

**STUDI NUMERIK 3D *SURFACE ROUGHNESS* PADA CONVEX
SURFACE TURBINE SAVONIUS UNTUK PENINGKATAN PERFORMA
AERODINAMIKA**

PROYEK AKHIR



Oleh:

NADHIF RAYHAN ABHISTA
NIT : 30421016

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

***3D NUMERICAL STUDY OF SURFACE ROUGHNESS ON
CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS FOR
AERODYNAMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT***

PROYEK AKHIR

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



Oleh:

NADHIF RAYHAN ABHISTA
NIT : 30421016

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

HALAMAN PERSETUJUAN

STUDI NUMERIK 3D *SURFACE ROUGHNESS* PADA *CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS* UNTUK PENINGKATAN PERFORMA AERODINAMIKA

Oleh :

NADHIF RAYHAN ABHISTA
NIT. 30421016

Disetujui untuk diujikan pada :
Surabaya, 15 Agustus 2024

Pembimbing I : Dr. GUNAWAN SAKTI, ST, MT
NIP. 19881001 200912 1 003

Pembimbing II : AJENG WULANSARI, ST, MT
NIP. 19890606 200912 2 001



HALAMAN PENGESAHAN

STUDI NUMERIK 3D *SURFACE ROUGHNESS* PADA *CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS* UNTUK PENINGKATAN PERFORMA AERODINAMIKA

Oleh :

NADHIF RAYHAN ABHISTA
NIT. 30421016

Telah dipertahankan dan dinyatakan lulus pada Ujian Tugas Akhir Program Pendidikan Diploma 3 Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya pada tanggal : 26 Agustus 2024

Panitia Penguji :

1. Ketua : AHMAD BAHRAWI, S.E., M.T.
NIP. 19800517 200012 1 003
2. Sekretaris : RIFDIAN IS, ST., MM., MT.
NIP. 19810629 200912 1 002
3. Anggota : Dr. GUNAWAN SAKTI, ST., MT.
NIP. 19881001 200912 1 003



Ketua Program Studi
D3 TEKNIK PESAWAT UDARA



NYARIS PAMBUDIYATNO, S.SiT, M.MTr
NIP. 19820525 200502 1001

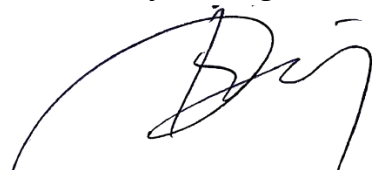
KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang, 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 3D SURFACE ROUGHNESS PADA CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS UNTUK PENINGKATAN PERFORMA AERODINAMIKA** ” dengan baik dan lancar sesuai dengan waktu yang di tetapkan. 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 Pambudiatno S.SiT., M.MTr. selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Penerbangan Surabaya.
3. Bapak Gunawan Sakti, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing Materi.
4. Ibu Ajeng Wulansari, ST, MT. 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, 26 Agustus 2024



Nadhif Rayhan Abhista

ABSTRAK

STUDI NUMERIK 3D *SURFACE ROUGHNESS* PADA *CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS* UNTUK PENINGKATAN PERFORMA AERODINAMIKA

Oleh:

Nadhif Rayhan Abhista

NIT : 30421016

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dengan memodifikasi kekasaran turbin Savonius dengan penggunaan *sandpaper* di permukaan cembungnya. Data saat ini menyatakan potensi angin di Indonesia adalah sekitar 978 MW pada kecepatan angin rata-rata 3,5 – 5 m/s, sehingga sangat berpotensi digunakan untuk sumber energi alternatif. Latar belakang penelitian ini adalah peran serta dalam peningkatan penggunaan energi terbarukan karena ketersediaan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui dan kurang ramah lingkungan. Turbin angin Savonius memiliki kelebihan yaitu tidak tergantung dari arah datangnya angin, juga sesuai untuk wilayah dengan kecepatan angin rendah, tetapi efisiensinya tetap rendah dibandingkan jenis turbin angin yang lain. Oleh karena itu, Penelitian ini masih menjadi topik yang masih sering diteliti hingga saat ini dan perlu pengembangan lebih lanjut sehingga mendapat hasil yang optimal.

Penelitian ini menggunakan metode analisis numerik menggunakan *Software ANSYS* dan simulasi *CFD Fluent* dengan menggunakan model 3D turbin angin Savonius. Metode simulasi akan divalidasi dengan hasil *experimental* sehingga metode pendekatan numerik yang dilakukan dapat dipertahankan untuk analisa kedepannya. Turbin angin Savonius yang digunakan memiliki diameter *blade* $d = 100$ mm, dengan variasi kekasaran permukaan *sandpaper* no 120, 180, dan 320. Penelitian dilaksanakan menggunakan *Reynolds Number* $Re = 6,34 \times 10^4$ dengan kecepatan $v = 5$ m/s. Untuk memahami dampak penambahan *sandpaper* pada aerodinamika turbin Savonius, analisis dilakukan dengan membandingkan *coefficient of power*, *coefficient of moment*.

Hasil dari pengukuran metode ini dengan penambahan *surface roughness* pada *convex blade* turbin Savonius belum dapat meningkatkan performa dari turbin savonius konvensional. Penambahan variasi belum mendapatkan hasil yang lebih baik dari segala sisi, baik dari *coefficient of moment* mengalami penurunan performa sebesar 0,83%, *coefficient of power* mengalami performa sebesar 12,8%, *coefficient of drag* sebesar 3,21% dan *coefficient of lift* 3,11%. Simulasi numerik juga dikatakan valid karena persentase *error* hanya mencapai 2,63%

Kata Kunci : Aerodinamika, Turbin Savonius, *Sandpaper*

ABSTRACT

3D NUMERICAL STUDY OF SURFACE ROUGHNESS ON CONVEX SURFACE TURBINE SAVONIUS FOR AERODYNAMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT

Oleh:

Nadhif Rayhan Abhista

NIT : 30421016

The aim of this research is to increase efficiency by modifying the roughness of the Savonius turbine by using sandpaper on its convex surface. Current data states that the wind potential in Indonesia is around 978 MW at an average wind speed of 3.5 – 5 m/s, so it has the potential to be used as an alternative energy source. The background to this research is its role in increasing the use of renewable energy due to the availability of fossil energy which cannot be renewed and is less environmentally friendly. The Savonius wind turbine has the advantage that it does not depend on the direction of the wind, it is also suitable for areas with low wind speeds, but its efficiency is still low compared to other types of wind turbines. Therefore, this research is still a topic that is still frequently researched today and needs further development to obtain optimal results.

This research uses a numerical analysis method using ANSYS software and Fluent CFD simulation using a 3D Savonius wind turbine model. The simulation method will be validated with experimental results so that the numerical approach method used can be maintained for future analysis. The Savonius wind turbine used has a blade diameter of $d = 100$ mm, with variations in sandpaper surface roughness no. 120, 180, and 320. The research was carried out using Reynolds Number $Re = 6.34 \times 10^4$ with a speed of $v = 5$ m/s. To understand the impact of adding sandpaper on the aerodynamics of the Savonius turbine, analysis was carried out by comparing the coefficient of power, coefficient of moment.

The results of measuring this method by adding surface roughness to the convex blade of the Savonius turbine have not been able to improve the performance of the conventional Savonius turbine. The addition of variations has not obtained better results from all sides, both the coefficient of moment experienced a decrease in performance of 0.83%, the coefficient of power experienced a performance of 12.8%, the coefficient of drag was 3.21% and the coefficient of lift was 3.11%. The numerical simulation is also said to be valid because the error percentage only reaches 2.63%

Keywords : Aerodynamic, Savonius Wind Turbine, Sandpaper

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadhif Rayhan Abhista
NIT : 30421016
Program Studi : D3 Teknik Pesawat Udara
Judul Tugas Akhir : Studi Numerik 3D *Surface Roughness* pada *Convex Surface Turbine Savonius* Untuk Peningkatan Performa Aerodinamika

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, 26 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan



Nadhif Rayhan Abhista
NIT. 30421016

DAFTAR ISI

	Halaman
PROYEK AKHIR	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Hipotesis	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
 BAB II LANDASAN TEORI	 7
2.1 Teori Penunjang	7
2.1.1 Fluida	7
2.1.1.1 Aliran Laminar	7
2.1.1.2 Aliran Turbulen	8
2.1.2 Udara.....	9
2.1.2.2 Viskositas	10
2.1.3 Gaya Hambat (<i>Drag</i>)	10
2.1.3.1 <i>Pressure Drag</i>	11
2.1.3.2 <i>Friction Drag</i>	12
2.1.4 Jenis Jenis Turbin Angin.....	13
2.1.4.2 <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i>	13
2.1.4.3 <i>Horional Axis Wind Turbine (HAWT)</i>	14
2.1.5 Parameter Geometri	15
2.1.5.1 <i>Overlap Ratio</i>	16
2.1.5.2 <i>Ratio Gap Rotor</i>	17
2.1.5.3 <i>Reynold Number</i>	17
2.1.5.4 Parameter Performa	17
2.1.6 Sandpaper.....	19
2.1.6.1 Klasifikasi <i>Sandpaper</i>	19
2.1.7 Teori dan Geometris	21
2.1.7.1 <i>Design Turbine Savonius</i>	21
2.1.7.2 <i>Number of Blades</i>	21

2.1.7.3	<i>Number of Stages</i>	22
2.1.7.4	<i>Aspect Ratio</i>	22
2.1.7.5	<i>Overlap Ratio</i>	23
2.1.7.6	<i>Twisted Angle</i>	23
2.1.7.7	<i>Shaft</i>	24
2.1.8	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	25
2.1.8.1	<i>Pre-Processing</i>	26
2.1.8.2	<i>Post Processing</i>	26
2.1.8.3	<i>Solver</i>	27
2.1.9.	Faktor Yang Mempengaruhi Performa <i>Wind Turbine</i>	27
2.1.9.1	<i>Daya</i>	27
2.1.9.3	<i>Coefficient Power (Cp)</i>	27
2.1.9.4	<i>Coefficient Moment (Cm)</i>	28
2.1.9.5	<i>Reynold Number</i>	28
2.1.9.6	<i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	29
2.2	Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		40
3.1	<i>Design</i> Penelitian	40
3.2	Variabel Penelitian.....	41
3.2.1.	Variabel Terikat	41
3.2.2.	Variabel Bebas.....	41
3.3	Objek Penelitian.....	41
3.3.1	<i>Pre-Processing</i>	41
3.3.1.1	Perancangan Objek Penelitian.....	42
3.3.1.2	<i>Boundary Conditions</i>	44
3.3.1.3	<i>Meshing</i>	45
3.3.1.4	<i>Grid Independency</i>	46
3.3.2	Instrumen Penelitian	46
3.3.2.1	<i>Hardware</i>	46
3.3.2.2	<i>Software</i>	47
3.4	Tempat dan Waktu Penelitian.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Perhitungan <i>Reynolds Number</i>	48
4.2.	Hasil Data Validasi	50
4.2.1	<i>Face Sizing (Rotating Zone – Wake Zone)</i>	51
4.2.2	<i>Face Sizing (Turbine Wall)</i>	52
4.2.3	<i>Inflation Layer</i>	54
4.3	<i>Grid Independence</i>	55
4.4.	Analisa <i>Coefficient of Moment (Cm)</i>	57
4.5	Analisa <i>Coefficient of Power (Cp)</i>	59
4.6	Analisa <i>Coefficient of Lift (Cl)</i>	61
4.7	Analisa <i>Coefficient of Drag (Cd)</i>	63

4.8 Validasi Numerik Data Eksperimen Menggunakan <i>Pressure and Velocity Contour</i>	64
4.8.1 <i>Static Pressure Contour</i>	65
4.8.2 Analisa <i>Velocity Contour</i>	66
BAB V PENUTUP	69
5.1. Simpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	72



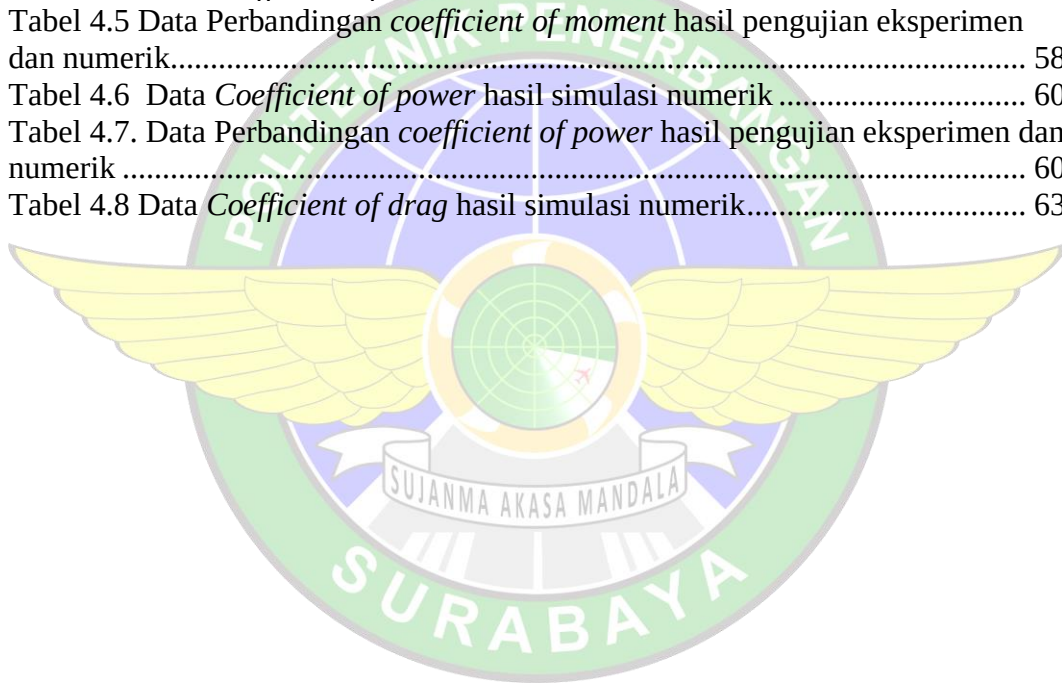
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Karakteristik C_p dari berbagai desain turbin angin yang berbeda (Ajayi, 2012)	3
Gambar 1.2 <i>Mind map</i> penelitian turbin Savonius.(Sumber: Masramon et al., 2015).....	6
Gambar 2.1 Aliran Laminar pada Fluida	7
Gambar 2.2 Aliran Turbulen pada Fluida	8
Gambar 2.3 Perbandingan aliran udara melewati bentuk benda aerodinamis.	11
Gambar 2.4 Perbandingan <i>skin friction</i> dan <i>pressure drag</i> yang terjadi pada bentuk benda aerodinamis. (Sumber: Anderson, 2017)	13
Gambar 2.5 <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i>	14
Gambar 2.6 <i>Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)</i>	15
Gambar 2.7 Parameter dasar turbin angin Savonius (Sumber: Alom & Saha, 2018)	16
Gambar 2.8 Kinerja turbin angin Savonius (Menet, 2004).....	21
Gambar 2.9 Model sistem rotor satu, dua, dan tiga tahap (U. K. Saha, 2008),.....	22
Gambar 2.10 Rotor Savonius dengan aspek rasio yang berbeda	22
Gambar 2.11 Representasi <i>Overlap Distance [e]</i> dan <i>diameter blade [d]</i>	23
Gambar 2.12 <i>Diameter shaft</i> dan <i>diameter advancing blade</i> yang digunakan	23
Gambar 2.13 Rotor angin Savonius dengan <i>Twisted Blades</i> (U. K. Saha, 2008) .	24
Gambar 2.14 <i>Shaft</i> turbin angin savonius (N. H. Mahmoud, 2012)	24
Gambar 2.15 Blok diagram tahapan proses <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> . (Sumber: Hasugian, 2018).....	25
Gambar 2.16 Kondisi ketika TSR lebih besar dari, kurang dari, dan sama dengan	30
Gambar 2.17 <i>Pressure field</i> pada <i>blade</i> tanpa <i>dimple</i> (a) tampak bawah.....	31
Gambar 2.18 <i>Pressure field</i> pada <i>blade</i> tanpa <i>dimple</i> (a) tampak atas	31
Gambar 2.19 <i>Schematic diagram experimental set-up</i>	32
Gambar 2.20 <i>Boundary Conditions</i> (Sumber: Sakti & Yuwono, 2019)	33
Gambar 2.21 Grafik (a) <i>coefficient of power</i> dan (b) <i>coefficient of moment</i> terhadap <i>Tip Speed Ratio</i> . (Sumber: Sakti & Yuwono, 2019)	33
Gambar 2.22 Konfigurasi a) <i>computational domain</i> b) <i>cylinder</i> dengan struktur <i>dimple</i>	35
Gambar 2.23 Perbandingan hasil a) C_f dan c) C_p pada $Re_1 = 1 \times 10^5$ dan b) C_f dan d) C_p pada $Re_2 = 2 \times 10^5$. (Sumber: Yan et al., 2021).....	36
Gambar 2.24 Perbandingan <i>Power Spectral Display (PSD)</i> pada a) $Re_1 = 1 \times 10^5$	37
Gambar 2.25 Grafik Hasil <i>Coefficient Power</i>	38
Gambar 2.26 Grafik Hasil <i>Coefficient Moment</i>	39

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	40
Gambar 3.2 Proyeksi turbin Savonius konvensional	42
Gambar 3.3 Geometri Turbin Savonius, a) Konvensional, b) Sandpaper 120,.....	43
Gambar 3.4 <i>Grid Independence</i> yang dirujuk dari penelitian.....	46
Gambar 4.1 Platform <i>Fluid Properties Calculator</i>	49
Gambar 4.2 Variasi mesh pada <i>Rotating zone – Wake zone</i>	51
Gambar 4.3 Visual perbedaan tiap variasi <i>mesh</i> pada <i>Face Sizing (Turbinewall)</i>	53
Gambar 4.4 <i>Inflation Layer</i>	54
Gambar 4.5 Perbedaan <i>inflation layer</i> secara visual pada tiap variasi <i>mesh</i>	55
Gambar 4.6 Grafik <i>Average Cm</i>	57
Gambar 4.7 Grafik <i>Coefficient of moment</i> hasil simulasi numerik.....	58
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan <i>coefficient of moment</i> hasil pengujian eksperimen dan numerik	59
Gambar 4.9 Grafik <i>Coefficient of power</i> hasil simulasi numerik.....	60
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan <i>coefficient of power</i> hasil pengujian eksperimen dan numerik	61
Gambar 4.11 Grafik <i>coefficient of lift</i> turbin konvensional dan turbin dengan penambahan variasi	62
Gambar 4.12 Grafik <i>average Coefficient of lift</i>	62
Gambar 4.13 Grafik <i>coefficient of drag</i> terhadap <i>Time Step</i>	63
Gambar 4.14 Grafik <i>Average coefficient of drag</i>	64
Gambar 4.15 Perbandingan <i>static pressure contour</i> pada sudut 30° a) turbin konvensional b) turbin dengan <i>roughness</i> 120 c)) turbin dengan <i>roughness</i> 180 d)) turbin dengan <i>roughness</i> 320.....	66
Gambar 4.16 Perbandingan <i>velocity contour</i> pada posisi sudut 30° a) turbin konvensional b) turbin dengan <i>Roughness</i> 120 c) turbin dengan <i>Roughness</i> 180 d) turbin dengan <i>Roughness</i> 320	67
Gambar 4.17 Perbandingan <i>velocity contour</i> pada posisi sudut 90° a) turbin konvensional b) turbin dengan <i>Roughness</i> 120 c) turbin dengan <i>Roughness</i> 180 d) turbin dengan <i>Roughness</i> 320	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Macro Grit Sandpaper</i>	20
Tabel 2.2 <i>Micro Grit Sandpaper</i>	20
Tabel 2.3 <i>Dimension of turbine Savonius</i>	21
Tabel 2.4 Benda uji yang digunakan dengan dua Reynolds number berbeda	34
Tabel 2.5 Pemetaan Hasil <i>Coefficient Power</i>	38
Tabel 2.6 Pemetaan Hasil <i>Coefficient Moment</i>	39
Tabel 3.1 Geometri Turbin Savonius	42
Tabel 3.2 Spesifikasi Laptop	46
Tabel 4.1 Data perbedaan <i>mesh</i>	50
Tabel 4.2 Kualitas dari tiap variasi <i>mesh</i>	56
Tabel 4.3 Tabel Persentase perbandingan antar <i>mesh</i>	56
Tabel 4.4 Data <i>Coefficient of moment</i> hasil simulasi numerik	58
Tabel 4.5 Data Perbandingan <i>coefficient of moment</i> hasil pengujian eksperimen dan numerik	58
Tabel 4.6 Data <i>Coefficient of power</i> hasil simulasi numerik	60
Tabel 4.7. Data Perbandingan <i>coefficient of power</i> hasil pengujian eksperimen dan numerik	60
Tabel 4.8 Data <i>Coefficient of drag</i> hasil simulasi numerik	63



DAFTAR PUSTAKA

- A. Damak, Z. D. (2013). Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180. *Renew. Energy*, vol. 52, pp. 136–142.
- A. S. Grinspan, U. K. (2004). Experimental investigation of twisted bladed Savonius wind turbine rotor. *RERIC Int. Energy J.*, vol. 5, no. 1.
- Adjie, R. W. (2017). Pengembangan Eksperimen Pengaruh Cekungan (Dimple) Yang Diterapkan Pada Plat Datar Terhadap Aliran Fluida.
- Anderson, J. (2017). Fundamentals of Aerodynamics (Sixth Edition). *McGraw-Hill Education*.
- Angkasa, A. A. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Kekasaran Permukaan Tembaga Terhadap Heat Transfer Coefficient Dan Critical Heat Flux Pada Fenomena Pool Boiling.
- Aulia, A. D. (2023). PENGARUH SURFACE ROUGHNESS PADA PERMUKAAN.
- C. Kang, H. L. (2014.). Review of fluid dynamics aspects of Savonius-rotor based vertical-axis wind rotors. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 499-508.
- Diana Julaidy Patty, R. R. (2014). ANALISIS KARAKTERISTIK ANGIN DI KOTA AMBON. *Jurnal TEKNOLOGI*, Volume 11.
- Forenz, T. (2016). Module 08 Basic Aerodynamics. *Aircraft Technical Book*.
- G. Sakti, T. Y. (2021). NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A CIRCULAR CYLINDER AS PASSIVE CONTROL ON THE SAVONIUS WIND TURBINE PERFORMANCE. *JOURNAL OF SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY*.
- Holownia, A. J. (1978). Wind tunnel tests on a Savonius rotor. *J.Ind. Aerodyn.*, vol. 3, pp. 343–351.
- M. a. Kamoji, S. B. Kedare, and S. V. Prabhu. (2009). Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor,. " *Appl. Energy*, vol. 86, no. 7–8, pp. 1064–1073.
- M. H. Nasef, W. A.-A.-h. (2013). Evaluation of Savonius rotor performance: Static and dynamic studies. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 123, pp. 1–11.
- Mahamarakkalage, F. (1980). On the Performance and Wake Aerodynamics of the Savonius Wind Turbine. *University of Peradeniya, Srilanka*.

- Maharani, S. &. (2018). Analisis Numerik Berbasis Group Investigation Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis.
- Menet, J. L. (2004). A double-step Savonius rotor for local production of electricity. *Renew. Energy*, vol. 29, pp. 1843–1862.
- N. H. Mahmoud, a. a.-H. (2012). An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Eng. J.*, vol. 51, no. 1.
- N.H.Mahmoud, A.-H. E. (2010). An experimental study on improvement of Savonius. *Alexandria Engineering Journal*.
- Pritchard, P. J. (2011). Introduction to Fluid Mechanics (Eight Edition). *John Wiley & Sons, Inc.* .
- Rajkumar, M. J. (2006.). On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades. *Renew. Energy*, vol. 31, no. 11, pp. 1776–1788.
- Roth, N. J. (1982). Prototype Design and Performance of Savonius Rotor Based on Irrigation System. *University of British Columbia*.
- Sivasegaram, S. (1978). Secondary parameters affecting the performance of resistance type vertical-axis wind rotors. *Wind Eng.*, vol. 2, pp. 49–58.
- Sudirman. (2020). Pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan . *TEKNIKA: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI* .
- Sudirman. (2020). ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN TURBIN SAVONIUS . *Jurnal Media Elektro* .
- U. K. Saha, S. T. (2008). Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 96, pp.1359–1375.
- V. J. Modi, N. J. (1984). Optimum-configuration studies and prototype design of a wind-energy-operated irrigation system. *J. Wind Eng. Ind.Aerodyn.*, vol. 16, pp. 85–96.
- Yuwono, A. S. (2020). Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin . 1-10.
- Zulfikar, P. H. (2019). Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 dan 8. 1-8.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



NADHIF RAYHAN ABHISTA, lahir di Situbondo, pada tanggal 26 November 2002, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Rudi Hartono dan Ibu Inayah Choirunnisak. Bertempat tinggal di Desa Mimbaan, Kecamatan Panji, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Mulai Pendidikan di TK Al – Irsyad Al – Isalmiyah pada tahun 2007 hingga 2009. Melanjutkan Pendidikan sekolah dasar di SDN 01 MIMBAAN pada tahun 2009 dan lulus pada tahun 2015. Setelah itu masuk di SMPN 1 SITUBONDO di tahun yang sama pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018. Selanjutnya masuk ke SMAN 1 SITUBONDO pada tahun 2018 dan lulus pada tahun 2021.

Kemudian pada tahun yang sama setelah lulus SMA tahun 2021 diterima menjadi taruna di Politeknik Penerbangan Surabaya 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 BATAM AERO TECHNIC pada bulan April sampai dengan Juni 2024.

Setelah menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya, penulis ingin mendapatkan penempatan kerja di Direktorat Kelaiakudaraan 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.