



TUGAS AKHIR - ME234802

ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA *DENTICLE* IKAN HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR PADA LAMBUNG KAPAL

Juliko Naufal Rudyanto
NRP. 5019201062

Dosen Pembimbing 1 :
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
NIP. 196801291992031001

Dosen Pembimbing 2 :
Prof. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.
NIP. 196809281991021001

Program Sarjana
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024



TUGAS AKHIR - ME234802

**ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA
DENTICLE IKAN HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR
PADA LAMBUNG KAPAL**

JULIKO NAUFAL RUDYANTO
NRP. 5019201062

DOSEN PEMBIMBING 1 :
IR. ALAM BAHERAMSYAH, M.SC.
NIP. 196801291992031001

DOSEN PEMBIMBING 2 :
PROF. DR. IR. AGOES SANTOSO, M.SC., M.PHIL.
NIP. 196809281991021001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024**



FINAL PROJECT - ME234802

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF *SHARK*
SKIN *DENTICLE* PATTERN AS VORTEX GENERATOR
ON SHIP**

JULIKO NAUFAL RUDYANTO
NRP. 5019201062

SUPERVISOR 1 :
IR. ALAM BAHERAMSYAH, M.SC.
NIP. 196801291992031001

SUPERVISOR 2 :
PROF. DR. IR. AGOES SANTOSO, M.SC., M.PHIL.
NIP. 196809281991021001

MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA DENTICLE IKAN
HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR PADA LAMBUNG KAPAL


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

JULIKO NAUFAL RUDYANTO
NRP. 5019201062

Disetujui oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan


Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19790319200801 1008

SURABAYA

JULI 2024

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA *DENTICLE* IKAN HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR PADA LAMBUNG KAPAL


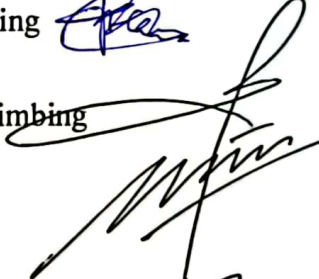



TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Juliko Naufal Rudyanto**

NRP. 5019201062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|---|---|
| 1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
NIP. 196801291992031001 | Pembimbing  |
| 2. Prof. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.
NIP. 196809281991021001 | Ko-pembimbing  |
| 3. Prof. Semin Sanuri, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197101101997021001 | Penguji  |
| 4. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197510062002121003 | Penguji  |
| 5. Dr. Eng. Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T.
NIP. 1992201711048 | Penguji |
| 6. Handi Rahmanuri, S.T., M.T.
NIP. 198805042020121010 | Penguji |
| 7. Danang Jawara Ditya, S.T., M.T
NIP. 199801052024061001. | Penguji  |

SURABAYA

JULI 2024

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Juliko Naufal Rudyanto
Program studi : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing / NIP : 1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
2. Prof. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA *DENTICLE* IKAN HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR PADA LAMBUNG KAPAL ” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2024

Mahasiswa



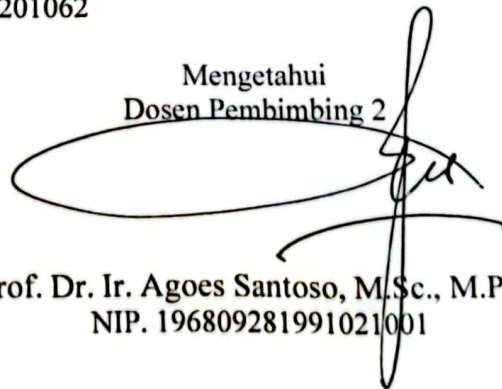
Juliko Naufal Rudyanto
NRP. 5019201062

Mengetahui
Dosen Pembimbing 1



Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
NIP. 196801291992031001

Mengetahui
Dosen Pembimbing 2



Prof. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil
NIP. 196809281991021001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRAK

ANALISIS NUMERIK PENGARUH PEMBERIAN POLA *DENTICLE* IKAN HIU SEBAGAI VORTEX GENERATOR PADA LAMBUNG KAPAL

Nama Mahasiswa / NRP : Juliko Naufal Rudyanto / 5019201062
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Nama Pembimbing 1 : IR. Alam Baheramsyah, M.SC
Nama Pembimbing 2 : Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil

Abstrak

Vortex generator adalah suatu alat yang dapat mempercepat terjadinya perubahan aliran dari *laminar boundary layer* menjadi *turbulen boundary layer* sehingga secara umum dapat menyebabkan aliran melekat lebih lama dan membantu gaya angkat. Sama halnya dengan ikan hiu, permukaan kulit hiu khususnya hiu perenang cepat yang berbentuk dermal *denticle* dapat mengurangi gesekan air saat mengalir melalui permukaan dan menciptakan gaya vortex. Desain dari vortex generator dapat beragam, termasuk mengadaptasi dari bentuk sisik ikan Hiu. Dermal *denticle* merupakan suatu bentuk permukaan yang menyerupai gerigi dengan cekungan yang berulang. Simulasi aliran fluida pada vortex generator menggunakan CFD *Fluent* dengan beberapa variasi *angle of attack* dari vortex generator antara lain 5, 10, 15, 20, dan 25 derajat. Perbandingan nilai *Coefficient of Drag* terkecil pada simulasi dengan vortex generator dan tanpa vortex generator sebesar 0,00035 (0,77%). Perbandingan nilai *Coefficient of Lift* pada simulasi dengan vortex generator dan tanpa vortex generator sebesar 60.5%. *Coefficient of drag* terendah dihasilkan oleh simulasi dengan *angle of attack* 5 derajat dengan nilai 0.04544, *Coefficient of lift* terbesar dihasilkan oleh simulasi dengan *angle of attack* 15 derajat dengan nilai 0.0040771, Berdasarkan *lift* dan *drag ratio*, *angle of attack* paling optimal didapatkan pada sudut 15 derajat dengan *L/D ratio* sebesar 0,08894. Dari simulasi yang telah dilakukan, hasil terbaik (*lift/drag ratio* terbesar) didapatkan pada variasi *angle of attack* 15 derajat.

Kata Kunci : Vortex Generator, Aliran, *Denticle*, Fluida, Hiu

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF *SHARK SKIN DENTICLE* PATTERN AS VORTEX GENERATOR ON SHIP

Student Name / NRP : Juliko Naufal Rudyanto / 5019201062
Departement : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Supervisor 1 : IR. Alam Baheramsyah, M.SC
Supervisor 2 : Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.phil

Abstract

A vortex generator is a device that accelerates the transition of flow from a laminar boundary layer to a turbulent boundary layer. This generally leads to prolonged flow attachment and contributes to lift generation. Similar to *Sharks*, the surface of *Shark* skin, particularly in fast-swimming *Sharks*, features dermal *denticles* that reduce water friction as it flows over the surface and create vortex forces. Vortex generator designs can vary, including adaptations from the shape of *Shark* skin scales. Dermal *denticles* are a serrated surface form with recurring depressions. Different *denticle* patterns are found on different *Shark* species. Fast-swimming *Sharks* like the mako *Shark* exhibit denser *denticle* patterns, while slow-swimming *Sharks* like the Greenland *Shark* have more spaced-out *denticles*. Computational fluid dynamics (CFD) simulations using Fluent were conducted on a vortex generator with varying angles of attack (5, 10, 15, 20, and 25 degrees). The comparison of the smallest Coefficient of Drag values between simulations with and without the vortex generator was 0.00035 (0.77%). The comparison of the Coefficient of Lift values between simulations with and without the vortex generator was 60.5%. The lowest Coefficient of Drag was obtained from the simulation with an angle of attack of 5 degrees with a value of 0.04544, while the highest Coefficient of Lift was obtained from the simulation with an angle of attack of 15 degrees with a value of 0.0040771. Based on the lift-to-drag ratio, the most optimal angle of attack was found to be 15 degrees with an L/D ratio of 0.08894. The simulations revealed that the best result (highest lift-to-drag ratio) was achieved at an angle of attack of 15 degrees.

Keywords : *Vortex Generator, Flow, Denticle, Fluid, Shark*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pendahuluan.....	3
2.2 Penelitian Sebelumnya.....	3
2.3 Struktur <i>Denticle</i> Hiu Mako.....	4
2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	5
2.5 Aliran Fluida.....	6
2.5.1 Laminer.....	6
2.5.2 Turbulen.....	6
2.5.3 Lift.....	6
2.5.4 Drag.....	7
2.6 Vortex Generator.....	7
2.6.1 Angle Of Attack.....	9
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	11
3.1.1 Perumusan Masalah.....	11
3.1.2 Studi Literatur.....	11
3.1.3 Pengambilan Data.....	12
3.1.4 Pembuatan Model.....	12
3.1.5 Simulasi Model.....	12
3.1.6 Analisa dan Pembahasan.....	12
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1 Pendahuluan.....	13
4.2 Pengambilan Data.....	13
4.3 Perencanaan Plat Lengkung.....	15
4.4 Permodelan Plat Lengkung.....	15
4.5 Persiapan Simulasi.....	16
4.6 Meshing.....	16
4.7 Setup & Calculation.....	17
4.8 Pembuatan Model.....	19
4.8.1 Pembuatan Model Angle of Attack 5 derajat.....	20
4.8.2 Pembuatan Model Angle of Attack 10 derajat.....	21
4.8.3 Pembuatan Model Angle of Attack 15 derajat.....	22

4.8.4	Pembuatan Model Angle of Attack 20 Derajat	23
4.8.5	Pembuatan Model Angle of Attack 25 derajat.....	23
4.9	Hasil Simulasi	24
4.9.1	Simulasi Tanpa Vortex Generator (Angle of Attack 0 derajat).....	24
4.9.2	Simulasi Dengan Agle of Attack 5 derajat	25
4.9.3	Simulasi Dengan Angle of Attack 10 Derajat.....	27
4.9.4	Simulasi Dengan Angle of Attack 15 Derajat.....	28
4.9.5	Simulasi Dengan Angle of Attack 20 Derajat.....	29
4.9.6	Simulasi Dengan Angle of Attack 25 Derajat.....	30
4.10	Perbandingan Hasil Simulasi.....	31
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1	KESIMPULAN	35
5.2	SARAN	35
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN.....		39
BIODATA PENULIS		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Vortex Generator Pada Sayap Pesawat	1
Gambar 2.1	<i>Shark Denticle</i>	4
Gambar 2.2	Struktur <i>Denticle</i> Hiu Perenang Lambat dan Hiu Perenang Cepat	4
Gambar 2.3	Struktur <i>Denticle</i> pada Hiu Mako	5
Gambar 2.4	Simulasi CFD	5
Gambar 2.5	Ilustrasi Mobil Tanpa Vortex Generator	7
Gambar 2.6	Ilustrasi Mobil Dengan Vortex Generator	8
Gambar 2.7	Desain Vortex Generator Pada Mobil Percobaan	8
Gambar 2.8	Percobaan Pada Mobil Tanpa Vortex Generator	8
Gambar 2.9	Percobaan Pada Mobil Dengan Vortex Generator	9
Gambar 2.10	Hasil Percobaan Sebelumnya Dengan Variasi Angle of Attack	9
Gambar 4.1	bentuk airfoil (plat elngkung)	14
Gambar 4.2	Import geometry plat lengkung	15
Gambar 4.3	Import Geometry pada Ansys DesignModeller	15
Gambar 4.4	Meshing pada plat lengkung	16
Gambar 4.5	Menentukan boundary condition	16
Gambar 4.6	Proses meshing pada plat lengkung	17
Gambar 4.7	Proses meshing pada plat lengkung	17
Gambar 4.8	Memasukkan setup pada reference value	18
Gambar 4.9	pengecekan error pada meshing & geometry	18
Gambar 4.10	Proses simulasi hingga hasil konvergen	19
Gambar 4.11	Dimensi utama <i>Shark denticle</i>	19
Gambar 4.12	Geometri pada angle of attack 5 derajat	20
Gambar 4.13	Vortex generator disusun melintang	20
Gambar 4.14	Angle of attack pada Airfoil	21
Gambar 4.15	Pengubahan sudut angle of attack pada 10 derajat	21
Gambar 4.16	Vortex generator dengan angle of attack 10 derajat	21
Gambar 4.17	Pengubahan sudut angle of attack menjadi 15 derajat	22
Gambar 4.18	Perbandingan sudut kemiringan antara 15 dan 10 derajat	22
Gambar 4.19	Pengubahan sudut kemiringan pada angle of attack 20 derajat	23
Gambar 4.20	Pengubahan sudut kemiringan pada angle of attack 25 derajat	23
Gambar 4.21	Hasil simulasi pada angle of attack 0 derajat (tanpa vortex generator)	24
Gambar 4.22	Simulasi pada angle of attack 0 derajat	24
Gambar 4.23	Simulasi pada angle of attack 0 derajat	25
Gambar 4.24	Hasil simulasi pada angle of attack 5 derajat	25
Gambar 4.25	Simulasi pada angle of attack 5 derajat	26
Gambar 4.26	Simulasi pada angle of attack 5 derajat	26
Gambar 4.27	Hasil simulasi pada angle of attack 10 derajat	27
Gambar 4.28	Simulasi pada angle of attack 10 derajat	27
Gambar 4.29	Hasil simulasi pada angle of attack 15 derajat	28
Gambar 4.30	Simulasi pada angle of attack 15 derajat	28
Gambar 4.31	Simulasi pada angle of attack 15 derajat	29
Gambar 4.32	Hasil simulasi pada angle of attack 20 derajat	29
Gambar 4.33	Simulasi pada angle of attack 20 derajat	30
Gambar 4.34	Hasil simulasi pada angle of attack 25 derajat	30
Gambar 4.35	Simulasi pada angle of attack 25 derajat	31
Gambar 4.36	Hubungan antara angle of attack dan Coefficient of Lift	32
Gambar 4.37	Hubungan antara angle of attack dan drag coefficiient	32

Gambar 4.38 Lift to drag ratio pada tiap angle of attack33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya	3
Tabel 4.1 Tabel koordinat geometry Naca008.....	13
Tabel 4.2 Perbandingan hasil simulasi	31
Tabel 4.3 Lift to Drag Ratio	32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SINGKATAN

VG	: Vortex Generator
COD	: Coefficient of Drag
CFD	: Computational Fluid Dynamic
CFD	: Computational Fluid Dynamic
AOA	: Angle of Attack
CPV	: Viscous Pressure Resistance Coefficient

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Vortex generator adalah suatu alat yang dapat mempercepat terjadinya perubahan aliran dari *laminar boundary layer* menjadi *turbulen boundary layer* sehingga secara umum dapat menyebabkan aliran melekat lebih lama dan membantu gaya angkat. Sama halnya dengan ikan hiu, permukaan kulit hiu khususnya hiu perenang cepat yang berbentuk *dermal denticle* dapat mengurangi gesekan air saat mengalir melalui permukaan dan menciptakan gaya vortex.



Gambar 1.1 Vortex Generator Pada Sayap Pesawat

Dermal denticle merupakan suatu bentuk permukaan yang menyerupai gerigi dengan cekungan yang berulang. Permukaan kulit hiu memberikan perlindungan dari biofouling dan mereduksi gaya gesek yang diterima saat berenang (Dean & Bhushan, 2010). Pola *denticle* yang berbeda dapat ditemukan pada jenis hiu yang berbeda, pada hiu perenang cepat seperti hiu mako ditemukan pola *denticle* yang lebih rapat sedangkan pada hiu perenang lambat seperti hiu greenland ditemukan pola *denticle* yang cenderung lebih renggang (Dean & Bhushan, 2010).

Shark-skin pattern (denticle) dapat mereduksi drag fluida hingga 9.9 persen (Bechert et al., 2000). *Shark Denticle* bekerja dengan menciptakan aliran vortex, dengan menjaga aliran air menempel dan menunda *flow separation*. Pola *denticle* yang disusun tanpa sambungan (*continuous*) dengan sudut kemiringan 10 derajat memberikan *fluid drag reduction* dan gaya angkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan pola *denticle* yang disusun rapat (Domel et al., 2018).

Hal ini mengartikan, secara teoritis permukaan lambung kapal yang diberi pola *denticle* diharapkan dapat mereduksi koefisien gesek, menunda terjadinya *flow separation*, meningkatkan gaya angkat, hingga menghemat konsumsi bahan bakar.

Penelitian ini menggunakan aplikasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* untuk mensimulasikan dan menganalisis performa lambung kapal yang diberi pola kulit hiu.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi perkapalan serta membawa dampak positif pada industri pelayaran.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang, dapat dijabarkan rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Shark denticle* pada lambung kapal terhadap nilai *coefficient of drag* (COD) dan gaya angkat?
2. Bagaimana pengaruh variasi angle of attack *Shark denticle vortex generator* terhadap nilai *coefficient of drag* dan gaya angkat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, dapat dijabarkan tujuan penelitian kali ini sebagai berikut:

1. Mengembangkan desain vortex generator pada kapal agar lebih efisien.
2. Mengetahui perbedaan nilai *coefficient of drag* dan gaya angkat yang dihasilkan dari vortex generator dengan *Shark denticle* dan tipe konvensional (tanpa *Shark denticle*).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Bagian Ruang Lingkup Penelitian diperlukan untuk membatasi ruang lingkup studi Tugas Akhir dari segi kedalaman dan keluasan masalah serta tujuan penelitian. Batasan yang dimaksud juga dapat berupa batasan analisa, pemodelan maupun batasan fisik sistem jika Tugas Akhir yang dilakukan membahas implementasi metode pada aplikasi/sistem nyata.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian kali ini adalah:

1. Mendapat variasi *angle of attack denticle* yang dapat digunakan sesuai tipe kapal.
2. Mengetahui keuntungan dan kerugian penggunaan *Shark denticle* sebagai vortex generator.
3. Mampu dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini membahas beberapa hal mulai dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya. Selain itu juga akan membahas dasar-dasar teori yang mendukung proses penelitian ini.

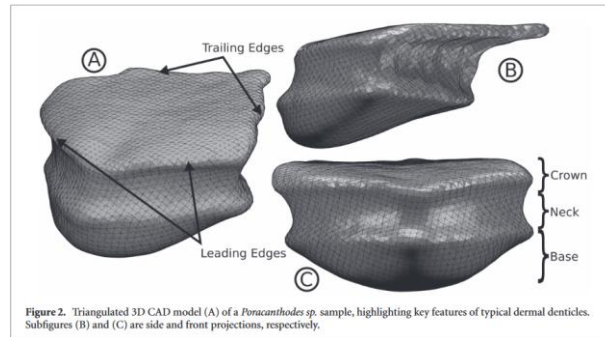
2.2 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Isi
1.	Ahmad Fakhri Jundi	Analisis Numerik Pengaruh Penempatan Vortex Generator terhadap Karakteristik Coefficient of Drag pada Sapuwing XI EVO 3	2022	Penelitian yang dilakukan pada 2022 ini menunjukkan hasil analisa efek yang dihasilkan oleh vortex generator pada Sapuwing XI Evo. Didapatkan hasil penurunan koefisien drag sebesar 0.508% hingga 0.651% pada variasi peletakan 0.90 dan kecepatan 25 km/jam dan 40 km/jam.
2.	Mohammad Ludfi Dwi Maiyasa Wardana	Analisis Numerik Penambahan Vortex Generator Hidrofoil Naca 63(4)021	2023	Pada penelitian ini terdapat variasi angle of attack dari 0° – 180°. Nilai coefficient of drag mengalami peningkatan di beberapa AOA dengan peningkatan maksimum pada AOA 20° sebesar 15,5%. Untuk nilai coefficient lift di VG upper camber mengalami peningkatan sebesar 32,2% pada angle of attack 25°.

2.3 Struktur *Denticle* Hiu Mako

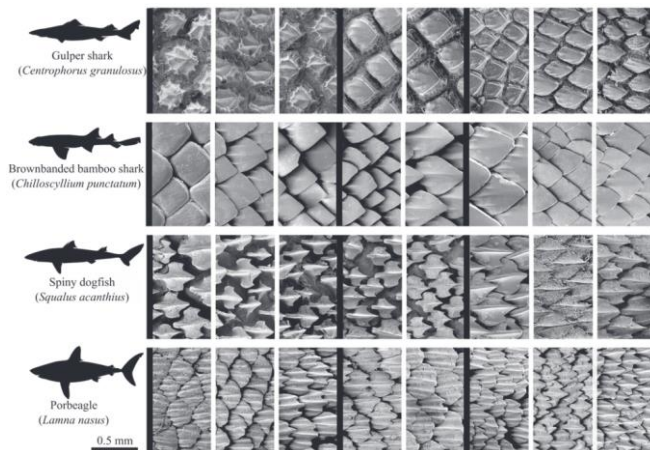
Hiu mako merupakan salah satu hiu tercepat yang dapat menempuh kecepatan 50 hingga 74 kilometer per jam. Hal ini didukung dengan bentuk *denticle* yang kuat dan lebar. Struktur ini tersusun dari sisik yang berulang yang terdiri dari *crown*, *neck*, dan *base* (Lloyd et al., 2021).



Gambar 2.1 *Shark Denticle*

Sumber : researchgate.net

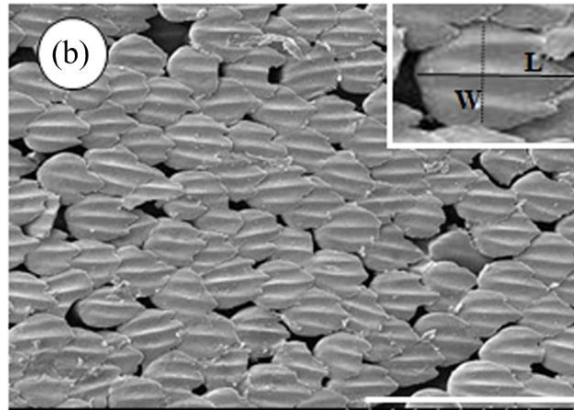
Gambar di bawah menunjukkan perbedaan struktur dan kerapatan *denticle* pada hiu perenang lambat / *slow swimmer* (gulper *Shark* & bamboo *Shark*) dan hiu perenang cepat / *fast swimmer* (spray dogfish & purbeagle). Hiu perenang cepat memiliki ukuran *neck* yang lebih pendek serta *crown* yang lebih tinggi. Hiu perenang cepat juga memiliki struktur *denticle* yang lebih rapat (Lloyd et al., 2021).



Gambar 2.2 Struktur *Denticle* Hiu Perenang Lambat dan Hiu Perenang Cepat

Sumber : researchgate.net

Struktur yang sama dapat ditemukan pada jenis hiu perenang cepat lainnya seperti hiu Mako. Dari 2 jenis hiu perenang cepat, *Poracanthodes sp.* dan hiu mako menunjukkan perbedaan struktur yang signifikan. Pada hiu mako, jarak antar *crown* dan ukuran *neck* cenderung sama (Lloyd et al., 2021).

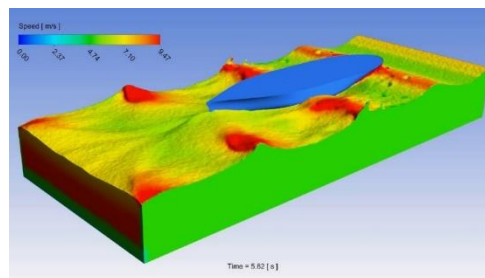


Gambar 2.3 Struktur *Denticle* pada Hiu Mako

Sumber : researchgate.net

2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics adalah suatu alat atau teknologi yang memanfaatkan computer untuk melakukan serangkaian simulasi karakteristik fluida, *heat transfer*, dan fenomena fluida lainnya dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes secara numerik.



Gambar 2.4 Simulasi CFD

Sumber : youtube.com

Tahapan simulasi CFD antara lain *Pre-processing* dengan membuat *geometry*, membuat *mesh*, dan menentukan *boundary condition*. *Setup* adalah tahap dimana persamaan matematis yang akan diselesaikan dalam simulasi CFD ditentukan untuk menggambarkan aliran fluida dan hukum fisika yang berlaku. *Soulution* adalah tahap di mana komputer memecahkan persamaan matematis yang telah ditentukan pada tahap setup. Proses ini dilakukan secara iteratif, di mana komputer secara bertahap memperbarui nilai-nilai variabel aliran fluida sampai solusi yang konvergen tercapai. *Post-processing* adalah tahap di mana hasil simulasi CFD ditampilkan dan dianalisis. Hasil simulasi dapat berupa grafik, plot, animasi, atau bahkan video.

2.5 Aliran Fluida

2.5.1 Laminer

Aliran fluida laminer adalah aliran fluida yang terjadi ketika partikel fluida bergerak dalam lapisan yang sejajar dan tidak bercampur. Aliran laminer terjadi ketika kecepatan aliran fluida rendah dan viskositas fluida tinggi.

Aliran fluida laminer memiliki beberapa keuntungan, seperti:

- Mengurangi gesekan antara partikel fluida.
- Meningkatkan efisiensi perpindahan panas.
- Meningkatkan stabilitas aliran fluida.

Ciri-ciri aliran fluida laminer adalah sebagai berikut:

- Partikel fluida bergerak dalam lapisan yang sejajar.
- Tidak ada pusaran atau pencampuran antara lapisan fluida.
- Viskositas fluida tinggi.
- Kecepatan aliran fluida rendah.

2.5.2 Turbulen

Aliran fluida turbulen adalah aliran fluida yang terjadi ketika partikel fluida bergerak dalam lapisan yang tidak sejajar dan bercampur secara acak. Aliran turbulen terjadi ketika kecepatan aliran fluida tinggi dan viskositas fluida rendah.

Ciri-ciri aliran fluida turbulen adalah sebagai berikut:

- Partikel fluida bergerak dalam lapisan yang tidak sejajar.
- Ada pusaran atau pencampuran antara lapisan fluida.
- Viskositas fluida rendah.
- Kecepatan aliran fluida tinggi.

Ciri-ciri aliran fluida turbulen adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan perpindahan panas.
- Meningkatkan stabilitas aliran fluida.
- Meningkatkan stabilitas aliran fluida.

2.5.3 Lift

Lift dihasilkan oleh perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah sayap. Perbedaan tekanan ini disebabkan oleh bentuk aerodinamis sayap, yang menyebabkan aliran udara di atas sayap bergerak lebih cepat daripada di bawah sayap. Hal ini menyebabkan tekanan

udara di atas sayap lebih rendah daripada di bawah sayap, sehingga menghasilkan gaya angkat. Pada desain continuous *Shark denticle*, secara teori dapat meningkatkan gaya lift.

2.5.4 Drag

Drag dihasilkan oleh gesekan antara benda dan udara. Gesek ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan antara benda dan udara. Semakin besar perbedaan kecepatan ini, semakin besar gaya drag yang dihasilkan.

Gaya angkat dan drag dapat diekspresikan secara matematis sebagai berikut:

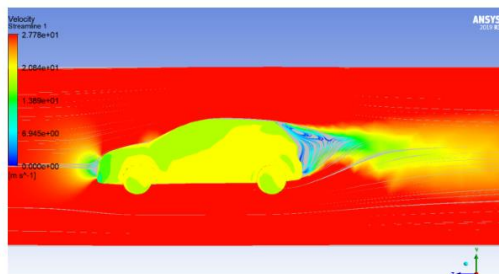
$$D = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times S \times Cd$$

Aspek-aspek utama yang mempengaruhi lift dan drag, antara lain:

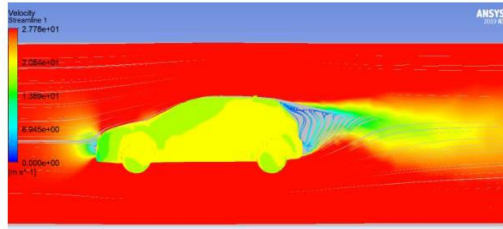
- Sudut serang (*angle of attack*) adalah sudut antara sayap dan aliran udara. Sudut serang yang lebih besar akan menghasilkan gaya angkat yang lebih besar, tetapi juga akan menghasilkan gaya drag yang lebih besar.
- Kecepatan udara (*airspeed*) berpengaruh terhadap gaya angkat dan drag. Semakin tinggi kecepatan udara, semakin besar gaya angkat yang dihasilkan, tetapi juga akan menghasilkan gaya drag yang lebih besar.
- Bentuk sayap (*airfoil shape*) berpengaruh terhadap gaya angkat. Sayap dengan bentuk aerodinamis yang baik akan menghasilkan gaya angkat yang lebih besar.

2.6 Vortex Generator

Vortex generator merupakan alat berbentuk sirip yang digunakan untuk memodifikasi aliran fluida dengan menciptakan pusaran aliran (*vortex*) sehingga menjaga aliran fluida lebih melekat kedalam permukaan dan menunda terjadinya *flow separation*. Tujuan utama diciptakannya vortex generator adalah menunda pemisahan aliran dan meningkatkan nilai maksimum koefisien lift. Vortex generator (VG) sendiri berbentuk sayap kecil miring, bisa berbentuk persegi atau segitiga dengan menciptakan pusaran ke arah aliran (Seshagiri et al., 2009). Vortex generator dapat mereduksi C_{pv} (Viscous Pressure Resistance Coefficient) sebanyak 2.47% (Ahmed et al., n.d.).



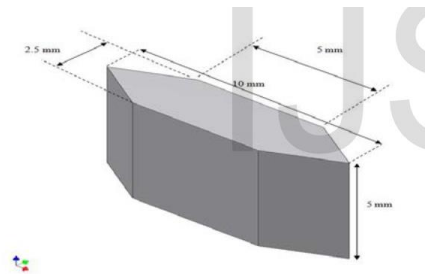
Gambar 2.5 Ilustrasi Mobil Tanpa Vortex Generator



Gambar 2.6 Ilustrasi Mobil Dengan Vortex Generator

Percobaan yang dilakukan oleh Wadile R pada 2021, menunjukkan perbedaan yang signifikan antara model dengan vortex generator dan tanpa vortex generator. Model dengan vortex generator memiliki *drag coefficient* sebesar 0.61 N sedangkan model tanpa vortex generator memiliki *drag coefficient* sebesar 0.63 N. Perbedaan signifikan terdapat pada gaya angkat, model tanpa vortex generator memiliki gaya angkat sebesar 78.45N sedangkan model dengan vortex generator memiliki gaya angkat sebesar 175.87N (Wadile, 2021).

Penggunaan vortex generator pada mobil percobaan dengan variasi kecepatan 0.9m/s, 1.8m/s, 2.8m/s, 3.8m/s, dan 4.8/s memiliki potensial yang sangat tinggi dalam mereduksi gaya gesek (drag) sebanyak 0.215 (Rasedul Islam et al., 2013).



Gambar 2.7 Desain Vortex Generator Pada Mobil Percobaan

Sumber : (Rasedul Islam et al., 2013)

Velocity, V (m/s)	Drag force, F_d (N)	Reynolds number, $Re \times 10^4$	Coefficient of drag C_d
0.9	0.08	1.2	6.859
1.8	0.15	2.4	3.215
2.8	0.26	3.7	2.303
3.8	0.40	5.06	1.924
4.8	0.81	6.4	2.441

Gambar 2.8 Percobaan Pada Mobil Tanpa Vortex Generator

Sumber : (Rasedul Islam et al., 2013)

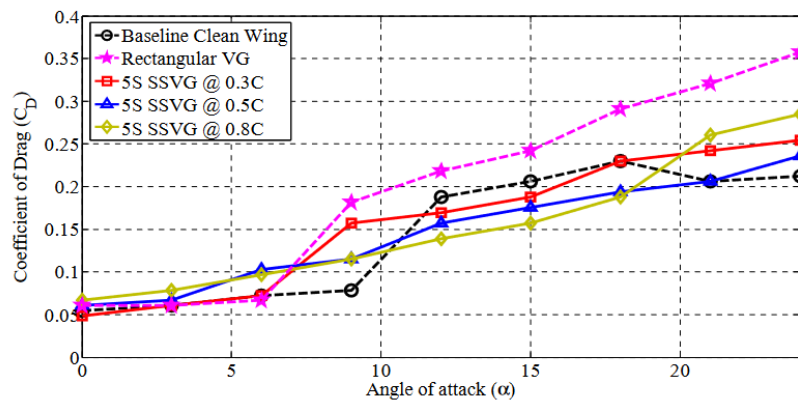
Velocity, V (m/s)	Drag force, F_d (N)	Reynolds number, Re $\times 10^4$	Coefficient of drag C_d
0.9	0.07	1.2	6.001
1.8	0.14	2.4	3.00
2.8	0.23	3.7	2.037
3.8	0.37	5.06	1.779
4.8	0.79	6.4	2.381

Gambar 2.9 Percobaan Pada Mobil Dengan Vortex Generator

Sumber : (Rasedul Islam et al., 2013)

2.6.1 Angle Of Attack

Pada penelitian sebelumnya, *angle of attack* sangat berpengaruh dengan karakteristik fluida yang melewati vortex generator. Vortex generator dengan angle of attack 12° , 15° , dan 18° memiliki koefisien drag terendah dibandingkan model dasar tanpa menggunakan vortex generator (Arunvinthan et al., 2021).



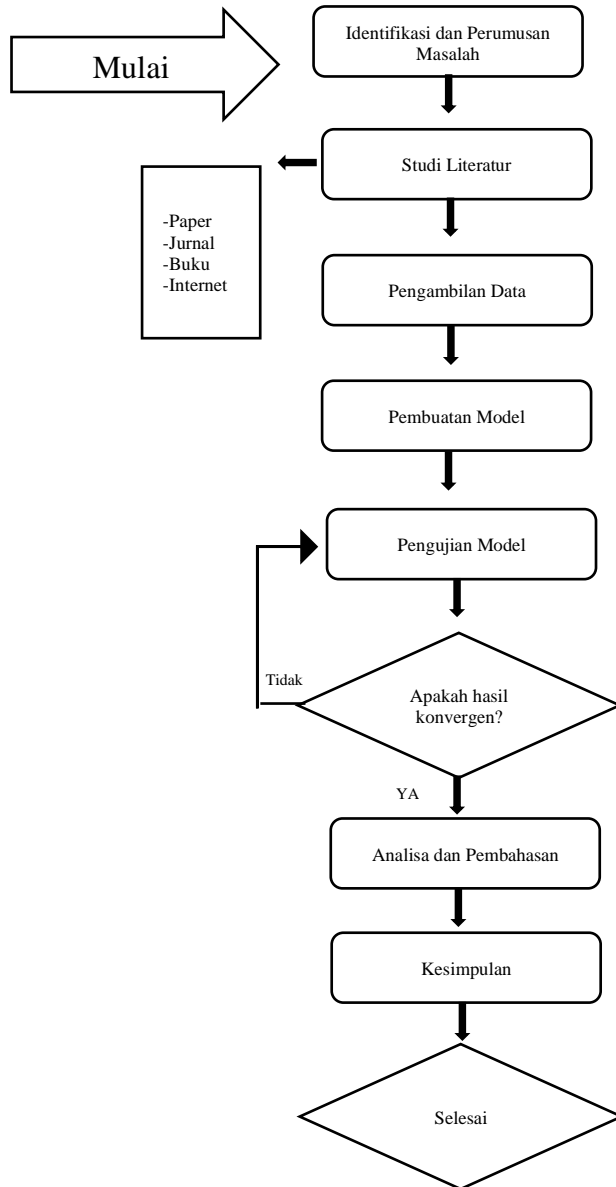
Gambar 2.10 Hasil Percobaan Sebelumnya Dengan Variasi Angle of Attack

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



3.1.1 Perumusan Masalah

Pada bagian ini dilakukan identifikasi perumusan masalah yaitu tentang analisa aliran pada lambung kapal yang dilakukan dengan plat lengkung + *denticle* dengan pendekatan *computational fluid dynamics*. Analisa aliran menggunakan variasi *angle of attack* dari *denticle* dengan kecepatan fluida 20m/s.

3.1.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi yang bertujuan untuk melengkapi dan menyiapkan konsep teori yang dibutuhkan selama mengerjakan tugas akhir. Studi literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal dan thesis.

3.1.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mensimulasikan aliran fluida Vortex Generator sebagai perbandingan.

3.1.4 Pembuatan Model

Pembuatan model menggunakan aplikasi *Ansys Design Modeller*. Proses *meshing* menggunakan *ansys meshing* dan *spaceclaim geometry*.

3.1.5 Simulasi Model

Setelah permodelan plat dengan penambahan *denticle* selesai, selanjutnya adalah melakukan proses simulasi menggunakan *software Ansys Fluent (CFD)*.

3.1.6 Analisa dan Pembahasan

Setelah simulasi pada *Ansys Fluent* selesai, selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan dengan membandingkan data pada tiap variabel serta menampilkan dalam bentuk grafik. Perbandingan dapat dilakukan dengan membandingkan karakteristik aliran fluida pada plat dengan *denticle* dan tanpa *denticle*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas terkait dengan hasil dari penelitian yang dilakukan. Beberapa hal yang akan dianalisis yaitu hasil dari simulasi CFD untuk *Coefficient of drag*, *Lift*, dan *pressure loss* pada variasi *angle of attack* 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , dan 25° .

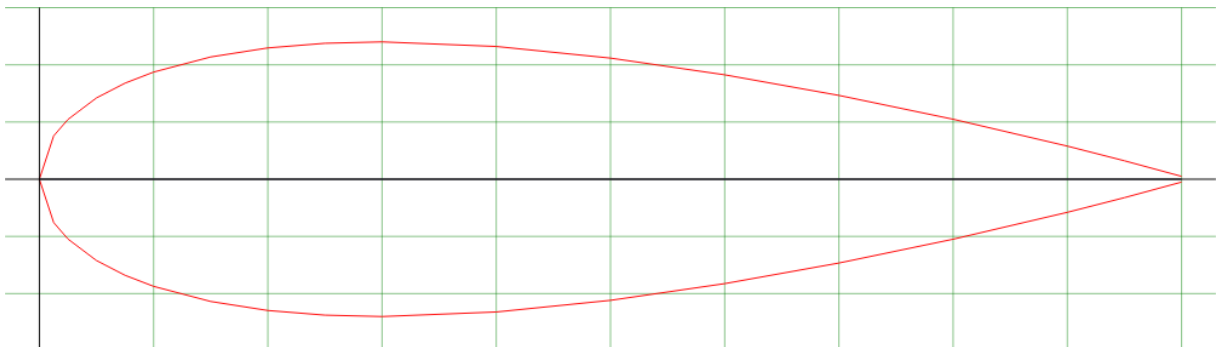
4.2 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini objek simulasi yang digunakan yaitu plat lengkung Naca008. Data yang diperlukan berupa titik koordinat dari Naca0024 dengan panjang chord 2640 mm dan jarak antar vortex generator adalah 10mm :

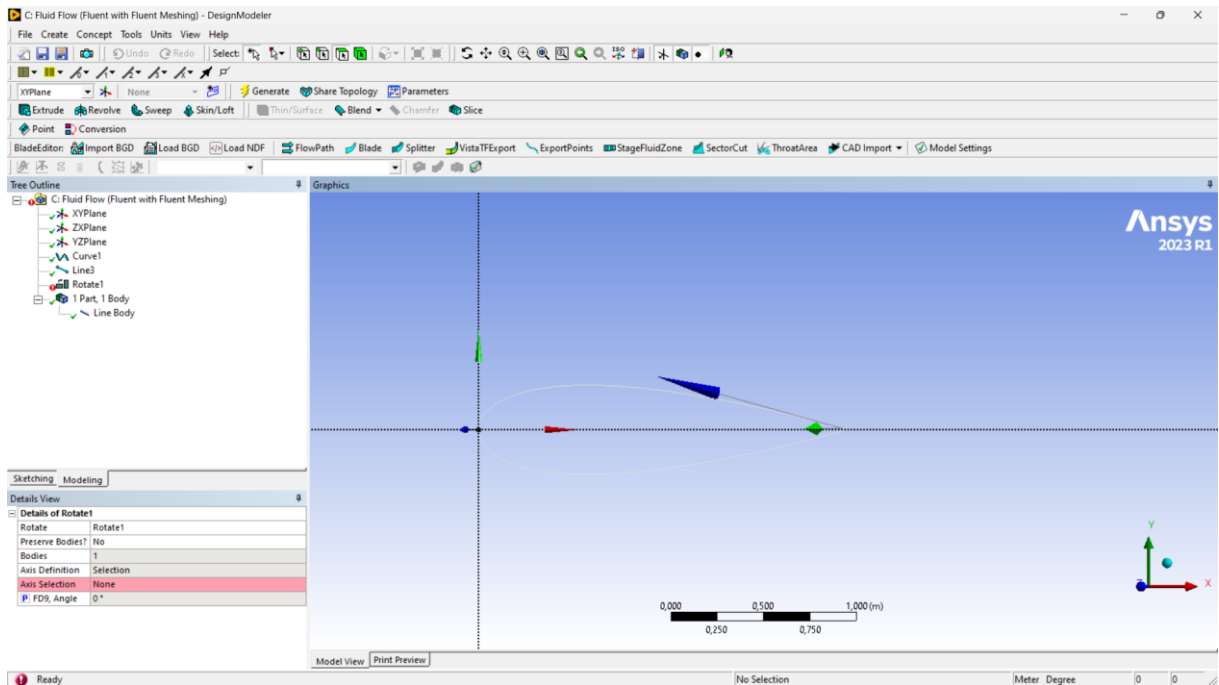
Tabel 4.1 Tabel koordinat geometry Naca008

1	1	1	0,00252	0
1	2	0,95	0,01613	0
1	3	0,9	0,02896	0
1	4	0,8	0,05247	0
1	5	0,7	0,07328	0
1	6	0,6	0,09127	0
1	7	0,5	0,10588	0
1	8	0,4	0,11607	0
1	9	0,3	0,12004	0
1	10	0,25	0,11883	0
1	11	0,2	0,11475	0
1	12	0,15	0,10691	0
1	13	0,1	0,09365	0
1	14	0,075	0,084	0
1	15	0,05	0,07109	0
1	16	0,025	0,05229	0
1	17	0,0125	0,03788	0
1	18	0	0	0
1	19	0,0125	0,03788	0
1	20	0,025	0,05229	0
1	21	0,05	0,07109	0
1	22	0,075	-0,084	0
1	23	0,1	0,09365	0
1	24	0,15	0,10691	0

1	25	0,2	0,11475	0
1	26	0,25	0,11883	0
1	27	0,3	0,12004	0
1	28	0,4	0,11607	0
1	29	0,5	0,10588	0
1	30	0,6	0,09127	0
1	31	0,7	0,07328	0
1	32	0,8	0,05247	0
1	33	0,9	0,02896	0
1	34	0,95	0,01613	0
1	35	10.000	0,00252	0



Gambar 4.1 bentuk airfoil (plat elngkung)



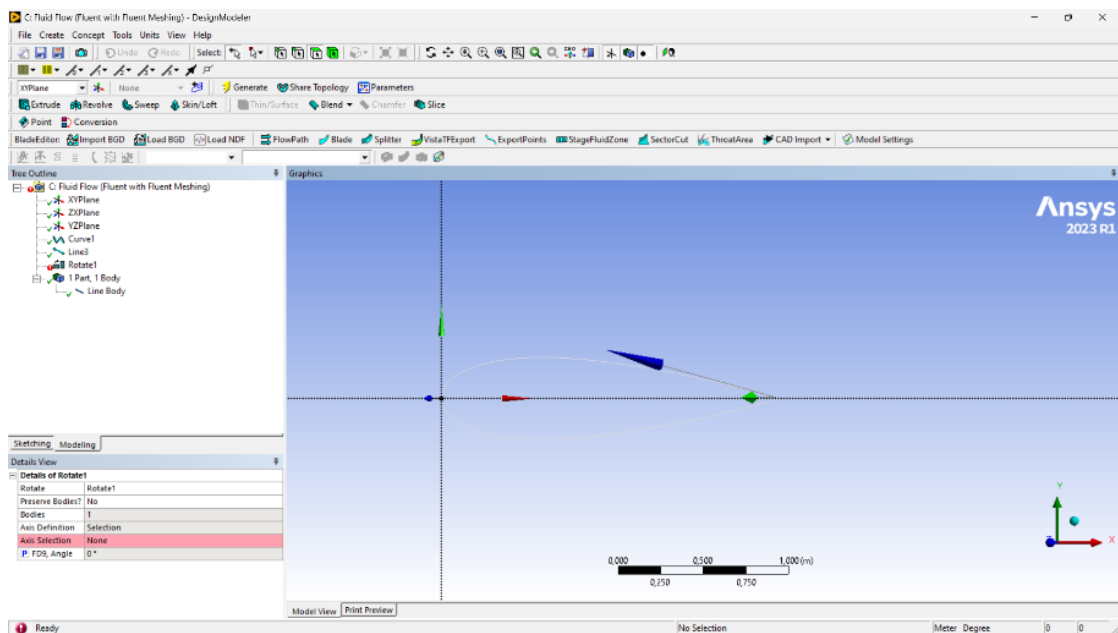
Gambar 4.2 Import geometry plat lengkung

4.3 Perencanaan Plat Lengkung

Plat lengkung yang digunakan merujuk pada desain NACA0024 dengan material baja. Kekasaran/*roughness* dari material merujuk pada database *Ansys*. *Velocity* dari fluida air laut yang digunakan sebesar 20m/s dengan properti air laut merujuk pada database *Ansys Fluent*.

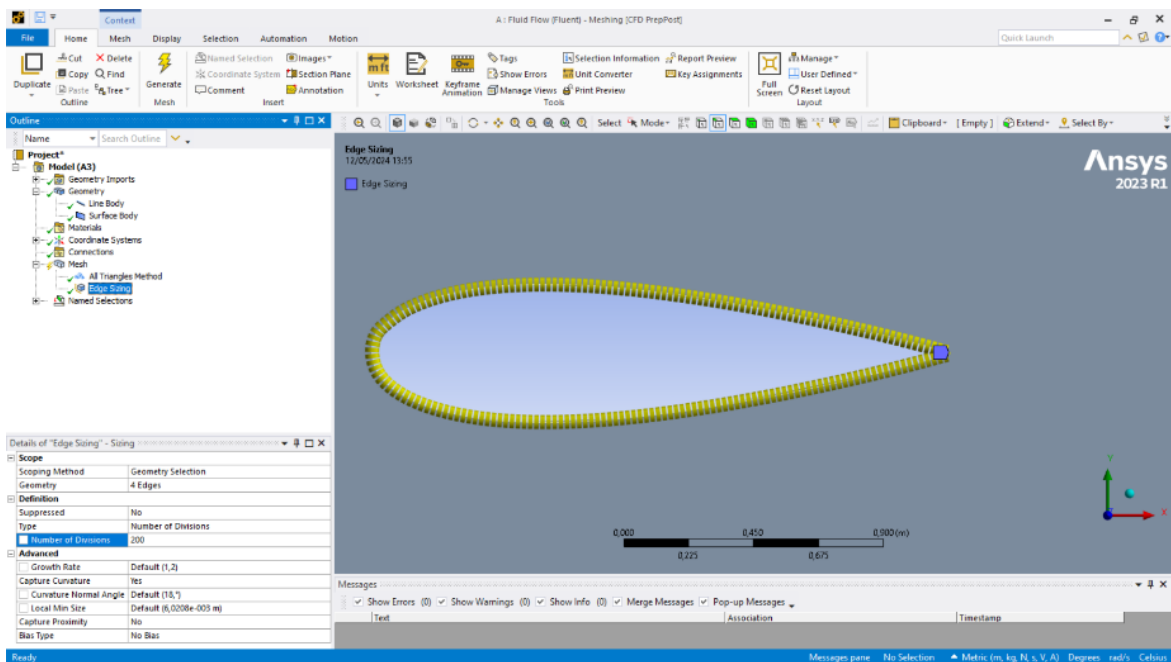
4.4 Permodelan Plat Lengkung

Permodelan dilakukan dengan memasukkan koordinat titik yang sudah dibuat sebelumnya ke database *Ansys Fluent*.



Gambar 4.3 Import Geometry pada Ansys DesignModeller

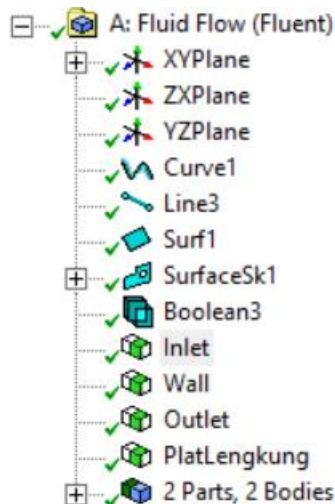
Plat lengkung dibagi menjadi 200 node (titik) sehingga hasil yang diperoleh akurat.



Gambar 4.4 Meshing pada plat lengkung

4.5 Persiapan Simulasi

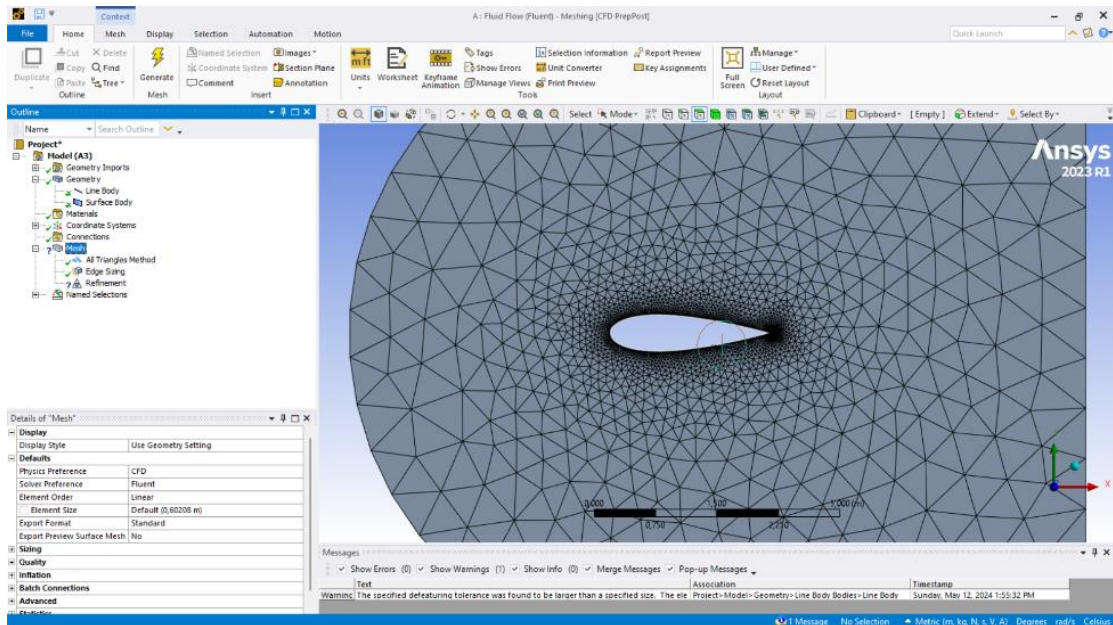
Persiapan simulasi dilakukan dengan membuat *Surface Body* serta mendefinisikan inlet, wall, dan outlet pada *Ansys Design Modeler*.



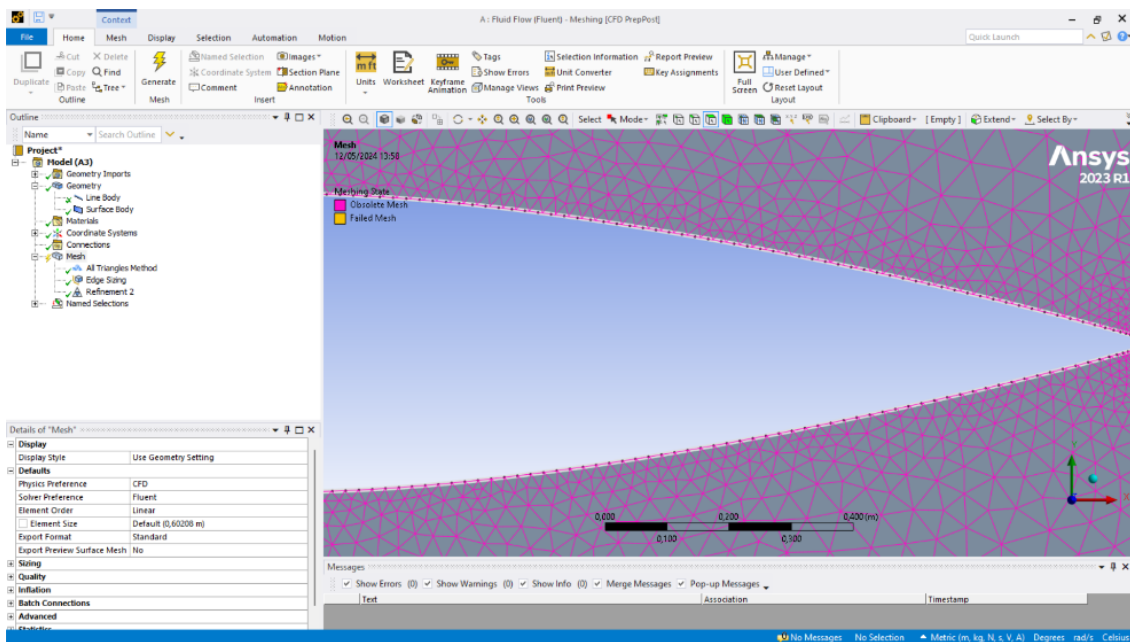
Gambar 4.5 Menentukan boundary condition

4.6 Meshing

Proses *meshing* menggunakan element *triangle* dengan *standard* ukuran 0.00602m (default) dan ukuran minimal 0.0042m.



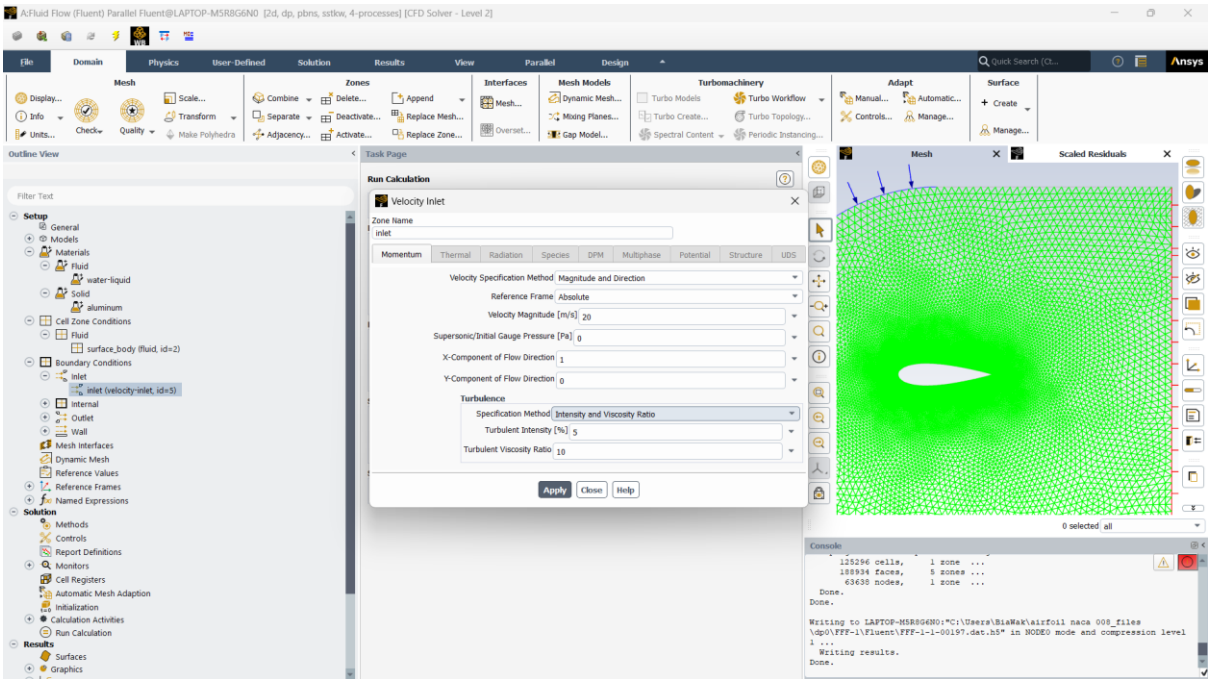
Gambar 4.6 Proses meshing pada plat lengkung



Gambar 4.7 Proses meshing pada plat lengkung

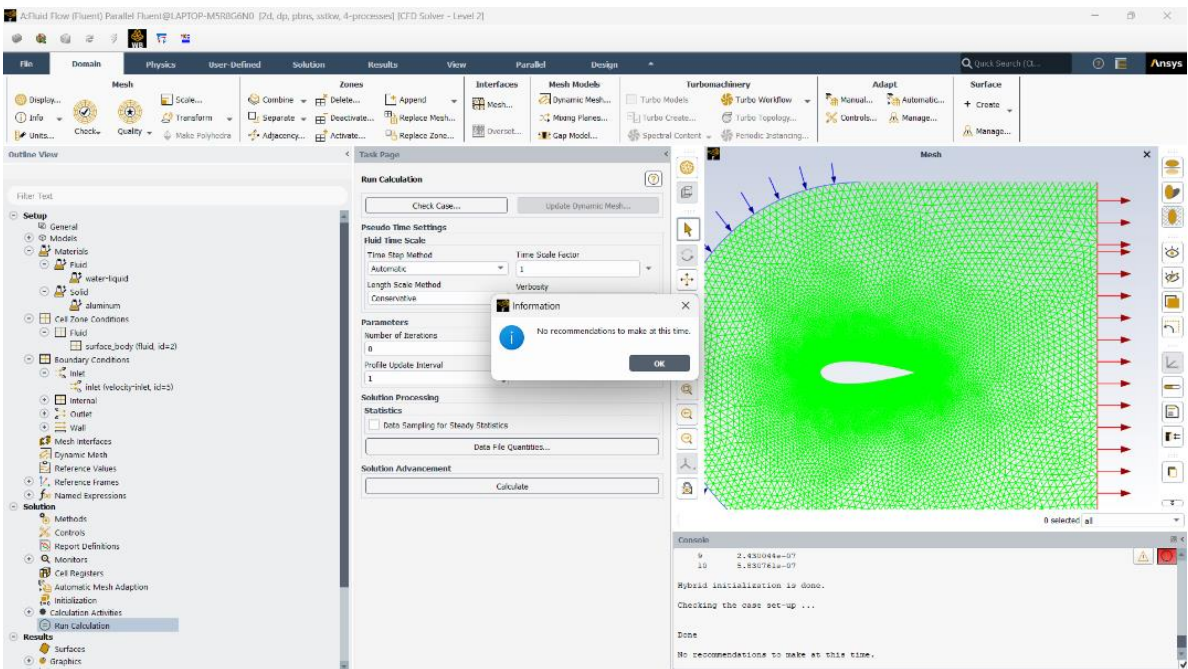
4.7 Setup & Calculation

Setup inlet *velocity* sebesar 20m/s dengan fluida air laut sesuai database *Ansys*.



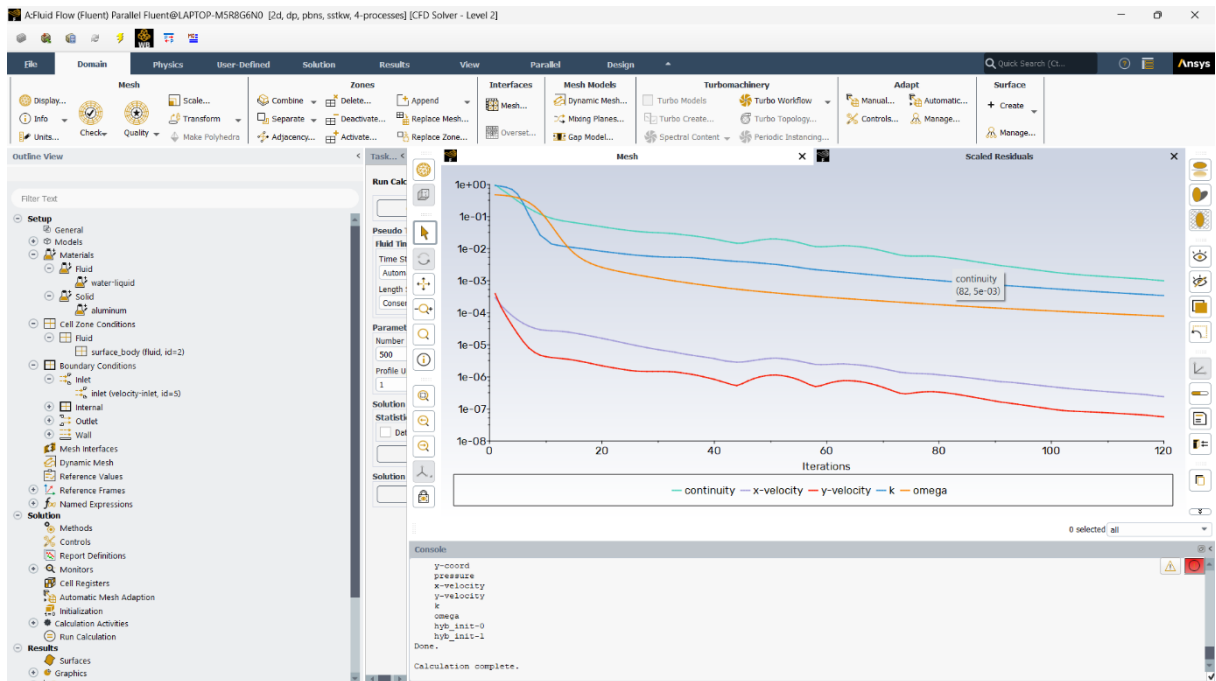
Gambar 4.8 Memasukkan setup pada reference value

Calculation diawali dengan melakukan *check case (check error)* dan tidak ada rekomendasi yang perlu dilakukan menandakan tidak ada masalah pada tahap meshing maupun setup.



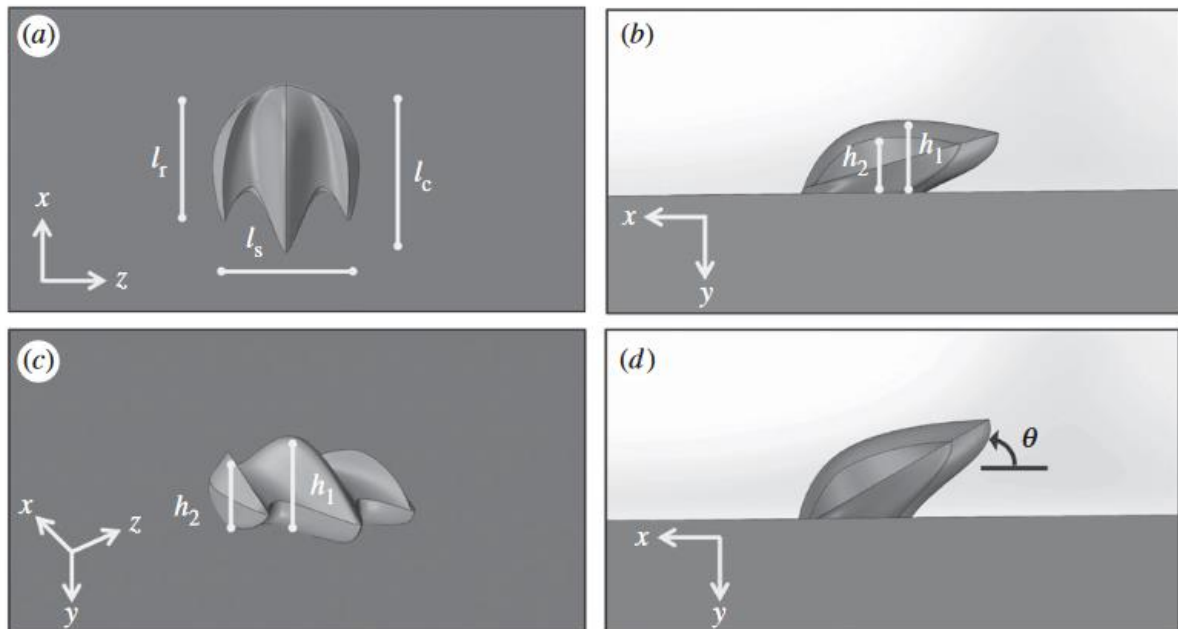
Gambar 4.9 pengecekan error pada meshing & geometry

Calculation dilakukan dengan iterasi sebanyak 500 kali, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 124



Gambar 4.10 Proses simulasi hingga hasil konvergen

4.8 Pembuatan Model

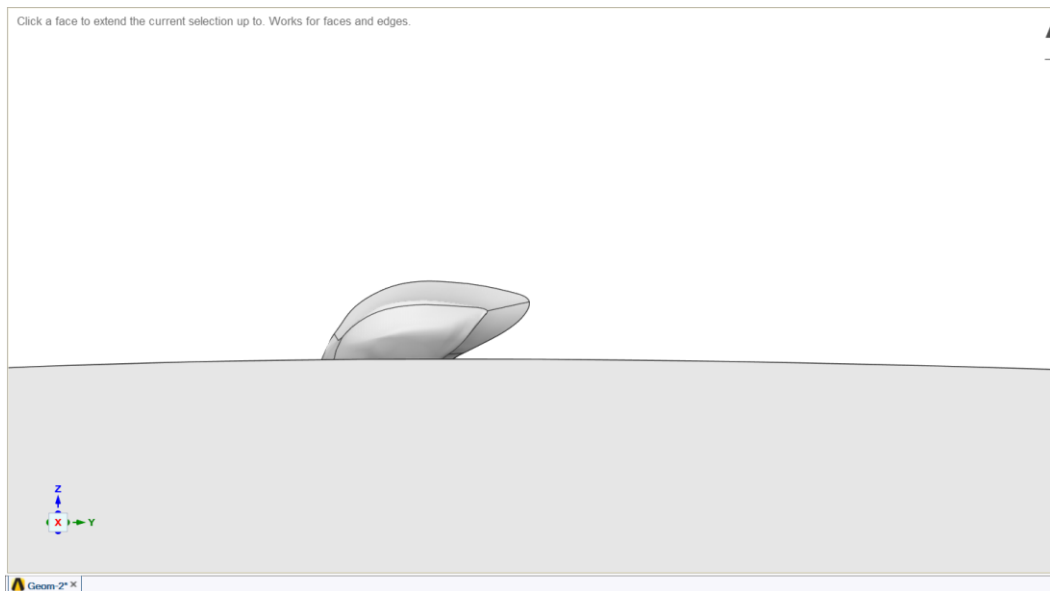


Gambar 4.11 Dimensi utama *Shark denticle*

Bentuk geometri *denticle* mengacu pada penelitian sebelumnya, dengan keterangan:

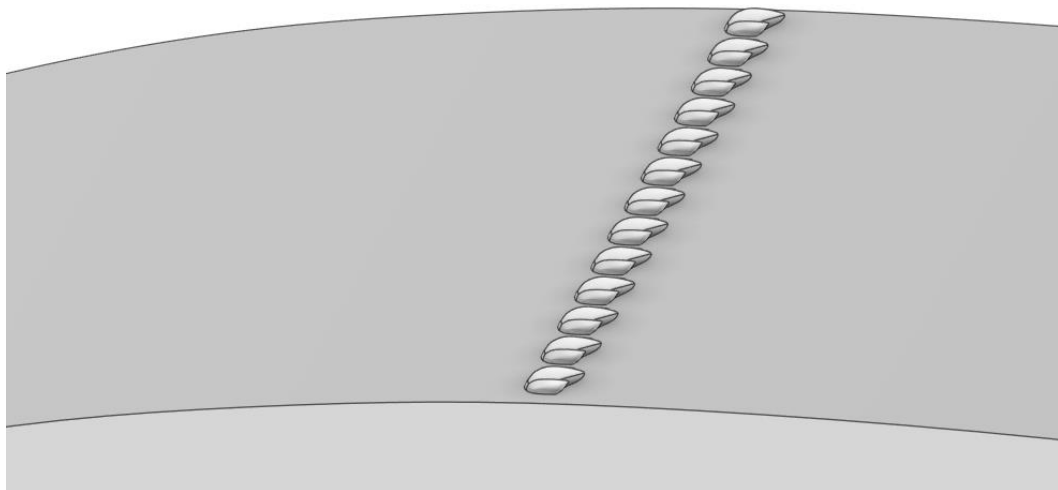
- h_1 = 5cm
- h_2 = 3,5cm
- l_c = 14cm
- l_s = 10cm
- l_r = 11cm

4.8.1 Pembuatan Model Angle of Attack 5 derajat

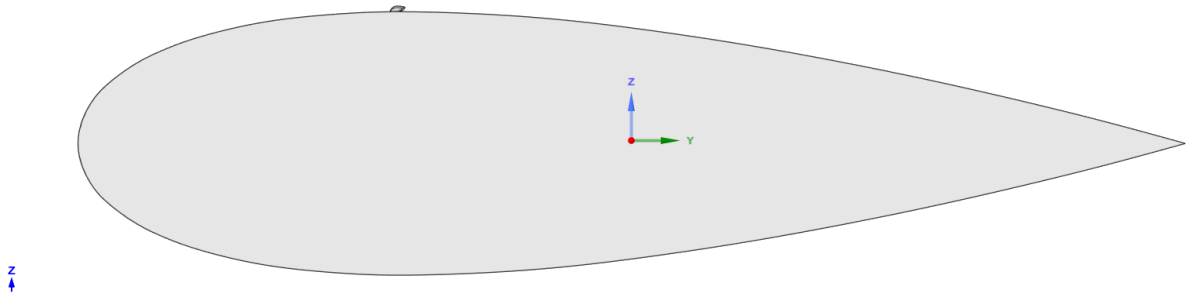


Gambar 4.12 Geometri pada angle of attack 5 derajat

Pembuatan model dilakukan pada *Ansys Design Modeller* dan *Ansys Spaceclaim Geometry*.

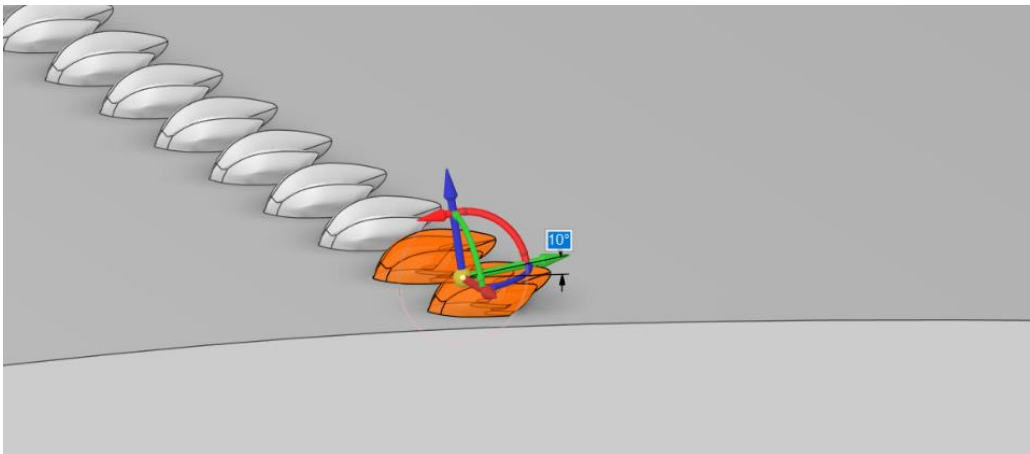


Gambar 4.13 Vortex generator disusun melintang

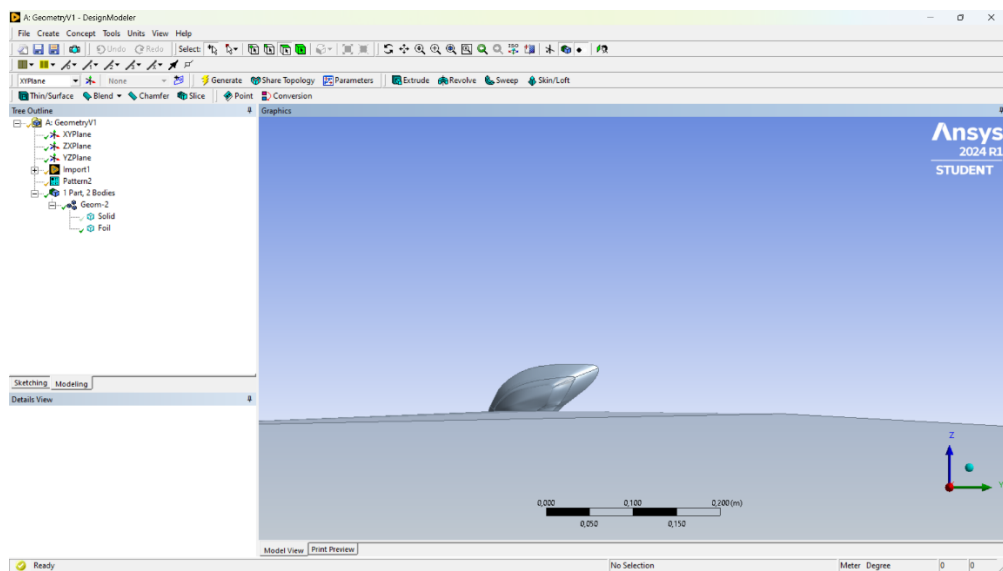


Gambar 4.14 Angle of attack pada Airfoil

4.8.2 Pembuatan Model Angle of Attack 10 derajat

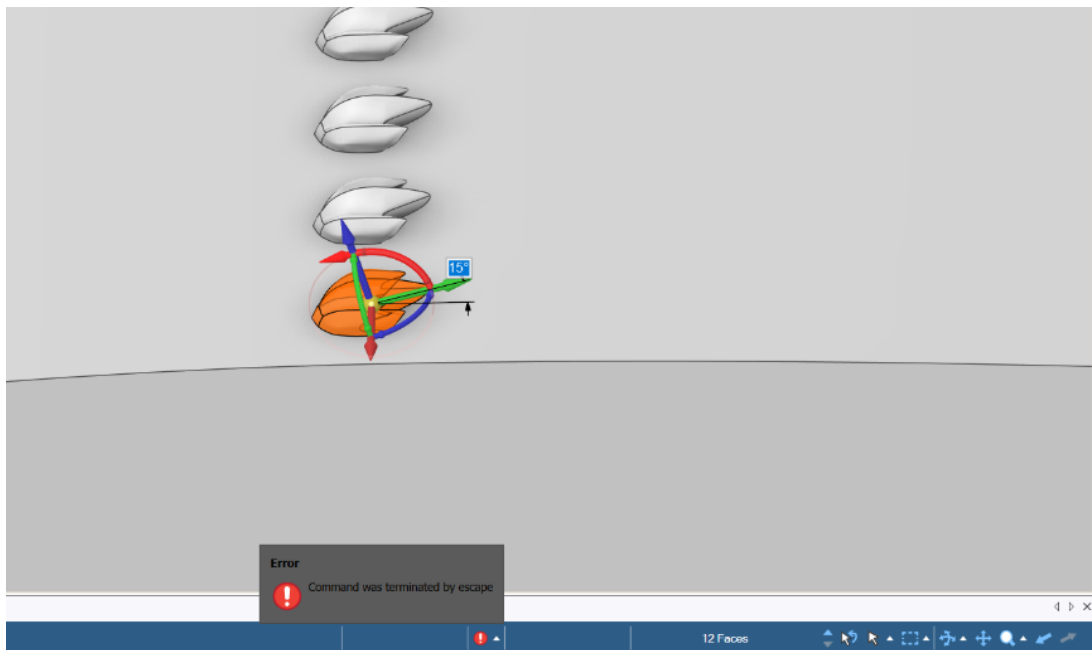


Gambar 4.15 Perubahan sudut angle of attack pada 10 derajat

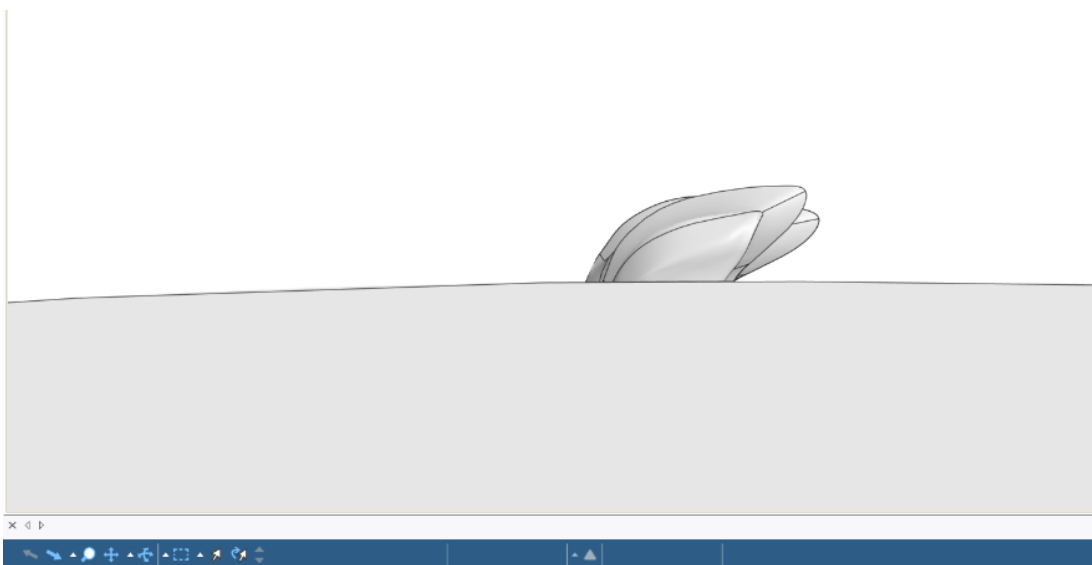


Gambar 4.16 Vortex generator dengan angle of attack 10 derajat

4.8.3 Pembuatan Model Angle of Attack 15 derajat

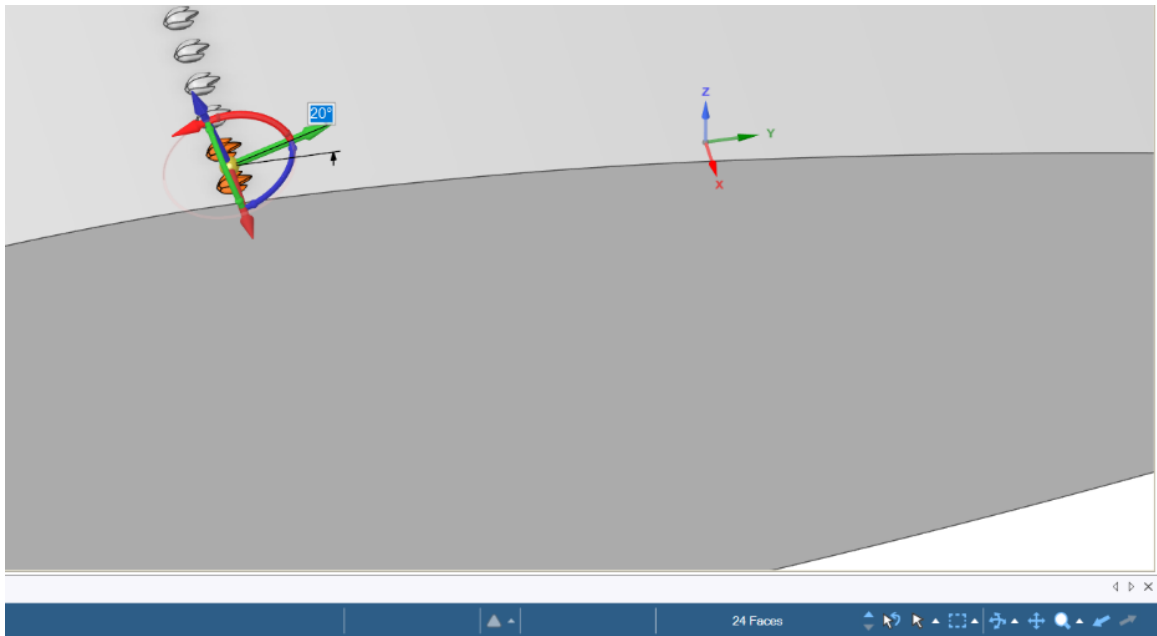


Gambar 4.17 Pengubahan sudut angle of attack menjadi 15 derajat



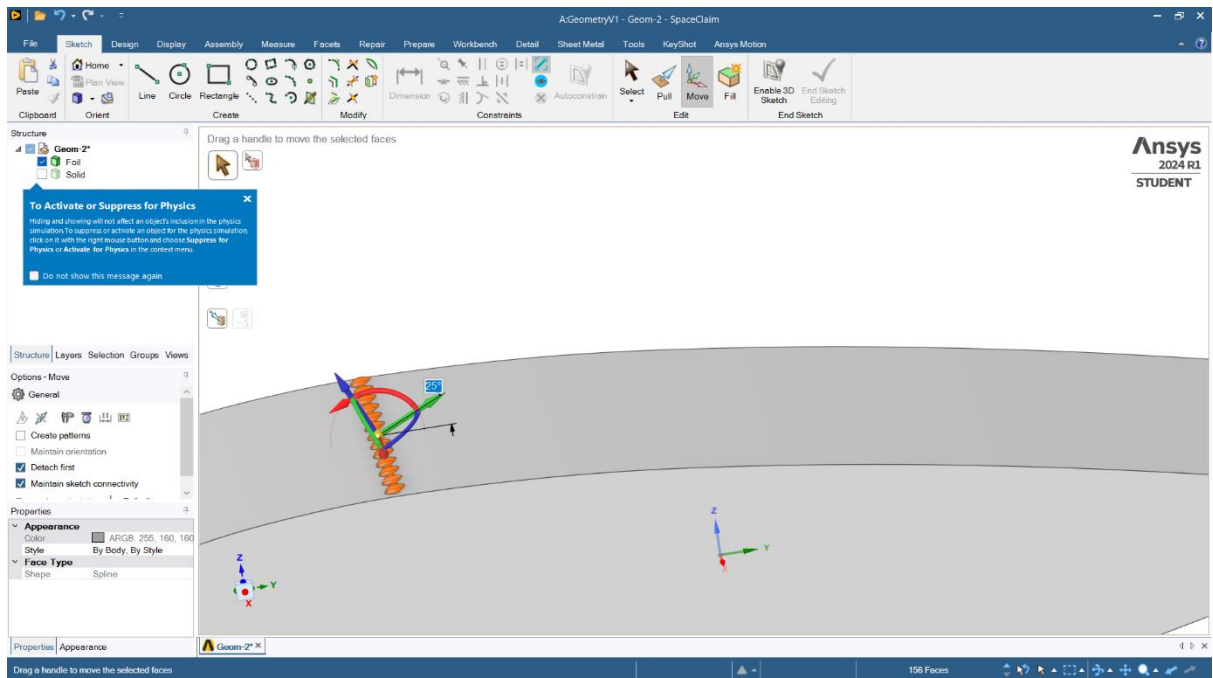
Gambar 4.18 Perbandingan sudut kemiringan antara 15 dan 10 derajat

4.8.4 Pembuatan Model Angle of Attack 20 Derajat



Gambar 4.19 Perubahan sudut kemiringan pada angle of attack 20 derajat

4.8.5 Pembuatan Model Angle of Attack 25 derajat



Gambar 4.20 Perubahan sudut kemiringan pada angle of attack 25 derajat

4.9 Hasil Simulasi

4.9.1 Simulasi Tanpa Vortex Generator (Angle of Attack 0 derajat)

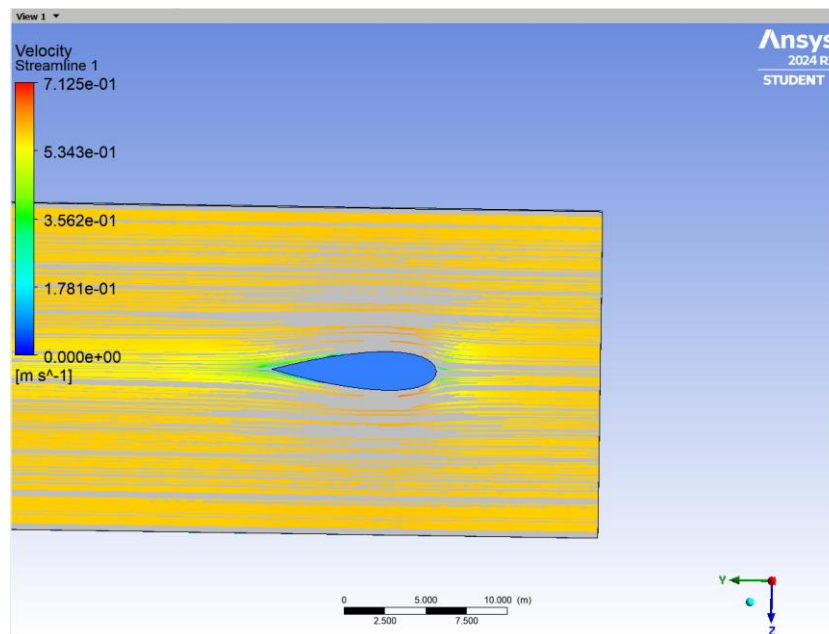
```
Calculation complete.
```

	C _l
foil-solid_2	0.0016092574

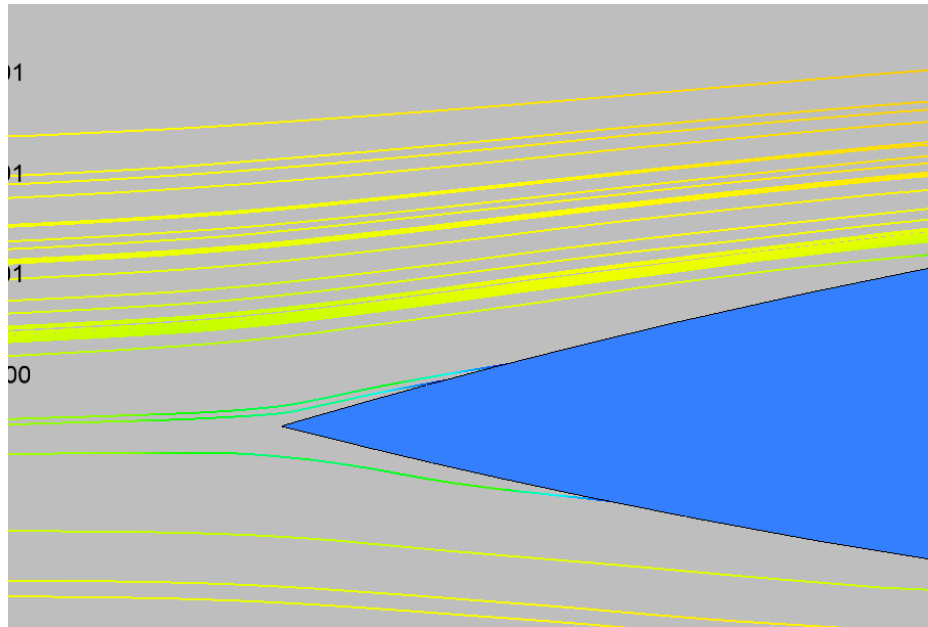
	C _d
foil-solid_2	0.045797409

Gambar 4.21 Hasil simulasi pada angle of attack 0 derajat (tanpa vortex generator)

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 124. Simulasi *smoth surface* menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.00160 dan *Coefficient of Drag* sebesar 0.045797.



Gambar 4.22 Simulasi pada angle of attack 0 derajat



Gambar 4.23 Simulasi pada *angle of attack* 0 derajat

4.9.2 Simulasi Dengan Angle of Attack 5 derajat

```

Console
Done.
Calculation complete.

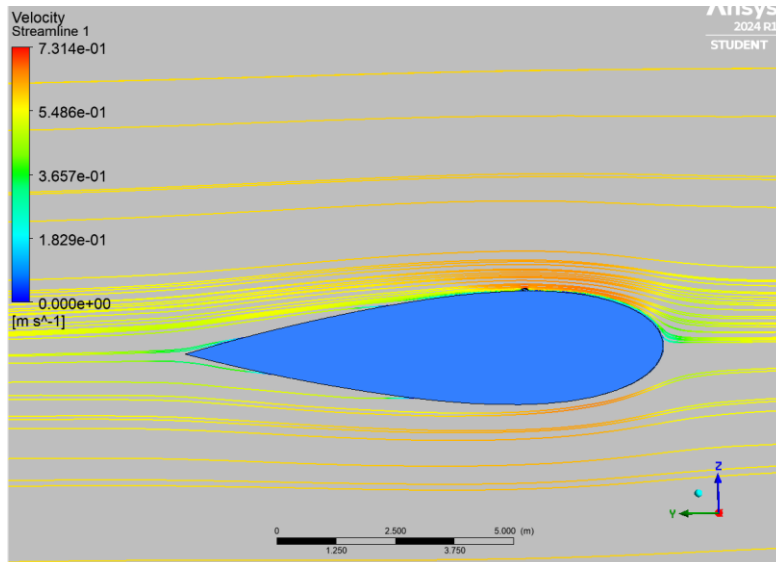
----- Cd -----
foil-solid_305      0.045446137

----- Cl -----
foil-solid_305      0.0038354681

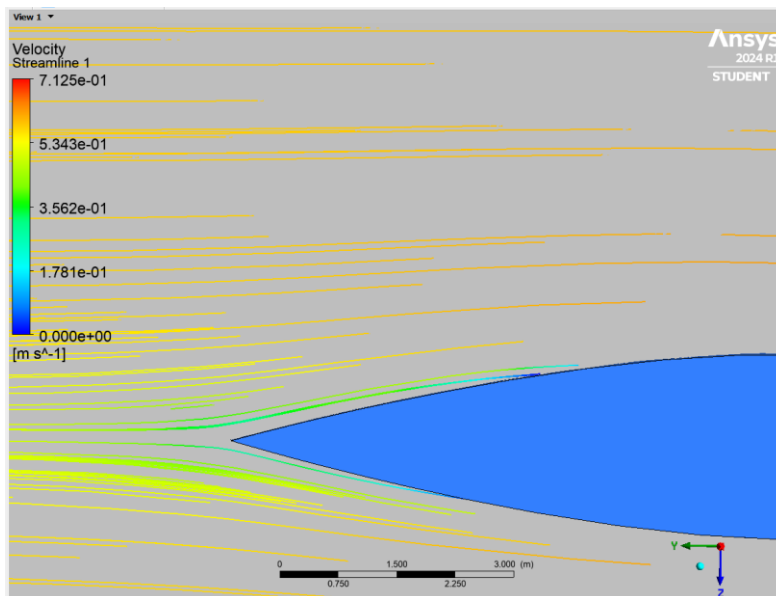
```

Gambar 4.24 Hasil simulasi pada angle of attack 5 derajat

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 364. Simulasi *Angle of Attack* 5 derajat menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.005589 dan Drag sebesar 0.04638.



Gambar 4.25 Simulasi pada angle of attack 5 derajat



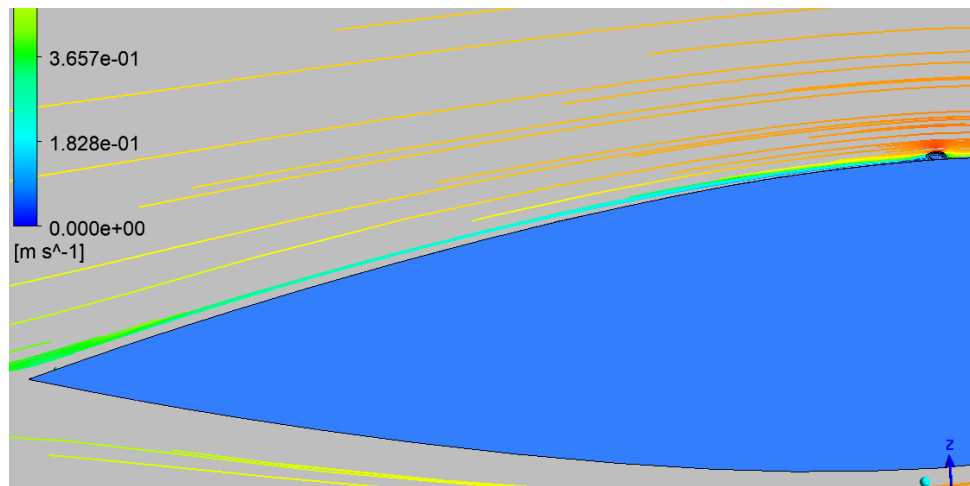
Gambar 4.26 Simulasi pada angle of attack 5 derajat

4.9.3 Simulasi Dengan Angle of Attack 10 Derajat

```
Console
Done.
Calculation complete.
-----
C1
foil-solid_238      0.0039294043
-----
Cd
foil-solid_238      0.045734839
-----
```

Gambar 4.27 Hasil simulasi pada angle of attack 10 derajat

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 322. Simulasi *Angle of Attack* 10 derajat menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.003929 dan *Coefficient of Drag* sebesar 0.045734



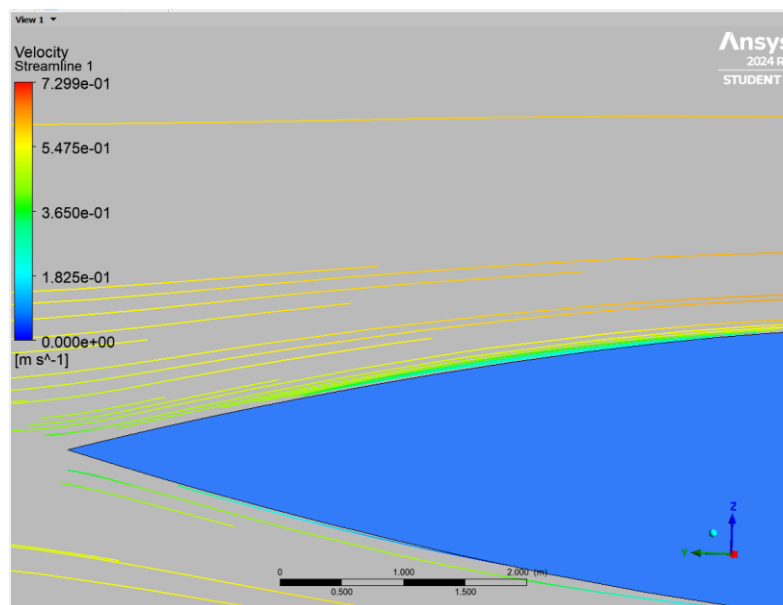
Gambar 4.28 Simulasi pada angle of attack 10 derajat

4.9.4 Simulasi Dengan Angle of Attack 15 Derajat

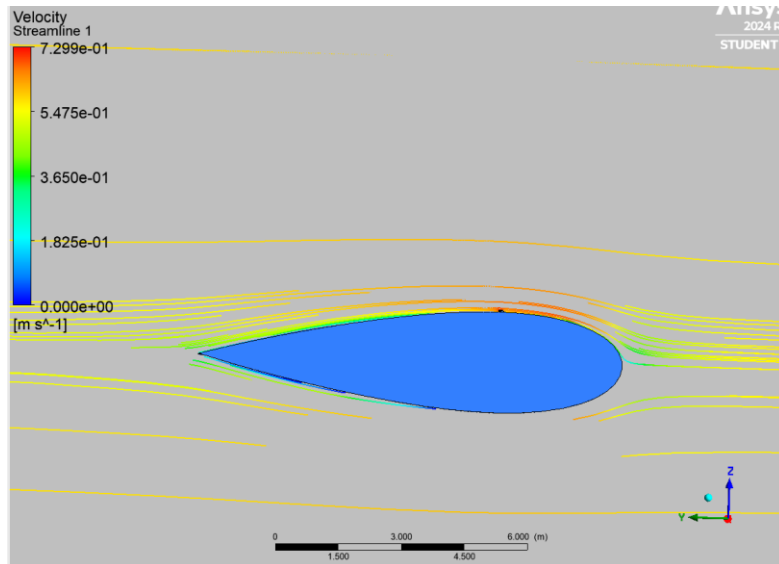
C _l	
foil-solid_268	0.0040771281
C _d	
foil-solid_268	0.045838472

Gambar 4.29 Hasil simulasi pada angle of attack 15 derajat

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 378. Simulasi *Angle of Attack* 15 derajat menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.004077 dan *Coefficient of Drag* sebesar 0.045838.



Gambar 4.30 Simulasi pada angle of attack 15 derajat



Gambar 4.31 Simulasi pada angle of attack 15 derajat

4.9.5 Simulasi Dengan Angle of Attack 20 Derajat

```

Calculation complete.

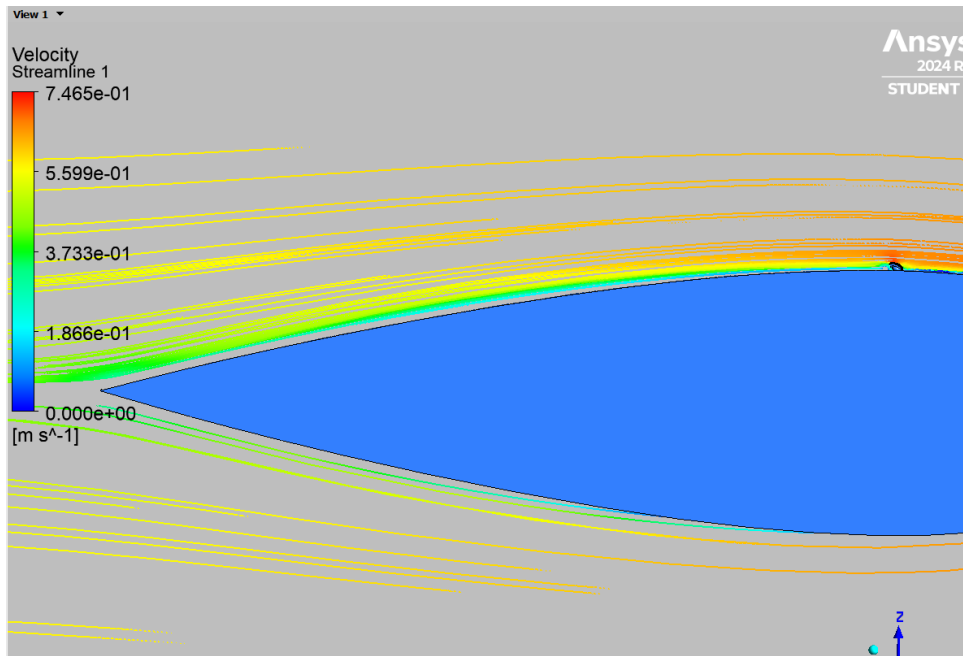
-----
                Cl
-----
foil-solid_302    0.0034038507

                Cd
-----
foil-solid_302    0.046270539

```

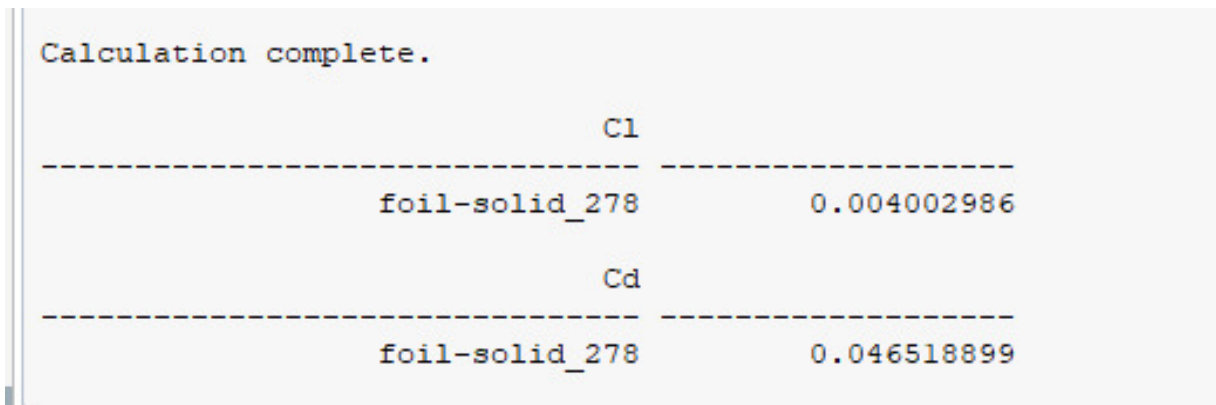
Gambar 4.32 Hasil simulasi pada angle of attack 20 derajat

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 311. Simulasi *Angle of Attack* 20 derajat menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.003403 dan *Coefficient of Drag* sebesar 0.046270.



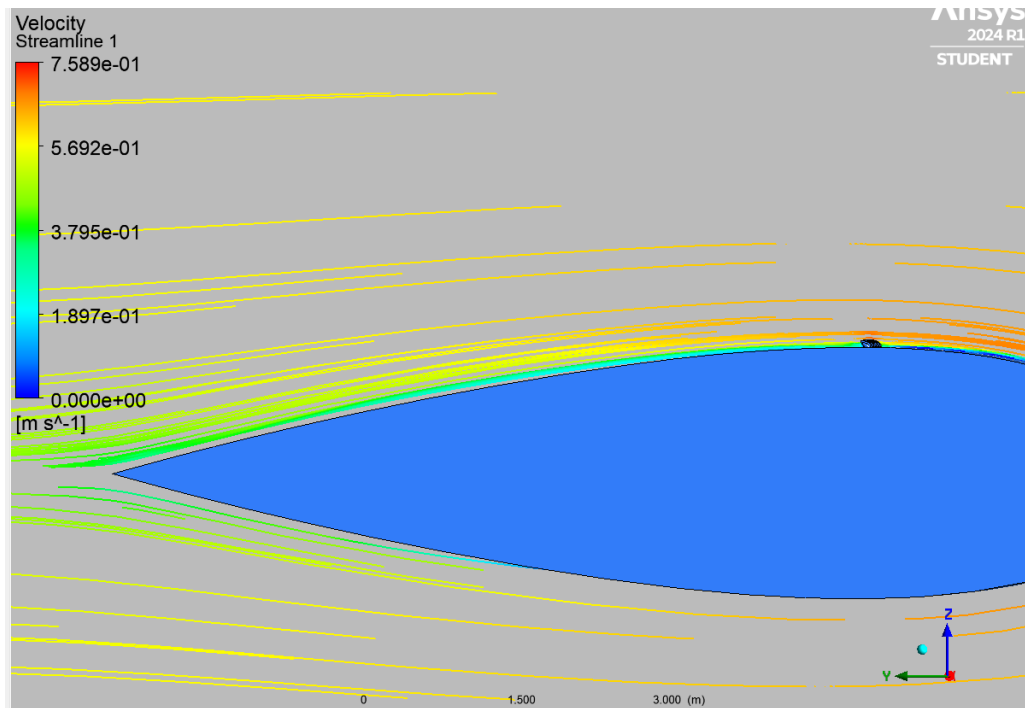
Gambar 4.33 Simulasi pada angle of attack 20 derajat

4.9.6 Simulasi Dengan Angle of Attack 25 Derajat



Gambar 4.34 Hasil simulasi pada angle of attack 25 derajat

Simulasi dilakukan dengan 500 iterasi, hasil konvergen didapat pada iterasi ke 341. Simulasi *Angle of Attack* 25 derajat menghasilkan *Coefficient of Lift* sebesar 0.0040029 dan *Coefficient of Drag* sebesar 0.04651899.

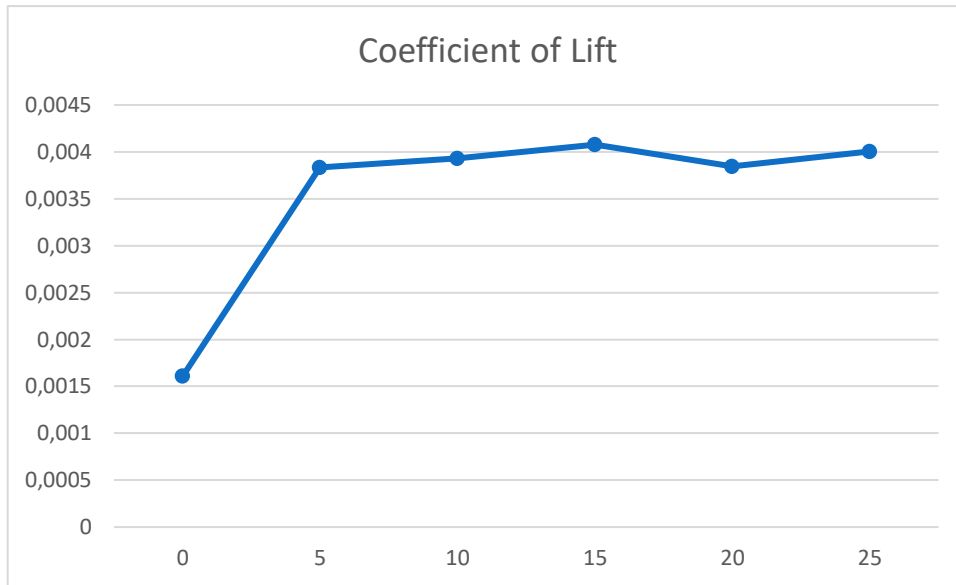


Gambar 4.35 Simulasi pada angle of attack 25 derajat

4.10 Perbandingan Hasil Simulasi

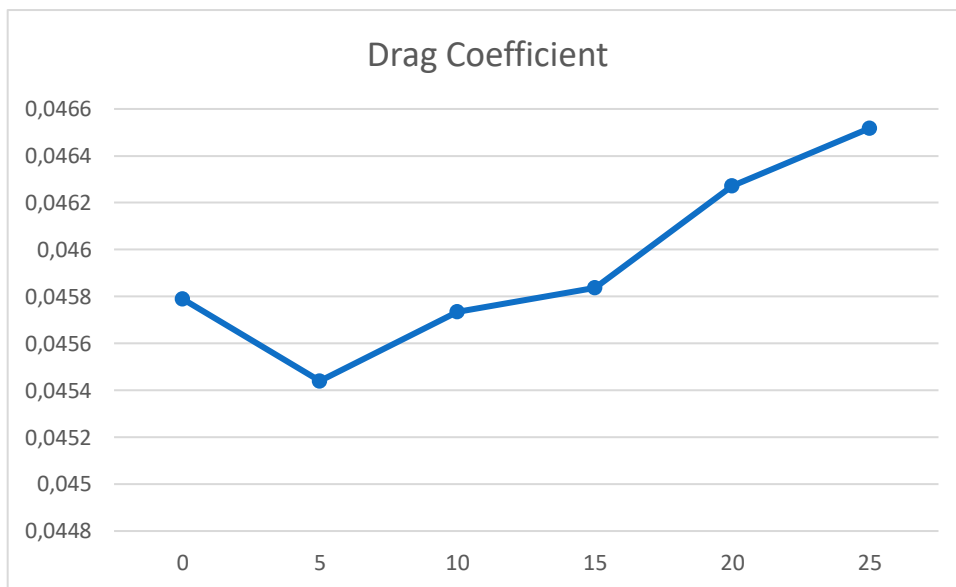
Tabel 4.2 Perbandingan hasil simulasi

Angle of Attack	Coefficient of Drag	Coefficient of Lift
0	0,04579	0,001609
5	0,04544	0,003835
10	0,045734	0,003929
15	0,045838	0,0040771
20	0,0462705	0,0034038
25	0,046518	0,0040029



Gambar 4.36 Hubungan antara angle of attack dan Coefficient of Lift

Coefficient of lift terendah terdapat pada variasi 0 derajat (*smooth surface*) dengan nilai 0.001609 sedangkan tertinggi pada *variasi angle of attack* 15 derajat dengan nilai 0,0040771.



Gambar 4.37 Hubungan antara angle of attack dan drag coefficient

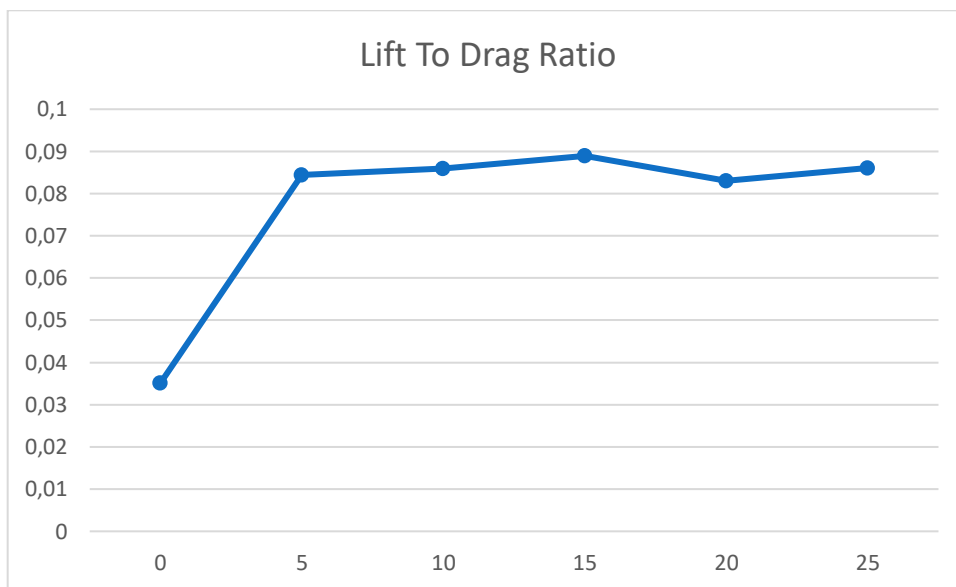
Coefficient of drag terendah terdapat pada variasi *angle of attack* 5 derajat dengan nilai 0. 0,04544 dan tertinggi pada variasi *angle of attack* 25 derajat dengan nilai 0,046518.

Tabel 4.3 Lift to Drag Ratio

Angle of Attack	Lift to Drag Ratio
0	0,035138677
5	0,084397007
10	0,085909826
15	0,088945853

20	0,073563069
25	0,086050561

Lift to drag ratio berada pada rentang 0,035138677 hingga 0,088945853. Pada *angle of attack* 0 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,035138677, Pada *angle of attack* 5 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,084397007, Pada *angle of attack* 10 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,085909826. Pada *angle of attack* 15 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,088945853, Pada *angle of attack* 20 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,073563069. Pada *angle of attack* 25 derajat didapatkan *lift to drag ratio* sebesar 0,086050561.



Gambar 4.38 Lift to drag ratio pada tiap angle of attack

Lift to drag ratio menggambarkan semakin tinggi rasio L/D, semakin efisien benda tersebut dalam menghasilkan gaya angkat dengan sedikit hambatan. Hal ini berarti benda tersebut dapat bergerak lebih jauh dengan gaya dorong yang sama, atau mencapai kecepatan yang lebih tinggi dengan gaya dorong yang sama. Pada gambar 4.20 *lift to drag ratio* terbesar terdapat pada *angle of attack* 15 derajat yaitu sebesar 0,088945853.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil simulasi, didapatkan kesimpulan:

1. Perbandingan nilai *Coefficient of Drag* ter kecil pada simulasi dengan vortex generator dan tanpa vortex generator sebesar 0,00035 (0,77%)
2. Perbandingan nilai *Coefficient of Lift* pada simulasi dengan vortex generator dan tanpa vortex generator sebesar 60.5%
3. *Coefficient of drag* terendah dihasilkan oleh simulasi dengan *angle of attack* 5 derajat dengan nilai 0.04544
4. *Coefficient of lift* terbesar dihasilkan oleh simulasi dengan *angle of attack* 15 derajat dengan nilai 0.0040771
5. Berdasarkan *lift* dan *drag ratio*, *angle of attack* paling optimal didapatkan pada sudut 15 derajat dengan L/D ratio sebesar 0,08894

5.2 SARAN

Dari hasil pengujian dan simulasi, dapat diperoleh saran sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mensimulasikan pada kondisi lambung kapal yang sebenarnya
2. Dari hasil simulasi *Ansys Fluent* dapat dilakukan pengujian ulang dengan variasi *angle of attack* yang berbeda untuk mendapat hasil yang paling optimal
3. Dilakukan pengujian model dan simulasi nyata agar memperoleh nilai yang mendekati nyata
4. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan *boundary layer* yang lebih kecil agar mendapatkan nilai *lift* dan *drag* yang signifikan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Y. M., Hassan Elbatran, A., Elbatran, A. H., & Shabara, H. M. (n.d.). Study of the Effect of Low Profile Vortex Generators on Ship Viscous Resistance. In *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering* (Vol. 1). <https://www.researchgate.net/publication/273260255>
- Arunvinthan, S., Raatan, V. S., Nadaraja Pillai, S., Pasha, A. A., Rahman, M. M., & Juhany, K. A. (2021). Aerodynamic characteristics of *Shark* scale-based vortex generators upon symmetrical airfoil. *Energies*, *14*(7). <https://doi.org/10.3390/en14071808>
- Bechert, D. W., Bruse, M., & Hage, W. (2000). Experiments with three-dimensional riblets as an idealized model of *Shark* skin. *Experiments in Fluids*, *28*(5), 403–412. <https://doi.org/10.1007/s003480050400>
- Dean, B., & Bhushan, B. (2010). *Shark*-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: A review. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 368, Issue 1929, pp. 4775–4806). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0201>
- Domel, A. G., Saadat, M., Weaver, J. C., Haj-Hariri, H., Bertoldi, K., & Lauder, G. V. (2018). *Shark* skin-inspired designs that improve aerodynamic performance. *Journal of the Royal Society Interface*, *15*(139). <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0828>
- Lloyd, C. J., Peakall, J., Burns, A. D., Keevil, G. M., Dorrell, R. M., Wignall, P. B., & Fletcher, T. M. (2021). Hydrodynamic efficiency in *Sharks*: The combined role of riblets and *denticles*. *Bioinspiration and Biomimetics*, *16*(4). <https://doi.org/10.1088/1748-3190/abf3b1>
- Rasedul Islam, M., Amzad Hossain, M., Mashud, M., & Tanvir Ibny Gias, M. (2013). Drag Reduction of a Car by Using Vortex Generator. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *4*(7). <http://www.ijser.org>
- Seshagiri, A., Cooper, E., & Traub, L. W. (2009). Effects of vortex generators on an airfoil at low reynolds numbers. *Journal of Aircraft*, *46*(1), 116–122. <https://doi.org/10.2514/1.36241>
- Wadile, R. (2021). EFFECT OF VORTEX GENERATORS ON THE EFFICIENCY OF A VEHICLE. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyumas, 22 Juli 2002, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SMPN 2 Purwokerto dan SMAN 2 Purwokerto. Setelah lulus dari SMAN tahun 2020, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5019201062.

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) dan aktif sebagai Asisten beberapa mata kuliah. Penulis juga terdaftar sebagai member laboratorium Marine Fluid Machinery and System (MMS)