

STUDI PERFORMASI SUDU TURBIN ANGIN TIPE VERTICAL AXIS BERBAHAN KOMPOSIT

Ozkar F. Homzah^{1*}, Ella Sundari¹, Rachmat Dwi Sampurno¹, Ogi Meita Utami¹,
Lili Rahmawati²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

²Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Sriwijaya

Email : ozkarhomzah@polsri.ac.id*

ABSTRACT

Along with the increasing human population, the use of fossil energy such as oil also increases. While fossil energy is one of the largest contributors to carbon emissions that can cause climate change. One thing that can be done to control climate change is to switch to the use of renewable energy. In the research conducted, turbine blades with a vertical axis were made using carbon fiber composites with different number of blades, namely with 4, 6 and 8 blades. The testing process is carried out with the wind speed of 4; 4.5; and 5 m/s for each turbine with different number of blades. As a wind direction, the researchers used a wind tunnel made of acrylic and pipes as the leg frame. The results of this study are the highest output power achieved by the turbine blades with 4 blades at a wind speed of 5 meters per second with 5,216 watts. While the lowest output power is in the turbine blades with 8 blades at a wind speed of 4 meters per second with a power value of 0.288 W. The turbine with the number of blades 8 has a fairly low output energy than turbines with 4 and 6 blades. The highest efficiency of wind turbine use is achieved by a turbine with a number of 4 blades with a maximum efficiency value of 95,07% and the lowest efficiency is found in a wind turbine with a number of blades. 8 with a maximum percentage of 6,07%.

Keywords : Performance, Savonius VAWT, Blade, Turbine Power, Efficiency

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya populasi manusia menyebabkan penggunaan energi fosil seperti minyak bumi juga ikut meningkat. Sedangkan energi fosil merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi karbon yang dapat menyebabkan perubahan iklim. Hal yang dapat dilakukan untuk mengendalikan perubahan iklim tersebut adalah dengan beralih kepada penggunaan energi terbarukan. Dalam penelitian yang dilakukan sudu turbin dengan sumbu vertikal dibuat menggunakan komposit serat karbon dengan jumlah sudu yang berbeda beda yaitu dengan banyak sudu 4 buah, 6 buah dan 8 buah. Proses pengujian dilakukan dengan kecepatan anginnya yaitu 4; 4,5; dan 5 m/s pada masing-masing turbin yang telah dibuat. Sebagai pengarah angin, peneliti menggunakan wind tunnel yang terbuat dari akrilik dan pipa sebagai rangka kaki. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu daya output tertinggi dicapai sudu turbin dengan jumlah blade 4 pada nilai kecepatan laju angin 5 m/s dengan 5,216 watt. Sedangkan daya output terendah berada pada sudu turbin dengan jumlah blade 8 pada kecepatan laju angin 4 m/s dengan besaran daya senilai 0,288 W. Turbin dengan 8 blades memiliki energi output yang cukup rendah daripada turbin dengan jumlah sudu 4 dan 6. Adapun efisiensi penggunaan turbin angin yang tertinggi tercapai oleh turbin angin 4 blades dengan efisiensi maksimal sebesar 95,07% dan

efisiensi terendah terdapat pada turbin angin 8 blades dengan persentase maksimal sebesar 6,07%.

Kata kunci : Performa, Savonius Vertical Axis Wind Turbine, Sudu, Turbine Power, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang cukup tinggi, khususnya di Indonesia mempengaruhi tingkat konsumsi energi. Tingginya jumlah populasi memiliki korelasi dengan jumlah konsumsi energi yang juga menjadi tinggi. Namun, kebutuhan terhadap energi yang cukup tinggi ini belum seimbang dengan produksi energinya, sehingga dikarenakan tingginya kebutuhan energi ini dibutuhkan inovasi dan pengembangan terhadap energi alternatif untuk menggantikan penggunaan energi fosil seperti minyak bumi yang kian menipis jumlahnya. Pemanfaatan tenaga angin yang cukup mudah ditemukan sebagai sumber energi terbarukan atau energi alternatif bisa menjadi salah satu jalan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat.

Sumber daya angin dapat kita temukan dengan mudah sehingga pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif sangatlah efektif. Seperti yang kita ketahui penggunaan energi listrik sangatlah tinggi baik di sektor industri maupun penggunaan energi listrik di rumah-rumah. Salah satu solusi dari sumber energi alternatif adalah dengan memanfaatkan *output* berupa energi panas yang dihembuskan dari *outdoor AC Split* yang digunakan di rumah-rumah masyarakat. Pemanfaatan energi panas dari AC Split ini dapat dikonversikan menjadi energi listrik dan dapat disalurkan dan dimanfaatkan kembali dalam berbagai kebutuhan akan energi tersebut. Turbin angin adalah sarana yang dapat dikembangkan untuk digunakan dalam pemanfaatan laju angin yang kemudian dikonversikan ke energi listrik.

Tipe turbin yang efektif digunakan untuk memanfaatkan *output* energi yang dihasilkan *outdoor AC Split* ini adalah turbin dengan sumbu arah vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Pembuatan turbin angin vertikal ini dapat memanfaatkan berbagai jenis material, dan pada penelitian yang dilakukan pembuatan sudu menggunakan komposit dari serat karbon. Serat karbon merupakan material yang ringan dan juga sangat kuat sehingga sangat sesuai digunakan sebagai bahan pembuat sudu-sudu pada turbin angin vertikal. Dimana sudu-sudu turbin harus kokoh terhadap gaya dorong yang berasal dari angin namun sudu-sudu turbin harus dibuat seringan mungkin sehingga memperkecil potensi kehilangan energi akibat dari faktor berat sudu.

Turbin angin savonius ini dapat beroperasi meski di daerah dengan kecepatan angin yang rendah, kinerjanya pun tidak berpengaruh pada arah angin. Selain itu biaya yang diperlukan untuk pembuatannya pun terbilang cukup rendah [6].

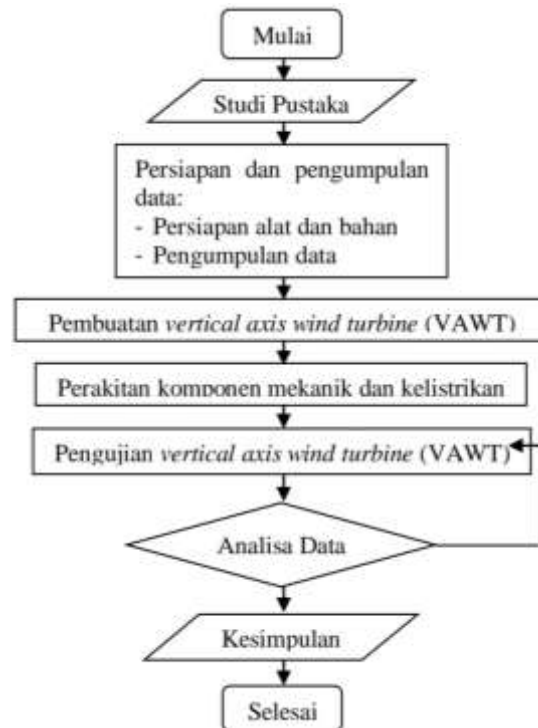
Penelitian vertical axis wind turbine cukup banyak yang telah melakukannya, beberapa diantaranya melakukan penelitian turbin angin dengan 2 variasi jumlah sudu dimana daya keluaran tertinggi yang dihasilkan adalah 38,88 W [11]. Penelitian lainnya menggunakan turbin angin yang terbuat dari material filamen 3D *printing* dimana pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa daya yang dihasilkan turbin sudut ganda akan naik dengan perlahan dari 13% ke 36% [5]. Penelitian lainnya menggunakan 3 variasi jumlah sudu dan dapat disimpulkan bahwa banyaknya sudu dan kecepatan laju angin memiliki pengaruh terhadap daya dan torsi outputnya.

Berdasarkan latar belakang tersebutlah, penelitian ini dilakukan dengan orientasi untuk menganalisa performa dari savonius turbin angin yang pembuatannya dengan

material komposit serat karbon. Dari pengujian yang akan dilakukan nantinya dihasilkan perubahan daya atau nilai energi listrik pada masing-masing variabel. Penelitian ini akan membandingkan output energi yang dihasilkan *prototype* turbin angin terhadap variasi jumlah sudunya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah yang digambarkan pada diagram alir berikut



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan mulai dari tahap persiapan alat dan bahan pengujian kemudian dilanjutkan dengan pengujian terhadap turbin angin tersebut. Adapun metode pengujian yang dilaksanakan meliputi :

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Membuat *prototype vertical axis wind turbine*
3. Memprogram alat bantu ukur rpm
4. Mempersiapkan alat bantu ukur tegangan dan arus listrik
5. Melakukan pengujian dan pengambilan data hasil
6. Analisa hasil pengujian

2.1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Alat dan Bahan

No	Alat	Bahan
1	Blower	Serat karbon
2	Generator	Resin

3	Cetakan	Katalis
4	Amplas	Cobalt blue
5	Alat ukur	Antibubble
6	Gerinda	Anti lengket
7	Kuas	Gelcoat resin
8	Poros penghubung	Pipa aluminium
9	Arduino uno	Lem epoxy
10	Project board	Clear spray
11	Kabel-kabel	Akrilik
12	LCD	Pipa paralon
13	Sensor IR	
14	Anemometer	
15	Multimeter	
16	Wattmeter	
17	Load	
18	Lem tembak	

2.2 Proses Pembuatan Turbin Angin Komposit Serat Karbon

Dalam penelitian yang dilakukan pada gambar 2, 3 dan 4, peneliti menggunakan turbin angin yang sudu sudunya terbuat dari komposit serat karbon. Adapun langkah langkah yang dilakukan dalam pembuatan turbin angin tersebut sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat serta bahan yang hendak digunakan.
- b. Memotong serat karbon dengan ukuran 200 x 100 mm untuk blade dan lingkaran dengan diameter 180 mm untuk bagian atas dan bawah turbin.
- c. Melapisi cetakan dengan anti lengket agar komposit dapat dilepas dengan mudah dari cetakan. Adapun sudu yang dibuat memiliki panjang tali busur sebesar 85 mm dengan R lengkungan 50 mm. Pemilihan R lengkungan sudu tersebut akan mempengaruhi luas penampang sudu yang akan menangkap daya angin.
- d. Memasukkan gelcoat resin, cobalt blue dan katalis ke dalam wadah plastik dengan perbandingan 100:3:3, lalu diaduk sampai tercampur rata. Oleskan pada cetakan yang sebelumnya telah diberi anti lengket.
- e. Ketika campuran gelcoat sudah setengah mengering, serat karbon yang telah dipotong diletakkan sambil diratakan agar tidak menggelembung.
- f. Mencampurkan resin, katalis dan anti bubble pada wadah plastik dengan perbandingan 100:3:1. Setelah teraduk rata, resin dituang di atas serat karbon lalu diratakan menggunakan kuas. Diamkan selama ± 1 jam atau hingga kering sentuh.



Gambar 2. Melapisi Resin

- g. Membersihkan segera kuas yang telah digunakan agar resin tidak mengeras pada kuas dan kuas tersebut dapat digunakan kembali.
- h. Mengulangi langkah ke-6 sebanyak 5 kali atau hingga mencapai ketebalan yang telah ditentukan.
- i. Pada lapisan terakhir, komposit serat karbon didiamkan selama 6 – 8 jam agar mencapai kekerasan yang maksimal.
- j. Melepaskan komposit serat karbon dari cetakan.
- k. Merapikan sisi-sisinya menggunakan gerinda atau dapat juga menggunakan gergaji besi. Kemudian dilanjutkan dengan merapikan bagian-bagian yang tidak rata menggunakan amplas.
- l. Menggabungkan bagian-bagian blade yang telah dibuat dengan pipa aluminium sebagai porosnya menggunakan lem perekat stainless steel.
- m. Agar mencapai daya rekat yang maksimal, lem perekat harus didiamkan selama ± 16 jam.
- n. Menyemprotkan clear spray pada turbin sehingga goresan-goresan bekas mengamplas tersamarkan.



Gambar 3. Melepaskan Komposit dari Cetakan



Gambar 4. Proses Assembly

2.3 Tahapan Pengujian Sudu Turbin

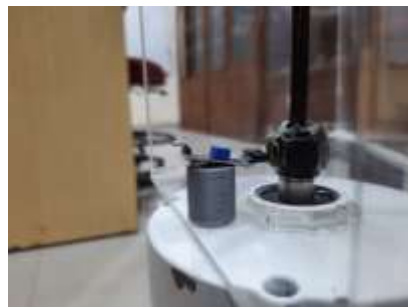
Proses pengujian dilakukan pada gambar 5 dan 6 secara langsung dengan memanfaatkan hembusan udara dari blower yang kecepatannya disesuaikan dengan keluaran AC Split Outdoor dan variabel jumlah sudu dan kecepatan angin yang ditentukan. Penelitian ini ditujukan terhadap 3 buah turbin angin yang memiliki jumlah sudu yang berbeda. Berikut adalah langkah-langkah pengujian yang telah dilakukan:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan, yaitu Savonius turbin angin, *Wind Tunnel*, generator, laptop, alat bantu ukur kecepatan putaran dan alat bantu ukur daya output.

- b. Memposisikan wind tunnel di depan sumber angin.
- c. Memposisikan letak generator dan turbin di wind tunnel.
- d. Mengaplikasikan alat bantu ukur pada generator. Sensor IR diletakkan berhadapan dengan poros generator dengan kertas putih sebagai media pembaca sensor. Sedangkan, multimeter dan wattmeter dihubungkan dengan kabel pada generator.
- e. Menghidupkan blower dan mengatur kecepatan angin sesuai dengan angka yang telah ditentukan.
- f. Menyimpan data realtime kecepatan putaran yang tercatat secara otomatis pada laptop.
- g. Mencatat data tegangan dan arus listrik yang ditampilkan pada alat bantu ukur berbasis arduino
- h. Mematikan blower
- i. Merapikan kembali alat-alat yang telah digunakan
- j. Membersihkan dan merapikan tempat pengujian



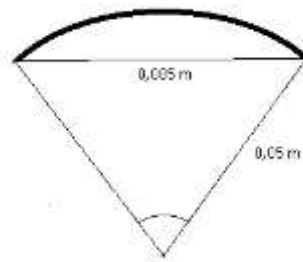
Gambar 5. Mempersiapkan Alat dan Bahan Pengujian



Gambar 6. Letak Sensor IR

2.4 Perhitungan Nilai Daya Angin

Untuk menentukan efisiensi, dibutuhkan besaran daya angin sehingga kita dapat mengetahui nilai efisiensi sudu turbin tipe vertikal yang telah diuji sebelumnya. Pada gambar 7 diketahui luas penampang dari blade mempengaruhi banyak daya angin yang mampu ditampung.



Gambar 7. Bentuk Lengkung Sudu

Mencari besar sudut:

$$\text{Besar sudut } (2\alpha) = \sin \alpha = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi miring}}$$

$$\sin \alpha = \frac{0,0425 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}$$

$$\alpha = 58,21^\circ$$

$$\text{Besar sudut } (2\alpha) = 2 \times 58,21^\circ = 116,42^\circ$$

Mencari lebar sudut dengan menggunakan rumus busur lingkaran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Lebar sudu} &= \frac{116,42^\circ}{360^\circ} \times 2 \times 3,14 \times 0,05 \\ &= 0,101 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui lebar sudut, selanjutnya menentukan luas penampang. Berikut adalah perhitungan luas penampang untuk 1 (satu) blade turbin angin:

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang} &= \text{lebar sudu} \times t \\ &= 0,101 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \\ &= 0,0202 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Data-data di atas dapat digunakan untuk mengetahui nilai daya angin dari pengujian yang telah dilakukan. Daya angin dengan besaran kecepatan angin 4 m/s dapat diketahui dengan perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned} PA &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0,0202 \text{ m}^2) \times (4 \text{ m/s})^3 \\ &= 0,776 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 2 Data Hasil Perhitungan Daya Angin

Objek Penelitian	Kec. Angin	A (m ²)	Massa jenis udara (kg/m ³)	Daya angin PA (Watt)
Prototype Turbin Angin	4 m/s	0,0202	1,2	0,776
	4,5 m/s			1,104

	5 m/s			1,515
--	-------	--	--	-------

Tabel 2 menunjukkan kemampuan angin untuk memutarakan sudu-sudu pada turbin. Nilai daya angin dapat dijadikan pembandingan daya generator sehingga kita mengetahui efisiensi dari turbin yang digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tersebut terlampir di bawah ini merupakan hasil pengujian terhadap *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Data – data diambil dengan menggunakan alat bantu ukur seperti multimeter, wattmeter, dan sensor IR yang didukung program arduino uno.

Tabel 2 Hasil Pengujian *Vertical Axis Wind Turbin* Sebelum Diberi Beban

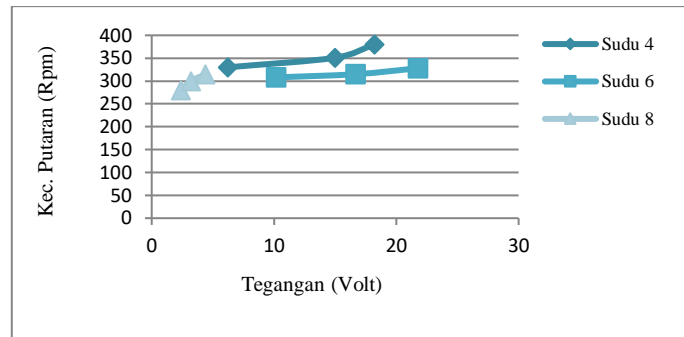
Objek Penelitian	Jumlah Sudu	Kecepatan Angin	Putaran (rpm)	Tegangan (volt)
<i>Prototype Turbin Angin</i>	4	4 m/s	330	6,2
	6		308	10,2
	8		280	2,8
	4	4,5 m/s	351	15,8
	6		315	16,7
	8		300	5
	4	5 m/s	380	18,2
	6		328	21,8
	8		315	5,4

Pada tabel 2 hasil pengujian di atas dapat diketahui jumlah sudu dari turbin dan kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap nilai kecepatan putaran dan tegangan yang dihasilkan. Menentukan desain turbin angin yang baik menjadi sangat penting sebelum melakukan pembuatan turbin. Sudu turbin angin harus memiliki penampang sehingga mampu menampung angin yang berhembus namun sudu turbin yang baik juga harus diberi celah sehingga angin yang sudah mendorong dapat lolos dan tidak menghambat putaran turbin.

Tabel 3 Hasil Pengujian *Vertical Axis Wind Turbin* Setelah Diberi Beban

Objek Penelitian	n Sudu	Kec. Angin	Putaran (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus Listrik (Ampere)
<i>Prototype Turbin Angin</i>	4	4 m/s	130	5,1	0,2
	6		121	7,2	0,2
	8		92	2,4	0,12
	4	4,5 m/s	144	15	0,28
	6		128	9,1	0,24
	8		105	4	0,12
	4	5 m/s	153	16,3	0,32
	6		136	12,2	0,24
	8		117	4,6	0,16

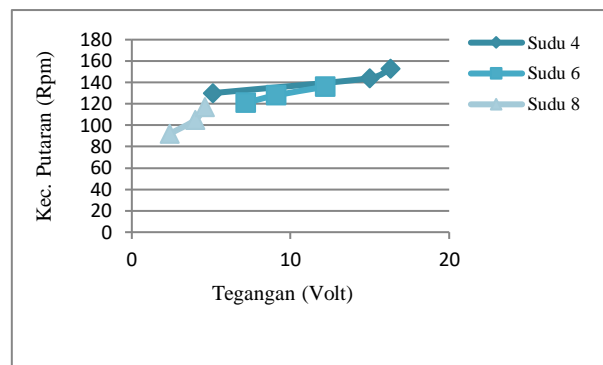
Tabel 3 menunjukkan hasil yang diambil ketika generator diberikan beban berupa bola lampu 24V/3W. Pada kondisi ini, kecepatan putaran yang dihasilkan turbin mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan ketika generator terbebani lampu, generator harus menyuplai energi lebih banyak sehingga mempengaruhi kecepatan putaran juga mengalami pembebanan dan angka putarannya menurun.



Gambar 8. Hasil Pengujian sebelum diberi beban

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran dan tegangan yang dihasilkan sebelum generator diberi beban berupa lampu 24V/3W. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran maka tegangan juga akan meningkat.

Pada gambar 9 didapat bahwa apabila kecepatan putaran yang dihasilkan turbin semakin tinggi, maka tegangan yang menjadi nilai output pun menjadi semakin besar.



Gambar 9. Hasil Pengujian setelah diberi beban

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan dari daya keluaran yang dihasilkan dari *vertical axis wind turbine*.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Daya Turbin

Objek Penelitian	Jumlah Sudu	Kecepatan Angin	Daya Output PG (Watt)
<i>Prototype</i> Turbin Angin	4	4 m/s	1,02
	6		1,44
	8		0,288
	4	4,5 m/s	4,2

	6		2,184
	8		0,48
	4	5 m/s	5,216
	6		2,928
	8		0,736

Daya output tersebut didapat dari proses perkalian antara tegangan dan arus listrik. Poros yang berputar tersebutlah yang menimbulkan daya listrik. Namun ketika diberi beban berupa lampu 24V/3W, kecepatan putaran yang menurun mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Adapun arus listrik dan nilai tegangan yang telah dihasilkan generator yang kemudian menghasilkan daya output.

Nilai efisiensi penting untuk diketahui karena dapat digunakan sebagai pembandingan dan landasan dalam memilih kombinasi yang tepat untuk penggunaan dan pengaplikasian turbin angin khususnya *vertical axis wind turbine* ini.

Tabel 5 Data Hasil Perhitungan Efisiensi

Objek Penelitian	Jumlah Sudu	Kec. Angin	Daya Angin (PA)	Daya Generator (PG)	Efisiensi (%)
<i>Prototype Turbin Angin</i>	4	4	3,103	1,02	32,87
	6		4,654	1,44	30,94
	8		6,205	0,288	4,64
	4	4,5	4,418	4,2	95,07
	6		6,627	2,184	32,96
	8		8,835	0,48	5,43
	4	5	6,060	5,216	86,07
	6		9,090	2,928	32,21
	8		12,120	0,736	6,07

Dari tabel 5 diketahui bahwa nilai efisiensi yang tertinggi terdapat pada savonius turbin angin sudu 4 dengan nilai kecepatan laju angin 4,5m/s, dimana pada sudu tersebut nilai efisiensi yang dicapai sebesar 95,07%. Sedangkan, nilai efisiensi terendah terdapat pada turbin angin savonius sudu 8 dengan nilai kecepatan 4 m/s dimana nilai efisiensi yang dicapai hanya pada angka 4,64%.

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap *vertical axis wind turbine* sebelum diberi beban menghasilkan kecepatan putaran pada interval 280 – 380 Rpm dan Tegangan pada kisaran nilai 2,8 – 21,8 Volt. Ketika generator diberi beban, tegangan dihasilkan menurun pada kisaran 2,4 – 16,3 V dan besaran arus listrik yang dihasilkannya berkisar 0,12 – 0,32 A.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa *vertical axis wind turbine* dengan desain yang telah ditentukan pada jumlah sudu 4 mampu menghasilkan daya output yang lebih tinggi daripada turbin dengan 6 *blades* dan 8 *blades* dengan tegangan maksimal 5,216 W di kecepatan angin 5 m/s, yang artinya sudu turbin 4 lebih maksimal dalam menerima daya angin. Sedangkan, sudu turbin 8 kurang maksimal dalam menerima daya angin sehingga daya output maksimal yang dihasilkan hanya senilai 0,736 pada kecepatan laju angin 5 m/s.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilaksanakan didapat bahwa tegangan dan kecepatan putaran yang dihasilkan *vertical axis wind turbine* akan menurun jika diberi beban. Dan jumlah sudu turbin serta kecepatan angin yang berhembus memiliki pengaruh terhadap daya output yang dihasilkan.

Daya output paling tinggi adalah 5,216 Watt dihasilkan oleh turbin angin dengan jumlah sudu 4 serta kecepatan angin sebesar 5m/s, sedangkan daya output paling rendah sebesar 0,288 Watt dihasilkan dengan jumlah sudu 8 untuk kecepatan angin sebedar 4m/s. Didapat juga, efisiensi daya yang tertinggi terdapat pada turbin savonius dengan jumlah sudu 4 dengan kecepatan angin pada 4,5m/s, dimana efisiensi daya yang dicapai sebesar 95,07%. Didapat juga, efisiensi daya terendah yaitu pada jumlah sudu 8 dengan laju kecepatan 4 m/s dengan efisiensi sebesar 4,64%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah mendanai penelitian melalui program penelitian Kerjasama Dosen dan Mahasiswa tahun anggaran 2022 dengan nomor kontrak 4887/PL6.2.1/LT/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., Begeman, M.L. 1979. *Manufacturing Processes (8th Edition)*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Dharma, untung surya & Mashemi. 2016. *Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius*. Jurnal Turbo. Universitas Muhammadiyah Metro. Vol. 5 No. 2. Metro
- Dhimas, fitradian. 2017. *Rahasia Dari Serat Karbon si Kuat Nan Ringan*, <https://www.otosia.com/berita/rahasia-dari-serat-karbon-si-kuat-nan-ringan.html>, diakses pada 24 Januari 2022 Pukul 09.32
- H. Napitupulu, farel & Fritz mauritz. 2013. *Uji Eksperimental dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan dan Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Putaran Turbin Angin Vertical Axis Savonius dengan Menggunakan Sudu Pengarah*. Jurnal Dinamis. Vol. II No. 12. Medan
- Homzah, O.F. dkk. 2020. *Prototype of Small Savonius Wind Turbine*. Jurnal Atlantis Highlight in Engineering. Vol. 7
- Jamal. 2019. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius*. Jurnal Intek Penelitian. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Vol. 6 No. 1. Makassar
- Latif, melda. 2013. *Efisiensi Prototype Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah*. Jurnal Rekayasa Elektrika. Vol. 10 No. 3. Aceh
- Marsono. 2018. *Peningkatan Kekakuan Sudu Turbin Angin Vertikal Berbahan Komposit Serat Karbon Melalui Rekayasa Penampang*. Jurnal Rekayasa Hijau. Institut Teknologi Nasional. Vol. 3 No. 2. Bandung
- Muttaqin, idzani & Muhammad suprpto. 2021. *Pembuatan Turbin Angin Savonius Bertingkat Berbahan Alumunium*. Jurnal Jieom. Vol. 04 No. 01. Banjarmasin
- Noviaranti, arini, Suwandi & A. Qurthobi. 2020. *Pengaruh Kelengkungan Sudu Terhadap Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Tipe U*. E-Proceeding of Engineering. Vol. 7 No. 2. Bandung

- Salim, lutfi laili, Ridwan & Iwan Setyawan. 2020. *Analisis Performa Turbin Angin Savonius Tipe U dengan Memvariasikan Jumlah Sudu Turbin*. Jurnal Penelitian Engineering. Universitas Gunadarma. Vol 24 No. 2. Jakarta Barat
- Zulfikar, Pertaonan Harahap & Henry Agung Laksono. 2019. *Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan dan Arus Generator DC*. Jurnal Rele: Jurnal Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Vol. 2 No. 1. Medan