

ANALISA KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TANPA DAN DENGAN PENAMBAHAN VERTICAL STATOR

PERFORMANCE ANALYSIS OF SAVONIUS WIND TURBINE WITHOUT AND WITH VERTICAL STATOR ASSEMBLY

Subagyo¹ dan Basir¹

¹BBTA3 BPPTeknologi, Telp.021-7560902, Fax.021-7560901, Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Indonesia

subagyo@bppt.go.id

Abstrak

Hampir semua negara di dunia mempunyai kebutuhan energi untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur. Sumber energi seperti minyak bumi, gas alam, cadangan batubara semakin menipis dan suatu hari nanti akan habis. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi baru dan terbarukan seperti energi angin yang secara alami ada di sekitar kita dan terus-menerus ada. Penggunaan kincir angin hingga saat ini di negara berkembang dapat dikatakan masih dalam tahap yang sangat awal dan masih sedikit untuk ditemukan. Oleh karena itu Balai Besar Teknologi Aerodinamika Aeroelastika dan Aeroakustika (BBTA3), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) melakukan penelitian turbin angin yang disesuaikan dengan karakteristik dan kondisi angin di negara tropis. Turbin angin dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan berbagai keperluan seperti: penerangan, pompa air, dan proses yang berkaitan dengan penggunaan energi mekanik. Turbin angin juga ramah lingkungan sebagai pembangkit listrik, sumber energi baru dan terbarukan. Makalah ini membahas Analisis Kinerja Turbin 6 Blade Savonius angin dengan dan tanpa *Vertical Stator Assembly* (VSA).

Kata kunci: Sumber energi, energi terbarukan, turbin angin, analisa kinerja.

Abstract

Almost all of the countries in the world are needs energy to increase economic growth and infrastructure development. Energy resources such as petroleum, natural gas, coal reserves dwindling and someday could run out; therefore it takes the resources of new and renewable energy such as wind energy that naturally there are around us and constantly there. The use of windmills until today in the development country can be said to be still in a very early stage and is still a bit to find. Therefore National Laboratory for Aerodynamics Aero-elastics and Aero-acoustics Technology (BBTA3), Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT) conducting research several types of wind turbines are adapted to the characteristics and wind conditions in tropical country. Wind turbines can be used to power plants and various purposes such as; lighting, water pumps, and processes relating to the use of mechanical energy. Wind turbines are also environmentally friendly as power plants, sources of new and renewable energy. This paper discussed Performance Analysis of 6 Blade Savonius Wind Turbine with and without Vertical Stator Assembly (VSA).

Keywords: Energy resources, renewable energy, wind turbines, performance analysis.

1. PENDAHULUAN

Energi adalah sebuah sumber daya yang dimanfaatkan untuk menjalankan kegiatan perpindahan, produksi, edukasi, pengkondisian dan segala aspek yang dapat meningkatkan pemenuhan kebutuhan manusia. Ada dua sumber energi yang tersedia di alam yakni sumber energi konvensional dan sumber energi baru dan terbarukan (EBT). Sumber energi konvensional seperti minyak bumi, gas, batubara sangat terbatas ketersediaanya. Dengan kondisi seperti itu penggunaan EBT merupakan solusi yang

diharapkan. EBT diharapkan mampu mensubstitusi kebutuhan energi yang semakin meningkat. Energi Angin Angin adalah udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain karena perbedaan tekanan dan temperatur. Perpindahan udara ini mengandung adanya energi kinetik yang cukup potensial untuk diambil dari alam mengingat angin hampir selalu bertiup apalagi bila kita berada di tepi pantai akan merasakan setiap saat hembusannya. Besar energi yang terkandung oleh angin yang melalui luas A dengan kecepatan V adalah sebesar $1/2\rho AV^3$.

Wahana untuk menangkap energi angin yang paling populer adalah dengan turbin angin. Energi angin yang bertiup disekitar kita tidak dapat 100% ditangkap oleh turbin angin. Pengambilan energi angin bergantung juga pada efisiensi dari turbin angin yang dirancang. Efisiensi maksimum turbin angin berdasarkan analisa analitik adalah sebesar 0.593 yang dinamakan Betz limit [1]. Perancangan turbin angin meliputi beberapa aspek penting diantaranya adalah perancangan sudu, perancangan alternator, perancangan tiang, pemilihan baterai penyimpan dan perancangan penggabungan dengan EBT panel surya dan pembangkit disel. Sistem penggabungan seperti ini agar pasokan listrik benar-benar terjamin kelangsungannya. Sistem gabungan ini dilengkapi dengan switch otomatis sesuai dengan kondisi di lapangan. Misalnya pada saat malam hari angin masih bertiup maka pasokan listrik berasal dari turbin angin dan apabila juga angin tidak bertiup maka pembangkit disel dinyalakan secara otomatis hingga ada angin bertiup dan hari sudah berganti siang.

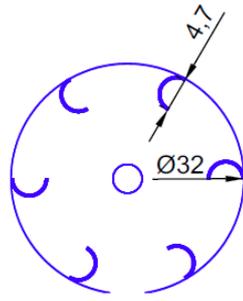
Turbin angin dewasa ini dibagi dalam dua jenis berdasarkan pada arah sumbu putarnya. Dua jenis turbin angin yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan Vertikal (VAWT). HAWT mempunyai tips speed ratio $\lambda = \omega R/V = 5$ s/d 8 sedangkan VAWT memiliki wilayah kerja dengan $\lambda = 1$ s/d 2. Pemasangan HAWT sudah sangat luas di negara-negara Eropa, Amerika dan China. Tabel 1 menunjukkan perkembangan penggunaan turbin angin HAWT dan listrik yang dihasilkan di dunia [2].

Tabel 1 Perkembangan Turbin Angin yang terpasang di berbagai Negara di dunia

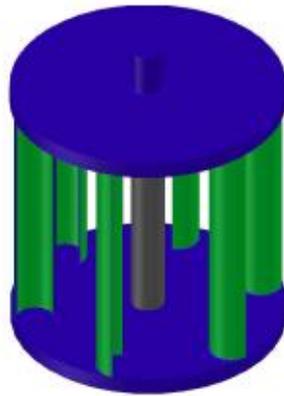
Nation	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
China	1266	2599	5912	12,210	25,104	44,733	62,733
USA	9149	11,603	16,819	25,170	35,159	40,200	46,919
Germany	18,428	20,622	22,247	23,903	25,777	27,214	29,060
Spain	10,028	11,630	15,145	16,740	19,149	20,676	21,674
India	4430	6270	7850	9587	10,925	13,064	16,084
France	779	1589	2477	3426	4410	5660	6800
Italy	1718	2123	2726	3537	4850	5797	6747
UK	1353	1963	2389	3288	4070	5203	6540
Canada	683	1460	1846	2369	3319	4008	5265
Portugal	1022	1716	2130	2862	3535	3702	4083
Rest of world	10,168	12,576	14,386	18,096	21,601	27,380	32,446
Total	59,024	74,151	93,927	121,188	157,899	197,637	238,351

Perkembangan penggunaan turbin angin sebagai pembangkit listrik di berbagai negara sangat pesat. Terutama China pada tahun 2005 hanya terpasang dengan daya hanya 1266 MW sedangkan pada tahun 2011 sudah terpasang daya sebesar 63733 MW.

Kecepatan angin rata-rata di Indonesia yang berkisar antara 2 m/detik hingga 5 m/detik perlu memilih jenis turbin angin yang sesuai. Jenis turbin angin yang dapat berputar pada kecepatan angin tersebut adalah jenis turbin angin sumbu *vertical* yakni turbin Savonius. Gambar 1 menunjukkan tampilan tampak atas turbin angin Savonius 3 Dimensi dengan 6 bilah dan gambar 2 menunjukkan turbin angin Savonius 3 Dimensi dengan 6 bilah.

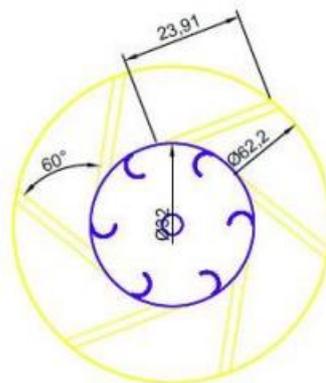


Gambar 1. Turbin angin Savonius 6 sudu (tampak atas).

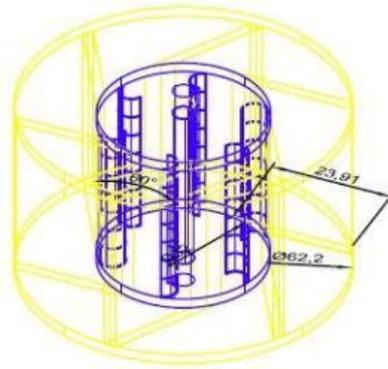


Gambar 2. Turbin angin Savonius 6 sudu (perspektif).

Penelitian untuk meningkatkan kinerja turbin angin tipe Savonius seperti menambahkan deflector, korden, stator, menyusun 2 atau lebih sudu Savonius [3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10]. Pada Penelitian ini dilakukan perhitungan analitik dalam rangka mengkonfirmasi dengan menambahkan stator pada Turbin angin Savonius 6 sudu akan diperoleh kinerja yang lebih tinggi. Gambar 3 menunjukkan tampilan tampak atas turbin angin Savonius 3 Dimensi 6 bilah dengan *Vertical Stator Assembly* (VSA) dan gambar 2 menunjukkan turbin angin Savonius 3 Dimensi 6 bilah dengan VSA.



Gambar 3. Turbin angin Savonius 6 sudu dengan VSA (tampak atas).



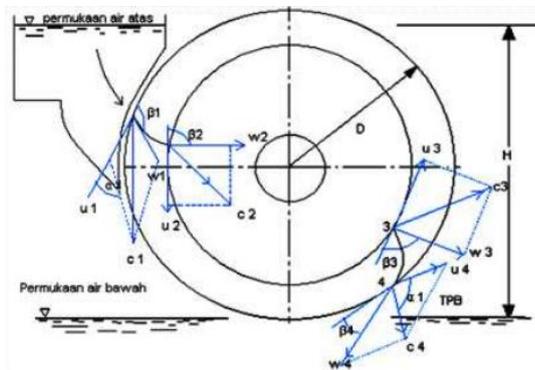
Gambar 4. Turbin angin Savonius 6 sudu dengan VSA (perspektif).

2. METODOLOGI

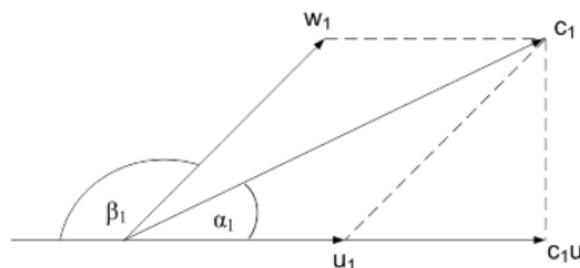
Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode analitik untuk menganalisis kinerja turbin angin Savonius dengan dan tanpa VSA.

2.1. Segitiga Kecepatan

Segitiga kecepatan adalah penggambaran komponen kecepatan pada mesin rotor dinamis yang bekerja dengan putaran pada kecepatan tertentu seperti kecepatan aliran fluida turbin air pada turbin *crossflow*. Adapun analisis segitiga kecepatan yang digunakan dengan pendekatan turbin cross flow ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Segitiga kecepatan pada Turbin *crossflow*.



Gambar 6. Segitiga kecepatan pada Turbin *crossflow*.

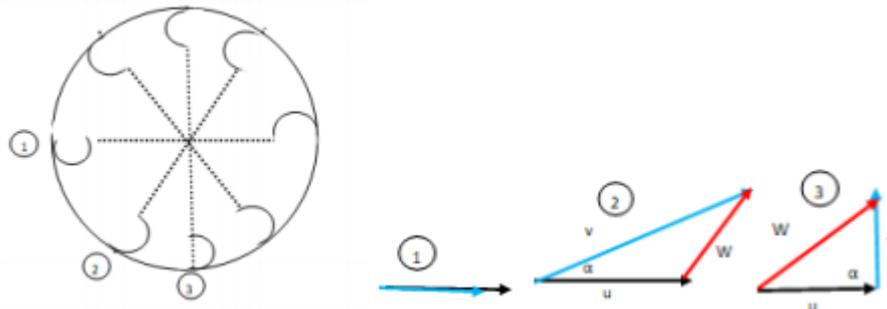
Perhitungan berdasarkan segitiga kecepatan diperoleh nilai c sebagai;

$$c^2 = w^2 + u^2 + 2wucos(180 - \alpha) \tag{1.1}$$

Keterangan:

- c = kecepatan *blade* (m/s)
- u = kecepatan tangensial (m/s)
- w = kecepatan angin menuju turbin (m/s)

Dengan nilai kecepatan tangensial yang optimum pada turbin *crossflow* adalah 0,5 dari kecepatan fluida. Sedangkan analisa segitiga kecepatan pada turbin Savonius dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Segitiga kecepatan pada Turbin Savonius.

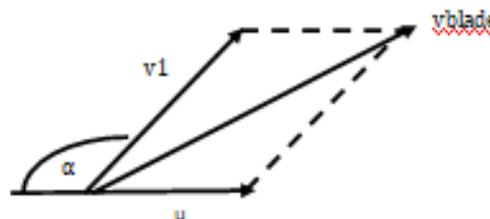
Kecepatan angin yang mengenai *blade* akan memiliki nilai yang berbeda-beda bergantung dari posisi *blade*. Untuk mengetahui kecepatan angin yang mengenai *blade* maka dilakukan pendekatan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$v_1 = v_0 \cdot \sin\alpha \tag{1.2}$$

Dengan,

- v_0 = Kecepatan angin (m/s)
- v_1 = Kecepatan angin yang mengenai *blade* (m/s)
- α = Sudut azimuth

Setelah kecepatan angin yang mengenai *blade* diketahui maka kecepatan *blade* akan dapat diketahui dengan menggunakan pendekatan dari segitiga kecepatan turbin *crossflow*, yang diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Analisa Segitiga Kecepatan pada Turbin Savonius 6-Blade.

Berdasarkan Gambar 8 tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$v_{blade}^2 = v_1^2 + u^2 + 2v_1ucos(180 - \alpha) \tag{1.3}$$

Keterangan:

- v_1 = Kecepatan angin yang mengenai *blade* (m/s)
- v_{blade} = Kecepatan *blade* (m/s)
- u = Kecepatan tangensial (m/s)
- α = Sudut azimuth

Nilai kecepatan *blade* yang telah diketahui dari segitiga kecepatan tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung kecepatan putar turbin, yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{v_{blade}}{R} \quad (1.4)$$

Keterangan:

- ω = Kecepatan putar *blade* (rad/s)
- v_{blade} = Kecepatan *blade* (m/s)
- R = Jari – Jari turbin (m)

2.2. Torsi

Turbin yang berputar pada porosnya akan memiliki nilai momen inersia. Adapun pada turbin terdiri dari berbagai komponen dengan perhitungan yang digunakan pada tiap komponen dapat dinyatakan sebagai berikut:

a. Momen inersia Shaft

Shaft sebagai poros putar dari turbin berbentuk tabung dengan persamaan yang digunakan adalah

$$I_{shaft} = \frac{1}{3} M_{shaft} r_{shaft}^2 \quad (1.5)$$

Dengan,

- I_{shaft} = Momen Inersia yang dihasilkan shaft (kgm²)
- M_{shaft} = Massa shaft (kg)
- r_{shaft} = jari-jari shaft (m)

b. Momen Inersia Plat

Plat pada permukaan atas dan bawah turbin sebagai benda yang ikut berputar juga memiliki nilai momen inersia sebagai berikut

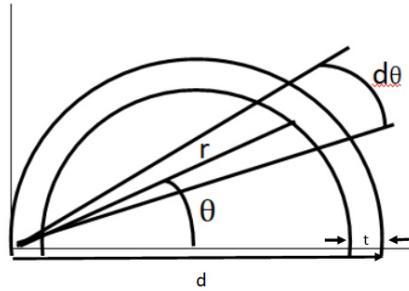
$$I_{plat} = \frac{1}{3} M_{plat} R_{plat}^2 \quad (1.6)$$

Dengan,

- I_{plat} = Momen Inersia yang dihasilkan plat (kgm²)
- M_{plat} = Massa plat (kg)
- r_{plat} = jari-jari plat (m)

c. Momen Inersia *Blade*

Blade sebagai benda yang berinteraksi dengan kecepatan angin memiliki nilai momen inersia dengan pendekatan momen inersia *blade* yang terkena angin pada bagian *blade* pernyataan ini diilustrasikan pada gambar 9.



Gambar 9. Pendekatan Momen Inersia pada Bagian Blade.

Berdasarkan ilustrasi pada gambar 9 sehingga dapat diketahui momen inersia *blade* dengan persamaan berikut:

$$I_{blade} = \rho R H t d^3 \int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta \quad (1.7)$$

Dengan,

I_{plat} = Momen Inersia yang dihasilkan *blade* (kgm^2)

ρ = Massa jenis *blade* (kg/m^3)

H = Tinggi *blade* (m)

t = tebal *blade* (m)

d = diameter *blade* (m)

θ = sudut pada sisi *blade*

Setelah komponen momen inersia yang telah diketahui selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk menghitung torsi turbin yang dinyatakan sebagai persamaan berikut:

$$\tau = I_{total} \alpha \quad (1.8)$$

Dengan,

τ = Torsi turbin (Nm)

I_{total} = Momen inersia yang dihasilkan total (kgm^2)

α = Percepatan sudut (rad/s^2)

2.3. Perhitungan Daya dan Koefisien Daya

Turbin sebagai salah satu alat pengekstraksi angin diperlukan karakteristik daya yang dihasilkan turbin untuk mengetahui kinerja turbin yang dihasilkan. Perhitungan daya turbin yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_t = \tau \omega \quad (1.9)$$

Dengan:

P_t = Daya turbin

τ = Torsi turbin (Nm)

ω = kecepatan putar *blade* (rad/s)

Kecepatan angin yang mengenai turbin akan memberikan daya angin dengan persamaan daya angin sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho_{udara} A v_{angin}^3 \quad (1.10)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 P_w &= \text{Daya angin (watt)} \\
 \rho_{udara} &= \text{Massa jenis udara (kg/m}^3\text{)} \\
 A &= \text{Luas permukaan turbin yang terkena angin (m}^2\text{)} \\
 v_{angin} &= \text{Kecepatan angin (m/s)}
 \end{aligned}$$

Koefisien daya dari turbin untuk mengetahui efisiensi turbin untuk mengkonversi energi angin menjadi torsi. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai koefisien daya turbin menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_t}{P_w} \quad (1.11)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 C_p &= \text{Koefisien daya} \\
 P_t &= \text{Daya turbin (watt)} \\
 P_w &= \text{Daya angin (watt)}
 \end{aligned}$$

2.4. Perhitungan TSR

Karakteristik turbin selanjutnya yang perlu dicari untuk mengetahui kinerja turbin adalah *Tip Speed Ratio (TSR)*. Perhitungan untuk menghitung TSR dinyatakan pada persamaan berikut;

$$\lambda = \frac{\omega R_{turbin}}{v_{angin}} = \frac{v_{blade}}{v_{angin}} \quad (1.12)$$

Dengan;

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \text{Tip Speed Ratio} \\
 v_{angin} &= \text{Kecepatan angin (m/s)} \\
 v_{blade} &= \text{Kecepatan blade (m/s)} \\
 \omega &= \text{Kecepatan putar blade (rad/s)} \\
 R &= \text{Jari – Jari turbin (m)}
 \end{aligned}$$

3. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan persamaan-persamaan kinerja turbin yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya selanjutnya dilakukan perhitungan secara analitis yang direpresentasikan pada tabel 1. Tabel 1 menunjukkan hasil Perhitungan Kinerja Turbin pada kecepatan angin 3 m/s tanpa VSA terhadap Sudut Azimuth. Sedangkan Tabel 2 Perhitungan Kinerja Turbin dengan VSA pada kecepatan angin 3 m/s.

Tabel 1 Perhitungan kinerja turbin savonius 6-blade tanpa vsa pada kecepatan 3m/s terhadap sudut azimuth

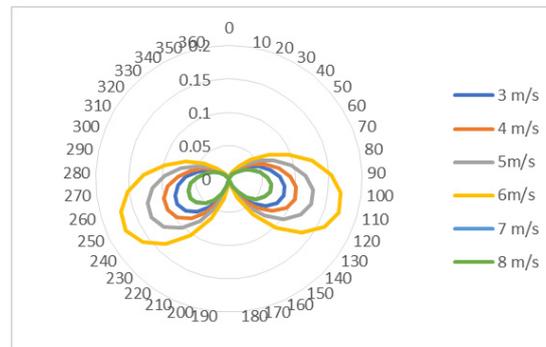
Sudut(°)	RPM	Torsi	Daya Turbin	Koefisien Daya	TSR
0	0	0	0	0	0
10	16.01	0.001	0.001	0.001	0.09
20	34.11	0.002	0.007	0.004	0.19
30	55.47	0.003	0.018	0.012	0.31
40	80.07	0.004	0.037	0.025	0.45
50	106.88	0.006	0.066	0.044	0.60
60	134.29	0.007	0.104	0.069	0.75
70	160.32	0.009	0.148	0.098	0.90

80	182.94	0.010	0.192	0.128	1.02
90	200.18	0.011	0.230	0.153	1.12
100	210.39	0.012	0.254	0.169	1.18
110	212.29	0.012	0.259	0.172	1.19
120	205.13	0.011	0.242	0.161	1.15
130	188.7	0.010	0.205	0.136	1.05
140	163.41	0.009	0.153	0.102	0.91
150	130.23	0.007	0.097	0.065	0.73
160	90.62	0.005	0.047	0.031	0.51
170	46.48	0.003	0.012	0.008	0.26
180	0	0.000	0.000	0.000	0.00
190	46.48	0.003	0.012	0.008	0.26
200	90.62	0.005	0.047	0.031	0.51
210	130.23	0.007	0.097	0.065	0.73
220	163.41	0.009	0.153	0.102	0.91
230	188.7	0.010	0.205	0.136	1.05
240	205.13	0.011	0.242	0.161	1.15
250	212.29	0.012	0.259	0.172	1.19
260	210.39	0.012	0.254	0.169	1.18
270	200.18	0.011	0.230	0.153	1.12
280	182.94	0.010	0.192	0.128	1.02
290	160.32	0.009	0.148	0.098	0.90
300	134.29	0.007	0.104	0.069	0.75
310	106.88	0.006	0.066	0.044	0.60
320	80.07	0.004	0.037	0.025	0.45
330	55.47	0.003	0.018	0.012	0.31
340	34.11	0.002	0.007	0.004	0.19
350	16.01	0.001	0.001	0.001	0.09
360	0	0.000	0.000	0.000	0.00

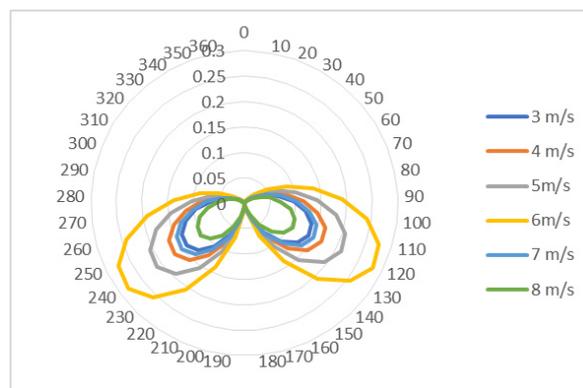
Tabel 2 Perhitungan kinerja turbin savonius *6-blade* dengan v_{sa} pada kecepatan 3m/s terhadap sudut azimuth

Sudut(°)	RPM	Torsi	Daya Turbin	Koefisien Daya	TSR
0	0	0	0	0	0
10	1.32	0.002	0.001	0.0004	0.05
20	3.04	0.004	0.001	0.0021	0.11
30	5.5	0.006	0.002	0.0068	0.19
40	8.91	0.010	0.003	0.0178	0.31
50	13.33	0.015	0.005	0.0399	0.47
60	18.61	0.021	0.006	0.0777	0.65
70	24.44	0.028	0.008	0.1341	0.85
80	30.37	0.035	0.010	0.2070	1.06
90	35.81	0.041	0.012	0.2878	1.25
100	40.17	0.046	0.014	0.3621	1.40
110	42.86	0.049	0.015	0.4123	1.50
120	43.42	0.050	0.015	0.4231	1.52
130	41.54	0.047	0.014	0.3873	1.45
140	37.12	0.042	0.013	0.3094	1.30
150	30.31	0.035	0.010	0.2062	1.06
160	21.46	0.025	0.007	0.1033	0.75
170	11.12	0.013	0.004	0.0277	0.39
180	0	0.000	0.000	0.0000	0.00
190	11.12	0.013	0.004	0.0277	0.39
200	21.46	0.025	0.007	0.1033	0.75

210	30.31	0.035	0.010	0.2062	1.06
220	37.12	0.042	0.013	0.3094	1.30
230	41.54	0.047	0.014	0.3873	1.45
240	43.42	0.050	0.015	0.4231	1.52
250	42.86	0.049	0.015	0.4123	1.50
260	40.17	0.046	0.014	0.3621	1.40
270	35.81	0.041	0.012	0.2878	1.25
280	30.37	0.035	0.010	0.2070	1.06
290	24.44	0.028	0.008	0.1341	0.85
300	18.61	0.021	0.006	0.0777	0.65
310	13.33	0.015	0.005	0.0399	0.47
320	8.91	0.010	0.003	0.0178	0.31
330	5.5	0.006	0.002	0.0068	0.19
340	3.04	0.004	0.001	0.0021	0.11
350	1.32	0.002	0.001	0.0004	0.05
360	0	0.000	0.000	0.0000	0.00

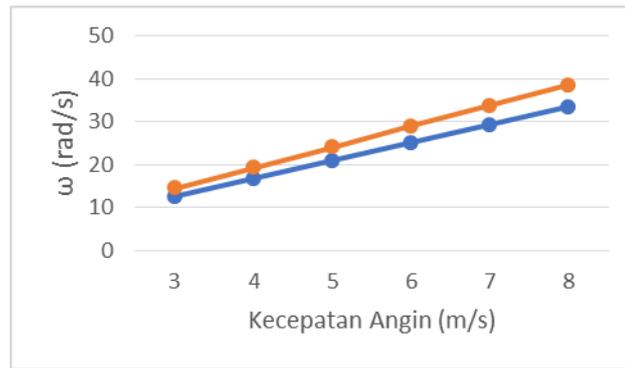


Gambar 10. Koefisien daya turbin tanpa VSA terhadap sudut azimuth.



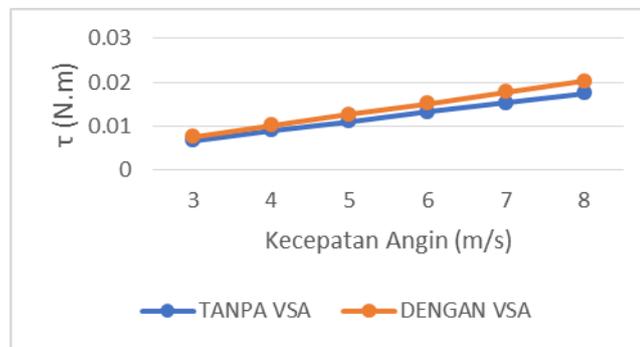
Gambar 11. Koefisien daya turbin dengan VSA terhadap sudut azimuth.

Arah angin yang berasal dari sudut 0° akan menghasilkan daya turbin yang berbeda-beda bergantung pada posisi *blade*. Pada gambar 10 merupakan hasil plot grafik dari koefisien daya turbin tanpa VSA terhadap sudut azimuth. Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa turbin tanpa VSA menghasilkan daya yang optimum pada rentang sudut 90° hingga 110° . Sedangkan Turbin dengan VSA menurut gambar 11 turbin dengan VSA akan menghasilkan daya yang optimum pada rentang sudut 100° hingga 130° .



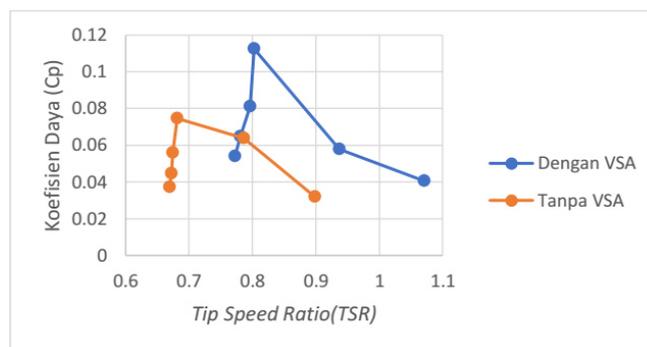
Gambar 12. Kecepatan Putar Turbin Terhadap Kecepatan Angin.

Berdasarkan gambar 12 dapat diamati bahwa seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, maka kecepatan putar turbin yang dihasilkan akan semakin meningkat. Dan performansi kecepatan putar turbin angin dengan VSA memiliki nilai lebih tinggi yaitu 86% dibandingkan tanpa VSA.



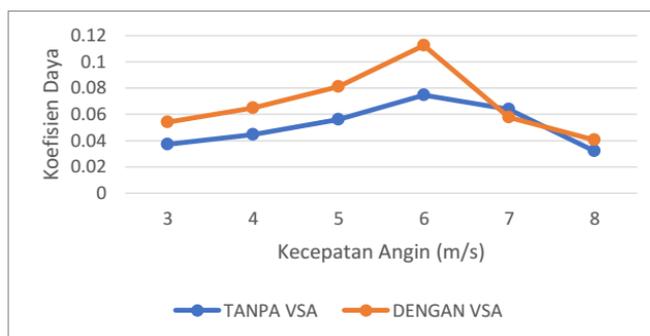
Gambar 13. Torsi Turbin Terhadap Kecepatan Angin.

Berdasarkan gambar 13 dapat diamati bahwa seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, maka torsi turbin yang dihasilkan akan semakin meningkat. Dan performansi torsi turbin angin dengan VSA memiliki nilai lebih tinggi yaitu 86% dibandingkan tanpa VSA.



Gambar 14. Koefisien Daya Terhadap Tip Speed Ratio.

Berdasarkan gambar 14 Turbin Savonius 6-blade dengan VSA menghasilkan koefisien daya yang lebih baik dengan rentang nilai TSR yang optimal pada nilai 0.8 hingga 0.9. Sedangkan turbin yang tanpa VSA bekerja optimal pada TSR 0.68 hingga 0.8. namun dengan koefisien daya yang dihasilkan lebih rendah.



Gambar 15. Koefisien Daya Terhadap Kecepatan Angin.

Berdasarkan gambar 15 Pada kecepatan angin 6m/s turbin savonius dengan VSA memiliki koefisien daya yang paling tinggi sebesar 0.037876 atau meningkat 66.3%.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa analitik terhadap turbin savonius *6-blade* dengan dan tanpa *Vertical Stator Assembly (VSA)* dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

- 1) Rancangan turbin savonius *6-blade* tanpa VSA dihasilkan daya 0.112 watt, sedangkan turbin dengan VSA menghasilkan daya sebesar 0.162 watt.
- 2) Performansi turbin savonius *6-blade* ini bekerja optimal pada kecepatan angin 6 m/s.
- 3) Berdasarkan grafik koefisien daya dapat diamati bahwa turbin savonius *6-blade* dengan *Vertical Stator Assembly* memiliki performansi yang lebih bagus sebesar 66.3%.

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan simulasi dan studi eksperimental untuk dapat mengetahui kinerja turbin savonius *6-blade* dengan dan tanpa VSA lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ka.BBTA3-BPPT yang telah memberi kesempatan melakukan penelitian ini, ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada bapak Wibawa Purabaya serta rekan-rekan sejawat yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jansen W.A.M.,1976, *Horizontal Axis Fast Running Wind Turbine for Developing Countries, Steering Commite Wind Energy Developing Countries*, The Nederland.
2. Islam M.R., Mekhilef S, Saidur R, 2013, *Progress and recent trend wind energy technology*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier.
3. M.H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap, D. Thévenin, 2010, *Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade*, Renewable Energy, Elsevier.
4. M.H.Mohamed, G. Janiga, E. Pap, D. Thévenin, 2010, *Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade*, Renewable Energy, Elsevier.

5. B.D.Altan, and ,M.Atilgan,2008, *An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*, Experimental Thermal and Fluid Science, Elsevier.
6. H. E. Gad, and A.Abd El-Hamid, 2014, *A New Design of Savonius Wind Turbine: Numerical Study*,CFD letter.
7. S.Sharma,and R. Kumar Sharma, 2016, *Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades*, Energy Conversion and Management.
8. M.Tartuferia and V.D'Alessandro, 2015, *Enhancement of Savonius wind rotor aerodynamic performance: a computational study of new blade shapes and curtain systems*,Energy, Elsevier.
9. A. Sanusi , S.Soeparman, 2016, *Experimental Study of Combined Blade Savonius Wind Turbine*, International Journal Of Renewable Energy Research.
10. Ogawa and Yoshida, 1986, *Effects of a deflecting plate and rotor end plates on performance of Savonius type wind turbine*, Bulletin of JSME.