

## Pengembangan Turbin Angin Jenis Savonius dengan Bilah Kombinasi Profil Lurus dan Sudut Potong Bilah

Hilmiy Fadilah<sup>1</sup>, Maria Fransisca Soetanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : Hilmiy.fadilah.aer21@polban.ac.id

<sup>2</sup>E-mail : mariasoetanto@polban.ac.id

### ABSTRAK

Pemanasan global merupakan masalah serius di seluruh dunia, termasuk Indonesia yang sedang mengalami perubahan iklim signifikan. Untuk mengatasi hal ini, pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah strategis dengan meningkatkan penggunaan EBT, salah satunya adalah energi angin melalui turbin angin. Meskipun kecepatan angin rata-rata di Indonesia rendah, sekitar 1 m/s hingga 4.6 m/s, turbin angin Savonius cocok untuk digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan turbin angin tipe Savonius dengan bilah kombinasi profil lurus dan sudut potong bilah. Proses nya meliputi studi literatur, penentuan spesifikasi turbin, pembuatan gambar desain, pembuatan komponen, perakitan, pengujian, dan analisis data. Komponen model turbin angin Savonius berhasil dirangkai sesuai spesifikasi. Pada pengujian menghasilkan RPM maksimum turbin sebesar 1580 pada kecepatan angin 3.56 m/s dan daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin pada pengujian adalah 3.01 Watt. Desain ini diharapkan dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dan menciptakan solusi berkelanjutan untuk memerangi perubahan iklim global.

### Kata Kunci

*Turbin angin savonius, bilah profil lurus, dan sudut potong*

### ABSTRACT

*Global Global warming is a serious problem around the world, including Indonesia which is experiencing significant climate change. To address this, the Indonesian government has taken strategic steps by increasing the use of renewable energy, one of which is wind energy through wind turbines. Although the average wind speed in Indonesia is low, around 1 m/s to 4.6 m/s, Savonius wind turbines are suitable for use. This research aims to develop a Savonius type wind turbine with a combination of straight profile blades and blade cutting angle. The process includes literature study, determination of turbine specifications, design drawing, component manufacturing, assembly, testing, and data analysis. The Savonius wind turbine model components were successfully assembled according to specifications. The test resulted in a maximum turbine RPM of 1580 at a wind speed of 3.56 m/s and the maximum power generated by the turbine in the test was 0.86. This design is expected to increase the use of renewable energy, reduce dependence on fossil energy, and create sustainable solutions to combat global climate change.*

### Keywords

*Savonius wind turbine, straight profile blades, and blade cutting angle*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Peningkatan suhu rata-rata di lautan, daratan dan atmosfer bumi dikenal sebagai pemanasan global [1]. Hal ini menjadi isu yang memerlukan penanganan segera karena dampaknya terasa di

berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia yang mengalami perubahan iklim yang sangat signifikan akibat pemanasan global. Salah satu penyebabnya adalah peningkatan suhu aktivitas

manusia yang secara terus-menerus menghasilkan gas rumah kaca, seperti pembakaran bahan fosil dengan jumlah yang besar [2].

Pemerintah Indonesia telah menetapkan langkah-langkah strategis untuk mengatasi masalah pemanasan global melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Tujuan dari kebijakan ini adalah untuk mendorong pemanfaatan Energi Baru Terbarukan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan. Hal ini muncul dari pergerakan udara yang terjadi karena perbedaan tekanan udara antara daerah bertekanan tinggi dan rendah. Pemanfaatan energi angin dilakukan dengan menggunakan turbin angin, alat yang mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik.

Di dataran Indonesia, kecepatan rata-rata angin sekitar 1 m/s sampai 4.6 m/s menunjukkan bahwa kecepatan angin di Indonesia terbilang cukup rendah [4]. Oleh karena itu, dipilih jenis turbin angin Savonius yang dirancang khusus untuk kondisi wilayah dengan kecepatan angin rendah. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengembangan turbin angin jenis Savonius dengan bilah kombinasi profil lurus dan sudut potong bilah. Selanjutnya, akan dilakukan pengujian pada windtunnel untuk mengukur kecepatan angin dan putaran turbin.

## 1.2 Kajian Pustaka

Pada penelitian [5] Penelitian ini melakukan perancangan dan pembuatan turbin angin Savonius yang memiliki bentuk bilah dengan sudut potong dan pada roda gigi turbin menggunakan modul 1.5 serta jumlah gigi 153. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa meskipun turbin Savonius dapat berputar pada kecepatan angin rendah, bahkan kurang dari 1 m/s, namun tidak mampu mengisi accumulator atau baterai. Penulis mengacu pada penelitian ini untuk mendapatkan referensi terkait bentuk bilah dan roda gigi yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Pada penelitian [6] berfokus pada pengembangan turbin angin Savonius yang menggunakan drum plastik sebagai bilahnya. Turbin ini memiliki dimensi tinggi 1,68 m dan diameter 0.55 m, serta menggunakan komponen lain yang terbuat dari bahan yang ekonomis dan mudah didapatkan di pasar lokal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 2 m/s, turbin mencapai 54.2 putaran per menit; pada 4 m/s, mencapai

(EBT) dan mengurangi ketergantungan pada penggunaan sumber energi fosil. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki ambisi untuk meningkatkan penggunaan EBT dalam bauran energi hingga mencapai 23%. Namun, saat ini, pemanfaatan EBT baru mencapai 12,8%, sejauh yang dicatat oleh ESDM [3].

Energi angin menjadi salah satu sumber

86.8 putaran per menit; dan pada 6 m/s, mencapai 124.2 putaran per menit. Penelitian ini juga mengatakan bahwa turbin Savonius dengan tiga sudu mampu menghasilkan torsi dan daya listrik yang lebih tinggi pada kecepatan angin rendah, khususnya pada 1.8 m/s, jika dibandingkan dengan turbin yang hanya memiliki dua sudu. Pada penelitian ini penulis menjadikan sebagai referensi untuk membuat 3 bilah pada penelitian ini.

Pada penelitian [7] Dimana melakukan pembuatan turbin angin prototype dan menjelaskan tentang klasifikasi angin seperti klasifikasi angin 1 yaitu udara ringan dengan indikator arahnya ditunjukkan ditunjukkan oleh gerak asap dengan kecepatan anginnya 1 m/s, klasifikasi angin 2 yaitu tiupan ringan dengan indikator Terasa diwajah serta daun daun berdesir dengan kecepatan angin 2-3 m/s, dan masih banyak lagi klasifikasi angin lainnya. Lalu pada penelitian ini bisa mengetahui tentang klasifikasi angin yang ideal untuk turbin angin.

## 1.3 Energi Angin

Energi angin adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan udara atau angin yang bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Angin merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan, berlimpah, dan dapat diperbaharui, sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan [8].



Gambar 1. Peta Kecepatan Angin Indonesia [9]

### 1.4 Skala Beaufort

Skala Beaufort merupakan metode pengukuran kecepatan angin yang menggambarkan pengaruhnya terhadap gelombang air laut, ditampilkan data skalanya pada tabel 1 [10].

Tabel 1. Skala Beaufort

Skala Beaufort	Deskripsi	Kecepatan Angin (m/s)	Tinggi Gelombang (m)
1	Tenang	0 – 0.3	0
2	Sedikit Tenang	0.3 – 1.5	0 – 0.2
3	Hembusan Angin Sedikit	1.5 – 3.3	0,2 – 0.5
4	Hembusan Angin Pelan	3.3 – 5.5	0.5 – 1
5	Hembusan Angin Sedang	5.5 – 8	1 – 2
6	Hembusan Angin Sejuk	8 – 10.8	2 – 3
7	Hembusan Angin Kuat	10.8 – 13.9	3 – 4
8	Mendekati Kencang	13.9 – 17.2	4 – 5.5
9	Kencang	17.2 – 20.7	5.5 – 7.5
10	Kencang Sekali	20.7 – 24.5	7.5 – 10
11	Badai	24.5 -28.4	10 – 12.5
12	Badai Dasyat	28.4 – 32.6	12.5 – 16
13	Badai Topan	32.6 <	16 <

Kecepatan angin pada tingkat rendah tergolong saat kurang dari 4 m/s. Sementara itu, kecepatan angin berkisar antara 4 hingga 5 m/s dianggap sebagai kategori kecepatan angin pada tingkat menengah, dan kecepatan angin yang melampaui 5 m/s diklasifikasikan sebagai kecepatan angin tinggi [11].

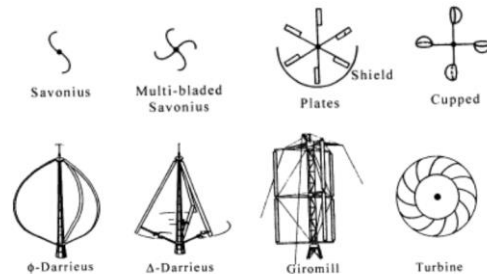
### 1.5 Turbin Angin

Berdasarkan orientasi rotornya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis: sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Rotor sumbu horizontal berputar sejajar dengan arah angin yang datang, sementara rotor sumbu vertikal berputar melawan arah angin yang datang. Rotor sumbu horizontal menggunakan gaya angkat, memiliki bilah yang ramping, dan berputar dengan kecepatan tinggi. Di sisi lain, rotor sumbu vertikal menggunakan gaya hambat, memiliki bilah yang lebar, dan berputar dengan kecepatan rendah [12]

### 1.6 Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

VAWT adalah jenis turbin angin dengan sumbu tegak, di mana gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, memungkinkan rotor untuk

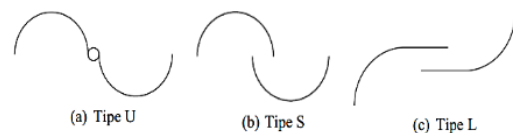
berputar dalam semua arah angin. Turbin ini memiliki tiga jenis rotor, yaitu Savonius, Darrieus, dan H rotor, di mana Turbin Savonius memanfaatkan gaya drag, sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya lift. Seperti HAWT, VAWT juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya meliputi torsi tinggi untuk berputar pada kecepatan angin rendah, kemudahan perawatan dengan penempatan dinamo atau generator di bagian bawah turbin, keheningan operasi, dan kemandirian terhadap arah angin. Namun, kekurangannya meliputi kecepatan angin yang rendah di bagian bawah turbin tanpa menara pendukung, potensi putaran rendah jika tanpa menara, dan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan HAWT. Awalnya dikembangkan untuk konversi energi mekanik, VAWT kini banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil berkat perkembangan desain [13].



Gambar 2. Turbin Angin VAWT [13]

### 1.7 Turbin Angin Savonius

Turbin Savonius, salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal, memiliki struktur yang sederhana, beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah, dan memiliki kemampuan menangkap angin dari berbagai arah. Namun, efisiensi aerodinamis turbin ini cenderung rendah. Proses pembuatan turbin Savonius juga lebih mudah karena menggunakan desain yang sederhana. Bilah turbin Savonius yang berbentuk cekung ketika menerima tekanan udara dan cembung ketika berputar searah rotasi turbin menyebabkan efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin jenis lainnya [14].



Gambar 3. Model Turbin Angin Savonius [14]

### 1.8 Daya

Tenaga total yang dihasilkan oleh aliran angin sama dengan laju energi kinetik dari aliran angin yang datang, yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut [15].

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

### 1.9 Koefisien Energi

Aliran udara yang melewati bilah turbin tidak dapat menghasilkan energi secara maksimal karena sebagian energi kinetik udara disimpan dan dilepaskan oleh bilah selama interaksi. Oleh karena itu, rotor turbin tidak dapat menyerap seluruh energi angin yang ada [5].

$$P = \frac{1}{2} C_p \times \rho \times A V^3 \quad (2)$$

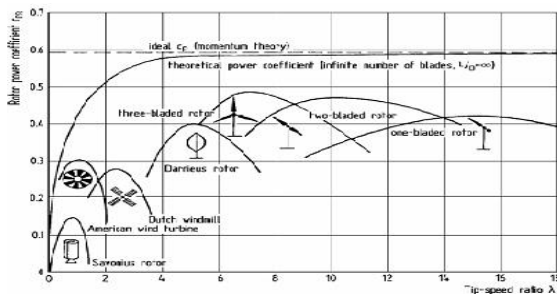
### 1.10 Tips Speed Ratio (TSR)

TSR atau Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan pada ujung bilah turbin dengan kecepatan angin sebenarnya. Apabila kecepatan pada ujung bilah turbin sama dengan kecepatan angin sesungguhnya, maka nilai rasio TSR adalah 1, mengindikasikan bahwa kecepatan putar turbin setara dengan kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan  $\lambda$  [5].

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (3)$$

### 1.11 Teori Betz

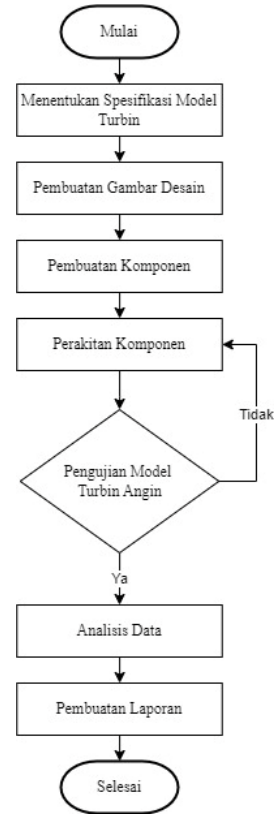
Teori Betz, atau yang lebih umum dikenal sebagai Batas Betz, mengacu pada limitasi angka 16/27 atau sekitar 59.3%, yang diambil dari nama ilmuwan Jerman Albert Betz. Angka ini secara teoritis mencerminkan batas efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin [5].



Gambar 4. Diagram Teori Betz [5]

## 2. METODE PENELITIAN

Tahap Penelitian ini menggunakan diagram alir dengan langkah-langkah berikut:



Gambar 5. Diagram Alir

1. Studi Literatur, dilakukan penelusuran referensi terkait turbin angin jenis Savonius dengan tujuan mengumpulkan informasi relevan dari berbagai sumber. Informasi tersebut akan menjadi dasar dalam merancang spesifikasi turbin angin jenis Savonius.
2. Menentukan Spesifikasi Turbin, melibatkan implementasi informasi dan data yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya, yakni studi literatur.
3. Pembuatan Gambar Desain, merupakan tahap merancang komponen sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya.
4. Pembuatan Komponen Turbin, konsep dan spesifikasi hasil perancangan akan diimplementasikan ke dalam bentuk fisik melalui proses pembuatan komponen.
5. Perakitan Komponen Turbin, Komponen-komponen yang telah diproduksi akan

disatukan menjadi satu kesatuan sesuai dengan desain yang telah ditetapkan sebelumnya.

6. Pengujian Turbin Angin, memegang peran penting dalam memastikan bahwa turbin berfungsi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pengujian juga dilakukan untuk mengukur kecepatan angin dan putaran turbin.
7. Analisis data dari hasil pengujian wind tunnel untuk mengetahui daya poros turbin yang dihasilkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Spesifikasi

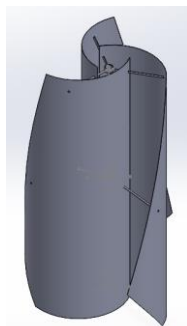
Dengan memanfaatkan data yang telah terkumpul, akan ditentukan ukuran dan bentuk turbin angin yang akan digunakan. Berikut adalah rincian spesifikasi untuk turbin angin vertikal jenis Savonius yang direncanakan sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Angin

No.	Nama	Spesifikasi
1.	Jenis Turbin Angin	VAWT Savonius Tipe S
2.	Tinggi Turbin	33 cm
3.	Diameter Turbin	150 mm
4.	Jumlah bilah	3 Bilah

#### 3.2 Gambar 3D

Pada gambar 3D assembly turbin, terdapat berbagai komponen yang saling terhubung terdiri dari poros, strut, dan bilah turbin.



Gambar 6. Gambar 3D Assembly Turbin

### 3.3 Pembuatan Komponen

#### 3.2.1 Bilah Turbin

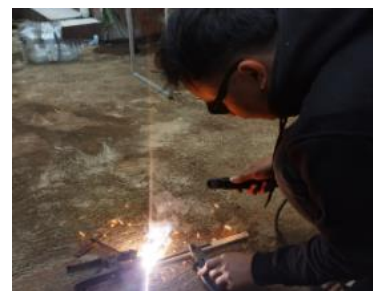
Pembuatan bilah turbin dimulai dengan membuat sketsa ukuran menggunakan penggaris dan penggores pada permukaan bahan, dilanjutkan dengan pemotongan awal bahan menjadi tiga bagian menggunakan alat pemotong plat. Setiap bagian kemudian dipotong dan dibentuk menjadi profil lurus dan sudut potong bilah. Setelah itu, dilakukan rolling dengan mesin rolling manual untuk membentuk bilah menjadi lengkungan setengah lingkaran sesuai desain turbin.



Gambar 7. Pembuatan Bilah

#### 3.2.2 Strut

Selanjutnya pembuatan strut dimulai dengan memotong batang besi sesuai panjang yang ditentukan menggunakan mesin gerinda tangan, dengan tiga batang besi untuk setiap strut. Selanjutnya, pipa besi dipotong dan permukaan potongan dihaluskan dengan amplas. Tahap akhir adalah menyambungkan batang besi dengan pipa besi melalui proses pengelasan



Gambar 8. Pembuatan Strut

#### 3.2.3 Roda Gigi

Lalu pada proses pembuatan roda gigi dimulai dengan pemilihan dan pemotongan bahan nylon PE sesuai kebutuhan menggunakan mesin pemotong. Setelah itu, bahan nylon dibubut untuk menentukan diameter luar, lubang poros, dan ketebalan yang diinginkan, dengan

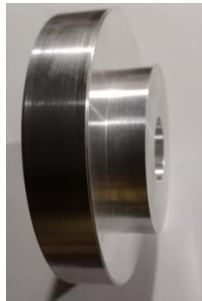
memastikan setiap tahap dilakukan dengan presisi. Selanjutnya, profil gigi dibuat pada bahan nylon yang telah dibubut menggunakan mesin hobbing.



Gambar 9. Pembuatan Roda Gigi

### 3.2.4 Bearing Housing

Terakhir pada bearing housing dibuat dari bahan duralium yang proses nya dilakukan pembubutan muka untuk meratakan permukaan bahan dan membuat lubang awal menggunakan center drill. Selanjutnya, proses pembubutan dilakukan untuk memastikan permukaan halus dan sejajar, memperbesar lubang awal hingga mencapai diameter yang diinginkan, dan membuat beberapa tingkat diameter luar housing.



Gambar 10. Pembuatan Bearing Housing

### 3.4 Perakitan Komponen

Hasil perakitan menunjukkan bahwa semua komponen turbin angin Savonius telah berhasil dirakit dengan baik. Poros, bilah turbin, serta strut telah dipasang sesuai spesifikasi.



Gambat 11. Perakitan Turbin Angin

### 3.5 Pengujian Model Turbin Angin

Dalam pengujian akan menggunakan wind tunnel dengan 3 variasi RPM Windtunnel yaitu 117,217, dan 317. Serta tujuannya untuk mengukur kecepatan angin dan RPM yang dihasilkan.



Gambar 12. Windtunnel

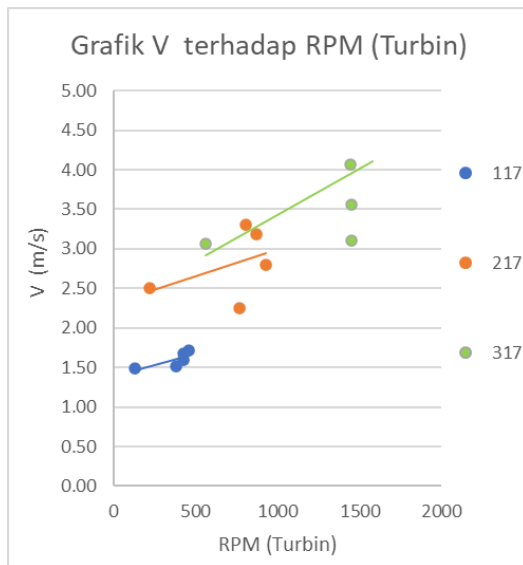
Diperoleh data hasil pengujian turbin angin pada tabel 2.

Tabel 3. Hasil Pengujian

RPM (Windtunnel)	Pengujian	V m/s	RPM (Turbin)	$\omega$ (rad/s)
117	1	1.68	125.6	13.15
	2	1.51	376.5	39.41
	3	1.59	422.2	44.19
	4	1.49	427	44.69
	5	1.72	456.1	47.74
217	1	2.51	215	22.50
	2	3.30	804	84.15
	3	3.19	870	91.06
	4	2.25	765	80.07
	5	2.80	925	96.82
317	1	4.06	563	58.93
	2	3.0	1450.7	151.8

	6		4
3	3.10	1452.1	151.99
4	5.11	1445	151.24
5	3.56	1580	165.37

Dengan hasil pengujian pada tabel 2 maka dapat dibuat grafik RPM (Turbin) Terhadap V.



Gambar 13. Grafik V Terhadap RPM (Turbin)

Pada grafik diatas menyimpulkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan angin maka semakin meningkat juga RPM yang dihasilkan oleh turbin. Setelah itu kita dapat menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Daya

RPM Windtunnel	V m/s	RP M Turbin	$\omega$ (rad/s)	R (m)	TS R	CP	P
117	1.68	125.6	13.15	0.075	0.59	0.16	0.90
217	2.51	215.0	22.50	0.075	0.67	0.17	3.01
317	4.06	563.3	58.93	0.075	1.08	0.14	1.78

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil Penelitian ini mengenai perancangan, pembuatan, perakitan, dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembuatan dan perakitan komponen model turbin angin Savonius berhasil dibuat dan dirangkai sesuai dengan yang ditentukan
2. Pengukuran putaran turbin angin menggunakan model turbin dengan berbagai kecepatan RPM di wind tunnel dengan RPM 117, 217, dan 317, dengan RPM Turbin maksimum yang dihasilkan pada pengujian sebesar 1580 yang di peroleh pada kecepatan angin 3.56 m/s.
3. Daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin pada pengujian adalah 3.01 Watt.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Rahmadania and T. Sipil, "Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penanggulangnya," *Ilmuteknik.org*, vol. 2, no. 3, pp. 1–13, 2022.
- [2] Nita Fitriani, "Cuaca Panas, Dampak Pemanasan Global Kian Terasa: Apa yang Harus Dilakukan?," *OPEN DATA JABAR*. Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://opendata.jabarprov.go.id/id/artikel/cuaca-panas-dampak-pemanasan-global-kian-terasa-apa-yang-harus-dilakukan>
- [3] Verda Nano Setiawan, "Baru 12,8%, Bauran Energi Hijau RI Masih Jauh dari Target," *CNBC Indonesia*. Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231006151603-4-478552/baru-128-bauran-energi-hijau-ri-masih-jauh-dari-target>
- [4] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Bandung/Meteorological, "Kecepatan Angin per Bulan di Kota Bandung (Knot), 2020-2022," *BADAN PUSAT STATISTIK KOTA BANDUNG*. Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://bandungkota.bps.go.id/indicator/151/1247/1/kecepatan-angin-per-bulan-di-kota-bandung.html>
- [5] Akbar Wiji Prayogo and Muhammad Ishaq Syaifuddin, "RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SAVONIUS SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK PADA JALUR PENDAKIAN DI GUNUNG ARTAPELA DESA CIBEREUM," *Tugas Akhir*, pp. 1–43, Jun. 2023.

- [6] D. Teguh Rudianto, P. Studi Teknik Elektro, P. Studi Teknik Mesin, and S. R. Tinggi Teknologi Adisutjipto Jl Janti Blok LanudAdisutipto, “RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SAVONIUS 200 WATT,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan (SENATIK)*, vol. II, pp. 2528–1666, 2016.
- [7] S. Elektro and S. I. Haryudo, “Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN TURBIN ANGIN SAVONIUS,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 01, pp. 171–177, 2020.
- [8] I. Alit and S. Pamuji, “Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut,” *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, p. p, 2016, doi: 10.29303/dtm.v6i2.13.
- [9] “Potensi Energi Angin Indonesia 2020,” DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU TERBARUKAN DAN KONVERSI ENERGI (EBTKE).
- [10] Lusiani, “KLASIFIKASI ANGIN BERDASARKAN KECEPATAN ANGIN DENGAN SKALA BEAFORT PADA PERAIRAN CILACAP,” *Saintara*, vol. 2, no. 1, pp. 24–28, Sep. 2017.
- [11] M. Latif, M. Muharam, H. Dibyo Laksono, S. Yunus, and A. Rajab, “Prototipe Turbin Angin Savonius Empat Sudu Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Pengisian Baterai,” *Jurnal Amplifier Mei*, vol. 12, 2022.
- [12] A. Marabdi Siregar and F. Lubis, “MEKANIK,” *Teknik Mesin ITM*, vol. 5, no. 1, pp. 36–40, 2019.
- [13] Yusuf Ismail Nakhoda, “PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA DI DAERAH PESISIR PANTAI,” *Industri Inovatif*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, Apr. 2017.
- [14] S. Sudirman and H. Santoso, “Pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan,” *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 2, p. 255, Nov. 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i2.9073.
- [15] E. Maulana, E. Djatmiko, D. Mahandika, and R. C. Putra, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk Kapasitas 100 W,” *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, pp. 183–190, Jul. 2021, doi: 10.35814/asiimetrik.v3i2.2164.