

KAJIAN EKSPERIMEN KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS SUDU *OVERLAP* BERPROFIL *MYRING* $n=1$ DENGAN VARIASI SUDUT *STAGGER* SILINDER DI DEPAN SUDU *RETURNING*

Aditya Yuta Prawiratama¹, Priyo Agus Setiawan², Emie Santoso³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D-IV Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: <mailto:adityayuta@student.ppns.ac.id>^{1*}; <mailto:priyo.as@ppns.ac.id>^{2*}; <mailto:emie.santoso@ppns.ac.id>^{3*};

Abstract - The previous Savonius wind turbine studies have proved that overlap modifications to conventional blades can improve turbine performance. With these conventional blades, the performance is less optimum because the drag force generated by turbine's rotation is still high. Based on this condition, this experiment is conducted by modifying Savonius wind turbine with overlap blades using Myring equation $n = 1$. Its blade profile is made half-elliptical to reduce drag force. Diameter and height of the turbine are 400 mm with 0.3 overlap ratio. The ratio of cylinder diameter (ds/D) is 0.4, and the ratio of cylinder center distance (S/d) is 1.7. Experiments are conducted by varying stagger angles of circular cylinder in front of returning blade i.e 45°, 50°, 55°, and 60°. Its wind speed variations are 5 m/s, 6 m/s, and 7 m/s. The final results show that the best performance improvement of the turbine occurs at 60° stagger angle and 6 m/s wind speed. The increase in torque coefficient is 4.95% and power coefficient is 20.16% to overlap Savonius wind turbine with myring $n = 1$ with no circular cylinder.

Keywords: Savonius wind turbine, Overlap, Myring, Circular Cylinder, Stagger Angle

Nomenclature

ω	= kecepatan sudut (rad/s)
U	= Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
D	= Diameter Turbin (m)
ρ	= Massa Jenis Fluida (kg/m ³)
C _p	= Coefficient of Power
C _t	= Coefficient of Torque
TSR	= Tip Speed Ratio
A	= Luas Permukaan Turbin (m ²)
T _{aktual}	= Torsi Aktual Turbin
μ	= Viskositas Dinamis Fluida (N.s/m ²)
M	= Massa
S	= Spring Balance

1. PENDAHULUAN

Jenis turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan letak poros, yaitu turbin angin dengan poros vertikal dan turbin angin dengan poros horizontal [1].

Penelitian terdahulu turbin Savonius dengan membandingkan jumlah sudu [2]. Selanjutnya penelitian turbin angin Savonius dengan jumlah 2 sudu dilakukan modifikasi pada sudu turbin dengan menggunakan persamaan *myring* [3][4][5][6][7][8] juga dilakukan modifikasi sudu dengan *overlap*

[9][10][11][12] dan penambahan fin pada sudu [13][14].

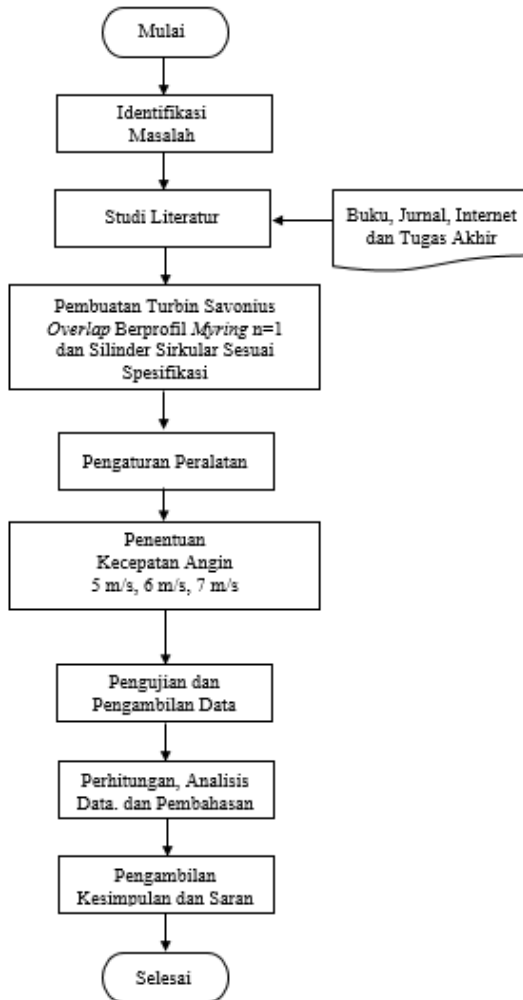
Penelitian terdahulu juga dilakukan penambahan silinder sirkular di depan *advancing blade* [15][16][17] dan juga di depan sudu *returning blade* [18][19][20] dengan variasi jarak silinder sirkular [21][22], variasi diameter silinder sirkular, dan variasi sudut *stagger* silinder sirkular terbukti dapat meningkatkan kinerja dari turbin Savonius.

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi sudu menggunakan persamaan *myring* $n=1$ sehingga sudu berbentuk setengah *ellipse* dengan upaya mereduksi gaya *drag* yang bekerja. Turbin Savonius yang diuji memiliki spesifikasi diameter dan tinggi turbin 400 mm rasio *overlap* 0,3 dengan profil *myring* $n=1$. Variasi sudut *stagger* silinder sirkular sebesar 45°, 50°, 55°, 60° dengan $ds/D=0,4$ dan $S/d= 1,7$. Variasi kecepatan angin 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s. Jarak *blower fan* dengan *wind tunnel* 500 mm, jarak *wind tunnel* dengan pusat turbin dilakukan variasi yaitu 500 mm, 1000 mm, dan 1500 mm. Hasil dari kalibrasi menunjukkan pada jarak 1500 mm memiliki presentase error yang paling rendah sehingga jarak *wind tunnel* dengan pusat turbin yang digunakan pada penelitian ini 1500 mm.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian pada penelitian ini sebagai berikut:

2.1 Diagram Alir



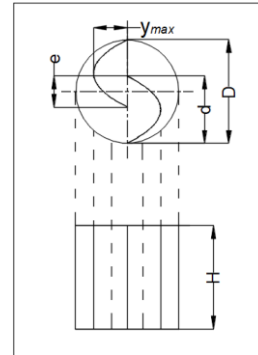
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Spesifikasi Turbin

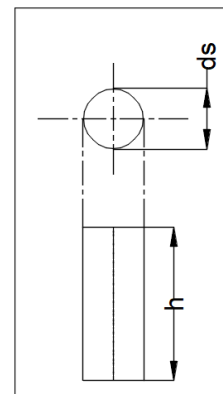
Spesifikasi turbin angin Savonius sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ [3] yang akan diuji menggunakan metode eksperimen adalah sebagai berikut:

- Diameter turbin (D) : 400 mm
- Diameter sudu (d) : 260 mm
- Y_{max} : 130 mm
- Tinggi turbin (H) : 400 mm
- Rasio *overlap* (e/D) : 0,3
dengan substitusi $e/D = 0,4$, maka didapat nilai $e = 120$ mm
- Rasio jarak silinder (S/d) : 1,7
dengan substitusi $d = 260$ mm, maka didapat nilai jarak = 442 mm
- Rasio diameter silinder (ds/D) : 0,4
dengan substitusi $D = 400$ mm, maka didapat nilai $ds = 160$ mm

- Tinggi silinder sirkular (h) : 500 mm



Gambar 2 Turbin Savonius sudu *overlap* Berprofil *myring* $n=1$



Gambar 3 Silinder Sirkular

2.3 Pengolahan Data Eksperimen

Rumus-rumus perhitungan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [20].

$$TSR = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot U} \quad (1)$$

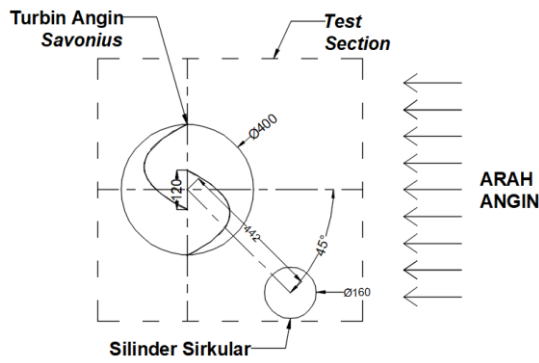
$$T_{aktual} = (M - S) \cdot (r_{pulley} + d_r) \cdot g \quad (2)$$

$$CT = \frac{\tau}{0,25 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot D^2 \cdot H} \quad (3)$$

$$C_p = TSR \cdot Ct \quad (4)$$

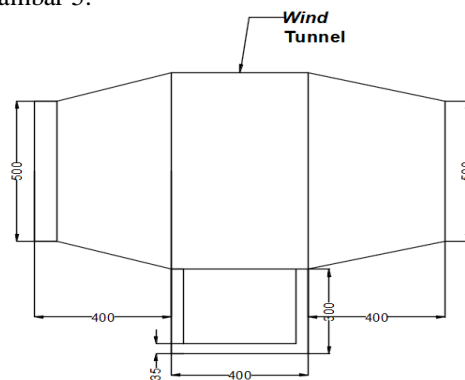
2.4 Skema Pengujian

Skema pengujian turbin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skema Pengujian

Spesifikasi *wind tunnel* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Skema *Wind Tunnel*

Honeycomb filter digunakan agar aliran angin yang keluar dari *wind tunnel* lebih fokus saat mengenai turbin [23].

Blower dengan spesifikasi diameter 450 mm, speed 2850 Rpm dan power 2200 Watt.

AC Dimmer Module berfungsi untuk mengatur *output* aliran angin yang dihasilkan oleh blower dengan cara menurunkan tegangan listrik blower sesuai dengan kecepatan angin yang ditentukan.

Alat Ukur yang digunakan pada pengujian ini sebagai berikut:

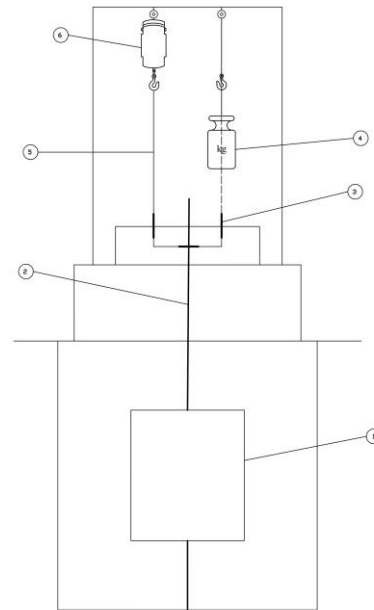
1.) *Tachometer*

Tachometer yang digunakan yaitu *Tachometer Wipro seri DT-2235A* dengan akurasi pembacaan 0,01% atau ± 1 digit.

2.) *Anemometer*

Anemometer yang digunakan yaitu *Anemometer Krisbow model : Kw 06-562*.

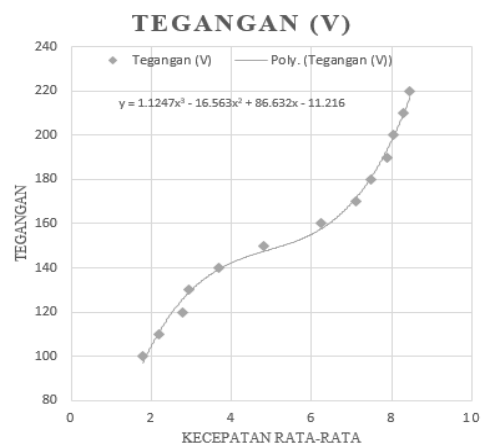
Pada pengujian ini kinerja turbin angin Savonius dapat diukur dengan menggunakan skema brake dynamometer. Brake dynamometer ini menggunakan sistem pulley, beban timbel, dan timbangan pegas digital yang disambungkan dengan benang nylon yang menyelubungi pulley pada poros turbin angin Savonius. Nilai torsi dapat didapatkan dengan pengurangan nilai M dan S sesuai dengan prinsip hukum III Newton [24].



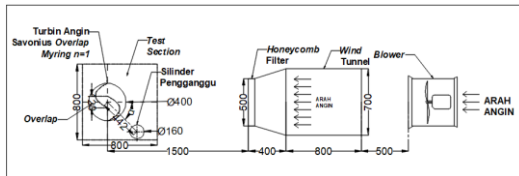
- (1) Savonius Wind Turbin
- (2) Shaft
- (3) Pulley
- (4) Weighing pan
- (5) Nylon String
- (6) Spring Balance

Gambar 6 Skema *Brake Dynamometer*

Untuk menentukan kecepatan angin yang akurat, maka dilakukan kalibrasi pada tegangan *blower fan* pada variasi jarak antara *wind tunnel* terhadap pusat turbin yaitu 500 mm, 1000 mm, dan 1500 mm. Untuk jarak *blower fan* terhadap *wind tunnel* dibuat tetap 500 mm. Hasil kalibrasi jarak antara *wind tunnel* terhadap pusat turbin didapatkan nilai error terkecil yaitu pada variasi jarak 1500 mm dengan presentase error sebesar 14,072%. Berikut merupakan persamaan *polynomial* untuk mengatur tegangan pada *blower fan*:



Gambar 7 Kalibrasi Tegangan *Blower Fan* Jarak 1500 mm

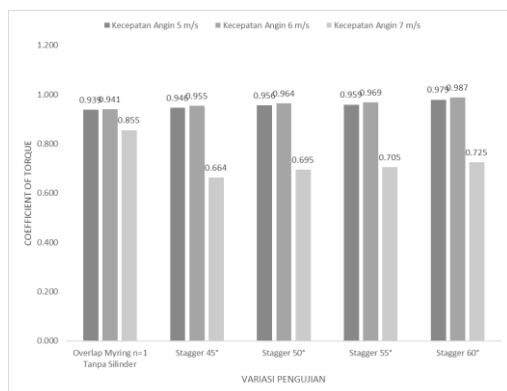


Gambar 8 Skema Pengujian Jarak Wind Tunnel terhadap Pusat Turbin 1500 mm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan nilai *coefficient of torque* terhadap variasi pengujian

Nilai *coefficient of torque* turbin angin Savonius sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ dengan variasi sudut *stagger* 45° , 50° , 55° , 60° silinder sirkular yang ditempatkan di depan sudu *returning* dapat dilihat pada Gambar 9.

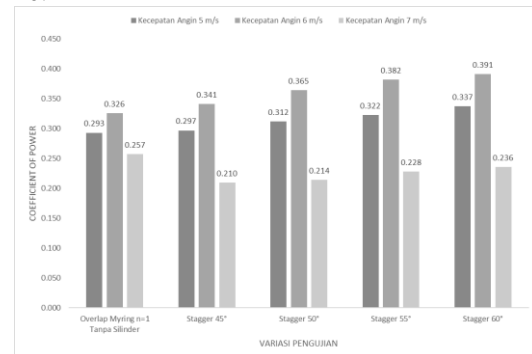


Gambar 9 Grafik *Coefficient of Torque* - Variasi Pengujian

Pada Gambar 9, dapat diketahui diagram perbandingan antara *coefficient of torque* yang didapat terhadap variasi pengujian sudut *stagger* 45° , 50° , 55° , 60° . Variasi tanpa silinder sirkular pada kecepatan 5 m/s memiliki *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,993, dengan kecepatan 6 m/s memiliki *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,941, pada kecepatan 7 m/s memiliki *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,855. Berdasarkan *trendline* grafik di atas pada variasi 45° pada kecepatan 5 m/s didapatkan nilai *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,946, pada kecepatan 6 m/s didapatkan *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,955, namun pada kecepatan 7 m/s didapatkan *coefficient of torque* tertinggi pada angka 0,664 terjadi penurunan *coefficient of torque* terhadap variasi tanpa silinder sirkular. sedangkan variasi lainnya juga memiliki *trendline* yang sama dengan peningkatan *coefficient of torque* yang semakin meningkat dikecepatan angin 5 m/s dan 6 m/s, namun mengalami penurunan *coefficient of torque* pada kecepatan 7 m/s.

2. Perbandingan nilai *coefficient of power* terhadap variasi pengujian

Nilai *coefficient of power* turbin angin Savonius sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ dengan variasi sudut *stagger* 45° , 50° , 55° , 60° silinder sirkular yang ditempatkan di depan sudu *returning* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik *Coefficient of Power* - Variasi Pengujian

Pada Gambar 10, dapat diketahui diagram perbandingan antara *coefficient of power* yang didapat terhadap variasi pengujian sudut *stagger* 45° , 50° , 55° , 60° . dari setiap variasi sudut *stagger*, *coefficient of power* paling optimal yaitu pada sudut *stagger* 60° dengan kecepatan 6 m/s sebesar 0,391. Memiliki selisih tipis dengan sudut *stagger* 55° dengan kecepatan angin 6 m/s dengan *coefficient of power* 0,382. pada kecepatan angin 6 m/s memiliki *coefficient of power* yang lebih optimal jika dibandingkan dengan kecepatan angin 5 m/s dan 7 m/s. Hal ini bisa terjadi karena jarak pengujian antara *wind tunnel* dan pusat turbin pada variasi jarak 1500 mm sehingga aliran kecepatan angin 5 m/s tidak maksimal mengenai turbin dan pada kecepatan angin 7 m/s memiliki nilai *coefficient of power* yang rendah hal ini bisa terjadi karena pada kecepatan angin tinggi aliran angin tidak dapat melewati sudu turbin dengan sempurna. Silinder sirkular di depan sudu *returning* pada kecepatan angin 7 m/s dapat mengganggu aliran angin yang menuju sudu *advancing* sehingga mengakibatkan fungsi celah *overlap* untuk meningkatkan torsi positif kurang maksimal. Modifikasi *overlap* memperkecil dimensi sudu *advancing* dan *returning*. Hal ini mempengaruhi kinerja turbin yang kurang maksimal ketika silinder sirkular diletakkan di depan sudu *returning* dengan kecepatan angin yang tinggi.

4. KESIMPULAN

1. Peningkatan nilai *coefficient of torque* tertinggi terjadi pada sudut *stagger* = 60° pada kecepatan angin 6 m/s dengan nilai *coefficient of torque* sebesar 0,987 pada nilai *tip speed ratio* 0,118.
2. Peningkatan nilai *coefficient of power* tertinggi terjadi pada sudut *stagger* = 60° pada kecepatan angin 6 m/s dengan nilai

coefficient of power sebesar 0,391 pada nilai *tip speed ratio* 0,677.

3. Peningkatan performa turbin angin Savonius terbaik setelah dilakukan modifikasi sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ dan variasi sudut *stagger* silinder sirkular yang diletakkan di depan *returning blade*, didapatkan pada variasi sudut *stagger* = 60° pada kecepatan angin 6 m/s mempunyai nilai *coefficient of torque* sebesar 0,987 pada *tip speed ratio* 0,118 dengan kenaikan kinerja turbin sebesar 4,95% dari turbin angin Savonius sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ tanpa silinder sirkular pada kecepatan yang sama. Sedangkan *coefficient of power* tertinggi sebesar 0,391 pada nilai *tip speed ratio* 0,677 dengan kenaikan kinerja turbin sebesar 20,16% dari turbin angin Savonius sudu *overlap* berprofil *myring* $n=1$ tanpa silinder sirkular pada kecepatan yang sama.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan doa, materi, dan motivasi.
2. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I.
3. Ibu Ir. Emie Santoso, M.T. selaku dosen pembimbing II.
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal-PPNS.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Hau, *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics 2nd Edition*, 2nd Editio. 2005.
- [2] R. I. Fitrandi and I. H. Siregar, "Karakteristik Turbin Angin Savonius 2 Dan 3 Blade Dengan Menggunakan Bantuan Guide Vane," *J. Tek. Mesin*, vol. 02, no. 01, pp. 125–131, 2014.
- [3] W. Tian, B. Song, J. H. Van Zwieteren, and P. Pyakurel, "Computational fluid dynamics prediction of a modified savonius wind turbine with novel blade shapes," *Energies*, vol. 8, no. 8, pp. 7915–7929, 2015, doi: 10.3390/en8087915.
- [4] P. A. Setiawan, M. Santoso, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "An Experimental Study of the Savonius Water Current Turbine by means of Myring Equation for $n = 1$," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012194.
- [5] A. Ardianto, P. A. Setiawan, and N. Ariwiyono, "Analisa Pengaruh Sudut Stagger di Depan Advancing Blade Terhadap Performa Turbin Air Savonius Myring Blade $n=1$ & $n=2$," *Proceeding Conf. Mar. Eng. its Appl.*, vol. 3, 2020.
- [6] W. F. Prasetya, P. A. Setiawan, and P. Sidi, "Analisa Variasi Sudut dan Diameter Stagger Penghalang pada Sisi Returning Blade terhadap Kinerja Turbin Air Savonius dengan Persamaan Myring $n = 1$ dan $n = 2$ ".
- [7] F. S. Fathoni, P. A. Setiawan, and D. D. K. R. A, "Kajian Numerik Pengaruh Variasi Sudut Stagger Dan Diameter Silinder Sirkular Di Sisi Advancing Blade Terhadap Kinerja Turbin Air Savonius Bersudu Kombinasi Myring $N = 1$ Dan $N = 2$," pp. 4–9.
- [8] O. H. Yuqa *et al.*, "Studi Numerik Pengaruh Variasi Sudut Stagger Silinder Sirkular pada Sisi Advancing Blade terhadap Performa Turbin Air Savonius, 2019.
- [9] R. Tania, R. L. Florin, I. V. D. Adriana, M. Roxana, A. Ancuta, and D. Florin, "Experimental investigation on the influence of Overlap Ratio on Savonius Turbines Performance," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 1791–1799, 2018, doi: 10.20508/ijrer.v8i3.7764.g7480.
- [10] P. A. Setiawan, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "An Experimental Study of Overlap Ratio Effect to Savonius water Current Turbine by using Myring Equation for $n=1$," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012198.
- [11] W. A. Pratama, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Overlap Ratio," 2022.
- [12] H. Wicaksono, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Stagger Silinder di Depan Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Overlap Ratio," 2022.
- [13] B. Saputra, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Fin," 2022.
- [14] F. N. Putra, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Jarak Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Fin," 2022.
- [15] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "Effect of a circular cylinder in

- front of advancing blade on the savonius water turbine by using transient simulation,” *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 151–159, 2019.
- [16] P. Setiawan, T. Yuwono, and W. Widodo, “Flow Analysis of a Circular Cylinder on the Savonius Hydrokinetic Turbine Performance Placed the Side of Advancing Blade,” *Int. J. Mech. Mechatronics Eng. IJMME-IJENS*, vol. 19, no. 06, p. 41, 2019.
- [17] P. A. Setiawan, T. Yuwono, W. A. Widodo, E. Julianto, and M. Santoso, “Numerical study of a circular cylinder effect on the vertical axis savonius water turbine performance at the side of the advancing blade with horizontal distance variations,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 978–985, 2019, doi: 10.20508/ijrer.v9i2.8890.g7662.
- [18] P. A. Setiawan, A. W. Husodo, F. Hamzah, T. Yuwono, and W. A. Widodo, “Performance Analysis of Savonius Turbine Disturbed by Cylinder in Front of Returning with Variation of Distance to Perpendicular Fluid Flow,” *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 11, no. 10, pp. 761–766, 2022, doi: 10.18178/ijmerr.11.10.761-766.
- [19] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo, “Flow visualization analysis on the vertical axis Savonius water turbine by placing a cylinder in front of returning by varying stagger angle,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012203.
- [20] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and W. A. Widodo, “Numerical Study of the Stagger Angle Effect of a Circular Cylinder Installed in front of Returning Blade Toward the Vertical Axis Savonius Water Turbine Performance,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1179, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1179/1/012107.
- [21] D. Falahudin, P. A. Setiawan, and A. Indartono, “Kajian Ekperimen Pengaruh Pemasangan Silinder Sirkular Bervariasi Diameter dengan Posisi $X / D = 0.5$ dan $Y / D = 0.7$ pada Sisi Advancing Blade Terhadap Performa Turbin Air Savonius,” pp. 0–5.
- [22] D. Purnanto, S. Soim, and P. A. Setiawan, “Kajian Eksperimen Pengaruh Pemasangan Silinder Sirkular Dengan Diameter Silinder 16 Cm Dan Jarak 20 Cm Pada Sisi Advancing Blade Turbin Air Savonius,” no. v, pp. 1–3.
- [23] R. D. Mehta and P. Bradshaw, “Technical notes of design for small low speed wind tunnels,” *Aeronaut. J. R. Aeronaut. Soc.*, no. 7, pp. 1, 445, 446 & 448, 1979.
- [24] G. Kailash, T. I. Eldho, and S. V. Prabhu, “Performance study of modified savonius water turbine with two deflector plates,” *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2012, 2012, doi: 10.1155/2012/679247.