Jurnal CRANKSHAFT, Vol. 7 No. 4 (2024)
ISSN 2623-0755

PENGARUH PANJANG LENGKUNG SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN ATAP RUMAH

Mujiburrahman[1a], Muhammad Marsudi[1], Heri Irawan[1], Muhammad Suprapto[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan MAB

Korespondensi:
[a]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan MAB
Mujiburrahman.4646@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan semakin penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memitigasi dampak perubahan iklim. Turbin angin atap rumah menawarkan solusi yang menjanjikan untuk produksi energi skala kecil di lingkungan perkotaan. Namun, efisiensi dan performa turbin ini sangat bergantung pada desain sudu yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain turbin angin atap rumah melalui analisis pengaruh variasi panjang lengkung sudu terhadap performa turbin. Metode penelitian melibatkan pengujian eksperimental pada turbin angin dengan tiga variasi Panjang lengkung sudu 5/16, 6/16, dan 7/16 pada empat kecepatan angin yang berbeda 3,48 m/s sd 6,21 m/s). Parameter yang diukur adalah kecepatan putaran turbin rpm, dan daya generator Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang lengkung sudu 6/16 secara konsisten memberikan performa optimal pada empat kecepatan angin yang diuji. Pada kecepatan angin 6,21 m/s, panjang sudu 6/16 menghasilkan kecepatan putaran tertinggi 228,71 rpm, dengan daya sebesar 154,62 Watt. Peningkatan kecepatan angin dari 3,48 m/s sd ke 6,21 m/s menghasilkan peningkatan signifikan pada kecepatan putaran dan daya untuk semua variasi panjang sudu. Penurunan performa pada panjang sudu 7/16 mengindikasikan adanya batas optimal dalam desain.

Kata kunci: Turbin angin atap rumah, panjang lengkung sudu, performa turbin

ABSTRACT

Utilizing wind energy as a renewable energy source is increasingly important in efforts to reduce dependence on fossil fuels and mitigate the impacts of climate change. Rooftop wind turbines offer a promising solution for small-scale energy production in urban environments. However, the efficiency and performance of these turbines are highly dependent on optimal blade design. This research aims to optimize the design of a rooftop wind turbine by analyzing the effect of variations in blade arc length on turbine performance. The research method involved experimental testing on a wind turbine with three variations in blade arc length 5/16, 6/16, and 7/16 at four different wind speeds, 3.48 m/s to 6.21 m/s). The parameters measured are turbine rotation speed rpm, and generator power Watt. The results showed that a blade arc length of 6/16 consistently provided optimal performance at the four wind speeds tested. At a wind speed of 6.21 m/s, a blade length of 6/16 produces a highest rotation speed of 228.71 rpm, with a power of 154.62 Watts. Increasing wind speed from 3.48 m/s to 6.21 m/s produces a significant increase in rotation speed and power for all variations in blade length. The decrease in performance at blade length 7/16 indicates that there is an optimal limit in the design.

Keywords: *Rooftop wind turbine, blade arc length, performance turbine*

1. PENDAHULUAN

Gagasan untuk menghasilkan listrik menggunakan turbin angin yang dipasang di atap telah berkembang selama dekade terakhir. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya biaya energi dan kebutuhan global untuk mengurangi penggunaan karbon serta emisi gas rumah kaca. Turbin angin yang dipasang di atap memiliki potensi untuk menggantikan sumber pembangkit listrik. [1]. Pengkonversian energi angin bukan hanya merupakan sumber daya yang bebas polusi, tetapi juga merupakan cara untuk membantu mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Upaya signifikan telah dilakukan oleh pemerintah dan industri pada sistem turbin angin besar karena efisiensinya yang tinggi. Lebih sedikit perhatian diberikan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin skala lebih kecil yang dapat dipasang di atap bangunan [2]. Potensi angin untuk pengaplikasian turbin angin skala kecil masih kurang dimanfaatkan, meskipun angin merupakan sumber energi terbarukan yang berkontribusi signifikan terhadap kebutuhan listrik, terutama di daerah terpencil . Pengembangan turbin angin saat ini lebih terfokus pada skala besar di lokasi seperti pegunungan, pesisir pantai, dan lepas pantai, sementara pengembangan turbin angin skala kecil yang dipasang di atap rumah masih jarang diperhatikan [3]. Turbin angin yang dipasang pada puncak kemiringan atap dengan bentuk memanjang jarang diterapkan di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kecepatan angin yang rendah dan cenderung berubah arah pada area tersebut. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan turbin angin yang dapat memaksimalkan energi angin rendah. Turbin angin jenis *Savonius* dianggap memiliki kemampuan *self-starting* yang baik, karena mampu memaksimalkan energi angin rendah untuk memutar rotor dan menghasilkan daya yang optimal [4], mengingat banjarmasin memiliki kecepatan angin tergolong rendah, pengukuran di puncak kemiringan atap menunjukkan kecepatan angin berkisar 2 m/s sd 6 m/s. Oleh karena itu di perlukan sistem pengkonversian yang tepat untuk mengoptimalkan potensi angin pada kecepatan rendah. Penggunaan *Airfoil Savonius* pada turbin atap rumah karena konsep sudu memiliki *torsi* dan *self-starting* yang baik pada kecepatan angin rendah, sehingga diharapkan dapat memberikan performa yang baik saat diaplikasikan pada turbin angin di atap rumah [5]. Meskipun *airfoil savonius* memiliki kemampuan *self-starting* yang baik, kendala yang dihadapi adalah kecepatan angin di Indonesia tidak sebesar kecepatan angin pada negara-negara yang telah memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi, perbedaan karakteristik angin ini menyebabkan sulit menerapkan teknologi pemanfaatan energi angin pada negara-negara tersebut [6].

Hal ini di perkuat penelitian sebelumnya terkait Panjang lengkung sudu diantaranya Andri Kusbiantoro, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno. Penelitian ini meneliti pengaruh panjang lengkung sudu 5/12, 6/12, dan 7/12 lingkaran terhadap kinerja turbin Savonius pada berbagai kecepatan angin. Hasilnya menunjukkan bahwa sudu dengan panjang 6/12 lingkaran optimal pada kecepatan angin 5 m/s dan 7 m/s, sementara sudu 5/12 lingkaran lebih efektif pada kecepatan angin 3 m/s [7]. Zhaoyong Mao dan Wenlong Tian Fokus pada sudut lengkung bilah, penelitian ini menemukan bahwa sudut lengkung 160° menghasilkan efisiensi daya tertinggi dengan koefisien daya maksimum 0,2836, yang menunjukkan peningkatan efisiensi 8,37% dibandingkan turbin konvensional [8]. Untung Surya Dharma dan Masherni, dalam penelitiannya membandingkan desain sudu dengan rasio lengkung 5/16, 6/16, dan 7/16 pada kecepatan angin 6,1 m/s. Hasil menunjukkan bahwa sudu 7/16 lebih unggul dalam menghasilkan daya dan efisiensi, menjadikannya desain sudu terbaik di antara yang diuji [9]. Sofyan Jaohari, dalam peneltiannya Fokus pada variasi rasio kelengkungan sudu (1, 2, dan 5) dengan tipe bilah L, penelitian ini menemukan bahwa rasio kelengkungan 1 pada kecepatan angin 4,37 m/s menghasilkan kinerja terbaik dengan koefisien kinerja tertinggi sebesar 19,7% [10]. Jamal, A. M. Shiddiq Yunus, Lewi, dalam penelitiannya mengevaluasi kelengkungan sudu 1R, 1,5R, dan 2R pada berbagai kecepatan angin. Turbin dengan kelengkungan 1R menghasilkan efisiensi maksimum 89,56% pada kecepatan angin 8,5 m/s, menunjukkan bahwa kelengkungan sudu yang lebih rendah lebih efisien pada kecepatan angin tinggi [11]. Ahmad Aidil Aizat Bin Baharuddin (2020) Penelitian ini memperkenalkan desain baru untuk turbin angin sumbu transversal yang cocok untuk kondisi angin rendah di sepanjang garis pantai timur Semenanjung Malaysia. Turbin ini menunjukkan kemampuan adaptasi terhadap variasi arah angin hingga 60 derajat dari arah utama [12]. Mujiburrahman, Heri Irawan, Muhammad Suprapto dalam penelitianya menggunakan airfoil savonius pada turbin angin bubungan atap untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan kinerjanya, yang selama ini belum optimal karena desain yang kurang sesuai dengan karakteristik angin pada bubungan atap. Dengan menguji tiga prototipe turbin dalam wind tunnel, ditemukan bahwa desain sudu lengkung U dengan sudut kemiringan 15 derajat menghasilkan kinerja terbaik, baik pada kecepatan angin rendah maupun tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimisasi desain turbin angin dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitasnya dalam menghasilkan listrik pada berbagai kondisi lingkungan [13].

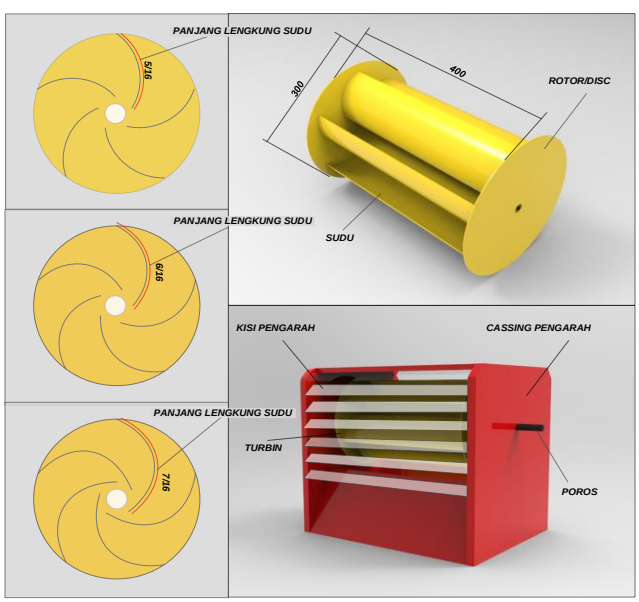
Berdasarkan ulasan penelitian sebelumnya, konsep turbin angin atap rumah menawarkan solusi yang menjanjikan, namun diperlukan studi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dalam kondisi angin rendah, yang dapat meningkatkan performa turbin atap rumah di lingkungan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain turbin angin atap rumah di fokuskan pada pengaruh variasi panjang lengkung sudu terhadap performa turbin.

2. METODOLOGI PENELITIAN

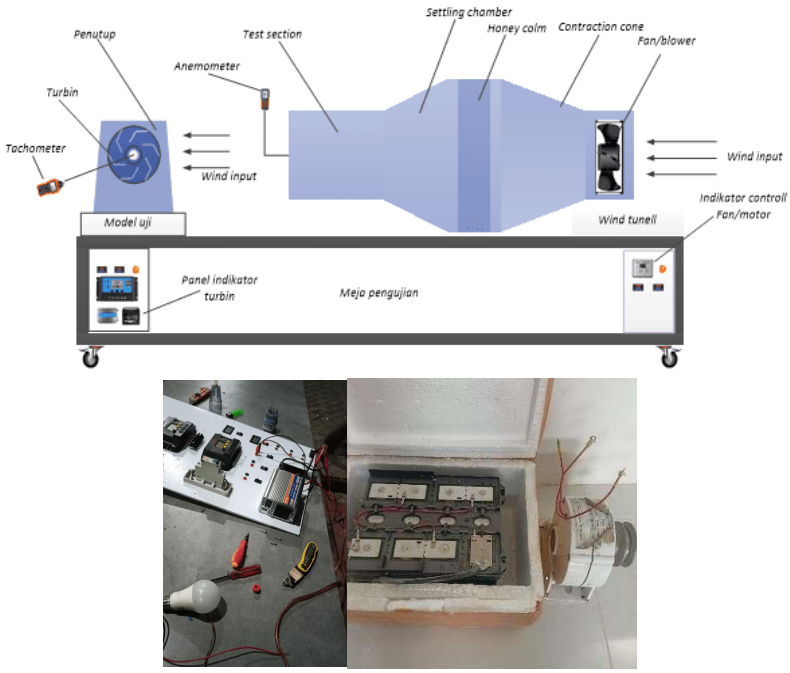
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental untuk menganalisis pengaruh panjang keliling lengkung sudu, dimana Panjang lengkung sudu adalah panjang sudu turbin yang diukur melalui panjang keliling lingkarannya dimana panjang sudu turbin savonius umumnya adalah ½ lingkaran, pajang lengkung sudu ini masih bisa divariasikan menjadi lebih panjang dari ½ lingkaran atau lebih pendek dari ½ lingkaran untuk dicari performa terbaiknya pada tubin angin atap rumah menggunakan airfoil savonius tipe U yang di uji pada wind tunnel. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain, desain eksperimen, pelaksanaan eksperimen, analisis data, serta evaluasi dan rekomendasi. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan wawasan yang signifikan untuk pengembangan turbin angin atap rumah menggunakan *airfoil savonius* dengan keliling lengkung sudu yang lebih *efisien* dan aplikatif dalam kondisi nyata.

Tabel 1. Data Spesifikasi Turbin

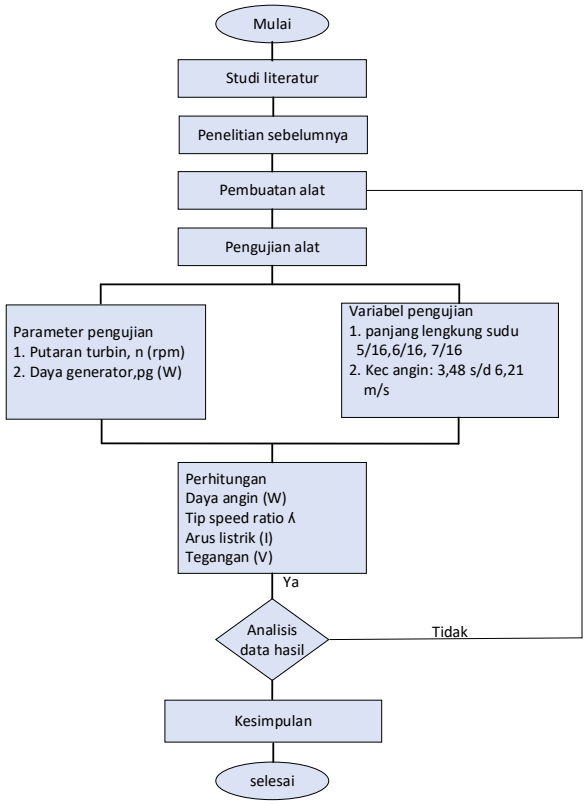
Spesifikasi	***Tipe /Ukuran***
Dimensi turbin	300x400x2mm
Rotor/disc	300x2mm
Sudu	1/4x2, 3/4x2, dan 1/2x2
Poros	700x24,5
Bearing bantalan	Upc-206
Airfoil sudu	Tipe : U
Jumlah sudu	5 buah
Panjang keliling kelengkungan sudu	5/16, 6/16, dan 7,16
Penutup/pengarah turbin	Plywood uk: 420x450x650 mm
Kisi pengarah aliran	Plywood uk: 50x700x2 mm
Meterial turbin	*Akrilik*



Gambar 1. Desain Prototipe Turbin



Gambar 2. Skema pengujian turbin



Gambar 3. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Hasil Pengujian Turbin

No	Kecepatan angin v (m/s)	Hasil Pengukuran			
		Panjang lengkung	*n* (rpm)	*Volt (V)*	*Arus (I)*
1	3,48	5/16	75,06	12,8	4,69
		6/16	79,42	12,8	5,82
		7/16	73,65	12,8	4,41
2	4,18	5/16	86,93	12,8	6,27
		6/16	88,17	12,8	7,24
		7/16	86,77	12,8	5,89
3	5,08	5/16	144,08	12,8	9,32
		6/16	159,33	12,8	10,17
		7/16	139,62	12,8	9,26
4	6,21	5/16	214,58	12,8	10,65
		6/16	238,71	12,8	12,08
		7/16	194,62	12,8	10,47

4.1. Daya Potensial Angin Pw (W)

Perhitungan daya potensial menggunakan persamaan berikut :

1. Menghitung daya potensi angin pada kecepatan angin 3,48 m/s

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (1)$$

$$P_w = 0,5.1,225.0,24.3,48^3$$

$$P_w = 6,193 \text{ (Watt)}$$

Tabel 3. Perhitungan Daya Angin (Watt)

No	½	ρ	A (m)	V (m/s)	Pw (Watt)
1	0,5	1,225	0,24	3,48	6,195
2	0,5	1,225	0,24	4,18	10,736
3	0,5	1,225	0,24	5,08	19,271
4	0,5	1,225	0,24	6,21	35,204

4.2. Tip Speed Ratio

Perhitungan tip speed ratio menggunakan persamaan berikut :

1. Menghitung *Tsr* panjang lengkung sudu 5/16 pada kecepatan angin 3,48 m/s

$$\lambda = \frac{\pi.\mathrm{D}.\mathrm{n}}{60.\mathrm{v}} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{3,14x0,24x75,06}{60x3,48}$$

$$\lambda = 3,28$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan tsr (λ)

No	Kecepatan angin v (m/s)	Hasil perhitungan	
		Panjang lengkung sudu	tsr (λ)
1	3,48 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	3,3
		P. lengkung sudu 6/16	3,5
		P. lengkung sudu 7/16	3,2
2	4,18 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	4,6
		P. lengkung sudu 6/16	4,6
		P. lengkung sudu 7/16	4,6
3	5,08 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	9,2
		P. lengkung sudu 6/16	10,2
		P. lengkung sudu 7/16	8,9
4	6,21 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	16,7
		P. lengkung sudu 6/16	18,6
		P. lengkung sudu 7/16	15,2

4.3. Menghitung daya generator Pg (w)

Perhitungan daya generator menggunakan persamaan berikut :

1. Menghitung daya generator panjang lengkung sudu 5/16 pada kecepatan angin 3,48 m/s

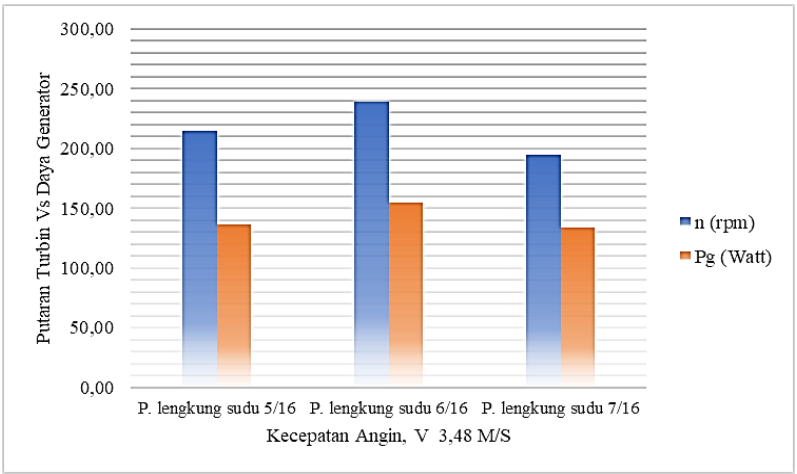
$$P_g = V.A \quad (3)$$

$$P_g = 12,8x4,69$$

$$P_g = 60,03 \text{ (Watt)}$$

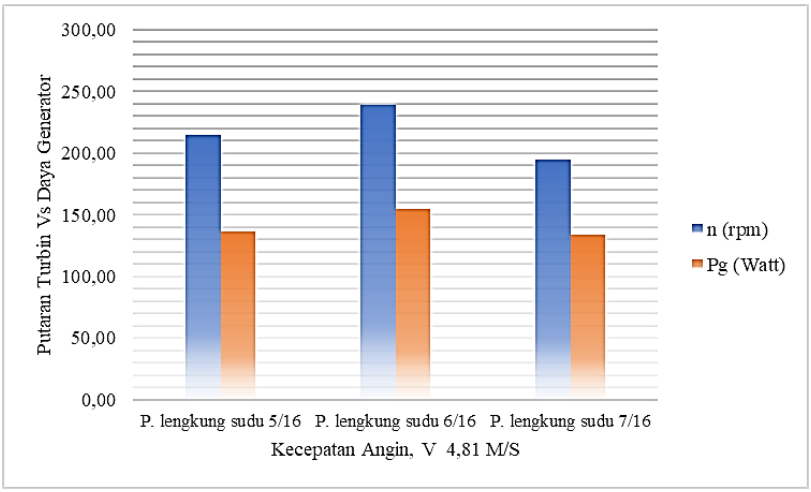
Tabel 5. Hasil Perhitungan daya generator Pg (W)

No	Kecepatan angin v (m/s)	Hasil perhitungan	
		panjang lengkung sudu	daya generator, Pg (Watt)
1	3,48 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	60,03
		P. lengkung sudu 6/16	74,50
		P. lengkung sudu 7/16	56,45
2	4,18 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	80,26
		P. lengkung sudu 6/16	92,67
		P. lengkung sudu 7/16	75,39
3	5,08 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	119,30
		P. lengkung sudu 6/16	130,18
		P. lengkung sudu 7/16	118,53
4	6,21 m/s	*P. lengkung sudu 5/16*	136,32
		P. lengkung sudu 6/16	154,62
		P. lengkung sudu 7/16	134,02



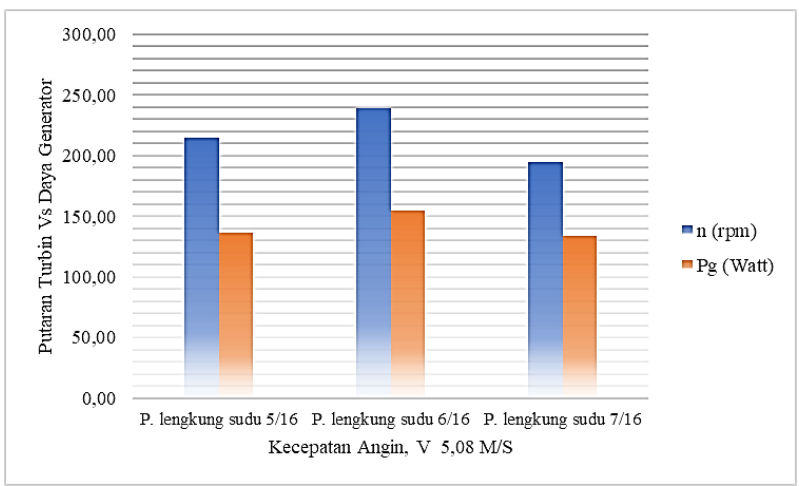
Gambar 4. Hubungan panjang lengkung sudu terhadap n (rpm) dan Pg (W*)* pada kecepatan angin 3,48 m/s

Berdasarkan gambar 4. Hasil pengujian turbin angin dengan 3 variasi panjang lengkung sudu: 5/16, 6/16, dan 7/16, pada kecepatan angin konstan 3,48 m/s. Kecepatan putaran tertinggi di hasilkan oleh panjang lengkung sudu 6/16 dengan 79,42 rpm. Sedangkan putaran terendah di tunjukkan oleh panjang lengkung sudu 7/16 sebesar 75,06. Dan Terjadi peningkatan putaran dari Panjang lengkung sudu 5/16 sebesar 60,03 Watt ke Panjang lengkung sudu 6/16, namun menurun signifikan pada Panjang lengkung sudu 7/16. Sedangkan Daya tertinggi dihasilkan pada panjang lengkung sudu 6/16 dengan 74,50 Watt. Perbedaan daya generator antar variasi relatif kecil. Tren daya mirip dengan tren putaran Sedangkan Daya terendah pada panjang lengkung sudu 7/16 dengan 56,45 Watt. Dan Terjadi peningkatan daya dari Panjang lengkung sudu 5/16 sebesar 60,03 Watt ke Panjang lengkung sudu 6/16, namun menurun signifikan pada Panjang lengkung sudu 7/16.



Gambar 5. Hubungan panjang lengkung sudu terhadap n (rpm) dan Pg (W*)* pada kecepatan angin 4,81 m/s

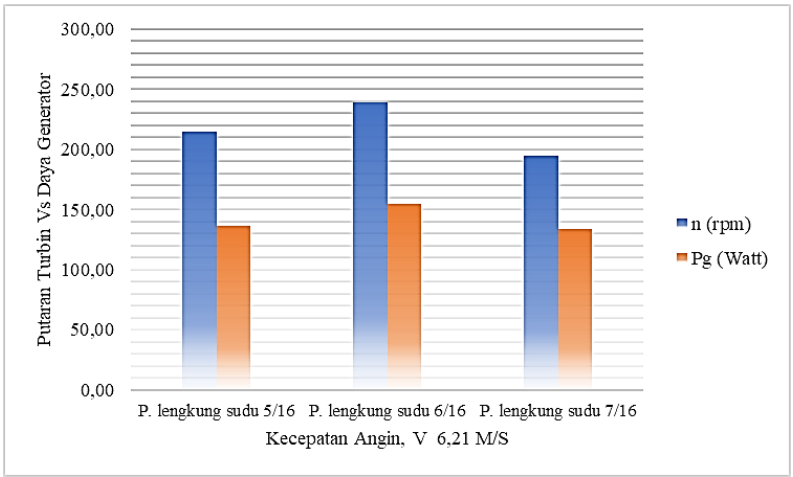
Selanjutnya gambar 5. Pengujian dilakukan pada tiga variasi panjang lengkung sudu 5/16, 6/16, dan 7/16 dengan kecepatan angin konstan 4,18 m/s. Kecepatan putaran tertinggi dicapai pada panjang lengkung sudu 6/16 dengan 88,17 rpm. Sedangkan Variasi kecepatan putaran antar konfigurasi relatif kecil di mana Panjang lengkung sudu 7/16 sebesar 86,93 rpm dan Panjang lengkung sudu 5/16 sebesar 88,17 rpm. Tren kecepatan putaran sejalan dengan tren daya yang dihasilkan. Sedangkan Daya tertinggi dihasilkan pada panjang lengkung sudu 6/16 dengan 92,67 Watt. Daya terendah pada panjang lengkung sudu 7/16 dengan 75,39 Watt. Terjadi peningkatan daya dari 5/16 sebesar 80,26 Watt ke Panjang lengkung sudu 6/16, namun menurun signifikan pada 7/16.



Gambar 6. Hubungan panjang lengkung sudu terhadap n (rpm) dan Pg (W*)* pada kecepatan angin 5,08 m/s

Hasil gambar 6. Pengujian dilakukan pada tiga variasi panjang lengkung sudu 5/16, 6/16, dan 7/16 dengan kecepatan angin konstan 5,08 m/s. Kecepatan putaran tertinggi juga di tunjukkan panjang lengkung sudu 6/16 dengan 150,33 rpm. Sedangkan Variasi kecepatan putaran terendah juga menunjukkan tren yang sama antar konfigurasi di mana Panjang lengkung sudu 7/16 sebesar 139,62 rpm dan terjadi sedikit peningkatan pada panjang lengkung sudu 5/16 sebesar 144,08 rpm. Tren kecepatan putaran sejalan dengan tren daya yang dihasilkan. Sedangkan Daya tertinggi dihasilkan pada panjang lengkung sudu 6/16 dengan

130,18 Watt. Daya terendah pada panjang lengkung sudu 7/16 dengan 118,53 Watt. Terjadi peningkatan daya dari 5/16 sebesar 119,30 Watt ke Panjang lengkung sudu 6/16, namun menurun signifikan pada 7/16.



Gambar 7. Hubungan panjang lengkung sudu terhadap n (rpm) dan Pg (W*)* pada kecepatan angin 6,21 m/s

Hasil gambar 7. Pengujian dilakukan pada tiga variasi panjang lengkung sudu 5/16, 6/16, dan 7/16 dengan kecepatan angin konstan 6,21 m/s. Kecepatan putaran tertinggi juga di tunjukkan panjang lengkung sudu 6/16 dengan 228,71 rpm. Sedangkan kecepatan putaran terendah juga di tunjukkan oleh Panjang lengkung sudu 7/16 sebesar 194,62 rpm. dan terjadi peningkatan putaran pada panjang lengkung sudu 5/16 ke Panjang lengkung sudu 6/16 sebesar 214,58 rpm. Hal ini juga terjadi dengan daya generator yang dihasilkan. Dimana Daya tertinggi dihasilkan panjang lengkung sudu 6/16 sebesar 154,62 Watt. Daya terendah di tunjukkan panjang lengkung sudu 7/16 dengan 134,02 Watt. Terjadi peningkatan daya dari 5/16 sebesar 136,32 Watt ke Panjang lengkung sudu 6/16, namun menurun signifikan pada Panjang lengkung sudu 7/16. Terlihat adanya korelasi positif antara daya yang dihasilkan dan kecepatan putaran turbin. Puncak daya dan kecepatan putaran sama-sama terjadi pada panjang lengkung sudu 6/16.

Terdapat korelasi positif antara daya yang dihasilkan dan kecepatan putaran. Puncak daya dan kecepatan putaran terjadi pada panjang lengkung sudu 6/16. Efisiensi Panjang Lengkung Sudu: Panjang lengkung sudu 6/16 menunjukkan performa optimal, baik dari segi daya maupun kecepatan putaran. Ini mengindikasikan keseimbangan terbaik antara area sapuan angin dan efisiensi aerodinamis. Penurunan signifikan pada performa 7/16 mungkin disebabkan oleh peningkatan hambatan aerodinamis, ketidakseimbangan rotor, atau berat sudu yang berlebihan. Perubahan panjang lengkung sudu memberikan dampak signifikan pada performa turbin, menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap geometri sudu. Hasil ini menegaskan pentingnya optimasi panjang lengkung sudu dalam desain turbin angin untuk kondisi angin tertentu. Penurunan performa pada 7/16 menunjukkan adanya batas optimal dalam desain panjang sudu, menekankan pentingnya mempertimbangkan trade-off antara area sapuan dan efisiensi aerodinamis.

4. KESIMPULAN

1. Pada semua variasi kecepatan angin yang diuji 3,48 m/s sd 6,21 m/s, panjang lengkung sudu 6/16 secara konsisten menunjukkan performa terbaik, baik dalam hal kecepatan putaran maupun daya generator.
2. Peningkatan kecepatan angin dari 3,48 m/s sd ke 6,21 m/s menghasilkan peningkatan signifikan pada kecepatan putaran dan daya untuk semua variasi panjang lengkung sudu, Di mana pada kecepatan angin minimum 3,48 m/s mampu menghasilkan kecepatan putaran sebesar 79,42 rpm dan daya generator sebesar 74,50 W. sedangkan pada pengujian kecepatan angin maksimum mampu menghasilkan kecepatan putaran sebesar 238,71 rpm, dan daya generator sebesar 154,62 W. menunjukkan sensitivitas turbin terhadap kecepatan angin.

3. Panjang lengkung sudu 6/16 secara konsisten mencapai keseimbangan optimal antara area sapuan angin dan efisiensi aerodinamis, menghasilkan performa terbaik pada berbagai kondisi angin. Penurunan performa pada panjang lengkung sudu 5/16 dan 7/16 di semua pengujian menunjukkan adanya batas atas yang optimal dalam desain panjang sudu, kemungkinan disebabkan oleh peningkatan hambatan aerodinamis atau masalah keseimbangan.
4. Terdapat korelasi positif yang konsisten antara daya yang dihasilkan dan kecepatan putaran turbin di semua pengujian. Perubahan relatif kecil pada panjang lengkung sudu dapat menghasilkan perubahan signifikan pada performa turbin, menunjukkan pentingnya optimasi presisi dalam desain.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Rafflella Anak Deraman, "A Study on Blade Performance of Transverse Axis Wind Turbine Mounted on a Rooftop," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.

[2] Raymond E. Paggi, "Roof Ridge Windturbine," vol. 2, no. 12, 2013.

[3] Mujiburrahman, "Kajian Eksperimental Pengaruh Geometri Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Atap Rumah Berbasis Kecepatan Angin Rendah," . 2020

[4] Mujiburrahman, "Analisis Pengaruh Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Atap Rumah Pada Kecepatan Angin Rendah Menggunakan Simulasi Cfd," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 03, no. 2, pp. 60–65, 2018, doi: 10.31602/al-jazari.v4i1.1967.

[5] , M. and H. Irawan, "Analisis Pengaruh Panjang Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Atap Rumah Pada Kecepatan Angin Rendah," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 29–34, 2019, doi: 10.31602/al-jazari.v4i1.1967.

[6] L. Lewi and J. Jamal, "Analisis Kinerja Turbin Angin Savonius Bertingkat dengan Perubahan Variasi Jumlah Sudu Turbin," Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M), vol. 0, no. 0. 2018. [Online]. Available: http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/view/922

[7] A. Kusbiantoro, R. Soenoko, and D. Sutikno, "Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius," *2*, pp. 1–9, 2013.

[8] Z. Mao and W. Tian, "Effect of the blade arc angle on the performance of a Savonius wind turbine," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1177/1687814015584247.

[9] U. S. Dharma and M. Masherni, "Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 138–148, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i2.246.

[10] S. Jaohari, J. T. Mesin, F. Teknik, U. Mataram, and N. T. Barat, "Pengaruh variasi rasio kelengkungan sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal savonius tipe l," no. 62, pp. 1–8, 2016.

[11] J. Jamal, A. M. S. Yunus, and L. Lewi, "Pengaruh Kelengkungan_Sudu_Terhadap_Kinerja_Turbin," vol. 6, no. 2, pp. 139 -144, 2019.

[12] A. Aidil and A. Bin, "Performance Optimization Of A Roof Top Transverse," no. January, pp. 1–47, 2020.

[13] M. Mujiburrahman, H. Irawan, and M. Suprapto, "Pengembangan Turbin Angin Bubungan Atap Dengan Variasi Desain Bilah Sudu dan Sudut Kemiringan Sudu," *Syntax Lit. ; J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 9, pp. 15454–15469, 2023, doi: 10.36418/syntax-literate.v7i9.14302.