

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkapalan merupakan salah satu sektor penting dalam transportasi dan perdagangan global. Kapal digunakan untuk mengangkut berbagai jenis muatan, mulai dari barang-barang konsumsi hingga bahan bakar dan bahan mentah. Dalam konteks Indonesia, yang merupakan negara kepulauan, perkapalan memainkan peran vital dalam menghubungkan berbagai pulau dan mendukung perekonomian nasional. (Redo Santoso, 2019).

Kapal katamaran adalah jenis kapal dengan dua lambung yang terhubung oleh sebuah dek. Desain ini memberikan beberapa keunggulan dibandingkan kapal *monohull*, seperti stabilitas yang lebih baik, hambatan yang lebih rendah, dan area dek yang lebih luas. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang optimasi desain kapal katamaran telah berkembang pesat, terutama dalam hal mengurangi hambatan dan meningkatkan efisiensi. (Tambunan, M. R. 2017)

Variasi jarak lambung pada kapal katamaran, khususnya yang menggunakan desain asimetri *flat side inside*, menjadi fokus penting dalam studi ini. Desain asimetri memungkinkan distribusi beban yang berbeda di antara lambung, yang dapat mempengaruhi daya tahan dan stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasi. *Flat side*, di sisi lain, dapat meningkatkan performa hidrodinamik dan mengurangi resistensi saat berlayar. (Tambunan, M. R. 2017)

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

Penggunaan ANSYS Fluent sebagai alat simulasi dalam penelitian ini sangat penting, karena perangkat lunak ini memungkinkan analisis dinamis fluida yang kompleks. Dengan ANSYS Fluent, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tahanan kapal katamaran pada berbagai konfigurasi jarak lambung, serta untuk memahami dampak desain lambung terhadap aliran air di sekitar kapal. Simulasi yang akurat dapat memberikan wawasan yang berguna bagi desainer dalam merumuskan desain yang optimal. (Larsson, L., & Raven, H. C. 2010)

Berdasarkan uraian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap kapal katamaran dengan variasi jarak lambung *asimetri flat side inside*. Variasi jarak lambung tersebut diharapkan dapat mengetahui desain yang paling optimal untuk mengurangi tahanan saat kapal bergerak di air.

Sehingga peneliti mengangkat judul “STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN VARIASI JARAK LAMBUNG FLAT SIDE INSIDE MENGGUNAKAN ANSYS”.

1.2 Teori

1.2.1 Kapal Katamaran

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

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

Adapun kelebihan dari kapal katamaran:

- a) Pada kapal dengan lebar yang sama tahanan gesek katamaran lebih kecil, sehingga pada tenaga dorong yang sama kecepatannya relatif lebih besar.
- b) Luas geladak dari katamaran lebih luas.
- c) Volume tercelup air dan luas permukaan basah lebih kecil.
- d) Stabilitas yang baik karena memiliki dua lambung.
- e) Dengan frekuensi gelombang yang tinggi, amplitudo relatif kecil sehingga tingkat kenyamanan lebih tinggi.
- f) Karena memiliki tahanan yang kecil maka biaya operasional menjadi kecil.
- g) Kekhawatiran penumpang pada faktor kapal terbalik menjadi lebih kecil, sehingga penumpang merasa lebih aman.

Sedangkan kekurangan kapal katamaran adalah:

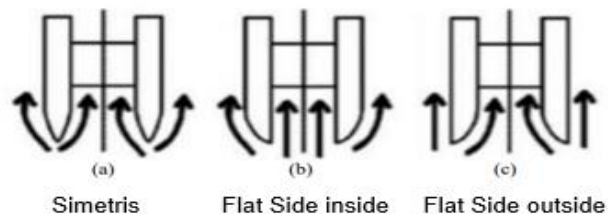
- a) Teknik pembuatan yang lebih rumit sehingga membutuhkan keterampilan khusus.

- b) Dengan memiliki dua lambung maka manuver katamaran kurang baik jika dibandingkan dengan *monohull*.

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

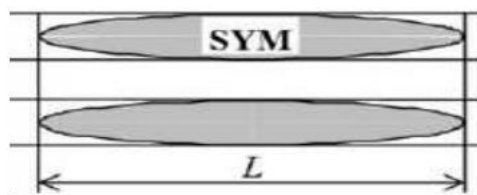
- Simetris
- Asimetris dengan bagian dalam lurus
- Asimetris dengan bagian luar lurus

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



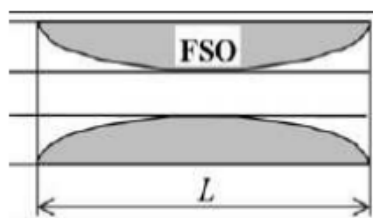
Gambar 1. Bentuk lambung katamaran

Sumber : Insel dan Molland, 1991



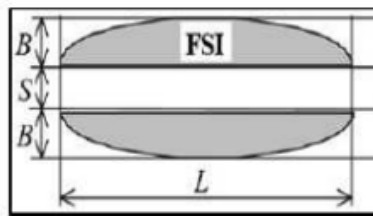
Gambar 2. Lambung katamaran simetri

Sumber : Arianto, 2010



Gambar 3. Lambung katamaran *Flat side outside*

Sumber : Arianto, 2010



Gambar 4. Lambung katamaran *Flat side inside*
Sumber : Arianto, 2010

Menurut Insel & Molland, 1990, kapal katamaran memberikan kebebasan pada aspek desain bentuk lambung kapal dan dimensi dari demihull untuk meningkatkan stabilitas *transversal*. Aspek desain yang fleksibel ini membuat katamaran dapat didesain relatif asimetris terhadap centerplan. Secara umum terdapat tiga macam bentuk dasar dari lambung katamaran yang dapat diadopsi, yaitu:

A. Katamaran Simetris

Katamaran simetris merupakan desain bentuk lambung katamaran yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional. Tidak adanya batasan dari 7 stabilitas membuat demihull katamaran dapat didesain dengan range yang besar dari L/B , B/T , C_b , C_{wp} dari monohull seperti bentuk lambung revolusioner SWATH.

B. Katamaran Asimetris

Katamaran Asimetris merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser volume *displacement* asimetris di dalam atau di luar centerline demihull untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antara demihull. Pada bentuk ini, bentuk lambung kapal di sisi dalam yaitu diantara lambung-lambungannya, tidaklah sepenuhnya asimetris karena tidak sepenuhnya datar. Secara umum, bentuk lambung bagian dalam dilakukan optimisasi untuk mendapatkan interferensi yang menguntungkan.

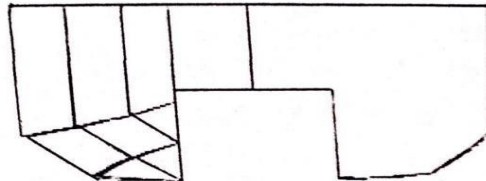
C. Katamaran Asimetris Penuh

Katamaran asimetris penuh merupakan bentuk lambung yang diperoleh dengan menggeser semua volume displacemen dari simetris *hull* ke salah satu sisi centerline seperti membagi monohull menjadi dua bagian *centerline*. Bentuk ini juga disebut separuh monohull atau lambung sobek.

Katamaran asimetris dan katamaran asimetris penuh dapat digunakan untuk meminimalkan pembentuka gelombang dan percikan di dalam terowongan (daerah antara lambung). Menurut Prof. Jacob van Renen van Niekerk (2002), berdasarkan performance kapal katamaran asimetris, kapal katamaran asimetris dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Katamaran Asimetri Tipe C

Kapal katamaran tipe C adalah kapal katamaran asimetris berbentuk sponsons dan memiliki deadrise yang rendah. Performance katamaran tipe C ini tergantung pada besar kecilnya deadrise pada bagian bottom. Sama halnya dengan katamaran tipe lain kapal tipe C ini jenis kapal katamaran berkecepatan tinggi.

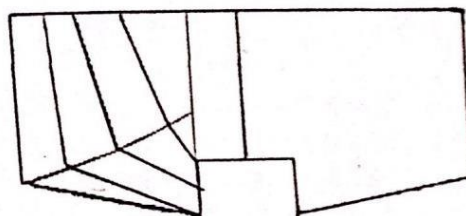


Gambar 5. Katamaran Asimetri tipe C

Sumber : Niekerk, 2000

2. Katamaran Asimetri Tipe D

Kapal katamaran tipe D ini dikatakan sebagai *split monohull* dikarenakan pada katamaran ini terowongannya sempit dengan sudut *bow* yang tajam. Kapal katamaran tipe ini mempunyai kelemahan karakteristik dari katamaran dan monohull. Stabilitasnya lebih baik daripada *monohull* namun lebih jelek bila dibandingkan dengan katamaran tipe yang lainnya. Keuntungan katamaran jenis ini adalah dalam proses pembangunannya lebih mudah dan ekonomis bila dibandingkan dengan katamaran tipe lainnya.

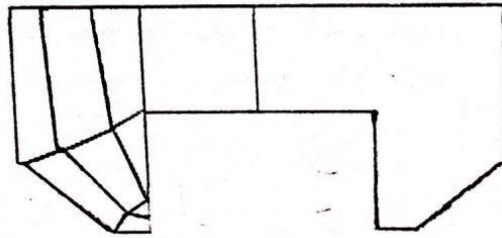


Gambar 6. Katamaran Asimetri tipe D

Sumber : Niekerk, 2000

3. Katamaran Asimetri Tipe E

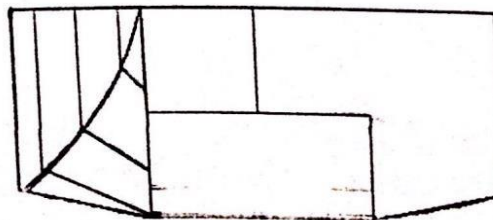
Kapal katamaran jenis ini memiliki kerampingan yang tinggi dan memiliki ketinggian terowongan yang cukup tinggi. Desain kapal katamaran tipe ini dapat mengurangi hambatan gelombang. Karena sangat ramping, katamaran tipe ini memiliki beberapa kelemahan yaitu stabilitas yang dimiliki kapal tipe ini kurang bagus serta tidak dapat digunakan di daerah perairan yang memiliki gelombang besar.



Gambar 7. Katamaran Asimetri tipe E
Sumber : Niekerk, 2000

4. Katamaran Asimetri Tipe H

Tipe katamaran jenis ini mempunyai nama HySuCat. Selain itu, kapal katamaran tipe ini memiliki dasar deadrise yang tinggi dan ketinggian Gambar II. 2 Katamaran asimetris Tipe D (Niekerk, 2000) Gambar II. 3 Katamaran asimetris Tipe E (Niekerk, 2000) 9 terowongannya menengah. Kapal kataman ini memiliki nilai kecepatan yang bagus dan gelombang yang ditimbulkan sangat kecil. Namun diantara kelebihan tersebut kapal katamaran ini memiliki kelemahan pad saat *docking* atau bersandar karena pada bagian sisi lambung terdapat *foil*.



Gambar 8. Katamaran Asimetri tipe H
Sumber : Niekerk, 2000

1.2.2 Tahanan Kapal

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

gaya hambat akibat kapal yang bergerak dengan sebuah kecepatan pada kondisi perairan tenang dan mengabaikan *aerodynamic resistance* (Molland dkk, 2017).

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

1. Komponen Tahanan

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

a. Tahanan Gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan Viskos (R_v) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

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

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

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

Dimana :

V : Kecepatan (m/s)

Lwl : Panjang Kapal (m)

ν : Viskositas air (cP)

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

Rumus koefisien gesek dapat dilihat pada persamaan 2.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^{1.5}} \quad (2)$$

b. Tahanan Sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari ;

1) Tahanan Gelombang (*Wave Resistance*)

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

2) Tahanan Udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai tahanan yang dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada di atas air dan bangunan atas (*Superstructure*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

3) Tahanan Bentuk (*Form Resistance*)

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

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

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

2. Tahanan total (*Total Resistance*)

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

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

Dimana :

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

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

$$C_T = C_R + C_F + C_A \quad (4)$$

Dimana,

C_T = koefisien tahanan total

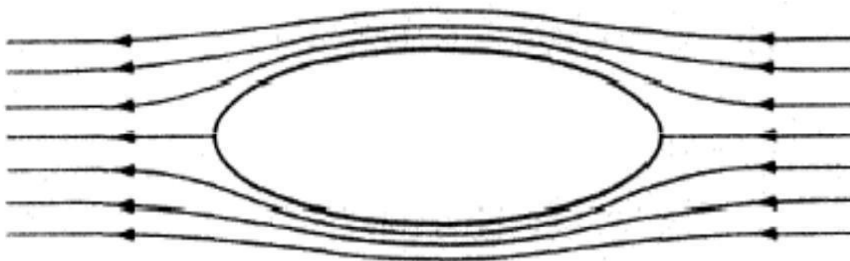
C_R = koefisien tahanan sisa

C_F = koefisien tahanan gesek

C_A = koefisien tahanan tambahan

1.2.3 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 9.



Gambar 9. Contoh aliran *streamline* yang melintasi suatu body
Sumber: (Suryo W. Adji, 2009)

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

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran 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 sehingga dapat dijabarkan bahwa (Sardjaji, 2003):

1. Aliran Laminar ($Re < 2300$)

Aliran Laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncursatu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji, 2015). Aliran Laminar dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Aliran Laminar
Sumber: (Munson dkk, 2009)

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

Aliran transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji, 2015). Aliran Transisi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Aliran Transisi
Sumber: (Munson dkk, 2009)

3. Aliran Turbulen ($Re > 4000$)

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



Gambar 12. Aliran Turbulen

Sumber: (Munson dkk, 2009)

1.2.4 Hukum Kesamaan

Menurut Djabbar dan Rosmani (2011), Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum kesamaan ini haruslah memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

1. Kesamaan Geometris

Menurut Djabbar dan Rosmani (2011), bahwa kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal dilaut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam atau lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana dapat dilihat pada Persamaan 5.

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

Dimana :

λ = skala perbandingan

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

B_s = lebar kapal (m)

B_m = lebar model (m)

T_s = sarat kapal (m)

T_m = sarat model (m)

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

1. TOOD :

$$L_m < T \text{ tangki}$$

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

2. HARVALD:

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

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

3. UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

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

$$B_m < 1/15 B \text{ tangki}$$

$$A_{o_m} < 0,4 A_o \text{ tangki}$$

2. Kesamaan Kinematis

Menurut Djabbar dan Rosmani (2011), bahwa kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara kecepatan model dan kecepatan kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi. Rumus kesamaan kinematis dapat dilihat pada Persamaan 6 dan 7.

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

Atau :

$$\frac{v_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{v_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (7)$$

Dimana :

Fn = angka froude

L_s = panjang kapal (m)

Lm	= panjang model (m)
Vs	= kecepatan kapal (m/s)
Vm	= kecepatan model (m/s)
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)

3. Kesamaan Dinamis

Menurut Djabbar dan Rosmani (2011), bahwa Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas. Rumus kesamaan dinamis dapat dilihat pada Persamaan 8 dan 9.

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

Atau :

$$\frac{Vm.Lm}{\nu} = \frac{Vs.Ls}{\nu} \quad (9)$$

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

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

1.2.5 Ansys

Ansys merupakan software berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah – masalah rekayasa (engineering). Penggunaan Ansys mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. Ansys merupakan *Computer Aided Engineering* (CAE) yang

dikembangkan oleh Ansys , Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. Ansys Workbench berisi beberapa fasilitas, diantaranya (Ansys, 2009):

1. Mechanical, untuk analisa struktur (statik) dan thermal (perpindahan panas).
2. Fluid Flow, yang terdiri dari *Ansys CFX dan Fluent*, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
3. Engineering Data, sebagai database material lengkap dengan *properties*-nya, seperti:

A. Poisson Ratio

Poisson Ratio adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material. Sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk 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 berikut ini:

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

dengan: ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa zat (kg)

V = volume zat (m^3)

C. Modulus Young

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E dan satuannya N/m^2 . Modulus elastisitas disebut juga *Modulus Young*. Modulus Elastisitas juga didefinisikan sebagai berikut: “Selama gaya F yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batas elastisitasnya sehingga perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ϵ) adalah konstan.”

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

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

dengan:

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

σ = tegangan (Pa)

ϵ = regangan

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

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

1.2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys Fluent

CFD (Computational Fluid Dynamic) adalah salah satu metode komputasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering (Versteeg dan Malalasekera, 1995).

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

Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian simulasi numerik adalah

persamaan Navier-Stokes. Pada simulasi numerik Computational Fluid Dynamic aliran fluida yang terjadi diatur oleh hukum kekekalan massa, momentum dan energi, yang secara kolektif disebut sebagai persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut (Molland dkk, 2017):

1. Persamaan Kontinuitas

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

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

2. Persamaan Momentum

- Momentum ke arah sumbu X

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

- Momentum ke arah sumbu Y

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

- Momentum ke arah sumbu Z

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

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

3. Persamaan Energi

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

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)

p = Densitas (kg/m³)

Et = Energi Total (kJ)

p = Tekanan (N/m²)

q = Heat Flux (kW/m²)

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl

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

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan besar perubahan tahanan kapal katamaran terhadap variasi jarak lambung asimetri *flat side inside* menggunakan aplikasi Ansys.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh jarak antara kedua lambung asimetri *flat side inside* terhadap tahanan kapal katamaran.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain kapal katamaran yang menggunakan bentuk lambung asimetri *flat side inside*.

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 Juli 2024 sampai Oktober 2024.

2.2 Jenis Penelitian

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

2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Data Sekunder

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

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

Tabel 1 menunjukkan data ukuran utama kapal.

Tabel 1. Data ukuran utama kapal

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	<i>Length Over All</i> (LOA)	16	m
2	<i>Length Water Line</i> (LWL)	14,77	m
3	<i>Breadth</i> (B)	4,912	m
4	<i>Depth</i> (H)	2,3	m
5	<i>Draught</i> (T)	0,87	m
6	<i>Tunnel Width</i>	1,7	m
7	<i>Full Load Weight</i>	23,41	Ton

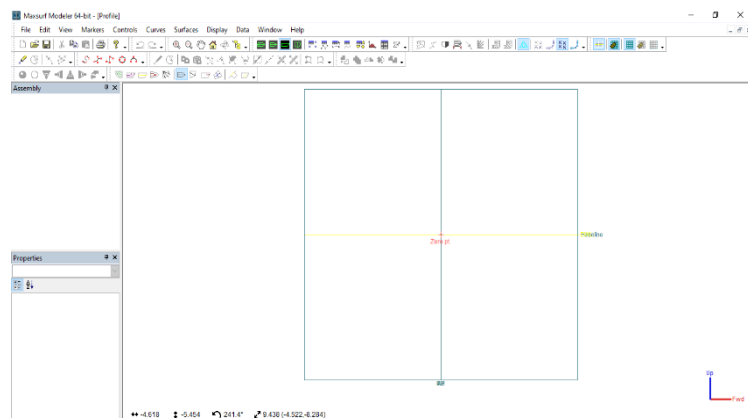
2.4 Metode Pengolahan Data

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

2.4.1 Pemodelan Kapal Katamaran

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

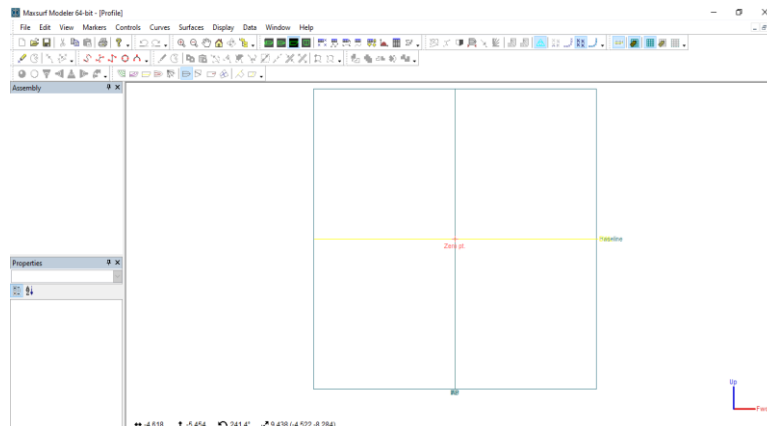
1. Membuka program *Maxsurf Modeller*, lalu pilih *profile* atau tampak samping yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan *profile*

Sumber: Hasil olah data

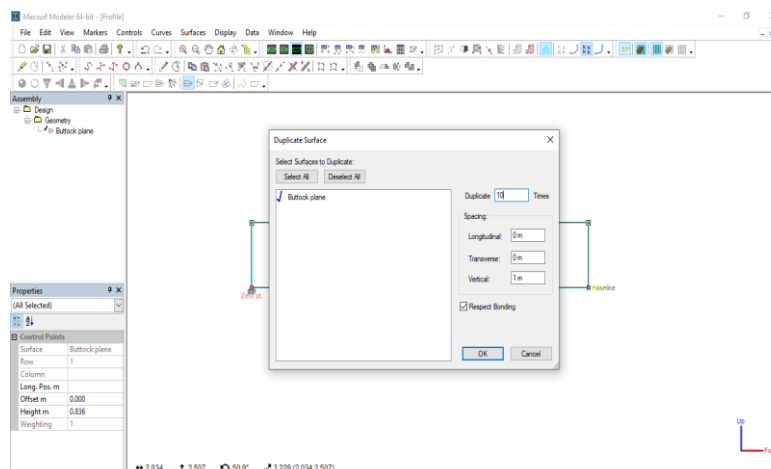
2. Pilih menu *Surface* lalu *Add Surface* dan pilih *Buttock Plane*. Selanjutnya, masukkan ukuran panjang kapal *Length Over All* (LOA) di tampilan *Long Pos* yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan *add surface*

Sumber: Hasil olah data

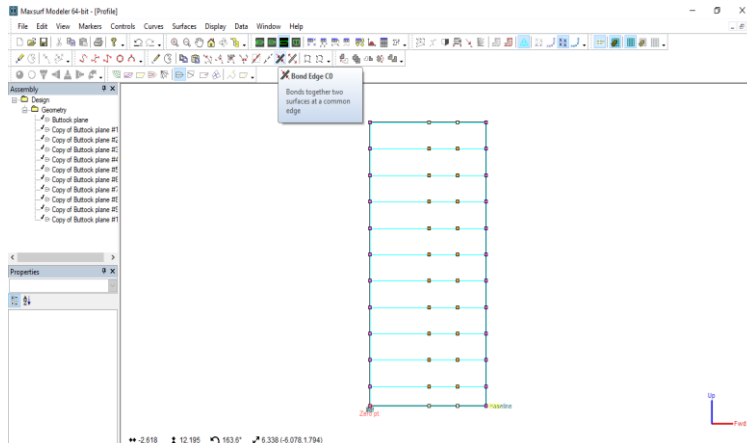
- Selanjutnya tambahkan *Add Control Point*. Setelah itu, pilih menu *Surface* lalu *Duplicate Surface* sebanyak 10 karena yang di desain adalah kapal katamaran maka harus diperbanyak *Surface* yang dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan *duplicate surface*

Sumber: Hasil olah data

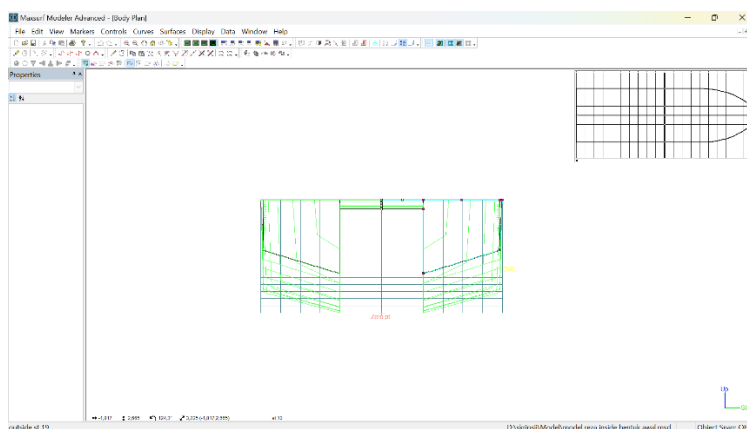
- Setelah sudah di *Duplicate Surface* kemudian disambungkan masing-masing *Surface* dengan memblok surfacenya lalu pilih menu *Bond Edge* yang dapat dilihat pada Gambar 16.



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

Sumber: Hasil olah data

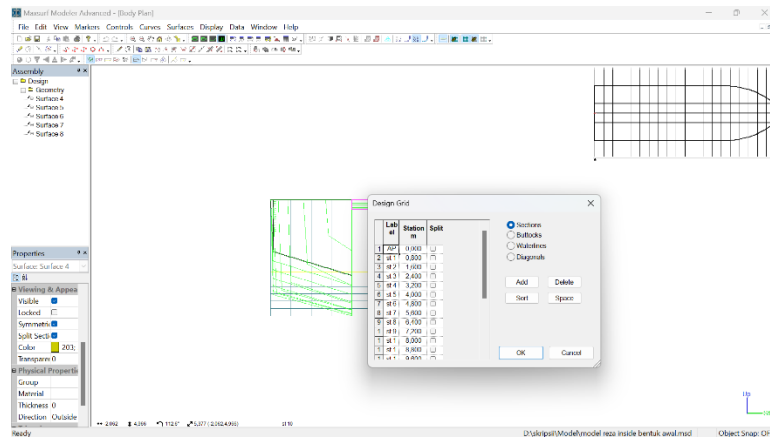
5. Selanjutnya masuk di tampak *body plan*, lalu *Surface* tersebut kita buka satu persatu. Selanjutnya kita sesuaikan bentuk lambung pada kapal katamaran yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Pembuatan model lambung

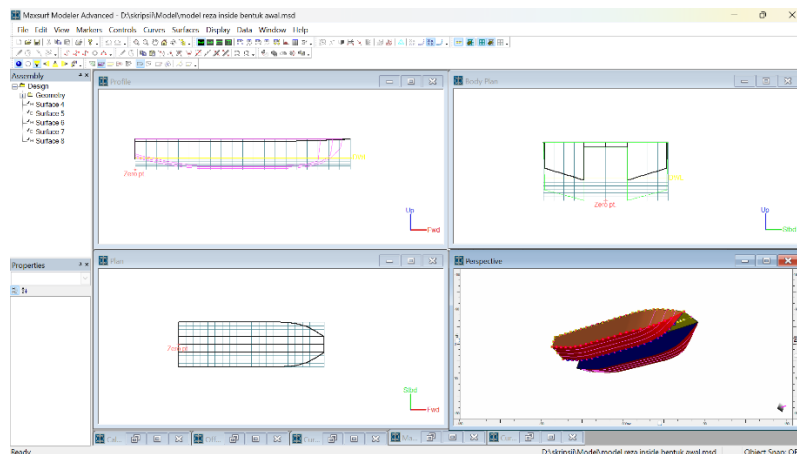
Sumber: Hasil olah data

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, waterline*
Sumber: Hasil olah data

- Jadilah model 3D kapal katamaran sesuai dengan lines plan kapal tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Tampilan Model Kapal Katamaran
Sumber: Hasil olah data

2.4.2 Variasi Jarak Lambung Model Kapal Katamaran

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

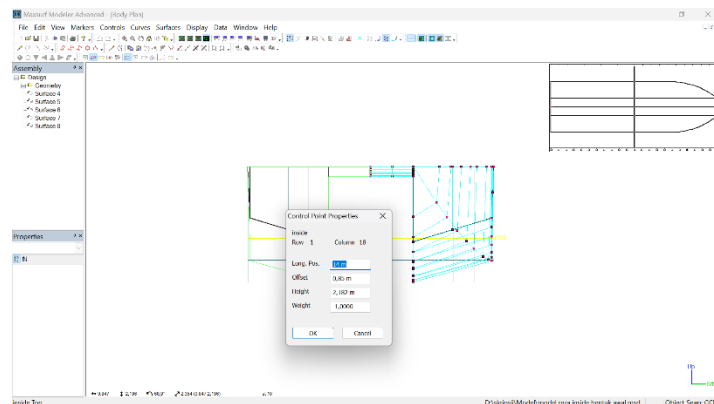
Tabel 2. Variasi jarak lambung

No	Variasi	Jarak Lambung (m)	Jarak Lambung Setelah Menggunakan Skala 1:20 (m)
1	Bentuk Awal Kapal	1,7	0,09
2	Variasi Jarak Lambung 1	2,2	0,11
3	Variasi Jarak Lambung 2	2,7	0,14
4	Variasi Jarak Lambung 3	3,2	0,16

Sumber: Hasil olah data

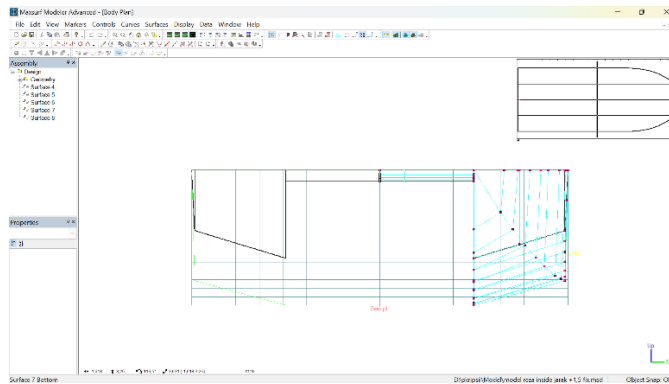
Adapun Langkah-langkah dalam memberikan variasi jarak lambung menggunakan program Maxsurf Modeller yaitu sebagai berikut :

1. Setelah model kapal katamaran selesai dibuat dengan menggunakan Maxsurf Modeller, Model yang sudah jadi tersebut diubah jarak antara lambungnya dengan cara pada tampilan body plan di blok lambung kapalnya lalu pilih menu group, setelah itu tekan salah satu control point pada lambungnya. Maka akan muncul menu *control point properties*, pada menu tersebut terdapat nilai offset lalu masukkan nilai sesuai dengan variasi jarak lambungnya yang artinya model akan mengalami perubahan jarak antara lambungnya dapat dilihat pada Gambar 20.

**Gambar 20.** Tampilan menu perubahan jarak

Sumber: Hasil olah data

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

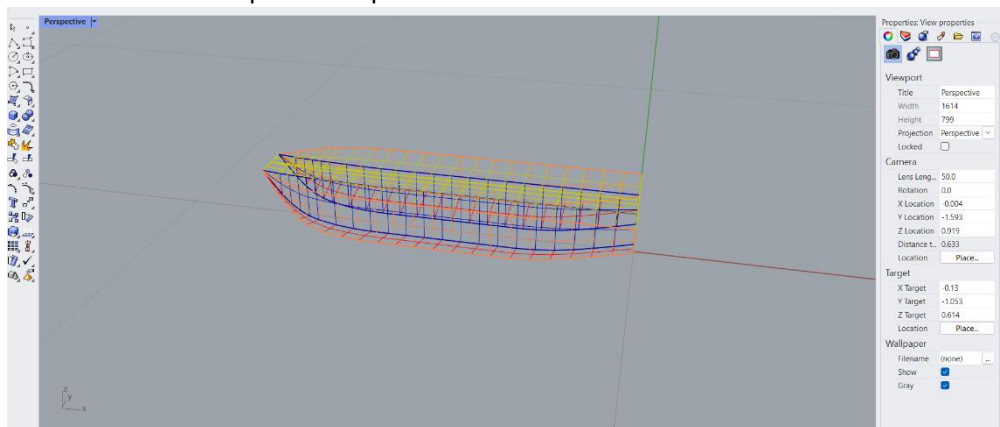


Gambar 21. Tampilan *Body Plan* Kapal setelah perubahan jarak
Sumber: Hasil olah data

2.4.3 Pemodelan Kapal Menggunakan Rhinoceros 7

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

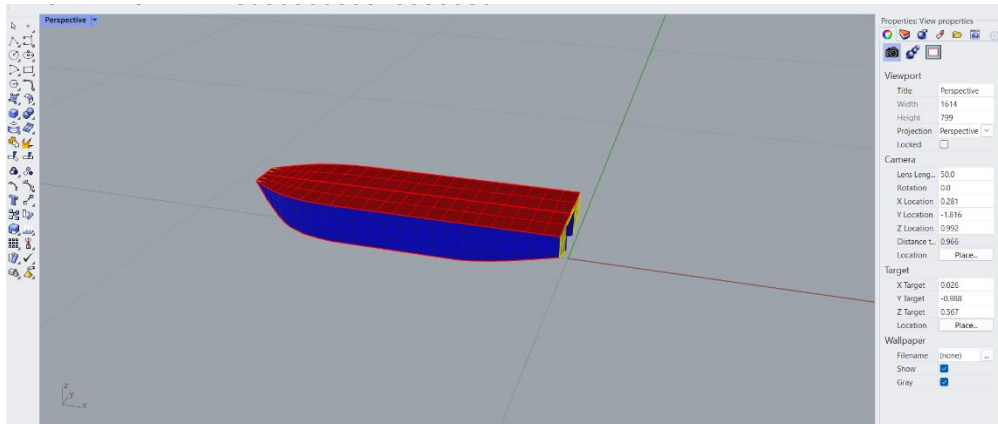
1. Buka *Software Rhinoceros 7* dan *import* file model kapal yang telah dibuat pada Maxsurf Modeller dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Import file Maxsurf ke Rhinoceros 7

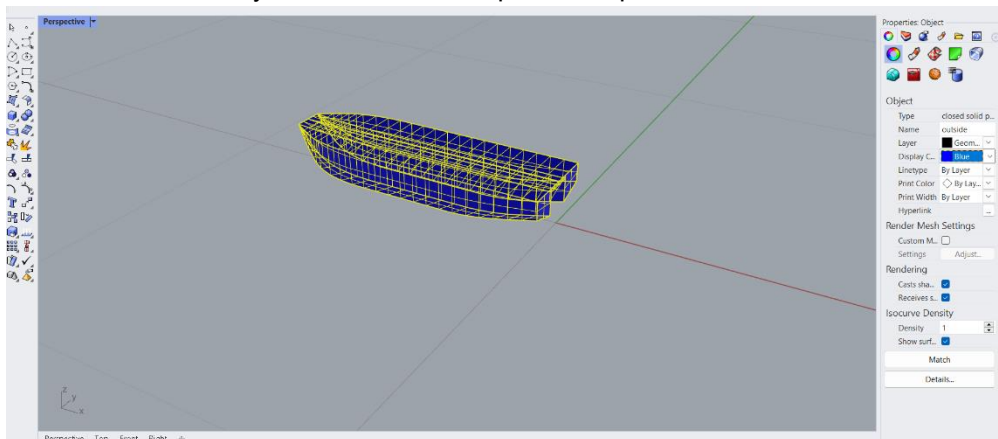
Sumber: Hasil olah data

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



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

3. 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. Model kapal yang sudah solid
Sumber: Hasil olah data

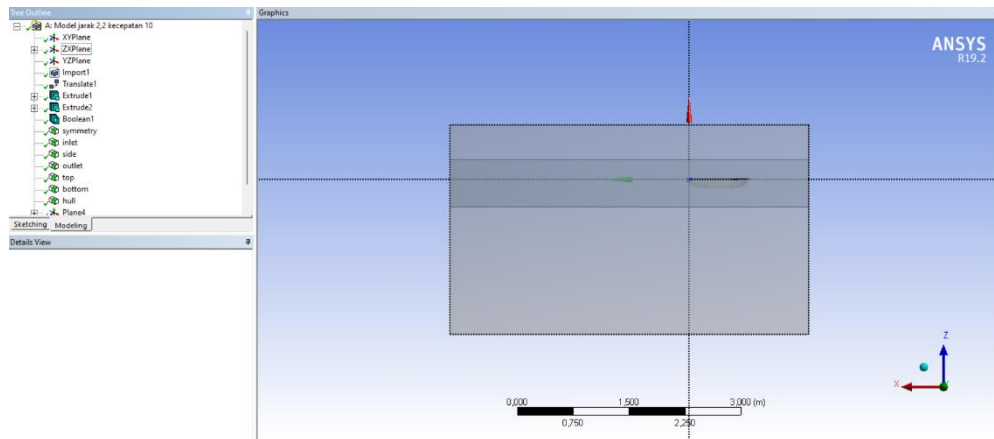
Selanjutnya model yang telah solid di *export* dalam format rhino 3-D model (.3dm) kemudian dilakukan simulasi pada *Software Ansys Workbance 2019 R2 – Fluid Flow (Fluent)*.

2.4.4 Simulasi Model Kapal Menggunakan Ansys Fluent

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

1. Geometry

Pada tahap ini dilakukan import file model kapal yang telah dibuat di Software Rhinoceros 7, Setelah itu dilakukan pemodelan tangki pengujian untuk simulasi aliran. Berikut merupakan visualisasi tahap geometry yang ditunjukkan pada Gambar 25.

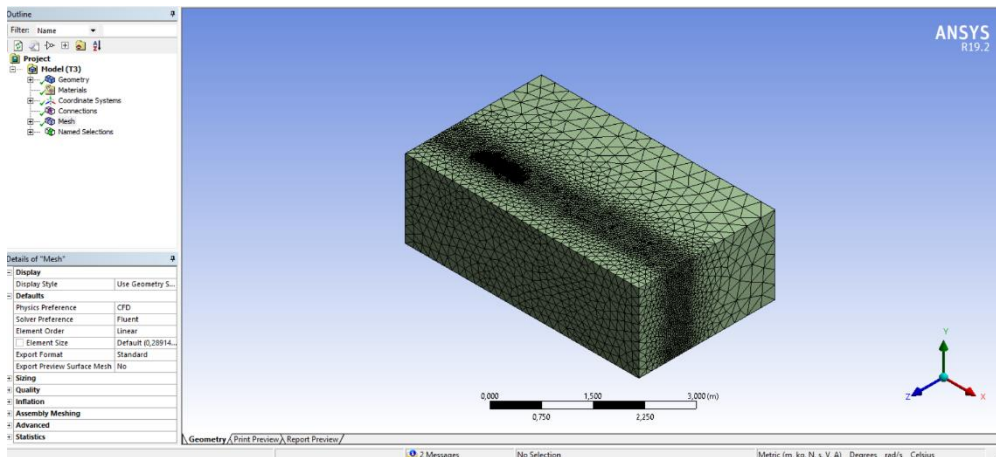


Gambar 25. Visualisasi pemodelan tangki pengujian pada *geometry*

Sumber: Hasil olah data

2. Mesh

Tahap *meshing* ini merupakan tahap membagi model menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen dan setiap ujung elemen disebut *nodes*. Jumlah elemen sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi dan ukuran *mesh* mempengaruhi jumlah elemen yang digunakan. Metode *mesh* yang digunakan adalah *Tetrahedrons*. Pada tahap *Mesh* ini juga dilakukan *name selection* tiap-tiap dinding dari tangki. Dinding bagian depan haluan sebagai *inlet*, dinding bagian belakang buritan sebagai *outlet*, dinding atas sebagai *Top-symmetry*, dinding bawah sebagai *Bottom-symmetry*, dinding luar sebagai *side-wall*, dan dinding bagian dalam sebagai *Symmetry*. Pada tahap ini juga diperlukan penambahan *Body sizing* dan *Face sizing* yaitu ukuran *mesh* sekitar permukaan air dan bagian lambung kapal diperkecil agar mendapatkan hasil yang akurat. Berikut merupakan visualisasi tahap mesh yang ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 26. 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

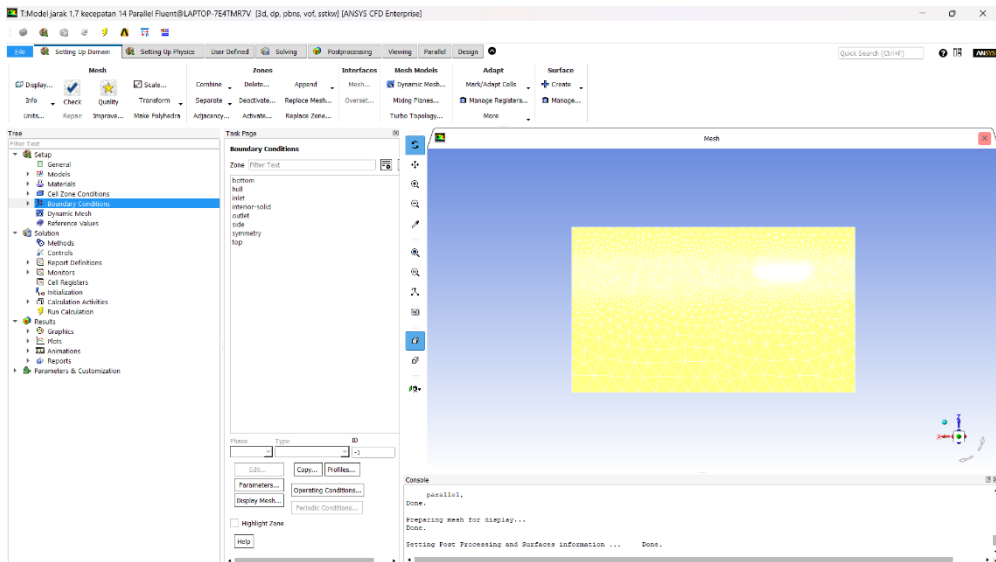
Percobaan ini dilakukan menggunakan 2 jenis fluida yaitu air (*Water*) dan udara (*Air*) maka percobaan ini dilakukan dengan *multiphase model : Volume of Fluid (VOF)*. Agar interaksi antara air dan udara dapat terjadi maka *VOF* dilakukan dengan mengaktifkan *Open Channel Flow*. Jenis aliran fluida 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 Aluminum.

- Boundary Condition

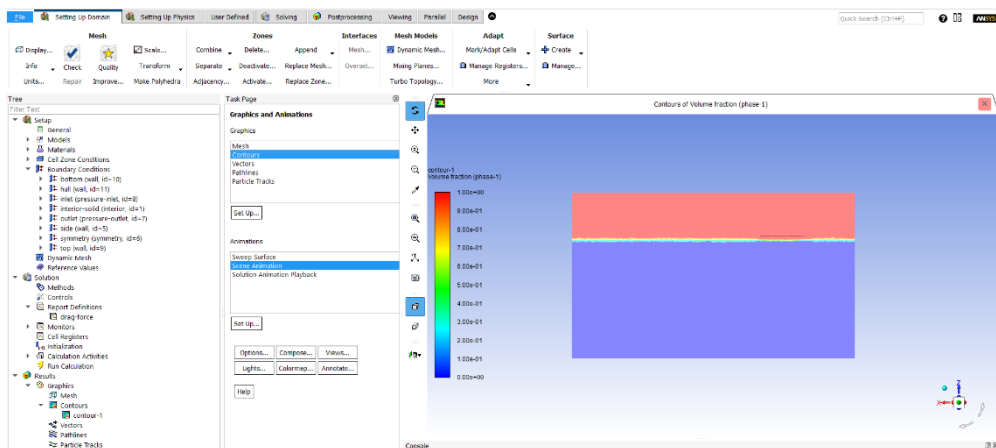
Selanjutnya *Boundary Condition* untuk mendefinisikan bagian dinding *inlet* sebagai *Pressure inlet* dengan kecepatan sesuai dengan kecepatan kapal, dinding *Outlet* sebagai *Pressure Outlet*, sedangkan bagian dinding dalam, top, dan bottom dianggap *Symmetry*, artinya aliran fluida dibiarkan mengalir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

4. Solution

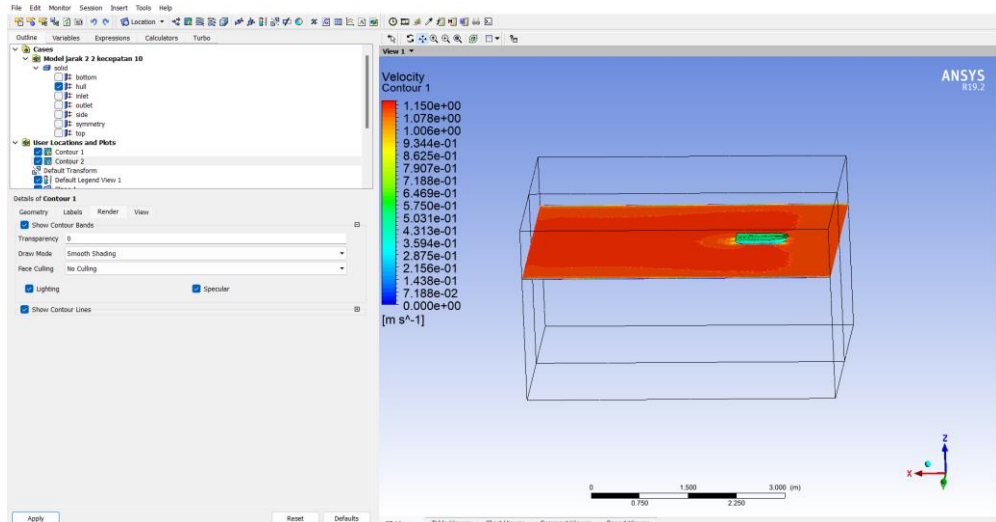
Tahap Solution merupakan tahap menjalankan simulasi numerik. Sebelum melakukan simulasi maka perlu dilakukan *Report definition* berupa *Drag Force* dan *Drag Coefficient* pada lambung kapal agar simulasi dapat menampilkan hasil perhitungan hambatan kapal. Solution method yang digunakan yaitu *Time Steady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



Gambar 28. Visualisasi tahap Calculate.
Sumber: Hasil Olah Data

5. Result

Setelah melakukan proses simulasi, maka hasil simulasi dapat dilihat pada menu *Result*. Pada menu ini dapat ditampilkan berupa Visualisasi interaksi antara fluida air dan udara berupa *volume fraction*, *Pressure*, *Velocity*, *Vector arah fluida*, nilai tahanan kapal (*Drag force*), dan koefisien tahanan kapal. Berikut merupakan Visualisasi tahap *Result* yang ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Visualisasi tahap result

Sumber: Hasil olah data

2.4.5 Verifikasi Data

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

2.4.6 Analisis Data

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

1. Tahanan (*drag force*)

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

2. Koefisien tahanan

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

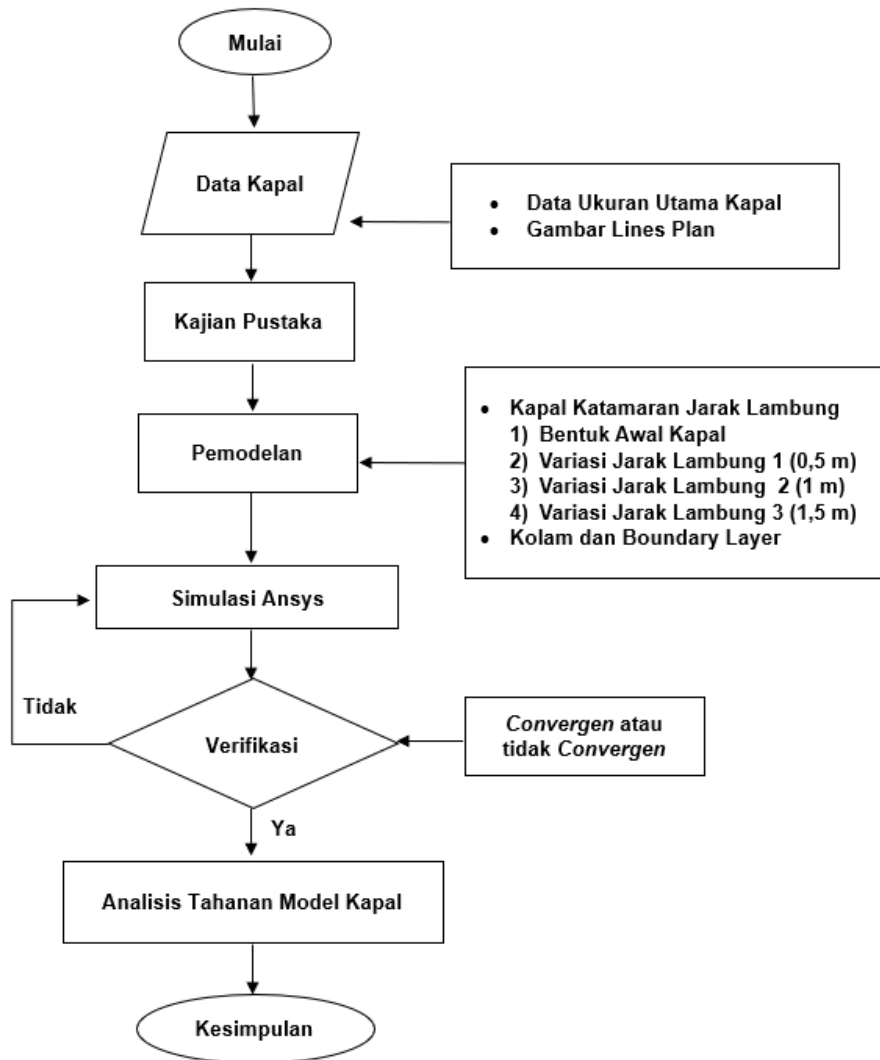
3. Visualisasi karakteristik aliran fluida seperti *volume fraction* yaitu interaksi antara fluida air dan udara, *velocity* yaitu kecepatan fluida yang mengalir disekitar lambung kapal, tekanan (*pressure*) dan arah aliran fluida (*vector*).

2.4.7 Penarikan Kesimpulan

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

2.5 Kerangka Pikir

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada gambar 30.



Gambar 30. Kerangka berpikir