

PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS

TUGAS AKHIR



Oleh :

ARIES PUTRA PRAMADYA
NIT. 30423003

**PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2026**

PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

ARIES PUTRA PRAMADYA
NTT. 30423003

**PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS

Oleh :

ARIES PUTRA PRAMADYA
NIT. 30423003

Disetujui untuk diujikan pada :
Surabaya, 23 Juni 2026

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

Pembimbing II : Dr. SUYATMO, ST, S.Pd, MT
NIP. 196305101989021001

PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2026

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP
PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS**

Oleh :

ARIES PUTRA PRAMADYA
NIT. 30423003

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. Ir. HADI PRAYITNO, S.ST, MA**
NIP. 19751016 199803 1 003

2. Sekretaris : **Dr. Ir. SETYO HARIYADI S. P., ST, MT**
NIP. 19790824 200912 1 001

3. Anggota : **Dr. Ir. GUNAWAN SAKTI, ST., MT.**
NIP. 19881001 200912 1 003

Ketua Program Studi
D3 TEKNIK PESAWAT UDARA

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

ABSTRAK

PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS

Oleh:

Aries Putra Pramadya
30423003

Turbin angin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang memiliki kemampuan *self-starting* yang baik dan mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah. Namun, performa aerodinamikanya masih relatif rendah akibat tingginya gaya hambat pada *returning blade*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan *tandem-stagger cylinder* terhadap performa aerodinamika turbin Savonius melalui variasi *spacing ratio* (S/D) sebesar 0,8; 0,9; 1,0; dan 1,1. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan pendekatan *Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes* (URANS) dengan model turbulensi SST $k-\omega$. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 5 m/s dengan bilangan *Reynolds Number* 1.2×10^5 . Parameter yang dianalisis meliputi *coefficient of power* (Cp), *coefficient of moment* (Cm), distribusi tekanan, distribusi kecepatan, *vorticity magnitude*, dan *turbulence intensity*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi *tandem-stagger cylinder* mampu meningkatkan performa turbin dibandingkan rotor konvensional. Konfigurasi terbaik diperoleh pada S/D = 0,8 dengan nilai Cp maksimum sebesar 0,354 dan Cm maksimum sebesar 0,590. Dibandingkan rotor konvensional yang memiliki Cp maksimum sebesar 0,221, terjadi peningkatan performa sebesar 60,18%. Peningkatan tersebut disebabkan oleh redistribusi tekanan yang lebih menguntungkan pada *advancing blade*, berkurangnya efek hambatan pada *returning blade*, serta terbentuknya pola aliran yang mampu mengendalikan *wake* dan *vorteks* di sekitar rotor. Dengan demikian, penerapan *tandem-stagger cylinder* pada konfigurasi S/D = 0,8 terbukti efektif dalam meningkatkan performa aerodinamika turbin angin Savonius.

Kata Kunci: Turbin Savonius, *tandem-stagger cylinder*, CFD, *coefficient of power*, *coefficient of moment*, aerodinamika.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TANDEM-STAGGER CYLINDER ON THE AERODYNAMIC PERFORMANCE OF SAVONIUS WIND TURBINE

By:

Aries Putra Pramadya
30423003

The Savonius wind turbine is a type of vertical-axis wind turbine that offers excellent self-starting capability and can operate effectively under low wind speed conditions. However, its aerodynamic performance remains relatively low due to the high drag force acting on the returning blade. This study aims to investigate the effect of a tandem-stagger cylinder on the aerodynamic performance of a Savonius wind turbine by varying the spacing ratio (S/D) of 0.8, 0.9, 1.0, and 1.1. The research employs a numerical simulation approach using Computational Fluid Dynamics (CFD) with the Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS) method and the SST $k-\omega$ turbulence model. Simulations were conducted at a wind speed of 5 m/s with a Reynolds number of 1.2×10^5 . The analyzed parameters include the coefficient of power (C_p), coefficient of moment (C_m), pressure distribution, velocity distribution, vorticity magnitude, and turbulence intensity. The results indicate that the implementation of a tandem-stagger cylinder significantly improves turbine performance compared to the conventional rotor configuration. The optimum performance was achieved at $S/D = 0.8$, yielding a maximum C_p of 0.354 and a maximum C_m of 0.590. Compared to the conventional rotor with a maximum C_p of 0.221, the proposed configuration achieved a performance improvement of 60.18%. This enhancement is attributed to a more favorable pressure distribution on the advancing blade, reduced adverse drag on the returning blade, and the formation of a flow structure capable of controlling wake development and vortex formation around the rotor. Therefore, the application of a tandem-stagger cylinder with an S/D ratio of 0.8 is proven to be an effective approach for improving the aerodynamic performance of Savonius wind turbines.

Keywords: *Savonius wind turbine, tandem-stagger cylinder, Computational Fluid Dynamics (CFD), coefficient of power, coefficient of moment, aerodynamic performance.*

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aries Putra Pramadya
NIT : 30423003
Progam Studi : D3 Teknik Pesawat Udara
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tandem-Stagger Cylinder Terhadap Performa Aerodinamika Turbin Angin Savonius.

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 Hak Cipta.

Dengan 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, 13 Juni 2026



Aries Putra Pramadya
30423003

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir yang berjudul PENGARUH TANDEM-STAGGER CYLINDER TERHADAP PERFORMA AERODINAMIKA TURBIN ANGIN SAVONIUS 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 .Ir. 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 Dr. Suyatmo, ST , S.Pd, MT. 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 Junaedi dan Ibu Sri Aminin 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 IX 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, 23 Juni 2026



Aries Putra Pramadya

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA .	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Hipotesis	6
1.6 Manfaat Penelitian	7
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....	9
2.1 Turbin Angin Savonius.....	9
2.2 Passive Flow Control	10
2.2.1 Interference Cylinder.....	12
2.3 Boundary Layer dan Titik Separasi.....	13
2.4 Vortex Shedding	15
2.5 Wake Recovery	16
2.6 Reynolds Number	17
2.7 Coefficient of Moment (Cm) dan Coefficient of Power (Cp)	19
2.8 Computational Fluid Dynamics (CFD)	20

2.8.1 Pre-Processing.....	21
2.9 Kajian Penelitian Terdahulu	24
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Desain Penelitian	37
3.2 Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian	38
3.2.1 Teknik Pengumpulan Data.....	38
3.2.2 Instrumen Penelitian.....	48
3.3 Teknik Analisis Data	50
3.4 Waktu dan Tempat Penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Verifikasi Numerik dan Konvergensi Solusi	52
4.1.1 Analisis Grid Independence terhadap Cm	52
4.1.2 Validasi terhadap Literatur.....	53
4.1.3 Konvergensi Simulasi.....	56
4.2 Analisis Aerodinamika Turbin Savonius Tanpa Interference Cylinder	57
4.2.1 Pressure Distribution Characteristics	58
4.2.2 Velocity Field Characteristics	59
4.2.3 Vorticity and Wake Dynamics.....	60
4.2.4 Streamline Analysis	60
4.2.5 Nilai Cm dan Cp Baseline	61
4.3 Pengaruh Variasi <i>Spacing Ratio</i> (S/D)	64
4.3.1 Distribusi Tekanan.....	64
4.3.2 Wake Interaction.....	72
4.3.3 Turbulence Intensity	77
4.3.4 Pengaruh terhadap Cm	78
4.3.5 Pengaruh terhadap Cp.....	80
4.3.6 Spacing Ratio Optimum	82
4.3.7 Konfigurasi Terbaik.....	84
BAB V PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	88

DAFTAR PUSTAKA	89
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Prinsip kerja turbin angin Savonius yang menunjukkan advancing blade dan returning blade.	10
Gambar 2. 2	Contoh metode Passive Flow Control yang digunakan untuk meningkatkan performa aerodinamika turbin Savonius.	12
Gambar 2. 3	Konsep Boundary Layer	14
Gambar 2. 4	Ilustrasi titik separasi dan pembentukan wake pada silinder	14
Gambar 2. 5	Blok diagram tahapan proses CFD	21
Gambar 2. 6	Schematic diagram (a) konfigurasi turbin angin Savonius dengan penempatan I-65 cylinder dan (b) experimental set-up	25
Gambar 2. 7	Computational domain dan boundary condition	26
Gambar 2. 8	Grafik (a) coefficient of power dan (b) coefficient of moment terhadap Tip Speed Ratio	27
Gambar 2. 9	(a). Grafik Perbandingan Koefisien Torsi (b). Grafik perbandingan Koefisien Daya	28
Gambar 2. 10	Kontur Kecepatan Aliran Variasi $ds/D=0.3$	28
Gambar 2. 11	Kontur Kecepatan Aliran Variasi $ds/D=0.4$	29
Gambar 2. 12	Grafik putaran turbin angin Savonius berpengganggu (n) dan (T) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$	30
Gambar 2. 13	Grafik Coefficient of Power turbin angin Savonius berpengganggu (CoP) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$	30
Gambar 2. 14	(a) Experimental Arrangement dan (b) Cylinder Arrangement.....	31
Gambar 2. 15	(a) Hubungan Coefficient of Torque (C_t) terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan (b) Hubungan Coefficient of Power (C_p) terhadap Tip Speed Ratio (TSR).	32
Gambar 2. 16	Konfigurasi turbin Savonius dengan variasi posisi silinder (y/D). 33	
Gambar 2. 17	Hubungan Coefficient of Torque (C_t) terhadap Tip Speed Ratio (TSR).	34
Gambar 2. 18	Hubungan Coefficient of Power (C_p) terhadap Tip Speed Ratio (TSR).	34
Gambar 2. 19	Visualisasi velocity pathline pada variasi posisi silinder (y/D).	35
Gambar 3. 1	Diagram Alur Penelitian.....	37
Gambar 3. 2	Geometri 3D dan 2D turbin angin savonius.....	39
Gambar 3. 3	Geometri 2D turbin angin savonius $S/D 0.8 \theta = 45^\circ$	40
Gambar 3. 4	Geometri 2D turbin angin savonius $S/D 0.9 \theta = 45^\circ$	40
Gambar 3. 5	Geometri 2D turbin angin savonius $S/D 1.0 \theta = 45^\circ$	41
Gambar 3. 6	Geometri 2D turbin angin savonius $S/D 1.1 \theta = 45^\circ$	41
Gambar 3. 7	Ukuran domain perhitungan dan kondisi batas boundary condition.....	42
Gambar 3. 8	Hasil proses meshing.	43

Gambar 3. 9	Konvergensi koefisien momen (C_m) seiring peningkatan resolusi mesh dari Mesh A hingga Mesh G.	47
Gambar 4. 1	Distribusi coefficient of moment (C_m) hasil uji independensi grid pada berbagai resolusi mesh: (a) pembesaran kurva pada $\theta = 0^\circ - 40^\circ$ dan (b) distribusi C_m sepanjang satu siklus rotasi rotor ($0^\circ - 360^\circ$). Mesh D dipilih sebagai grid penelitian karena telah menunjukkan solusi yang konvergen dengan efisiensi komputasi yang baik.	53
Gambar 4. 2	Perbandingan koefisien daya (C_p) hasil simulasi numerik, data eksperimen (Wenhehenu et al., 2015), dan hasil penelitian saat ini pada variasi tip speed ratio (TSR).	54
Gambar 4. 3	Grafik C_m vs Azimuth Angle θ turbin konvensional, $Re = 1.2 \times 10^5$, $\lambda = 0.7$, pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800.	57
Gambar 4. 4	Plot kontur tekanan dan kontur kecepatan dengan streamlines pada azimuth angle $\theta = 0^\circ$ untuk turbin konvensional, $Re = 1.2 \times 10^5$, $\lambda = 0.7$, pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800 ..	58
Gambar 4. 5	Kontur kecepatan (velocity contour) dan streamline pada turbin Savonius konvensional pada sudut azimuth $\theta = 0^\circ$ $Re = 1,2 \times 10^5$, $\lambda = 0.7$ pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800 dengan domain visualisasi diperpanjang ke arah downstream untuk mengamati perkembangan wake.	58
Gambar 4. 6	Distribusi magnitude vorticity pada turbin Savonius konvensional pada sudut azimuth $\theta = 0^\circ$, $Re = 1,2 \times 10^5$, dan $\lambda = 0.7$. pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800.	60
Gambar 4. 7	Perbandingan coefficient of moment (C_m) hasil simulasi numerik dan data eksperimen (Antares et al., 2022) pada berbagai tip-speed ratio (TSR) untuk rotor Savonius konvensional.	63
Gambar 4. 8	Perbandingan coefficient of power (C_p) hasil simulasi numerik dan data eksperimen (Antares et al., 2022) pada berbagai tip-Speed ratio (TSR) untuk rotor Savonius konvensional.	64
Gambar 4. 9	Plot kontur tekanan dan kontur kecepatan dengan streamlines pada azimuth angle $\theta = 0^\circ$ untuk turbin konvensional, turbin Tandem- stagger S/D 1.1, dan turbin Tandem stagger S/D 0.8, $Re = 1.2 \times 10^5$, pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800.	65
Gambar 4. 10	Kontur kecepatan (velocity contour) dan streamline pada turbin Savonius konvensional, konfigurasi tandem-stagger cylinder pada azimuth angle $\theta = 0^\circ$ dengan S/D = 1,1, dan S/D = 0,8 pada $Re = 1,2 \times 10^5$. pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800. Domain visualisasi diperpanjang ke arah downstream untuk mengamati perkembangan.	66

Gambar 4. 11	Plot kontur tekanan dan kontur kecepatan dengan streamlines pada azimuth angle $\theta = 130^\circ$ dengan $S/D = 1,1$, dan $S/D = 0,8$ pada $Re = 1,2 \times 10^5$. Pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800. Domain visualisasi diperpanjang ke arah downstream untuk mengamati perkembangan.....	69
Gambar 4. 12	Kontur kecepatan (velocity contour) dan streamline pada turbin Savonius konvensional, konfigurasi tandem-stagger cylinder pada azimuth angle $\theta = 130^\circ$ dengan $S/D = 1,1$, dan $S/D = 0,8$ pada $Re = 1,2 \times 10^5$. Pada putaran ke-5 pada time step 1440-1800 Domain visualisasi diperpanjang ke arah downstream untuk mengamati perkembangan	70
Gambar 4. 13	Distribusi Vorticity magnitude pada turbin konvensional, turbin Tandem-stagger S/D 1.1, dan turbin Tandem-stagger S/D 0.8. Pada sudut azimuth $\theta = 0^\circ$ $Re = 1,2 \times 10^5$ Pada putaran ke-5 pada Time step 1440-1800.	73
Gambar 4. 14	Distribusi vorticity magnitude pada turbin Savonius konvensional, konfigurasi tandem-stagger cylinder dengan spacing ratio $S/D = 1.1$ dan $S/D = 0.8$ pada azimuth angle $\theta = 130^\circ$ $Re = 1,2 \times 10^5$ Pada putaran ke-5 pada time-step 1400-1800.....	75
Gambar 4. 15	Pengaruh tips speed ratio (λ) terhadap coefficient of moment pada desain turbin konvensional dan modifikasi dengan berbagai variasi rasio jarak (S/D).	80
Gambar 4. 16	Pengaruh tips speed ratio (λ) terhadap coefficient of Power pada desain turbin konvensional dan modifikasi dengan berbagai variasi rasio jarak celah (S/D).	82
Gambar 4. 17	Grafik penurunan rasio peningkatan coefficient of power maksimum seiring dengan bertambahnya nilai spacing ratio (S/D) pada kecepatan konstan ($V = 5$ m/s).....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Tabel Kualitas Mesh dan Hasil Uji Independensi Grid.	45
Tabel 3. 2	Spesifikasi teknis perangkat komputasi yang digunakan untuk pemrosesan data dan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD).....	49
Tabel 3. 3	Rincian Waktu Penelitian.....	51
Tabel 4. 1	Perbandingan nilai koefisien of Power (C_p) hasil penelitian saat ini dengan data eksperimen dan simulasi numerik dari literatur pada variasi tip speed ratio (TSR).	55
Tabel 4. 2	Validasi hasil simulasi numerik penelitian ini dengan hasil Eksperimental Anatares et al. (2022) turbin konvensional pada $Re = 1.2 \times 10^5$, $\lambda = 0.7$	62
Tabel 4. 3	Perbandingan nilai coefficient of moment (C_m) antara desain konvensional dengan variasi rasio.....	79
Tabel 4. 4	Perbandingan nilai coefficient of power (C_p) antara desain turbin konvensional dan modifikasi variasi rasio jarak celah (S/D) pada berbagai tingkat tips speed ratio (λ).	81
Tabel 4. 5	Nilai rasio peningkatan performa C_{pmax}/C_{p0max} pada berbagai variasi spacing ratio (S/D) dengan kondisi bilangan Reynolds konstan $Re=1.2 \times 10^5$	83
Tabel 4. 6	Perbandingan nilai maksimum dan persentase peningkatan $\Delta\%$ untuk coefficient of moment dan coefficient of power antara desain turbin konvensional dengan variasi rasio (S/D) pada bilangan Reynolds konstan $Re=1.2 \times 10^5$	84

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
VAWT	Vertical Axis Wind Turbine	1
Re	Reynolds Number	3
CFD	Computational Fluid Dynamics	4
URANS	Unsteady Reynolds Averaged Navier–Stokes	4
SST	Shear Stress Transport	4
Cm	Coefficient of Moment	4
Cp	Coefficient of Power	4
S/D	<i>Spacing Ratio</i>	4
ω	Kecepatan sudut (rad/s)	4
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine	9
PFC	Passive Flow Control	11
AFC	Active Flow Control	11
ρ	Massa jenis fluida (kg/m ³)	18
μ	Viskositas dinamis (Pa·s)	18
TSR	Tip Speed Ratio	20
U	Kecepatan aliran bebas (<i>Free-stream Velocity</i>) (m/s)	20
V	Kecepatan aliran (m/s)	24
T	Torsi (N·m)	26
P	Daya (W)	27
θ	Sudut azimuth (<i>Azimuth Angle</i>) (°)	40
y^+	Jarak dinding tak berdimensi (Wall Distance)	45
$\Delta\%$	Persentase peningkatan	46
λ	Tip Speed Ratio	49

DAFTAR PUSTAKA

- Akwa, J. V., Vielmo, H. A., & Petry, A. P. (2012). A review on the performance of Savonius wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3054–3064. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.056>
- Altan, B. D., & Gungor, A. (2024). Improvement of Savonius wind turbine performance with using wind collector. *Scientia Iranica*, 31(13), 1020–1029. <https://doi.org/10.24200/sci.2023.60454.6809>
- Antares, Sakti, G., & Surabaya, P. P. (2022). *Modifikasi permukaan cembung sudu returning pada turbin angin savonius dengan menggunakan dimple untuk mengurangi Penggunaan dimple pada permukaan bola golf sudah terbukti sangat efisien untuk meningkatkan laju aliran udara karena dapat menunda titik sepa*. 1–6.
- Chen, W.-L., Huang, Y., Chen, C., Yu, H., & Gao, D. (2022). Review of active control of circular cylinder flow. *Ocean Engineering*, 258, 111840. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111840>
- Chitura, A. G., Mukumba, P., & Lethole, N. (2024). Enhancing the Performance of Savonius Wind Turbines: A Review of Advances Using Multiple Parameters. *Energies*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/en17153708>
- Eshagh Nimvari, M., Fatahian, H., & Fatahian, E. (2020). Performance improvement of a Savonius vertical axis wind turbine using a porous deflector. *Energy Conversion and Management*, 220(June), 113062. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113062>
- Farajyar, S., Ghafoorian, F., Mehrpooya, M., & Asadbeigi, M. (2023). CFD Investigation and Optimization on the Aerodynamic Performance of a Savonius Vertical Axis Wind Turbine and Its Installation in a Hybrid Power Supply System: A Case Study in Iran. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/su15065318>
- Fatahian, E., Ismail, F., Ishak, M. H. H., & Chang, W. S. (2023). Aerodynamic performance improvement of Savonius wind turbine through a passive flow control method using grooved surfaces on a deflector. *Ocean Engineering*,

284. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115282>
- Ghafoorian, F., Wan, H., & Chegini, S. (2024). A Systematic Analysis of a Small-Scale HAWT Configuration and Aerodynamic Performance Optimization Through Kriging, Factorial, and RSM Methods. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 11(4), 887–903. <https://doi.org/10.22055/jacm.2024.47896.4822>
- Hasugian, T. D., & Noor, H. Z. (2018). *Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent*.
- JOUR, T.-, AU - Sani, A., AU - Yudhono, R., AU - Erissonia, A. A., & 737-500, T.-A. P. M. M. R. pada S. G. T. E. untuk M. K. E. T. C.-3. (2023). *Metodologi Penelitian Penerbangan*. Samudra Biru.
- Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V. (2009). Performance tests on helical Savonius rotors. *Renewable Energy*, 34(3), 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.002>
- Li, T., & Ishihara, T. (2021). Numerical study on wake galloping of tandem circular cylinders considering the effects of mass and spacing ratios. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104536>
- Menet, J.-L. J., Bourabaa, N., & Bouraba, N. (2004). Increase in the Savonius rotors efficiency via a parametric investigation. *EWEA - 2004 European Wind Energy Conference*. http://www.wrapwind.com/download/vawt/23_1400_jeanlucmenet_01.pdf
- Mrigua, K., Zemamou, M., & Aggour, M. (2022). Numerical Investigation of a New Modified Savonius Wind Turbines. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(4), 1113–1123. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.45799>
- Pamungkas. (2016). Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu di depan Returning Blade Turbin Angin Savonius terhadap Performa Turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 599–603. <http://repository.its.ac.id/76098/>
- Prayitno, H., Qiram, I., & Supardam, D. (2022). Kajian Pada Aerodinamika Seaplane: Pengaruh Bentuk Float Terhadap Performa dan Stabilitas Pesawat

- di Atas Air. *SKYHAWK: Jurnal Aviasi Indonesia*, 2(2), 174–179.
<https://doi.org/10.52074/skyhawk.v2i2.117>
- Prayitno, H., Supardam, D., & Idyaningsih, N. (2023). *Metodologi Penelitian Penerbangan* (1st ed.). CV. Samudra Biru.
- Qasemi, K., & Azadani, L. N. (2020). Optimization of the power output of a vertical axis wind turbine augmented with a flat plate deflector. *Energy*, 202, 117745.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117745>
- Ramarajan, J., & Jayavel, S. (2022). Performance Improvement in Savonius Wind Turbine by Modification of Blade Shape. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 15(1), 99–107. <https://doi.org/10.47176/jafm.15.01.32516>
- Ran, Y., Deng, Z., Yu, H., Chen, W., & Gao, D. (2023). Review of passive control of flow past a circular cylinder. *Journal of Visualization*, 26(1), 1–44.
<https://doi.org/10.1007/s12650-022-00858-3>
- Saha, U. K., Thotla, S., & Maity, D. (2008). Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(8–9), 1359–1375.
<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.03.005>
- Sakti, G., & Yuwono, T. (2019). Performance Study of Installed an I-65° Type Cylinder at the Upstream of Returning Blade of Savonius Wind Turbine, Comparison with Conventional Savonius Wind Turbine. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 30(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>
- Sappaile, B. I. (2007). Konsep Instrumen Penelitian Pendidikan. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 13(66), 379–391. <https://doi.org/10.24832/jpnk.v13i66.356>
- Schlichting, H., & Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory* (9th ed.). Springer.
- Senarathna, W., Fernando, M., Silva, T., & Abeykoon, C. (2022). The Design of a Savonius Wind Turbine with Guide Vanes - A Computational Approach. *Proceedings of the 6th International Conference on Energy Harvesting*,

- Storage, and Transfer (EHST'22)*, 133, 1–10.
<https://doi.org/10.11159/ehst22.133>
- Setiawan, P. A., Husodo, A. W., Hamzah, F., Yuwono, T., & Widodo, W. A. (2022). Performance Analysis of Savonius Turbine Disturbed by Cylinder in Front of Returning with Variation of Distance to Perpendicular Fluid Flow. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 11(10), 761–766. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.10.761-766>
- Setiawan, P. A., Soim, S., Antoko, B., Lukitadi, P. P. S., Santoso, E., Ariwiyono, N., Antariksih, D. D. K. R., & Disrinama, A. (2024). Performance Investigation of the Savonius Wind Turbine by Putting a Rotating Cylinder in the front of Advancing by Varying the Diameter and Stagger Angle. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(3). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i3.21136>
- Setiawan, P. A., Yuwono, T., Lukitadi, P. P. S., Santoso, E., Ariwiyono, N., Shah, M., Antoko, B., Prasajo, B., Purwanti, E. P., & Hidayat, E. P. (2023). Experimental Investigation of Cylinder Rotation Effect on the Advancing Side to Savonius Wind Turbine Performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 12(5), 284–289. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.12.5.284-289>
- Singh, O., Saini, G., & De, A. (2024). Hydrodynamic performance enhancement of Savonius hydrokinetic turbine using wedge-shaped triangular deflector in conjunction with circular deflector. *Ocean Engineering*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116572>
- Skonecki, G. M., & Buick, J. M. (2023). Numerical Study of Flow around Two Circular Cylinders in Tandem, Side-By-Side and Staggered Arrangements. *Fluids*, 8(5), 148. <https://doi.org/10.3390/fluids8050148>
- Sumner, D. (2010). Two Circular Cylinders in Cross-Flow: A Review. *Journal of Fluids and Structures*.

- Thiyagaraj, J., Rahamathullah, I., Anbuezhayan, G., Barathiraja, R., & Ponshanmugakumar, A. (2020). Influence of blade numbers, overlap ratio and modified blades on performance characteristics of the savonius hydro-kinetic turbine. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 4047–4053. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.568>
- Ushiyama, I., & Nagai, H. (1988). Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors. *Wind Engineering*, 12(1), 59–75. <http://www.jstor.org/stable/43749329>
- Wenhenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades. *Energy Procedia*, 68, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.259>
- White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Wong, K. H., Chong, W. T., Sukiman, N. L., Poh, S. C., Shiah, Y. C., & Wang, C. T. (2017). Performance enhancements on vertical axis wind turbines using flow augmentation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(June 2016), 904–921. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.160>
- Xu, L., Liang, S., Hu, Z., Liu, Z., & Wang, J. (2021). Vortex-induced vibration response of a circular cylinder surrounded with small rods. *Journal of Hydrodynamics*, 33(3), 510–519. <https://doi.org/10.1007/s42241-021-0045-5>
- Yahya, W., Ziming, K., Juan, W., Qurashi, M. S., Al-Nehari, M., & Salim, E. (2021). Influence of tilt angle and the number of guide vane blades towards the Savonius rotor performance. *Energy Reports*, 7, 3317–3327. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.053>
- Yuqa, O. H., Setiawan, P. A., Ariwiyono, N., Kapal, T. P., Perkapalan, P., Surabaya, N., Kapal, T. P., Perkapalan, P., Surabaya, N., Kapal, T. P., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2019). Studi numerik pengaruh variasi sudut stagger silinder sirkular pada sisi advancing blade terhadap performa turbin air savonius tipe Dalam melakukan penelitian ini diperlukan beberapa langkah diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini : *Proceeding Conference on Marine Engineering and Its Application*, 2–7. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/cmea/issue/view/41>

Zhang, L. B., Dai, H. L., Abdelkefi, A., & Wang, L. (2019). Experimental investigation of aerodynamic energy harvester with different interference cylinder cross-sections. *Energy*, 167, 970–981. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.059>

