

Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L dengan Variasi Jarak Overlap

^{1,2}*Muhammad Firman, ²Rendi

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan
Jl. Adhyaksa No.2 Kayu Tangi Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

*Email: firmanuniska99@gmail.com

Diterima: 14.09.2023, Disetujui: 22.04.2024, Diterbitkan: 25.04.2024

ABSTRACT

This research aims to improve the performance of the Savonius type L wind turbine by varying the overlap distance on the turbine blades. The L type Savonius turbine with two blades is used as a model, with a turbine height of 800 mm and a rotor diameter of 350 mm. The variations in overlap distance used are 20 mm, 30 mm, and 40 mm. The research was conducted at the Mechanical Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Islamic University of Kalimantan. Research data was obtained through direct testing in the field, by measuring the turbine rotation speed and the resulting load. The research results show that the overlap distance has a significant influence on turbine performance. The power coefficient (CoP), torque coefficient (Cm), and static torque coefficient (CTs) values reach their highest point at an overlap distance of 30 mm. However, when the overlap distance exceeds the optimum point, these values tend to decrease. The optimum point is reached at a turbine rotor angle of 90 degrees.

Keywords: Wind Turbine, Overlap distance, performance

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius tipe L dengan memvariasikan jarak overlap pada sudu turbin. Turbin Savonius tipe L dengan sudu dua digunakan sebagai model, dengan tinggi turbin 800 mm dan diameter rotor 350 mm. Variasi jarak overlap yang digunakan adalah 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan. Data penelitian diperoleh melalui pengujian langsung di lapangan, dengan mengukur kecepatan rotasi turbin dan beban yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak overlap memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin. Nilai koefisien power (CoP), koefisien torsi (Cm), dan koefisien torsi statis (CTs) mencapai titik tertinggi pada jarak overlap 30 mm. Namun, ketika jarak overlap melebihi titik optimumnya, nilai-nilai ini cenderung menurun. Titik optimum tercapai pada sudut rotor turbin 90 derajat.

Kata kunci: Turbin Angin, Jarak Overlap, Kinerja

I. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, sumber energi semakin menipis, untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan solusi-solusi alternatif.(Kaomaji et al., 2009). Beberapa solusi yang banyak ditawarkan adalah pengembangan energi alternatif.(Kadam & Patil, n.d.). Ada beberapa energi alternatif yang bisa di gunakan seperti energi angin, energi matahari, energi panas bumi. Dari beberapa energi alternatif tersebut, energi angin adalah energi yang paling mudah didapatkan dan memiliki potensi yang banyak (Altan & Atilgan, 2010a). Energi angin adalah salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan dan

dalam pemanfaatannya hanya menggunakan turbin angin(Mahmoud et al., 2012). Ada beberapa jenis turbin angin yang sering digunakan yaitu turbin angin tipe vertikal dan turbin angin tipe horizontal yang keduanya memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing, turbin angin vertikal mampu beroperasi di kecepatan angin lambat tetapi tidak mampu beroperasi di kecepatan angin tinggi sehingga nilai TSR nya rendah sebaliknya turbin angin jenis horizontal hanya mampu beroperasi di kecepatan angin tinggi dan tidak mampu beroperasi di kecepatan angin rendah sehingga memiliki TSR yang lebih besar.(Mohamed et al., 2011)

Ada beberapa jenis turbin angin tipe vertikal yang saat ini banyak dikembangkan yaitu tipe turbin Savonius, Tipe turbin Darius, tipe turbin Gorlov. Dari beberapa jenis turbin ini, turbin jenis Savonius lah yang memiliki efisiensi paling rendah berdasarkan beberapa studi literatur bahwa turbin Savonius memiliki nilai C_p antara 0.08-0.2 (Sakti et al., 2019) tetapi turbin Savonius memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan turbin lain yaitu mampu berputar pada kecepatan angin rendah, biaya pembuatan relatif murah dan biaya perawatan murah.(Altan & Atilgan, 2010)

Salah satu alasan kenapa turbin jenis Savonius tidak begitu diminati oleh masyarakat karena efisiensinya yang rendah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan yaitu oleh Altan & Atilgan, 2008. Melakukan penelitian terhadap turbin angin savonius dengan dengan melakukan penambahan tirai pada desain turbin angin Savonius hasil penelitian menjelaskan bahwa dengan penambahan tirai sudut $a=45^\circ$ dan sudut $b=15^\circ$ mampu meningkatkan kinerja turbin sebesar 38 persen (Altan & Atilgan, 2008). Kemudian penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Sakti et al. melakukan penelitian pada turbin angin savonius dengan melakukan penambahan balok pengganggu yang ditempatkan di depan turbin untuk memecah aliran angin. Hasil penelitian menyatakan bahwa dengan adanya penambahan balok pengganggu dapat meningkatkan kinerja turbin sebesar 23.61 persen. (Sakti et al., 2019). Penelitian berikutnya dilakukan oleh Ully et al., 2017. Melakukan penelitian pada turbin angin Savonius dengan penambahan sudut pengarah angin yang di pasang di bagian saluran masuk angin. Hasil penelitian menyatakan bahwa dengan ditambahkan sudut pengarah angin dapat meningkatkan kinerja turbin sebesar 3 persen. (Ully et al., 2017).

Berdasarkan studi literatur dari beberapa penelitian sebelumnya bahwa kinerja turbin angin Savonius dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan beberapa komponen baru pada turbin seperti penambahan tirai, penambahan balok

pengganggu dan penambahan sudut pengarah angin tetapi dengan adanya penambahan tersebut maka akan mengubah konstruksi turbin yang membuat turbin tersebut tidak ekonomis lagi dan dalam pemasangannya menjadi lebih rumit. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka pada penelitian ini menawarkan peningkatan kinerja turbin melalui perbaikan desain sudu turbin. Adapun sudu turbin yang akan dikaji adalah model sudu tipe L sudu dua dengan variasi overlap 20 mm, 30 mm dan 40 mm dengan tinggi turbin 800mm diameter rotor 350mm.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius type L dengan memvariasikan jarak overlap. penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perbaikan kinerja turbin sehingga turbin ini layak digunakan secara luas.

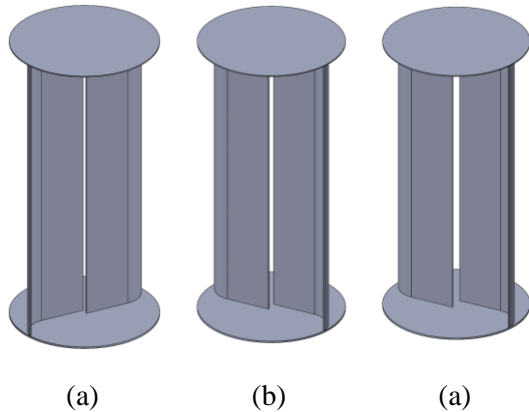
II. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan (Uniska). Instalasi Pengujian ditunjukkan pada Gambar 1



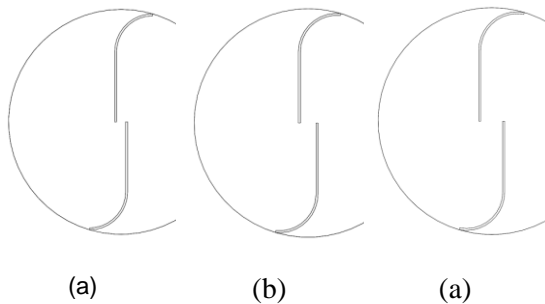
Gambar 1 Instalasi Pengujian

Geometri turbin yang di uji ditunjukkan pada gambar 2 yang disajikan dalam bentuk gambar kerja 3 dimensi



Gambar 2 bentuk geometri (a) Jarak Overlap 20 mm, (b) Jarak Overlap 30 mm dan (c) jarak overlap 40 mm

Gambar 3 menunjukkan bagian jarak overlap yang divariasikan



Gambar 3 Variasi jarak Overlap (a) Jarak Overlap 20 mm, (b) Jarak Overlap 30 mm dan (c) jarak overlap 40 mm

Spesifikasi turbin yang diuji dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1 berikut

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Savonius

Nama	Parameter	Satuan
Diameter Rotor	350	mm
Panjang sudu	800	mm
Lengkungan sudu	90	derajat
Diameter Poros	12	mm
Tebal Sudu	1.5	mm
Jenis Dudu	Tipe L	-
Material Sudu	Fiber	-
Jumlah Sudu	2	-
Jarak Overlap	20,30 dan 40	mm

Gambar 4 menunjukkan turbin angin Savonius dibuat berdasarkan spesifikasi pada tabel 1



Gambar 4 Turbin Angin Savonius sudu tipe L berdasarkan Spesifikasi pada tabel 1

Dalam penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu pertama variabel bebas adalah jarak overlap diuji pada jarak 20 mm, 30 mm dan 40 mm; sedangkan kedua adalah variabel terikat yaitu performa turbin yang dinilai dari besarnya koefisien power, koefisien torsi dan kecepatan putaran turbin; sedangkan variabel tetapnya adalah model turbin, jumlah sudu dan kecepatan angin

Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian langsung dilapangan. Adapun Beberapa data yang diambil saat pengujian adalah; kecepatan rotasi turbin (RPM) yang di ukur dengan alat tacometer dan Beban (kg) pada turbin yang di ukur dengan alat ukur timbangan digital. Kemudian untuk mendapatkan nilai torsi statisnya di lakukan perkalian antara beban tarikan turbin terhadap panjang lengan gaya pada benang tarik turbin. Beberapa kegiatan dalam pengumpulan data ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Proses Pengujian Turbin Savonius Untung mengambil data beban dan kecepatan putaran turbin

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menghitung kinerja turbin adalah sebagai berikut;

Persamaan untuk menghitung Tip Speed Ratio adalah

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

Dimana:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Dimana:

N = Kecepatan rotasi turbin

D = Diameter Turbin

U = Kecepatan Aliran Fluida

Persamaan untuk mendapatkan nilai torsi (T) adalah sebagai berikut:

$$T = (M - S)(r_{Shaft+d_r})g \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

M = Beban (kg)

S = Beban Spring Balance

r_{Shaft} = jari-jari pully/ poros

d_r = Diameter Nylon

g = Gravitasi

Persamaan Untuk menghitung nilai *Coefficient of Power (CoP)* adalah sebagai berikut:

$$CoP = \frac{(m - s)g r \omega}{\frac{1}{2} \rho AV^3} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

A = luas penampang turbin

r = jari-jari lengan torsi 0.05 m

ω = kecepatan sudut turbin

m = massa yang dapat ditarik oleh turbin

Persamaan untuk mendapatkan nilai koefisien torsi (C_m) adalah sebagai berikut:

$$C_m = \frac{CoP}{\lambda} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

CoP = *Coefficient of Power*

λ = Tip Speed Ratio

Persamaan Untuk menghitung nilai Koefisien Torsi Statis adalah sebagai berikut:

$$CtS = \frac{(m - s)g r}{\frac{1}{2} \rho AV^2} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

A = luas penampang turbin

r = jari-jari lengan torsi

ω = kecepatan sudut turbin

m = massa yang dapat ditarik oleh turbin

III. Hasil dan Pembahasan

Untuk menyelesaikan permasalahan penelitian, dilakukanlah pengujian pada berbagai model jarak overlap sudu turbin dan berbagai variasi putaran sudut turbin. Kemudian dilakukan pengukuran kinerja turbin yang meliputi putaran turbin dan beban maksimal tarikan turbin pada variasi putaran sudu, data pengujian di tunjukan pada tabel berikut:

Tabel 2 Data Pengujian Untuk Variasi Jarak Overlap 20 mm

Sudut	Massa (kg)	Gaya (N)
0	0.12	1.2
10	0.18	1.8
20	0.23	2.3
30	0.285	2.85
40	0.391	3.91
50	0.47	4.7
60	0.593	5.93
70	0.7	7
80	0.76	7.6
90	0.81	8.1
100	0.715	7.15
110	0.512	5.12
120	0.42	4.2
130	0.38	3.8
140	0.365	3.65
150	0.34	3.4
160	0.28	2.8
170	0.2	2
180	0.12	1.2

Tabel 3 Data Pengujian Untuk Variasi Jarak Overlap 30 mm

Sudut	Massa (kg)	Gaya (N)
0	0.123	1.23
10	0.21	2.1
20	0.275	2.75
30	0.38	3.8
40	0.45	4.5
50	0.565	5.65
60	0.633	6.33
70	0.73	7.3
80	0.78	7.8
90	0.84	8.4
100	0.745	7.45
110	0.565	5.65
120	0.48	4.8
130	0.41	4.1

140	0.39	3.9
150	0.381	3.81
160	0.335	3.35
170	0.221	2.21
180	0.123	1.23

Tabel 4 Data Pengujian Untuk Variasi Jarak Overlap 40 mm

Sudut	Massa (kg)	Gaya (N)
0	0.11	1.1
10	0.175	1.75
20	0.195	1.95
30	0.235	2.35
40	0.335	3.35
50	0.382	3.82
60	0.496	4.96
70	0.525	5.25
80	0.636	6.36
90	0.74	7.4
100	0.64	6.4
110	0.48	4.8
120	0.4	4
130	0.36	3.6
140	0.32	3.2
150	0.28	2.8
160	0.22	2.2
170	0.15	1.5
180	0.11	1.1

Untuk membandingkan kinerja turbin perlu dilakukan pengolahan data. Berikut adalah contoh perhitungan: Contoh perhitungan hanya dilakukan pada 1 sample pengujian, pada kasus ini contoh perhitungan yang di pakai adalah jarak overlap 20 mm. Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan udara sebagai fluida kerja dengan beberapa hal yang diasumsikan adalah aliran steady dan incompressible memiliki sehingga memiliki nilai sebagai berikut:

1. Tekanan absolut air dalam keadaan standar (P_{std}) = $1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
2. Temperatur udara dalam keadaan standar (T_{std}) = 288.2 K
3. Massa jenis udara dalam keadaan standar (ρ_{std}) = 1.23 kg/m^3

Tip Speed Ratio (λ) dihitung dengan menggunakan persamaan 1

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

Dimana:

n = Putaran turbin = 148,67 rpm

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(148,67)}{60} = 15,5608 \text{ rad/s}$$

$$R = \text{jari-jari turbin} = L/2 = 0.35 \text{ m} / 2 = 0.175 \text{ m}$$

V= Kecepatan angin = 3.8 m/s

Sehingga didapatkan nilai :

$$\lambda = \frac{(15,5608 \text{ rad/s}) \times (0,175 \text{ m})}{(3,8 \text{ m/s})} = 0,7166$$

Coefficient of Power (CoP) dihitung dengan persamaan 3

$$CoP = \frac{(m-s)g r \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$$

Dimana:

A = luas penampang turbin yang ditabrak oleh udara = L.H = 0.35m x 0.8m = 0.28 m²

r = jari-jari lengan torsi 0.05 m

ω = kecepatan sudut turbin = 15,5608 rad/s

m = massa yang dapat ditarik oleh turbin pada kondisi statis yang terbaca pada timbangan digital = 0.12 kg

Sehingga didapatkan nilai :

$$CoP = \frac{(12 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(0,05 \text{ m})(15,5608 \text{ rad/s})}{\frac{1}{2} (1,2 \text{ kg/m}^3)(0,28 \text{ m}^2)(3,8 \text{ m/s})^3}$$

$$CoP = 0.0494$$

Coefficient of Moment (C_M) dihitung dengan persamaan 4

$$C_M = \frac{CoP}{\lambda}$$

Dimana:

CoP = Coefficient of Power = 0,0494

λ = Tip Speed Ratio = 0,7166

Sehingga didapatkan nilai :

$$C_M = \frac{0,0494}{0,7166} = 0,0689$$

Koefisien Torsi Statis digitung dengan menggunakan persamaan 5

$$CtS = \frac{(m-s)g r}{\frac{1}{2} \rho A V^2}$$

Dimana:

A = luas penampang turbin air yang ditabrak oleh air = L.H = 0.35 m x 0.8 m = 0.28 m²

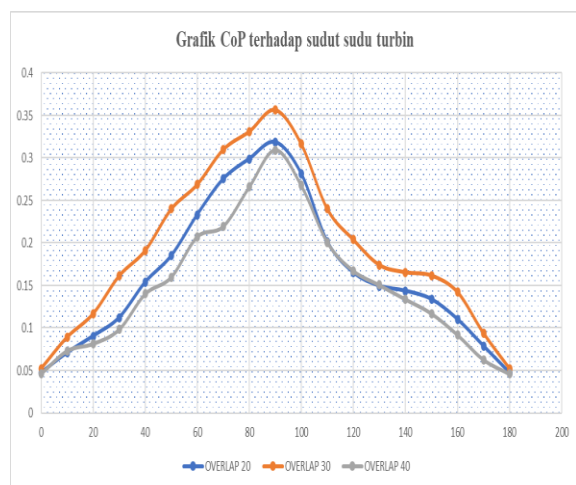
r = jari-jari lengan torsi 0.05 m

ω = kecepatan sudut turbin = 15,5608 rad/s
 m = massa yang dapat ditarik oleh turbin pada kondisi statis yang terbaca pada timbangan digital = 0.12 kg
 sehingga diperoleh nilai:

$$CTs = \frac{(12kg)(10m / s^2)(0,05m)}{\frac{1}{2}(1,2kg / m^3)(0,28m^2)(3,8m / s)^2}$$

$$CTs = 0.1379$$

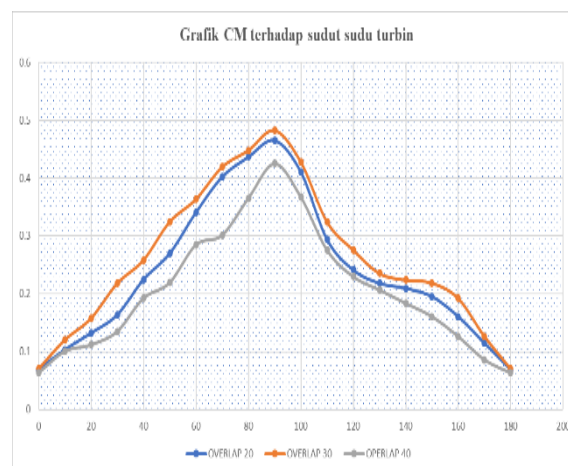
Gambar 6 adalah grafik perbandingan koefisien tenaga terhadap variasi jarak overlap. Pada gambar 6 diatas *coefficient of power (CoP)* akan semakin tinggi dengan penambahan sudut rotor turbin, kemudian *coefficient of power (COP)* turun pada saat melebihi titik optimumnya. Nilai *coefficient of power (CoP)* tertinggi pada sudut 90° dengan nilai 0,3423, pada jarak overlap 30 mm , Sedangkan nilai *coefficient of power (CoP)* terendah terdapat pada jarak overlap 40 mm. dengan nilai 0,3036. Pada keadaan ini turbin mempunyai kemampuan untuk berputar tanpa bantuan dari gaya luar.



Gambar 6 grafik perbandingan koefisien momen terhadap variasi jarak overlap

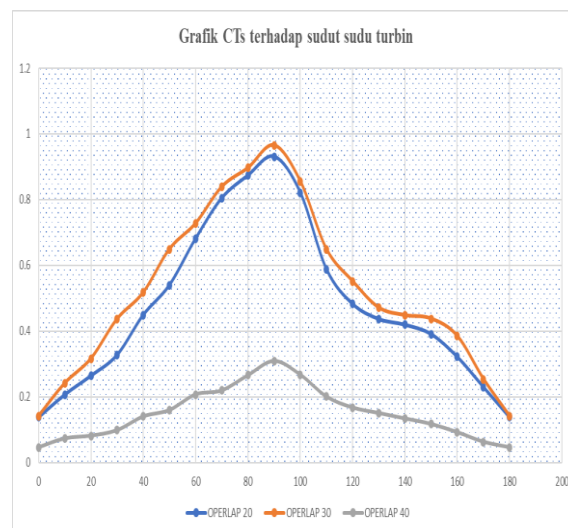
Gambar 7 adalah grafik perbandingan koefisien momen terhadap variasi jarak overlap. Pada gambar 7 *Coefficient of Moment (Cm)* akan semakin tinggi dengan penambahan sudut rotor turbin, kemudian *Coefficient of Moment (Cm)* turun pada saat melebihi titik optimumnya. Nilai *Coefficient of Moment (Cm)* tertinggi pada sudut 90o dengan nilai 0,4826, pada jarak overlap 30 mm , Sedangkan nilai

Coefficient of Moment (Cm) terendah terdapat pada jarak overlap 40 mm. dengan nilai 0,4251.



Gambar 7 grafik perbandingan koefisien momen terhadap variasi jarak overlap

Gambar 8 adalah grafik perbandingan koefisien torsi statis terhadap variasi jarak overlap. Pada gambar 8 Static Coefficient (CTs) akan semakin tinggi dengan penambahan sudut rotor turbin, kemudian Statis Coefficient (CTs) turun pada saat melebihi titik optimumnya. Nilai Statis Coefficient (CTs) tertinggi pada sudut 90o dengan nilai 0,9652, pada jarak overlap 30 mm , Sedangkan nilai Statis Coefficient (CTs) terendah terdapat pada jarak overlap 40 mm. dengan nilai 0,8503



Gambar 8 grafik perbandingan koefisien torsi statis terhadap variasi jarak overlap

Grafik 6, 7, dan 8 merupakan hasil pengamatan terhadap koefisien kinerja turbin (*Coefficient of Power - CoP*, *Coefficient of Moment - Cm*, dan *Statis Coefficient - CTs*) dalam hubungannya dengan variasi sudut rotor turbin dan jarak overlap.

Grafik 6 menggambarkan perubahan *Coefficient of Power (CoP)* dalam hubungannya dengan variasi sudut rotor turbin dan jarak overlap. CoP adalah ukuran sejauh mana turbin dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran. Hasil pengamatan menunjukkan pola tertentu. Terlihat bahwa CoP meningkat seiring dengan peningkatan sudut rotor turbin. Ini menunjukkan bahwa semakin tajam sudut rotor, turbin mampu mengambil lebih banyak energi dari angin. Ada titik optimum pada sudut tertentu (dalam kasus ini pada sudut 90 derajat), di mana CoP mencapai nilai tertinggi (0,3423). Pada sudut ini, turbin dapat mengkonversi energi angin dengan efisiensi tertinggi. Setelah mencapai sudut optimum, CoP mulai menurun dengan peningkatan sudut rotor. Ini mengindikasikan bahwa jika sudut rotor terlalu tajam, turbin akan kehilangan efisiensi dalam mengkonversi energi angin menjadi tenaga mekanis. Selain sudut rotor, grafik juga mempertimbangkan variasi jarak overlap. Nilai tertinggi CoP (0,3423) tercapai pada jarak overlap 30 mm, sementara nilai terendah (0,3036) terjadi pada jarak overlap 40 mm. Pada sudut 90 derajat dan jarak overlap 30 mm, turbin memiliki kemampuan untuk berputar tanpa bantuan dari gaya luar, menunjukkan kondisi optimal.

Grafik 7 memperlihatkan perubahan *Coefficient of Moment (Cm)* dalam hubungannya dengan variasi sudut rotor turbin dan jarak overlap. Cm mengukur momen putaran yang dihasilkan oleh turbin. Seperti pada grafik sebelumnya, Cm juga meningkat dengan peningkatan sudut rotor, mencapai nilai tertinggi (0,4826) pada sudut 90 derajat. Ini menunjukkan bahwa semakin tajam sudut rotor, turbin menghasilkan momen putaran yang lebih besar. Pada sudut 90 derajat, Cm mencapai nilai tertinggi, menunjukkan efisiensi maksimum dalam menghasilkan momen putaran. Setelah melewati sudut optimum, Cm mulai menurun dengan peningkatan sudut rotor, menandakan bahwa turbin tidak lagi menghasilkan momen putaran yang optimal. Cm juga dipengaruhi oleh jarak overlap. Nilai tertinggi (0,4826) tercapai pada jarak overlap 30 mm, sementara nilai terendah (0,4251) terjadi pada jarak overlap 40 mm.

Grafik 8 mencerminkan perubahan *Statis Coefficient (CTs)* dalam hubungannya dengan variasi sudut rotor turbin dan jarak overlap. CTs mengukur efisiensi turbin dalam menghasilkan

torsi statis. CTs meningkat seiring dengan peningkatan sudut rotor turbin, mencapai nilai tertinggi (0,9652) pada sudut 90 derajat. Ini menunjukkan bahwa semakin tajam sudut rotor, turbin mampu menghasilkan torsi statis yang lebih besar. Pada sudut 90 derajat, CTs mencapai nilai tertinggi, menandakan efisiensi maksimum dalam menghasilkan torsi statis. Setelah melewati sudut optimum, CTs mulai menurun dengan peningkatan sudut rotor, menandakan bahwa turbin tidak lagi menghasilkan torsi statis yang optimal. CTs juga dipengaruhi oleh jarak overlap. Nilai tertinggi (0,9652) tercapai pada jarak overlap 30 mm, sementara nilai terendah (0,8503) terjadi pada jarak overlap 40 mm.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Jarak Overlap mempengaruhi kinerja turbin. nilai CoP, Cm, dan CTs mencapai titik tertinggi pada jarak overlap 30 mm dan kemudian mengalami penurunan saat jarak overlap melebihi titik optimumnya. Nilai terendah terjadi pada jarak overlap 40 mm.
2. Pada jarak overlap 40 mm, nilai CoP, Cm, dan CTs mencapai nilai terendah, yang mengindikasikan bahwa turbin memiliki kemampuan terbatas untuk berputar tanpa bantuan dari gaya luar. Ini mungkin merupakan titik di mana turbin mencapai batas kemampuannya.
3. Titik optimum untuk nilai CoP, Cm, dan CTs tercapai pada sudut rotor turbin 90 derajat. Ini menunjukkan bahwa turbin mencapai kinerja maksimumnya pada sudut ini.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Islam Kalimantan yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Kompetitif Tahun Anggaran 2022/2023.

Daftar Pustaka

- Altan, B. D., & Atılgan, M. (2008). An experimental and numerical study on the improvement of the performance of Savonius wind rotor. *Energy Conversion*

- and Management*, 49(12), 3425–3432.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.08.021>
- Altan, B. D., & Atılgan, M. (2010a). The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. *Renewable Energy*, 35(4), 821–829.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.025>
- Altan, B. D., & Atılgan, M. (2010b). The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. *Renewable Energy*, 35(4), 821–829.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.025>
- Arifin, J., 2019. Desain Diffuser Turbin Air Arus Sungai untuk Meningkatkan Laju Arus Sungai. *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).
- Kadam, A. A., & Patil, S. S. (n.d.). *A Review Study on Savonius Wind Rotors for Accessing the Power Performance*.
- Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V. (2009). Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor. *Applied Energy*, 86(7–8), 1064–1073.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.019>
- Mahmoud, N. H., El-Haroun, A. A., Wahba, E., & Nasef, M. H. (2012). An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Engineering Journal*, 51(1), 19–25.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.07.003>
- Mohamed, M. H., Janiga, G., Pap, E., & Thévenin, D. (2011). Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 236–242.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.070>
- Hatradi, B., Irfansyah, M., & Puteri, P. (2021). Desain Underwater Rotor Untuk Memanfaatkan Laju Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(2), 77-82.
- Rendi, R., Hartadi, B., Firman, M., & Irfansyah, M. (2022). Peningkatan Kinerja Rotor Savonius Dengan Mengembangkan Sudu Baru Berbasis Airfoil. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(2), 08-15.
- Sakti, G., Yuwono, T., & Widodo, W. A. (2019). *Experimental and Numerical Investigation of I- 65° Type Cylinder Effect on the Savonius Wind Turbine Performance*. 19(05).
- Ully, D. N., Wuwur, B., Ginting, P., Pnk, J. M., Sucipto, J. A., & Kupang, P. (2017). *Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah Dan Variasi Jumlah Sudu Rotor Terhadap Performance Turbin Angin Savonius Tipe L. 8*.