

**PENGARUH PENAMBAHAN HYDROFOIL PADA LAMBUNG
HOVERWING TERHADAP GAYA ANGKAT SEBELUM *TAKE OFF*
DENGAN PENDEKATAN CFD**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
JURUSAN INDUSTRI MARITIM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI KEMARITIMAN
UNIVERSITAS MARITIM RAJA ALI HAJI**

2025

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN HYDROFOIL PADA LAMBUNG
HOVERWING TERHADAP GAYA ANGKAT SEBELUM *TAKE OFF*
DENGAN PENDEKATAN CFD**



USULAN SKRIPSI

Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Derajat
Sarjana Teknik (S1)

Telah mengetahui dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Muhd. Ridho Baihaque, S.T., M.Sc

NIP. 199407302022031012

Pembimbing II

Ir. Anton Hekso Yuniyanto, S.T., M.Si

NIP. 1979061120242110001

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Lambung
Hoverwing Terhadap Gaya Angkat Sebelum *Take Off*
Dengan Pendekatan CFD
Nama : Valentino Albert Simanullang
NIM : 2101030033
Program Studi : Teknik Perkapalan

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 01 juli 2025

Susunan Tim Pembimbing dan Dewan Penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan
Pembimbing I	: Muhd Ridho Baihaque, S.T., M.Sc.	
Pembimbing II	: Ir. Anton Hekso Yuniarto, S.T., M. Si.	
Ketua Penguji	: Ir . Eko Prayento, S.T., M.Eng.	
Anggota	: Deny Nusyirwan, S.T., M.Sc.	
	: Firman Apriansyah, S.Si, M.T.	

Tanjungpinang, 01 juli 2025
Universitas Maritim Raja Ali Haji
Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman




Martaleli Bettiza, S.Si., M.Sc.
NIPPK. 197508282021212006

MOTTO

"Bersyukurlah dalam segala hal, sebab itulah yang dikehendaki Allah di dalam Kristus Yesus bagi kamu."

-1 Tesalonika 5:18-

"Marbisuk ma ho songon ulok marroha ma songon darapati"

-Umpama Batak-

"Kamu bisa jika kamu Memulai"

-Valentino-

"HO SAONARI, HO HADUAN"



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini lahir dari inspirasi mendalam atau dorongan emosional. Hasil dari proses yang harus diselesaikan, Satu tahap dituntaskan sebelum berpindah ke tahap berikutnya. Terima kasih kepada Yesus Kristus terlebih dahulu, bukan karena sebuah keharusan keagamaan, tetapi karena dalam diam dan tanpa interupsi, Ia tetap menjadi pusat keberadaan ini terlepas dari keberhasilan maupun kegagalan. Bukan dalam bentuk teriakan syukur, bukan pula dalam bentuk pujian yang dibuat-buat, tetapi dalam pengakuan yang sunyi bahwa tanpa Dia, tidak ada satu hal pun yang berjalan sebagaimana mestinya. Kepada kedua orang tua tercinta, yang tidak pernah memaksa tetapi terus hadir. Yang tidak membanjiri dengan motivasi atau nasihat panjang, tetapi cukup ada, cukup stabil, dan cukup kuat untuk dijadikan tempat berpijak diam-diam. Mereka tidak menuntut terima kasih, tidak mengharapkan penghargaan, tetapi justru karena itulah mereka layak disebut di sini. Dalam proses yang penuh kejenuhan dan repetisi ini, keberadaan mereka, meskipun tidak selalu tampak, adalah fondasi yang membuat langkah tetap berjalan. Bukan karena mereka sempurna, tetapi karena mereka bertahan. Dan itu cukup.

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya mahasiswa yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Valentino Albert Simanullang

NIM : 2101030033

Tempat, Tanggal Lahir: Sosor Tambok, 12 Februari 2004

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul Pengaruh Penambahan Hydrofoil pada Lambung Hoverwing terhadap Gaya Angkat sebelum Take Off dengan Pendekatan CFD adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari Peneliti lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Jika kemudian hari ternyata terbukti pernyataan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku di Universitas Maritim Raja Ali Haji.

Tanjungpinang, 01 Juli 2025

Yang menyatakan,



Valentino Albert Simanullang

2101030033

KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, Puji dan syukur saya panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan berkat, petunjuk dan kekuatanNYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Lambung Hoverwing Terhadap Gaya Angkat Sebelum Take Off Dengan Pendekatan CFD”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program sarjana di Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman Universitas Maritim Raja Ali Haji. Dalam proses penyusunannya, Penulis menyadari bahwa pencapaian ini bukanlah hasil dari usaha sendiri, melainkan buah dari Doa, Bimbingan dan Dukungan dari berbagai pihak.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan secara tulus kepada:

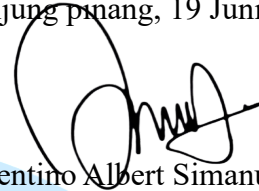
1. Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu menyertai, memberikan rahmat dan kekuatan dalam pengerjaan skripsi ini;
2. Kedua Orang Tua penulis, Nelson Simanullang dan Riris Lumban Batu yang selalu memberikan dukungan yang tidak perlu diteriakkan dan dalam diam selalu mendoakan dan menopang;
3. Terima kasih kepada Prof. Dr. Agung Dhamar Syakti, S.Pi., DEA selaku Rektor Universitas Maritim Raja Ali Haji beserta jajarannya yang telah memberi kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini;
4. Rasa hormat dan terima kasih kepada Bapak Muhd. Ridho Baihaque, S.T., M.Sc selaku kepala program studi teknik perkapalan sekaligus Pembimbing I, atas kesediaannya membimbing secara sabar dan konsisten, serta memberikan arahan yang jelas di setiap tahapan penyusunan skripsi ini.
5. Rasa hormat dan terima kasih kepada Bapak Ir. Anton Hekso Yunianto, S.T., M.Si selaku pembimbing akademik sekaligus Pembimbing II, atas kesediaan dan ketelitian dalam membimbing penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada dosen penguji, atas waktu, perhatian, serta tanggapan yang diberikan terhadap isi dan penyajian skripsi ini.

Masukan yang disampaikan menjadi bagian penting dalam penyempurnaan skripsi ini.

7. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh dosen di Program Studi Teknik Perkapalan, yang selama ini telah mendidik, membimbing, dan memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan. Setiap materi yang diajarkan menjadi bagian penting dalam membentuk cara berpikir dan menyelesaikan karya ini.
8. Ucapan terima kasih penulis sampaikan untuk dosen dan staff dilingkungan fakultas teknik dan teknologi kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji yang tidak saya sebutkan satu persatu.
9. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan di PT. Bintang Bahari Industri, yang telah membuka ruang belajar dan memberikan pengalaman praktis yang sangat berharga selama masa magang, sekaligus mendukung kelengkapan data dalam penelitian ini
10. Saudara sedarah, Yuni Hartati Simanullang, Samuel Simanullang, Heskia Simanullang, Natan Simanullang dan Petra Simanullang. Terima kasih untuk percakapan singkat, gangguan kecil, dan candaan ringan yang entah bagaimana membantu menjaga kewarasan;
11. Terima kasih dan rasa hormat untuk teman-teman teknik perkapalan angkatan 21. Disetiap ilmu dan pelajaran yang berharga, menjadi motivasi untuk berjuang sampai di titik ini.
12. Untuk seseorang yang tak pernah terlihat di barisan resmi, namun perannya terasa di sela-sela jeda dan lelah. Terima kasih telah menjadi tenang saat pikiran tak tenang, dan menjadi diam yang mengerti saat kata-kata tidak cukup.
13. Rekan-rekan seperjuangan diperantauan; Boas, Angga, Riyan, Rijon, Hagai, Olo, Kristian, Rony, Julianto, Febri, Novri dan enjel. Teman-teman berbagi suka dan duka mulai dari semester satu.
14. Halak Hita geng untuk lingkaran kecil yang mungkin tidak besar, tapi selalu cukup. Terima kasih untuk segala tawa, teguran, dan kehadiran tanpa syarat. Tanpa sadar, kalian ikut membantu menyelesaikan ini.

Penulis hanya bisa mengucapkan terima kasih, meski barangkali tidak sebanding dengan segala bentuk dukungan yang telah diterima. Semoga karya ini bisa menjadi balasan kecil yang bernilai.

Tanjungpinang, 19 Juni 2025



Valentino Albert Simanullang

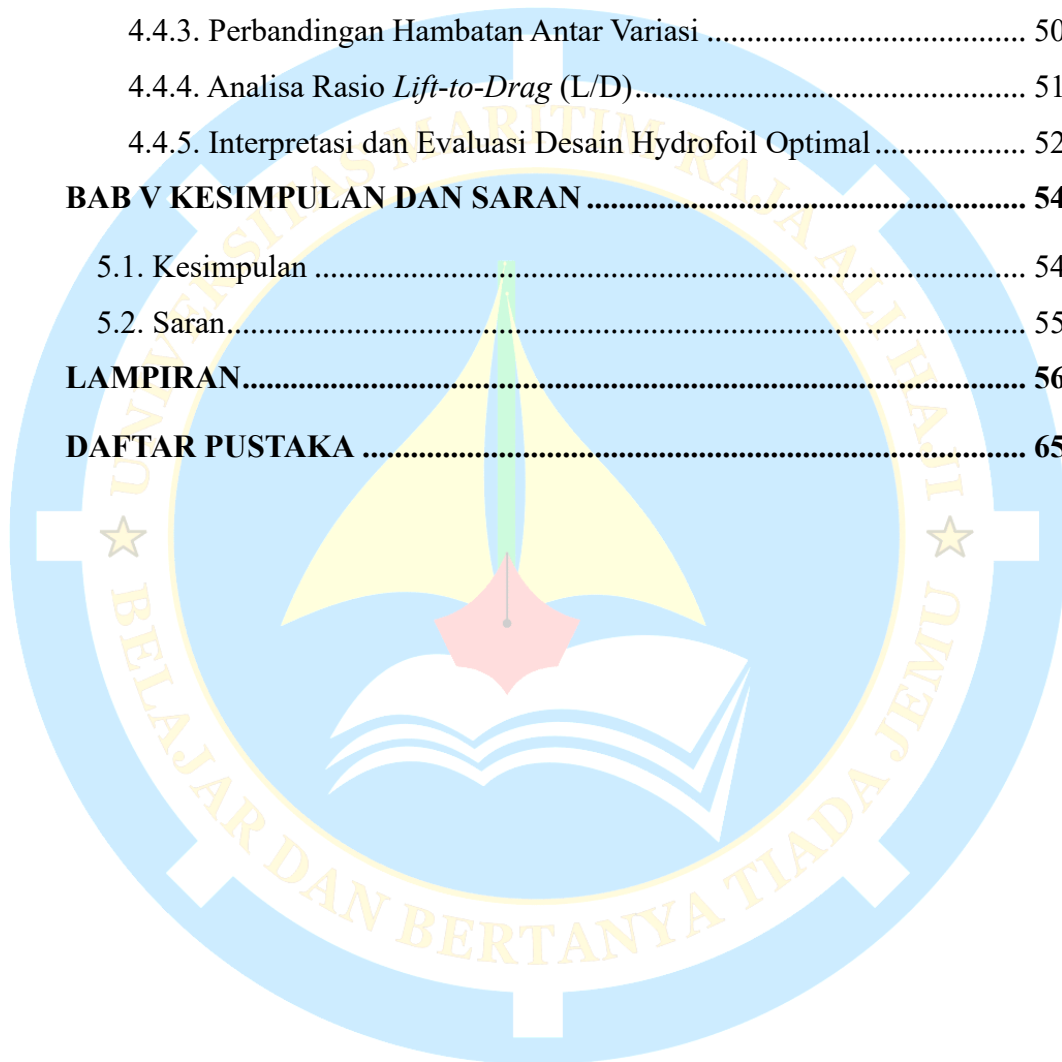


DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Pengertian dan sejarah Hoverwing.....	7
2.3. Lambung Catamaran	8
2.3.1. Lambung Catamaran Simetris.....	9
2.3.2. Lambung Catamaran Asimetris <i>Flat</i> side Inside.....	9
2.3.3. Lambung Catamaran Asimetris <i>Flat</i> Side Outside.....	10
2.4. Karakteristik Hydrofoil NACA.....	10

2.4.1. Seri 4-Digit.....	11
2.4.2. Koefisien <i>Lift</i> dan Koefisien <i>Drag</i>	13
2.5. Software Pemodelan dan Analysis	16
2.5.1. Rhino Ceros.....	16
2.5.2. Ansys	16
2.6. Metode CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Tempat Penelitian	19
3.2. Jenis Penelitian.....	20
3.3. Diagram Alur Penelitian.....	20
3.4. Variabel Penelitian	21
3.4.1. Variabel Bebas.....	21
3.4.2. Variabel Terikat	22
3.5. Metode Simulasi CFD.....	22
3.5.1. Pemodelan Geometri.....	22
3.5.2. Meshing.....	22
3.5.3. Penetapan Kondisi Batas.....	22
3.5.4. Proses Simulasi dan Analisis Hasil	22
3.6. Metode Pengolahan Data	22
3.6.1. Analisis Kuantitatif.....	23
3.6.2. Validasi Data	23
3.7. Instrumen Penelitian.....	23
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1. Pembuatan Model.....	24
4.1.1. Model Lambung (Fuselage Hoverwing)	24
4.1.2. Model Hydrofoil	26
4.2. Variasi Lambung menggunakan Hydrofoil	29
4.3. Analisa Model	31
4.3.1 Analisa Aliran Fluida.....	33
4.3.2. Lambung <i>Hoverwing</i>	40

4.3.3. <i>Flat</i> Hydrofoil	41
4.3.4. <i>Front sweep</i> Hydrofoil	43
4.3.5. <i>Back sweep</i> Hydrofoil	45
4.4. Perbandingan dan Hasil	48
4.4.1. Tabel Ringkasan Hasil Simulasi.....	48
4.4.2. Perbandingan Gaya Angkat Antar Variasi.....	49
4.4.3. Perbandingan Hambatan Antar Variasi	50
4.4.4. Analisa Rasio <i>Lift-to-Drag</i> (L/D).....	51
4.4.5. Interpretasi dan Evaluasi Desain Hydrofoil Optimal.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran.....	55
LAMPIRAN.....	56
DAFTAR PUSTAKA	65



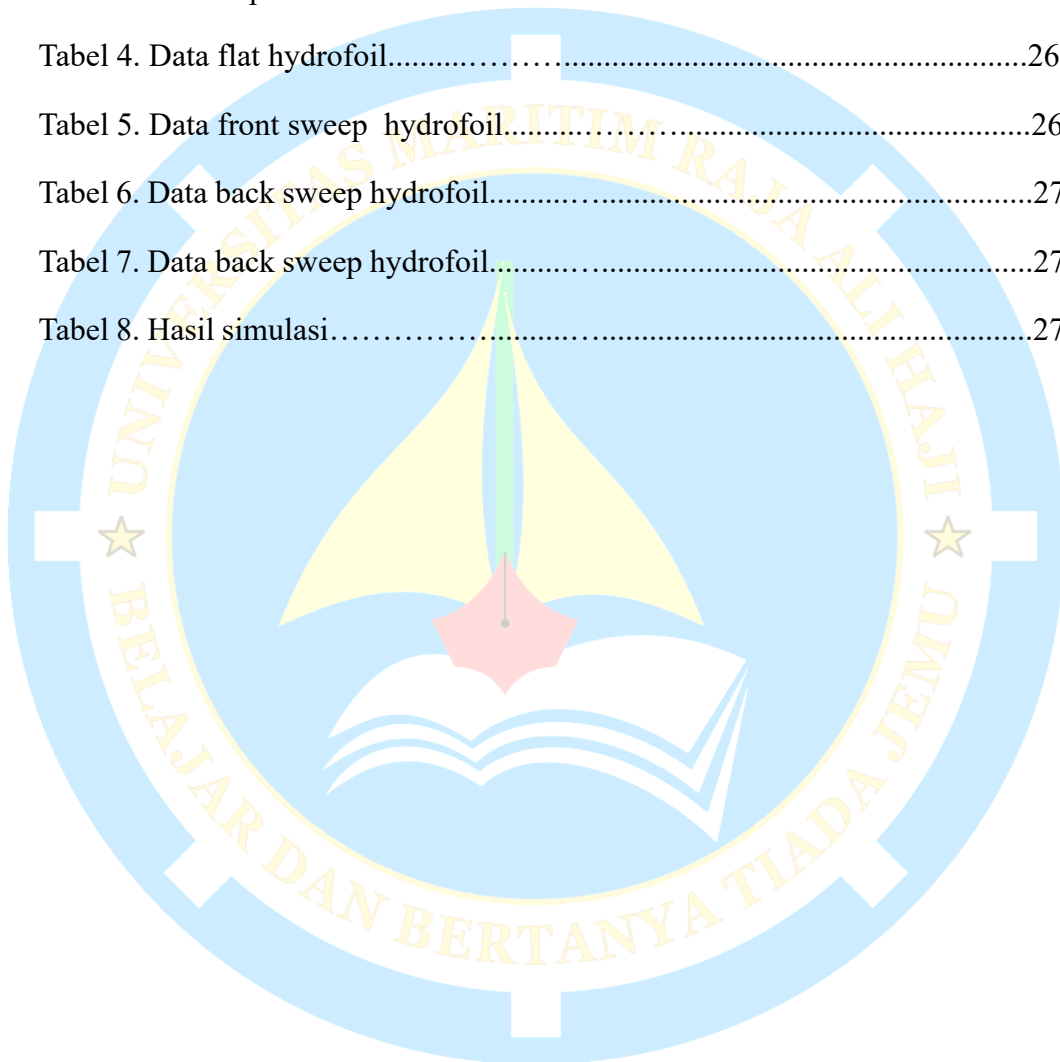
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hoverwing.....	7
Gambar 2. Lambung Catamaran Hoverwing.....	8
Gambar 3. Lambung Catamaran Simetris.....	8
Gambar 4. Lambung Catamaran Asimetris <i>Flat</i> side Inside.....	9
Gambar 5. Lambung Catamaran Asimetris <i>Flat</i> side Outside.....	9
Gambar 6. Airfoil seri NACA.....	10
Gambar 7. NACA 4412.....	11
Gambar 8. Proses terbentuknya gaya angkat.....	13
Gambar 9. resultan gaya hydrofoil.....	13
Gambar 10. Dsitribusi Tekanan.....	14
Gambar 11. Distribusi Viskos.....	14
Gambar 12. Gaya <i>Lift</i> dan <i>Drag</i>	14
Gambar 13. Software RhinoCeros.....	17
Gambar 14. Software Ansys.....	17
Gambar 15. Denah Kampus Senggarang.....	19
Gambar 16. PT. Bintan Bahari Industri.....	19
Gambar 17. Diagram Alur Penelitian.....	21
Gambar 18. Data Pembanding.....	25
Gambar 19. General Arrangement Hoverwing.....	26
Gambar 20. Desain Lambung Hoverwing.....	26
Gambar 21. Koordinat Foil Naca-4412.....	27
Gambar 22. <i>Flat Hydrofoil</i>	28
Gambar 23. <i>Front Sweep Hydrofoil</i>	29
Gambar 24. <i>Back Sweep Hydrofoil</i>	29

Gambar 25. Variasi Flat Hydrofoil.....	30
Gambar 26. Variasi Front Sweep Hydrofoil.....	30
Gambar 27. Variasi Back Sweep Hydrofoil.....	31
Gambar 28. Tampilan spaceclaim variasi flat hydrofoil.....	32
Gambar 29. Hasil meshing Model variasi flat hydrofoil.....	32
Gambar 30. Tampilan ansys flent model variasi flat hydrofoil.....	32
Gambar 31. Distribusi Tekanan Variasi Flat Hydrofoil	33
Gambar 32. Distribusi Tekanan Variasi Front Sweep Hydrofoil.....	34
Gambar 33. Distribusi Tekanan Variasi Back Sweep Hydrofoil.....	34
Gambar 34. Distribusi Kecepatan pada variasi Flat Hydrofoil.....	36
Gambar 35. Distribusi Kecepatan pada variasi Front Sweep Hydrofoil	36
Gambar 36. Distribusi Kecepatan pada variasi Back Sweep Hydrofoil.....	37
Gambar 37. Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Flat Hydrofoil.....	38
Gambar 38. Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Front Hydrofoil.....	39
Gambar 39. Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Back Sweep Hydrofoil.....	39
Gambar 40. Hasil analisa lambung Hoverwing.....	41
Gambar 41. Hasil analisa Flat Hydrofoil.....	42
Gambar 42. Hasil analisa front sweep Hydrofoil.....	43
Gambar 43. Hasil analisa back sweep Hydrofoil.....	45
Gambar 44. Hasil Lift dan Drag.....	47
Gambar 45. Ratio Lift dan Drag.....	51
Gambar 43. Hasil analisa back sweep Hydrofoil.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koordinat Airfoil NACA-4412.....	12
Tabel 2. Technical Data.....	23
Tabel 3. Data Kapal.....	25
Tabel 4. Data flat hydrofoil.....	26
Tabel 5. Data front sweep hydrofoil.....	26
Tabel 6. Data back sweep hydrofoil.....	27
Tabel 7. Data back sweep hydrofoil.....	27
Tabel 8. Hasil simulasi.....	27



ABSTRAK

Simanullang, Valentino Albert. 2025. Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Lambung Hoverwing Terhadap Gaya Angkat Sebelum *Take Off* Dengan Pendekatan CFD, Skripsi. Tanjungpinang: Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji. Pembimbing I: Muhd Ridho Baihaque, S.T., M.Sc. Pembimbing II: Ir. Anton Hekso Yunianto, S.T., M.Si.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan hydrofoil terhadap kinerja lambung kapal Hoverwing, terutama dalam hal gaya angkat dan gaya hambat. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2020 R1 pada kecepatan 50 knot, dengan membandingkan empat model berbeda, yaitu tanpa hydrofoil, flat hydrofoil, front sweep hydrofoil, dan back sweep hydrofoil. Setiap model dianalisis untuk melihat bagaimana perubahan desain memengaruhi aliran fluida di sekitar lambung kapal. Dari hasil simulasi, ditemukan bahwa penambahan hydrofoil mampu mengurangi tekanan air yang bekerja langsung pada lambung kapal dan mengalihkan sebagian besar gaya angkat ke struktur hydrofoil. Model flat hydrofoil, misalnya, mampu mengurangi gaya hambat hingga sekitar 698 kN dan menghasilkan gaya angkat sekitar 605 kN dari struktur hydrofoilnya. Selain itu, efisiensi aliran juga meningkat, ditandai dengan naiknya nilai rasio antara gaya angkat dan hambatan. Kesimpulannya, penggunaan hydrofoil dapat memberikan manfaat besar terhadap efisiensi pergerakan kapal. Hasil ini menunjukkan bahwa bentuk dan posisi hydrofoil berperan penting dalam mengoptimalkan gaya angkat serta mengurangi hambatan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kecepatan dan menghemat energi saat kapal beroperasi.

Kata Kunci: *Hydrofoil, Gaya Angkat, Hambatan, CFD*

ABSTRACT

Simanullang, Valentino Albert. 2025. *The Effect of Hydrofoil Addition on Hoverwing Hull Lift Force Before Take-Off Using a CFD Approach*, Thesis. Tanjungpinang: Naval Architecture Department, Faculty of Maritime and Engineering Technology, Maritim Raja Ali Haji University. Supervisor: Muhd Ridho Baihaque, S.T., M.Sc. Co-supervisor: Ir. Anton Hekso Yunianto, S.T., M.Si.

This research was conducted to determine the extent to which the addition of hydrofoils affects the performance of the Hoverwing hull, particularly in terms of lift and drag forces. Simulations were carried out using ANSYS 2020 R1 software at a speed of 50 knots, comparing four different models: without hydrofoil, flat hydrofoil, front sweep hydrofoil, and back sweep hydrofoil. Each model was analyzed to observe how design changes influence the fluid flow around the ship's hull. The simulation results show that the addition of hydrofoils can reduce the water pressure acting directly on the hull and transfer a significant portion of the lift force to the hydrofoil structure. The flat hydrofoil model, for example, was able to reduce drag by approximately 698 kN and generate about 605 kN of lift from its hydrofoil structure. Additionally, flow efficiency improved, as indicated by an increase in the lift-to-drag ratio. In conclusion, the use of hydrofoils offers substantial benefits to the vessel's movement efficiency. These findings demonstrate that the shape and positioning of hydrofoils play a crucial role in optimizing lift and reducing drag, ultimately enhancing speed and conserving energy during operation.

Keywords: Hydrofoil, Lift Force, Drag, CFD

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era saat ini, kemajuan teknologi dalam bidang perkapalan mengalami pengembangan yang begitu signifikan. Seiring semakin majunya industri perkapalan saat ini, semakin banyak perubahan dalam bentuk dan teknologi yang digunakan. Banyak metode yang sudah digunakan agar kapal menghasilkan efisiensi yang tinggi. Diantaranya dengan cara perubahan bentuk lambung, meningkatkan daya mesin, perubahan sistem propulsi, penambahan Hydrofoil dan banyak lagi yang tidak bisa dituturkan satu-persatu.

Hoverwing merupakan salah satu jenis kendaraan *ground effect vehicle* (GEV) yang beroperasi di atas permukaan air dengan memanfaatkan efek bantalan udara. Teknologi ini memungkinkan peningkatan efisiensi aerodinamis sekaligus mengurangi hambatan selama perjalanan. Konsep kerja hoverwing mengadopsi prinsip *Wing-In-Ground effect* (WIG), di mana gaya angkat meningkat secara signifikan saat kendaraan terbang dekat dengan permukaan air dibandingkan dengan penerbangan di ketinggian normal. Namun, salah satu tantangan utama dalam operasional hoverwing adalah fase awal sebelum *take off*. Pada tahap ini, hambatan dari air terhadap lambung masih cukup besar, sehingga memperlambat akselerasi dan meningkatkan konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan kritis.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi hambatan hidrodinamis pada fase *take off* adalah pemasangan hydrofoil pada lambung hoverwing. Hydrofoil merupakan struktur berbentuk sayap yang dipasang di bawah lambung kapal atau kendaraan air untuk menciptakan gaya angkat hidrodinamis. Dengan memanfaatkan hydrofoil, interaksi langsung antara lambung dan permukaan air dapat dikurangi, yang pada akhirnya menurunkan gaya hambat dan mempercepat transisi ke mode terbang.

Meskipun manfaat hydrofoil telah banyak dibahas dalam penelitian terkait perkapalan dan kendaraan berbasis ground effect, masih sedikit kajian yang secara khusus meneliti pengaruhnya terhadap hoverwing dalam fase sebelum *take off*.

Sebagian besar studi berfokus pada optimalisasi desain WIG craft saat kendaraan sudah melayang atau mengudara, tanpa memperhitungkan peran hydrofoil dalam mempercepat transisi dari mode kapal ke mode terbang. Oleh sebab itu, masih diperlukan analisis lebih lanjut untuk memahami bagaimana pengaruh hydrofoil dapat memengaruhi performa hoverwing dalam fase ini.

Selain aspek desain, faktor-faktor seperti sudut serang (*angle of attack*) dan lokasi pemasangan juga berperan penting dalam menentukan efisiensi aerodinamis hoverwing. Studi yang dilakukan oleh (suryadi, 2016) mengungkapkan bahwa pengaturan sudut serang hydrofoil yang tepat dapat meningkatkan gaya angkat hingga 25%, sehingga memungkinkan pengaruh langsung terhadap akselerasi sebelum *take off*. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai parameter-parameter ini diperlukan agar desain hydrofoil dapat dioptimalkan sesuai dengan karakteristik hoverwing yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk mengkaji pengaruh hydrofoil secara lebih rinci, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) akan digunakan dalam penelitian ini.

CFD merupakan teknik simulasi berbasis numerik yang digunakan untuk menganalisis perilaku aliran fluida, distribusi tekanan, serta interaksi gaya hidrodinamis dan aerodinamis pada hoverwing. Melalui simulasi CFD, berbagai skenario dapat diuji dengan variasi desain hydrofoil, seperti sudut serang, posisi pemasangan, dan bentuk profilnya. Pendekatan ini memungkinkan pemilihan konfigurasi terbaik yang mampu mengoptimalkan gaya angkat sekaligus mengurangi hambatan selama fase transisi ke mode terbang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh penambahan hydrofoil pada lambung hoverwing dapat meningkatkan efisiensi transisi dari mode kapal ke mode terbang. Dengan pendekatan berbasis simulasi CFD, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai pengaruh hydrofoil terhadap gaya angkat dan hambatan pada fase awal operasional hoverwing. Selain itu, penelitian ini juga akan membandingkan performa hoverwing dengan dan tanpa hydrofoil untuk menilai efektivitas modifikasi yang diterapkan. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi hoverwing yang lebih efisien dan aplikatif, baik untuk

sektor transportasi, pertahanan, maupun penggunaan komersial lainnya. Seiring dengan berkembangnya teknologi kendaraan berbasis ground effect, pemanfaatan hydrofoil berpotensi menjadi inovasi yang signifikan dalam meningkatkan performa hoverwing secara keseluruhan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan desain hoverwing yang lebih optimal di masa mendatang. oleh karena itu peneliti bertujuan untuk membuat penelitian yang berjudul ” PENGARUH PENAMBAHAN HYDROFOIL PADA LAMBUNG HOVERWING TERHADAP GAYA ANGKAT SEBELUM *TAKE OFF* DENGAN PENDEKATAN CFD”

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat adalah:

- a. Bagaimana pengaruh sebelum dan sesudah menggunakan hydrofoil terhadap pengurangan draft pada lambung Hoverwing?
- b. Berapa hambatan dan gaya angkat yang dihasilkan Hydrofoil terhadap lambung Hoverwing?
- c. Variasi hydrofoil yang memberikan hasil yang optimum?

1.3. Tujuan Penelitian

Untuk menjawab rumusan masalah yang sudah dibuat, pada penelitian memiliki tujuan sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh sebelum dan sesudah menggunakan hydrofoil terhadap pengurangan draft lambung hoverwing.
- b. Mengetahui hambatan dan gaya angkat yang dihasilkan hydrofoil pada lambung hoverwing.
- c. Mengetahui variasi hydrofoil yang memberikan hasil yang optimum.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada skripsi ini yaitu:

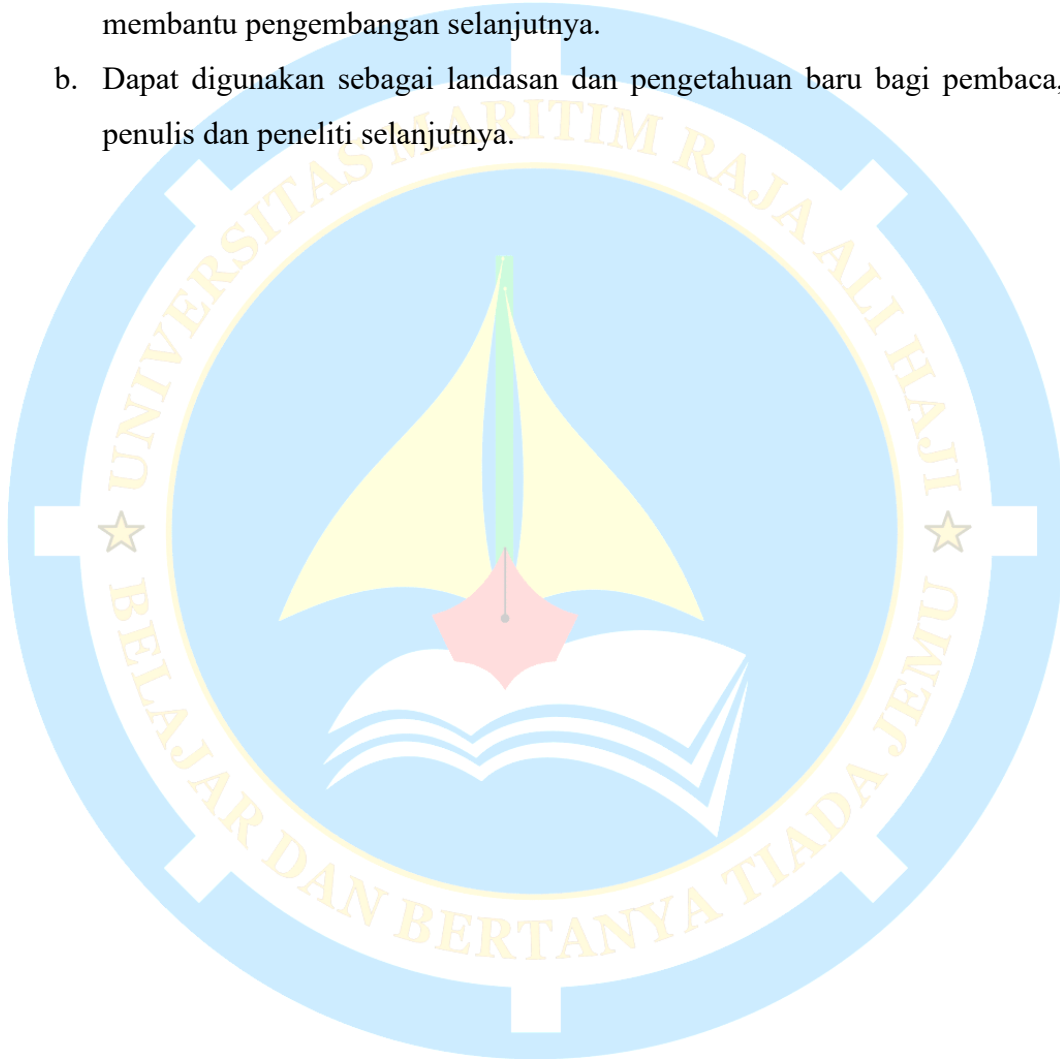
- a. Penelitian yang dilakukan menggunakan lambung atau fuselage yang digunakan di Hoverwing.
- b. Jenis Hydrofoil yang digunakan adalah foil NACA-4412.
- c. Dalam penelitian ini, tidak memperhatikan analisa struktur dari hydrofoil.
- d. Pada hydrofoil menggunakan variasi *Angle of attack* lima derajat

- e. Penelitian dilakukan sesuai dengan hasil analisa dari CFD
- f. Penelitian dilakukan dengan kondisi air tenang

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan manfaat terhadap berbagai pihak. Adapaun manfaat yaitu:

- a. Dapat merencanakan penambahan hydrofoil di Hoverwing guna untuk membantu pengembangan selanjutnya.
- b. Dapat digunakan sebagai landasan dan pengetahuan baru bagi pembaca, penulis dan peneliti selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada Penelitian Andre (Arya, 2015) yang Berjudul ” Analisa Dan Optimasi Dari Hydrofoil Supported Catamaran(Hysucat) Dengan Ukuran 25 Meter Menggunakan Metode Cfd” menjelaskan bahwa setiap foil memberikan gaya angkat yang berbeda-beda, peneliti menggunakan Foil seri 4-Digit dengan mengambil 5 sampel foil untuk melihat daya angkat yang dihasilkan masing-masing foil. Dari penelitiannya didapat bahwa foil dengan seri NACA-4712 memberikan gaya *lift* terbesar dibanding foil yang dianalisa lainnya.

Pada penelitian (Rulianto, 2018) yang berjudul ” Analisa Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Kapal Tenaga Surya Studi Kasus : Jalapatih III”. Dengan menggunakan hydrofoil seri NACA-23021. Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa hydrofoil menghasilkan hambatan kapal yang menurun seiring bertambahnya kecepatan kapal. Ini dihasilkan oleh gaya angkat yang dihasilkan hydrofoil.

Studi terdahulu tentang kapal katamaran yang dilengkapi dengan hydrofoil telah dilakukan guna meningkatkan kinerja kapal, khususnya dalam menurunkan resistensi dan meningkatkan daya angkat. (Nisphal Azis et al., 2019) melakukan kajian dengan memanfaatkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengamati efek sudut dihedral pada hydrofoil kapal katamaran. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa sudut dihedral 15° menghasilkan daya angkat maksimal dan resistensi minimal dibandingkan dengan sudut 20° dan 25° . Selain itu, penerapan hydrofoil berhasil menurunkan resistensi hingga 38,53% dan meningkatkan efisiensi tenaga efektif (EHP) sebesar 61,5%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Siahaan et al., 2020) dengan judul ” Analisa Bentuk Foil pada Kapal Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucat). Studi ini menganalisis tiga jenis foil, yaitu foil lurus, sweep belakang, dan sweep depan, dengan variasi panjang chord dan sudut serang untuk menilai pengaruhnya terhadap hambatan dan gaya angkat kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan foil sweep belakang dengan sudut serang 0° mampu mengurangi hambatan hingga

21% dibandingkan kapal katamaran tanpa foil. Selain itu, konfigurasi foil sweep belakang dengan sudut serang 0° menghasilkan gaya angkat tertinggi. Berdasarkan temuan tersebut, foil sweep belakang direkomendasikan sebagai pilihan optimal untuk meningkatkan efisiensi kapal Hysucat. Kesimpulan dari penelitian ini dapat menjadi referensi penting bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan desain dan optimasi kapal katamaran berbasis hydrofoil.

Pada penelitian (Slamet A. & Suastika K., 2012) yang berjudul "kajian eksperimental pengaruh posisi peletakan hydrofoil pendukung terhadap hambatan kapal" menjelaskan pada penelitiannya dengan melakukan uji coba dengan towing tank. Pada penelitiannya hydrofoil diuji coba dengan 3 peletakan yang berbeda pada lambung kapal. Dimana hydrofoil diletakkan pada posisi 73 mm dari CG, variasi kedua diletakkan pada 250 mm dari CG dan variasi ketiga di 411 mm. Penelitian yang dilakukan memberikan hasil bahwa variasi dua merupakan peletakan yang paling ideal karena memberikan hambatan yang lebih kecil dibanding yang lainnya.

Pada penelitian Anggara M.(2022); dengan judul "Analisa pengaruh Hydrofoil dengan variasi planning hull chine terhadap laju aliran speedboat" menerangkan bahwa perubahan pada tahanan sebelum dan sesudah menggunakan hydrofoil. Dijelaskan bahwa tahanan kapal berubah 3.6%. dimana tahanan yang dihasilkan semula 262.27 KN tanpa menggunakan hydrofoil dan menjadi 254.43 KN setelah menggunakan hydrofoil. Menunjukkan adanya perubahan tahanan kapal setelah menggunakan hydrofoil.

Dalam penelitian (Maheswara1 et al., 2018) yang berjudul "*Analisis Hull Vane Tipe NACA 4412 pada Kapal Perintis 750 DWT*", menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mengevaluasi efektivitas pemasangan hull vane berbasis NACA 4412 pada lambung kapal. Dengan membandingkan kondisi kapal tanpa dan dengan hull vane pada skala model, penelitian ini menganalisis perubahan gaya hambat (resistance) serta karakteristik seakeeping kapal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan hull vane NACA 4412 mampu mengurangi hambatan total kapal sebesar 3,15 % dan meningkatkan stabilitas gerak kapal (seakeeping) saat berlayar pada Froude number 0,32,

sehingga menegaskan potensi profil tersebut dalam meningkatkan efisiensi hidrodinamika kapal.

Penelitian oleh (Effendy & Muchlisin, 2019) berjudul "Studi Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aerodinamika Airfoil NACA 4412" menggabungkan pengujian terowongan angin dan simulasi CFD dengan pendekatan turbulensi Spalart-Allmaras untuk mengevaluasi kinerja airfoil pada berbagai sudut serang (α). Hasilnya mengidentifikasi bahwa performa terbaik dicapai pada sudut 5° – 10° , ditunjukkan oleh rasio gaya angkat-hambatan (L/D) yang maksimum akibat distribusi tekanan optimal di permukaan airfoil. Fenomena stall terjadi pada $\alpha > 15^{\circ}$, menurunkan gaya angkat secara signifikan akibat aliran turbulen di belakang airfoil. Simulasi menunjukkan perubahan sudut serang menggeser zona stagnasi dan mempercepat

2.2. Pengertian dan sejarah Hoverwing

Hoverwing adalah kendaraan Wing in Ground Effect (WIG) generasi kedua yang menggabungkan teknologi pesawat dan kapal untuk transportasi berkecepatan tinggi di atas air. Konsep ini berawal dari pengembangan teknologi WIG oleh Uni Soviet dengan KM "Caspian Sea Monster" dan inovasi Dr. Alexander Lippisch di AS serta Jerman. Berbeda dengan hovercraft yang menggunakan rok untuk menciptakan bantalan udara statis, Hoverwing memanfaatkan efek permukaan tanah untuk menghasilkan gaya angkat dinamis, memungkinkan kecepatan yang lebih tinggi tanpa kehilangan stabilitas. Salah satu pencapaian penting dalam sejarah WIG adalah pengakuan Airfish AF8 (FS8) sebagai kapal WIG pertama yang mendapatkan sertifikat kelas dari Germanischer Lloyd dan Lloyd's Register pada tahun 2001.



Gambar 1. *Hoverwing*
(Sumber: fischer-flugmechanik.com)

Struktur lambungnya mengadopsi desain katamaran yang memberikan efisiensi aerodinamis dan mengurangi beban struktur. Kendaraan ini mampu bermanuver dengan radius kurang dari 300 meter pada kecepatan 90 knot tanpa mengorbankan kenyamanan penumpang. Aplikasi utama Hoverwing mencakup transportasi penumpang, pengiriman barang bernilai tinggi, pariwisata di daerah terpencil, serta operasi penyelamatan di lingkungan yang sulit dijangkau. Sebagai solusi transportasi inovatif, Hoverwing menawarkan keunggulan antara kapal dan pesawat dengan potensi besar dalam sektor sipil maupun paramiliter.

2.3. Lambung Catamaran

Lambung catamaran adalah struktur lambung kapal yang terdiri dari dua lambung sejajar yang dihubungkan oleh satu dek atau lebih. Desain ini memberikan stabilitas yang lebih baik dibandingkan kapal monohull karena distribusi bobot yang lebih merata di atas permukaan air. Selain itu, kapal catamaran memiliki hambatan gelombang yang lebih rendah, memungkinkan kecepatan yang lebih tinggi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih efisien. Struktur lambungnya yang ringan dan luas juga memungkinkan peningkatan kapasitas angkut serta kenyamanan dalam pelayaran, menjadikannya pilihan yang ideal untuk kapal cepat, kapal pesiar, dan kapal patroli.

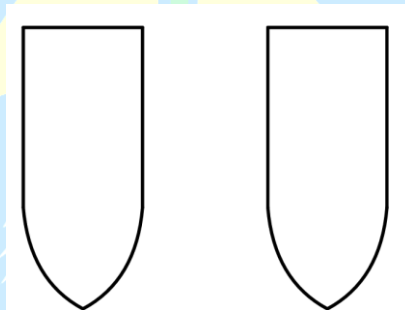


Gambar 2. *Lambung Catamaran Hoverwing*
(Sumber: fischer-flugmechanik.com)

Bentuk lambung catamaran pada setiap kapal berbeda-beda. Terdapat tiga jenis lambung catamaran yang digunakan pada kapal yaitu:

2.3.1. Lambung Catamaran Simetris

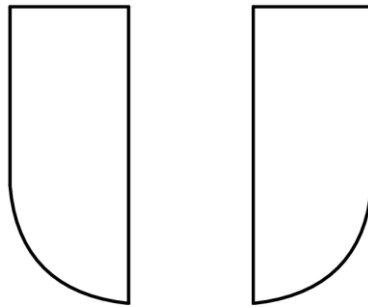
Lambung catamaran simetris merupakan jenis lambung dimana lambung kembar (demihull) memiliki lambung yang sama dan simetris dengan garis air. Didesain untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi hambatan kapal.



Gambar 3. Lambung Catamaran simetris
(Sumber: www.researchgate.net)

2.3.2. Lambung Catamaran Asimetris *Flat side Inside*

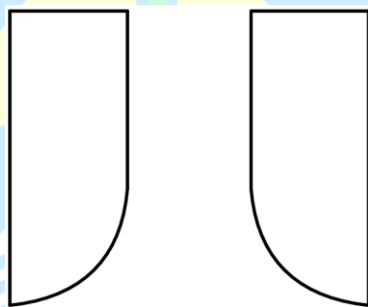
Jenis lambung ini memiliki sisi dalam yang lebih datar dibandingkan dengan sisi luarnya yang tetap melengkung. Desain ini bertujuan untuk mengurangi gesekan air di antara kedua lambung, sehingga meningkatkan efisiensi hidrodinamika. Karena keunggulannya dalam mengoptimalkan keseimbangan antara kecepatan dan stabilitas, lambung ini sering digunakan pada kapal cepat seperti kapal patroli dan ferry berkecepatan tinggi.



Gambar 4. Lambung Catamaran Asimetris *Flat side Inside*
(Sumber: www.researchgate.net)

2.3.3. Lambung Catamaran Asimetris *Flat Side Outside*

Tidak seperti *flat side inside*, lambung asimetris *flat side outside* memiliki bagian luar yang datar, sedangkan sisi dalamnya tetap melengkung. Desain ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi ketika kapal berlayar di perairan dangkal atau beroperasi dalam kondisi yang membutuhkan stabilitas lebih tinggi. Kapal dengan model lambung ini umumnya digunakan untuk transportasi di wilayah sungai atau pesisir, di mana interaksi dengan gelombang dan arus air lebih dinamis.



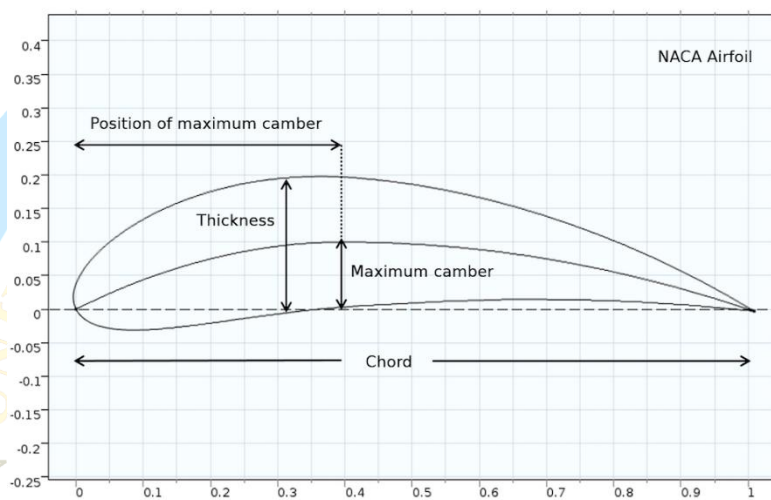
Gambar 5. Lambung Catamaran Asimetris *Flat side Outside*
(Sumber: www.researchgate.net)

2.4. Karakteristik Hydrofoil NACA

Hydrofoil adalah bentuk suatu bentuk sayap yang membentang yang memiliki fungsi dan sifat yang hampir sama dengan airfoil. Perbedaan dari hydrofoil dan airfoil hanyalah media kerjanya. Perbedaannya yaitu hydrofoil bekerja dialiran air sedangkan airfoil bekerja dialiran udara.

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah lembaga penelitian penerbangan di Amerika Serikat yang didirikan pada tahun 1915 dan beroperasi hingga 1958 sebelum bertransformasi menjadi NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Lembaga ini berperan dalam

pengembangan teknologi penerbangan, terutama di bidang aerodinamika, struktur pesawat, dan desain airfoil. Salah satu kontribusi utamanya adalah pengembangan profil airfoil NACA, yaitu serangkaian desain sayap yang bertujuan meningkatkan efisiensi aerodinamis. Profil ini banyak diaplikasikan pada pesawat, turbin angin, serta hydrofoil pada kapal. Setiap profil airfoil NACA diklasifikasikan menggunakan kode numerik yang merepresentasikan karakteristik geometri seperti kelengkungan maksimum, ketebalan relatif, dan distribusi tekanan.



Gambar 6. Airfoil Seri NACA
(Sumber: www.NACA.com)

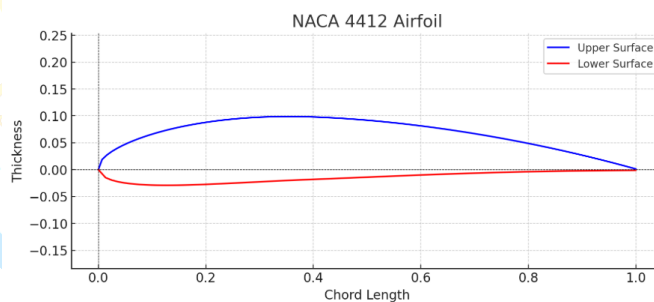
Profil hydrofoil *NACA* (*National Advisory Committee for Aeronautics*) merupakan salah satu bentuk hidrodinamika sederhana yang berfungsi dalam menghasilkan gaya angkat pada suatu objek. Dengan pendekatan matematis, besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh airfoil dapat diprediksi secara akurat. Geometri airfoil memiliki peran signifikan dalam menentukan karakteristik hidrodinamikanya, di mana parameter utama seperti koefisien gaya angkat (C_L) berhubungan langsung dengan besarnya *lift* atau gaya angkat yang dihasilkan.

2.4.1. Seri 4-Digit

Airfoil NACA 4412 adalah salah satu bentuk sayap yang dikembangkan oleh NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*). Airfoil ini masuk dalam kategori seri empat digit, di mana angka pertama "4" menunjukkan bahwa bagian paling melengkung dari airfoil memiliki tinggi 4% dari panjang totalnya. Angka "4" berikutnya berarti titik tertinggi kelengkungan tersebut terletak di 40%

dari bagian depan airfoil. Sementara itu, angka "12" menunjukkan ketebalan maksimal airfoil, yaitu 12% dari panjangnya. Karena bentuknya yang cukup melengkung, airfoil ini mampu menghasilkan daya angkat yang besar meskipun sudut kemiringannya terhadap aliran udara masih kecil. Oleh sebab itu, NACA 4412 sering digunakan dalam desain sayap pesawat kecil, pesawat latih, serta berbagai aplikasi lain yang memerlukan efisiensi aerodinamis tinggi.

Kelebihan utama dari airfoil NACA 4412 adalah kemampuannya menghasilkan daya angkat yang besar dengan hambatan udara (*drag*) yang tetap rendah, terutama pada kecepatan sedang hingga rendah. Karakteristik ini membuatnya ideal untuk pesawat yang membutuhkan daya angkat tinggi, seperti pesawat pertanian atau pesawat STOL (Short Takeoff and Landing) yang dirancang untuk lepas landas dan mendarat di landasan pendek. Namun, karena bentuknya yang lebih melengkung dibandingkan airfoil simetris, NACA 4412 cenderung lebih mudah mengalami stall jika sudut serangnya terlalu tinggi. Oleh karena itu, yang menggunakan airfoil ini biasanya dilengkapi dengan sistem tambahan seperti flap atau kontrol yang bisa mengatur naik turun agar performanya tetap optimal di berbagai kondisi. NACA 4412 adalah seri airfoil yang digunakan sebagai hydrofoil pada penelitian ini. Adapun seri Naca-4412 pada gambar dibawah:



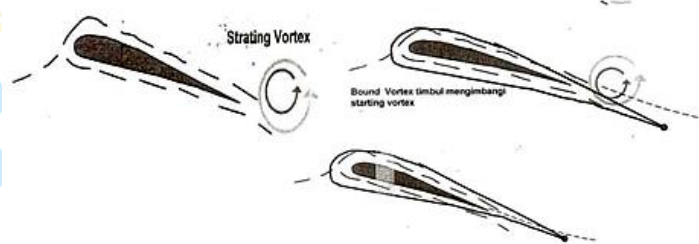
Gambar 7. NACA-4412
(Sumber: www.NACA.com)

Pada gambar 7. memberikan gambaran bentuk dari airfoil seri NACA 4412. Adapun titik koordinat NACA 4412 dengan sumbu x dan y sebagaimana untuk mendapatkan bentuk dari seri naca-4412 dijelaskan pada koordinat NACA-4412 pada Lampiran 1.

2.4.2. Koefisien *Lift* dan Koefisien *Drag*

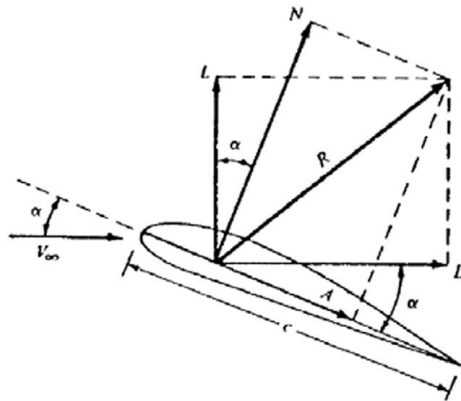
Koefisien *lift* atau disebut gaya angkat merupakan nilai yang menunjukkan besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh sebuah foil, sedangkan koefisien *drag* atau gaya hambat menggambarkan seberapa besar hambatan yang terjadi pada foil tersebut. Dalam pengujian yang membandingkan model, kedua nilai ini digunakan sebagai parameter utama dalam analisis perbandingan.

Gaya angkat pada airfoil bergantung pada koefisien *lift* (CL), yang dipengaruhi oleh desain camber airfoil. Nilai CL berubah secara linear terhadap sudut serang (α) hingga batas tertentu, dengan kemiringan garis yang disebut *lift slope* (a_0). Dalam rentang ini, aliran udara tetap mulus dan melekat pada permukaan airfoil. Namun, saat α meningkat, aliran udara mulai terpisah dari permukaan atas, membentuk area turbulen di belakang airfoil. Fenomena ini dikenal sebagai *reversed flow*, di mana sebagian aliran bergerak berlawanan dengan arah aliran utama. Perpisahan aliran ini terjadi akibat viskositas dan menyebabkan penurunan gaya angkat serta peningkatan gaya hambat karena *pressure drag*. Kondisi ini disebut *stall*, yang terjadi saat CL mencapai nilai maksimum (CL_{max}) tepat sebelum kehilangan daya angkat secara signifikan. Nilai ini sangat penting dalam menentukan kecepatan stall pesawat, terutama dalam fase kritis seperti lepas landas, penerbangan, dan pendaratan.



Gambar 8. Proses terbentuknya gaya angkat
(Sumber : repository.its.ac.id)

Saat suatu benda bergerak dalam fluida, terjadi interaksi antara keduanya yang menghasilkan gaya-gaya pada permukaan benda. Sudut serang (α) merupakan sudut antara gaya angkat (L) gaya normal (N), gaya hambat (D) dan gaya aksial (A).



Gambar 9. resultan gaya hydrofoil
(Sumber : repository.its.ac.id)

Dalam penelitian (Slamet A. & Suastika K., 2012) Resultan dari tegangan geser dan distribusi tekanan dapat dihitung dengan mengintegrasikan pengaruh kedua besaran di seluruh permukaan benda. Komponen gaya fluida dalam arah x dan y pada elemen luas kecil dA diperoleh dari :

$$dF_x = (pdA) \cos \Theta + (\tau_w dA) \sin \Theta \quad (1)$$

dan

$$dF_y = -(pdA) \sin \Theta + (\tau_w dA) \cos \Theta \quad (2)$$

F_x : Gaya Horizontal (N)

F_y : Gaya Vertikal (N)

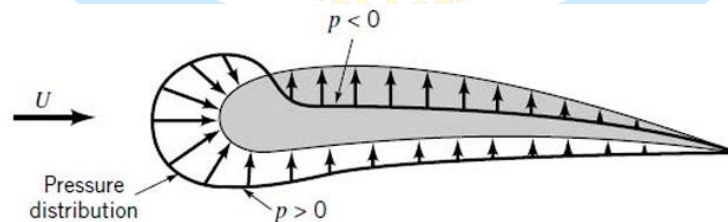
p : Tekanan (Pa)

A : Luas Acuan (m^2)

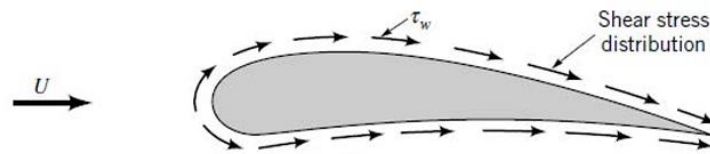
Θ : Sudut Benda dengan bidang

τ_w : Tegangan geser dinding (Pa)

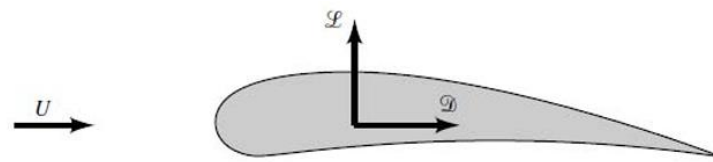
Jadi, komponen x dan y oleh gaya yang dihasilkan benda adalah



Gambar 10. Distribusi Tekanan
(Sumber : repository.its.ac.id)



Gambar 11. Distribusi Viskos
(Sumber : repository.its.ac.id)



Gambar 12. Gaya *Lift* dan *Drag*
(Sumber : repository.its.ac.id)

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A p C_L \quad (3)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 A p C_D \quad (4)$$

dan

L : gaya *lift*

C_L : koefisien *lift* L

ρ : massa jenis fluida

V : kecepatan

AP : plan area (S), luasan maksimum : chord $\times$ span

D : Gaya hambat

C_D : koefisien *drag*

Ap : plan area (S), luasan maksimum : chord $\times$ span

Tegangan geser dan tekanan memiliki pengaruh terhadap gaya *lift* dan *drag*, karena untuk sembarang benda dengan sudut, θ tidak nol ataupun 90° pada benda. Dalam Teori Bernoulli, Koefisien *lift* (C_L) dan koefisien *drag* (C_D) didefinisikan sebagai :

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (5)$$

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (6)$$

dimana :

CD = koefisien gaya hambat (*drag*)

CL = koefisien gaya angkat (*lift*)

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

A = luasan acuan (m^2)

V = kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)

2.5. Software Pemodelan dan Analysis

2.5.1. Rhino Ceros

Rhinoceros 3D, atau yang sering disebut Rhino, adalah perangkat lunak pemodelan 3D berbasis NURBS yang banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk perancangan kapal. Dengan kemampuan pemodelan yang presisi tinggi, Rhino memungkinkan desainer dan insinyur kapal untuk membuat desain lambung kapal, hidrofoil, dan struktur lainnya dengan detail yang kompleks. Rhino juga mendukung berbagai format file, seperti IGES, STEP, dan STL, yang memudahkan integrasi dengan perangkat lunak analisis hidrodinamika dan fabrikasi seperti CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dan FEM (*Finite Element Method*). Salah satu keunggulan utama Rhino dalam desain kapal adalah kemampuannya untuk membuat model permukaan yang halus dan aerodinamis, yang sangat penting dalam mengoptimalkan performa kapal di air.



Gambar 13. *Software Rhino Ceros*
(Sumber : RhinoCeros.com)

2.5.2. Ansys

Ansys adalah perangkat lunak rekayasa canggih yang menawarkan solusi simulasi dan desain 3D dengan skalabilitas tinggi serta fondasi multiphysics yang luas. Software ini memungkinkan para insinyur untuk melakukan pemodelan,

simulasi, dan analisis berbagai fenomena fisik, seperti dinamika fluida, perpindahan panas, analisis struktural, dan elektromagnetik. Dengan memanfaatkan Ansys, perusahaan dapat mengoptimalkan desain produk, meningkatkan efisiensi, serta mempercepat proses pemasaran.



Gambar 14. *Software Ansys*
(Sumber : ANSYS.com)

2.6. Metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah cabang dari mekanika fluida yang memanfaatkan metode numerik dan algoritma untuk menganalisis serta mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait lainnya. Dalam CFD, domain aliran fluida dibagi menjadi elemen-elemen kecil melalui proses yang disebut *meshing*. Setiap elemen ini dianalisis menggunakan persamaan dasar konservasi massa, momentum, dan energi untuk memprediksi perilaku fluida dalam berbagai kondisi. Pendekatan ini memungkinkan peneliti dan insinyur untuk mempelajari sistem fluida secara mendetail tanpa harus melakukan eksperimen fisik yang kompleks dan mahal.

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode pemodelan numerik yang digunakan untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah terkait aliran fluida. Dengan mensimulasikan interaksi fluida terhadap permukaan benda (*boundary condition*), CFD memungkinkan prediksi pola aliran, perpindahan panas, perubahan fase, reaksi kimia, serta distribusi tegangan pada material padat. Teknologi ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk aerodinamika, teknik mesin, dan industri manufaktur, guna mengoptimalkan desain serta meningkatkan efisiensi sistem yang melibatkan fluida.

Ada tiga tahap yang dilakukan dalam proses simulasi yakni; *Pre-processing*, *solving* dan *post processing*.

- *Pre-processing* adalah tahapan input data. Tahapan ini meliputi pendefenisian batas-batas kondisi dari geometri, Penentuan domain dan Pemilihan jenis fluida yang akan digunakan untuk analisis
- *Solving* adalah proses perhitungan dari data yang sebelumnya telah diinput dengan metode numerik.
- *Post processing* adalah tahapan menginterpretasikan kondisi-kondisi yang telah dibuat.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua lokasi utama. Pemodelan dan analisis menggunakan metode elemen hingga dilakukan di Kampus Senggarang, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjung Pinang, Kepulauan Riau. Sementara itu, identifikasi masalah, perumusan masalah, pengumpulan data, dan studi lapangan dilaksanakan di PT. Bintang Bahari Industri yang berlokasi di Jl. Datuk Idris, kelurahan Dompok, Tanjung pinang. Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas yang mendukung pada fokus penelitian yang dilakukan.



Gambar 15. Denah Kampus Senggarang
(Sumber: <https://maps.google.com>)



Gambar 16. PT. Bintang Bahari Industri
(Sumber: <https://maps.google.com>)

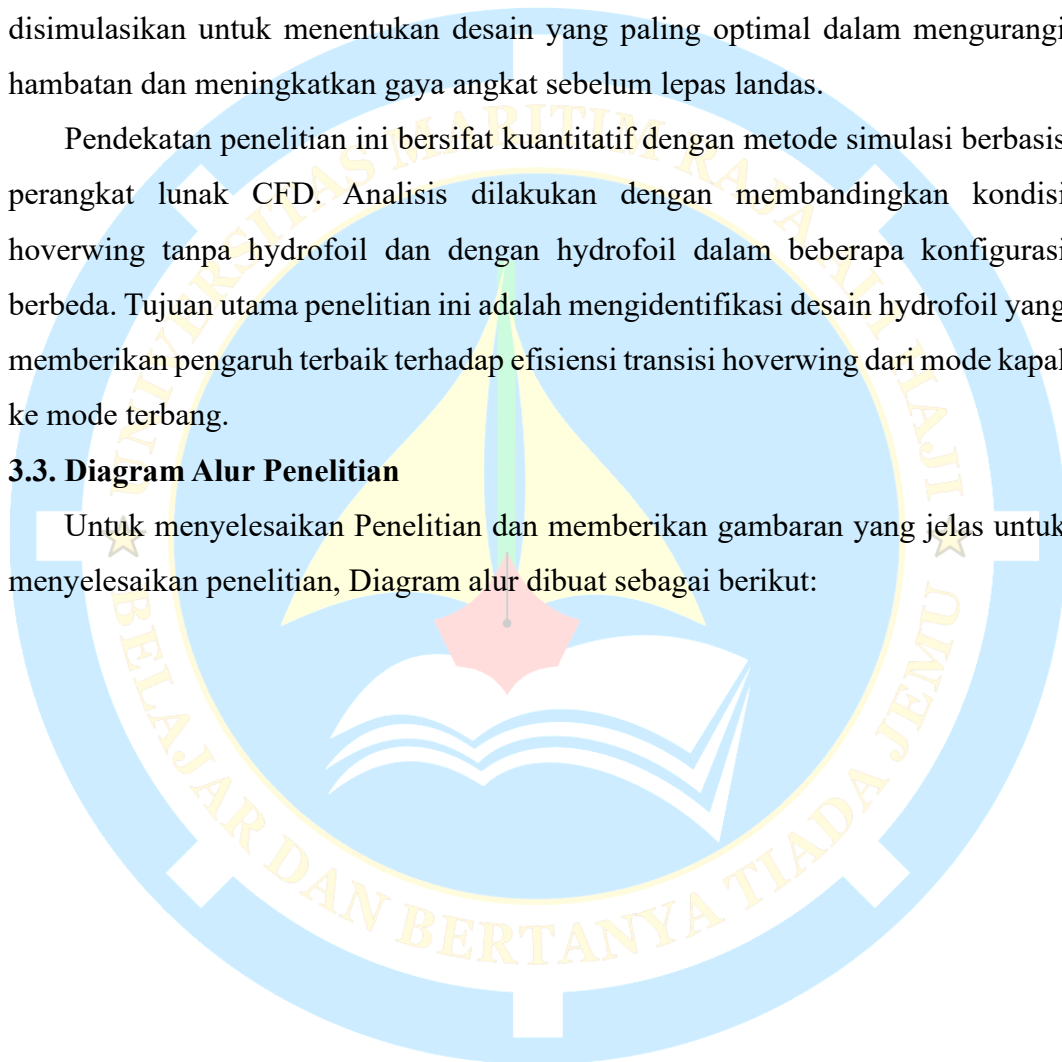
3.2. Jenis Penelitian

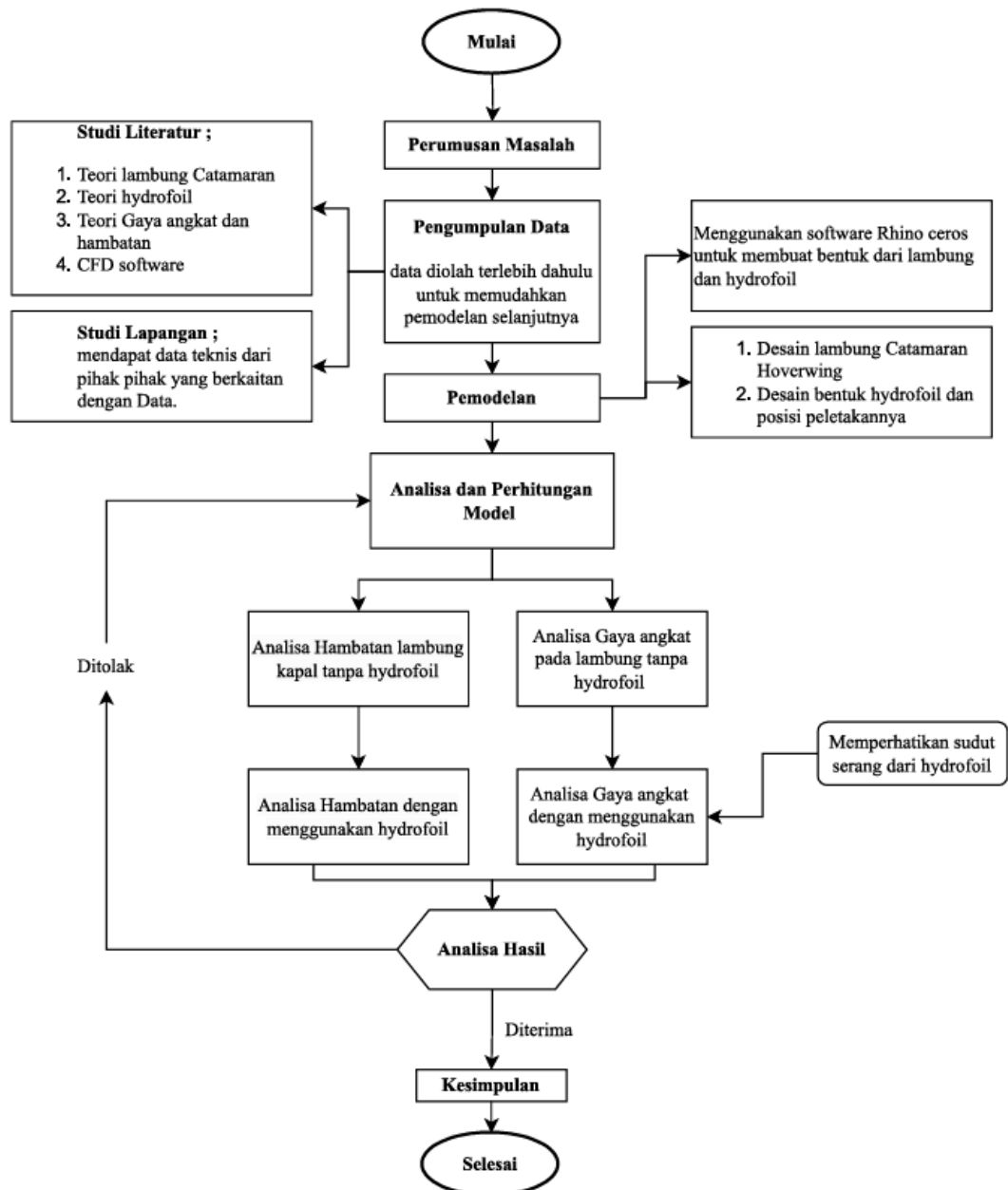
Penelitian ini memanfaatkan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengevaluasi dampak penambahan hydrofoil pada lambung hoverwing sebelum lepas landas. CFD adalah teknik simulasi numerik yang memungkinkan analisis aliran fluida, distribusi tekanan, serta gaya hidrodinamis dan aerodinamis pada hoverwing. Melalui pendekatan ini, berbagai konfigurasi hydrofoil dapat disimulasikan untuk menentukan desain yang paling optimal dalam mengurangi hambatan dan meningkatkan gaya angkat sebelum lepas landas.

Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif dengan metode simulasi berbasis perangkat lunak CFD. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi hoverwing tanpa hydrofoil dan dengan hydrofoil dalam beberapa konfigurasi berbeda. Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi desain hydrofoil yang memberikan pengaruh terbaik terhadap efisiensi transisi hoverwing dari mode kapal ke mode terbang.

3.3. Diagram Alur Penelitian

Untuk menyelesaikan Penelitian dan memberikan gambaran yang jelas untuk menyelesaikan penelitian, Diagram alur dibuat sebagai berikut:





Gambar 17. Diagram Alur Penelitian

(sumber: *Data diolah, 2025*)

3.4. Variabel Penelitian

Variabel yang akan diuji dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

3.4.1. Variabel Bebas

- a) Keberadaan hydrofoil; Hoverwing tanpa hydrofoil dan hoverwing dengan menggunakan hydrofoil.

- b) Desain Hydrofoil; Desain Bentuk, Ukuran dan sudut serang dari hydrofoil(*angle of attack*).
- c) Peletakan hydrofoil; titik peletakan pada Hoverwing

3.4.2. Variabel Terikat

- a) Gaya angkat (*lift force*) yang dihasilkan oleh hoverwing sebelum take off.
- b) Gaya hambat (*drag force*) yang mempengaruhi akselerasi hoverwing.

3.5. Metode Simulasi CFD

Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diterapkan untuk memodelkan dan menganalisis aliran fluida di sekitar hoverwing, baik dengan maupun tanpa hydrofoil. Langkah-langkah dalam simulasi CFD meliputi:

3.5.1. Pemodelan Geometri

Model hoverwing dirancang menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D, disesuaikan dengan spesifikasi yang diperoleh dari studi literatur dan data teknis. Hydrofoil ditambahkan dengan berbagai variasi desain, termasuk perubahan bentuk, ukuran, dan sudut serang.

3.5.2. Meshing

Model yang telah dibuat diubah menjadi mesh (jaringan elemen diskrit) untuk meningkatkan akurasi perhitungan numerik.

3.5.3. Penetapan Kondisi Batas

Jenis Fluida, Kecepatan awal air (inlet velocity) dan tekanan diatur sesuai dengan kondisi operasi hoverwing sebelum lepas landas. Kondisi batas untuk hydrofoil dan lambung hoverwing disesuaikan dengan parameter properti fluida.

3.5.4. Proses Simulasi dan Analisis Hasil

Simulasi dilakukan pada variasi hoverwing saat menggunakan dan tanpa hydrofoil. Hasil yang diperoleh mencakup gaya angkat dan hambatan yang bekerja pada hoverwing.

3.6. Metode Pengolahan Data

Hasil yang didapat dari simulasi CFD dianalisis dengan membandingkan gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan hoverwing pada saat dengan dan tanpa hydrofoil.

3.6.1. Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif dilakukan dengan menyajikan hasil simulasi dalam bentuk grafik dan tabel yang informatif. Sehingga memudahkan interpretasi mengenai performa hoverwing dengan konfigurasi hydrofoil. Selain itu, perhitungan efektivitas hydrofoil dilakukan dengan membandingkan peningkatan gaya angkat dan pengurangan hambatan antara hoverwing yang dilengkapi hydrofoil dan yang tidak. Pendekatan ini memungkinkan penilaian kuantitatif terhadap kontribusi setiap desain hydrofoil dalam meningkatkan efisiensi aerodinamis hoverwing.

3.6.2. Validasi Data

Validasi data merupakan tahap untuk memastikan keandalan model simulasi yang digunakan. Hasil simulasi dibandingkan dengan temuan dari penelitian sebelumnya untuk memverifikasi akurasi model. Apabila ditemukan perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan data literatur, analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengidentifikasi sumber ketidaksesuaian tersebut. Langkah ini mungkin melibatkan penyesuaian parameter dalam simulasi atau revisi asumsi yang digunakan, guna meningkatkan kesesuaian model dengan fenomena fisik yang sebenarnya.

3.7. Instrumen Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak sebagai alat untuk mendukung proses simulasi dan analisis data. Adapun perangkat lunak yang digunakan yaitu untuk pemodelan dibuat menggunakan Rhino ceros untuk membuat geometri dari hoverwing dan hydrofoil. Selanjutnya untuk analisis menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk mendapatkan pengaruh terhadap gaya angkat dan hambatan yang dihasilkan. Dan perangkat lunak excel digunakan sebagai alat untuk mengolah data dari hasil simulasi.

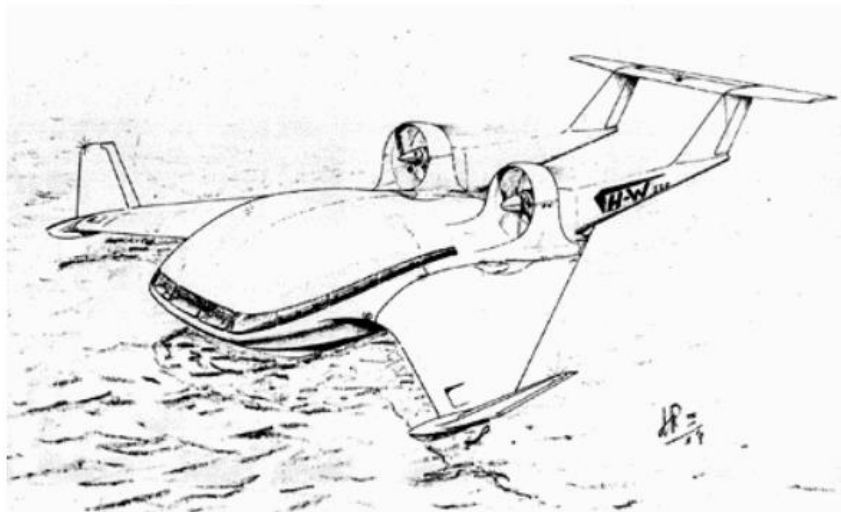
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

4.1.1. Model Lambung (Fuselage Hoverwing)

Pembuatan model lambung Hoverwing dibuat berdasarkan data pemanding. Pemodelan dibuat menggunakan software rhino ceros versi 8. Berikut adalah data pemanding dari Hoverwing:

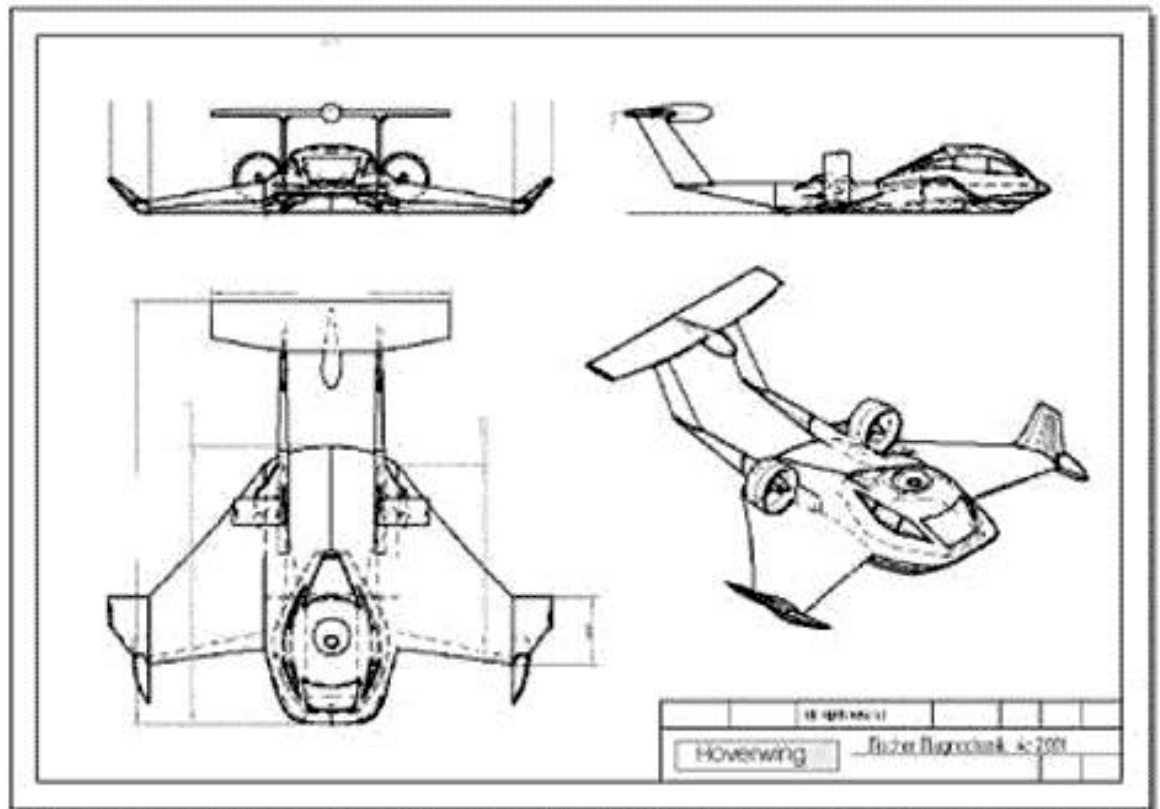


Gambar 18. Hoverwing
(sumber: fischer-flugmechanik.com)

Tabel 2. Technical Data

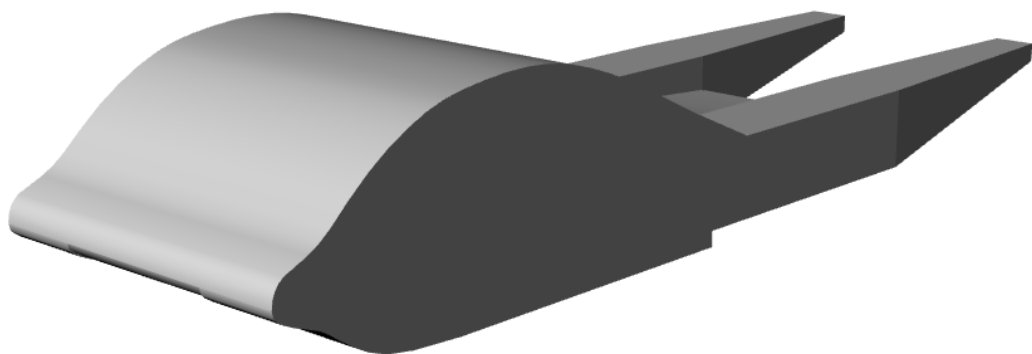
Length	39.6	m
Span	36.5	m
Cruise Power	2.420	Kw
Displacement	45.320	Kg
Speed	107	Kts
Crew and passenger	4+120	-
Permissible wave height for take off	1.7	m
Economic cruise height up to	3.5	m

(sumber: fischer-flugmechanik.com)



Gambar 19. *General Arrangement Hoverwing*
(sumber: fischer-flugtechnik.com)

Hasil model yang telah dibuat dilihat pada gambar 20, didapatkan spesifikasi model sebagai berikut:



Gambar 20. *Desain Lambung Hoverwing*
(sumber: *Data diolah*, 2025)

Dari model yang telah dibuat, didapat spesifikasi model sebagai berikut:

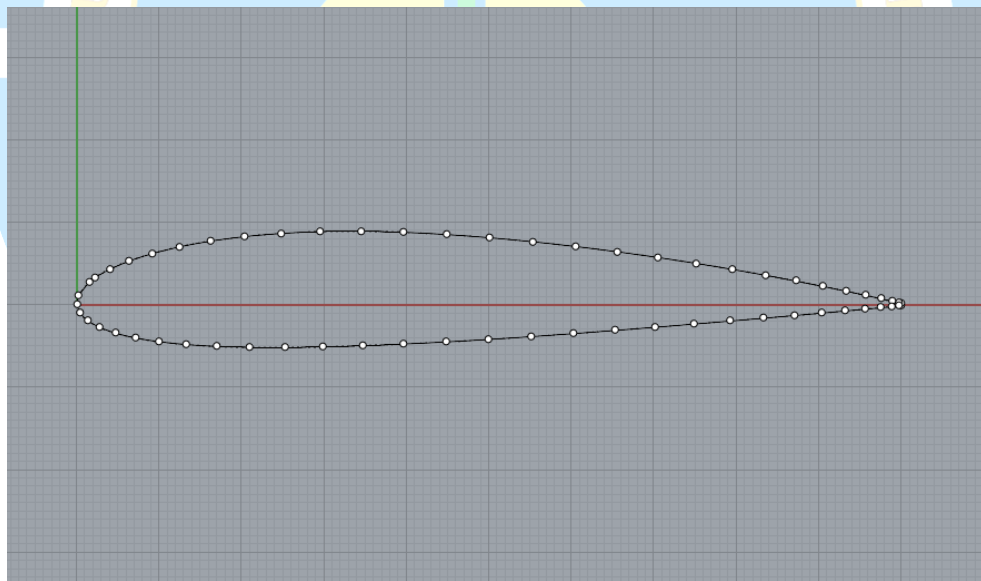
Tabel 3. *Data kapal*

LOA	39.6 m
Breadth	12 m
Depth	7.4 m
Draft	1.7 m
Displaced volume	1473.2903 m^3

(sumber: *Data diolah, 2025*)

4.1.2. Model Hydrofoil

Foil yang digunakan pada Hydrofoil yaitu foil NACA-4412. Berdasarkan koordinat foil yang diambil dari <http://airfoiltools.com/>, diperoleh titik koordinat yang digunakan untuk membuat model dari hydrofoil. Bentuk foil didapat setelah menarik garis sesuai titik koordinat foil, dijelaskan pada gambar 21.



Gambar 21. *Koordinat Foil Naca-4412*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

NACA 4412 termasuk dalam seri airfoil NACA 4-digit yang memiliki bentuk geometri lebih sederhana, sehingga lebih mudah digunakan dalam proses pemodelan dan analisis numerik seperti CFD. Selain itu, profil ini juga telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian eksperimental dan simulasi, sehingga data

karakteristiknya sudah tersedia secara luas dan dapat divalidasi dengan baik. Dibandingkan dengan profil NACA seri 3-digit yang biasanya digunakan pada bilah propeller karena memiliki distribusi tekanan yang berbeda, dan seri 5-digit yang bentuk camber-nya lebih kompleks dan cenderung sensitif terhadap perubahan sudut serang, seri 4-digit seperti NACA 4412 menawarkan keseimbangan terbaik antara kemudahan analisis, kestabilan aliran, dan efisiensi performa.

Hydrofoil menggunakan *angle of attack* 5 derajat sudut serang. Sudut serang sebesar 5 derajat dipilih dalam penelitian ini karena berada pada zona kerja optimal profil NACA 4412, di mana aliran fluida masih stabil dan menghasilkan gaya angkat yang tinggi dengan hambatan yang masih rendah. Berdasarkan penelitian (marwan effendy 2019) menjelaskan bahwa sudut serang dibawah 10 derajat merupakan titik efisien sebelum terjadi peningkatan hambatan yang signifikan atau potensi stall yang umumnya baru muncul di atas 15 derajat.

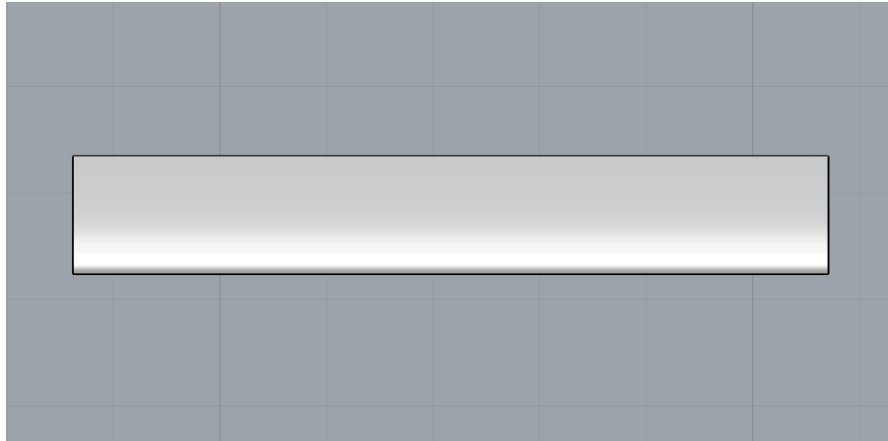
Ada 3 model hydrofoil yang dibuat yakni; *Flat* Hydrofoil (dijelaskan pada gambar 22), *Front sweep* hydrofoil (dijelaskan pada gambar 23) dan *Back sweep* Hydrofoil (dijelaskan pada gambar 24).

Model *flat* hydrofoil adalah variasi pertama yang digunakan pada lambung hoverwing. Karakteristik dari *flat* hydrofoil sendiri dengan *leading edge* lurus. dibuat dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4. *Data flat hydrofoil*

Luas	15,973 m ²
Span	7 m
Chord	1.11 m

(sumber: *Data diolah, 2025*)



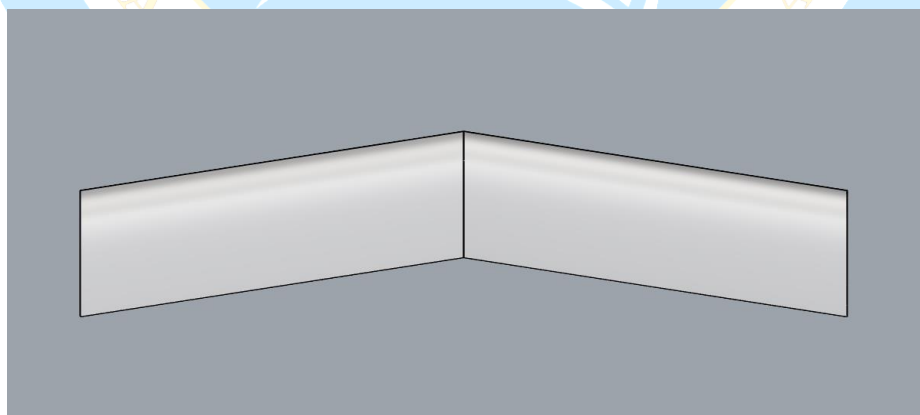
Gambar 22 Flat Hydrofoil
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Model *Front sweep* hydrofoil adalah variasi kedua yang akan digunakan di lambung hoverwing. Karakteristik dari *front sweep* yaitu dengan sudut kemiringan *leading edge* miring kebelakang terhadap sumbu utama. dibuat dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 5. Data front sweep hydrofoil

Luas	15,396 m ²
Span	7 m
Chord	1.11 m

(sumber: *Data diolah, 2025*)



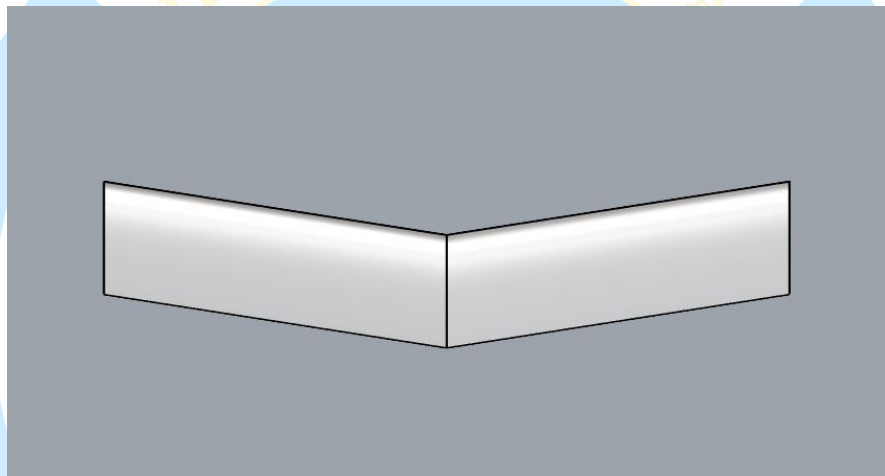
Gambar 23. Front Sweep Hydrofoil
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Model *back sweep* hydrofoil adalah variasi ketiga yang akan digunakan di lambung hoverwing. Karakteristik dari *back sweep* hydrofoil yaitu dengan sudut kemiringan *leading edge* miring kedepan terhadap sumbu utama. dibuat dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 6. *Data front sweep hydrofoil*

Luas	15,396 m ²
Span	7 m
Chord	1.11 m

(sumber: *Data diolah, 2025*)

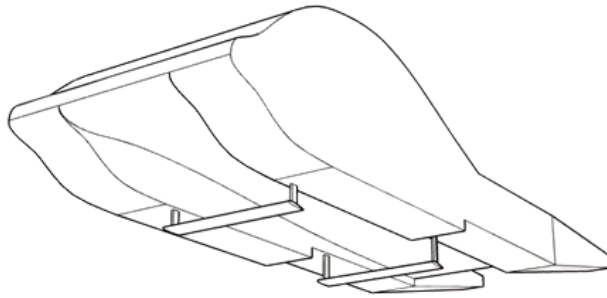


Gambar 24. *Back Sweep Hydrofoil*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

4.2. Variasi Lambung menggunakan Hydrofoil

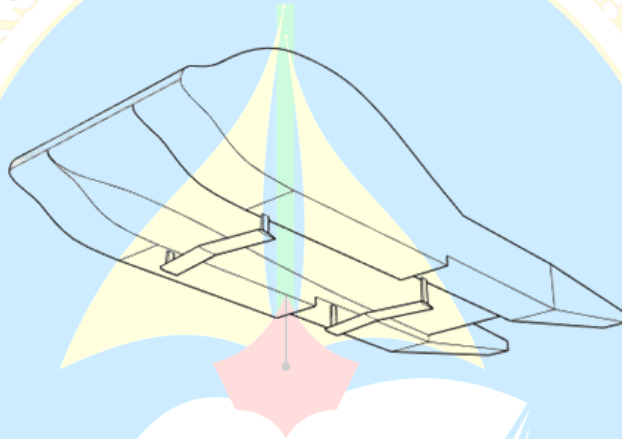
Variasi hydrofoil yang akan dianalisa memiliki tiga model yang akan dianalisa ditambah dengan lambung yang tidak menggunakan hydrofoil.. Variasi yang dianalisa pada hydrofoil yakni; *flat* hydrofoil, *front sweep* hydrofoil dan *back sweep* hydrofoil.

Variasi pertama yaitu *flat* hydrofoil, dapat dilihat pada gambar 25.



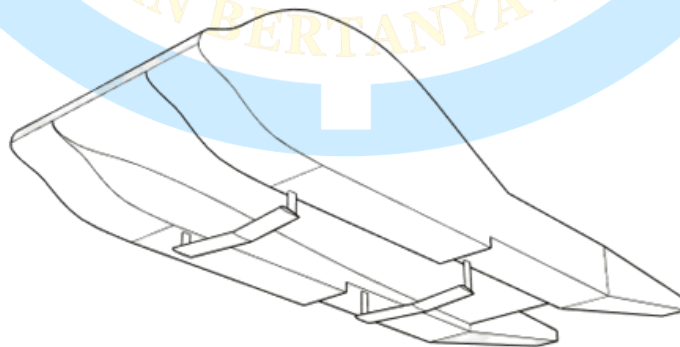
Gambar 25. *Variasi Flat Hydrofoil*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Variasi kedua yaitu *front sweep hydrofoil*, dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26. *Variasi Front sweep Hydrofoil*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Variasi ketiga yaitu *back sweep hydrofoil*, dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 27. *Variasi Back sweep Hydrofoil*

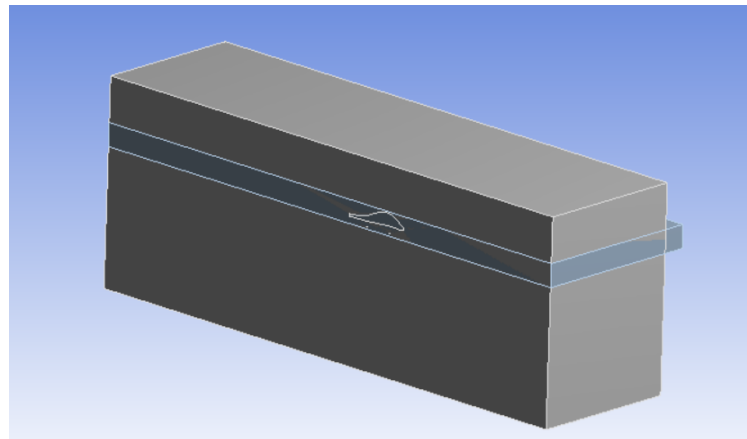
(sumber: *Data diolah, 2025*)

4.3. Analisa Model

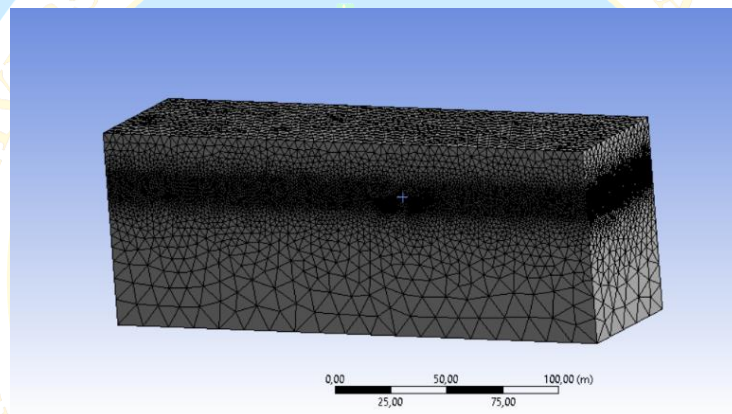
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap empat jenis model lambung kapal untuk melihat bagaimana pengaruh hydrofoil terhadap pengurangan *draft* dan *lift* lambung kapal. Model pertama adalah lambung tanpa hydrofoil yang dijadikan sebagai pembanding utama. Sementara itu, tiga model lainnya menggunakan hydrofoil dengan bentuk berbeda, yaitu *flat* hydrofoil yang memiliki desain lurus, *front sweep* hydrofoil yang arah kemiringannya menghadap kedepan, dan *back sweep* hydrofoil yang arah kemiringannya menghadap belakang.

Profil hydrofoil yang digunakan dalam penelitian ini adalah NACA 4412, karena profil ini dikenal memiliki karakteristik aerodinamika yang stabil, menghasilkan gaya angkat tinggi dengan hambatan rendah, serta memiliki performa yang konsisten pada sudut serang sedang.

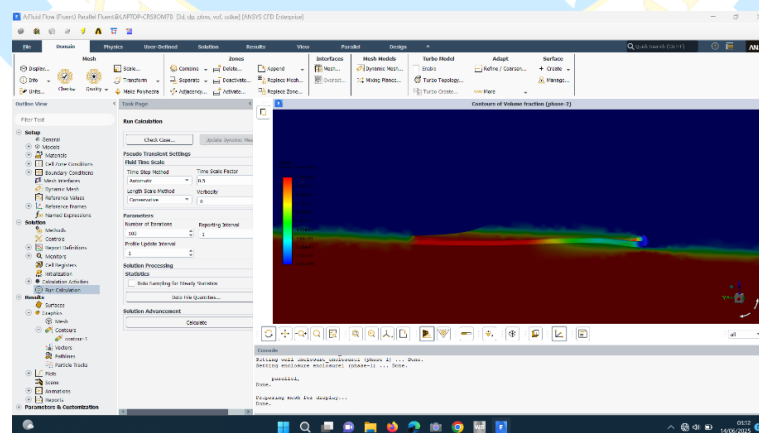
Kecepatan dinas Hoverwing sebesar 107 knot adalah kecepatan saat kapal sudah melayang di atas air (*wing-in-ground effect*), di mana sebagian besar struktur tidak lagi bersentuhan langsung dengan air. Sementara itu, penelitian ini difokuskan pada fase sebelum take-off, ketika hydrofoil masih bekerja aktif menghasilkan gaya angkat. Oleh karena itu, digunakan kecepatan 50 knot karena lebih mewakili kondisi operasional awal, di mana interaksi antara air dan hydrofoil masih dominan. Selain itu, simulasi pada kecepatan ini lebih stabil dan realistis, karena kecepatan tinggi seperti 107 knot berisiko menimbulkan fenomena kompleks seperti kavitasi atau aliran terpisah yang sulit dimodelkan tanpa pendekatan fisika lanjutan. Maka dari itu, 50 knot dipilih sebagai kecepatan yang paling tepat untuk menggambarkan kinerja awal hydrofoil secara akurat dan efisien.



Gambar 28. *Tampilan spaceclaim variasi flat hydrofoil*
(sumber: Data diolah,2025)



Gambar 29. *Hasil meshing Model variasi flat hydrofoil*
(sumber: Data diolah,2025)



Gambar 30. *Tampilan ansys flent model variasi flat hydrofoil*
(sumber: Data diolah,2025)

4.3.1 Analisa Aliran Fluida

Analisis perilaku aliran fluida di sekitar hydrofoil bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik distribusi kecepatan, pola turbulensi, serta sebaran tekanan yang terjadi pada permukaan hydrofoil. Ketiga parameter tersebut berperan penting dalam mengevaluasi kinerja desain, khususnya terhadap efisiensi pembangkitan gaya angkat, kestabilan aliran, dan besarnya hambatan fluida. Pemodelan dilakukan dengan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD), menggunakan kondisi batas yang konsisten untuk setiap variasi geometri yang dianalisis.

4.3.1.1 Distribusi Tekanan (*Preassure*)

Distribusi tekanan pada permukaan hydrofoil merupakan faktor utama dalam proses pembangkitan gaya angkat. Perbedaan tekanan yang terjadi, yakni lebih rendah di sisi atas dan lebih tinggi di sisi bawah, menghasilkan gaya dorong ke atas atau lift. Melalui simulasi CFD, pola distribusi tekanan dapat diidentifikasi, termasuk area dengan tekanan ekstrem baik maksimum maupun minimum serta gradien tekanan sepanjang panjang chord hydrofoil. Analisis ini sangat penting untuk mengevaluasi kestabilan struktural dan mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi mengalami fenomena kavitasi atau tekanan negatif yang berlebihan.



Gambar 31. *Distribusi Tekanan Variasi Flat Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

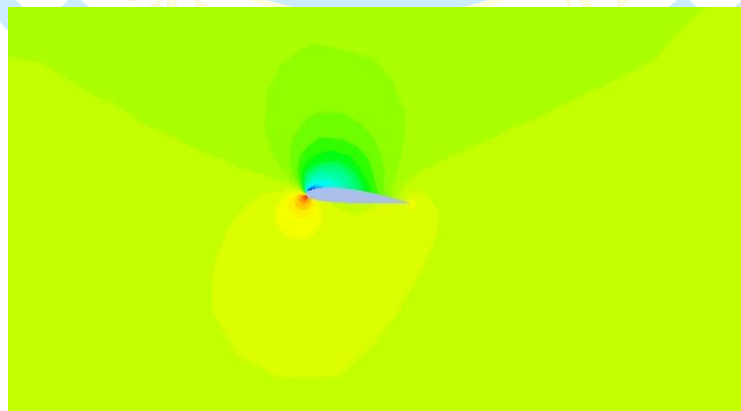
Distribusi tekanan pada variasi flat hydrofoil menunjukkan tekanan tinggi di bagian bawah dan tekanan rendah di bagian atas permukaan hydrofoil. Area

dengan tekanan tertinggi tampak berada di sekitar bagian depan bawah hydrofoil, sedangkan tekanan minimum muncul di sisi atas setelah aliran melewati bagian depan tersebut. Warna merah hingga kuning menggambarkan zona bertekanan tinggi, sementara warna hijau hingga biru menunjukkan area dengan tekanan rendah. Pola ini menunjukkan adanya perbedaan tekanan yang cukup untuk membentuk gaya angkat, sesuai dengan karakteristik aliran di sekitar profil datar.



Gambar 32. *Distribusi Tekanan Variasi Front Sweep Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

Distribusi tekanan pada variasi front hydrofoil menunjukkan tekanan tinggi di bagian bawah dan tekanan rendah di bagian atas permukaan hydrofoil. Tekanan maksimum terlihat berada di area depan bawah hydrofoil, sedangkan tekanan minimum muncul di sisi atas setelah aliran melewati bagian depan tersebut. Warna merah hingga kuning mewakili daerah dengan tekanan tinggi, sementara warna hijau hingga biru menunjukkan tekanan rendah. Pola distribusi ini menggambarkan pembentukan gaya angkat akibat perbedaan tekanan yang cukup besar.



Gambar 33. *Distribusi Tekanan Variasi Back Sweep Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

Distribusi tekanan pada variasi back hydrofoil memperlihatkan tekanan tinggi di bagian bawah dan tekanan rendah di bagian atas permukaan hydrofoil. Area dengan tekanan tertinggi terletak di sekitar bagian depan bawah, sedangkan tekanan minimum tampak di bagian atas setelah aliran melewati ujung depan hydrofoil. Warna merah hingga kuning menunjukkan area bertekanan tinggi, sementara warna hijau hingga biru merepresentasikan tekanan rendah. Pola ini mencerminkan pembentukan gaya angkat yang efektif akibat selisih tekanan yang cukup besar, serta menunjukkan respons aliran yang relatif terkontrol di sekitar profil back sweep hydrofoil ini.

Ketiga variasi hydrofoil menunjukkan pola tekanan yang serupa secara prinsip, yaitu tekanan lebih tinggi di bagian bawah dan lebih rendah di bagian atas, yang menandakan kemampuannya dalam menghasilkan gaya angkat. Namun, masing-masing memiliki karakter distribusi yang berbeda. Front hydrofoil menunjukkan tekanan yang terkonsentrasi di bagian depan, mengindikasikan aliran yang fokus dan terarah. Back hydrofoil memiliki sebaran tekanan yang lebih luas dengan gradien halus, yang mencerminkan aliran yang menyebar. Sementara itu, flat hydrofoil menampilkan distribusi tekanan yang paling seimbang dan simetris di kedua sisi permukaan, sesuai dengan bentuknya yang lurus. Berdasarkan kestabilan aliran dan pola tekanan yang merata, flat hydrofoil dinilai sebagai variasi yang paling efisien dalam menjaga kestabilan gaya angkat dan mengurangi potensi gangguan aliran. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Biswas & Harish, 2025) yang menunjukkan bahwa profil foil datar menghasilkan aliran yang stabil dan tekanan yang terdistribusi merata di sepanjang permukaan foil.

4.3.1.2 Distribusi Kecepatan (*Velocity*)

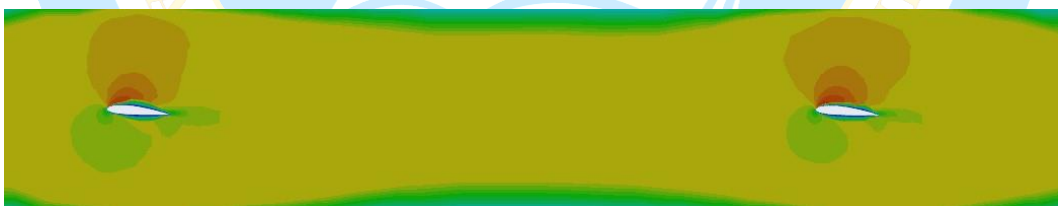
Distribusi kecepatan merupakan indikator utama dalam menilai kinerja hidrodinamika hydrofoil karena berkaitan erat dengan pembentukan pola aliran dan timbulnya gaya angkat. Pada simulasi menggunakan metode CFD, kontur kecepatan dimanfaatkan untuk menggambarkan variasi laju aliran fluida di sekitar permukaan hydrofoil. Umumnya, kecepatan fluida yang lebih tinggi di sisi atas dibandingkan sisi bawah menunjukkan adanya perbedaan tekanan yang menjadi

sumber terbentuknya gaya angkat. Selain itu, analisis kecepatan ini juga memberikan informasi terkait stabilitas aliran serta kemungkinan terjadinya pemisahan aliran (*flow separation*) yang dapat mengurangi efisiensi desain.



Gambar 34. *Distribusi Kecepatan pada variasi Flat Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

Gambar distribusi kecepatan pada flat hydrofoil menunjukkan dua model, yaitu hydrofoil depan dan belakang, dengan pola aliran yang serupa namun memiliki perbedaan pada sebaran kecepatannya. Pada keduanya, aliran di sisi atas mengalami percepatan yang ditandai warna biru, sedangkan sisi bawah menunjukkan kecepatan lebih rendah dengan warna hijau hingga kuning. Perbedaan ini menghasilkan gaya angkat. Hydrofoil depan menunjukkan area percepatan yang lebih luas, sementara hydrofoil belakang memiliki aliran yang lebih menyebar ke arah belakang. Secara keseluruhan, pola aliran tetap stabil dan mengikuti bentuk permukaan tanpa gangguan signifikan.



Gambar 35. *Distribusi Kecepatan pada variasi Front Sweep Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

Gambar distribusi kecepatan pada variasi front sweep hydrofoil menunjukkan dua model, yaitu hydrofoil depan dan belakang, dengan pola aliran yang hampir seragam. Kecepatan aliran meningkat di bagian atas permukaan hydrofoil, ditunjukkan oleh warna biru, sedangkan bagian bawah tampak berwarna hijau hingga kuning yang menandakan kecepatan lebih rendah. Perbedaan kecepatan ini menunjukkan terjadinya pembentukan gaya angkat. Pada kedua hydrofoil, area

percepatan cukup merata dan tampak simetris, dengan pola aliran yang stabil dan mengikuti bentuk permukaan tanpa gangguan aliran yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk front sweep mampu menjaga aliran tetap terarah dengan baik.



Gambar 36. *Distribusi Kecepatan pada variasi Back Sweep Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah, 2025)

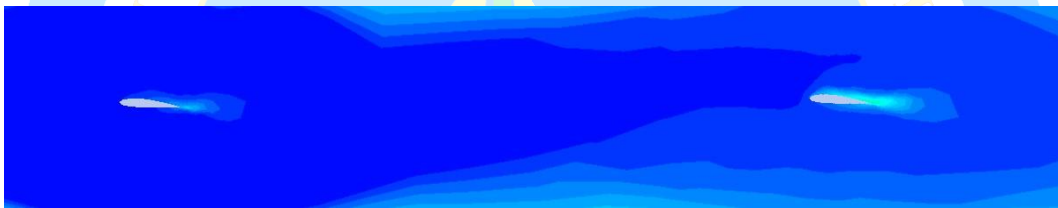
Gambar distribusi kecepatan pada variasi back sweep hydrofoil memperlihatkan dua model, yaitu hydrofoil depan dan belakang, dengan pola aliran yang relatif serupa. Aliran fluida di bagian atas permukaan mengalami percepatan yang ditunjukkan oleh warna biru, sementara bagian bawah didominasi warna hijau hingga kuning yang menunjukkan kecepatan lebih rendah. Perbedaan ini membentuk gaya angkat pada kedua hydrofoil. Pada model belakang, terlihat aliran yang lebih menyebar ke arah belakang dengan bentuk aliran yang sedikit melebar. Meskipun begitu, pola aliran tetap stabil dan mengikuti kontur permukaan tanpa adanya gangguan besar, menandakan bahwa bentuk back sweep tetap mampu menjaga kelancaran aliran di sekitar hydrofoil.

Ketiga variasi hydrofoil flat, front sweep, dan back sweep menunjukkan pola distribusi kecepatan yang sama secara prinsip, yaitu percepatan aliran di bagian atas dan perlambatan di bawah, menciptakan distribusi warna biru di atas dan hijau–kuning di bawah sebagai indikasi terbentuknya gaya angkat. Perbedaannya tampak pada arah dan penyebaran aliran: front sweep menghasilkan pola aliran yang lebih fokus dan simetris, flat menampilkan aliran lurus dan sederhana sesuai bentuk datar, sedangkan back sweep menunjukkan aliran yang menyebar ke belakang. Berdasarkan kestabilan dan keseragaman pola kecepatan, flat hydrofoil tampil paling unggul dalam menjaga kestabilan gaya angkat dan mengurangi gangguan aliran. Hasil ini konsisten dengan (Biswas & Harish, 2025)

yang menyatakan bahwa pada flat hydrofoil, variasi model turbulensi hampir tidak memengaruhi distribusi kecepatan karena aliran tetap stabil dan konsisten

4.3.1.3 Pola Aliran Dan Turbulensi

Karakteristik pola aliran dan tingkat turbulensi berperan penting dalam mengevaluasi stabilitas serta efisiensi suatu desain hydrofoil. Tingkat turbulensi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan gaya hambat (drag) sekaligus menurunkan kemampuan menghasilkan gaya angkat secara optimal. Dalam simulasi CFD, penggunaan model turbulensi seperti $k-\epsilon$ atau SST $k-\omega$ memungkinkan identifikasi wilayah dengan konsentrasi turbulensi yang signifikan, terutama pada bagian trailing edge atau area di belakang hydrofoil. Selain itu, analisis pola aliran juga membantu mendeteksi fenomena seperti separasi aliran yang seluruhnya berdampak terhadap performa hidrodinamika dari desain tersebut.



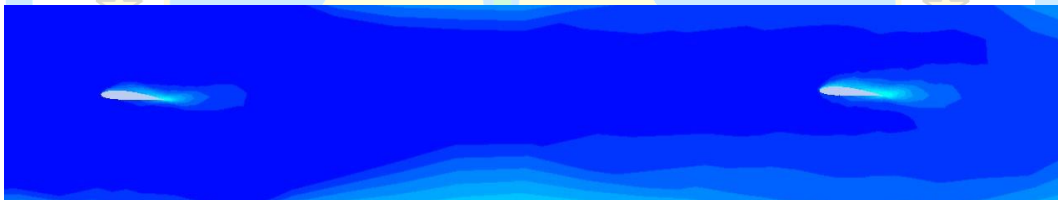
Gambar 37. Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Flat Hydrofoil
(Sumber : Data diolah, 2025)

Gambar di atas menunjukkan distribusi kontur kecepatan aliran turbulen yang mengalir melewati dua flat hydrofoil yang disusun secara tandem. Aliran di sekitar hydrofoil pertama terlihat cukup terarah dan stabil karena langsung menerima aliran dari inlet. Sementara itu, hydrofoil kedua menerima aliran yang sudah mengalami gangguan dari foil pertama, sehingga pola alirannya menjadi lebih menyebar dan kecepatan di sekitarnya cenderung menurun. Hal ini menyebabkan wake di belakang hydrofoil kedua tampak lebih besar dan tidak beraturan. Warna biru tua pada kontur menunjukkan area dengan kecepatan rendah, sedangkan warna hijau hingga kuning menggambarkan aliran dengan kecepatan lebih tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaruh turbulensi dari hydrofoil pertama dapat mengurangi kestabilan aliran dan menurunkan efisiensi pada hydrofoil kedua.



Gambar 38. *Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Front Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah,2025)

Gambar di atas menunjukkan distribusi kontur kecepatan aliran turbulen yang mengalir melewati dua hydrofoil yang disusun tandem. Aliran di sekitar hydrofoil pertama terlihat lebih simetris dan teratur karena langsung menerima aliran dari inlet. Sementara itu, hydrofoil kedua menerima aliran yang sudah terganggu oleh turbulensi dari foil pertama, sehingga kecepatan alirannya lebih rendah dan kurang stabil. Akibatnya, area wake di belakang hydrofoil kedua menjadi lebih besar dan tidak teratur. Warna biru tua menunjukkan kecepatan rendah, sedangkan warna hijau hingga kuning menandakan kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa turbulensi dari hydrofoil pertama dapat memengaruhi aliran dan menurunkan kinerja angkat serta meningkatkan hambatan pada hydrofoil kedua.



Gambar 39. *Pola Aliran Dan Turbulensi Variasi Back Sweep Hydrofoil*
(Sumber : Data diolah,2025)

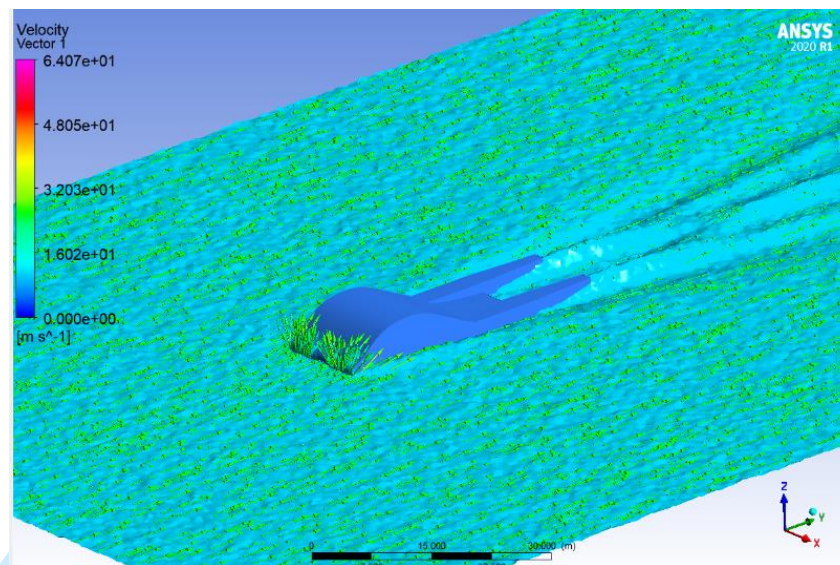
Gambar di atas menunjukkan distribusi kontur kecepatan aliran turbulen yang melewati dua back sweep hydrofoil yang disusun tandem. Hydrofoil pertama menerima aliran bebas secara langsung, sehingga aliran di sekitarnya tampak lebih stabil dan terarah, ditunjukkan oleh warna biru gelap yang merata. Sementara itu, hydrofoil kedua menerima aliran yang sudah mengalami gangguan dari foil pertama, sehingga distribusi kecepatannya tampak lebih menyebar dan mulai menurun. Wake region di belakang hydrofoil kedua terlihat lebih besar dan tidak beraturan, mengindikasikan penurunan kestabilan aliran. Warna biru tua menunjukkan kecepatan rendah akibat hambatan dan turbulensi, sedangkan warna biru muda menandakan kecepatan yang sedikit lebih tinggi. Kondisi ini

menunjukkan bahwa pengaruh turbulensi dari foil pertama tetap memengaruhi aliran di foil kedua, yang dapat menurunkan efisiensi aliran dan meningkatkan hambatan.

Ketiga variasi hydrofoil flat, front sweep, dan back sweep yang disusun secara tandem, menunjukkan pola turbulensi yang secara umum serupa. Foil pertama menerima aliran langsung dari inlet sehingga menghasilkan pola aliran yang lebih stabil, sedangkan foil kedua mengalami aliran yang lebih tidak seragam akibat gangguan turbulen dari foil pertama. Meski begitu, terdapat perbedaan dalam intensitas dan penyebaran turbulensinya. Flat hydrofoil menghasilkan pola aliran yang relatif sederhana, dengan wake pada foil kedua yang cukup jelas namun tidak menyebar luas. Front sweep memperlihatkan pola aliran yang lebih terarah dan simetris, sehingga gangguan turbulen pada foil kedua lebih teredam. Sementara itu, back sweep menunjukkan sebaran wake yang lebih luas dan tidak teratur, mencerminkan tingkat turbulensi yang lebih tinggi. Perbedaan ini menunjukkan bahwa bentuk geometri foil memengaruhi langsung kestabilan aliran dan karakteristik turbulensinya. Temuan ini sejalan dengan hasil studi (Biswas & Harish, 2025) yang menyatakan bahwa konfigurasi flat hydrofoil menghasilkan turbulensi yang lebih terkonsentrasi dan terkendali dibanding desain swept, sehingga lebih stabil dalam susunan tandem.

4.3.2. Lambung *Hoverwing*

Lambung *Hoverwing* adalah model dasar (pertama) yang digunakan sebagai pembandingan dalam analisis ini karena tidak menggunakan hydrofoil. Simulasi dilakukan pada kecepatan 50 knot, dengan panjang 59,6 meter dan lebar 12 meter. Proses simulasi dijalankan menggunakan software ANSYS 2020 R1 untuk melihat aliran fluida di sekitar lambung serta mengetahui berapa besar gaya yang bekerja pada kapal dimana yang dicari adalah gaya angkat dan hambatan.



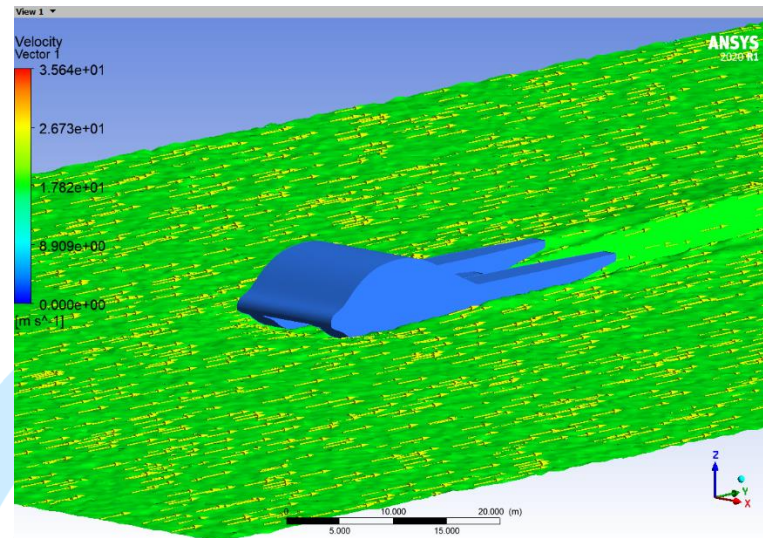
Gambar 40. Hasil analisa lambung Hoverwing
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Pada model pertama, yaitu lambung Hoverwing tanpa menggunakan hydrofoil, simulasi menunjukkan bahwa gaya vertikal ke atas (*lift*) yang bekerja sebesar **614,824 kN**, dan gaya hambat yang diterima kapal sebesar **703,949 kN**. Penting untuk dipahami bahwa gaya angkat (*lift*) ini bukan berasal dari alat bantu seperti hydrofoil, melainkan murni disebabkan oleh tekanan air yang mengenai permukaan lambung saat kapal bergerak dengan kecepatan tinggi. Gaya ini tercipta karena seluruh badan kapal masih menyentuh permukaan air, sehingga tekanan dari fluida menghasilkan gaya ke atas yang cukup besar. Nilai gaya ini kemudian dijadikan acuan untuk membandingkan efek dari penambahan hydrofoil pada variasi desain berikutnya, terutama untuk melihat apakah penggunaan hydrofoil bisa membantu mengurangi hambatan dan mengubah distribusi gaya angkat pada kapal.

4.3.3. Flat Hydrofoil

Model kedua yang dianalisis adalah lambung kapal yang dilengkapi dengan *flat* hydrofoil. Desain hydrofoil yang digunakan memiliki bentuk datar tanpa sudut kemiringan ke depan maupun ke belakang, dan diposisikan di bawah lambung untuk memberikan tambahan daya angkat. Simulasi dilakukan pada kecepatan konstan 50 knot menggunakan perangkat lunak ANSYS 2020 R1. Tujuannya adalah

untuk melihat pengaruh penambahan *flat* hydrofoil terhadap aliran fluida, gaya angkat, dan hambatan yang terjadi pada kapal.



Gambar 41. Hasil analisa Flat Hydrofoil
(sumber: Data diolah, 2025)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dengan *flat* hydrofoil menghasilkan gaya angkat total sebesar **9,16 kN** dan gaya hambat sebesar **5,544 kN**. Bila dibandingkan dengan model dasar tanpa hydrofoil yang menghasilkan gaya angkat sebesar **614,824 kN**, maka terjadi penurunan gaya vertikal total yang cukup signifikan. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian besar tekanan fluida yang sebelumnya bekerja langsung pada lambung telah berkurang karena sebagian gaya angkat telah dipikul oleh hydrofoil.

Dengan menghitung selisih gaya angkat antara model tanpa hydrofoil dan model dengan *flat* hydrofoil, diperoleh bahwa *flat* hydrofoil menghasilkan gaya angkat sekitar **605,644 kN**. Hal ini menunjukkan bahwa *flat* hydrofoil mampu mengangkat beban dari lambung, yang menjadi indikator keberhasilan fungsi angkat dari hydrofoil. Selain itu, penurunan gaya hambat juga mencerminkan adanya efisiensi aliran yang dihasilkan oleh pengurangan luas permukaan lambung yang bersentuhan langsung dengan air. Dimana hambatan yang **703,949 kN** pada model tanpa hydrofoil menjadi hanya **5,544 kN** pada model dengan *flat* hydrofoil. Penurunan sebesar **698,405 kN**.

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$L = 605644 \text{ N}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V^2 = 25.72 \text{ m/s}$$

$$A = 7.77 \text{ m}^2$$

$$C_L = \frac{605644}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

$$C_L = 0.23$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$D = 5544 \text{ N}$$

$$C_D = \frac{5544}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

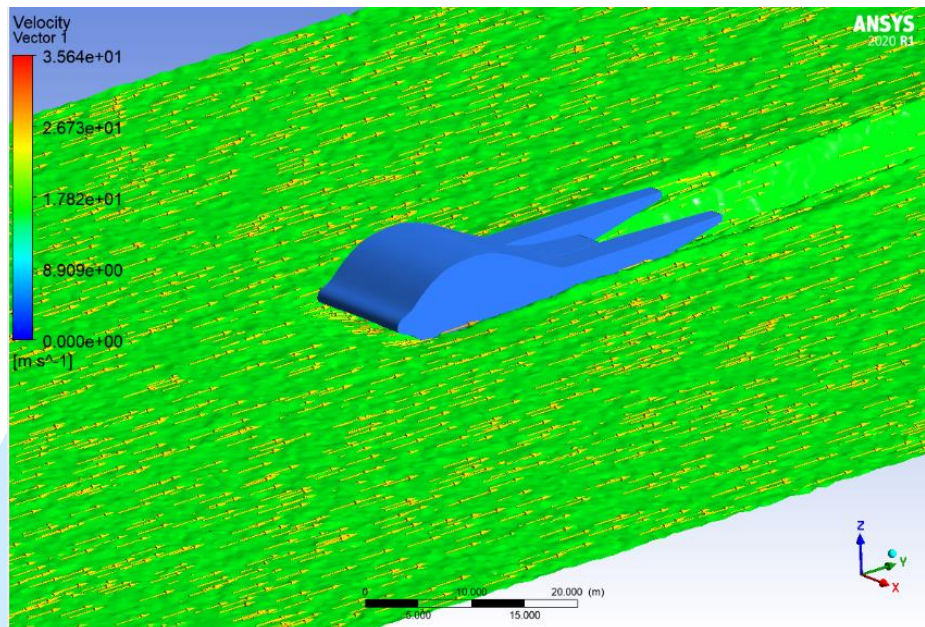
$$C_D = 0.0021$$

Mencari C_L dan C_D dari variasi *flat* hydrofoil digunakan rumus sesuai dengan teori Bernoulli. Maka didapat untuk C_L **0,23** dan C_D **0,0021**.

4.3.4. *Front sweep* Hydrofoil

Model dengan *Front sweep* Hydrofoil merupakan variasi ketiga dalam analisis ini, yaitu dengan menambahkan hydrofoil di bagian bawah lambung Hoverwing. Hydrofoil ini menggunakan profil NACA 4412 dan dipasang dengan posisi miring ke belakang (*swept back*). Simulasi dilakukan pada kecepatan 50 knot, dengan dimensi kapal yaitu panjang 59,6 meter dan lebar 12 meter. Hydrofoil memiliki panjang bentang (*span*) 7 meter dan *chord* sepanjang 1,11 meter. Proses

simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2020 R1 untuk memperoleh gaya-gaya utama yang bekerja, yaitu gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) secara keseluruhan.



Gambar 42. Hasil analisa front sweep Hydrofoil
(sumber: Data diolah, 2025)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dengan *front sweep* hydrofoil menghasilkan *lift* total sebesar **10,435 kN** dan gaya hambat sebesar **9,532 kN**. Bila dibandingkan dengan model dasar tanpa hydrofoil yang menghasilkan gaya angkat sebesar **614,824 kN**, maka terjadi penurunan gaya vertikal total yang cukup signifikan. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian besar tekanan fluida yang sebelumnya bekerja langsung pada lambung telah berkurang karena sebagian gaya angkat telah dipikul oleh hydrofoil.

Dengan menghitung selisih gaya angkat antara model tanpa hydrofoil dan model dengan *front sweep* hydrofoil, diperoleh bahwa *front sweep* hydrofoil menghasilkan gaya angkat sekitar **604,388 kN**. Hal ini menunjukkan bahwa *flat* hydrofoil mampu mengangkat beban dari lambung, yang menjadi indikator keberhasilan fungsi angkat dari hydrofoil. Selain itu, penurunan gaya hambat juga mencerminkan adanya efisiensi aliran yang dihasilkan oleh pengurangan luas permukaan lambung yang bersentuhan langsung dengan air. Dimana hambatan

yang **703,949 kN** pada model tanpa hydrofoil menjadi hanya **9,532 kN** pada model dengan *flat* hydrofoil. Penurunan sebesar **694,417 kN**.

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$L = 604388 \text{ N}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V^2 = 25.72 \text{ m/s}$$

$$A = 7.77 \text{ m}^2$$

$$C_L = \frac{604388}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

$$C_L = 0.229$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$D = 9532 \text{ N}$$

$$C_D = \frac{9532}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

$$C_D = 0.0036$$

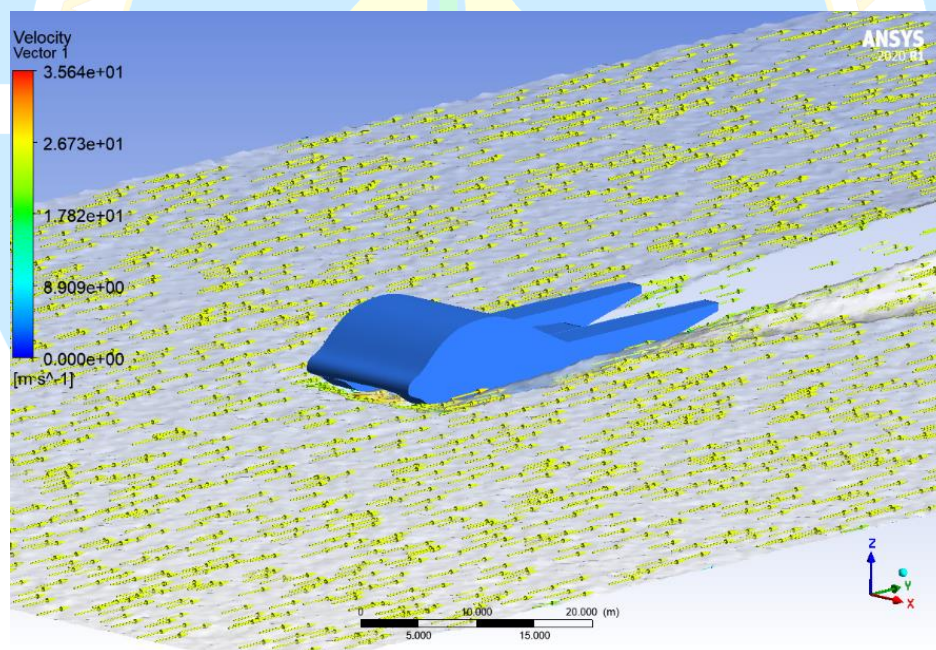
Untuk mencari C_L dan C_D dari variasi *front Sweep* hydrofoil digunakan rumus sesuai dengan teori Bernoulli. Maka didapat untuk C_L **0,229** dan C_D **0,0036**.

4.3.5. *Back sweep* Hydrofoil

Model *Back sweep* Hydrofoil merupakan variasi keempat yang dianalisis dalam penelitian ini. Desain hydrofoil diletakkan di bagian bawah lambung Hoverwing dengan bentuk menyapu ke depan (*forward sweep*) menggunakan profil NACA 4412. Simulasi dilakukan pada kecepatan 50 knot, dengan panjang kapal

(LOA) sebesar 59,6 meter dan lebar (beam) 12 meter. Hydrofoil yang digunakan memiliki panjang bentang (span) 7 meter dan chord sepanjang 1,11 meter. Seluruh proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2020 R1, dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik aliran fluida serta mendapatkan nilai gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) pada konfigurasi ini.

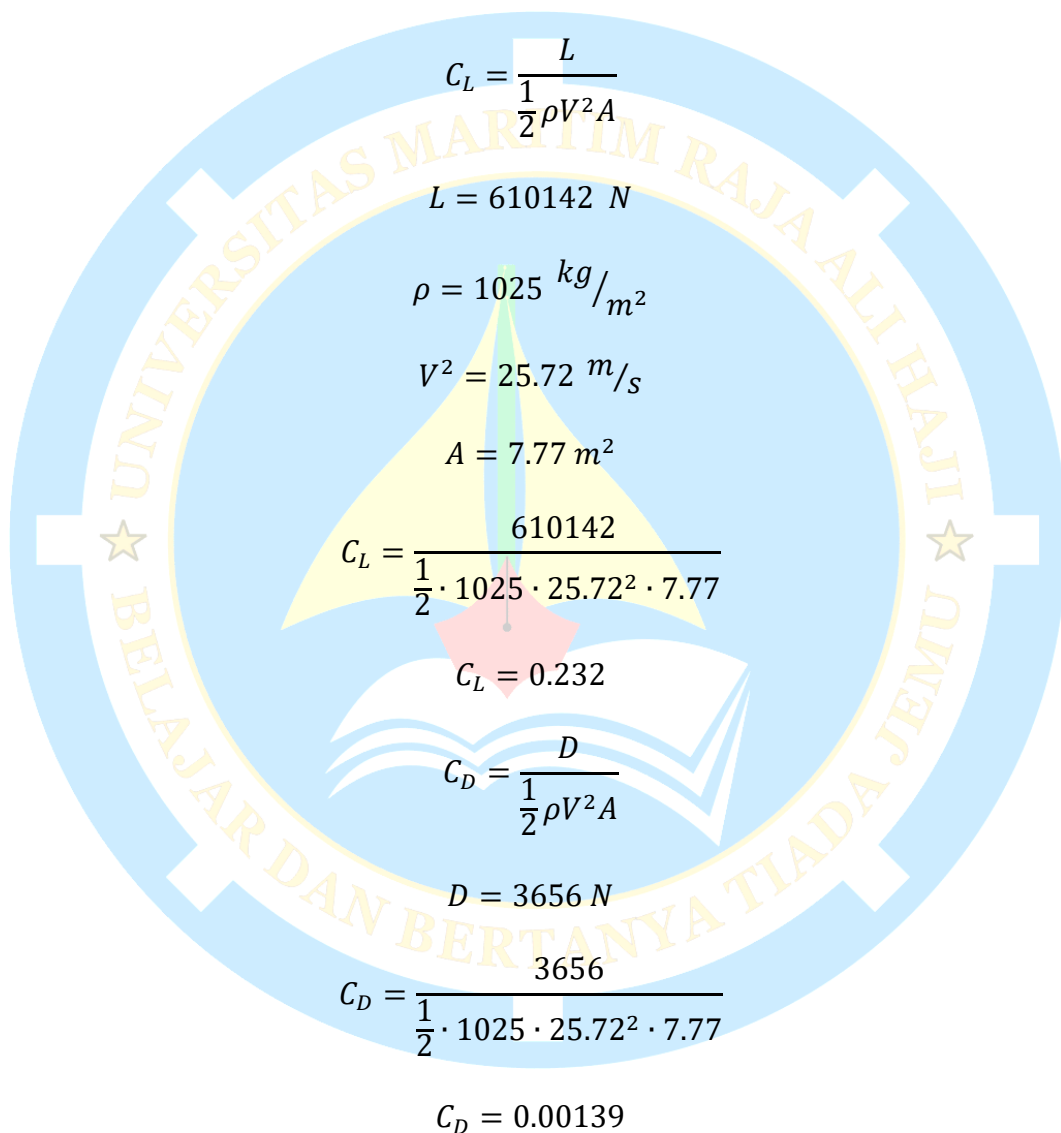
Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dengan *back sweep* hydrofoil menghasilkan gaya angkat total sebesar **4,682 kN** dan gaya hambat sebesar **3,656 kN**. Bila dibandingkan dengan model dasar tanpa hydrofoil yang menghasilkan gaya angkat sebesar **614,824 kN**, maka terjadi penurunan gaya vertikal total yang cukup signifikan. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian besar tekanan fluida yang sebelumnya bekerja langsung pada lambung telah berkurang karena sebagian gaya angkat telah dipikul oleh hydrofoil.



Gambar 43. Hasil analisa *back sweep* Hydrofoil
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Dengan menghitung selisih gaya angkat antara model tanpa hydrofoil dan model dengan *back sweep* hydrofoil, diperoleh bahwa *back sweep* hydrofoil menghasilkan gaya angkat sekitar **610,142 kN**. Hal ini menunjukkan bahwa *flat*

hydrofoil mampu mengangkat beban dari lambung, yang menjadi indikator keberhasilan fungsi angkat dari hydrofoil. Selain itu, penurunan gaya hambat juga mencerminkan adanya efisiensi aliran yang dihasilkan oleh pengurangan luas permukaan lambung yang bersentuhan langsung dengan air. Dimana hambatan yang **703,949 kN** pada model tanpa hydrofoil menjadi hanya **3,656 kN** pada model dengan *back sweep* hydrofoil. Penurunan sebesar **700.293 kN**.



$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$L = 610142 \text{ N}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V^2 = 25.72 \text{ m/s}$$

$$A = 7.77 \text{ m}^2$$

$$C_L = \frac{610142}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

$$C_L = 0.232$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

$$D = 3656 \text{ N}$$

$$C_D = \frac{3656}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 25.72^2 \cdot 7.77}$$

$$C_D = 0.00139$$

Mencari C_L dan C_D dari variasi *Back Sweep* hydrofoil digunakan rumus sesuai dengan teori Bernoulli. Maka didapat untuk C_L **0,232** dan C_D **0,00139**.

4.4. Perbandingan dan Hasil

Untuk mengetahui seberapa efektif setiap variasi hydrofoil, dilakukan perbandingan berdasarkan dua hasil utama dari simulasi, yaitu gaya angkat (*Lift*) dan hambatan (*Drag*). Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk melihat model mana yang paling baik dalam meningkatkan kinerja hidrodinamika kapal.

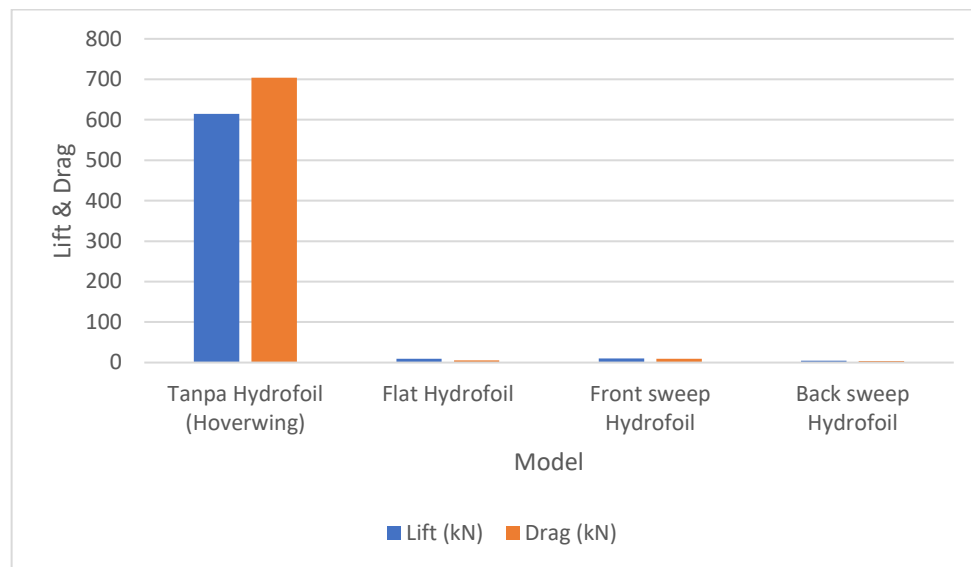
4.4.1. Tabel Ringkasan Hasil Simulasi

Tabel 8. *Hasil Simulasi*

No	Model	<i>Lift</i> (kN)	<i>Drag</i> (kN)	Ratio (L/D)
1	Tanpa Hydrofoil (Hoverwing)	614,824	703,949	0,873
2	<i>Flat</i> Hydrofoil	9,16	5,544	1,652
3	<i>Front sweep</i> Hydrofoil	10,436	9,531	1.095
4	<i>Back sweep</i> Hydrofoil	4,682	3,656	1,281

(sumber: *Data diolah, 2025*)

Bagian ini menampilkan ringkasan hasil simulasi dari semua model yang telah diuji, yaitu model tanpa hydrofoil (Hoverwing), *flat* hydrofoil, *front sweep* hydrofoil, dan *back sweep* hydrofoil. Setiap model dianalisis untuk melihat seberapa besar gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), serta perbandingan antara keduanya (rasio L/D) guna menilai seberapa baik kinerja masing-masing desain secara hidrodinamis. Digambarkan dalam bentuk diagram berikut:



Gambar 44. Hasil *Lift dan Drag*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

4.4.2. Perbandingan Gaya Angkat Antar Variasi

Gaya angkat merupakan salah satu hal penting yang perlu dianalisis untuk menilai seberapa baik performa kapal saat diberi tambahan hydrofoil. Dalam penelitian ini, empat model diuji, yaitu model tanpa hydrofoil (*Hoverwing*), serta tiga model dengan bentuk hydrofoil yang berbeda: *flat*, *front sweep*, dan *back sweep*.

Model tanpa hydrofoil menunjukkan gaya vertikal ke atas sebesar **614,824 kN**. Namun gaya ini bukan dihasilkan oleh alat bantu seperti hydrofoil, melainkan muncul karena tekanan fluida yang mengenai badan kapal saat bergerak di air. Setelah diberi hydrofoil model *flat*, gaya angkat total turun menjadi **9,16 kN**, yang artinya tekanan pada badan kapal berkurang karena sebagian gaya angkat telah ditopang oleh hydrofoil. Jika dihitung dari selisihnya, maka hydrofoil ini menyumbang gaya angkat sekitar **605,644 kN**.

Model *front sweep* hydrofoil juga menunjukkan hasil serupa, dengan total gaya angkat sebesar **10,435 kN** dan kontribusi hydrofoil sekitar **604,389 kN**. Sementara model *back sweep* menghasilkan gaya angkat total **4,682 kN**, sehingga gaya yang dihasilkan oleh hydrofoil-nya diperkirakan sekitar **610,142 kN**.

Untuk menghitung persentase penurunan *lift* (%), dipakai rumus;

$$\text{Penurunan lift (\%)} = \left(\frac{L_{\text{tanpa foil}} - L_{\text{dengan foil}}}{L_{\text{tanpa foil}}} \right) \cdot 100$$

Dari rumus diatas didapat hasil, model tanpa hydrofoil – *flat* hydrofoil turun sebesar **98.51%**, model tanpa hydrofoil – *front sweep* hydrofoil turun sebesar **98.30%**, model tanpa hydrofoil – *back sweep* hydrofoil turun sebesar **99.24%**.

Hasil ini memperlihatkan bahwa meskipun angka total gaya angkat terlihat menurun setelah dipasang hydrofoil, sebenarnya gaya angkat dari hydrofoil justru membantu mengurangi beban pada lambung. Ini menunjukkan hydrofoil bekerja dengan baik dalam mengangkat badan kapal dari air dan mendistribusikan tekanan secara lebih efisien. Disimpulkan variasi dengan gaya angkat paling besar yaitu variasi *back sweep* hydrofoil yaitu **610,142 kN**.

4.4.3. Perbandingan Hambatan Antar Variasi

Selain gaya angkat, hambatan juga merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan dalam menilai efisiensi desain kapal. Hambatan menggambarkan seberapa besar tahanan air yang dialami kapal saat bergerak. Dalam penelitian ini, perbandingan dilakukan terhadap empat model, yaitu model tanpa hydrofoil (Hoverwing), model dengan *flat* hydrofoil, *front sweep* hydrofoil, dan *back sweep* hydrofoil.

Model tanpa hydrofoil mencatat nilai hambatan paling tinggi, yaitu **703,949 kN**, dan digunakan sebagai acuan dalam membandingkan variasi lainnya. Pada model dengan *flat* hydrofoil, hambatan yang terjadi hanya sebesar **5,544 kN**, menunjukkan pengurangan yang sangat besar, yakni **698,405 kN**. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan hydrofoil berhasil mengurangi permukaan lambung yang bergesekan langsung dengan air, sehingga hambatan pun menurun drastis.

Sementara itu, model dengan *front sweep* hydrofoil menghasilkan hambatan sebesar **9,532 kN**, atau berkurang sekitar **694,417 kN** dari model dasar. Adapun model *back sweep* hydrofoil menghasilkan hambatan paling rendah, yaitu hanya **3,656 kN**, dengan pengurangan sebesar **700,293 kN**.

Untuk menghitung persentase penurunan *drag* (%), dipakai rumus;

$$\text{Penurunan drag (\%)} = \left(\frac{D_{\text{tanpa foil}} - D_{\text{dengan foil}}}{D_{\text{tanpa foil}}} \right) \cdot 100$$

Dari rumus diatas didapat hasil, model tanpa hydrofoil – *flat* hydrofoil turun sebesar **99.21%**, model tanpa hydrofoil – *front sweep* hydrofoil turun sebesar **98.65%**, model tanpa hydrofoil – *back sweep* hydrofoil turun sebesar **99.48%**.

Secara keseluruhan, ketiga variasi hydrofoil menunjukkan kemampuan dalam mengurangi hambatan secara signifikan. Efek ini memperlihatkan bahwa desain hydrofoil mampu membuat aliran air di sekitar lambung menjadi lebih lancar, sehingga mendukung performa kapal yang lebih efisien dan cepat. Dan dari persentase penurunan hambatan, disimpulkan bahwa variasi hydrofoil dengan bentuk *back sweep* hydrofoil adalah variasi yang memberikan hasil paling optimum sebesar **99.48%**. dibuktikan degan penelitian yang dilakukan (Siahaan et al., 2020) *back sweep* hydrofoil memberikan gaya angkat yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya.

4.4.4. Analisa Rasio *Lift-to-Drag* (L/D)

Bagian ini membahas perbandingan antara gaya angkat dan gaya hambat pada setiap model untuk mengetahui seberapa efisien masing-masing desain. Perbandingan ini disebut rasio *lift-to-drag* (L/D), dan digunakan untuk melihat seberapa besar gaya angkat yang dihasilkan dibandingkan hambatan yang diterima. Semakin tinggi nilai rasio ini, berarti desain kapal bekerja semakin efisien.

Model tanpa hydrofoil (Hoverwing) memiliki rasio L/D sebesar 0,87, menunjukkan bahwa hambatan yang ditimbulkan masih besar dibanding gaya angkatnya. Pada model *flat* hydrofoil, rasio meningkat menjadi 1,65, menandakan bahwa desain ini mampu mengurangi hambatan secara signifikan. Sementara itu, model *front sweep* hydrofoil memiliki rasio 1,09, dan *back sweep* hydrofoil sebesar 1,28.

Dari hasil ini, bisa disimpulkan bahwa model *flat* hydrofoil memiliki performa paling baik dalam menghasilkan gaya angkat dengan hambatan yang lebih kecil, sehingga lebih efisien dibanding variasi lainnya.

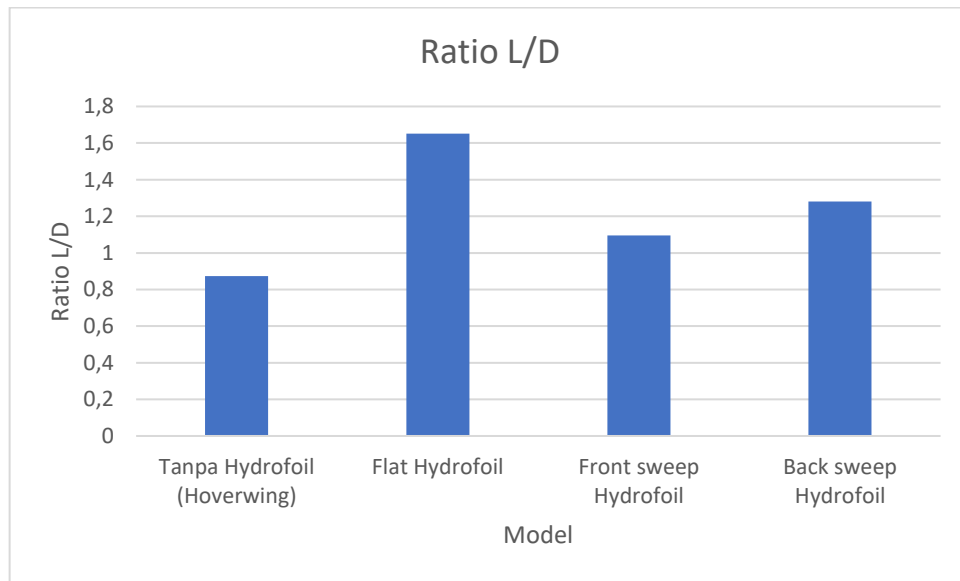
4.4.5. Interpretasi dan Evaluasi Desain Hydrofoil Optimal

Dari hasil simulasi keempat model—yaitu tanpa hydrofoil (Hoverwing), serta tiga variasi dengan hydrofoil: *flat*, *front sweep*, dan *back sweep*—diperoleh data mengenai gaya angkat, gaya hambat, dan rasio L/D. Data ini memberikan gambaran bagaimana masing-masing desain bekerja secara hidrodinamis.

Secara keseluruhan, penambahan hydrofoil terbukti mampu menurunkan hambatan secara signifikan dibandingkan model dasar tanpa hydrofoil. Dari ketiga desain hydrofoil, *flat* hydrofoil menunjukkan kinerja paling optimal karena tidak hanya menghasilkan gaya hambat paling rendah, tetapi juga memiliki rasio L/D tertinggi.

Penurunan angka gaya angkat total pada model yang menggunakan hydrofoil bukan berarti kinerjanya menurun. Justru, hal itu menunjukkan bahwa sebagian besar beban angkat kini ditopang oleh hydrofoil, bukan oleh lambung kapal seperti pada model dasar. Ini menandakan hydrofoil bekerja sesuai fungsinya, yaitu membantu mengangkat kapal agar lebih stabil dan efisien saat melaju.

Perbedaan bentuk hydrofoil juga berdampak pada hasil yang diperoleh. Desain *back sweep* menghasilkan tambahan gaya angkat yang lebih rendah daripada *front sweep*. Ini membuktikan bahwa arah kemiringan dan bentuk hydrofoil sangat berpengaruh terhadap pola aliran air di sekitar badan kapal.



Gambar 45. *Ratio Lift dan Drag*
(sumber: *Data diolah, 2025*)

Berdasarkan analisis ini, *flat* hydrofoil dapat dianggap sebagai desain terbaik karena memberikan keseimbangan antara gaya angkat yang cukup, hambatan yang rendah, dan efisiensi aliran yang tinggi. Meskipun *back sweep* juga menunjukkan performa yang baik, *flat* hydrofoil tetap unggul dalam hal efisiensi dan stabilitas. Hasil penelitian (Budiyanto et al., 2021) menunjukkan bahwa hydrofoil tipe flat (NACA 4412) yang dipasang setelah transom menghasilkan rasio lift-to-drag tertinggi, dengan efisiensi meningkat 10%–29% dibanding posisi lain, membuktikan keseimbangan optimal antara gaya angkat dan hambatan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perbandingan antara *drag* dan *lift* yang dihasilkan oleh lambung hoverwing, lambung hoverwing dengan *flat* hydrofoil, lambung hoverwing dengan *front sweep* hydrofoil dan lambung hoverwing dengan *back sweep* hydrofoil disimpulkan bahwa:

- a. Model dasar tanpa hydrofoil (Hoverwing) menghasilkan gaya vertikal (*lift*) sebesar 614,824 kN dan gaya hambat sebesar 703,949 kN. *Lift* ini bukan berasal dari alat pengangkat, melainkan dari tekanan fluida pada lambung kapal saat bergerak.
- b. Penambahan hydrofoil secara umum menurunkan gaya vertikal total (*lift*) karena sebagian beban angkat dialihkan dari lambung ke hydrofoil. Ini menunjukkan bahwa hydrofoil berhasil menjalankan fungsinya. ★
- c. Arah kemiringan hydrofoil berpengaruh terhadap efisiensi aliran dan distribusi hambatan. Model *front sweep* hydrofoil (kemiringan ke depan) menunjukkan hambatan yang lebih tinggi dibanding *back sweep* hydrofoil. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi sudut hydrofoil memengaruhi arah dan besarnya aliran fluida di sekitarnya, sehingga berdampak langsung pada kinerja hidrodinamis kapal.
- d. Variasi *Flat* hydrofoil menghasilkan performa terbaik, dengan rasio L/D tertinggi, yang menunjukkan efisiensi aliran terbaik di antara semua variasi, dengan *drag* total 5,544 kN, *lift* total 9,16 kN dan gaya angkat dari *flat* hydrofoil sebesar 605,644 kN, menunjukkan bahwa hydrofoil mampu menopang sebagian besar beban vertikal yang sebelumnya ditanggung lambung.
- e. Variasi *Back sweep* hydrofoil menghasilkan performa menengah, dengan *drag* total 3,656 kN dan *lift* total sebesar 4,682 kN. Dan gaya angkat yang dihasilkan back hydrofoil sebesar 610,142 kN.

- f. Variasi *Front sweep* hydrofoil memiliki hambatan tertinggi di antara variasi dengan hydrofoil, yakni sebesar 9,532 kN, serta *lift* total sebesar 10,435 kN. Dan gaya angkat dari *front sweep* hydrofoil sebesar 604,388 kN. Hal ini menunjukkan bahwa arah kemiringan hydrofoil memengaruhi efisiensi aliran.
- g. Penurunan gaya hambat pada semua variasi hydrofoil sangat signifikan, dengan pengurangan lebih dari 98% dibanding model tanpa hydrofoil. Ini menjadi indikator penting bahwa penggunaan hydrofoil efektif dalam mengurangi hambatan.

5.2. Saran

Dalam pengerjaan skripsi ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik disengaja maupun tidak sengaja. Oleh karena itu untuk penelitian kedepannya dibutuhkan saran yang membangun baik dari segi analisa maupun penulisan, baik dari penulis sendiri, pembaca dan peneliti selanjutnya.

- a. Untuk kedepannya analisa terhadap foil dilakukan dengan variasi foil, untuk mengetahui foil dengan performa optimum.
- b. Untuk mengetahui hasil dari perhitungan CFD yang digunakan yaitu ANSYS 2020 R1 mendekati kebenaran, sebaiknya digunakan CFD lainnya untuk perbandingan hasilnya

LAMPIRAN

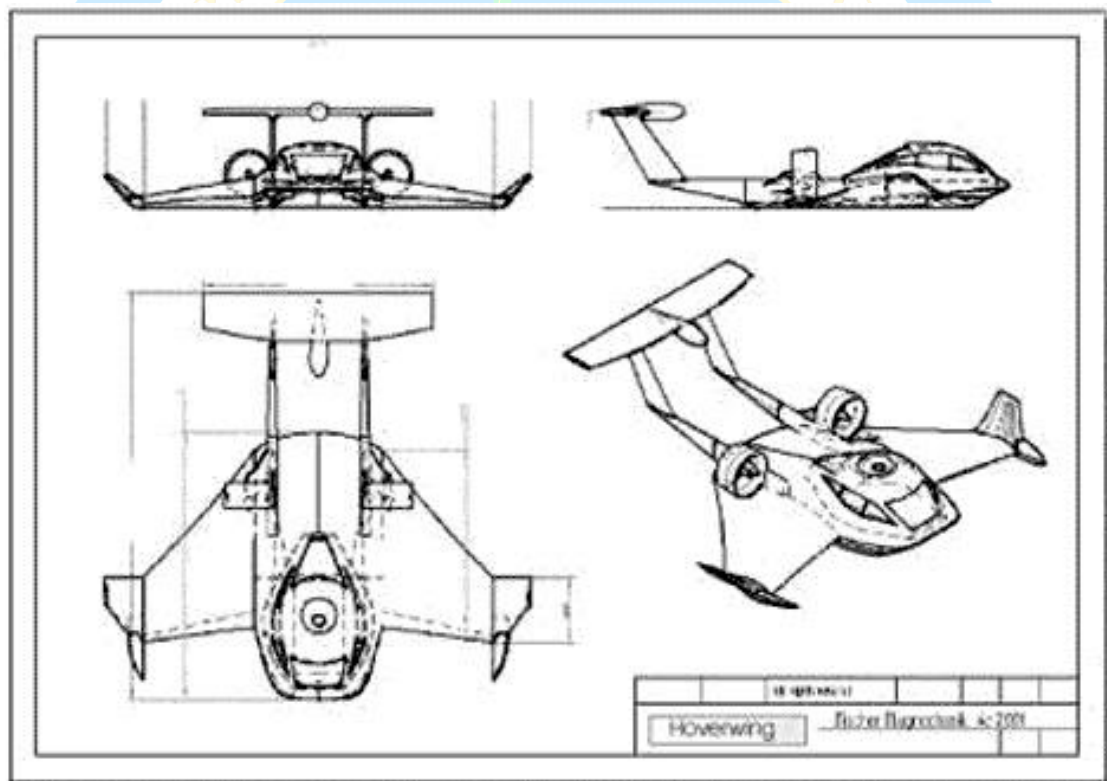
1. Koordinat Airfoil NACA-4412

Sumbu x	Sumbu y
1.0000	0.0013
0.9500	0.0147
0.9000	0.0271
0.8000	0.0489
0.7000	0.0669
0.6000	0.0814
0.5000	0.0919
0.4000	0.0980
0.3000	0.0976
0.2500	0.0941
0.2000	0.0880
0.1500	0.0789
0.1000	0.0659
0.0750	0.0576
0.0500	0.0473
0.0250	0.0339
0.0125	0.0244
0.0000	0.0000
0.0125	-0.0143
0.0250	-0.0195
0.0500	-0.0249
0.0750	-0.0274
0.1000	-0.0286
0.1500	-0.0288
0.2000	-0.0274
0.2500	-0.0250
0.3000	-0.0226

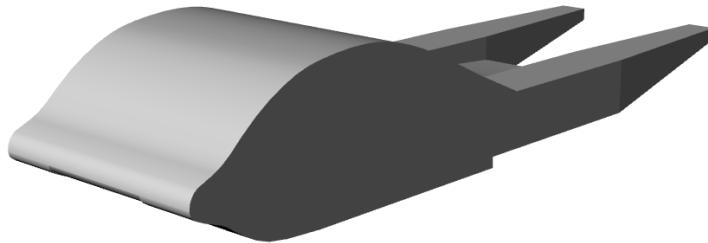
0.4000	-0.0180
0.5000	-0.0140
0.6000	-0.0100
0.7000	-0.0065
0.8000	-0.0039
0.9000	-0.0022
0.9500	-0.0016
1.0000	-0.0013

(Sumber: <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit>)

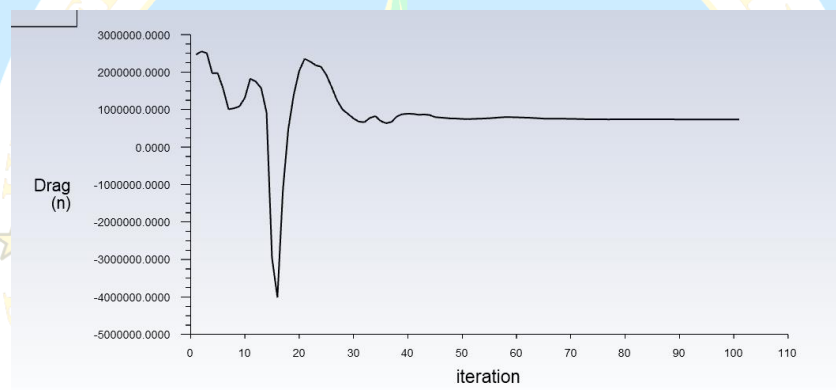
2. Model Hoverwing- *General Arrangement*



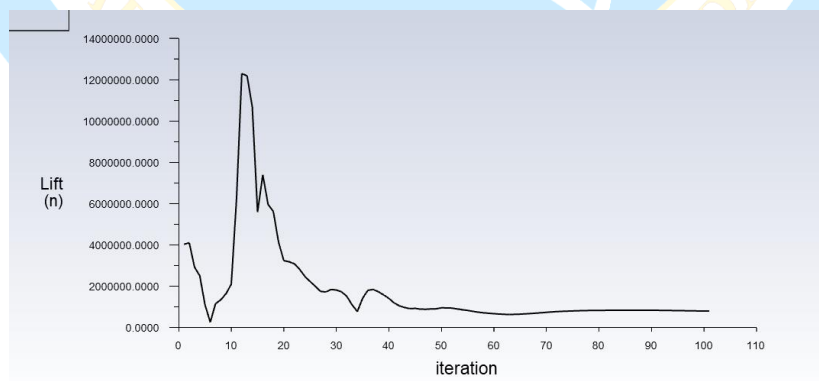
3. Model lambung tanpa Hydrofoil



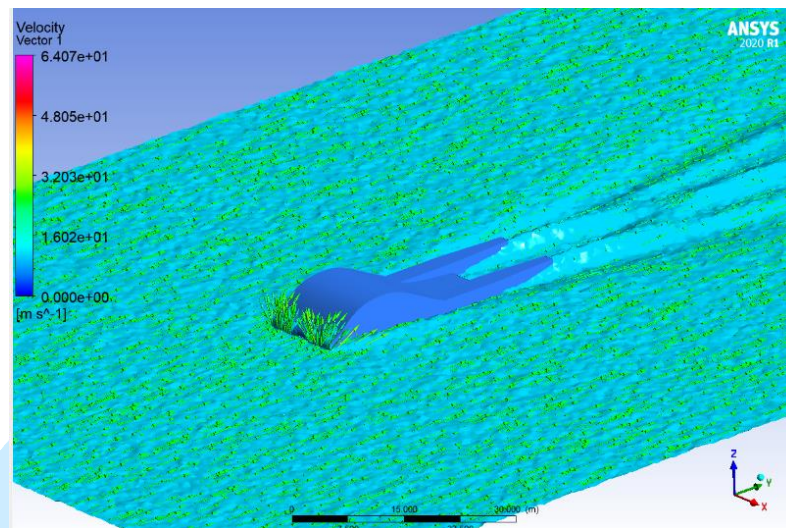
4. Analisa Drag Lambung Tanpa Hydrofoil



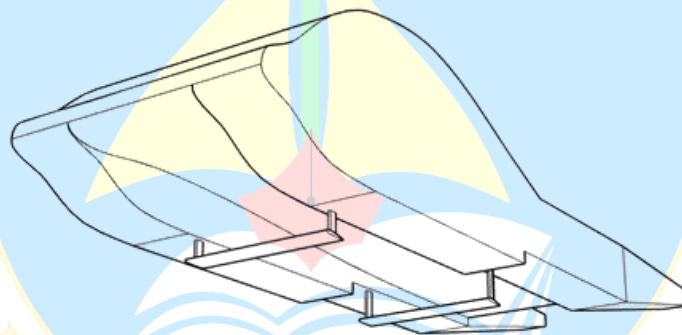
5. Analisa Lift Lambung Tanpa Hydrofoil



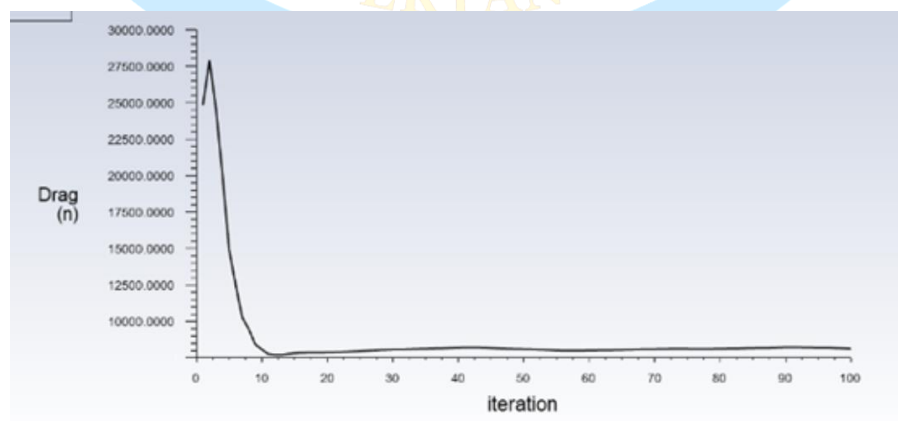
6. Hasil Analisa Lambung Tanpa Hydrofoil



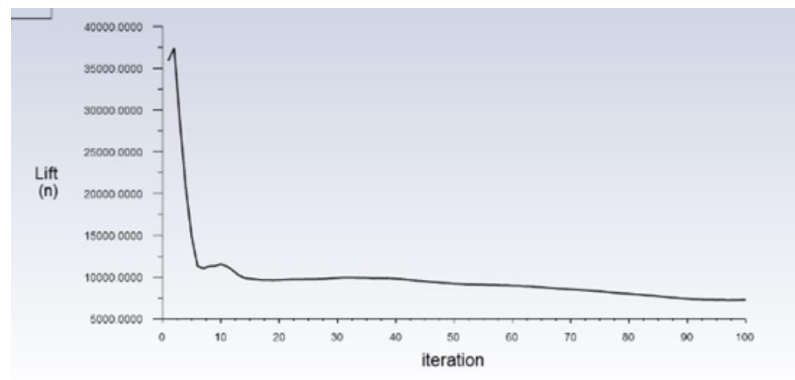
7. Model Lambung Dengan variasi *Flat* Hydrofoil



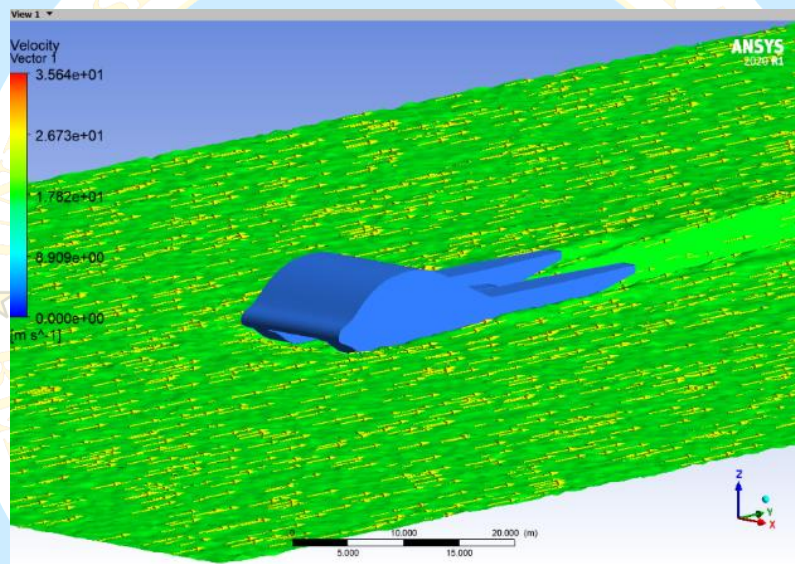
8. Analisa Drag Dengan variasi *Flat* Hydrofoil



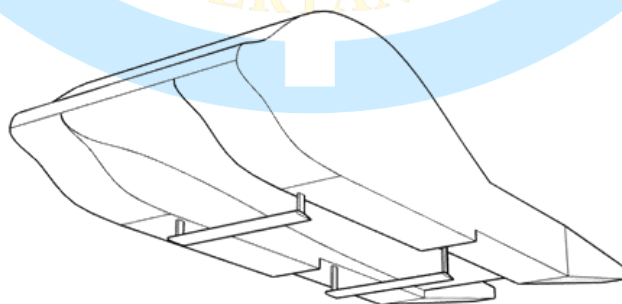
9. Analisa Lift Dengan variasi *Flat* Hydrofoil



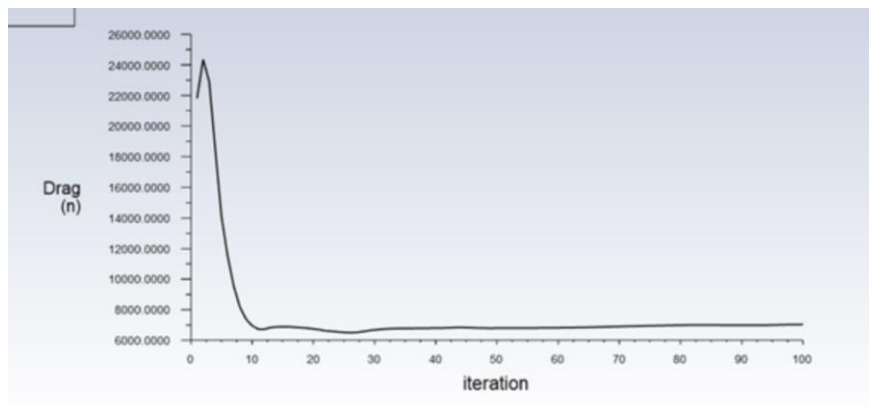
10. Hasil Analisa Lambung dengan Variasi Hydrofoil



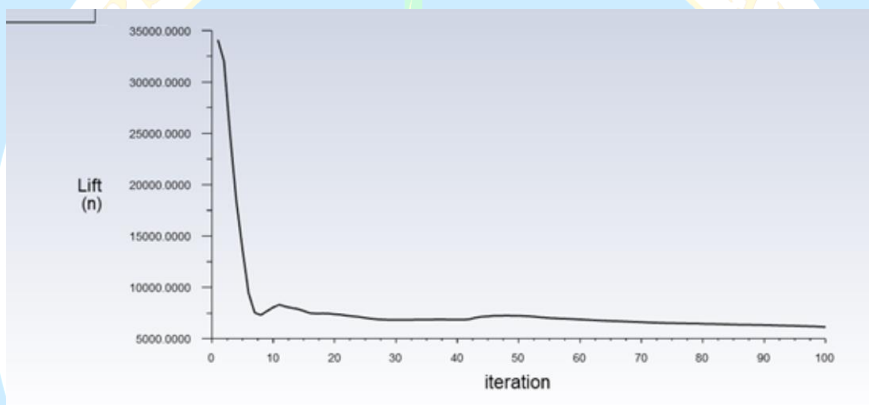
11. Model Lambung dengan *Front Sweep* Hydrofoil



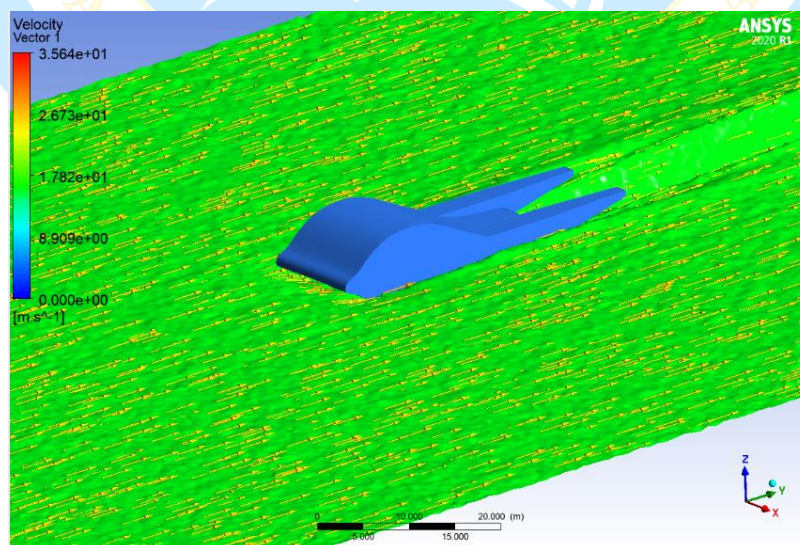
12. Analisa Drag dengan *Front Sweep Hydrofoil*



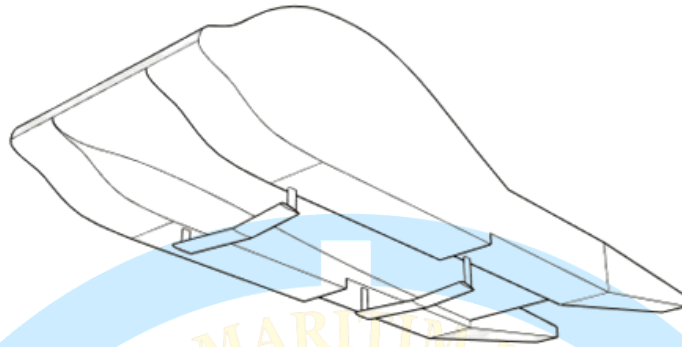
13. Analisa Lift dengan *Front Sweep Hydrofoil*



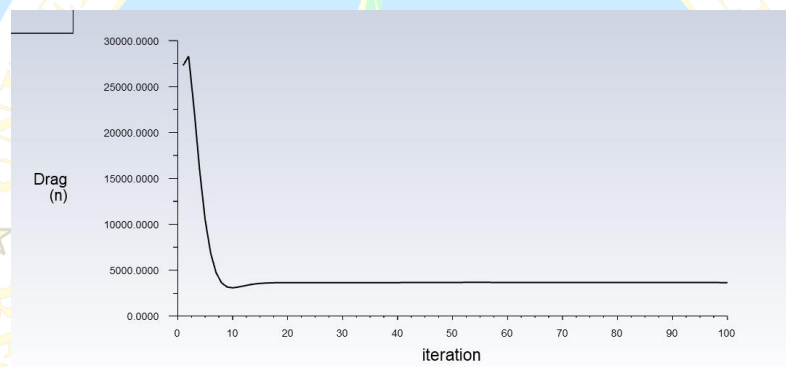
14. Hasil Analisa dengan *Front Sweep Hydrofoil*



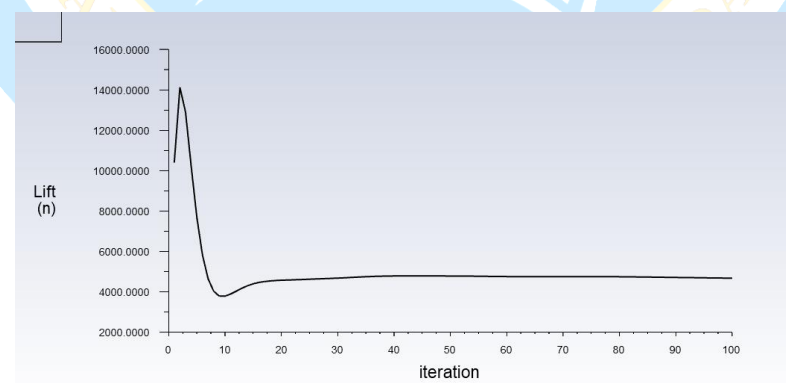
15. Model Lambung dengan Back Sweep Hydrofoil



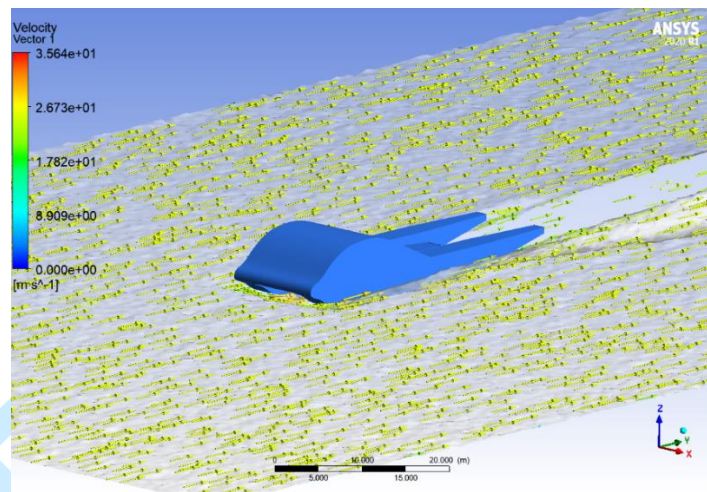
16. Analisa Drag dengan Back Sweep Hydrofoil



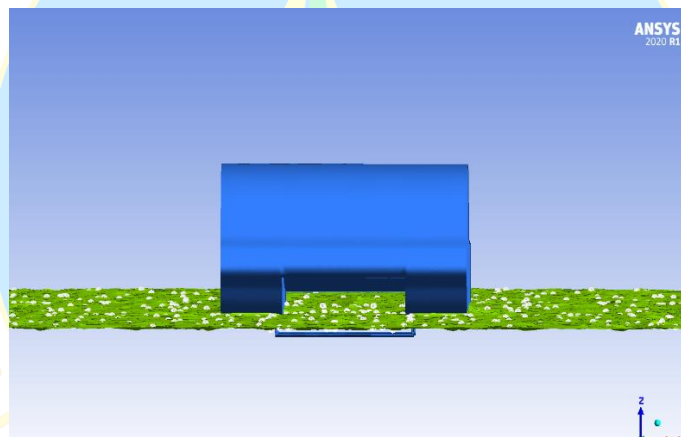
17. Analisa Lift dengan Back Sweep Hydrofoil



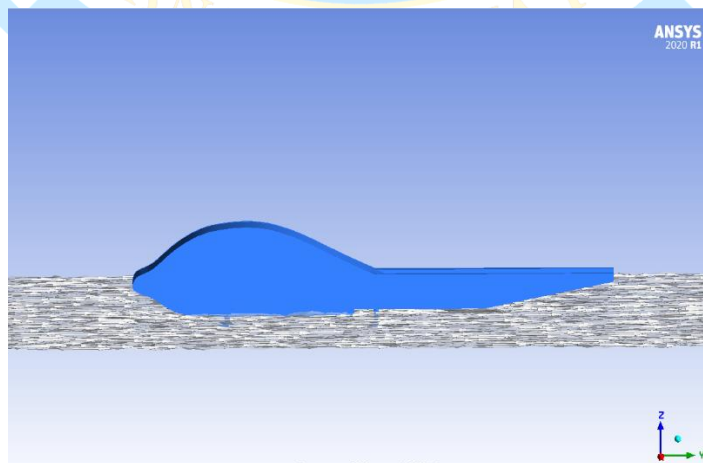
18. Hasil Analisa Lambung dengan Back Sweep Hydrofoil



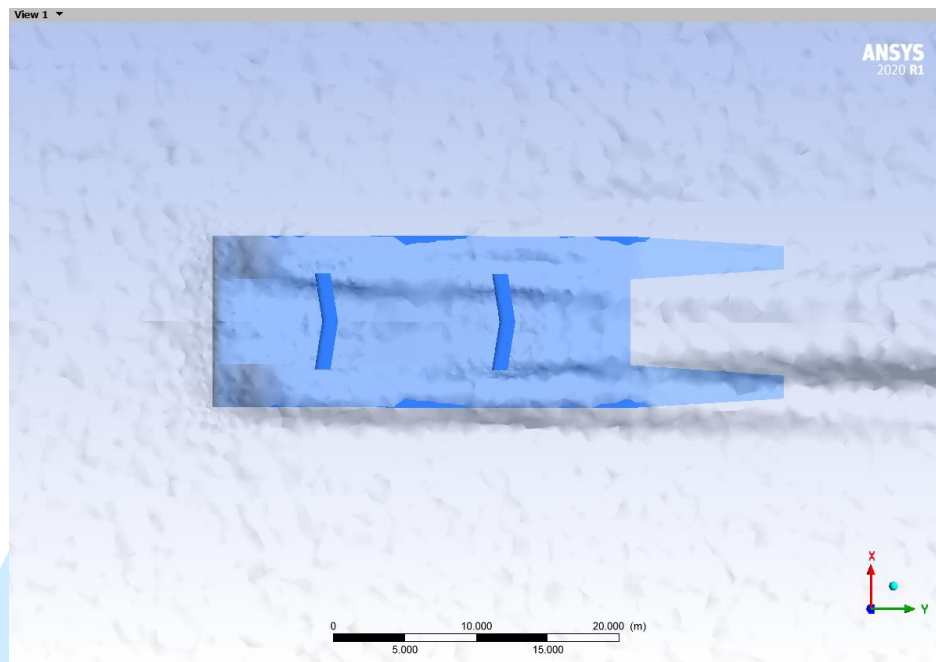
19. Tampak Depan Hasil Analisa Lambung Dengan Back Sweep Hydrofoil



20. Tampak Samping Hasil Analisa Lambung Dengan Back Sweep Hydrofoil



21. Tampak Bawah Hasil Analisa Lambung Dengan Back Sweep Hydrofoil



DAFTAR PUSTAKA

- Arya, A. (2015). *ANALISA DAN OPTIMASI DARI HYDROFOIL SUPPORTED CATAMARAN(HYSUCAT) DENGAN UKURAN 25 METER MENGGUNAKAN METODE CFD*.
<https://repository.its.ac.id/48765/1/4211100065>
- Biswas, S., & Harish, R. (2025). Effect of unsteady cavitation on hydrodynamic performance of NACA 4412 Hydrofoil with novel triangular slot. *Heliyon*, 11(3).
<https://repository.its.ac.id/48765/1/421110006>
- Budiyanto, M. A., Prawira, N. Y., & Dwiputra, H. (2021). Lift-to-drag ratio of the application of hydrofoil with variation mounted position on high-speed patrol vessel. *CFD Letters*, 13(5), 1–9.
<https://doi.org/10.37934/cfdl.13.5.193>
- Effendy, M., & Muchlisin, M. (2019). Studi Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aerodinamika Airfoil NACA 4412. *ROTASI*, 21(3), 147–154.
<https://doi.org/10.14710/rotasi.21.3.147-154>
- Maheswara¹, W., Budiarto¹, U., & Zakki¹, A. F. (2018). Analisis Pengaruh Hull Vane Tipe NACA 4412 Sudut 10 o Terhadap Hambatan dan Seakeeping pada Kapal Perintis 750 DWT Dengan Variasi Jumlah dan Posisi Foil Hull Vane menggunakan Metode CFD. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(2), 304–310.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Nisphal Azis, D., Chrismianto, D., & Arswendo Adietya, B. (2019). Analisa Gaya Angkat dan Hambatan pada Dihedral Surface Piercing Hydrofoil Katamaran Menggunakan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 270–276.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>

Rulianto, J. (2018). *Analisa Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Kapal Tenaga Surya Studi Kasus: Jalapatih*.

<https://repository.its.ac.id/50165/>

Siahaan, Y. N., Samuel, S., & Adietya, B. A. (2020). Analisa Bentuk Foil pada Kapal Hydrofoil Supported-Catamaran (Hysucat). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(3), 145–156.

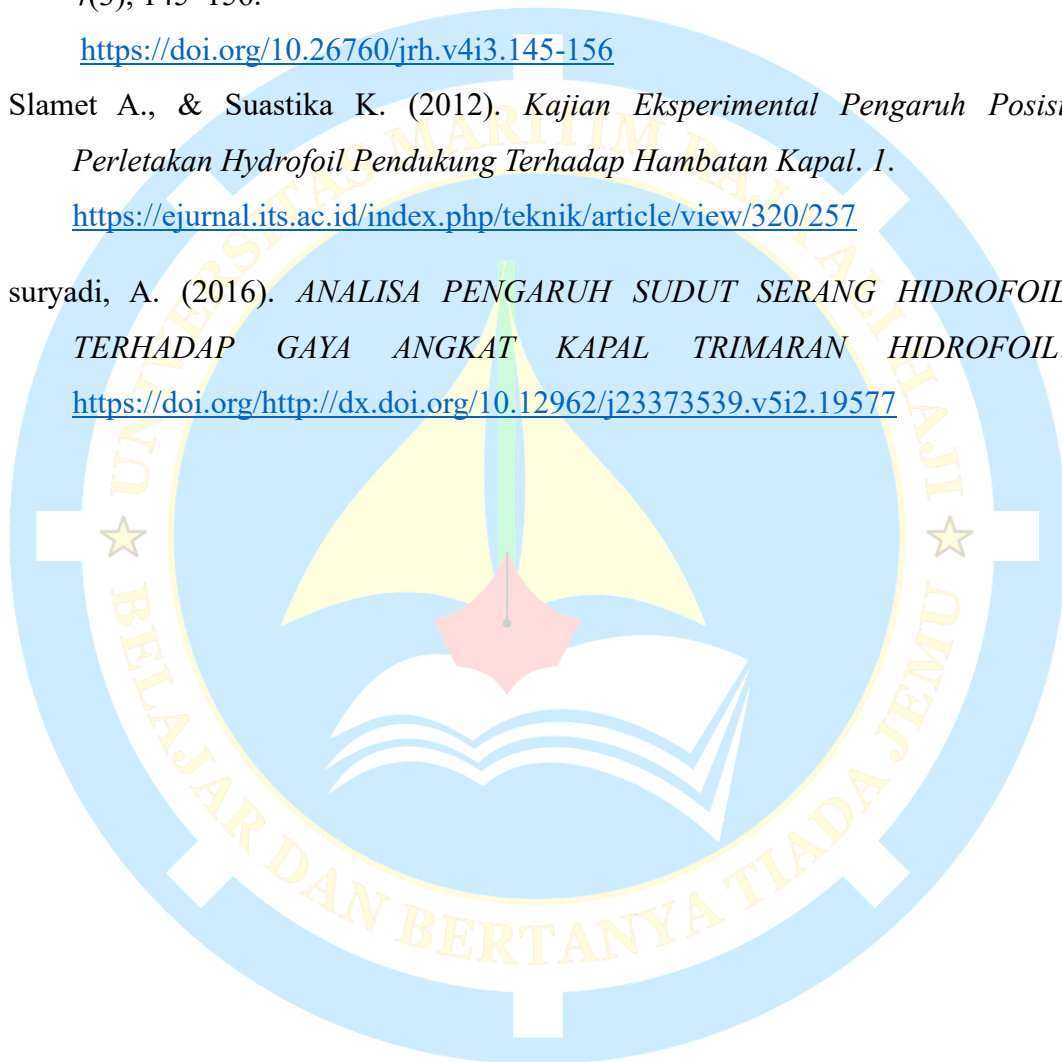
<https://doi.org/10.26760/jrh.v4i3.145-156>

Slamet A., & Suastika K. (2012). *Kajian Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan Hydrofoil Pendukung Terhadap Hambatan Kapal. 1*.

<https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/320/257>

suryadi, A. (2016). *ANALISA PENGARUH SUDUT SERANG HIDROFOIL TERHADAP GAYA ANGKAT KAPAL TRIMARAN HIDROFOIL*.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.19577>



BIODATA PENULIS



Valentino Albert Simanullang adalah nama penulis dari skripsi ini. Lahir pada tanggal 12 februari 2004, di Desa Sosor Tambok, kec. Dolok Sanggul, kab. Humbang Hasundutan, Sumatera Utara. Penulis merupakan anak ke-3 dari 6 bersaudara, dari pasangan Nelson S dan Riris LB. Penulis pertama kali masuk pendidikan di SDN 173409 Sosor Tambok pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2015 dan pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di SMPS SRO Matiti dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu melanjutkan

pendidikan di SMAN 2 Dolok Sanggul dan lulus pada tahun 2021. Ditahun yang sama penulis melanjutkan perkuliahan di Universitas Maritim Raja Ali Haji Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman jurusan Teknik Perkapalan.

Dengan ketekunan, motivasi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir skripsi ini bisa memberikan kontribusi terhadap berbagai pihak.

Dengan mengucapkan syukur dan hormat yang sebesar-besarnya penulis ucapkan atas terselesaikannya skripsi yang berjudul **"Pengaruh Penambahan Hydrofoil Pada Lambung Hoverwing Terhadap Gaya Angkat Sebelum *Take Off* Dengan Pendekatan CFD"**.