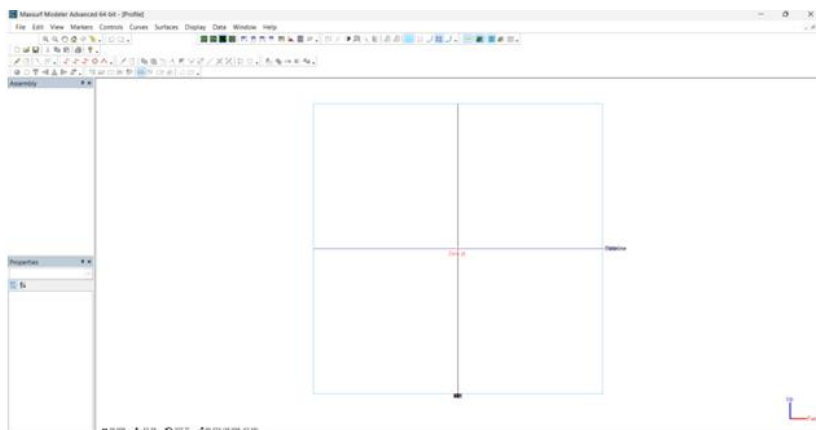
2.4 Metode Pengolahan Data

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 penilitan yang dibuat, yaitu menghitung tahanan yang dihasilkan oleh model kapal. Adapun teknik pengolahan data yang digunakan sebagai berikut:

2.4.1 Pemodelan Kapal Trimaran

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

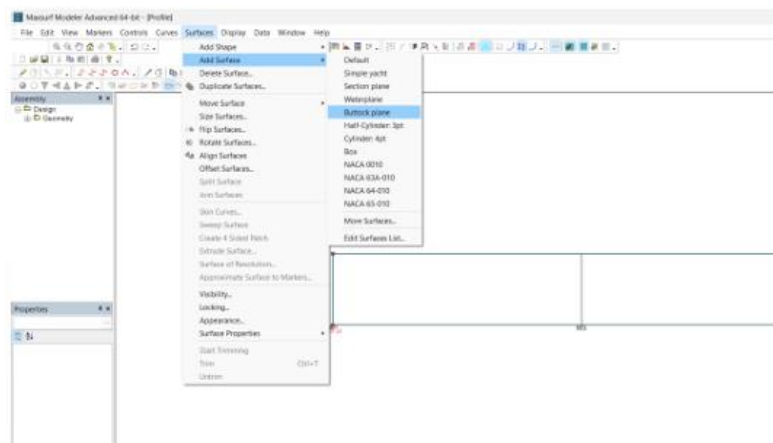
1. Membuka program Maxsurf Modeller, lalu pilih profile atau tampak samping yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan *profile*

Sumber: Hasil metode

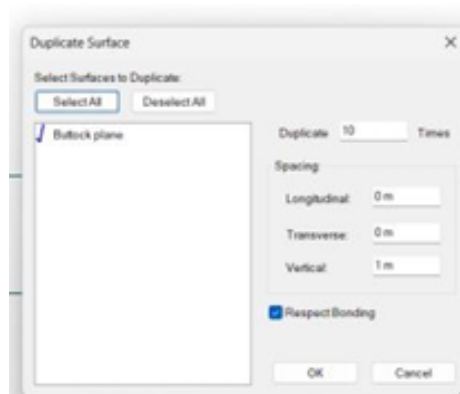
2. Pilih menu Surface lalu *Add Surface* dan pilih *Buttock Plane*. Selanjutnya, masukkan ukuran panjang kapal *Length Over All* (LOA) di tampilan *Long Pos* yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan *add surface*

Sumber: Hasil metode

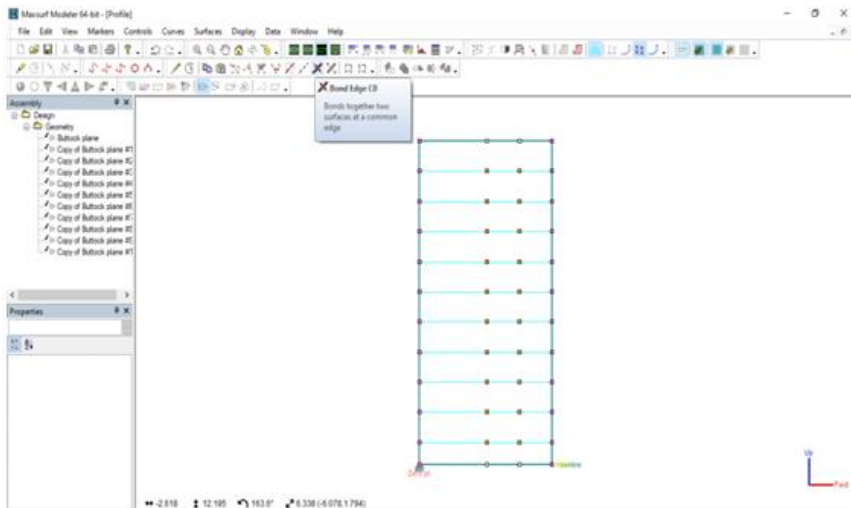
3. Selanjutnya tambahkan Add Control Point. Setelah itu, pilih menu *Surface* lalu *Duplicate Surface* sebanyak 10 karena yang di desain adalah kapal Trimaran maka harus diperbanyak *Surface* yang dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan *duplicate surface*

Sumber: Hasil metode

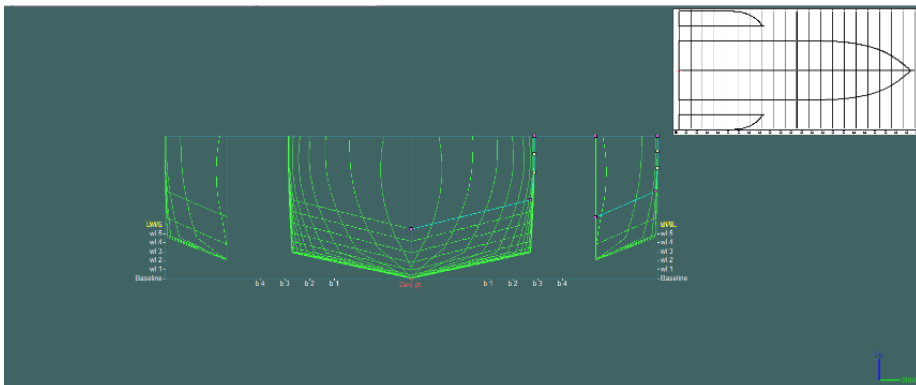
4. Setelah sudah di *Duplicate Surface* kemudian disambungkan masing-masing Surface dengan memblok surfacenya lalu pilih menu *Bond Edge* yang dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Tampilan setelah di *bond edge* setiap surface

Sumber: Hasil metode

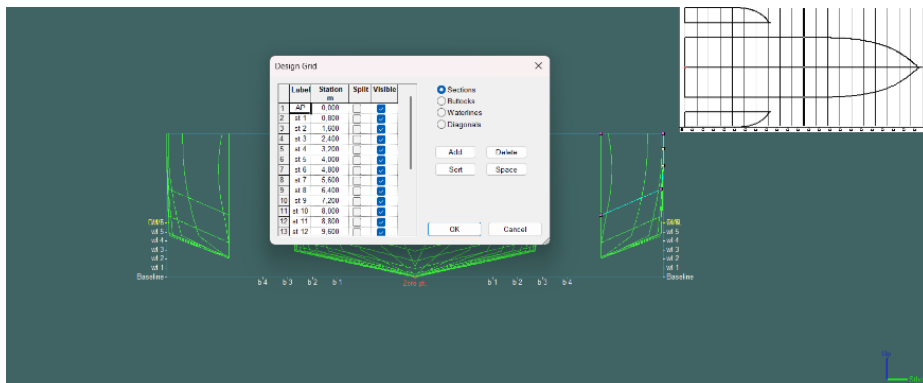
5. Selanjutnya masuk di tampak *body plan*, lalu *Surface* tersebut kita buka satu persatu. Selanjutnya kita sesuaikan bentuk lambung pada kapal trimaran yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Pembuatan model lambung

Sumber: Hasil metode

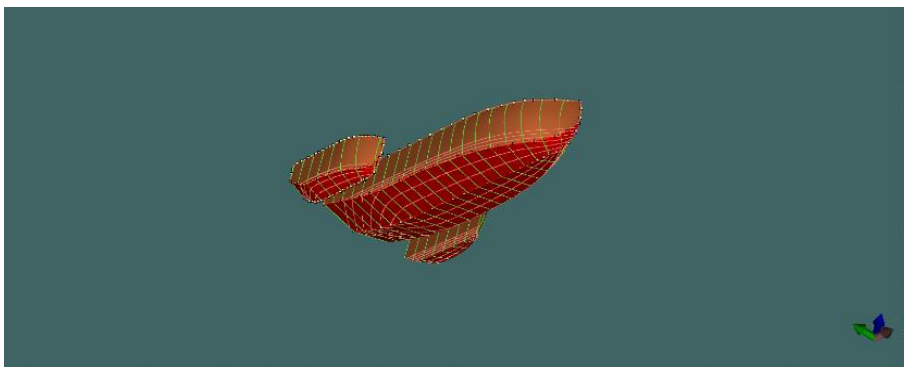
6. Setelah bentuk lambung atau *body plan* nya sudah jadi. Pilih menu data lalu *Design Grid*, tambahkan jumlah *Sections*, *Buttock*, dan *Waterlines* yang dapat dilihat Gambar 18.



Gambar 18. Tampilan data *Design Grid* untuk *section*, *buttock*, *waterplane*

Sumber: Hasil metode

7. Jadilah model 3D kapal Trimaran sesuai dengan *lines plan* kapal tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Tampilan Model Kapal Trimaran

Sumber: Hasil metode

2.4.2 Variasi Jarak Antar Lambung Model Kapal Trimaran

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.

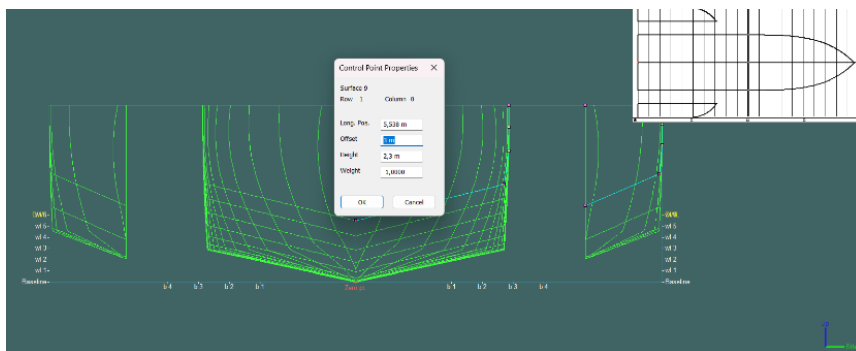
Tabel 2. Variasi Jarak Antar Lambung

No	Variasi	Jarak lambung (m)	Jarak Lambung Setelah Menggunakan Skala 1:35 (m)
1	Jarak Awal Lambung Kapal	1	0.029
2	Variasi Jarak Lambung 1	1.4	0.040
3	Variasi Jarak Lambung 2	1.8	0.051
4	Variasi Jarak Lambung 3	2.2	0.063
5	Variasi Jarak Lambung 4	2.6	0.074

Sumber: Hasil metode

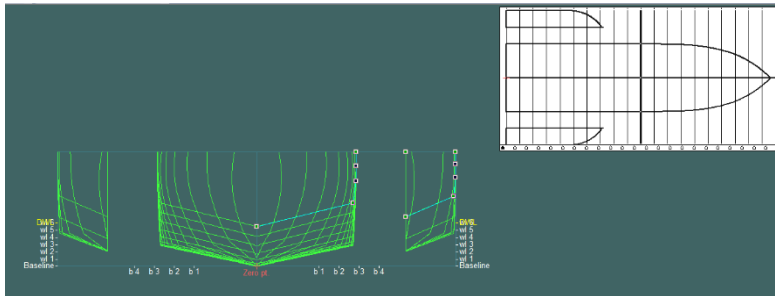
Adapun Langkah-langkah dalam memberikan variasi jarak lambung menggunakan program Maxsurf Modeller yaitu sebagai berikut :

1. Setelah model kapal Trimaran 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 20.

**Gambar 20.** Tampilan menu perubahan jarak

Sumber: Hasil metode

2. Model akan mengalami perubahan penambahan jarak antara lambung dapat dilihat pada Gambar 21

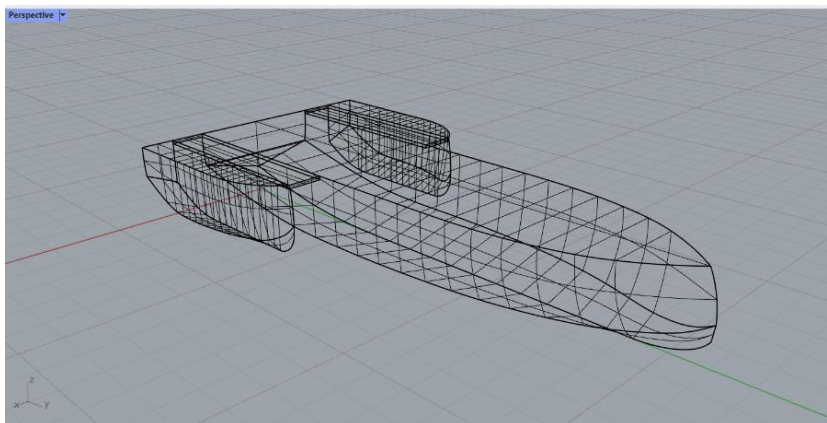


Gambar 21. Tampilan *Body Plan* Kapal setelah perubahan jarak
Sumber: Hasil metode

2.4.3 Pemodelan Ulang Menggunakan Rhinoceros 7

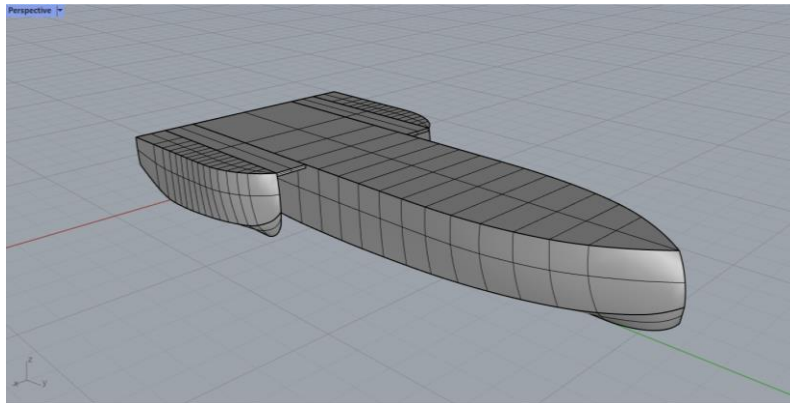
Kemudian gambar yang diperoleh akan diubah jenis dan modelnya dibuat dalam bentuk solid dengan menggunakan Rhinoceros 7, tujuannya adalah agar model kapal menjadi solid dan dapat disimulasikan menggunakan Autodesk CFD. Berikut langkah-langkah untuk membuat model kapal menjadi solid :

1. Buka Software Rhinoceros 7 dan *import file* model kapal yang telah dibuat pada Maxsurf Modeller dapat dilihat pada Gambar 22.



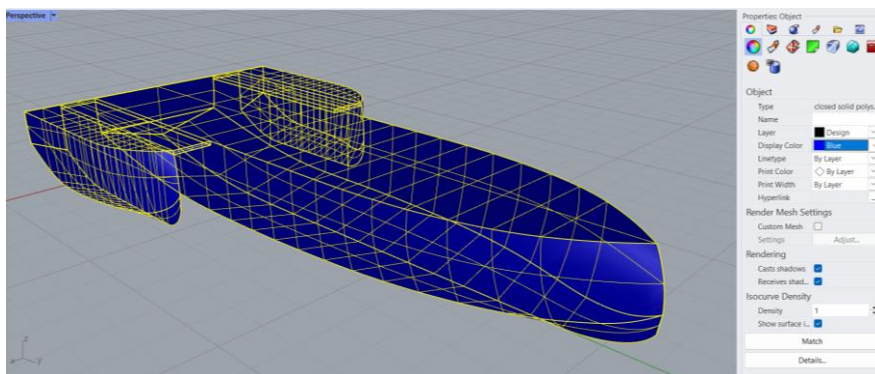
Gambar 22. *Import file* Maxsurf ke Rhinoceros 7
Sumber: Hasil metode

- Setelah itu dilakukan penggambaran ulang menggunakan *tool Surface* agar semua sisi kapal tertutup dan dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Penggambaran ulang model kapal pada Rhinoceros 7
Sumber : Hasil metode

- 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 24



Gambar 24. Hasil model *close solid*
Sumber: Hasil metode

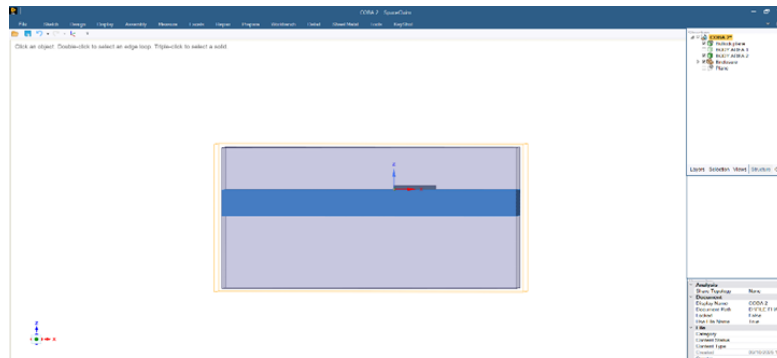
Selanjutnya model yang telah solid di *export* dalam format rhino 3-D model (.3dm) kemudian dilakukan simulasi pada Software Autodesk CFD.

2.4.4 Simulasi Model Kapal Menggunakan Ansys Fluent

Simulasi numerik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *software* Ansys Fluent 2022. Simulasi ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Geometry

Tahap Geometry adalah tahap pemodelan, yaitu penentuan model yang akan di analisa, diantaranya satuan ukuran yang akan digunakan, menghubungkan ujung model yang kurang dari toleransi yang ditentukan (*merge edge*), menghapus objek kecil baik pada permukaan (*surface*) maupun ujung permukaan (*edge*) yang biasanya sangat sulit terlihat. Pada proses ini tidak dilakukan pemodelan *Boundary Layer* dikarenakan sebelumnya telah dilakukan pada *software* Rhinoceros 7. Adapun visualisasi tahap geometry pada tahap ini sebagai berikut.



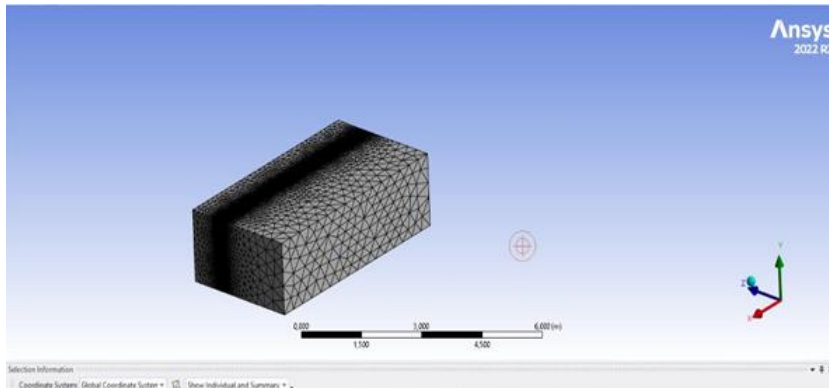
Gambar 25. Visual tahap *geometry* model kapal dan *boundary layer*

Sumber : Hasil metode

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 ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 26. Visualisasi Tahap *Mesh*

Sumber : Hasil metode

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*

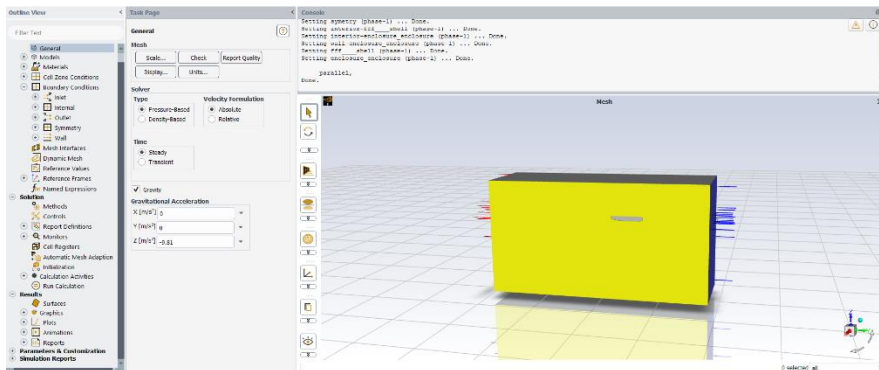
Percobaan ini dilakukan menggunakan 2 jenis fluida yaitu air (*Water*) dan udara (*Air*) maka percobaan ini dilakukan dengan multiphase model : *Volume of Fluid* (VOF). Agar interaksi antara air dan udara dapat terjadi maka VOF dilakukan dengan mengaktifkan *Open Channel Flow*. Jenis aliran fluida yang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

- *Materials*

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*

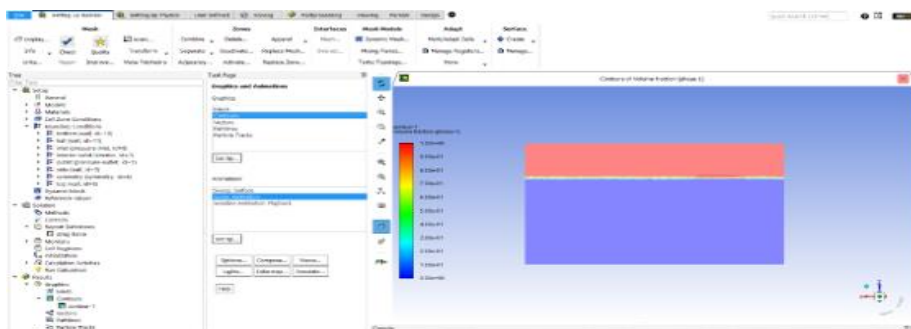
Selanjutnya *Boundary Condition* untuk mendefinisikan bagian dinding *inlet* sebagai *Pressure inlet* dengan kecepatan sesuai dengan kecepatan kapal, dinding *Outlet* sebagai *Pressure Outlet*, sedangkan bagian dinding dalam, *top*, dan *bottom* dianggap *Symmetry*, artinya aliran fluida dibiarkan mengalir 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 27.



Gambar 27. Visualisasi tahap *setup*
Sumber : Hasil metode

4. Solution

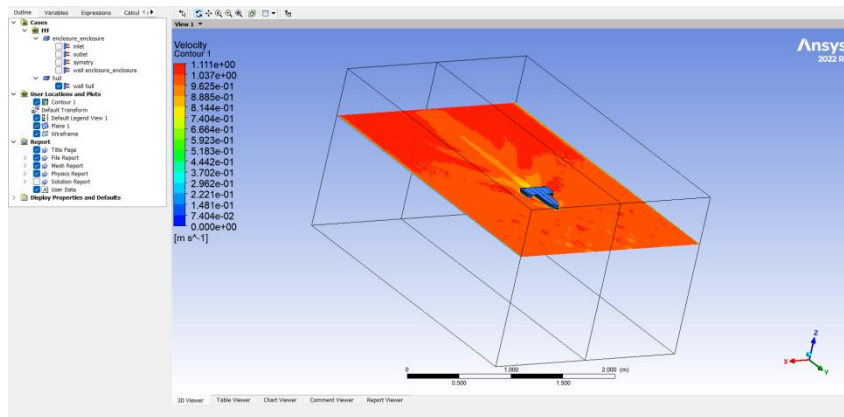
Tahap *Solution* merupakan tahap menjalankan simulasi numerik. Sebelum melakukan simulasi maka perlu dilakukan *Report definition* berupa *Drag Force* dan *Drag Coefficient* pada lambung kapal agar simulasi dapat menampilkan hasil perhitungan hambatan kapal. *Solution method* yang digunakan yaitu *Time Steady State*. Berikut merupakan visualisasi tahap yang ditunjukkan pada Gambar 28.



Gambar 28. Visualisasi tahap *calculate*
Sumber : Hasil metode

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 29.



Gambar 29. Visualisasi tahap *result*

Sumber : Hasil metode

2.4.5 Verifikasi Hasil

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 elemen pada tahap *meshing* dan tahap simulasi yang telah dikerjakan sebelumnya. Sedangkan jika hasil simulasi telah konvergen maka dilanjutkan ke tahap analisis Hasil.

2.4.6 Analisis Hasil

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 tahananannya dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan tahanan total. Analisis data koefisien tahanan dilakukan dengan mempertimbangkan kurva koefisien tahanan.

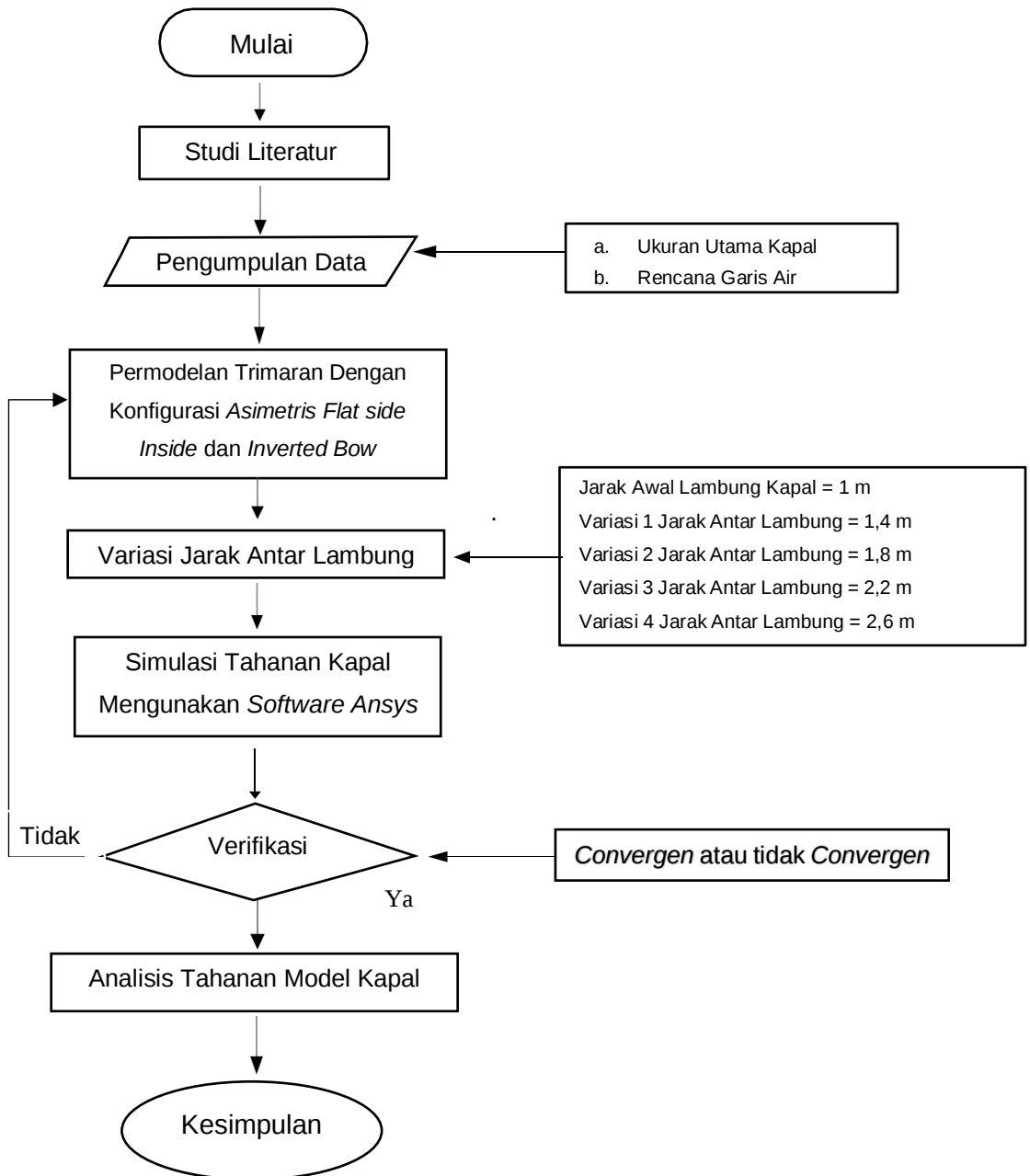
3. Visualisasi karakteristik aliran fluida seperti *volume fraction* yaitu interaksi antara fluida air dan udara, *velocity* yaitu kecepatan fluida yang mengalir disekitar lambung kapal, tekanan (*pressure*) dan arah aliran fluida (*vector*).

2.4.7 Penarikan Kesimpulan

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

2.5 Diagram Alur Penelitian

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah diagram alur penelitian penelitian sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 30.



Gambar 30. Diagram alur penelitian
Sumber : Hasil Metode