

STUDI PERFORMASI SUDU TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE VERTICAL AXIS BERBAHAN KOMPOSIT

Ozkar F. Homzah^{1,2*}, Ella Sundari¹, Rachmat Dwi Sampurno¹, Ogi Meita Utami¹, Lili Rahmawati³

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

²Mahasiswa Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

³Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang

*Corresponding Author: ozkarhomzah@polsri.ac.id

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. Studi berupa rancang bangun sudu turbin Savonius sumbu vertikal. Dimana, sudu dibuat menggunakan bahan komposit berupa serat karbon dengan variasi jumlah sudu yaitu 4, 6 dan 8 buah. Hasil studi dilakukan pengujian menggunakan sumber angin dari blower dengan kecepatan angin yaitu 4m/s; 4,5m/s; dan 5 m/s. Dalam pengujian menggunakan pengarah angin (wind tunnel) yang dibuat menggunakan bahan akrilik dan pipa sebagai konstruksi rangka. Hasil pengujian mendapatkan daya generator maksimum dicapai oleh sudu turbin dengan jumlah sudu 4 pada nilai kecepatan angin 5 m/s dengan 0,274 watt. Sedangkan daya output terendah berada pada sudu turbin dengan jumlah blade 8 pada kecepatan angin 4 m/s dengan nilai daya senilai 0,0028 W. Lalu, dengan 8 sudu memiliki energi output yang cukup rendah dibandingkan dengan jumlah sudu 4 dan 6. Penelitian juga mendapatkan nilai performansi tertinggi dari penggunaan jumlah sudu yaitu mencapai 9,16% efisiensi generator, sedangkan untuk jumlah 4 sudu serta didapat efisiensi terendah sebesar 0,07% untuk jumlah sudu 8.

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

Abstract

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 that can be done to control climate change is to switch to the use of renewable energy. The investigation takes the shape of a vertical axis Savonius turbine blade design. The blades are made of a composite material called carbon fiber, and the number of blades varies between 4, 6, and 8 pieces. The study's findings were tested utilizing a blower-generated wind source with wind speeds of 4m/s, 4.5m/s, and 5m/s. A wind tunnel consisting of acrylic material and pipes as a frame construction was used in the test. The test findings show that turbine blades with a total of four blades produce the maximum generator power of 0.274 watts at a wind speed of 5 m/s. Meanwhile, the turbine blade with 8 blades has the lowest output power at a wind speed of 4 m/s and a power value of 0.0028 W. Then, with 8 blades, it has a relatively low output energy compared to 4 and 6 blades. Therefore, the highest efficiency performance of wind turbine use is achieved by a turbine with a number of 4 blades with a maximum efficiency is 9,16% and the minimum efficiency it seen in a wind turbine with a number of blades 8 within 0,07%.

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

PENDAHULUAN

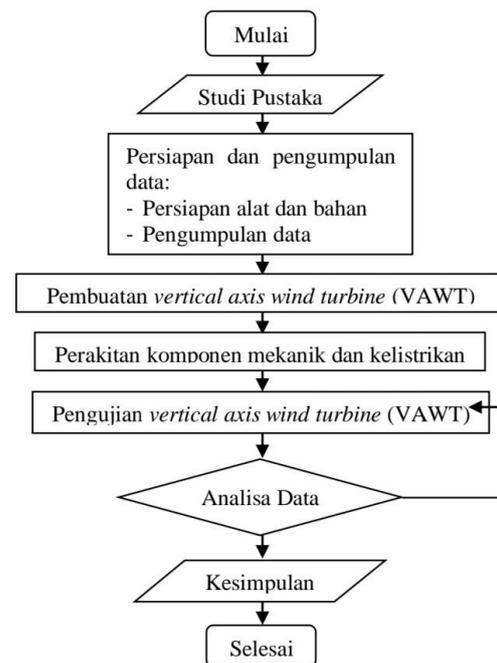
Pemanfaatan tenaga angin yang cukup mudah ditemukan sebagai sumber energi terbarukan dan bisa menjadi salah alternatif solusi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi. Salah satu solusi dari sumber energi alternatif adalah dengan memanfaatkan udara buang berupa *dry air* yang dihembuskan oleh *outdoor unit* dari mesin pendingin ruangan (*air conditioner*) digunakan oleh masyarakat Indonesia. Pemanfaatan energi panas dari AC-Split ini dapat dikonversikan menjadi energi listrik dan dapat disalurkan dan dimanfaatkan kembali dalam berbagai kebutuhan akan energi. Hasil penelitian [1] udara buang dari mesin pendingin ruangan tipe terpisah (AC-Split) memiliki energi potensial yang dapat dimanfaatkan, yaitu sebesar 2m/s sampai 6m/s.

Penelitian [13] menunjukkan bahwa *Vertical Axis Wind Turbine* untuk turbin angin dengan 2 variasi jumlah sudu dimana daya keluaran tertinggi yang dihasilkan adalah 38,88Watt. Penelitian lainnya [5] menggunakan turbin angin yang terbuat dari material filamen 3D *printing* dimana pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa daya yang dihasilkan turbin sudu ganda akan naik dengan perlahan dari 13% ke 36%. Penelitian dari [13] menggunakan 3 variasi jumlah sudu dan dapat disimpulkan bahwa banyaknya sudu dan kecepatan laju angin memiliki pengaruh terhadap daya dan torsi outputnya. Dimana menerangkan [2] bahwa 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.

Penelitian dengan orientasi untuk menganalisa performansi dari sudu savonius turbin angin dengan material komposit serat karbon. Menurut [9] penggunaan komposit serat karbon dengan penambahan tulang penguat (*stiffener-rib*) menghasilkan penambahan kekakuan dan kekuatan lentur mengikuti fungsi eksponensial. Penelitian yang dilakukan oleh [4,7] menjelaskan bahwa turbin angin savonius dapat beroperasi meski di daerah dengan kecepatan angin yang rendah, kinerjanya pun tidak berpengaruh pada arah angin serta biaya yang diperlukan untuk pembuatannya pun terbilang cukup rendah.

METODE PENELITIAN

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



Gambar 1 Flowchart 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

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

Pembuatan Turbin Angin Komposit Serat Karbon

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

1. Mempersiapkan alat serta bahan yang hendak digunakan.
2. Memotong serat karbon dengan ukuran 200 x 100 mm untuk blade dan lingkaran dengan diameter 180 mm untuk bagian atas dan bawah turbin.
3. 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.
4. 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.
5. Ketika campuran gelcoat sudah setengah mengering, serat karbon yang telah dipotong diletakkan sambil diratakan agar tidak menggelembung.
6. 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.
7. Membersihkan segera kuas yang telah digunakan agar resin tidak mengeras pada kuas dan kuas tersebut dapat digunakan kembali.
8. Mengulangi langkah ke-6 sebanyak 5 kali atau hingga mencapai ketebalan yang telah ditentukan.
9. Pada lapisan terakhir, komposit serat karbon didiamkan selama 6 – 8 jam agar mencapai kekerasan yang maksimal.
10. Melepaskan komposit serat karbon dari cetakan.
11. Merapikan sisi-sisinya menggunakan gerinda atau dapat juga menggunakan gergaji besi. Kemudian dilanjutkan dengan merapikan bagian-bagian yang tidak rata menggunakan amplas.
12. Menggabungkan bagian-bagian blade yang telah dibuat dengan pipa aluminium sebagai porosnya menggunakan lem perekat stainless steel.
13. Agar mencapai daya rekat yang maksimal, lem perekat harus didiamkan selama ± 16 jam.
14. Menyemprotkan clear spray pada turbin sehingga goresan-goresan bekas mengamplas tersamarkan.



Gambar 2 Melapisi Resin



Gambar 3 Melepaskan Komposit dari Cetakan



Gambar 4 Proses Assembly

Tahapan Pengujian Sudu Turbin

Proses pengujian dilakukan pada gambar 5 dan 6 secara langsung dengan memanfaatkan hembusan udara dari blower yang kecepatan anginnya 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:

1. Mempersiapkan alat dan bahan, yaitu Savonius turbin angin, Wind Tunnel, generator, laptop, alat bantu ukur kecepatan putaran dan alat bantu ukur daya output.
2. Memposisikan wind tunnel di depan sumber angin.
3. Memposisikan letak generator dan turbin di wind tunnel.
4. Mengaplikasikan alat 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.
5. Menghidupkan blower dan mengatur kecepatan angin sesuai dengan angka yang telah ditentukan.
6. Menyimpan data realtime kecepatan putaran yang tercatat secara otomatis pada laptop.
7. Mencatat data tegangan dan arus listrik yang ditampilkan pada alat bantu ukur berbasis arduino
8. Mematikan blower
9. Merapikan kembali alat-alat yang telah digunakan
10. Membersihkan dan merapikan tempat pengujian



Gambar 5 Mempersiapkan Alat dan Bahan Pengujian

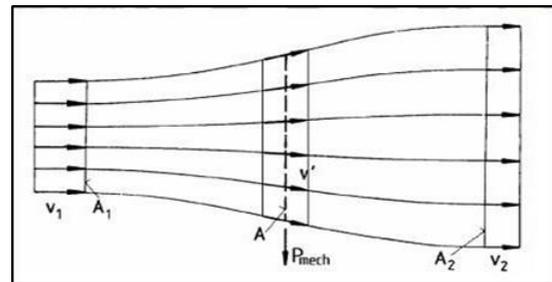


Gambar 6 Penempatan Sensor IR

Teori Momentum Daya Angin (*drag force*)

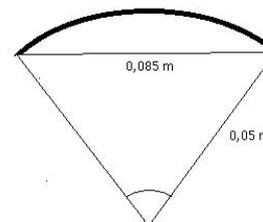
Untuk menentukan efisiensi, dibutuhkan besaran daya angin sehingga kita dapat mengetahui nilai efisiensi sudu turbin tipe vertikal yang telah diuji sebelumnya oleh [3,11]. Gambar 7, meneru teori Beltz di dalam penelitian [14] bahwa koefisien daya (C_p) merupakan hasil konversi daya angin menjadi daya mekanik generator dan bergantung dari rasio kecepatan angin.

$$C_p = \frac{v_2}{v_1} = \frac{16}{27} = 0,593 \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 7 Beltz model untuk daya angin

Pada gambar 8 dibawah didapat luas penampang dari blade mempengaruhi banyak daya angin yang mampu ditampung.



Gambar 8 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 sudu dengan menggunakan rumus busur lingkaran sebagai berikut:

$$\text{Lebar sudu} = 116,42^\circ \times \frac{360^\circ}{2\pi} \times 0,05$$

$$= 0,101 \text{ m}$$

Setelah mengetahui lebar sudu, selanjutnya menentukan luas penampang. Perhitungan luas penampang untuk 1 (satu) blade turbin angin:

$$\text{Luas penampang} = \text{lebar sudu} \cdot t$$

$$= 0,0202 \text{ m}^2$$

Data-data di atas dapat digunakan untuk mengetahui nilai daya angin dari pengujian yang telah dilakukan. Menurut [14] Daya angin (PA) dengan besaran kecepatan angin 4 m/s dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini:

$$PA = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2)$$

$$= 0,593 \times \frac{1}{2} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0,0202 \text{ m}^2) \times (4 \text{ m/s})^3$$

$$= 0,461 \text{ Watt}$$

Tabel 2 Perhitungan Daya Angin

Kec. Angin (m/s)	A (m ³)	ρ (kg/m ³)	PA (Watt)
4			0,461
4,5	0,0202	1,2	0,654
5			0,898

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

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

Jumlah Sudu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	Tegangan (volt)
4		330	6,2
6	4,0	308	10,2
8		280	2,8
4		351	15,8
6	4,5	315	16,7
8		300	5,0
4		380	18,2
6	5,0	328	21,8
8		315	5,4

Tabel 3 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. Dari tabel 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran dan tegangan yang dihasilkan sebelum generator diberi beban berupa lampu 12V/3W bahwa semakin tinggi kecepatan putaran maka tegangan juga akan meningkat.

Tabel 4 Hasil Pengujian *Vertical Axis Wind Turbin* Diberi Beban

Jumlah Sudu	Kec. Angin (m/s)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp)
4		130	5,1	0,0021
6	4 m/s	121	7,2	0,0091
8		92	2,4	0,0012
4		144	15	0,0160
6	4,5 m/s	128	9,1	0,0024
8		105	4	0,0032
4		153	16,3	0,0168
6	5 m/s	136	12,2	0,0124
8		117	4,6	0,0036

Tabel 4 menunjukkan hasil yang diambil ketika generator diberikan beban berupa bola lampu 12V/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.

Tabel 5 Nilai Daya Mekanik Genarator (PG)

Jumlah Sudu	Kecepatan Angin (m/s)	PG (Watt)
4	4	0,011
6		0,065
8		0,0028
4	4,5	0,24
6		0,022
8		0,013
4	5	0,274
6		0,151
8		0,016

Tabel 5 merupakan hasil perhitungan dari daya keluaran yang dihasilkan dari *vertical axis wind turbine*. 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.

Menurut [2,8] nilai efisiensi generator 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*. Penggunaan PMG (permanetn magnetic generator) dapat mengeliminasi kerugian mekanik dari generator.

Tabel 6 Nilai Performasi daya generator

Jumlah Sudu	Kec. Angin (m/s)	PA (Watt)	PG (Watt)	Efisiensi (%)
4	4	1,83	0,011	0,58
6		2,76	0,065	2,37
8		3,67	0,0028	0,07
4	4,5	2,62	0,24	9,16
6		3,93	0,022	0,55
8		5,24	0,013	0,24
4	5	3,60	0,274	7,61

Jumlah Sudu	Kec. Angin (m/s)	PA (Watt)	PG (Watt)	Efisiensi (%)
6		5,40	0,151	2,80
8		7,18	0,016	2,30

Dari tabel 6 diketahui bahwa nilai efisiensi daya generator 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 9,16%. Sedangkan, nilai efisiensi daya generator terendah terdapat pada turbin angin savonius sudu 8 dengan nilai kecepatan 4 m/s dimana nilai efisiensi yang dicapai hanya pada angka 0,07%.

Hasil pengujian terhadap *vertical axis wind turbine* sebelum diberi beban menunjukkan 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 dihasilkan berkisar 0,0012A – 0,0168A.

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 daya maksimal 0,274Watt 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 dengan daya generator tertinggi dihasilkan sebesar 0,016Watt pada kecepatan laju angin 5 m/s.

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 generator terbesar sebesar 0,274watt dihasilkan oleh turbin angin dengan jumlah sudu 4 serta kecepatan angin sebesar 5m/s, sedangkan daya minimum dihasilkan sebesar 0,0028Watt dengan jumlah sudu 8 untuk kecepatan angin sebedar 4m/s. Hasil studi juga diketahui bahwa efisiensi performansi dari generator terbaik yaitu untuk jumlah sudu 4 dengan kecepatan angin pada 4,5m/s yang dicapai sebesar 9,16%. Sedangkan, performansi generator terendah yaitu pada jumlah sudu 8 dengan laju kecepatan 4 m/s dengan efisiensi sebesar 0,07%.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

- [1] Ching-Song Jwo, Zi-Jie Chien, Yen-lin Chen and Chao-Chun Chine, "Development of a Wind Directly Forced Heat Pump and Its Efficiency Analysis", *International Journal of Photo energy*, vol. 2013, pp.1-7, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/862547>.
- [2] Amstoad, B.H., Ostwald, P.F., Begeman, M.L. 1979. *Manufacturing Processes* (8th Edition). John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [3] 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.
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] Homzah, O.F. et al. 2020. Prototype of Small Savonius Wind Turbine. *Proceedings Highlight in Engineering*. Vol. 7, Atlantis Press.
- [7] Jamal. 2019. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius. *Jurnal Intek Penelitian*. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Vol. 6 No. 1.
- [8] Latif, Melda. 2013. Efisiensi Prototype Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Vol. 10 No. 3. doi: <https://doi.org/10.17529/jre.v10i3.1030>
- [9] Marsono. 2018. Peningkatan Kekakuan Sudu Turbin Angin Vertikal Berbahan Komposit Serat Karbon Melalui Rekayasa Penampang Inersia. *Jurnal Rekayasa Hijau*. Vol. 2 No. 3. doi: <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i3.2514>
- [10] Muttaqin, idzani & Muhammad suprpto. 2021. Pembuatan Turbin Angin Savonius Bertingkat Berbahan Aluminium. *Jurnal Jieom*. Vol. 04 No. 01.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Hua Erich, 2006, "Wind Turbines Fundamentals Technologies, Application, Economics", 2nd Edition, Springer.