

Analisis Pengaruh *Endplate* Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Sebagai Pembangkit Energi Listrik

Moh Yusril Nurtaufiq¹, Arifin Sanusi^{2*}, Yeremias M Pell³

^{1,2,3})Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: arifinundana@gmail.com

ABSTRAK

Energi angin dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Penggunaan *End Plate* pada turbin angin Savonius memiliki *cut in speed* yang sedikit lebih besar jika di bandingkan dengan variasi tanpa menggunakan end plate, maka angin lebih fokus diarahkan melalui turbin. Jika tanpa menggunakan end plate, maka arah angin lebih lebihmenyebar. Dari latar belakang utama tentang pengujian *end plate* maka melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *End Plate* Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Sebagai Pembangkit Energi Listrik”. Hasil pengujian menunjukan bahwa dengan kecepatan angin yang sama dapat menghasilkan putaran turbin lebih besar jika menggunakan endplate dibandingkan tanpa menggunakan endplate, dari hasil penelitian pada kecepatan angin yang sama 6,1 m/s menghasilkan putaran rotor sebesar 652,5 rpm, Tip Speed Ratio 0,8, coefisien daya 0,5. Pada turbin menggunakan endplate hasil ini lebih besar dari turbin tanpa endplate sebesar 488,9 rpm, Tip Speed Ratio 0,4, coefisien daya 0,2. Efisiensi pembangkit menggunakan endplate lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan endplate. Yaitu efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 13,76% pada kecepatan angin 3,8 m/s. Sedangkan tanpa menggunakan endplate efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 7,06% pada kecepatan angin 3,5 m/s.

ABSTRACT

Wind energy can be used to drive turbines which then drive generators to generate electricity. The use of End Plates on Savonius wind turbines has a slightly larger cut-in speed when compared to variations without using end plates, so the wind is more focused on being directed through the turbine. If without using an end plate, the wind direction is more spread out. From the main background of end plate testing, a study was conducted entitled "The Effect of End Plates on the Performance of Savonius Wind Turbines as Electric Power Generators". The test results show that with the same wind speed, it can produce greater turbine rotation if using an endplate compared to without using an endplate, from the results of the study at the same wind speed of 6.1 m / s it produces a rotor rotation of 652.5 rpm, Tip Speed Ratio 0.8, power coefficient 0.5. In the turbine using endplate, this result is greater than the turbine without endplate by 488.9 rpm, Tip Speed Ratio 0.4, power coefficient 0.2. The efficiency of the generator using endplate is better than without using endplate. Namely the maximum efficiency produced is 13.76% at a wind speed of 3.8 m/s. While without using endplate the maximum efficiency produced is 7.06% at a wind speed of 3.5 m/s.

Keywords: Energy Resources; Wind Energy; Savonius Wind Turbine; Endplate; Generator Efficiency

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya energi yang paling banyak digunakan adalah jenis sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui. Jenis sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui apabila dipakai terus menerus dan tidak adanya pembaharuan lambat laun pasti akan habis. Sadar hal ini akan terjadi, tuntutan untuk semakin mengubah kebiasaan tersebut semakin besar. Manusia dituntut untuk beralih menuju sumber daya energi alternatif lain yang dapat digunakan terus-menerus dalam

jangka panjang. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dijadikan alternatif adalah energi angin. Angin merupakan sumber energi terbarukan yang ketersediaannya sangat melimpah, dapat diperbaharui, dan tidak menimbulkan polusi udara serta ramah lingkungan.

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) angin yang sangat melimpah (Dwisari dkk, 2023). Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik dengan sistem konversi energi angin menggunakan turbin angin bekerja dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik melalui generator. Sementara itu, untuk saat ini pemanfaatan turbin angin di Indonesia masih kurang dan belum mendapatkan perhatian yang serius (Lubis, 2018).

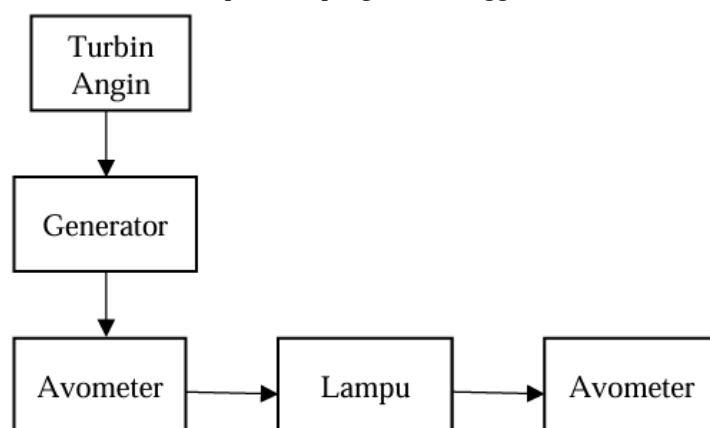
Pada daerah tertentu pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja turbin sangat diperhatikan untuk menjamin putaran rotor stabil, Putaran dari rotor turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin Angin Savonius ini memiliki efisiensi yang rendah di bandingkan dengan turbin sumbu horizontal sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius. Kinerja turbin Savonius dapat ditingkatkan dengan menambahkan peralatan tambahan pada Rotor turbin. Penambahan *obstacle* dan *curtine* dapat meningkatkan kinerja turbin angin Savonius, namun membuat konstruksi turbin menjadi kompleks (Silitonga, A. S., & Ibrahim, 2020).

Penggunaan *End Plate* memiliki *cut in speed* yang sedikit lebih besar jika di bandingkan dengan variasi tanpa menggunakan end plate dikarenakan jika dengan menggunakan *end plate*, maka angin lebih fokus diarahkan melalui turbin. Jika tanpa menggunakan end plate, maka arah angin lebih lebih menyebar. Dari latar belakang utama tentang pengujian *end plate* maka melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *End Plate* Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Sebagai Pembangkit Energi Listrik”.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 3 bulan. Proses perakitan dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Cendana Kupang, untuk pengujian alat dilakukan di Desa Baumata, Kabupaten Kupang Nusa Tenggara Timur.



Gambar 1. Diagram Blok Alat

2.2 Desain Turbin Savonius



Gambar 2. Turbin Savonius 2 Sudu

2.3 Tahapan Pengujian

1. Pengecekan semua komponen dengan seksama.
2. Mengukur kecepatan angin.
3. Pengujian turbin angin menggunakan end plate. Avometer
4. Mengukur kecepatan angin setiap 1 jam mulai dari pukul 08.00-17.00 Wita.
5. Mengukur putaran poros pada turbin savonius menggunakan alat Handtachometer.
6. Mengukur tegangan (V) dan arus (A) yang keluar menggunakan alat ukur multimeter.
7. Memastikan lampu untuk dapat hidup/mati menggunakan energi listrik DC dari turbin angin savonius 2 sudu.
8. Menyambungkan daya listrik DC ke beban 1 dan 2 buah lampu 5 watt.
9. Selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Penelitian ini dilakukan di Desa Baumata, Kabupaten Kupang dengan menggunakan turbin angin Savonius 2 sudu, menggunakan variasi endplate dan tanpa menggunakan endplate. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa turbin menggunakan endplate dan tanpa menggunakan endplate, data awal yang dikumpulkan yaitu sebagai berikut:

1. Kecepatan Angin (m/s)
2. Putaran Rotor (rpm)

Dari data kecepatan angin (m/s) dan putaran rotor yang diambil digunakan untuk mencari performa turbin sebagai berikut:

1. Daya angin (Watt)
2. Gaya drag (N)
3. Torsi (N.m)
4. Kecepatan sudut (Rad/s)
5. Daya mekanik (Watt)

6. Tip Speed Ratio (TSR)
7. Coefisien Daya (Cp)
8. Efisiensi Pembangkit.

Pada output pengukuran turbin diukur tegangan (volt) dan kuat arus (ampere) dan daya (watt) menggunakan alat ukur watt meter. Hasil pengujian performa turbin menggunakan endplate dan tanpa menggunakan endplate dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 sebagai berikut.

Tabel 1. Performa turbin menggunakan endplate

No	Kecepatan angin (m/s)	n1 (rpm)	n2 (rpm)	Daya angin (Watt)	Fd (N)	Torsi (N.m)	Kecepatan Sudut (Rad/s)	Daya Mekanik (Watt)	TSR	Cp	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Efisiensi
1	6,1	652,5	65,3	312,81	28,20	21,15	6,8	144,5	0,8	0,5	0,91	16,11	14,7	4,69%
2	5,9	621,6	62,2	283,04	26,38	19,79	6,5	128,8	0,8	0,5	0,86	14,77	12,7	4,49%
3	5,6	592,2	59,2	242,02	23,77	17,83	6,2	110,6	0,8	0,5	0,83	14,67	12,2	5,03%
4	5,4	576,8	57,7	217,01	22,10	16,58	6,0	100,1	0,8	0,5	0,81	14,65	11,9	5,47%
5	5,1	550,3	55	182,81	19,71	14,79	5,8	85,2	0,8	0,5	0,79	14,38	11,4	6,21%
6	4,8	540,7	54,1	152,41	17,46	13,10	5,7	74,2	0,9	0,5	0,77	14,37	11,1	7,26%
7	4,4	536,1	53,6	117,39	14,67	11,01	5,6	61,8	1,0	0,5	0,76	14,35	10,9	9,29%
8	4,2	512,1	51,2	102,10	13,37	10,03	5,4	53,8	1,0	0,5	0,75	14,3	10,7	10,50%
9	4	494,6	49,5	88,20	12,13	9,10	5,2	47,1	1,0	0,5	0,74	14,27	10,6	11,97%
10	3,8	480,2	48	75,62	10,95	8,21	5,0	41,3	1,0	0,5	0,73	14,25	10,4	13,76%

Tabel 2. Performa Turbin Tanpa Menggunakan Endplate

No	Kecepatan angin (m/s)	n1 (rpm)	n2 (rpm)	Daya angin (Watt)	Fd (N)	Torsi (N.m)	Kecepatan Sudut (Rad/s)	Daya Mekanik (Watt)	TSR	Cp	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Efisiensi
1	9,6	488,9	48,9	1219,28	69,85	52,39	5,1	268,2	0,4	0,2	0,96	15,3	14,69	1,20%
2	8,6	453,8	45,4	876,56	56,06	42,04	4,8	199,8	0,4	0,2	0,87	14,7	12,79	1,46%
3	8,3	405,3	40,5	787,99	52,22	39,16	4,2	166,2	0,4	0,2	0,82	14,4	11,81	1,50%
4	7,6	387,5	38,8	604,96	43,78	32,84	4,1	133,2	0,4	0,2	0,76	13,9	10,56	1,75%
5	7,4	353,8	35,4	558,45	41,51	31,13	3,7	115,3	0,4	0,2	0,72	13,3	9,58	1,71%
6	6,9	324,4	32,4	452,73	36,09	27,07	3,4	91,9	0,4	0,2	0,61	13,2	8,05	1,78%
7	6,3	311,9	31,2	344,60	30,08	22,56	3,3	73,7	0,4	0,2	0,57	12,4	7,07	2,05%
8	4,7	265,6	26,6	143,08	16,74	12,56	2,8	34,9	0,4	0,2	0,45	12,2	5,49	3,84%
9	4,3	245,3	24,5	109,57	14,01	10,51	2,6	27,0	0,4	0,2	0,41	11,6	4,76	4,34%
10	3,5	219,6	22	59,09	9,29	6,96	2,3	16,0	0,5		0,39	10,7	4,17	7,06%

3.2 Hasil Pembuatan Alat

Hasil perancangan alat dilakukan menggunakan software solidworks 2021 sebagai bahan acuan pembuatan turbin angin, hasil perancangan tersebut dapat dilihat pada gambar 1 Hasil desain tersebut digunakan sebagai bahan acuan dalam pembuatan turbin angin yang dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut :



(a) Tanpa Endplate



(b) Menggunakan endplate

Gambar 1. Turbin angin savonius 2 sudu

Spesifikasi turbin angin savonius menggunakan endplate dan tanpa menggunakan endplate sebagai berikut:

1. Tinggi: 4 Meter
2. Diameter: 5–10 Meter
3. Material Endplate: Alumunium
4. Bentuk Endplate: Elips
5. Diameter Endplate: 2 Meter
6. Tebal Endplate: 8 Mm

3.3 Analisis Data

Analisis data untuk mengetahui performa turbin angin Savonius dua sudu menggunakan endplate dan tanpa menggunakan endplate, data yang digunakan pada analisis ini menggunakan data kecepatan angin 6,1 m/s sebagai contoh. Hasil analisis data performa turbin sebagai berikut :

1. Daya Angin (P_{in})

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$
$$P_{in} = \frac{1}{2} 1,225 \times 2,25 \times 6,1^3$$
$$P_{in} = 312,81 \text{ Watt}$$

2. Gaya Drag (F_d)

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2$$
$$F_d = \frac{1}{2} \times 1,1 \times 1,225 \times 6,1^2$$
$$F_d = 28,20 \text{ N}$$

3. Torsi

$$T = F_d \cdot R$$
$$T = 28,20 \text{ N} \times 0,75 \text{ m}$$
$$T = 21,25 \text{ N.m}$$

4. Kecepatan sudut (ω)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$
$$\omega = \frac{2\pi \times 65,25}{60}$$
$$\omega = 6,8 \text{ Rad/s}$$

5. Daya Mekanik Turbin

$$P_{out} = T\omega$$
$$P_{out} = 21,15 \text{ N.m} \times 6,8 \text{ rad/s}$$
$$P_{out} = 144,5 \text{ Watt}$$

6. Tip Speed Ratio (TSR)

$$\lambda = \frac{\omega D}{2V}$$
$$\lambda = \frac{6,8 \times 1,5}{2 \times 6,1}$$
$$\lambda = 0,8$$

7. Koefisien Daya (C_p)

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$
$$C_p = \frac{144,5 \text{ Watt}}{312,81 \text{ Watt}}$$
$$C_p = 0,5$$

Efisiensi pembangkit adalah ukuran seberapa efektif suatu sistem pembangkit energi dapat mengubah energi input angin menjadi energi output yang berguna (listrik). Efisiensi pembangkit dihitung dengan membandingkan energi output yang dihasilkan dengan energi input yang digunakan. Hasil perhitungan efisiensi pembangkit adalah sebagai berikut:

$$Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$
$$Eff = 14,7 \text{ } 312,81$$
$$Eff = 4,6\%$$

Hasil analisis perhitungan data kecepatan angin (m/s) dan Putaran rotor (rpm) yang terukur dianalisis secara teoritis berupa torsi (N.m), Tip Speed Ratio (TSR) dan Coefisien Daya (C_p) diatas dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah.

3.4 Grafik Hubungan antara Torsi dan TSR

Pada grafik karakteristik torsi terhadap putaran seperti pada gambar 4 diperoleh data torsi yang selalu turun ketika kecepatan angin rendah, hal ini terjadi pada kedua pengujian ketika turbin angin menggunakan enplate dan tanpa menggunakan endplate. Pada kecepatan angin menggunakan enplate 6,1 m/s torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 21,15 Nm. Kemudian kecepatan angin rendah 3,8 m/s torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 5 Nm. Kemudian kecepatan tanpa menggunakan enplate tertinggi 9,6 m/s torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 52,39 Nm. Untuk kecepatan angin rendah 3,5 m/s torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 6,96 Nm. Semakin tinggi putaran maka semakin kecil nilai Torsi. Dari grafik tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Tabel 3. Analisis Hasil Perhitungan Performa Turbin menggunakan Endplate

No	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (Rpm)		Torsi (N.m)	Daya Mekanik (Watt)	Tip Speed Ratio (Tsr)	Koefisien Daya (Cp)
		(n1)	(n2)				
1	6,1	652,5	65,3	21,15	144,5	0,8	0,5
2	5,9	621,6	62,2	19,79	128,8	0,8	0,5
3	5,6	592,2	59,2	17,83	110,6	0,8	0,5
4	5,4	576,8	57,7	16,58	100,1	0,8	0,5
5	5,1	650,3	65	14,79	100,7	1,0	0,6
6	4,8	540,7	54,1	13,10	74,2	0,9	0,5
7	4,4	536,1	53,6	11,01	61,8	1,0	0,5
8	4,2	512,1	51,2	10,03	53,8	1,0	0,5
9	4	494,6	49,5	9,10	47,1	1,0	0,5
10	3,8	480,2	48	8,21	41,3	1,0	0,5

Tabel 4. Analisis Hasil Perhitungan Performa Turbin tanpa menggunakan Endplate

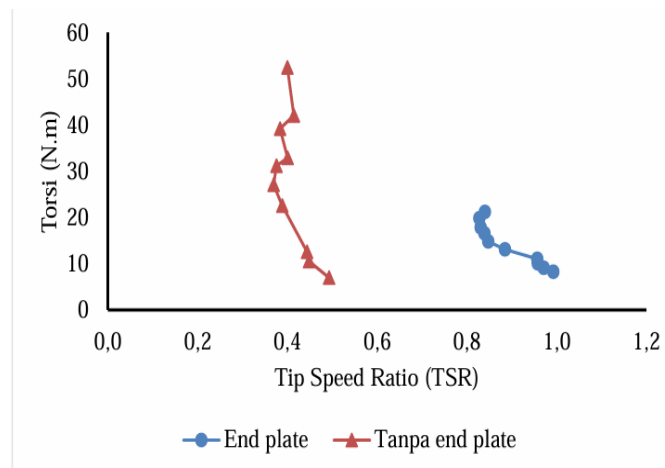
No	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (Rpm)		Torsi (N.m)	Daya Mekanik (Watt)	Tip Speed Ratio (Tsr)	Koefisien Daya (Cp)
		(n1)	(n2)				
1	9,6	488,9	48,9	52,39	268,2	0,4	0,2
2	8,6	453,8	45,4	42,04	199,8	0,4	0,2
3	8,3	405,3	40,5	39,16	166,2	0,4	0,2
4	7,6	387,5	38,8	32,84	133,2	0,4	0,2
5	7,4	353,8	35,4	31,13	115,3	0,4	0,2
6	6,9	324,4	32,4	27,07	91,9	0,4	0,2
7	6,3	311,9	31,2	22,56	73,7	0,4	0,2
8	4,7	265,6	26,6	12,56	34,9	0,4	0,2
9	4,3	245,3	24,5	10,51	27,0	0,4	0,2
10	3,5	219,6	22	6,96	16,0	0,5	0,3

Tabel 5. Pengujian Daya (Watt) tanpa menggunakan endplate

Tip Speed Ratio (TSR)		Kuat Arus (A)		Tegangan (Volt)		Daya (Watt)	
Enplate	Tanpa Enplate	Enplate	Tanpa Enplate	Enplate	Tanpa Enplate	Enplate	Tanpa Enplate
0,8	0,4	0,91	0,96	16,11	15,3	14,7	14,69
0,8	0,4	0,86	0,87	14,77	14,7	12,7	12,79
0,8	0,4	0,83	0,82	14,67	14,4	12,2	11,81
0,8	0,4	0,81	0,76	14,65	13,9	11,9	10,56
1,0	0,4	0,79	0,72	14,38	13,3	11,4	9,58
0,9	0,4	0,77	0,61	14,37	13,2	11,1	8,05
1,0	0,4	0,76	0,57	14,35	12,4	10,9	7,07
1,0	0,4	0,75	0,45	14,3	12,2	10,7	5,49
1,0	0,4	0,74	0,41	14,27	11,6	10,6	4,76
1,0	0,5	0,73	0,39	14,25	10,7	10,4	4,17

Tabel 6. Kecepatan angin (m/s) terhadap Efisiensi Turbin (%)

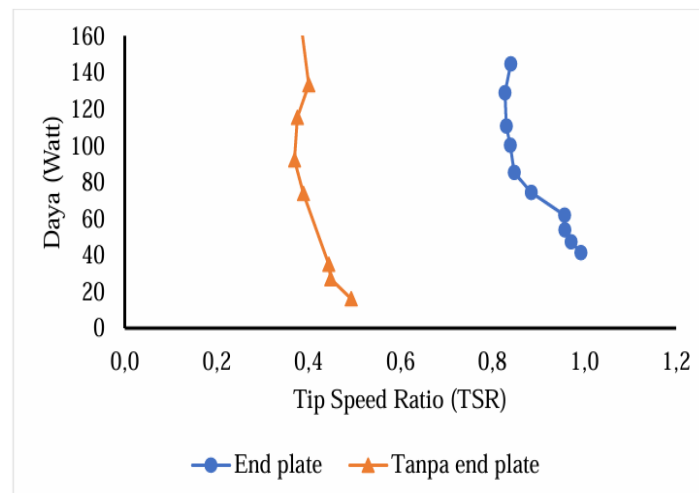
Kecepatan Angin (m/s)		Tip Speed Ratio (TSR)		Efisiensi (%)	
Enplate	Tanpa Enplate	Enplate	Tanpa Enplate	Enplate	Tanpa Enplate
6,1	9,6	0,8	0,4	4,6	1,20
5,9	8,6	0,8	0,4	4,49	1,46
5,6	8,3	0,8	0,4	5,03	1,50
5,4	7,6	0,8	0,4	5,47	1,75
5,1	7,4	1,0	0,4	6,21	1,71
4,8	6,9	0,9	0,4	7,26	1,78
4,4	6,3	1,0	0,4	9,29	2,05
4,2	4,7	1,0	0,4	10,50	3,84
4	4,3	1,0	0,4	11,97	4,34
3,8	3,5	1,0	0,5	13,76	7,06



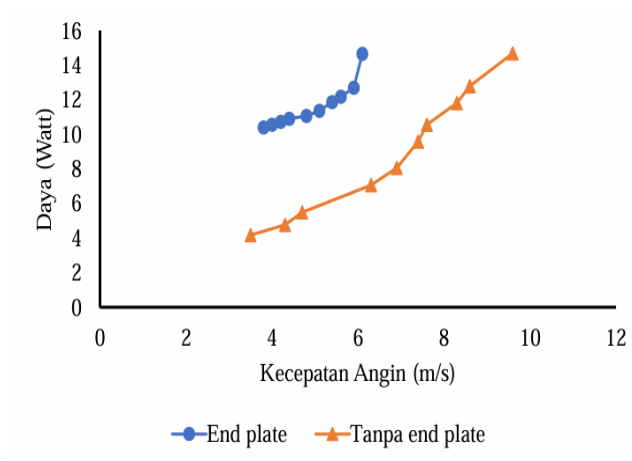
Gambar 2. Grafik hubungan TSR dan Torsi

3.5 Grafik Hubungan Daya Mekanik (Watt) Terhadap Putaran (RPM)

Pada grafik karakteristik daya mekanik terhadap putaran seperti pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa pada kecepatan angin 6,1 m/s daya mekanik maksimum yang dihasilkan sebesar 144,5 Watt (Turbin menggunakan Endplate). Kemudian dari Tabel 3 juga dapat diketahui kecepatan angin rendah 3,8 m/s daya maksimum yang dihasilkan sebesar 41,3 Watt. Sedangkan kecepatan tinggi 9,6 m/s (Turbin tanpa menggunakan Endplate) daya mekanik maksimum yang dihasilkan sebesar 268,2 Watt, dan pada kecepatan angin rendah 3,5 m/s menghasilkan daya mekanik turbin 16 watt. Dari grafik tersebut juga dapat disimpulkan semakin tinggi putaran akan semakin tinggi daya mekanik yang dihasilkan. Ketika telah mencapai daya mekanik maksimum maka ketika bertambahnya putaran akan membuat daya mekanik yang dihasilkan semakin kecil. Dan juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka daya mekanik juga akan semakin besar.



Gambar 3. Hubungan Tip Speed Ratio (TSR) dengan Daya (Watt)



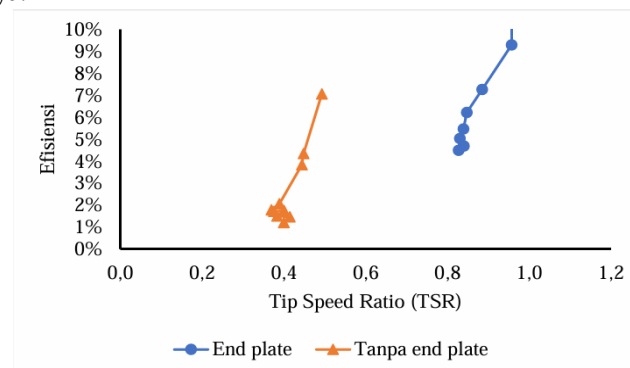
Gambar 4. Kecepatan Angin (m/s) terhadap Daya (Watt)

3.6 Hubungan C_p dan TSR

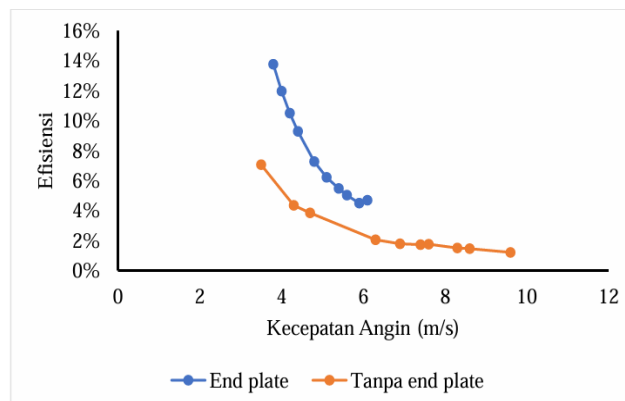
Pada karakteristik C_p terhadap TSR seperti pada Tabel 3 diketahui bahwa pada kecepatan angin tertinggi 6,1 m/s (turbin menggunakan endplate) C_p maksimum yang dihasilkan sebesar 0,5. Kemudian kecepatan angin rendah 3,8 m/s C_p maksimum yang dihasilkan sebesar 0,5. Untuk kecepatan angin 9,6 m/s (turbin tanpa menggunakan endplate) C_p maksimum yang dihasilkan sebesar 0,2. Pada kecepatan angin rendah 3,5 m/s torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 0,5. Dari Tabel 3 tersebut juga dapat disimpulkan semakin tinggi TSR akan semakin tinggi C_p yang dihasilkan. Ketika telah mencapai C_p maksimum maka ketika bertambahnya TSR akan membuat C_p yang dihasilkan semakin kecil. C_p turbin terbaik yaitu pada kecepatan 6,1 m/s.

3.7 Grafik TSR terhadap Efisiensi Pembangkit

Pada grafik karakteristik TSR terhadap Efisiensi pembangkit seperti pada gambar 7 dapat diketahui bahwa pada efisiensi tertinggi turbin yang menggunakan endplate sebesar 13,76% dengan TSR sebesar 0,8. Sedangkan efisiensi pembangkit tanpa menggunakan endplate hanya sebesar 7,06% dengan TSR sebesar 0,5. Hal ini dipengaruhi daya mekanik dan Daya angin yang dihasilkan ketika daya mekanik yang dihasilkan semakin besar maka efisiensi pembangkit juga semakin besar begitupun sebaliknya.



Gambar 5. Tip Speed Ratio (TSR) terhadap Efisiensi (%)



Gambar 6. Kecepatan Angin (m/s) terhadap Efisiensi pembangkit (%)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Dengan kecepatan angin yang sama dapat menghasilkan putaran turbin lebih besar jika menggunakan endplate dibandingkan tanpa menggunakan endplate, dari hasil penelitian pada kecepatan angin yang sama 6,1 m/s menghasilkan putaran rotor sebesar 652,5 rpm, Tip Speed Ratio 0,8, coefisien daya 0,5. Pada turbin menggunakan endplate hasil ini lebih besar dari turbin tanpa endplate sebesar 488,9 rpm, Tip Speed Ratio 0,4, coefisien daya 0,2.
2. Efisiensi pembangkit menggunakan endplate lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan endplate. Yaitu efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 13,76% pada kecepatan angin 3,8 m/s. Sedangkan tanpa menggunakan endplate efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 7,06% pada kecepatan angin 3,5 m/s.

4.2 Saran

1. Putaran rotor perlu diperhatikan untuk koefisien daya (CP) yang lebih tinggi. Hal tersebut sangat berpengaruh terhadap performa turbin dan efesiensi pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adlie, T. A., Amir, F., & Effendi, Z. (2015). Analisa biaya pembuatan turbin angin sumbu horizontal di wilayah pesisir kota langsa. *Jurutera-Jurnal Umum Teknik Terapan*, 2(02), 1-7.
- [2]. Afungchui, D., Kamoun, B., & Helali, A. (2014). Vortical Structures in the Wake of the Savonius Wind Turbine by the Discrete Vortex Method. *Renewable Energy*, 174 179.
- [3]. Alit, I. B., Nurchayati, N., & Pamuji, S. H. (2016). Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2).
- [4]. Amsor, R. M., & Iskandar, R. (2017). Performansi Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius 2 Tingkat Untuk Pengisian Baterai Sebagai Penerangan Lampu Perahu Nelayan Kota Padang. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 1(1), 9-19.
- [5]. Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376- 384.
- [6]. Fuadi, A. (2022). Karakterisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tipe Vertikal Darrieus Dengan Kapasitas 160 Watt (Doctoral dissertation, Universitas Nasional).

- [7]. Hilda, L., Lubis, R., & Replita, R. (2019). Pemanfaatan kotoran sapi dalam mewujudkan desa mandiri energi untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat Desa Sijung Kang Kabupaten Tapanuli Selatan.
- [8]. Kosasih, D. P. (2018). Pengaruh variasi larutan elektrolite pada accumulator terhadap arus dan tegangan. *MESA (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Teknik Arsitektur)*, 2(2), 33-45.
- [9]. Lubis, Z. (2018). Metode baru merancang sistem mekanis kincir angin pembangkit listrik tenaga angin. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 3(3), 163-166.
- [10]. Naitio, Ironis R., Arifin Sanusi, and Nurhayati. "Analisis Potensi Angin Sebagai Sumber Penggerak Turbin Angin Savonius Di Kabupaten Timor Tengah Selatan 38 Performa Turbin dengan Rasio S/D= 1, 6 dan d/D= 0, 5. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), B59-B64.
- [11]. Maulana, E., Djatmiko, E., Mahandika, D., & Putra, R. C. (2021). Perancangan Pembangkit listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U
- [12]. Muttaqin, I., & Suprpto, M. (2021). Pembuatan turbin angin savonius bertingkat berbahan aluminium. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management (JIEOM)*, 4(1).
- [13]. Napitupulu, F. H., & Siregar, S. (2013). Perancangan turbin vertikal axis savonius dengan menggunakan 8 buah sudu lengkung. *Jurnal Dinamis*, 1(13), 24-36.
- [14]. Nurdianto, A., & Haryudo, S. I. (2020). Rancang bangun prototype pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin angin savonius. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1).
- [15]. Pahlevi, R. (2015). Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [16]. Rifqi R. (2022). Perancangan Alat Skala Lab. Turbin Angin Poros Horizontal Terhadap Kecepatan Angin Rendah (Doctoral dissertation, 021008 Universitas Tridianti Palembang).
- [17]. Rizianiza, I., & Herfandi, D. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Daya pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Rotor Crossflow untuk Optimalisasi Angin di Wilayah Pantai Kota Balikpapan. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(2), 179-186.
- [18]. Saputra, M. (2016). Kajian literatur sudu turbin angin untuk skala k udahecepatan anginrendah. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 2(2).
- [19]. Shuhufam, A., & Yuwono, T. Y. (2021). Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Sirkular di Depan Returning Blade Turbin pada Jarak S/D= 2, 6. *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)*, 9(2), B22 B27.
- [20]. Silitonga, A. S., & Ibrahim, H. (2020). Buku ajar energi baru dan terbarukan. Deepublish.
- [21]. Yunginger, R., & Nawir, N. S. (2015). Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Di Gorontalo. *Univ. Negeri Gorontalo*, 15, 1-1