

Kajian Eksperimen Pengaruh Sudut *Stagger* Silinder Di Depan *Returning Blade* Terhadap *Coefficient Of Power* Turbin Angin *Savonius* Sudu *Fin* Dengan *Profile Blade* Myring $n=1$

Billy Yanuar Saputro.^{1*}, Ir. Emie Santoso, S.T.,², Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.³

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*23}

Email: billyyanuar21@student.ppns.ac.id^{1*}; emie.santoso@ppns.ac.id²; priyo.as@ppns.ac.id^{3*}

Abstrak - Savonius wind turbines are widely used for wind energy utilization eventhough their performance is considered lower than other types of turbines. In 3 previous studies, additional disturbance cylinder in front of returning blade and additional fin on blade could improve the turbine performance but the increase was not optimum. Based on these problems, this experimental study used one additional fin type myring $n = 1$ on the blade. Circular cylinders have a distance ratio of 340 mm, with various airspeed of 7 m/s, 6 m/s, 5 m/s, and various cylinder angles of 45°, 50°, 55°, 60°. The experiment was performed 12 times to determine the effect to coefficient of power (C_p) and coefficient of torque (C_t). The turbine best performance is obtained at a cylinder angle of 60° and a wind speed of 6 m/s. The results are 0.394 for coefficient of power (C_p) and 0.688 for tip speed ratio. The increase is 88.80% compared to Savonius wind turbine without cylinder.

Keywords: Savonius Wind Turbine, Fin, Myring $n=1$, Circular Cylinder, Stagger Angle.

Nomenclature

ω	= Kecepatan angular turbin (rad/s)
v	= Kecepatan <i>free stream</i> aliran (m/s)
D	= Diameter turbin (mm)
C_d	= Koefisien <i>drag</i>
ρ	= Massa jenis fluida (kg/m ³)
C_t	= <i>Coefficient of Torque</i>
C_p	= <i>Coefficient of Power</i>
TSR	= <i>Tip Speed Ratio</i>
A_s	= Luas permukaan turbin (m ²)
T_{aktual}	= Torsi Aktual Turbin
μ	= Viskositas dinamis fluida (N.s/m ²)

1. PENDAHULUAN

Ada dua jenis klasifikasi utama untuk turbin angin, yakni turbin dengan sumbu vertikal dan turbin dengan sumbu horizontal [1]. Salah satu contohnya adalah turbin angin Savonius. Agar kinerja turbin dapat ditingkatkan, opsi yang dapat dipertimbangkan adalah mengubah konfigurasi sudu turbin, seperti melakukan modifikasi menambahkan *fin* [2]. Myring, dan *overlap* [3][4][5][6][7]. Tidak hanya itu, alternatif lainnya adalah mengimplementasikan variasi dengan menambahkan silinder pengganggu. Tujuannya adalah untuk meningkatkan performa dari turbin angin jenis Savonius [8][9]. Variasi dalam penambahan silinder pengganggu juga dapat mencakup aspek-aspek seperti sudut *stagger*, jarak antara silinder, dan perbandingan diameter dari silinder pengganggu. Penempatan silinder ini bisa dilakukan di depan sudu yang kembali (*returning blade*) atau di depan sudu yang maju (*advancing blade*) [10][11][12].

Pada eksperimen turbin air Savonius dengan konfigurasi myring dan parameter $n=1$ dan $n=2$, serta variasi sudut *stagger* di depan sudu yang maju (*advancing blade*), hasilnya menunjukkan peningkatan performa turbin ketika ds/D (jarak antara silinder pengganggu dan diameter turbin) adalah 0,3 dan sudut *stagger* adalah 60°. Pada kondisi ini, nilai koefisien daya (C_p) yang dihasilkan adalah sebesar 0,1515 [13].

Eksperimen yang melibatkan turbin air Savonius dengan tambahan silinder berbentuk lingkaran, yang memiliki diameter 16 cm dan jarak 20 cm dari sisi sudu yang maju (*advancing blade*), menghasilkan peningkatan kinerja turbin. Pada kecepatan rasio TSR (*Tip Speed Ratio*) sebesar 0,633, nilai koefisien daya (C_p) yang tercatat adalah 0,1924 [14].

Pada percobaan turbin air jenis Savonius yang melibatkan penambahan silinder berbentuk lingkaran dengan variasi rasio diameter $X/D = 0,5$ dan $Y/D = 0,7$ pada sisi sudu yang maju (*advancing blade*), mengakibatkan peningkatan kinerja turbin. Pada kecepatan rasio TSR (*Tip Speed Ratio*) sebesar 0,49, nilai koefisien daya (C_p) yang tercatat adalah 0,16 [15].

Penelitian turbin angin Savonius telah banyak dilakukan dan dimodifikasi yang dilakukan. Berbagai macam modifikasi banyak bentuknya antara lain, penambahan fin pada sudu turbin, variasi *overlap ratio*, dan penambahan silinder pengganggu dan lain sebagainya [16][17][18][19][20][21][22][23][24][25].

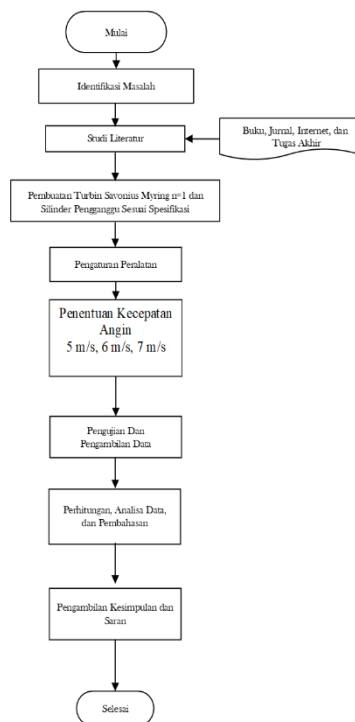
Dalam penelitian ini, dilakukan modifikasi sudu menggunakan persamaan myring $n=1$,

dengan tujuan mengubah sudutnya sehingga memiliki bentuk setengah ellips untuk mengurangi gaya drag yang beroperasi. Turbin Savonius yang diuji memiliki dimensi berupa diameter dan tinggi turbin sebesar 400 mm dengan tambahan 1 *fin* serta menggunakan profil myring $n=1$. Terdapat variasi sudut stagger silinder sirkular yaitu 45°, 50°, 55°, dan 60°, dengan perbandingan $ds/D=0,4$ dan $S/d=1,7$. Variasi kecepatan angin yang diaplikasikan adalah 7 m/s, 6 m/s, dan 5 m/s.

Jarak antara blower fan dan wind tunnel adalah sebesar 500 mm. Jarak antara wind tunnel dengan pusat turbin juga divariasi dengan panjang 500 mm, 1000 mm, dan 1500 mm. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa pada jarak 1500 mm terdapat presentase kesalahan yang paling rendah. Maka, dalam studi ini jarak antara wind tunnel angin dan pusat turbin ditetapkan sepanjang 1500 mm.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam studi ini, dilakukan sejumlah langkah. Langkah-langkah ini disusun untuk memastikan bahwa studi berjalan dengan teratur. Rangkaian langkah-langkah dalam penelitian ini dapat ditemukan dalam diagram alur berikut:



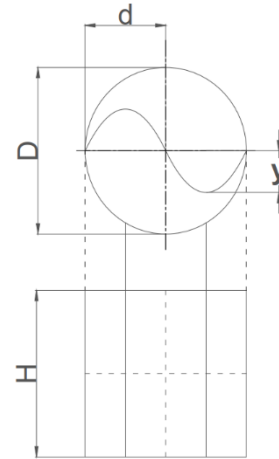
Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

2.1 Spesifikasi Turbin

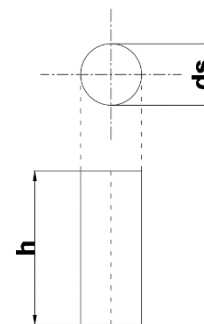
Spesifikasi turbin angin Savonius sudu *fin* dengan profil myring $n=1$ pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Diameter turbin (D) = 400 mm
- Diameter sudu (d) = 200 mm
- Tinggi turbin (H) = 400 mm

- Y_{max} = 100 mm
- Rasio jarak silinder (S/d) = 1,7 m
 Dengan substitusi $d = 200$ mm, maka didapat nilai $S = 340$ mm.
- Diameter silinder sirkular (d) = 160 mm
- Tinggi silinder sirkular (h) = 500 mm



Gambar 2 Skema Turbin Angin Savonius



Gambar 3 Skema Silinder Sirkular

2.2 Reynold

Bilangan Reynolds ialah sebuah angka yang tidak memiliki satuan dan digunakan untuk mengenali tiga variasi pola aliran yang berbeda, meliputi aliran turbulen, aliran laminar, dan aliran transisi. Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu} \quad (1)$$

2.3 TSR

Tip speed ratio dapat diketahui pada persamaan:

$$TSR = \frac{\omega \cdot d}{2v} \quad (2)$$

Di mana ω mewakili kecepatan sudut dari turbin Savonius (dalam satuan radian per detik), dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (3)$$

2.4 Koefisien Torsi

Koefisien Torsi dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_t = \frac{\tau_{aktual}}{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_s \cdot d \cdot v^2} \quad (4)$$

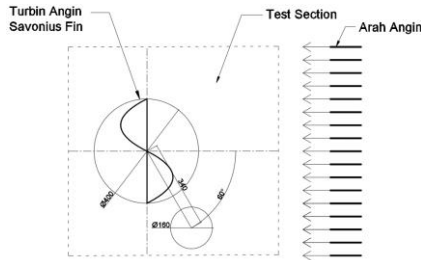
2.5 Koefisien Power

Koefisien Power dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

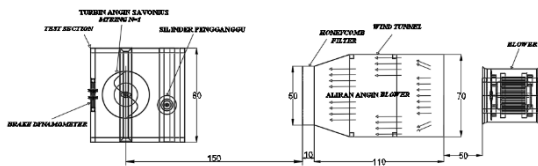
$$C_p = TSR \cdot Ct \quad (5)$$

2.6 Skema Pengujian & Peralatan Pengujian

Skema pengujian turbin angin dapat dilihat pada Gambar 4 & 5.

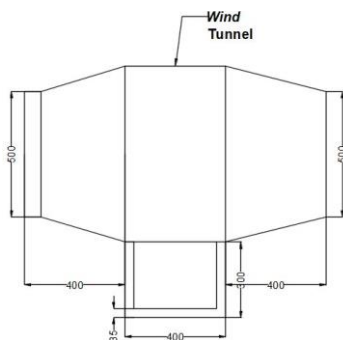


Gambar 4 Skema Pengujian Turbin Angin Savonius

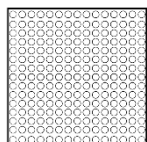


Gambar 5 Skema Pengujian Jarak Wind Tunnel terhadap Pusat Turbin 1500mm

Spesifikasi dan Skema Wind Tunnel dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Skema Wind tunnel



Gambar 7 Honeycomb Filter

Honeycomb filter digunakan supaya aliran angin yang keluar dari wind tunnel lebih fokus saat mengenai turbin.

Spesifikasi blower dapat dilihat pada Tabel 1.

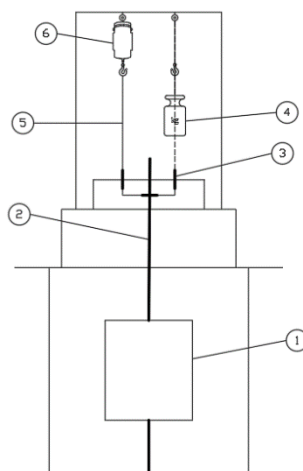
Tabel 1 Spesifikasi Blower Fan

SPESIFIKASI BLOWER	
Diameter	18 inch / 450 mm
Speed	2850 RPM
Air Flow	4413 CFM
Power	1700 Watt
ST Pressure	520 Pa
Phase	1
Voltage	220 – 240 V

Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini sebagai berikut:

- 1.) Tachometer
 Tachometer yang digunakan yaitu Contact 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.
- 3.) Ac Dimmer Module
 Ac Dimmer Module berfungsi untuk memfokuskan angin yang keluar dari wind tunnel saat mengenai turbin.
- 4.) Brake Dynamometer

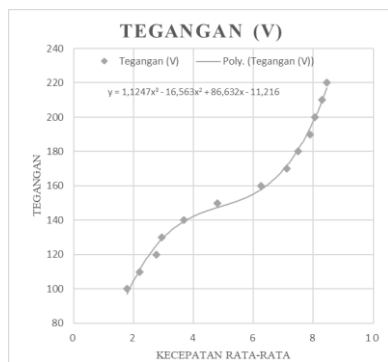
Dalam eksperimen ini, pengukuran dilakukan terhadap efisiensi yang dicapai oleh turbin angin Savonius melalui penggunaan metode brake dynamometer. Brake dynamometer ini beroperasi dengan menerapkan mekanisme pulley, beban timbel, dan timbangan pegas digital yang terhubung melalui tali nylon yang melingkari pulley pada sumbu turbin angin Savonius. Torsi dapat dihitung dengan mengurangkan nilai dari M dan S sesuai dengan prinsip hukum ketiga Newton.



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

Gambar 8 Skema Brake Dynamometer

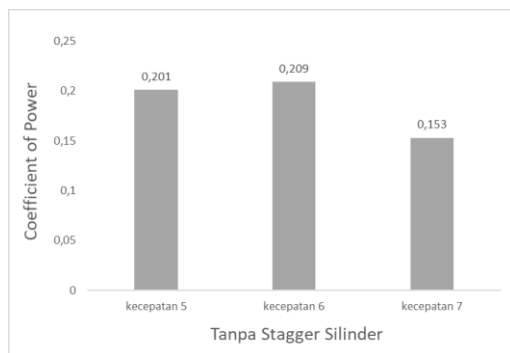
Untuk menentukan kecepatan angin yang akurat, maka dilakukan kalibrasi pada tegangan *blower fan* pada variasi jarak antara *wind tunnel* terhadap pusat turbin yaitu 500 mm, 1000 mm, dan 1500 mm. Untuk jarak *blower fan* terhadap *wind tunnel* dibuat tetap 500 mm. Hasil kalibrasi jarak antara *wind tunnel* 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 8 Kalibrasi Tegangan Blower Fan Dengan Jarak 1500 mm

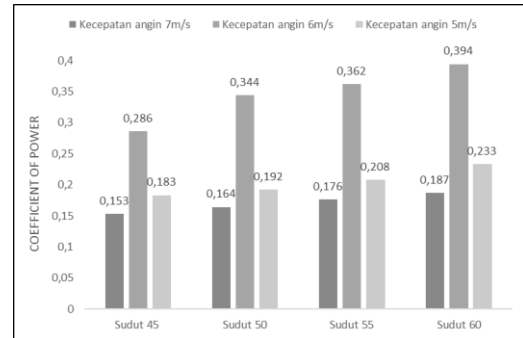
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan terhadap hasil dan pembahasan yang berkaitan dengan perbandingan nilai *coefficient of power* antara dua jenis turbin Savonius. Pertama, turbin dengan sudu *fin* myring $n=1$ tanpa sudut *stagger* pada silinder, dan kedua, turbin dengan sudu *fin* myring $n=1$ yang memiliki variasi sudut *stagger* 45°, 50°, 55°, dan 60°.



Gambar 9 Grafik Coefficient of Power tanpa sudut Stagger Silinder.

Pada Gambar 9 Menunjukkan bahwa hasil Cop Tertinggi dengan variasi tanpa sudut *stagger* silinder teletak pada kecepatan 6 dengan hasil sebesar 0,209.



Gambar 10 Grafik Coefficient of Power dengan variasi sudut Stagger silinder 45°, 50°, 55°, 60°.

Untuk Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai Cop dengan variasi sudut *stagger* silinder dengan nilai tertinggi yaitu didapatkan hasil 0,394.

Tabel 2. Presentase Peningkatan Coefficient of Power 6 m/s

Variasi	TSR	Cp	Presentase (%)	Keterangan
Fin tanpa Silinder	0,625	0,209	---	---
Fin Stagger Sudut 45	0,646	0,286	36,94	Naik
Fin Stagger Sudut 50	0,587	0,344	64,93	Naik
Fin Stagger Sudut 55	0,510	0,325	55,85	Naik
Fin Stagger Sudut 60	0,688	0,394	88,80	Naik

Pada Tabel 2 Menunjukkan nilai Presentase peningkatan Cop paling tinggi yaitu pada sudut *stagger* = 60° dengan nilai presentase sebesar 88,80%.

4. KESIMPULAN

- Pengaruh dari penambahan *fin* serta variasi sudut silinder pengganggu didepan *returning blade* terhadap Coefficient of torque (Ct). Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai tip speed ratio (TSR) maka nilai coefficient of torque (Ct) akan menurun. Hal tersebut disebabkan oleh pembebanan yang terjadi pada poros, jika nilai dari pembebanan tersebut kecil maka nilai coefficient of torque (Ct) juga ikut kecil, sedangkan nilai dari tip speed ratio (TSR) meningkat, begitu juga sebaliknya.
- Pada Gambar 10 peningkatan nilai coefficient of power tertinggi terjadi pada sudut *stagger* = 60° pada kecepatan angin 6 m/s dengan nilai coefficient of power sebesar 0,394 pada nilai tip speed ratio 0,688.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Zain Lillahulhaq, "02111650020011 - Master_Thesis," 2019

[2] 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. 17911799, 2018, doi:10.20508/ijrer.v8i3.7764.g7480.

- 10.1088/1742-6596/1764/1/012203.
- [3] 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
- [4] 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
- [5] F. N. Putra, "SILINDER PENGGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE," 2022.
- [6] O. H. Yuqa et al., "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 :," pp. 2–7, 2019.
- [7] Rahman, F Setiawan, P A So'im, S., "KAJIAN EKSPERIMEN PENGARUH PERUBAHAN SUDUT STAGGER TERHADAP KINERJA TURBIN AIR TIPE SAVONIUS DENGAN MYRING $n= 1$," 2019.
- [8] 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.
- [9] P. Setiawan and T. Yuwono, "The Effect of Inner Fan Blade Angle to The Ventilation Rate of The Turbine Ventilator," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, pp. 227–233, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.03.10.
- [10] 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: 10.1088/1742-6596/1477/5/052010.
- [11] A. Subekti et al., "A numerical study of the effect of a single cylinder and plate deflector toward the Savonius wind turbine performance," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052010.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Tian, W., Song, B., van Zwieten, J. H., & Pyakurel, P. (2015). Computational fluid dynamics prediction of a modified savonius wind turbine with novel blade shapes. *Energies*, 8(8), 7915–7929. <https://doi.org/10.3390/en8087915>
- [17] Kuncara. (2016). PENGGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE TURBIN "Studi Kasus Untuk Rasio Diameter Silinder Pengganggu Terhadap Diameter Turbin.
- [18] Hilmi, M. N. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Fin.
- [19] Pratama, W. A. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Di Depan Returning Blade

- Turbin Angin Savonius Terhadap Performa Turbin “Studi Kasus Untuk Rasio Diameter Silinder Pengganggu Terhadap Diameter Turbin (d/D) = 0,75 “. In *Jurnal Teknik ITS* (Vol. 5, Issue 2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.20156>
- [20] Putra, F. N. (2022). Silinder pengganggu di depan Returning Blade.
- [21] Saputra. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Fin.
- [22] Setiawan, Ariwiyono, I. (2019). Rancang Bangun Vertical Axis Savonius W.
- [23] Sectio, M. Y. A. (2022). Pengganggu di depan Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Overlap Ratio.
- [24] Hasan, O. D. S., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Studi Eksperimental Vertical Axis Winmd Turbine Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Fin pada Sudu. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(2), 350–355.
- [25] Wicaksono, H. A. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu di depan Returning Blade Turbin Angin Savonius terhadap Performa Turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 599–603. <https://doi.org/10.3390/en8087915>