

**STUDI NUMERIK PERBANDINGAN *TRIANGULAR*
DAN *RECTANGULAR VORTEX GENERATOR*
PADA WING AIRFOIL NACA 20612**

TUGAS AKHIR



Oleh:

AGIL BAYU RAMADHAN
NIT: 30421027

**PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2024**

**STUDI NUMERIK PERBANDINGAN *TRIANGULAR*
DAN *RECTANGULAR VORTEX GENERATOR*
PADA WING AIRFOIL NACA 20612**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Ahli Madya
(A.Md.) pada Program Studi Diploma 3 Teknik Pesawat Udara



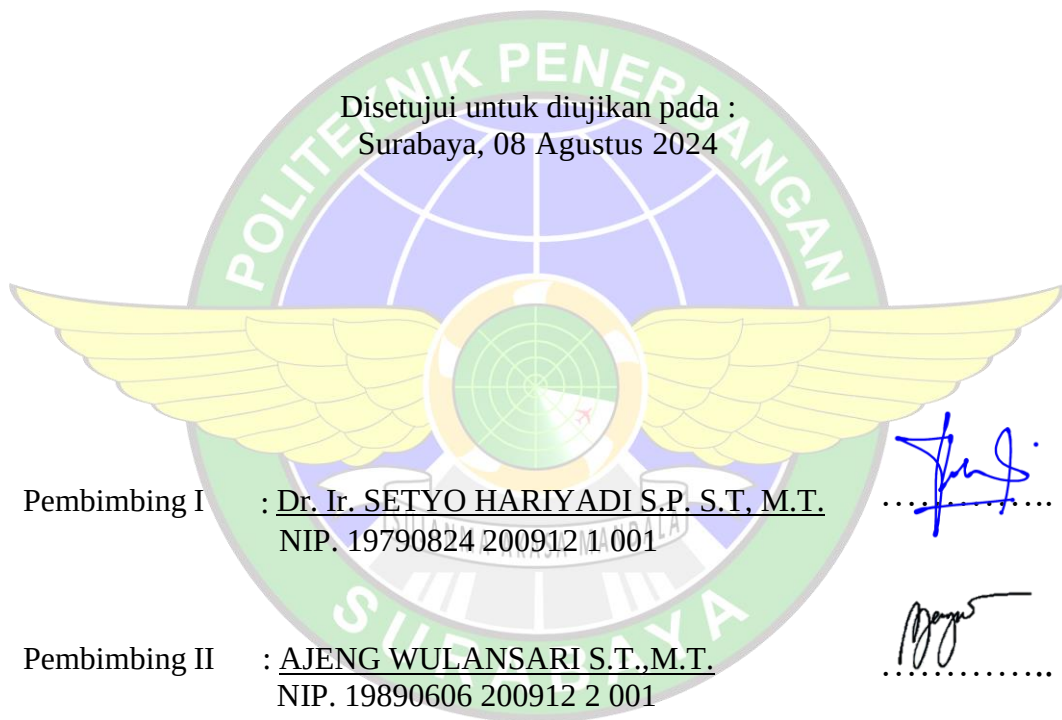
**PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

STUDI NUMERIK PERBANDINGAN TRIANGULAR DAN RECTANGULAR VORTEX GENERATOR PADA WING AIRFOIL NACA 20612

Oleh :
AGIL BAYU RAMADHAN
NIT. 30421027

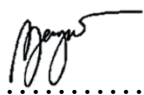
Disetujui untuk diujikan pada :
Surabaya, 08 Agustus 2024



Pembimbing I : Dr. Ir. SETYO HARIYADI S.P. S.T, M.T.
NIP. 19790824 200912 1 001

.....


Pembimbing II : AJENG WULANSARI S.T.,M.T.
NIP. 19890606 200912 2 001

.....


HALAMAN PENGESAHAN

STUDI NUMERIK PERBANDINGAN *TRIANGULAR* DAN *RECTANGULAR VORTEX GENERATOR* PADA *WING AIRFOIL NACA 20612*

Oleh :

AGIL BAYU RAMADHAN
NIT. 30421027

Telah dipertahankan dan dinyatakan lulus pada Ujian Tugas Akhir Program
Pendidikan Diploma 3 Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya
pada tanggal :

Panitia Penguji :

1. Ketua : Dr. GUNAWAN SAKTI S.T., M.T.
NIP. 19881001 200912 1 003
2. Sekretaris. : RIFDIAN I.S., S.T., M.M., M.T.
NIP. 19810629 200912 1 002
3. Anggota : Dr. Ir. SETYO HARIYADI S.P. S.T, M.T.
NIP. 19790824 200912 1 001

.....

.....

.....

Ketua Program Studi
D3 TEKNIK PESAWAT UDARA

.....

NYARIS PAMBUDIYATNO S.SiT, M.MTr
NIP. 19820525 200502 1 001

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, kami panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, sehingga dapat memberikan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan cukup baik yang berjudul “**STUDI NUMERIK PERBANDINGAN TRIANGULAR DAN RECTANGULAR VORTEX GENERATOR PADA WING AIRFOIL NACA 20612**” dengan baik dan lancar sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Dan sebagai syarat untuk menyelesaikan program Diploma 3 Teknik Pesawat Udara Angkatan VII di Politeknik Penerbangan Surabaya. Selama proses penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan semua pihak yang memberikan arahan dan bimbingannya, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ahmad Bahrawi, S.E., M.T. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Surabaya.
2. Bapak Nyaris Pambudiyatno, S.SiT, M.mTr selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir. Setyo Hariyadi, S.P, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Materi Tugas Akhir.
4. Ibu Ajeng Wulansari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Penulisan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan instruktur pengajar Politeknik Penerbangan Surabaya yang telah membimbing kami selama ini.
6. Kepada orang tua saya yang telah memberikan doa serta bantuan secara materi, dukungan moral dan doa untuk kelancaran Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap semoga penulisan ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan, berguna bagi semua pihak dan tidak lupa pula saya ucapkan syukur kepada Allah SWT berkat karunia Nya penulis dapat menyelesaikan Program Diploma 3 Teknik Pesawat Udara.

Surabaya, 08 Agustus 2024



Agil Bayu Ramadhan

ABSTRAK

STUDI NUMERIK PERBANDINGAN *TRIANGULAR* DAN *RECTANGULAR VORTEX GENERATOR* PADA WING AIRFOIL NACA 20612

Oleh :

Agil Bayu Ramadhan

NIT. 30421027

Wing adalah elemen utama dalam menghasilkan gaya angkat yang memungkinkan pesawat bisa terbang. Penelitian terkait *wing* mencakup berbagai aspek, seperti bentuk dan profil *airfoil*, distribusi tekanan di permukaan *wing*, sudut serangan yang optimal, sistem pencahayaan dan *de-icing*, serta penggunaan material yang ringan dan kuat untuk efisiensi. Dalam penelitian ini, analisa karakteristik aerodinamika dilakukan dengan mengkaji pendistribusian aliran udara di sepanjang *airfoil* NACA 20612 pesawat terbang untuk mengetahui distribusi aliran dan gaya yang terjadi di sekitar *airfoil* NACA 20612. Analisa dilakukan dengan cara simulasi aliran udara yang mengalir pada *airfoil* NACA 20612 menggunakan *software* ANSYS. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui perbedaan karakteristik penggunaan *vortex generator* dengan membandingkan beberapa variasi bentuk *vortex generator* pada *airfoil* NACA 20612.

Metode penelitian ini menggunakan metode analisa simulasi pada benda uji *airfoil* NACA 20612 yang diberi variasi bentuk *vortex generator* yang berbeda yaitu *triangular vortex generator* dan *rectangular vortex generator* dengan panjang 10 mm, tinggi 5 mm, pemasangan *straight*, jarak antar sepasang *vortex generator* 40 mm dan ditempatkan pada $x/c = 20\%$ dari *leading edge*, dan *angle of attack* yang berbeda. Instrumen penelitian berupa data statistic yang diambil dari nilai *drag* yang diolah menjadi nilai koefisien *drag*, serta data visual yang diambil dari visualisasi aliran udara pada penampang *airfoil*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *performance* dari *airfoil* NACA 20612 dengan penambahan *triangular vortex generator* dibandingkan tanpa dengan *vortex generator*. Adanya *triangular vortex generator*, dapat menunda separasi. Dari simulasi tersebut menghasilkan peningkatan *coefficient lift* tertinggi terjadi pada $\alpha = 13^\circ$ dengan peningkatan sebesar 2.8% *coefficient lift* dan dapat mengurangi *drag* sebesar 2.4% pada $\alpha = 11^\circ$, sehingga dapat disimpulkan dengan penambahan *triangular vortex generator* dapat meningkatkan performa aerodinamika.

Kata kunci : *airfoil* ,NACA 20612, *triangular vortex generator*, *rectangular vortex generator*

ABSTRACT

COMPARATIVE NUMERICAL STUDY OF TRIANGULAR AND RECTANGULAR VORTEX GENERATOR ON WING AIRFOIL NACA 20612

By:

Agil Bayu Ramadhan
NIT. 30421027

The wing is the main element in generating the lift that allows an aircraft to fly. Wing-related research covers various aspects, such as airfoil shape and profile, pressure distribution on the wing surface, optimal angle of attack, lighting and de-icing systems, and the use of lightweight and strong materials for efficiency. In this study, the aerodynamic characteristics are analyzed by examining the distribution of airflow along the NACA 20612 airfoil of an airplane to determine the distribution of flow and forces that occur around the NACA 20612 airfoil. The analysis was carried out by simulating the airflow flowing on the NACA 20612 airfoil using ANSYS software. The purpose of this analysis is to determine the different characteristics of the use of vortex generators by comparing several variations in the shape of the vortex generator on the NACA 20612 airfoil.

This research method uses a simulation analysis method on the NACA 20612 airfoil test specimen which is given a variety of different vortex generator shapes, namely triangular vortex generators and rectangular vortex generators with a length of 10 mm, height of 5 mm, straight installation, distance between a pair of vortex generators 40 mm and placed at $x/c = 20\%$ of the leading edge, and different angles of attack. The research instrument is in the form of statistical data taken from the drag value which is processed into a drag coefficient value, as well as visual data taken from the visualization of airflow on the airfoil cross section.

The results of this study indicate that there is an increase in the performance of the NACA 20612 airfoil with the addition of a triangular vortex generator compared to without a vortex generator. The existence of a triangular vortex generator can delay separation. From the simulation, the highest lift coefficient increase occurs at $\alpha = 13^\circ$ with an increase of 2.8% lift coefficient and can reduce drag by 2.4% at $\alpha = 11^\circ$; so it can be concluded that the addition of a triangular vortex generator can improve aerodynamic performance.

Keywords : airfoil , NACA 20612, triangular vortex generator, rectangular vortex generator

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agil Bayu Ramadhan
NIT : 30421027
Program Studi : D3 Teknik Pesawat Udara
Judul Tugas Akhir : Studi Numerik Perbandingan *Triangular* dan *Rectangular Vortex Generator* Pada *Wing Airfoil NACA 20612*

dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Politeknik Penerbangan Surabaya maupun di Perguruan Tinggi lain, serta dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right) kepada Politeknik Penerbangan Surabaya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Politeknik Penerbangan Surabaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Politeknik Penerbangan Surabaya.

Surabaya, 08 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan



Agil Bayu Ramadhan
NIT. 30421027

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penelitian.....	6
 BAB II LANDASAN TEORI	 8
2.1 Aerodinamika	8
2.2 Teori <i>Airfoil</i>	9
2.2.1 <i>Airfoil</i> NACA.....	10
2.2.2 Macam Macam <i>Airfoil</i>	10
2.3 <i>Airfoil</i> NACA 20612	13
2.4 <i>Vortex Generator</i>	14
2.5 <i>Angle of Attack</i>	16
2.6 <i>Stall</i>	16
2.7 <i>Reynold Number</i>	17
2.8 Aliran <i>Incompressible</i> dan Aliran <i>Compressible</i>	19
2.9 Aliran <i>Steady</i> dan <i>Unsteady</i>	20
2.10 Aliran Eksternal.....	21
2.11 Sifat Aliran	21
2.12 Kerapatan.....	22
2.13 Berat jenis	22
2.14 Kekentalan	23
2.15 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	23
2.16 <i>Software</i> ANSYS.....	25
2.17 Penelitian Yang Relevan	25
2.18 Mental Map	27

BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Desain Penelitian	29
3.2 Variabel Penelitian	31
3.2.1 Variabel Terikat	31
3.2.2 Variabel Bebas.....	31
3.3 Objek Penelitian	32
3.4 Teknik Pengumpulan Data dan Instrument Penelitian	33
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data	33
3.5 Teknik Analisa Data	37
3.6 Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.6.1 Tempat Penelitian	40
3.6.2 Waktu Penelitian.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Hasil Penelitian.....	42
4.1.1 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Airfoil</i> NACA 20612.....	47
4.1.2 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Airfoil</i> NACA 20612.....	55
4.1.3 Visualisasi <i>Pressure Contour Airfoil</i> NACA 20612 dengan <i>Triangular Vortex Generator</i>	63
4.1.4 Visualisasi <i>Velocity Contour Airfoil</i> NACA 20612 dengan <i>Triangular Vortex Generator</i>	71
4.1.5 Visualisasi <i>Pressure Contour Airfoil</i> NACA 20612 dengan <i>Rectangular Vortex Generator</i>	81
4.1.6 Visualisasi <i>Velocity Contour Airfoil</i> NACA 20612 dengan <i>Rectangular Vortex Generator</i>	89
4.2 Hasil Perbandingan Visualisasi <i>Pressure Countour Plain Airfoil</i> dengan <i>Triangular</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil</i> NACA 20612.....	99
4.3 Hasil Perbandingan Visualisasi <i>Velocity Countour Plain Airfoil</i> dengan <i>Triangular</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil</i> NACA 20612.....	104
BAB V PENUTUP.....	110
5.1 Kesimpulan.....	110
5.2 Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pesawat Embraer ERJ-145	3
Gambar 2. 1 Gaya-gaya pada pesawat terbang	8
Gambar 2. 2 <i>Terminologi airfoil</i>	9
Gambar 2. 3 2 Dimensi <i>Airfoil</i> NACA 20612.....	14
Gambar 2. 4 3 Dimensi <i>Airfoil</i> NACA 20612.....	14
Gambar 2. 5 Bentuk <i>vortex generator</i>	14
Gambar 2. 6 <i>Airfoil</i> dengan <i>vortex generator</i>	15
Gambar 2. 7 <i>Airfoil</i> tanpa <i>vortex generator</i>	15
Gambar 2. 8 <i>Angle of Attack between airfoil chord line and relative wind</i>	16
Gambar 2. 9 Distribusi <i>Stall</i>	17
Gambar 2. 10 Aliran laminar dan aliran turbulen	18
Gambar 2. 11 Visualisasi 3D Perbandingan Pada Kecepatan 8 m/s Dengan <i>Angle of attack</i> 15°.....	26
Gambar 2. 12 Visualisasi <i>streamline</i> pada kontur kecepatan hasil pemodelan <i>airfoil</i> NASA LS-0417 pada $\alpha = 16^\circ$ dengan variasi h pada $x/c = 0.3$	27
Gambar 2. 13 Mental Map	28
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian	29
Gambar 3. 2 Skema penelitian simulasi.....	31
Gambar 3. 3 2 Dimensi <i>Wing Airfoil</i> NACA 20612 dan posisi peletakkan <i>vortex generator</i>	32
Gambar 3. 4 Dimensi <i>Rectangular Vortex Generator</i>	33
Gambar 3. 5 Dimensi <i>Triangular Vortex Generator</i>	33
Gambar 3. 6 <i>Wing Airfoil</i> NACA 20612 tanpa <i>Vortex Generator</i>	34
Gambar 3. 7 <i>Wing Airfoil</i> NACA 20612 <i>Rectangular Vortex Generator</i>	34
Gambar 3. 8 <i>Wing Airfoil</i> NACA 20612 <i>Triangular Vortex Generator</i>	34
Gambar 3. 9 Dimensi permodelan dan <i>Boundary condition</i>	35
Gambar 3. 10 Penampang bagian <i>Inlet</i>	35
Gambar 3. 11 Penampang bagian <i>Outlet</i>	35
Gambar 3. 12 Penampang bagian <i>Side wall</i>	36
Gambar 3. 13 Penampang bagian <i>Airfoil</i>	36
Gambar 3. 14 Hasil <i>Meshing</i> secara global.....	36
Gambar 3. 15 Hasil <i>Meshing</i> sekitar <i>airfoil</i>	37
Gambar 4. 1 Perbandingan <i>Coefficient Lift</i> dari <i>Plain</i> , <i>Triangular</i> , dan <i>Rectangular</i>	46
Gambar 4. 2 Perbandingan <i>Coefficient Drag</i> dari <i>Plain</i> , <i>Triangular</i> , dan <i>Rectangular</i>	47
Gambar 4. 3 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu z-x	47
Gambar 4. 4 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu z-x	47
Gambar 4. 5 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu z-x	48
Gambar 4. 6 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 3^\circ$	

pada sumbu z-x	48
Gambar 4. 7 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 4^\circ$	
pada sumbu z-x	49
Gambar 4. 8 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 5^\circ$	
pada sumbu z-x	49
Gambar 4. 9 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 6^\circ$	
pada sumbu z-x	49
Gambar 4. 10 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 7^\circ$	
pada sumbu z-x	49
Gambar 4. 11 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 8^\circ$	
pada sumbu z-x	50
Gambar 4. 12 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 9^\circ$	
pada sumbu z-x	50
Gambar 4. 13 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 10^\circ$	
pada sumbu z-x	51
Gambar 4. 14 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 11^\circ$	
pada sumbu z-x	51
Gambar 4. 15 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 12^\circ$	
pada sumbu z-x	52
Gambar 4. 16 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 13^\circ$	
pada sumbu z-x	52
Gambar 4. 17 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 14^\circ$	
pada sumbu z-x	52
Gambar 4. 18 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 15^\circ$	
pada sumbu z-x	52
Gambar 4. 19 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 16^\circ$	
pada sumbu z-x	53
Gambar 4. 20 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 17^\circ$	
pada sumbu z-x	53
Gambar 4. 21 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 18^\circ$	
pada sumbu z-x	54
Gambar 4. 22 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 19^\circ$	
pada sumbu z-x	54
Gambar 4. 23 Visualisasi <i>Pressure Contour Plain Wing</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 20^\circ$	
pada sumbu z-x	54
Gambar 4. 24 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu y-x ..	55
Gambar 4. 25 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu y-x ..	55
Gambar 4. 26 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu y-x ..	56
Gambar 4. 27 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 3^\circ$ pada sumbu y-x ..	56
Gambar 4. 28 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 4^\circ$ pada sumbu y-x ..	57
Gambar 4. 29 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 5^\circ$ pada sumbu y-x ..	57
Gambar 4. 30 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 6^\circ$ pada sumbu y-x ..	58
Gambar 4. 31 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 7^\circ$ pada sumbu y-x ..	58
Gambar 4. 32 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 8^\circ$ pada sumbu y-x ..	59
Gambar 4. 33 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 9^\circ$ pada sumbu y-x ..	59
Gambar 4. 34 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 10^\circ$ pada sumbu y-x ..	60

Gambar 4. 35 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 11^\circ$ pada sumbu y-x	60
Gambar 4. 36 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 12^\circ$ pada sumbu y-x	60
Gambar 4. 37 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 13^\circ$ pada sumbu y-x	60
Gambar 4. 38 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 14^\circ$ pada sumbu y-x	61
Gambar 4. 39 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 15^\circ$ pada sumbu y-x	61
Gambar 4. 40 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 16^\circ$ pada sumbu y-x	62
Gambar 4. 41 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 17^\circ$ pada sumbu y-x	62
Gambar 4. 42 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 18^\circ$ pada sumbu y-x	62
Gambar 4. 43 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 19^\circ$ pada sumbu y-x	62
Gambar 4. 44 Visualisasi <i>Velocity Contour Plain Wing</i> $\alpha = 20^\circ$ pada sumbu y-x	63
Gambar 4. 45 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu z-x	64
Gambar 4. 46 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu z-x	64
Gambar 4. 47 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu z-x	64
Gambar 4. 48 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 3^\circ$ pada sumbu z-x	64
Gambar 4. 49 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 4^\circ$ pada sumbu z-x	65
Gambar 4. 50 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 5^\circ$ pada sumbu z-x	65
Gambar 4. 51 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 6^\circ$ pada sumbu z-x	66
Gambar 4. 52 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 7^\circ$ pada sumbu z-x	66
Gambar 4. 53 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 8^\circ$ pada sumbu z-x	66
Gambar 4. 54 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 9^\circ$ pada sumbu z-x	66
Gambar 4. 55 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 10^\circ$ pada sumbu z-x	67
Gambar 4. 56 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 11^\circ$ pada sumbu z-x	67
Gambar 4. 57 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 12^\circ$ pada sumbu z-x	68
Gambar 4. 58 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 13^\circ$ pada sumbu z-x	68
Gambar 4. 59 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 14^\circ$ pada sumbu z-x	69
Gambar 4. 60 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 15^\circ$ pada sumbu z-x	69
Gambar 4. 61 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 16^\circ$ pada sumbu z-x	69
Gambar 4. 62 Visualisasi <i>Pressure Contour Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 17^\circ$ pada sumbu z-x	69

Gambar 4. 63 Visualisasi <i>Pressure Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 18^\circ$ pada sumbu z-x	70
Gambar 4. 64 Visualisasi <i>Pressure Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 19^\circ$ pada sumbu z-x	70
Gambar 4. 65 Visualisasi <i>Pressure Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 20^\circ$ pada sumbu z-x	71
Gambar 4. 66 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu y-x	72
Gambar 4. 67 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu y-x	72
Gambar 4. 68 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu y-x	73
Gambar 4. 69 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 3^\circ$ pada sumbu y-x	73
Gambar 4. 70 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 4^\circ$ pada sumbu y-x	74
Gambar 4. 71 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 5^\circ$ pada sumbu y-x	74
Gambar 4. 72 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 6^\circ$ pada sumbu y-x	74
Gambar 4. 73 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 7^\circ$ pada sumbu y-x	74
Gambar 4. 74 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 8^\circ$ pada sumbu y-x	75
Gambar 4. 75 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 9^\circ$ pada sumbu y-x	75
Gambar 4. 76 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 10^\circ$ pada sumbu y-x	76
Gambar 4. 77 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 11^\circ$ pada sumbu y-x	76
Gambar 4. 78 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 12^\circ$ pada sumbu y-x	77
Gambar 4. 79 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 13^\circ$ pada sumbu y-x	77
Gambar 4. 80 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 14^\circ$ pada sumbu y-x	78
Gambar 4. 81 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 15^\circ$ pada sumbu y-x	78
Gambar 4. 82 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 16^\circ$ pada sumbu y-x	79
Gambar 4. 83 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 17^\circ$ pada sumbu y-x	79
Gambar 4. 84 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 18^\circ$ pada sumbu y-x	80
Gambar 4. 85 Visualisasi <i>Velocity Contour</i> <i>Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 19^\circ$ pada sumbu y-x	80

Gambar 4. 86 Visualisasi <i>Velocity Contour Triangular Vortex Generator</i> $\alpha = 20^\circ$ pada sumbu y-x	80
Gambar 4. 87 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu z-x	81
Gambar 4. 88 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu z-x	81
Gambar 4. 89 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu z-x	82
Gambar 4. 90 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 3^\circ$ pada sumbu z-x	82
Gambar 4. 91 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 4^\circ$ pada sumbu z-x	83
Gambar 4. 92 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 5^\circ$ pada sumbu z-x	83
Gambar 4. 93 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 6^\circ$ pada sumbu z-x	83
Gambar 4. 94 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 7^\circ$ pada sumbu z-x	83
Gambar 4. 95 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 8^\circ$ pada sumbu z-x	84
Gambar 4. 96 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 9^\circ$ pada sumbu z-x	84
Gambar 4. 97 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 10^\circ$ pada sumbu z-x	85
Gambar 4. 98 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 11^\circ$ pada sumbu z-x	85
Gambar 4. 99 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 12^\circ$ pada sumbu z-x	86
Gambar 4. 100 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 13^\circ$ pada sumbu z-x	86
Gambar 4. 101 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 14^\circ$ pada sumbu z-x	87
Gambar 4. 102 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 15^\circ$ pada sumbu z-x	87
Gambar 4. 103 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 16^\circ$ pada sumbu z-x	87
Gambar 4. 104 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 17^\circ$ pada sumbu z-x	87
Gambar 4. 105 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 18^\circ$ pada sumbu z-x	88
Gambar 4. 106 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 19^\circ$ pada sumbu z-x	88
Gambar 4. 107 Visualisasi <i>Pressure Contour Rectangular Vortex Generator</i> pada <i>Upper Surface</i> $\alpha = 20^\circ$ pada sumbu z-x	89
Gambar 4. 108 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 0^\circ$ pada sumbu y-x	90

Gambar 4. 109 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 1^\circ$ pada sumbu y-x	90
Gambar 4. 110 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 2^\circ$ pada sumbu y-x	91
Gambar 4. 111 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 3^\circ$ pada sumbu y-x	91
Gambar 4. 112 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 4^\circ$ pada sumbu y-x	92
Gambar 4. 113 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 5^\circ$ pada sumbu y-x	92
Gambar 4. 114 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 6^\circ$ pada sumbu y-x	92
Gambar 4. 115 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 7^\circ$ pada sumbu y-x	92
Gambar 4. 116 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 8^\circ$ pada sumbu y-x	93
Gambar 4. 117 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 9^\circ$ pada sumbu y-x	93
Gambar 4. 118 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 10^\circ$ pada sumbu y-x	94
Gambar 4. 119 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 11^\circ$ pada sumbu y-x	94
Gambar 4. 120 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 12^\circ$ pada sumbu y-x	95
Gambar 4. 121 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 13^\circ$ pada sumbu y-x	95
Gambar 4. 122 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 14^\circ$ pada sumbu y-x	96
Gambar 4. 123 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 15^\circ$ pada sumbu y-x	96
Gambar 4. 124 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 16^\circ$ pada sumbu y-x	97
Gambar 4. 125 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 17^\circ$ pada sumbu y-x	97
Gambar 4. 126 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 18^\circ$ pada sumbu y-x	98
Gambar 4. 127 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 19^\circ$ pada sumbu y-x	98
Gambar 4. 128 Visualisasi <i>Velocity Contour Rectangular Vortex Generator</i> $\alpha = 20^\circ$ pada sumbu y-x	98

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil <i>Grid Independency Test</i>	39
Tabel 3. 2 Rincian waktu dan Jenis kegiatan penelitian	41
Tabel 4. 1 Perbandingan <i>Coefficient Lift Plain Wing</i> dan <i>Triangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	42
Tabel 4. 2 Perbandingan <i>Coefficient Drag Plain Wing</i> dan <i>Triangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	43
Tabel 4. 3 Perbandingan <i>Coefficient Lift Plain Wing</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	44
Tabel 4. 4 Perbandingan <i>Coefficient Drag Plain Wing</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	45
Tabel 4. 5 Hasil Perbandingan Visualisasi <i>Pressure Countour Plain Airfoil</i> dengan <i>Triangular</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	99
Tabel 4. 6 Hasil Perbandingan Visualisasi <i>Velocity Countour Plain Airfoil</i> dengan <i>Triangular</i> dan <i>Rectangular Vortex Generator Airfoil NACA 20612</i>	104



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

<u>Singkatan</u>	<u>Nama</u>	<u>Pemakaian Pertama Kali pada Halaman</u>
NACA	<i>National Advisory Committee for Aeronautic</i>	i
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>	3
OFV	<i>Oil Flow Visualization</i>	3
AoA	<i>Angle of Attack</i>	3
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>	21
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	22
VG	<i>Vortex Generator</i>	23
 <u>Lambang</u>		
C_L	<i>Lift coefficient</i>	3
C_D	<i>Drag coefficient</i>	3
ρ	Massa jenis fluida, kg/m ³	15
m	Massa, kg	19
v	Volume, m ³	19
γ	Berat jenis, N/m ³	19
g	Percepatan m/s ²	19
τ	Tegangan geser, N/m ²	19
Du/Dy	Laju regangan geser, 1/s	19
ϑ	Viskositas dinamik, N.s/m ²	19

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, U. (2017). *Studi Eksperimen dan Numerik Pengaruh Penambahan Vortex Generator Pada Airfoil NASA LS-0417. Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Bruce Munson. (2009). *Solution Manual for Fundamentals of Fluid Mechanics* (6ed.) Wiley: Great Britain.
- Federal Aviation Administration (FAA), Helicopter Flying Handbook. (2019).
- Ghofar, A. M. (2018). *Pemilihan Sudut Pasang Airofil NACA 2412 pada Tail UAV male dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamic untuk Memperoleh Gaya Angkat Optimal. Tugas Akhir*. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Hariyadi, Setyo S. P. (2015). *Studi Numerik Efek Penggunaan Vortex Generator Terhadap Boundary Layer Airfoil NACA 23018*. Surabaya: Program Studi Teknik Pesawat Udara, Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya.
- S. Hariyadi et. al. (2023). *Aerodynamic Characteristics of Fluid Flow on Multiple-Element Wing Airfoil NACA 43018 with Leading Edge Slat and Plain Flap*.
- S. Hariyadi et. al. (2023). *Aerodynamic Characteristics of The Wing Airfoil NACA 43018 in Take Off Conditions with Slat Clearance and Flap Deflection*.
- S. Hariyadi et. al. (2022). *Effect of Leading Edge Gap Size on Multiple-Element Wing Airfoil NACA 43018*.
- S. Hariyadi et. al. (2023). *The Effect of Slats Clearance and Flap on The Aerodynamic Performance of The NACA 43018 Wing in The Landing Process*.
- Houghton, E. L. et. al. 2017. "Aerodynamics for Engineering Students (Seventh Edition)". Amsterdam: Elsevier.
- Lillahulhaq, Z. (2016). *Studi Eksperimen dan Numerik Optimasi Posisi Vortex Generator Untuk Mereduksi Aliran Sekunder Dekat Endwall Pada Airfoil British 9C7/32.5C50 (Studi Kasus Pada $\alpha = 12^\circ$ dan 14°)*. (Tugas Akhir)

- Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Lubis, M. M. (2012). Analisis Aerodinamika Airfoil Naca 2412 Pada Sayap Pesawat Model Tipe Glider dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamic untuk Memperoleh Gaya Angkat.
- Maulana, G. A. (2018). *Pemilihan Sudut Pasang Airfoil NACA 2412 Pada Tail UAV MALE Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamic Untuk Memperoleh Gaya Angkat Optimal*. (Tugas Akhir) Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, UII Yogyakarta.
- Mulvany, Nicholas et. Al. Steady State Evaluation of Two Equation RANS Turbulence Models for High Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations, 2004.
- Permata, Tandyta. (2018). Studi Eksperimen Visualisasi Aliran Pada *Airfoil NACA 0012 Dengan Vortex Generator*. Politeknik Penerbangan Surabaya.
- Panggih Raharjo. (2010). Terminologi *Airfoil*.
- S.P., S. H., & Widodo, W. A. (2018). Efek Penggunaan Vortex Generator Terhadap Karakteristik Aliran pada Airfoil NACA 43018. Surabaya, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Agil Bayu Ramadhan , Lahir di Sidoarjo, pada tanggal 28 Oktober 2003 seorang anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Rochmat Jauhari dan Tri Agus Wahyuni. Bertempat tinggal di Desa Pangkemi Kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo. Memulai pendidikan sekolah dasar di SDN Pangkemi 1 pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2015. Setelah itu masuk SMPN 1 Tulangan pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu masuk SMAN 4 Sidoarjo pada tahun 2018 dan lulus pada tahun 2021.

Kemudian melanjutkan studi di Politeknik Penerbangan Surabaya pada tahun 2021 dan selesai pada tahun 2024. Kesukaan pada dunia otomotif, sehingga penulis memilih jurusan Teknik Pesawat Udara. Ketertarikannya penulis dengan jurusan teknik dan pesawat udara.

Setelah menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya, penulis ingin bekerja di Airlines dan menjadi seorang insan perhubungan yang bertanggung jawab, disiplin dan bisa berguna bagi Bangsa dan Negara. Kemudian tidak lupa penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, taufik, dan hidayah nya serta tidak lupa kepada orang tua yang selalu mendukung di setiap kegiatan penulis mulai dari awal hingga sekarang. Tidak ada nafas sedikit pun tanpa ada ridho dan izin Allah. Begitupun dengan musibah, tidak ada satupun tanpa kehendak-Nya. Allah tidak semata-mata mendatangkan cobaan dan musibah tanpa ada suatu pembelajaran dan sesuai dengan kemampuan hamnba-Nya. Allah juga tidak akan mendatangkan petaka jika tidak ada hikmah dibalik kehendak- Nya. Tinggal sekarang sejauh mana kita bisa memetik hikmah - Nya. Berkaitan dengan segala keinginan, ketakutan, atau apapun kepada Allah pemilik segala- galanya, niscaya kita akan tenang dan akan di tolong.