

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kinerja hidrodinamika kapal berkecepatan tinggi merupakan aspek kritis dalam desain arsitektur kapal laut, mengingat permintaan yang semakin meningkat akan pengurangan konsumsi bahan bakar, emisi yang lebih rendah, dan efisiensi operasional yang lebih baik, yang dipengaruhi oleh pengurangan resistansi hidrodinamika (Bhatia *et al.*, 2021). Seiring dengan peningkatan kecepatan kapal, resistansi hidrodinamika meningkat secara signifikan, terutama pada lambung planing, di mana perubahan sudut trim dan luas permukaan basah sangat mempengaruhi karakteristik resistansi (Anggriani *et al.*, 2025; Kim *et al.*, 2023). Tahanan total pada kapal berkecepatan tinggi terdiri dari tahanan gesek, tahanan bentuk, dan tahanan gelombang, yang semuanya meningkat di bawah kondisi planing dan berkontribusi pada kerugian energi yang lebih tinggi (Harvald, 1992).

Salah satu fenomena aliran yang paling merugikan yang memengaruhi kinerja kapal berkecepatan tinggi adalah pemisahan aliran di bagian belakang lambung. Pemisahan aliran yang prematur menyebabkan pembentukan aliran turbulen yang besar, peningkatan hambatan tekanan, dan pemulihan tekanan yang buruk, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi hidrodinamik (Abramowski & Sugalski, 2017). Akibatnya, berbagai strategi pengendalian aliran telah diteliti untuk mengurangi pemisahan aliran dan meningkatkan kinerja resistansi. Di antara strategi-strategi tersebut, perangkat pengendalian aliran pasif telah menarik perhatian karena kesederhanaannya, keandalan, dan kebutuhan energi yang rendah.

Generator Vortex (VG) adalah perangkat pasif yang sebelumnya diterapkan pada teknologi kedirgantaraan terutama pada sayap pesawat yang digunakan untuk mengontrol perilaku lapisan batas dengan menghasilkan vortisitas sejajar aliran yang mengangkut fluida bermomentum tinggi dari aliran luar ke daerah dekat dinding. Pada sayap pesawat mekanisme ini meningkatkan momentum lapisan batas, menunda pemisahan aliran, dan memperbaiki pelekatan aliran di bawah gradien tekanan yang tidak menguntungkan (Lin, 2002). Penyelidikan numerik dan eksperimental pada profil sayap telah mengonfirmasi bahwa kinerja VG sangat dipengaruhi oleh parameter geometris seperti tinggi, panjang, jarak, dan lokasi pemasangan relatif terhadap arah aliran (Li *et al.*, 2019). VG berbentuk persegi panjang, khususnya, dilaporkan dapat mempertahankan pelekatan lapisan batas dan menekan pemisahan aliran dengan memperkenalkan struktur vortikal yang teratur di hilir perangkat pada kemudi berflap NACA0015 (Mei *et al.*, 2024). Sejak awalnya dalam aplikasi aerospace, VGs mulai diterapkan dalam maritim, yaitu pada kapal selam DARPA sub-off di mana VG digunakan untuk mengurangi hambatan yang disebabkan oleh pemisahan aliran. Penelitian ini membuktikan dalam konfigurasi VG yang telah dioptimalkan (Renani *et al.*, 2023). VG dapat meningkatkan ketidakmerataan tekanan pada zona wake di bagian buritan kapal, menunda pembentukan



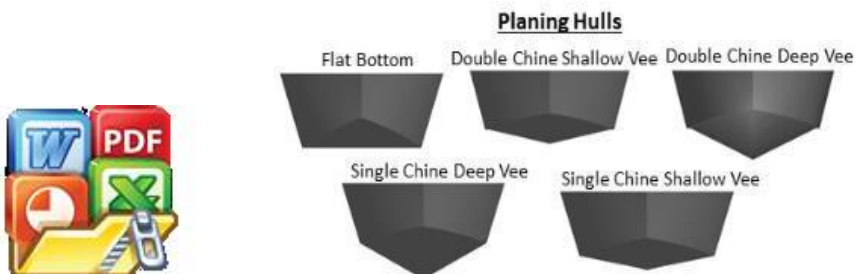
kavitasi, dan melemahkan kavitasi pada area ujung baling-baling kapal dengan penurunan maksimum harmonik pertama, kedua, dan ketiga tekanan fluktuasi masing-masing sekitar $-41,2\%$, $-36,6\%$, dan $-78,5\%$. (Zhai *et al.*, 2025).

Meskipun telah terjadi kemajuan, penerapan VGs pada kapal berkecepatan tinggi yang berlayar dengan kecepatan tinggi masih terbatas, terutama dalam hal penelitian sistematis mengenai panjang dan penempatan VGs dalam kondisi operasi yang realistis. Untuk lambung kapal cepat, efektivitas fungsi VG menjadi rendah akibat perubahan trim secara dinamis dan perubahan garis air saat kecepatan kapal meningkat. Faktor-faktor ini mengubah interaksi antara vortisitas yang diinduksi VG dan lapisan batas, sehingga memengaruhi pemisahan aliran dan karakteristik resistansi. Untuk itu, sebuah studi dibutuhkan dimana efektivitas fungsi VG dipertahankan dalam kondisi kecepatan tinggi dengan pertimbangan konfigurasi panjang VG relatif terhadap dimensi lambung kapal.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi panjang VG persegi panjang yang berkisar antara 0,2 hingga 0,5 kali panjang keseluruhan (Loa) terhadap resistansi hidrodinamik kapal mono*hull* berkecepatan tinggi. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan menggunakan metode Volume of Fluid (VOF) dan model turbulensi SST $k-\omega$ untuk menangkap efek permukaan bebas dan perilaku aliran dekat dinding. Data trim eksperimental yang diperoleh dari uji tangki tarik dimasukkan ke dalam simulasi untuk mereplikasi sikap planing yang realistis. Temuan studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan praktis dalam optimasi VG untuk pengurangan hambatan dan berkontribusi pada pengembangan kapal berkecepatan tinggi yang efisien energi.

1.1.1 Kapal Cepat

Kapal planing merupakan salah satu kapal yang mempunyai tingkat efisiensi yang baik sebagai kapal cepat. Kapal ini bergantung pada kecepatan yang mengangkat sebagian lambungnya keluar dari air (*hydrodynamic support*). (Savitsky *et al.*, 1964) menyimpulkan dengan kecilnya badan kapal yang bersentuhan dengan air maka kecil juga jumlah tahanan air yang ditanggung. Bentuk badan kapal dirancang mengikuti hukum *hydrodynamic*, setiap benda bergerak yang dapat menciptakan aliran non-simetris menimbulkan gaya angkat yang tegak lurus dengan arah gerak. Seperti sayap pesawat terbang yang bergerak di udara akan memberi gaya angkat. Bentuk *Planing Hulls* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk-bentuk lambung kapal untuk kategori planing *hull*
Sumber : (Muh F Haq, 2023)



Pengukuran yang umum digunakan untuk mengetahui karakteristik hambatan dan bentuk gelombang pada kapal planing adalah *dimensionless* Froude number (Fr), yang berhubungan dengan gaya inersia dan gaya eksternal. Rumus untuk mendapatkan nilai Froude number dapat dilihat pada persamaan (1).

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

Dimana:

- Fr = Froude Number
- v = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- L = Panjang kapal (m)

Dimana Froude number merupakan bilangan yang menunjukkan penggolongan sebuah kapal apakah tergolong kapal cepat, sedang atau lambat. Penggolongan kapal menurut Froude number yaitu;

- a. Kapal Lambat : $Fr \leq 0,20$
- b. Kapal Sedang : $Fr \geq 0,20$ dan $\leq 0,35$
- c. Kapal Cepat : $Fr \geq 0,35$

1.1.2 Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1992). Tahanan kapal ini perlu diketahui karena merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam merencanakan bentuk lambung kapal, selain itu juga tujuannya adalah dalam menghitung daya mesin induk kapal, yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat dihitung atau diestimasi biaya operasional kapal.

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

- a. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

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

memiliki viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan viskositas (R_V) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh



viskositas. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, dapat dilihat pada persamaan (2) sampai (4):

- 1) Angka Reynold (Reynold's number, Rn)

$$Rn = \frac{V \times L}{\nu} \quad (2)$$

Dimana:

V = Kecepatan (m/s)

L = Panjang (m)

ν = Viskositas air (m^2/s)

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

$$C_f = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (3)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

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

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

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendicular*) dan Vs adalah kecepatan kapal.

b. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

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

- 1) Tahanan gelombang (*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 diatas air dan bangunan atas (*superstructure*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

- 3) Tahanan bentuk (*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 dapat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan atas dan kemudi. Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*)

Yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun



- kemudi dan sebagainya.
- b) Tahanan kekasaran (*Rough Resistance*)
Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.
 - c) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)
Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi.
- c. Tahanan Total (*Total Resistance*)
Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$R_t = 0,5 \rho C_T S V^2 \quad (5)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

P = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)

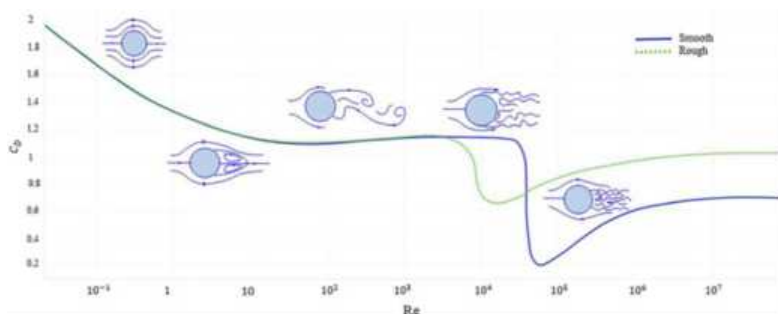
C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m^2)

V = Kecepatan (m/s)

1.1.3 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. Dua parameter umum dalam setiap aliran fluida adalah tekanan fluida dan kecepatan aliran partikel fluida. Aliran fluida dapat dibagi menjadi pola yang berbeda berdasarkan variasi parameter aliran dengan mempertimbangkan waktu dan jarak. Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu *body* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Ketergantungan C_d terhadap Re pada bola halus dan kasar
Sumber: (Zaresharif et al., 2021)

sa fluida bergerak melintasi *body*, jarak antara *streamline* tersebut
ni perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami
n, hal ini disebabkan aliran massa-nya didalam *streamlines* tersebut
nstan. Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan
danya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan



tersebut; jika P , ρ , V , dan h adalah tekanan, massa jenis, kecepatan, dan tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Adji, 2009):

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gh = \text{constant} \quad (6)$$

Dimana:

P = Tekanan (N/m^2)

ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m^3)

H = Tinggi (m)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

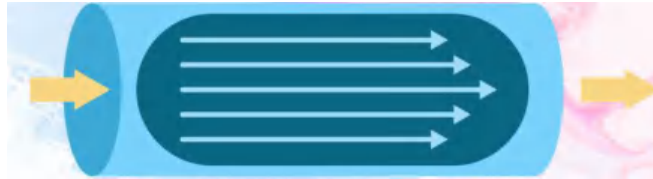
V = Kecepatan (m/s)

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Didalam 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 *local* yang bekerja pada *body* tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh *body*. Gaya – gaya *local* tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (Adji, 2009).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya 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-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini *noise* dan *skin friction* menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi, 2003).

1. Aliran laminar ($Re < 2300$) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya dapat dilihat pada Gambar 3. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam menentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* maksudnya nya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit nya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Adji, 2015)





Gambar 3 Aliran Laminer.
Sumber: (Warstek, 2024)

2. 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 dapat dilihat pada Gambar 4. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji, 2015).



Gambar 4 Aliran Turbulen
Sumber: (Warung Sains Teknologi, 2024)

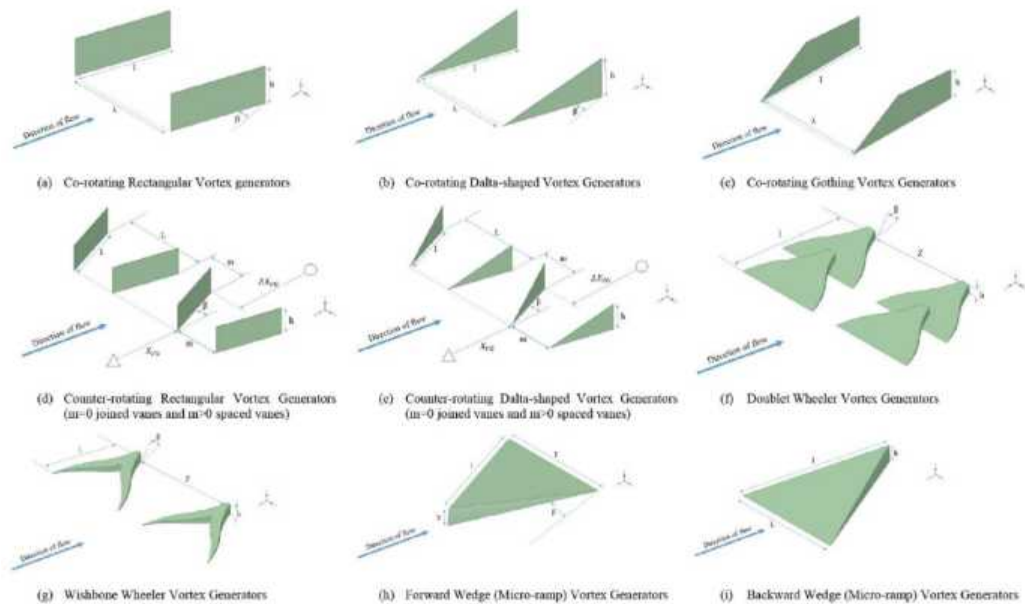
1.1.4 Vortex Generator

Vortex Generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan *stabilizer* ekor *unmanned aerial vehicle* (UAV) atau pesawat tanpa awak yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi *separation* (Romadhon, 2017).

Vortex generator juga merupakan permukaan tambahan yang dapat membentuk aliran *vortices* dengan arah paralel terhadap aliran utama. *Vortices* terbentuk karena adanya *strong swirling* dari *secondary flow*, yang diakibatkan oleh *flow separation* dan gesekan pada fluida. Sedangkan menurut (Sukoco., 2015) *vortex generator* memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua *vortex generator* berfungsi seperti

ayap. Penempatan *vortex generator* yaitu tegak lurus terhadap n sayap, serta dapat menghasilkan gaya angkat pada UAV, maka jaya angkat tersebut masing-masing bentuk *vortex generator* kan perubahan aliran pada UAV. Terdapat berbagai macam bentuk *erator* yang digunakan, namun pada umumnya dapat dilihat pada



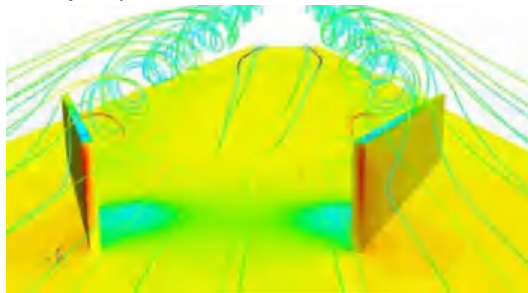


Gambar 5 Bentuk *Vortex Generator*
Sumber : (Mahshid et al., 2021)

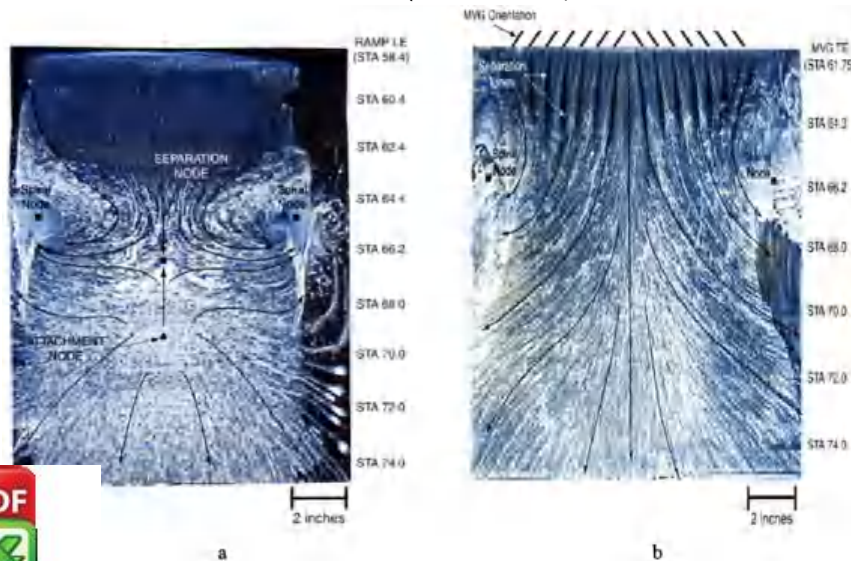


Vortex generator memiliki fungsi untuk menunda efek *separation* sehingga dapat meningkatkan *angle of attack* pada UAV sehingga dapat dirumuskan dengan suatu metode, dimana *vortex generator* (VG) digantikan oleh subdomain sel sehingga menjadi bentuk seperti *vortex generator*, dimana distribusi gaya bekerja pada fluida, sehingga efek *vortex generator* dapat diketahui.

Sudut temu (*angle of attack*) merupakan sudut yang terbentuk dari tali busur *airfoil* dan arah aliran udara yang melewatinya (*relative wind*). Perbedaan *angle of attack* (α) akan menghasilkan *lift* yang berbeda-beda, adapun untuk aplikasi *angle of attack* (α) yaitu pada *airfoil*. Contoh *angle of attack* (α) pada *airfoil* simetris menghasilkan *lift* nol bila *angle of attack* nol, sedangkan pada *airfoil* tidak simetris pada *angle of attack* nol *lift* yang dihasilkan tidak nol, *lift* menjadi nol apabila *airfoil* tidak simetris membentuk sudut negatif terhadap aliran udara (Ghofar, 2018), berikut merupakan pola aliran yang umum terjadi pada VG:



Gambar 6 Visualisasi aliran yang umum terjadi pada VG
Sumber (Gámiz, 2013)



7 Pola aliran minyak di atas rampa; a) tanpa VG, b) menggunakan VG.

Sumber: (Mahshid et al., 2021)



1.1.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

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

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering (Versteeg H.K, 1995). Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi-aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dan terkadang bahkan prediksi kualitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode:

- a. Model matematik (PDE)
- b. Metode numeric (diskritisasi dan teknik solusi)
- c. Perangkat lunak.

Schowalter et al menyatakan bahwa toleransi kesalahan dalam pen-skala-an dapat dikurangi dengan adanya CFD. Dalam area penelitian yang berbeda, penerapan CFD dilakukan sebagai pembanding dengan eksperimen apabila memungkinkan dilakukan eksperimen dan menjadi superior dalam hal eksperimen sangat sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan. Dalam hal prediksi sebuah fenomena aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dan waktu. Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi- kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual. Meskipun demikian error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut:

- a. Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
- b. Kesalahan dalam diskritisasi
- c. Kesalahan dalam melakukan iterasi
- d. Kesalahan dalam implementasi.

Dalam persamaan ini fluida dianggap tidak dapat termampatkan (tidak termampatkan). Persamaan ini selanjutnya akan mengarah ke persamaan lain seperti persamaan kekekalan massa, kekekalan volume, dan lain-lain. Bentuk umum persamaan navier-stokes adalah sebagai berikut:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (7)$$



at aliran
 idahan
 i jenis fluida
 al resostance yang mempresentasikan viskositas $f =$ gaya dari luar

Berdasarkan metode yang digunakan di Ansys Fluent CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut:

1) Segregated Solver

Permasalahan yang harus diselesaikan terhadap persamaan yang didiskritkan adalah tekanan yang hilang, maka digunakan persamaan kontinuitas dengan penyelesaian integral:

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

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega \quad (8)$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa laju peningkatan (pengurangan) massa di dalam suatu elemen sama dengan laju netto aliran massa kedalam (keluar) elemen fluida tersebut. Pada aliran incompressible, rapat massa konstan, laju perubahan massa didalam elemen adalah nol. Ketiga suku bagian kiri persamaan tersebut adalah aliran massa netto yang keluar elemen melalui dinding elemen dan disebut dengan suku konvektif. Persamaan diatas menunjukkan kondisi batas alami untuk persamaan tekanan

Untuk mengadakan tekanan yang hilang pada persamaan diatas maka, digunakan persamaan momentum yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.18) sebagai berikut :

$$U = U_h - K_u \frac{\partial P}{\partial x} \quad (9)$$

$$V = U_h - K_v \frac{\partial P}{\partial y} \quad (10)$$

$$W = U_h - K_w \frac{\partial P}{\partial z} \quad (11)$$

Sehingga,

$$\int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho K_u \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_v \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_w \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT \quad (12)$$

$$- \int \rho \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega$$

Persamaan diatas merupakan bentuk diskrit dari persamaan Poisson. Oleh karena itu, akan menghasilkan matriks koefisien simetris. Untuk kompresibel, kopling desitas-tekanan juga harus dipertimbangkan ga,

$$\rho U = \frac{(pU^\circ + \rho^\circ U)}{2} \quad (13)$$



ga, nilai o mengacu pada persamaan (13) sehingga,

$$\begin{aligned}
& \int \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^\circ K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^\circ K_V \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^\circ K_w \frac{\partial P}{\partial z} + N \left(\frac{\partial p U^\circ}{\partial x} + \frac{\partial p V^\circ}{\partial y} \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \frac{\partial p W^\circ}{\partial z} \right) d\Omega \right. \\
& = \oint N \rho^\circ U^\circ dT + \oint N \rho^\circ V^\circ dT + \oint N \rho^\circ W^\circ dT + \int \rho^\circ \left(U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + \right. \\
& \quad \left. W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial N}{\partial x} \rho^\circ U^\circ + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^\circ V^\circ + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^\circ W^\circ \right) d\Omega
\end{aligned} \tag{14}$$

Persamaan disisi kiri ditulis ulang dalam bentuk tekanan menggunakan hukum gas ideal. Dengan persamaan tersebut maka, persamaan tekanan kompresibel akan menghasilkan matriks koefisien non-simetrik.

Dengan persamaan tekanan diatas, masing-masing persamaan dapat diselesaikan secara terpisah yaitu, persamaan x-momentum dapat diselesaikan untuk nilai U, persamaan y-momentum dapat diselesaikan untuk nilai V, persamaan z-momentum dapat diselesaikan untuk nilai W, persamaan tekanan dapat diselesaikan untuk nilai P dan sebagainya. Hal ini menyederhanakan permasalahan karena penyelesaian dilakukan dalam satu derajat kebebasan di setiap persamaan. Pendekatan ini yang disebut Solver Segregated karena masing – masing variabel diselesaikan secara terpisah.

2) Matrix Solver

Proses diskritisasi menghasilkan persamaan aljabar disetiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks (ai,aj). Metode klasik dalam penyelesaian matriks menggunakan eliminasi Gauss namun, dalam prosesnya membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi karena eliminasi membutuhkan matriks banded selama penguraian. Ansys CFD mempunyai matriks yang jauh lebih kecil dengan menggunakan pemecahan matriks berulang dari metode gradien konjugasi, dimana dibuat untuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian.

Alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan yakni prosedur Gauss-Seidel dan prosedur Tri-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA). Pada Ansys CFD digunakan pemecahan matrix metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iteasi yang ditetapkan terlampaui.

1.1.6 Ansys Fluent

ANSYS merupakan penerapan dari metode volume hingga (FVM). FVM adalah metode numeric untuk mendiskritisasi diferensial parsial kontiniu ke kumpulan persamaan aljabar. Langkah pertama diskritisasi adalah domain komputasi menjadi sejumlah volume yang terbatas dan dik mesh tau grid. Diferensial parsial kontiniu diintegrasikan di setiap elemen menggunakan teorema divergensi, sehingga menghasilkan persamaan aljabar untuk setiap sel. Ditengah sel, nilai rata-rata sel dari aliran disimpan yang dinamakan node. Hal ini menyiratkan bahwa



resolusi spasial dari solusi dibatasi oleh ukuran sel karena variable aliran tidak bervariasi di dalam sel.

FVM bersifat konservatif, artinya fluks yang meninggalkan sel melalui salah satu batasnya sama dengan fluks yang masuk ke sel yang berdekatan melalui batas yang sama. Sifat ini membuatnya menguntungkan untuk permasalahan dalam dinamika fluida. ANSYS adalah software untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). Software ANSYS merupakan software yang telah terintegrasi dengan perangkat lunak computer Aided Design (CAD) sehingga memudahkan dalam mendesain model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Ansys Fluent CFD (*Computational Fluid Dynamic*) yang akan digunakan dalam penelitian kali ini dimana CFD adalah salah satu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Pada Ansys Fluent CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulensi *K-Epsilon* ($K-\epsilon$) untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress Transport* ($K-\omega$) untuk pemodelan *full viscous*. Metode penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Method* (FEM), *Finite Volume Method* (FVM), dan *Finite Difference Method* (FDM). Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri sederhana dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method* (FVM) yang berhasil dimasukkan sehingga, tidak hanya dapat memprediksikan aliran turbulensi kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*). Berdasarkan metode yang digunakan Ansys Fluent, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

1. Segregated Solver
2. Matrix Solver



gunaan Ansys Fluent CFD (*Computational Fluid Dynamic*) telah area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. tiga langkah umum dalam proses simulasi pada Ansys Fluent CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut:

1. Pre Processor

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

2. Solver

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

3. Post Processor

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti grafik, *vector*, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.

1.1.7 Hukum Perbandingan Model Kapal

Dalam memakai model fisik, harus ditransfer dari skala model ke skala penuh. Oleh karena itu perlu dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada kapal yang sebenarnya.

Ada tiga hukum kesamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

- 1) Kesamaan Geometris
- 2) Kesamaan Kinematis
- 3) Kesamaan dinamis

1.1.7.1 Kesamaan Geometris

Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika bada kapal tidak lagi mulus, maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan dari model dalam suatu skala tertentu, walaupun permukaan tersebut dibuat sesuai permukaan kapal itu sendiri, karena aliran yang terjadi disepanjang model dan kapal tidak sesuai. Fenomena lapisan batas pada kapal tidak dapat ditiru secara benar pada skala model.

Dari segi permukaan kesamaan geometris umumnya diabaikan dan model kapal dibuat dengan mulus. Permukaan laut dan permukaan air didalam tangki percobaan juga harus mirip. Kondisi yang kapalnya mulus dan kapal tersbut bergerak di air yang permukaannya rata disebut kondisi tangki. Hampir disemua tangki percobaan tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar (Harvald,1992). Tekanan udara didalam tangki percobaan harus diturunkan.

Bila kapal sedang berlayar dilaut permukaan air luas tak berhingga dan dianggap dalam tak berhingga. Ukuran model kolam terbatas, dan ukuran model kapal kecil sebanding dengan ukuran tangki atau kolam, tidak kesamaan geometris dan mentransfer hasil yang diperoleh pengujian model. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi model, misalnya:

Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala dapat dilihat pada persamaan (15) :



$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (15)$$

Dimana :

λ = skala perbandingan

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

B_s = lebar kapal (m)

B_m = lebar model (m)

T_s = sarat kapal (m)

T_m = sarat model (m)

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

1) TOOD:

$L_m < T$ tangki

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

2) HARVALD:

$B_m < 1/10 B$ tangki

$T_m < 1/10 T$ tangki

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

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

$B_m < 1/15 B$ tangki

$Ao_m < 0,4 Ao$ tangki

Dimana :

B = lebar (m)

T = sarat (m)

L = panjang (m)

Ao = luas permukaan (m²)

1.1.7.2 Kesamaan Kinematis

Rasio kecepatan model harus sama dengan rasio kapal pada skala penuh. Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Kesamaan ini dapat terpenuhi dengan kesamaan angka Froude (Fr), dapat dilihat pada persamaan (16) sampai dengan (19).

$$Fr_m = Fr_s \quad (16)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \quad (17)$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m} \quad (18)$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \quad (19)$$



Dimana :

Fr = angka froude

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

V_s = kecepatan kapal (m/s)

V_m = kecepatan model (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

λ = skala model

1.1.7.3 Kesamaan dinamis

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

Angka Reynold model sama dengan angka Reynold kapal dapat dilihat pada persamaan (20) sampai dengan (23).

$$Re_m = Re_s \quad (20)$$

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \quad (21)$$

$$V_m = V_s \cdot L_s / L_m \quad (22)$$

$$V_m = V_s \cdot \lambda \quad (23)$$

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

1.1.7.4 Skala Model

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangki percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut.

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan "*Blockage Effect*" maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran lebar tangki atau kolam percobaan serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Hubungan antara lebar tangki dan lebar model sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa :

$B_m < 1/10 B$ tangki (menurut Harvald),

$B_m < 1/15 B$ tangki (menurut *University Of New Catsle*) dan

$T_m < 1/10 T$ tangki. (menurut Harvald)



ah

latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dituliskan
alah sebagai berikut:

- a. Bagaimana geometri dan posisi VG yang dapat diaplikasikan pada lambung kapal cepat?
- b. Bagaimana pengaruh VG terhadap tahanan kapal cepat?
- c. Bagaimana pola aliran yang terjadi pada lambung kapal cepat yang menggunakan VG?

1.3 Tujuan penelitian

Setelah melakukan perumusan terkait permasalahan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut;

- a. Menentukan geometri dan posisi VG yang dapat diaplikasikan pada lambung kapal cepat.
- b. Menganalisis pengaruh VG terhadap tahanan kapal cepat
- c. Menjelaskan pola aliran yang terjadi pada lambung kapal cepat yang menggunakan VG

1.4 Batasan masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut;

- a. Penelitian ini dilakukan dengan metode computational fluid dynamics (CFD) dengan software ANSYS.
- b. Tipe kapal *Monohull* deadrise 20°.
- c. Jenis model VG yaitu Rectangular *Vortex Generator* dengan variasi panjang 0,2 - 0,5Loa
- d. Pengujian simulasi dilakukan pada kondisi air tenang pada CFD
- e. Kecepatan dan trim kapal didapatkan dari attitude kapal saat eksperimen di towing tank



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Pengerjaan Penelitian

- a. Lokasi penelitian
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- b. Waktu penelitian
Penelitian ini dilaksanakan sampai saat ini terhitung mulai dari bulan Mei 2025.

2.2 Jenis dan Pengumpulan Data

Pada penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung dan data primer yang diperoleh berdasarkan modifikasi yang dilakukan terhadap data dari penelitian sebelumnya. Adapun data yang dimaksudkan di atas adalah sebagai berikut:

- a. Data sekunder (tidak langsung), merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini seperti ukuran utama, rencana garis, kecepatan dan *trim*.
- b. Data primer (langsung), merupakan data yang diperoleh dari penentuan ukuran *vortex generator* berupa panjang, tinggi, dan tebal.

2.3 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan software Maxsurf pro Modeler V.20 bentley, untuk melakukan pemodelan kapal, Ansys 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.

2.3.1. Data Kapal

Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Kapal Cepat*. Pada penelitian ini kapal akan dimodelkan dengan bantuan *software Maxsurf Pro Modeler V.20 Bentley* dan *Rhino 7*. Adapun data kapal yang digunakan, yakni sebagai berikut:

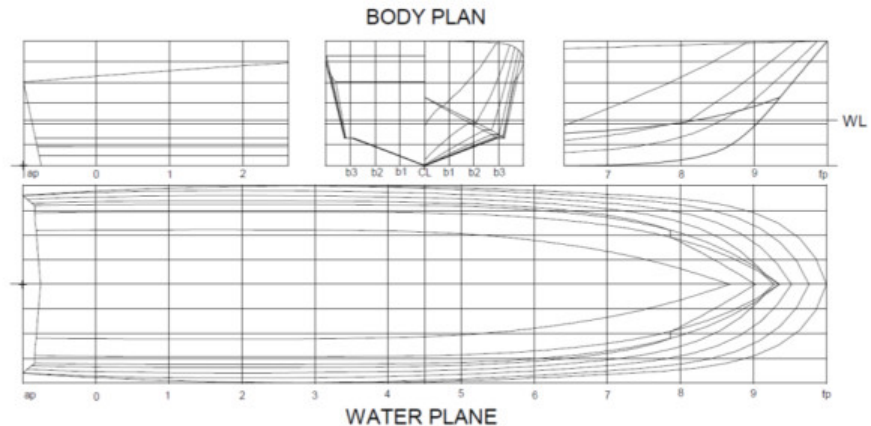
1. Ukuran Utama

Tabel 1 Ukuran Utama Kapal

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	Length Over All (LOA)	10,60	m
2	Water Length	9,61	m
3	Breadth (B)	2,60	m
4	Depth (H)	1,64	m
5	Draught (T)	0,60	m



2. Rencana Garis Air (Lines Plan)



Gambar 8 Lines Plan Kapal pada Software Rhinoceros

2.3.2. Pembuatan Model Kapal

Dalam pembuatan model kapal sangat penting untuk dilakukan penentuan Skala dikarenakan untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau yang di sebut blockage effect dimana ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model kapal. Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan penentuan skala yang bertujuan untuk mewakili aktual *model* kapal. Menurut harvald, penentuan lebar model (B_m) adalah sebagai berikut:

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

Diketahui:

$$\begin{aligned} B \text{ tangki} &= 4 \text{ m} \\ &= 1/10 \times 4 \\ &= 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka lebar model yang digunakan untuk menghindari adanya blockage effect yaitu $< 0,4 \text{ m}$. Berdasarkan perhitungan dari persamaan di atas, maka penentuan skala model kapal dapat ditentukan melalui Tabel berikut:

BS (m)	Skala	BM (m)
2,60	1: 20	0,13
2,60	1: 17	0,15
2,60	1: 15	0,17
2,60	1: 12	0,21



Tabel di atas, ukuran lebar model kapal yang digunakan yaitu 0,17 m skala yang digunakan untuk ukuran model kapal yaitu 1:15. Pada berdasarkan perhitungan pada Tabel 2 lebar yang didapat

memenuhi ketentuan $< 0,4$ m, tetapi dengan mempertimbangkan kapasitas peralatan pengujian maka diambil skala 1:15 dengan lebar model 0,17. Sehingga bisa didapatkan ukuran utama model kapal sebagai berikut:

Tabel 3 Ukuran Utama Model kapal skala 1:15

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	Length Over All (LOA)	0,70	m
2	Water Length	0,64	m
3	Breadth (B)	0,17	m
4	Depth (H)	0,11	m
5	Draught (T)	0,04	m

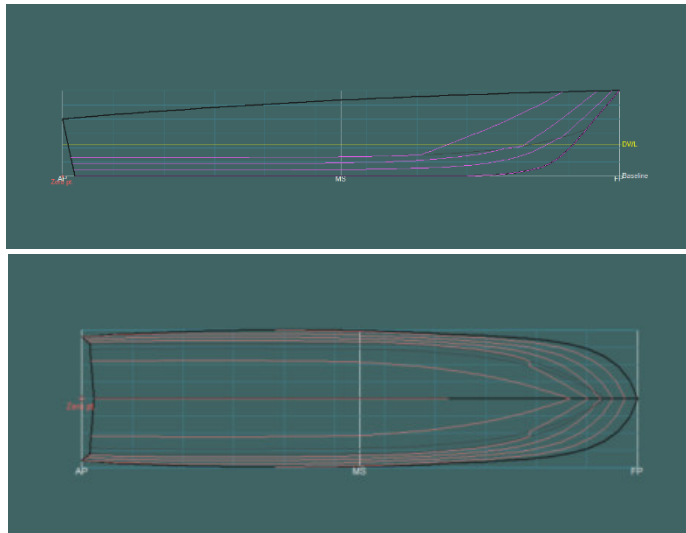
Ukuran ini kemudian digunakan sebagai data untuk membuat model kapal di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pembuatan model dilakukan dengan membuat rangkaian pada beberapa frame setelah melalui tahap design model di *Software Maxsurf Modeler*, lalu dirangkai menjadi rangka model kapal. Beberapa bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan model kapal dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Alat dan Bahan Pembuatan Model kapal

NO	Alat dan Bahan	Satuan	Jumlah
1	Balsa	Lembar	4
2	Tripleks	Lembar	0.5
3	Lem Korea	Botol	4
4	Cutter	Buah	2
5	Mata Cutter	Buah	6
6	Resin Butek	Kg	1
7	Mat 450	Lembar	0,5
8	Katalis	Botol	1
9	PVA	Botol	1
10	Dempul	Kaleng	1
11	Lem Lilin	Batang	8
12	Cat Dasar	Kg	0,5
13	Cat Kuning	Kg	0,5
14	Spidol	Buah	1
15	Kuas	Buah	3
16	Amplas	Meter	1,5
17	Pisau Dempul	Buah	3
18	Waterpast	Buah	1



p dalam pembuatan model kapal cepat sebagai berikut:
Rangka kapal dilakukan pada aplikasi Maxsurf Modeler:



Gambar 9 Pemodelan kapal menggunakan *maxsurf modeller*

2. Gambar model yang telah dibuat kemudian dibagi menjadi beberapa section yang bertujuan untuk memudahkan dalam perakitan model.
3. Print gambar section dan tempelkan ke tripleks yang akan dijadikan frame section kemudian dilakukan pencetakan frame menggunakan cutting laser.
4. Setelah pencetakan frame dilakukan, selanjutnya merangkai frame tersebut menjadi rangka model kapal.
5. Frame yang sudah terpasang secara keseluruhan selanjutnya dapat dipasang kulit membentuk pola dari susunan frame tersebut.
6. Selanjutnya dilakukan pengolesan resin yang telah di campur dengan katalis yang bertujuan untuk menguatkan permukaan model serta menutup bagian yang tidak bisa dijangkau oleh pemasangan kulit.
7. Permukaan yang belum rata kemudian diratakan menggunakan amplas
8. Setelah permukaan lambung kapal halus, maka dilanjutkan tahap pengecatan dengan warna dasar.

2.3.3 Pengujian straight speed di Towing Tank

Pada pengujian model ini, dilakukan uji dengan beberapa kondisi kecepatan pada kondisi air tenang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi trim kapal dengan kecepatan tertentu dan nantinya akan dilakukan penempatan *vortex generator* yang akan disimulasikan pada software Ansys Fluent untuk mengetahui pengaruh *vortex generator*. Hal yang perlu diperhatikan untuk eksperimen ini adalah:

1. Persiapan Towing Tank (tangki pengujian) harus diperiksa dan dikondisikan
 atam, model dan kolam.
 dan perlengkapan yang dibutuhkan yaitu;
 uji
 ini digunakan sebagai tempat Bergeraknya kapal di dalam dan di
 kaan air.
 Engine
 pengujian ini kecepatan diatur pada mesin yang dipasang pada



- model kapal.
- c. Propeller
Model ini dipasang propeller untuk menghasilkan daya dorong kapal.
 - d. Rudder
Kemudi dipasang untuk mengontrol arah jalannya model agar tetap lurus
 - e. Kamera
Kamera yang digunakan diletakkan sejauh 10 meter dari garis start model berjalan yang bertujuan untuk menangkap gambar pada saat kecepatan kapal sudah stabil agar didapatkan kondisi trim kapal.
 - f. Alat Pengukur Waktu
Saat pengujian diperlukan alat pengukur waktu yang bertujuan untuk menghitung berapa waktu yang ditempuh kapal pada saat diberikan beberapa variasi kecepatan yang telah ditentukan.

2.3.4 Matriks Waktu Pengujian

Matriks waktu pengujian diperlukan untuk mengetahui berapa lama tiap tahapan pengujian dilakukan. Matriks waktu pengujian secara rinci dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:



Tabel 5 Matriks waktu pengujian

No	Tahapan	Waktu
1	Menghubungkan mesin dengan ESC	2 detik
2	Menghubungkan ESC dengan Receiver	2 detik
3	Menghubungkan ESC dengan Baterai	2 detik
4	Menyalakan remote control	5 detik
5	Menghubungkan mesin dengan Remote Control	60 detik
6	Memastikan Remote Control terhubung dengan Model	5 detik
7	Memastikan Kondisi Perangkat uji (timer, joki model, dan start up)	10 detik
8	Memastikan Model bergerak dengan kecepatan yang diinginkan	10 detik
9	Mengatur posisi kamera	20 detik

2.3.5 Matriks Kebutuhan Pengujian

Matriks kebutuhan pengujian merupakan rincian kebutuhan yang diperlukan selama pengujian. Matriks kebutuhan pengujian secara rinci memiliki spesifikasi sebagai berikut: Tabel 6. Matriks kebutuhan pengujian

Tabel 6 Matriks kebutuhan pengujian

No	Peralatan	Spesifikasi	Gambar	Jumlah
	Model Kapal			2
	(Elektronic speed control)	120 A		1
	Remote control	Jarak Maksimal 150 m		1



4	Receiver	6 channel		1
5	Baterai 3 sel	1500mAh		1
6	Motor DC brushless	2445-5400KV		1
7	Daun Propeller	Diameter 40 mm		1
8	Shaft	diameter 3 mm		1
9	Flexible joint	4 mm		1
10	Rudder			1
11	Selang cooler			1

2.3.6 Prosedur Pengujian

Sebelum melakukan eksperimen pengujian tahanan kapal perlu dilakukan langkah- langkah sebagai berikut :

1. Kondisi air di dalam kolam towing tank harus dipastikan tenang.
2. ESC (Electronic Speed Control) telah terpasang dengan Battery.
3. Rudder, Shaft dan Propeller serta semua baut-baut lengkap dan dalam kondisi baik.
4. Remote Control dan Receiver dalam kondisi baik dan siap digunakan. Setelah melakukan langkah persiapan selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan kapal melalui prosedur pengujian sebagai berikut:
 - a. Semua peralatan yang akan digunakan dihubungkan:
 1. Mesin dengan ESC dihubungkan
 2. ESC dengan receiver dihubungkan
 3. ESC dengan baterai dihubungkan
 4. Remote control dinyalakan
 5. Mesin dengan remote control dihubungkan.
 - b. Pasang propeller
 - c. Pasang beban pemberat pada kapal hingga sarat kapal terpenuhi.
 - d. Ukur jarak pengujian model sepanjang 10 m dengan dipasangkan la garis finish.
 - e. Siapkan stopwatch untuk mengetahui berapa waktu yang digunakan untuk melewati jarak 10 m setiap beberapa variasi kecepatan.
 - f. Siapkan kamera untuk menangkap kondisi kapal pada jarak 10 m



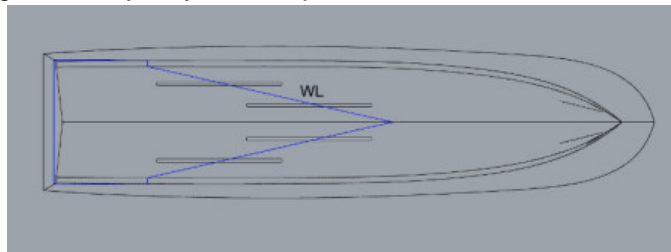
- f. Mengatur kecepatan pada remote control yang akan digunakan
- g. Meletakkan model kapal pada posisi garis start.
- h. Kapal siap diuji dan dikontrol oleh Remote Control.

2.3.7 Pemodelan *Vortex Generator*

Pada tahap ini, Pemodelan kapal yang telah dilakukan pada aplikasi *Maxsurf Modeler* pada aplikasi *Rhinoceros* untuk masuk pada pada tahap pemodelan VG. Pada penelitian ini VG diberikan beberapa variasi panjang untuk melihat efektivitas penggunaannya terhadap tahanan kapal pada lambung kapal saat kondisi trim dan kecepatan tertentu dari hasil experiment di towingtank.

Langkah-langkah pemodelan VG yaitu sebagai berikut:

1. Setelah dilakukannya experiment model di towingtank maka akan didapatkan kondisi trim dengan kecepatan tertentu. Setelah itu penempatan *vortex generator* dapat ditentukan dengan posisi VG yang sejajar dan berpotongan dengan waterline saat dalam kondisi planing dan body kapal yang memungkinkan terjadinya flow separation.

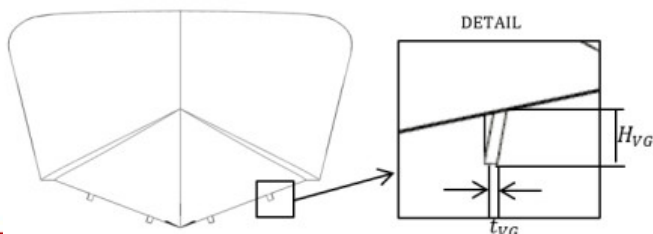


Gambar 10 Penempatan *vortex generator*

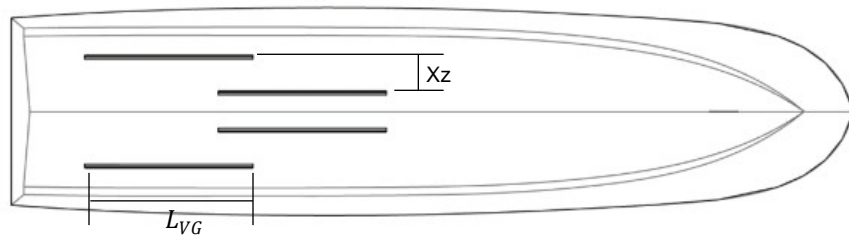
2. Sebelum memulai pemodelan, dimensi utama *vortex generator* (variasi panjang, lebar, ketebalan) dan posisinya ditentukan. Rincian dimensi ini disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Dimensi utama *vortex generator*

No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	Panjang (L_{VG})	(0,2~0,5Loa)	m
2	Tinggi (H_{VG})(fixed)	0,0025	m
3	Tebal (t_{VG})(fixed)	0,0020	m

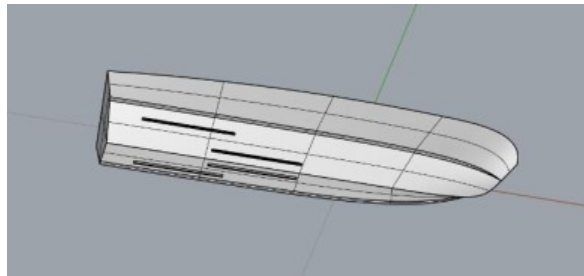


Gambar 11 Front View kapal setelah dipasang *vortex generator*



Gambar 12 Bottom view model setelah dipasang *vortex generator*

- Setelah semua permukaan VG selesai, Tahap selanjutnya adalah menggabungkannya menjadi model solid. Di sini, perintah Join digunakan untuk menggabungkan semua permukaan yang telah dibuat menjadi satu objek solid. Pengguna cukup memilih semua permukaan yang relevan dan menjalankan perintah Join untuk memastikan bahwa semua tepi permukaan saling terhubung dengan baik tanpa celah dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13 Tampilan model kapal solid

- Setelah itu model dapat disimpan dalam bentuk .IGS atau .STEP

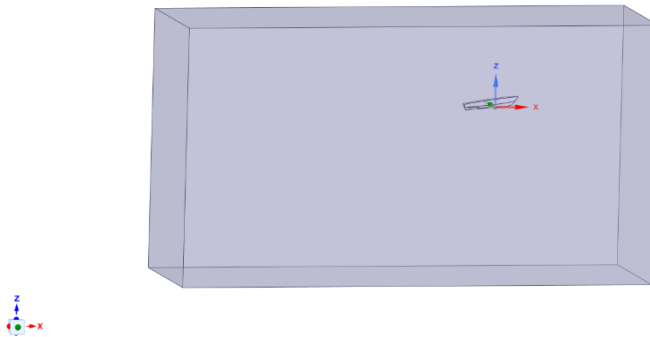
2.4 Simulasi Autodesk Ansys

Simulasi numerik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan software Ansys Simulation 2021. Simulasi ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Geometry

Tahap Geometry adalah tahap pemodelan yang dilakukan dalam program ANSYS Design Modeler. Pada tahap ini dilakukan import model yang telah dibuat di Software Rhinoceros 6, kedalam aplikasi ANSYS Design Modeler. Setelah file berhasil di import maka selanjutnya adalah membuat domain percobaan berbentuk balok yang akan digunakan sebagai tangki pengujian model. Adapun visualisasi tahap geometry sebagai berikut.

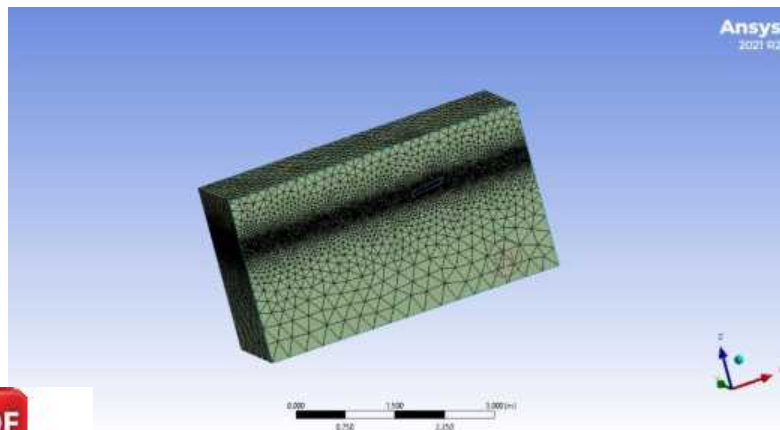




Gambar 14 Visual terhadap *geometry* model kapal

2. Mesh Sizing

Pada tahap ini geometri model dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang disebut *cell* dan disetiap ujung *cell* disebut sebagai elemen. Metode yang digunakan yaitu *Finite Element Method* (FEM), dengan statistik jumlah elemen mesh pada model. Pada tahap mesh juga dilakukan penamaan untuk setiap dinding dari tangki percobaan dan juga pada model kapal. Penamaan dinding pada bagian haluan yaitu *inlet*, pada bagian buritan yaitu *outlet*, pada bagian atas yaitu *top*, bagian bawah yaitu *bottom*, dinding luar yaitu *side*, dinding dalam yaitu *symmetry*, dan untuk model dinamakan *hull*. Visualisasi pada tahap mesh sizing dapat dilihat sebagai berikut.



5 Visual terhadap *mesh sizing* model kapal dan boundary layer

dilakukan beberapa proses sebagai berikut:



a proses penginputan yang dilakukan pada tahap ini yaitu pemilihan

viscous dan multiphase. Adapun viscous yang digunakan adalah shear stress transport (SST) K-Omega dikarenakan menggunakan aliran yang kompleks. Multiphase diaktifkan dengan menggunakan volume of fluid agar interaksi antara air dengan udara dapat terlihat.

b. Material

Pendefinisian jenis material pada penelitian ini ada 2 tipe yang digunakan yaitu, tipe *solid* dengan jenis baja (*steel*) untuk model kapal sedangkan fluida jenis *air* (udara) dan *water liquid* (air) untuk *boundary layer*.

c. Boundary Condition

Pada tahap ini dilakukan proses input kecepatan (*velocity*), tekanan (*pressure*) dan kondisi *wall/symmetry* pada dinding tangki pengujian. Kecepatan didefinisikan sebagai kecepatan fluida yang mempunyai nilai sama dengan kecepatan kapal diletakkan pada dinding didepan haluan dan berlawanan arah dengan model kapal (inlet) sedangkan untuk *pressure* di letakkan pada dinding di belakang buritan (outlet) dan pada dinding samping, atas dan bawah model kapal dikondisikan sebagai *wall* dan untuk dinding tengah dikondisikan sebagai *symmetry*.

4. Solution

Solution adalah tahapan proses menjalankan perhitungan numerik. Setelah semua komponen input dan output telah dimasukkan, selanjutnya dilakukan proses solution. Pada tahap ini dilakukan penginputan report plots berupa *drag force* pada lambung kapal dan juga pengaturan nilai convergence sebagai kontrol pada saat proses simulasi dilakukan. Pada penelitian ini solution mode yang digunakan adalah aliran fluida steady state dengan total sekitar 200-an iterasi per kecepatan kapal.

2.5 Verifikasi

Pada tahap ini dilakukan proses input material yang terdiri dari dua tipe, yaitu solid dengan jenis baja (*steel*) untuk model kapal dan *fluid* dengan jenis *sea water (liquid phase)* untuk *boundary layer*.

1. Jika pemodelan yang dilakukan tidak sesuai dengan karakteristik hidrostatis kapal sebenarnya.
2. Jika syarat perbandingan kapal menggunakan *vortex generator* dan tanpa menggunakan *vortex generator* tidak memenuhi.
3. Jika proses *running* tidak dapat dilakukan.
4. Jika hasil simulasi yang didapatkan tidak logis.

Apabila kondisi diatas tidak ditemukan, maka tahap selanjutnya dapat dilakukan, yakni analisis terhadap data yang dihasilkan pada simulasi.

2.6 Analisa data



es running dan verifikasi telah selesai, maka secara otomatis arkan beberapa hasil sesuai parameter dan karakteristik yang telah asil yang dikeluarkan antara lain:

g force)
: *pressure*
tude

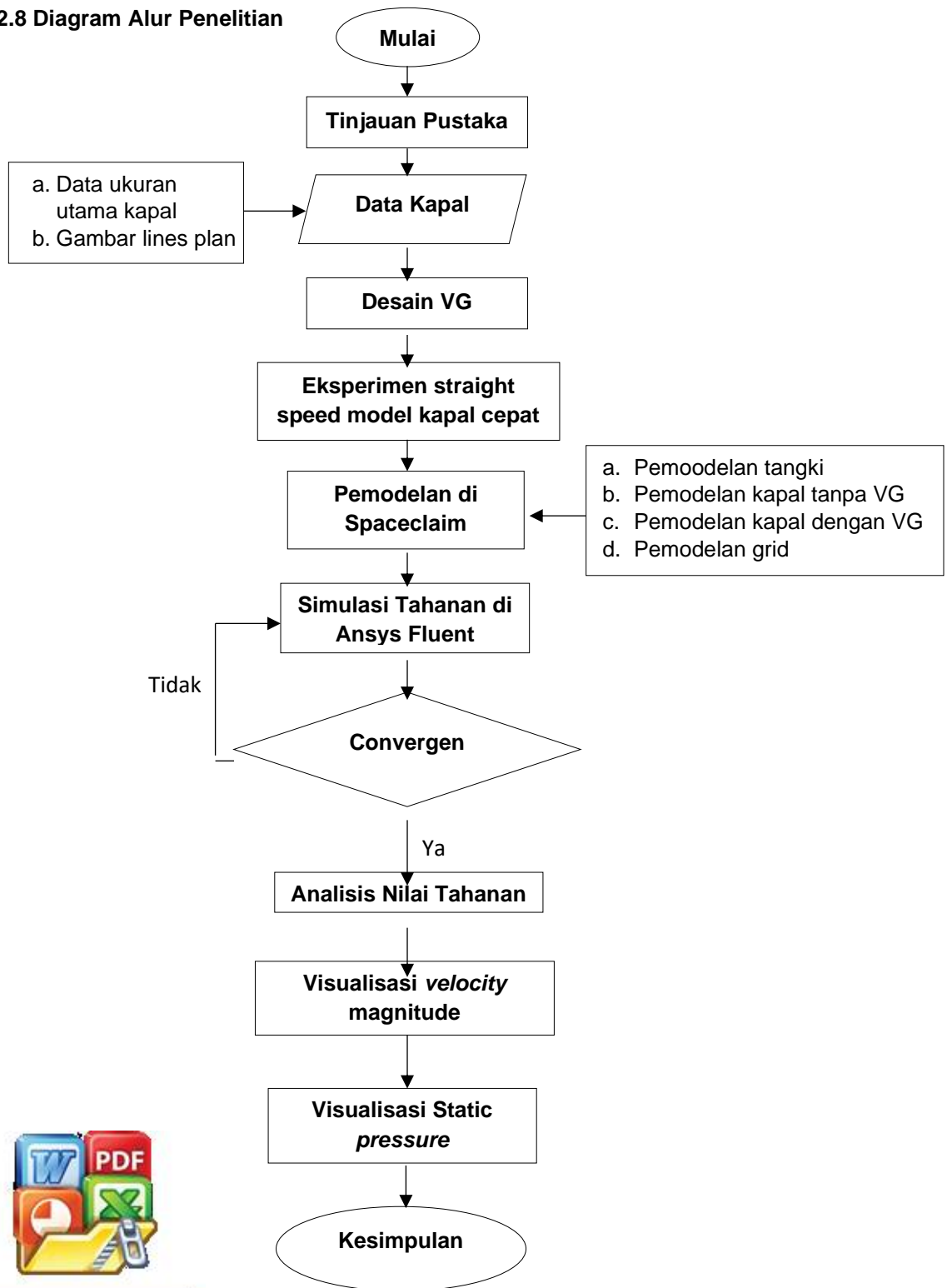
4. Visualisasi karakteristik aliran fluida, yaitu: pola aliran, *wave profile*, vektor *vorticity magnitude*, *static pressure*, *velocity magnitude* dan sebagainya.

2.7 Kesimpulan

Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, kemudian ditarik kesimpulan dari analisa dan sekaligus menjawab rumusan masalah pada penelitian ini.



2.8 Diagram Alur Penelitian





Optimized using
trial version
www.balesio.com