

**STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI *CONVEX SURFACE*
TURBIN SAVONIUS DENGAN *DIMPLE* UNTUK
MENINGKATKAN EFISIENSI AERODINAMIKA**

PROYEK AKHIR



Oleh :

NAUFAL ARROZQA
NIT. 30421017

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

**STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI *CONVEX SURFACE*
TURBIN SAVONIUS DENGAN *DIMPLE* UNTUK
MENINGKATKAN EFISIENSI AERODINAMIKA**

PROYEK AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Ahli Madya
(A.Md.) Pada Program Studi Diploma 3 Teknik Pesawat Udara



Oleh :

NAUFAL ARROZQA
NIT. 30421017

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

LEMBAR PERSETUJUAN

STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI *CONVEX SURFACE* TURBIN
SAVONIUS DENGAN *DIMPLE* UNTUK MENINNGKATKAN EFISIENSI
AERODINAMIKA

Oleh :

Naufal Arrozaq
NIT. 30421017

Disetujui untuk diujikan pada :

Surabaya, 15 Agustus 2024

Pembimbing I

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



Pembimbing II

: Ir. BAMBANG JUNIPITOYO, S.T., M.T.
NIP. 19780626 200912 1 001



PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI *CONVEX SURFACE* TURBIN SAVONIUS DENGAN *DIMPLE* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI AERODINAMIKA

Oleh :

NAUFAL ARROZAQ

NIT. 30421017

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

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, Proyek Akhir yang berjudul *STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI CONVEX SURFACE TURBIN SAVONIUS DENGAN DIMPLE UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI AERODINAMIKA* Ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan Proyek Akhir ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya dan memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.).

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada segenap pihak yang telah membantu selama proses penyusunan Proyek Akhir ini, terutama 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 D3 Teknik Pesawat Udara di Politeknik Penerbangan Surabaya
3. Bapak Dr. Gunawan Sakti, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I, atas bimbingannya dalam materi yang senantiasa membimbing dan membantu dalam penyusunan naskah proyek akhir.
4. Bapak Bambang Junipitoyo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingannya dalam penulisan naskah proyek akhir.
5. Seluruh dosen dan civitas akademika Program Studi Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
6. Kepada Bapak Agus Wahyu Hidayat dan Ibu Umi Khosiqoh selaku orang tua saya beserta keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa serta bantuan secara materi dan dukungan moral untuk kelancaran proposal proyek akhir ini.
7. Seluruh rekan-rekan D3 Teknik Pesawat Udara angkatan VII yang selalu memberikan bantuan dukungan, dan motivasi selama menempuh Pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya.
8. Seluruh sahabat, senior, junior, dan segenap pihak yang peneliti tidak dapat menyebutkan satu persatu atas dukungan yang diberikan.

Tak ada gading yang tak retak. Dengan segala keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, tentunya karya tulis ini masih jauh dari sempurna. Atas segala kesalahan dan kata-kata yang kurang berkenan, kami memohon maaf sebesar-besarnya. Saran dan kritik membangun kami harapkan demi karya yang lebih baik di masa mendatang.

Surabaya, 26 Agustus 2024



Naufal Arrozaq
NIT. 30421017

ABSTRAK

STUDI NUMERIK 3D MODIFIKASI *CONVEX SURFACE* TURBIN SAVONIUS DENGAN *DIMPLE* UNTUK MENINNGKATKAN EFISIENSI AERODINAMIKA

Oleh :
Naufal Arrozaq
NIT. 30421017

Latar belakang penelitian ini merujuk pada kebutuhan mendesak akan diversifikasi sumber energi di Indonesia, terutama melalui pemanfaatan energi terbarukan seperti angin. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh modifikasi kekasaran permukaan cembung turbin Savonius dengan penambahan *dimple* terhadap peningkatan efisiensi aerodinamika. Meskipun turbin Savonius memiliki keunggulan dalam operasi pada kecepatan angin rendah, namun efisiensinya masih bisa dikatakan rendah. Oleh karena itu, penelitian ini masih menjadi topik yang populer hingga saat ini dan perlu pengembangan lebih lanjut sehingga optimal modifikasi dapat ditentukan.

Dengan menggunakan metode analisis numerik menggunakan aplikasi ANSYS dan simulasi *CFD Fluent* dengan model 3D turbin angin Savonius dengan diameter *blade* $d = 100$ mm, kedalaman *dimple* pada *returning blade* $k = 1$ mm dan jarak antara kolom *dimple* $s = 14^\circ$ dan $s = 7^\circ$ relatif terhadap titik pusat *blade* turbin. Penelitian dilaksanakan pada *Reynolds Number* $Re = 6,34 \times 10^4$ dengan kecepatan $V = 5$ m/s,. Analisa dilakukan dengan membandingkan *coefficient of power*, *coefficient of moment*, dan *pressure and velocity contour* penelitian ini akan divalidasi dengan hasil eksperimental sehingga metode pendekatan numerik yang dilakukan dapat dipertahankan untuk analisa lebih lanjut.

Penelitian ini menghasilkan jika modifikasi kekasaran permukaan dengan *dimple* mampu meningkatkan performa aerodinamika, walaupun tidak terlalu signifikan yaitu *dimple* dengan sudut 14° meningkatkan efisiensi sebesar 1.43%, sementara sudut 7° hanya meningkatkan sebesar 0.01%, hal ini menunjukkan bahwa desain dan sudut *dimple* menjadi salah satu faktor konfigurasi yang mempengaruhi performa turbin. Selain itu, prosedur perhitungan numerik yang telah dilakukan dengan demikian mencapai persentase error 1,86%. Hal ini menandakan penentuan *setup solver* untuk simulasi numerik 3D termasuk pemilihan model turbulensi, boundary conditions, dan parameter simulasi, sangat penting untuk hasil yang akurat.

Kata kunci : Aerodinamika, *Dimple*, Turbin Angin Savonius

ABSTRACT

3D NUMERICAL STUDY OF SAVONIUS TURBINE CONVEX SURFACE MODIFICATION WITH DIMPLE TO IMPROVE AERODYNAMIC EFFICIENCY

By :
Naufal Arrozaq
NIT. 30421017

The background of this research refers to the urgent need for diversification of energy sources in Indonesia, especially through the utilization of renewable energy such as wind. This study aims to investigate the effect of Savonius turbine convex surface roughness modification with the addition of dimples on improving aerodynamic efficiency. Although Savonius turbines have advantages in operation at low wind speeds, their efficiency can still be said to be low. Therefore, this research is still a popular topic today and needs further development so that the optimal modification can be determined.

By using numerical analysis method using ANSYS application and Fluent CFD simulation with a 3D model of Savonius wind turbine with blade diameter $d = 100$ mm, dimple depth at the returning blade $k = 1$ mm and distance between dimple columns $s = 14^\circ$ and $s = 7^\circ$ relative to the center point of the turbine blade. The study was conducted at Reynolds Number $Re = 6.34 \times 10^4$ with speed $V = 5$ m/s,. The analysis was carried out by comparing the coefficient of power, coefficient of moment, and pressure and velocity contour. This research will be validated with experimental results so that the numerical approach method carried out can be maintained for further analysis.

This research results if the modification of surface roughness with dimples is able to improve aerodynamic performance, although not too significant, namely the dimple with an angle of 14° increases efficiency by 1.43%, while the angle of 7° only increases by 0.01%, this shows that the design and angle of the dimple is one of the configuration factors that affect turbine performance. In addition, the numerical calculation procedure performed thus achieved an error percentage of 1.86%. This indicates that determining the solver setup for 3D numerical simulation including the selection of turbulence model, boundary conditions, and simulation parameters, is very important for accurate results.

Keywords : Aerodynamics, Dimple, Savonius Wind Turbine

Aerodynamics, Dimple, Savonius Wind Turbine

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Naufal Arrozaq
NIT : 30421017
Program Studi : D3 Teknik Pesawat Udara
Judul Tugas Akhir : Studi Numerik 3D Modifikasi *Convxs*
Surface Turbin Savonius Dengan Dimple
Untuk Meningkatkan Efisiensi
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



Naufal Arrozaq
NIT. 30421017

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>.....	vii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiiiv
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar Belakang.....	1
Rumusan Masalah	5
Batasan Masalah.....	5
Tujuan Penelitian.....	5
Hipotesis.....	6
Manfaat Penelitian.....	6
Sistematika Penulisan.....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....	9
2.1 Teori Penunjang	9
2.1.1 Fluida	9
2.1.2 Udara.....	11
2.1.3 Boundary Layer	13
2.1.4 Titik Separasi	14
2.1.5 <i>Drag</i>	15
2.1.6 <i>Wind Turbine</i>	17
2.1.7 <i>VAWT</i>	17
2.1.8 <i>Dimple</i> dan Penerapannya	19
2.2 Faktor yang Mempengaruhi Performa Turbin angin	21
2.2.1 <i>Aspect Ratio</i>	21

2.2.2 Bilangan Reynolds (<i>Reynolds Number</i>).....	22
2.2.3 <i>Coefficient of power (Cp)</i>	23
2.2.4 <i>Coefficient of moment (Cm)</i>	23
2.2.5 Torsi	24
2.2.6 Daya	24
2.3 Instrumen Pengujian	25
2.3.1 <i>Computational Fluid Display (CFD)</i>	25
2.4 Kajian Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODE PENELITIAN	38
3.1 Metodologi Penelitian	38
3.2 Variabel Penelitian.....	39
3.2.1 Variabel Terikat.....	40
3.2.2 Variabel Bebas	40
3.3 Objek Penelitian	40
3.4 Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian.....	40
3.4.1 Teknik Pengumpulan Data.....	40
3.4.2 Instrumen Penelitian	48
3.5 Teknik Analisis Data.....	50
3.6 Waktu dan Tempat Penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Perhitungan Reynold number	51
4.1.1 Massa jenis udara.....	51
4.1.2 Kecepatan udara (v)	52
4.1.3 Viskositas udara (μ)	52
4.1.4 Panjang karakteristik turbin angin	52
4.2 Hasil Validasi.....	53
4.2.1 Variasi <i>mesh</i>	53
4.2.2 <i>Grid independency</i>	59
4.3 Analisa <i>coefficient of moment</i>	62
4.4 Analisa <i>coefficient of power</i>	64
4.5 Analisa <i>coefficient of lift</i>	66

4.6 Analisa <i>coefficient of drag</i>	67
BAB V KESIMPULAN	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Karakteristik C_p - λ dari berbagai desain <i>blade</i> turbin angin yang berbeda	2
Gambar 1.2 Mental map penelitian dalam upaya pendekatan efisiensi turbin angin Savonius	4
Gambar 2.1 Klasifikasi fluida	9
Gambar 2.2 Aliran Laminer	10
Gambar 2.3 Aliran Turbulen	11
Gambar 2.4 Konsep Boundary Layer.....	14
Gambar 2.5 Titik separasi boundary layer pada geometri silinder.....	14
Gambar 2.6 Macam-macam desain kincir angin VAWT	18
Gambar 2.7 Geometri dan karakteristik turbin Savonius.....	19
Gambar 2.8 Vortex pada <i>dimple</i>	20
Gambar 2.9 Perbandingan bola polos dan ber <i>dimple</i>	21
Gambar 2.10 Turbin Savonius dengan beberapa aspect ratio yang berbeda.....	22
Gambar 2.11 Blok diagram tahapan proses CFD	26
Gambar 2.12 Perbandingan tekanan yang terjadi pada permukaan (a) konvensional dan (b) permukaan ber <i>dimple</i>	28
Gambar 2.13 Top view dari Perbandingan <i>pressure field</i> pada a) plain <i>blade</i> b) <i>dimpled blade</i>	30
Gambar 2.14 Cross section view dari Perbandingan <i>pressure field</i> pada a) plain <i>blade</i> b) <i>dimpled blade</i>	30
Gambar 2.15 Bottom view dari Perbandingan <i>pressure field</i> pada a) plain <i>blade</i> b) <i>dimpled blade</i>	30
Gambar 2.16 Model uji eksperimen dan Studi numerik. A. turbin Savonius konvensional 1 stage, B. Turbin Savonius konvensional 2 stage, C. Turbin Savonius 1 stage dengan <i>dimple</i> , D. Turbin Savonius 2 stage dengan <i>dimple</i> , E. Geometri Turbin angin Savonius konvensional	31
Gambar 2.17 Grafik hasil analisa eksperimen	32
Gambar 2.18 Perbandingan hasil simulasi numerik.....	32
Gambar 2.19 Schematic diagram (a) konfigurasi turbin angin Savonius dengan penempatan <i>I-65 cylinder</i> dan (b) experimental set-up.....	33
Gambar 2.20 Computational domain dan boundary condition	34
Gambar 2.21 Konfigurasi <i>mesh</i> untuk turbin Savonius (a) <i>wakezone</i> dan <i>fixedzone</i> , (b) posisi <i>I-65 cylinder</i> (c) turbin Savonius di dalam rotating zone.	35
Gambar 2.22 Grafik (a) <i>coefficient of power</i> dan (b) <i>coefficient of moment</i> terhadap Tip Speed Ratio.	36
Gambar 2.23 Grafik (a) <i>coefficient of power</i> (b) <i>coefficient of moment</i>	37
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	39
Gambar 3.2 Geometri 3D turbin angin Savonius (a) tanpa modifikasi (b) penambahan <i>dimple</i> dengan jarak 14° (c) penambahan <i>dimple</i> dengan jarak 7° ..	42
Gambar 3.3 Proyeksi orthogonal turbin Savonius konvensional	42

Gambar 3.4 Proyeksi orthogonal turbin Savonius dengan modifikasi penambahan <i>dimple</i> jarak (a) 14° dan (b) 7° pada permukaan cembung	43
Gambar 3.5 Detail Desain turbin angin Savonius dengan penambahan <i>dimple</i> dengan jarak (a) 14° dan (b) 7°	44
Gambar 3.6 Ukuran domain perhitungan dan kondisi batas boundary condition ..	45
Gambar 3.7 Hasil proses <i>meshing</i>	46
Gambar 3.8 <i>Grid Independence</i> yang dirujuk dari penelitian	47
Gambar 4. 1 situs uwaterloo yang digunakan seabgai kalkulator fluida	52
Gambar 4. 2 inflation layer	55
Gambar 4. 3 Detail visual perbedaan inflation layer pada tiap variasi <i>mesh</i>	56
Gambar 4. 4 visual perbedaan tiap variasi <i>mesh</i>	57
Gambar 4. 5 variasi <i>mesh</i> pada interace rotatingzone-wakezone	59
Gambar 4. 6 Grafik average <i>Cm</i> terhadap variasi <i>mesh</i> pada simulasi $TSR \lambda = 0.8$ dengan $Re = 6,34 \times 10^4$	60
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan <i>Cm</i> dengan penelitian terdahulu	61
Gambar 4. 8 Grafik <i>coefficient of moment</i> terhadap variasi <i>dimple</i> pada simulasi $TSR \lambda = 0.8$ dengan $Re = 6,34 \times 10^4$	62
Gambar 4. 9 Grafik <i>coefficient moment</i> terhadap hasil experimental	63
Gambar 4. 10 Grafik <i>coefficient of power</i> terhadap variasi <i>dimple</i> pada simulasi $TSR \lambda = 0.8$ dengan $Re = 6,34 \times 10^4$	64
Gambar 4. 11 Grafik <i>coefficient of power</i> terhadap penelitian terdahulu	65
Gambar 4. 12 grafik <i>coefficient of lift</i> terhadap time step dari tiap variasi <i>dimple</i> pada simulasi $TSR \lambda = 0.8$ dengan $Re = 6,34 \times 10^4$	66
Gambar 4. 13 grafik <i>coefficient of drag</i> terhadap time step dari tiap variasi <i>dimple</i> pada simulasi $TSR \lambda = 0.8$ dengan $Re = 6,34 \times 10^4$	67
Gambar 4. 14 Perbandingan static pressure contour pada posisi sudut 30° a) turbin konvensional b) turbin dengan <i>dimple</i> 14° b) turbin dengan <i>dimple</i> 7°	68
Gambar 4. 15 Perbandingan velocity contour pada posisi sudut 30° a) turbin konvensional b) turbin dengan <i>dimple</i> 14° b) turbin dengan <i>dimple</i> 7°	70
Gambar 4. 16 Perbandingan velocity contour pada posisi sudut 90° a),b) turbin konvensional, c),d) turbin dengan <i>dimple</i> jarak 14°, e),f) turbin dengan <i>dimple</i> jarak 7°	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Input Setup pada tiap <i>TSR</i>	48
Tabel 4. 1 Perbedaan variasi <i>mesh</i> pada rotating zone	53
Tabel 4. 2 Perbedaan variasi <i>mesh</i> pada <i>wakezone</i> dan <i>fixedzone</i>	54
Tabel 4. 3 kualitas dari tiap variasi <i>mesh</i>	60
Tabel 4. 4 Tabel perbandingan C_m dengan penelitian terdahulu	61
Tabel 4. 5 Data <i>coefficient of moment</i> hasil simulasi numerik.....	62
Tabel 4. 6 Data Perbandingan <i>coefficient of moment</i> Hasil Pengujian Eksperimen dan Numerik.....	63
Tabel 4. 7 data hasil simulasi numerik <i>coefficient of power</i>	64
Tabel 4. 8 Data perbandingan hasil numerik dan eksperimental	65



DAFTAR PUSTAKA

- Adjie, R. W., & Arief, I. S. (2017). *Pengembangan Eksperimen Pengaruh Cekungan (Dimple) Yang Diterapkan Pada Plat Datar Terhadap Aliran Fluida*.
- Ajayi, O. A. (2012). *Application Of Automotive Alternators In Small Wind Turbines*.
- Aldia, S., & Yanuar. (2010). *Pengaruh Pemberian Dimple Pada Permukaan Blade Terhadap Performa Aerodinamis Aksial Fan*.
- Aslam Bhutta, M. M., Hayat, N., Farooq, A. U., Ali, Z., Jamil, S. R., & Hussain, Z. (2012). Vertical axis wind turbine - A review of various configurations and design techniques. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 4, pp. 1926–1939). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004>
- Daniel Hasugian, T. (2018). *Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent*.
- Daniel Hasugian, T., & Zulhidayat Noor, H. (2018). *Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent*.
- Hesty, N. W., Cendrawati, D. G., Aminuddin, Pranoto, B., Fithri, S. R., & Fahim, A. (2022). Estimasi potensi energi angin indonesia Menggunakan Model Weather Research and Forecast-Four Dimension Data Assimilation (WRF-FDDA). *Jurnal Sains Dirgantara*, 19(2), 11–20.
- Jarudkar, R. N., Charkha, P., Desmukh, Y. P., Mankar, S. H., Mate, D. M., & Tale, V. T. (2023). Savonius Vertical Axis Wind Turbine Design and Analysis with Dimples and Fins. *International Journal of INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING*, 132–137. www.ijisae.org
- Javier, P., & Montero, G. (2015). *Experimental Study of Flow Through a Savonius Wind Turbine*.
- Kumar S, S., Rajagopal, A., & Kaliappan, A. (2018). Analyzing the Effect of Dimples on Wind Turbine Efficiency Using CFD. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(6), 4484. <https://doi.org/10.37622/ijaer/13.6.2018.4484-4489>
- Li, J., Tsubokura, M., & Tsunoda, M. (2015). Numerical Investigation of the Flow Around a Golf Ball at Around the Critical Reynolds Number and its Comparison with a Smooth Sphere. *Flow, Turbulence and Combustion*, 95(2–3), 415–436. <https://doi.org/10.1007/s10494-015-9630-4>
- Ligrani, P. M., Harrison, J. L., Mahmood, G. I., & Hill, M. L. (2001). Flow structure due to dimple depressions on a channel surface. *Physics of Fluids*, 13.

- Ma'ruf, F., Sakti, G., & Junipitoyo, B. (2023). *Studi Numerik Penambahan Dimple Pada Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika*.
- Ministry Of Energy And Mineral Resources Republic Of Indonesia. (2022). *Handbook Of Energy & Economic Statistic Of Indonesia*.
- Mishra, N., Jain, A., Nair, A., Khanna, B., & Mitra, S. (2020). *Numerical and Experimental Investigations on a Dimpled Savonius Vertical Axis Wind Turbine* (Vol. 10, Issue 2).
- Mudimeli, D. H. (2018). *Boundary Layer Separation from a Circular Cylinder*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36111.84642>
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*.
- Rauf, W. (2020). *Analisis Pengaruh Kontrol Aktif Separasi Aliran Pada Model Kendaraan Terhadap Hambatan Aerodinamika*.
- Sakti, G., & Yuwono, T. (2019). Performance Study of Installed an I-65 o Type Cylinder at the Upstream of *Returning Blade* of Savonius Wind Turbine, Comparison with Conventional Savonius Wind Turbine. In *IPTEK The Journal for Technology and Science* (Vol. 30, Issue 2).
- Sakti, G., & Yuwono, T. (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*, 56(6), 73–93. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.56.6.7>
- Salim, M. A., Sakti, G., Rifdian, & Sudjoko, I. (2022). *Studi Eksperimen Upaya Pengurangan Gaya Drag Pada Turbin Angin Sumbu Tegak Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika*.
- Sappaile, B. I. (2007). Konsep Instrumen Penelitian Pendidikan. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 13(66), 379391. <https://doi.org/https://doi.org/10.24832/jpnk.v13i66.356>
- Suanggana, D., Manta, F., Gilang Ramadhan, dan, Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Kalimantan Jl Soekarno Hatta NoKM, P., Joang, K., Balikpapan Utara, K., Balikpapan, K., & Timur, K. (2021). *Analisis Jumlah dan Sudut Blade terhadap Kecepatan dan Tekanan Turbin Air Savonius dengan Metode CFD*. 5(3).
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*.
- Wicaksana, A. (2010). *Efek Penambahan Dimple Untuk Pengurangan Hambatan Aerodinamis Pada Kendaraan Model (Ahmed Body)*.