

**PENGARUH *VORTEX GENERATOR* TERHADAP PERFORMA
AERODINAMIKA *CIRCULAR CYLINDER***

TUGAS AKHIR



Oleh:

MUHAMAD ADI NUGROHO

NIT: 30421015

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

PENGARUH *VORTEX GENERATOR* TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA *CIRCULAR CYLINDER*

TUGAS AKHIR

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



Oleh:

MUHAMAD ADI NUGROHO

NIT: 30421015

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH *VORTEX GENERATOR* TERHADAP PERFORMA
AERODINAMIKA *CIRCULAR CYLINDER***

Oleh :

MUHAMAD ADI NUGROHO
NIT. 30421015

Disetujui untuk diujikan pada :
Surabaya,

Pembimbing I : Dr. GUNAWAN SAKTI, S.T., M.T.
NIP. 19881001 200912 1 003

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



HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH *VORTEX GENERATOR* TERHADAP
PERFORMA AERODINAMIKA *CIRCULAR CYLINDER***

Oleh :

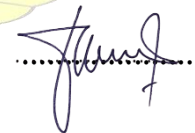
MUHAMAD ADI NUGROHO
NIT. 30421015

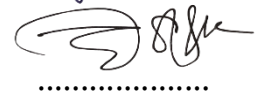
Telah dipertahankan dan dinyatakan lulus pada Ujian Tugas Akhir Program
Pendidikan Diploma 3 Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya
pada tanggal :

Panitia Penguji :

1. Ketua : Ir. BAMBANG JUNIPITOYO, S.T., M.T.
NIP. 19780626 200912 1 001
2. Sekretaris : Dr. Ir. SETYO HARIYADI, S.P., S.T., M.T.
NIP. 19790824 200912 1 001
3. Anggota : Dr. GUNAWAN SAKTI, S.T., M.T.
NIP. 19881001 200912 1 003


.....


.....


.....

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 **“PENGARUH VORTEX GENERATOR TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA CIRCULAR CYLINDER”** 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.
3. Bapak Dr. Gunawan Sakti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Materi I.
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, 8 Agustus 2024



Muhamad Adi Nugroho

ABSTRAK

PENGARUH *VORTEX GENERATOR* TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA *CIRCULAR CYLINDER*

Oleh :

Muhamad Adi Nugroho
NIT. 30421015

Silinder sirkular merupakan salah satu jenis *bluff body*. *Bluff body* adalah sebuah bangun geometri yang memiliki hambatan udara yang tinggi sehingga ketika diberikan aliran fluida dengan kecepatan tinggi dapat menyebabkan terbentuknya *vortex*. *Vortex* adalah pusaran aliran fluida bertekanan rendah dan bersifat turbulen. *Vortex* terjadi di daerah *downstream* sehingga area tersebut memiliki tekanan rendah. Karena terjadi perbedaan tekanan di daerah *upstream* dan *downstream*, maka terjadilah *pressure drag* yang menyebabkan *pressure drop*. Adanya *pressure drop* umumnya tidak diinginkan karena dapat mengurangi efisiensi energi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh modifikasi permukaan silinder sirkular dengan penambahan *vortex generator* terhadap peningkatan efisiensi aerodinamika. Penelitian ini disimulasikan secara 2 dimensi (2D) menggunakan *ANSYS Fluent* dengan benda uji berupa silinder sirkular dengan diameter $D = 60$ mm dan *vortex generator* jenis *triangular* sebagai kontrol pasif. Pengujian ini menggunakan bilangan Reynolds $Re = 5,3 \times 10^4$ dengan kecepatan $U = 14$ m/s. *Computational fluid dynamics (CFD)* adalah metode yang digunakan untuk melakukan komputasi dan analisis numerik.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu simulasi menunjukkan karakteristik gaya aerodinamika dan efisiensi yang lebih baik, yaitu adanya pengurangan gaya *drag* ketika silinder diberi *vortex generator*. Parameter ukur yang dianalisis adalah *coefficient drag*, *coefficient lift*, *coefficient pressure*, distribusi tekanan di sekitar dinding silinder utama, dan visualisasi kontur kecepatan dan tekanan.

Kata kunci : Silinder sirkular, *vortex generator*, aerodinamika, koefisien *drag*

ABSTRACT

EFFECT OF VORTEX GENERATOR ON AERODYNAMIC PERFORMANCE OF CIRCULAR CYLINDER

By:

Muhamad Adi Nugroho
NIT. 30421015

Circular cylinder is one type of bluff body. Bluff body is a geometry that geometry that has high air resistance so that when given a flow of fluid flow with high speed and cause the formation of vortex. Vortex is a swirl of low-pressure fluid flow and is turbulent. Vortex occurs in the downstream area so that the area has low pressure. Because there is a pressure difference in the incoming and outgoing flow areas, there is a pressure drag that causes pressuredrop. The presence of pressure drop is generally undesirable because it can reduce energy efficiency.

This study aims to analyze and determine the effect of circular cylinder surface modification with the addition of vortex generators on improving aerodynamic efficiency. This research is simulated in 2 dimensions (2D) using ANSYS Fluent with a test object in the form of a circular cylinder with a diameter of $D = 60 \text{ mm}$ and a triangular vortex generator as a passive control. This test uses Reynolds number $Re = 5.3 \times 10^4$ with velocity $U = 14 \text{ m/s}$. Computational Fluid Dynamics (CFD) is a method used to perform computation and numerical analysis.

The expected result of this research is that the simulation shows better aerodynamic force characteristics and efficiency, namely a reduction in drag when the cylinder is given a vortex generator. The parameters analyzed are drag coefficient, lift coefficient, pressure coefficient, pressure distribution around the main cylinder wall, and visualization of velocity and pressure contours.

Keywords: Circular cylinder, vortex generator, aerodynamic, coefficient drag

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhamad Adi Nugroho
NIT : 30421015
Program Studi : D3 Teknik Pesawat Udara
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Vortex Generator Terhadap Performa Aerodinamika Circular Cylinder

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 ketidak benaran, 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, 8 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan



Muhamad Adi Nugroho
NIT. 30421015

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Hipotesis	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
 BAB II LANDASAN TEORI	 7
2.1 Teori Penunjang.....	7
2.1.1 Fluida	7
2.1.2 Drag	8
2.1.3 Bluff Body	10
2.1.4 Karakteristik Aliran Udara.....	11
2.1.5 Sifat Aliran Udara.....	14
2.1.6 Jenis Aliran Udara	16
2.1.7 Koefisien Lift dan Koefisien Drag.....	16
2.1.8 Bilangan Reynolds (Reynolds Number).....	17
2.1.9 Vortex Generator	18
2.1.10 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	21
2.2 Teori Penelitian Terdahulu	22
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 36
3.1 Desain Penelitian	36
3.2 Desain Eksperimen	37
3.3 Boundary Condition	37
3.4 Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian	38
3.4.1 Studi Pustaka.....	38
3.4.2 Grid Independence	38
3.4.3 ANSYS Fluent Solver Setup.....	40
3.4.4 Instrumen Penelitian	40

3.4.5	Metode Numerik.....	41
3.4.6	Metode Pengambilan Data.....	41
3.5	Teknik Analisis Data	43
3.6	Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
3.6.1	Tempat Penelitian	43
3.6.2	Waktu Penelitian.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Hasil Penelitian.....	45
4.1.1	Hasil Analisis Turbulence Model	45
4.1.2	Pressure Contour.....	46
4.1.3	Velocity Contour.....	48
4.1.4	Perbandingan Coefficient of Pressure.....	49
4.1.5	Perbandingan Coefficient of Lift dan Coeffiecient of Drag	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		56



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Fluida pada lapisan geser (<i>shear layer</i>).....	7
Gambar 2. 2 <i>Separation region</i>	8
Gambar 2. 3 <i>Favorable pressure gradient</i> dan <i>adverse pressure gradient</i>	9
Gambar 2. 4 <i>Flow separation</i> dan <i>Flow reserve direction</i>	9
Gambar 2. 5 <i>Shear Stress</i>	10
Gambar 2. 6 (a) <i>Boundary Layer</i> permukaan halus dan (b) <i>boundary layer</i> permukaan kasar	11
Gambar 2. 7 Perbandingan <i>skin friction</i> dan <i>pressure drag</i> yang terjadi pada bentuk benda aerodinamis.....	12
Gambar 2. 8 aliran laminar.....	13
Gambar 2. 9 Aliran turbulen	14
Gambar 2. 10 Drag.....	14
Gambar 2. 11 Bentuk vortex generator.....	18
Gambar 2. 12 (a) <i>co-rotating VGs</i> (b) <i>counter-rotating VGs</i>	19
Gambar 2. 13 <i>Straight VG</i>	19
Gambar 2. 14 Airfoil dengan dan tanpa VG	20
Gambar 2. 15 Geometri VG <i>rectangular</i>	22
Gambar 2. 16 Geometri VG <i>triangular</i>	23
Gambar 2. 17 Geometri VG <i>gothic (mod)</i>	23
Gambar 2. 18 <i>Drag</i> versus bilangan Reynolds untuk <i>airfoil</i> Re rendah dengan dan tanpa kontrol pemisahan aliran laminar.	24
Gambar 2. 19 Tampilan skema generator pusaran (Dimensi dalam milimeter)	25
Gambar 2. 20 Pengaturan eksperimen terowongan angin dengan posisi lembaran cahaya	27
Gambar 2. 21 Grafik <i>coefficient of pressure</i> terhadap <i>position angle</i> untuk silinder tunggal dan silinder dengan pengganggu I-65°, pada $Re = 4,54 \times 10^4$	29
Gambar 2. 22 Grafik Perubahan <i>coefficient of drag</i> terhadap <i>timestep</i> silinder tunggal dan silinder tandem pada $Re = 4,54 \times 10^4$	30
Gambar 2. 23 Grafik perbandingan <i>coefficient of lift</i> sebagai fungsi dari <i>timestep</i> untuk silinder tunggal dan silinder tandem pada $Re = 4,54 \times 10^4$	31
Gambar 2. 24 Skema <i>set up</i> eksperimen dua silinder	32
Gambar 2. 25 Distribusi <i>Pressure Coefficient</i> di sekitar silinder sirkuler untuk berbagai sudut potong (θ s) pada $Re = 5,3 \times 10^4$	33
Gambar 2. 26 Variasi koefisien <i>drag</i> silinder relatif terhadap silinder tunggal (C_D/C_{D0}) dengan pemotongan sudut silinder kecil, untuk $Re = 5,3 \times 10^4$	34
 Gambar 3. 1 Desain Penelitian.....	 36
Gambar 3. 3 Desain silinder dengan <i>vortex generator</i> (2D).....	37
Gambar 3. 4 <i>Boundary Condition</i>	38
Gambar 3. 5 <i>Grid Independence</i> simulasi numerik dengan <i>coefficient of pressure</i> (C_p)	39

Gambar 4. 1 Performa <i>turbulence model</i> silinder tunggal pada $Re=5.3 \times 10^4$ dengan aliran	45
Gambar 4. 2 Kontur tekanan silinder polos (kiri) dan silinder dengan pemasangan <i>vortex generator</i> (kanan)	46
Gambar 4. 3 <i>Streamline</i> kontur tekanan silinder polos (kiri) dan silinder dengan pemasangan <i>vortex generator</i> (kanan).....	47
Gambar 4. 4 <i>Streamline pressure contour</i> silinder polos (kiri) dan silinder dengan <i>vortex generator</i> (kanan)	47
Gambar 4. 5 <i>Streamline</i> kontur kecepatan silinder polos (kiri) dan silinder dengan <i>vortex generator</i> (kanan)	48
Gambar 4. 6 Struktur aliran pada silinder tunggal (kiri) dan silinder <i>vortex generator</i> (kanan)	49
Gambar 4. 7 Grafik <i>coefficient of pressure</i> terhadap <i>position angle</i> untuk silinder polos dan silinder dengan <i>vortex generator</i> pada $Re = 5,3 \times 10^4$	50
Gambar 4. 8 Plot perbandingan kecepatan aliran rata-rata waktu non-dimensi sepanjang bagian atas silinder.....	51
Gambar 4. 9 Grafik perubahan <i>coefficient of drag</i> terhadap <i>timestep</i> silinder polos dan silinder <i>vortex generator</i> pada $Re = 5,3 \times 10^4$	52
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan <i>coefficient of lift</i> sebagai fungsi dari <i>timestep</i> untuk silinder polos dan silinder <i>vortex generator</i> pada $Re = 5,3 \times 10^4$	53



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Nilai komparatif terkait tekanan koefisien dan sudut pemisahan	26
Tabel 2. 2 Kondisi aliran yang berbeda tergantung pada sudut azimuth <i>vortex generator</i> Φ	28
Tabel 3. 1 Tabel Hasil Variasi <i>Meshing</i>	39
Tabel 3. 2 Tabel Spesifikasi Perangkat Penunjang Penelitian	40
Tabel 3. 3 Jadwal Kegiatan Penelitian	44
Tabel 4. 1 nilai perbandingan koefisien terkait tekanan dan sudut pemisah.....	51
Tabel 4. 2 Nilai <i>coefficient of drag</i> dan <i>coefficient of lift</i> untuk simulasi silinder polos dan silinder <i>vortex generator</i> pada $Re = 5,3 \times 10^4$	54

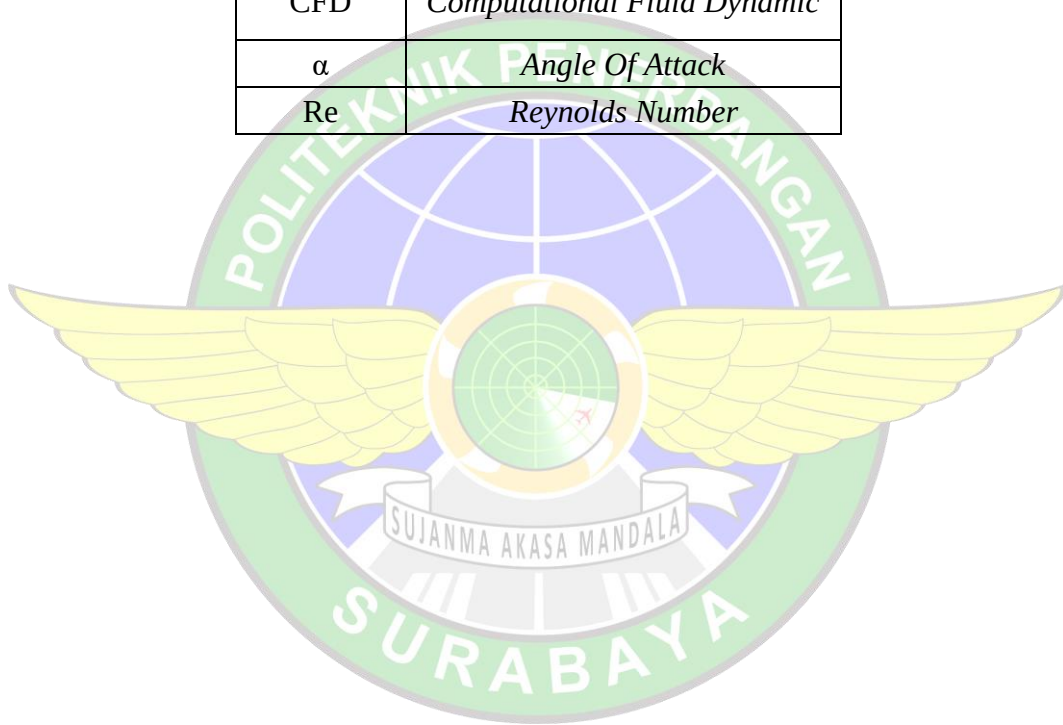


DAFTAR LAMBANG

Lambang	Satuan	Keterangan (Besaran)
ρ	Kg/m ³	<i>density</i>
γ	N/m ³	Berat
μ	N.s/m ²	Viskositas dinamik
ν	m ² /s	Viskositas kinematik
du/dy	1/s	Laju regangan geser
g	m ² /s	Gravitasi
F	N	Gaya
τ	N/m ²	Tegangan (<i>stress</i>)
ϵ	m	Regangan (<i>strain</i>)
A	m ²	Luas
l	mm	Panjang
v	m/s	Kecepatan
T	K	Suhu
P	Pa	Tekanan
μ	Kg/(ms)	Viskositas udara
m	Kg	Massa Benda
v	L	Volume Benda
x	m/s	kecepatan fluida
S	m ²	Luas permukaan udara
L	N	Gaya lift
q	pa	Tekanan dinamis fluida

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti
CC	Circular Cylinder
VG	<i>Vortex Generator</i>
C_L	<i>Coefficient Lift</i>
C_D	<i>Coefficient Drag</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i>
α	<i>Angle Of Attack</i>
Re	<i>Reynolds Number</i>



DAFTAR PUSTAKA

- Aiba, S. D. (1997). *Flow characteristics of a bluff body cut from a circular cylinder, journal of fluids engineering. journal of fluids engineering*, vol 119.
- Anderson, J. (2017). *Fundamentals of aerodynamics (sixth edition). mcgraw-hill education*.
- Andryanto, A. (2016). Studi numerik optimasi posisi *vortex generator* guna mereduksi aliran sekunder dekat *endwall* pada airfoil british 9c7/32.5c50.
- Benjamin heine, t. s. (2010). *The effect of vortex generators on the flow around a circular cylinder. 15th int symp on applications of laser techniques to fluid mechanics*.
- Bushnell, M. g.-e.-h. (1991). *Separation control: review. journal of fluids engineering*.
- Cahyaningtyas, B. S. (2021). Modifikasi karakteristik gaya aerodinamika pada tandem silinder sirkuler dengan pemasangan silinder pengganggu tipe i-65o.
- Chairul imron, B. W. (2017). *The effectiveness of passive control to reduce the drag coefficient. journal of physics: conference series*.
- Crawford, f.-q. g. (2005). *Arabidopsis nitric oxide synthase1 is targeted to mitochondria and protects against oxidative damage and dark-induced senescence. the plant cell*, vol. 17.
- Crowe, C. T. (2009). *Engineering fluid mechanics (9th edition). john wiley & sons, inc. www.onlineconversion.com*.
- D, r, & troolin. (2007). *Large format piv to resolve large and small structures surrounding a gurney flap*.
- Dana herdiana et al. (2020). Analisa pemilihan bentuk *vortex generator* untuk sayap pesawat lsu-05 menggunakan metode numerik (*analysis of vortex generator selection for lsu-05 aircraft using numerical methods*). *jurnal teknologi dirgantara vol. 18 no. 1 juni 2020*, hal 15 - 29.
- Dapot, b. (2010). Studi eksperimental pengaruh jarak longitudinal silinder teriris tipe-d sebagai pengontrol pasif terhadap gaya *drag* silinder utama sirkular. tugas akhir teknik mesin its.
- Effendy, m. (2019). Studi eksperimental dan simulasi numerik karakteristik aerodinamika airfoil naca 4412. *rotasi*, 147-154.
- Engineer, t. e. (2019). *The efficient engineer*.

- Erlangga, g. p. (2017). Studi eksperimental karakteristik aerodinamik airfoil naca 4412 dengan variasi kecepatan aliran udara.
- Firooz. (2006). *Turbulence flow for naca 4412 in unbounded flow and ground effect with different turbulence models and two ground conditions: fixed and moving ground conditions.*
- Fox, p. j. (2011). *Introduction to fluid mechanics eight edition.*
- Genç, m. s. (2009). *Control of low reynolds number flow over aerofoils and investigations of aerodynamic performance.*
- Genç, m. s. (2012). *An experimental study on aerodynamics of naca 2415 aerofoil at low re numbers. experimental thermal and fluid science, 252-264.*
- Genç, m. s. (2016). *Flow characteristic over naca 4412 airfoil at low reynold number.*
- Genç, m. s. (2018). *Interaction of tip vortex and laminar separation bubble over wings with different aspect ratios under low reynold numbers. journal of mechanical engineering science.*
- Gernowo, N. M. (2016). Analisis turbulensi pada pesawat etihad airways ey-474 tanggal 4 mei 2016 dengan metode *weather research and forecasting. youngster physics journal* .
- Ghurri, A. (2014). Dasar-dasar mekanika fluida. teknik mesin – universitas udayana.
- Gören, u. o. (2011). *Effect of vortex generators on the flow around a circular cylinder: computational investigation with two-equation turbulence models. engineering applications of computational fluid mechanics.*
- Hadi, M. I. (2020). *Vortex formation in unsteady flow over naca 4412 and naca 4424 airfoils . arpn journal of engineering and applied sciences.*
- Hariyadi, S. (2019). Studi eksperimen *oil flow visualization* pada airfoil naca 0012 dengan *trapezoidal vortex generator* menggunakan *open circuit subsonic wind tunnel* .
- Hariyadi, S. (2020). Studi eksperimen *tuft flow visualization* pada *forward wingtip fence cant angle 75o* terhadap kinerja aerodinamika wing airfoil e562. jurnal teknologi penerbangan.
- Hartono, D. H. (2020). Analisa pemilihan bentuk *vortex generator* untuk sayap pesawat lsu-05 menggunakan metode numerik (*analysis of vortex generator selection for lsu-05 aircraft using numerical methods*). jurnal teknologi dirgantara.

- Jun kyoung lee, S. Y. (2004). *Distribution of two-phase annular flow at header-channel junctions. experimental thermal and fluid science*, 217 - 222.
- Landsverk, r. (2020). *Are cessna vortex generators worth it? the consensus seems to be yes. cessna owner organization*.
- Lin, J. (2002). *Review of research on lowprofile vortex generators to control boundary layer separation. progress in aerospace sciences* 38, 389–420.
- M, F, A, & wicaksono. (2022). *Analisa aerodinamika airfoil pesawat dengan pendekatan computational fluid dynamic dan wind tunnel. flywheel*, 21-35.
- Maeling, L. K. (2023). *Studi eksperimen karakteristik aerodinamika* .
- Mayle, R. E. (1991). *The role of laminar turbulent transition in gas turbine engine. the american society of mechanical engineers*.
- Mika Patayang, s. (2017). *Analisa laju perpindahan panas locooler tipe shell and tube aliran berlawanan arah pada km pantokrator. snitt- politeknik negeri balikpapan*.
- Mohammadreza kadivar et al. (2021). *A review on turbulent flow over rough surfaces: fundamentals and theories. international journal of thermofluids*.
- Muhajir, K. (2011). *Pengaruh viskositas terhadap aliran fluida gas-cair melalui pipa vertikal dengan perangkat lunak ansys fluent 13.0. jurnal kompetensi teknik* 3.1.
- Mulyadi, M. (2010). *Analisis aerodinamika pada sayap pesawat terbang dengan menggunakan software berbasis computational fluids dynamics (cfd)*.
- Munson, B. R. (2002). *Fundamentals of fluid mechanics (4th edition). john wiley & sons, inc.*
- Nugroho, g. (2022). *Aerodynamic performance analysis of vtol arm configurations of a vtol plane uav using a computational fluid dynamics simulation* .
- Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to fluid mechanics (eight edition). john wiley & sons, inc.*
- Rahmat, F. M. (2022). *Effect of using triangular vortex generator straight arrangement in air naca 43018 with smoke generator. 40-51*.
- Rajendran, S. (2012). *Design of parametric winglets and wing tip devices : a conceptual design approach. engineering*.
- Ramadhani, I. H. (2021). *Studi eksperimen oil flow visualization karateristik aliran fluida di airfoil naca 43018 dengan penambahan triangular vortex generator*.

- Reynald bur et al. (2009). *Separation control by vortex generator devices in a transonic channel flow*. issn 0938-1287.
- S maharani, A. E. (2018). *Developing group investigation-based book on numerical analysis to increase critical thinking student's ability*. icmse2017.
- Sankaralingam, r. (2020). *A comprehensive survey on the methods of angle of attack measurement and estimation in uavs*. chinese journal of aeronautics, 749-770.
- Saroinsong, h. s. (2018). Rancang bangun wahana pesawat tanpa awak (*fixed wing*) berbasis ardupilot. jurnal teknik elektro dan komputer, 2301-8402.
- Setyo Hariyadi et al. (2019). Karakteristik aliran fluida untuk penggunaan *vortex generator* dengan posisi *straight* pada wing airfoil naca 0012. jurnal teknologi penerbangan.
- Setyo Hariyadi s.p. (2015). Studi numerik efek penggunaan *vortex generator* terhadap *boundary layer* airfoil naca 23018 (studi kasus peletakan *vortex generator* $x/c = 10\%$, *rectangular stright flat plate*). prosiding seminar nasional teknologi terapan sv ugm 2015.
- Setyo Hariyadi, w. a. (2018). Studi numerik dan eksperimental perbandingan bentuk *vortex generator* dengan posisi *straight* pada wing airfoil naca 4301. teknologi penerbangan.
- Shi-bo tao, a.-p. t.-b.-t.-f. (2016). *Vortex-induced vibration suppression of a circular cylinder with vortex generators*. hindawi publishing corporation.
- Triyogi et al. (2009). *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an i-type bluff body as passive control*. jmes1543 © imeche 2009, vol. 223 part c: j. mechanical engineering science.
- Troolin. (2007). *Large format piv to resolve large and small structures surrounding a gurney flap*.
- Trysnavirensa, s. n. (2022). Pengaruh penggunaan *triangular vortex generator* susunan *straight* terhadap airfoil naca 0012 dengan *smoke generator*. snitp.
- Tsutsui, t. d. (2002). *Drag reduction on circular cylinder in an air-stream*. journal of wind engineering and industrial aerodynamic, vol 90.
- Utami, d. (2011). Aliran laminar dan aliran turbulent. dinitiautamis's blog.
- Veronica adina victori, g. m. (2021). Analisa performa *heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator* tipe *twist with hole* dikombinasi dengan *wire coil* guna mengatasi *icing* pada karburator *piston engine*. teknika sttkd : jurnal teknik, elektronik, engine vol 7, 2622-3244.

- Wawan aries widodo, n. h. (2014). *Experimental study of drag reduction on circular cylinder and reduction of pressure drop in narrow channels by using a cylinder disturbance body. applied mechanics and materials.*
- Y triyogi et al. (2009). *Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an i-type bluff body as passive control. jmes1543 © imeche 2009.*
- Yarusevych, s. (2007). *Separated shear layer transition at low reynolds number: eksperiments and stability analysis. american institute of aeronautics astronautics (aiaa).*



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



MUHAMAD ADI NUGROHO, lahir di Jombang pada tanggal 21 September 2001, anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Suntowo dan Ibu Nurani. Bertempat tinggal di Jl. Setiabudi Gg. I/15 Jombang, Jawa Timur. Mulai Pendidikan di TK Kelurahan Jombatan pada tahun 2007/2008. Melanjutkan Pendidikan sekolah dasar di SD Islam Roushon Fikr pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2014. Setelah itu masuk di SMPN 1 Jombang di tahun yang sama pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Selanjutnya masuk ke SMAN 2 Jombang pada tahun 2017 dan lulus pada tahun 2020.

Kemudian pada tahun yang sama setelah lulus SMA tahun 2020, melanjutkan kuliah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) pada program studi Diploma IV Teknik Pengelasan selama 1 tahun. Pada tahun 2021 mendaftar di Politeknik Penerbangan Surabaya dan diterima menjadi taruna di pada Program Studi Diploma III Teknik Pesawat Udara Angkatan 7 Alpha program Pola Pembibitan. Selama mengikuti Pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya, telah mengikuti On the Job Training (OJT) di PT Jackron Cipta Sakina pada bulan April sampai dengan Juni 2024.

Setelah menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya, penulis ingin mendapatkan penempatan kerja di Direktorat Kelaikudaraan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU) di Jakarta 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 kemudahan, kesehatan, dalam menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya, serta tidak lupa kepada kedua orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan di setiap kegiatan penulis mulai dari awal pendidikan hingga sekarang.