



Rancang Bangun Desain Bilah Turbin Angin *Taperless* Sumbu Horizontal 3 Sudu Menggunakan Material Kayu Mahoni: Studi Eksperimen Sistem Pengereman *Electric Dynamic Braking* dan Performa di Pantai Asmara Jember

Zainal Muttaqien Sulaiman¹, Yoniva Nandarista Poma¹, Maulana Alfi Fredyansyah^{1*}, Marcelino Ricky Merican¹, Vita Ayu Puspitasari¹, dan Muhammad Zainuri¹

¹ Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

* Korespondensi Korespondensi: maulana.alfi21@gmail.com; Tel.: 085264156336

Sitasi: Sulaiman, Z. M.; Poma, Y. N.;

Fredyansyah, M. A.; Merican, M. R.;

Puspitasari, V. A.; Zainuri, M. (2025).

Rancang Bangun Desain Bilah Turbin

Angin *Taperless* Sumbu Horizontal 3 Sudu

Menggunakan Material Kayu Mahoni:

Studi Eksperimen Sistem Pengereman

Electric Dynamic Braking dan Performa di

Pantai Asmara, Jember. J-TETA: Jurnal

Teknik Terapan, V(4) N(1), hlm. 44-49.



Copyright: © 2025 oleh para penulis.

Karya ini dilisensikan di bawah Creative

Commons Attribution-Share Alike 4.0

International License.

([https://creativecommons.org/licenses/b](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

y-sa/4.0/).

Abstract: *Wind turbines are one of the environmentally friendly conversion tools with one of the main components being blades. Jember is one of the districts of East Java. The average wind speed in Indonesia is relatively low ranging from 3 m/s to 5 m/s. The potential for wind in Indonesia is available almost all year round, so there is a possibility of developing technology to utilize this energy with some previous limitations. Windmill modifications need to be made that are adapted to low wind speed conditions to be able to produce optimal electrical energy. Therefore, a design of HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) blades using mahogany wood material was made by testing the current, voltage, and wind speed system at Asmara Beach, Jember. This study aims to design and evaluate the performance of a taperless bladed wind turbine made from mahogany wood as an alternative environmentally friendly material. The turbine design is optimized through numerical simulation to achieve maximum efficiency. The results show that wind turbines made from mahogany wood have potential as a promising source of renewable energy, especially in areas with moderate wind speeds.*

Keywords: *Electrical Energy, Mahogany, Taperless, Wind Turbine*

Abstrak: Turbin angin merupakan salah satu alat konversi ramah lingkungan dengan salah satu komponen utamanya adalah bilah. Jember adalah salah satu kabupaten dari provinsi Jawa Timur. Kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong rendah berkisar 3 m/s hingga 5 di m/s. Potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga ada kemungkinan pengembangan teknologi untuk memanfaatkan energi tersebut dengan beberapa keterbatasan sebelumnya. Modifikasi kincir angin perlu dilakukan yang disesuaikan dengan kondisi kecepatan angin yang rendah untuk dapat menghasilkan energi listrik yang optimal. Oleh sebab itu, dibuat rancangan bilah HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) menggunakan material kayu mahoni dengan uji coba tata arus, tegangan, dan kecepatan angin di pantai asmara, jember. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mengevaluasi kinerja turbin angin berbilah taperless berbahan kayu mahoni sebagai alternatif material ramah lingkungan. Desain turbin dioptimalkan melalui simulasi numerik untuk mencapai efisiensi maksimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin angin berbahan kayu mahoni memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan yang menjanjikan, terutama di daerah dengan kecepatan angin sedang.

Kata kunci: Energi Listrik, Mahoni, *Taperless*, Turbin Angin

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan dan memiliki kekayaan energi yang dapat dimanfaatkan diantaranya berasal dari energi angin yang dapat dibangkitkan melalui turbin angin. Dalam perancangannya turbin dan tipe bilah disesuaikan dengan karakteristik daerah setempat. Kecepatan angin daerah perkotaan berkisar antara 3 m/s sampai dengan 7 m/s dengan jenis turbin turbin angin mikro dan tip speed ratio yang dimiliki kecil sehingga dampak kebisingan yang ditimbulkan dapat diminimalisir pada saat turbin angin beroperasi [1]. Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan posisi dari sumbu putar yaitu jenis Horizontal Axial Wind Turbine dan Vertical Axial Wind Turbine. Turbin angin sumbu horizontal biasanya menggunakan jenis airfoil yang sederhana berstandar pada NACA. Desain blade diklasifikasikan menjadi 3 yaitu taper, taperless dan invers taper dengan variasi jumlah blade sangat berpengaruh terhadap putaran turbin dan daya yang akan dihasilkan walaupun kecepatan aliran yang mengalir ke turbin sama [2].

Desain bilah taperless untuk kecepatan 7-12 m/s dan koefisien daya (C_p) maksimum 0,5, sudut puntir 11,40 sampai dengan 7,170 dan jari-jari 0,8 m menggunakan kayu mahoni dikarenakan ringan, kuat serta murah dibandingkan dengan jenis bahan lain yang biasanya digunakan besi dan plastik. Turbin angin jenis airfoil NACA 4412 dan NACA 4415 berbahan kayu Mahoni dan Pinus jenis taperless lebih baik dari jenis taper untuk TSR 7 taperless bernilai C_p 52% [3]. Daya dengan kecepatan angin 12 m/s 1549,88 W sedangkan jenis taper hanya mencapai 1234,31 W. Hasil pengujian untuk kayu mahoni menunjukkan keretakan pada salah satu blade, sedangkan untuk kayu pinus tidak terjadi keretakan. Bilah jenis taperless memiliki C_p bernilai 53% dan daya 2161 W lebih tinggi dibandingkan dengan jenis taper yang dayanya hanya mencapai 791 W, selain itu Twist amat memengaruhi proses pembuatan bilah pada kayu. Untuk sudut puntir yang tidak linear, maka perlu dilinierisasi dan dimodifikasi untuk memudahkan pembuatan bilah pada kayu sebesar 75% dari jari-jari yang digunakan. Turbin Angin Sumbu Horizontal dirancang dengan jumlah bilah 3 rata – rata kecepatan angin 7,5 m/s pada ketinggian 110 m [4]. Rotor turbin jenis airfoil NREL S818 untuk bagian root, S825 untuk bagian primary, dan S822 menjadi 9 segmen dengan $r = 9,375$ m. Hasil simulasi menggunakan Q-Blade menunjukkan sudut pitch = 2,950 cut in pada kecepatan 3 m/s dengan daya yang diperoleh sebesar 3007,07 kW. Adapun generator yang dipilih memiliki kecepatan putar 365 rpm. Turbin angin yang dipasang diatap rumah dengan variasi blade 3,4 dan 5 masing-masing daya mekanik sebesar 27.86 W, dan koefisien daya C_p 55%, 4 buah daya mekanik sebesar 27.96 W dan C_p 56% dan 5 blade daya mekanik sebesar 28.185 W koefisien daya C_p sebesar 58%.hal ini menunjukkan bahwa jumlah blade yang lebih banyak memiliki pengaruh yang besar terhadap kenaikan daya mekanik. Hibrida energi angin dan energi matahari dapat dijadikan alternatif pembangkit listrik, dimana jika sel surya tidak sanggup melayani permintaan beban maka energi angin yang akan mensuplai beban, begitu pula sebaliknya. Hybrid menghasilkan efisiensi lebih baik dibandingkan dengan penggunaan PLTB maupun PLTS yang digunakan secara terpisah, dengan turbin angin sudu tipe flat berlapis memiliki 3 buah sudu dengan sudut kemiringan antar sudunya 80. Panel surya tipe polycrystalline dengan kapasitas 10 WP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kecepatan 3 m/s dan beban 15 W maka Efisiensi dari PLTS mencapai 19,41 % [5],[6].

Pemilihan jenis material turbin berupa kayu jati blanda menjadi salah satu alternatif yang perlu dikaji lebih lanjut sehingga potensi angin dapat dioptimalkan dengan baik. Potensi energi angin kecepatan rendah di daerah perkotaan tetap dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, walaupun dengan keadaan cuaca yang tidak mementu maka dapat dioptimalkan dengan menggabungkannya dengan energi matahari dengan sistem Hibrida [7]. Hibrida system dengan konsep Hybrid One Pole Energy diharapkan menjadi salah satu alternatif system hibrida yang akan berkembang.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk karakteristik bilah turbin angin tanpa taper (taperless) yang terbuat dari material kayu mahoni, dimana material tersebut merupakan bahan ramah lingkungan dengan karakteristik mekanis yang baik. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji performa bilah turbin angin pada berbagai kecepatan angin guna menganalisis efisiensi konversi energi angin. Di samping itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis distribusi tata arus listrik, tegangan, serta hubungan antara kecepatan angin dan kinerja turbin angin di Pantai Asmara, Jember, sebagai langkah awal untuk mengembangkan solusi energi terbarukan yang dapat diterapkan secara lokal, memanfaatkan potensi angin di wilayah pesisir.

Manfaat dari penelitian ini mencakup berbagai aspek. Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi pada pengayaan literatur mengenai desain bilah turbin angin berbahan kayu, khususnya kayu mahoni, yang relatif jarang

digunakan dibandingkan material komposit lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data empiris mengenai kinerja bilah turbin angin taperless pada berbagai kecepatan angin, yang nantinya dapat digunakan untuk inovasi desain turbin di masa depan. Dari sisi teknis, hasil penelitian ini akan memberikan gambaran lebih mendalam mengenai efisiensi konversi energi angin dan distribusi arus listrik yang dihasilkan, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan turbin angin pada wilayah dengan potensi angin terbatas.

Dari perspektif lingkungan, penelitian ini mendukung penggunaan material alami yang ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti material sintetis yang lebih mahal dan tidak terbarukan, serta dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Secara ekonomi dan sosial, penelitian ini menawarkan solusi energi terbarukan yang murah dan mudah diproduksi, dengan penerapan yang dapat langsung dirasakan oleh masyarakat pesisir. Solusi ini memberikan akses ke sumber energi yang lebih terjangkau dan berkelanjutan, sekaligus membuka peluang pengembangan energi terbarukan yang dapat diterapkan pada wilayah dengan potensi angin yang ada.

Tinjauan literatur yang mendasari penelitian ini menunjukkan bahwa desain bilah turbin angin taperless memiliki profil seragam sepanjang panjang bilah, menjadikannya lebih mudah untuk diproduksi dan lebih cocok untuk turbin angin skala kecil dengan kecepatan angin rendah hingga sedang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain ini efektif untuk pengaplikasian di wilayah dengan potensi angin terbatas. Dalam pemilihan material, kayu mahoni dipilih karena memiliki kekuatan mekanis yang baik, ringan, dan tahan lama, serta ramah lingkungan. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa kayu yang dilapisi dengan pelindung yang tepat dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras, sehingga cocok untuk digunakan pada bilah turbin angin.

Kecepatan angin di wilayah pesisir, seperti di Pantai Asmara, Jember, dilaporkan berada pada kisaran 3-6 m/s, yang merupakan rentang kecepatan angin ideal untuk turbin angin skala kecil hingga menengah. Hal ini mendukung pengujian bilah turbin angin untuk menilai efisiensi energi yang dihasilkan di daerah pesisir tersebut. Literatur juga menekankan pentingnya analisis distribusi arus listrik, tegangan, dan hubungan antara kecepatan angin dengan kinerja turbin untuk memastikan keluaran energi yang stabil dan efisien.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Perancangan Bilah

Perancangan bilah turbin angin dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCAD Autodesk, yang merupakan software desain berbasis CAD (Computer-Aided Design) yang banyak digunakan dalam perancangan teknik. Software ini memungkinkan pembuatan desain bilah turbin angin secara detail dan akurat melalui fitur-fitur grafis dan geometrik yang canggih.

Langkah pertama dalam perancangan adalah mendefinisikan dimensi dan bentuk bilah turbin yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu desain taperless dengan tiga sudu. Menggunakan AutoCAD, parameter-parameter seperti panjang bilah, lebar, dan sudut kemiringan sudu dapat dengan mudah disesuaikan dan divisualisasikan dalam bentuk gambar dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D). Desain ini kemudian dioptimalkan berdasarkan faktor aerodinamis, material yang digunakan, serta tujuan efisiensi dan daya yang ingin dicapai oleh turbin angin.

Setelah desain bilah selesai, AutoCAD juga memungkinkan simulasi dan analisis terhadap desain tersebut. Meskipun analisis mekanik dan struktural lebih sering dilakukan dengan software khusus seperti ANSYS, AutoCAD menyediakan fitur dasar untuk mengecek ketepatan dimensi dan keterkaitan antar bagian dalam desain, memastikan bahwa bilah turbin angin yang dirancang memenuhi spesifikasi teknis yang dibutuhkan sebelum dilakukan proses pembuatan.

2.2 Prosedur Percobaan Pengereman

Percobaan dimulai dengan persiapan alat dan bahan yang diperlukan. Alat yang digunakan antara lain adalah turbin angin, DC analog current meter modul, variabel resistor, dan avometer. Langkah pertama adalah merangkai sistem dengan menyambungkan modul current meter DC ke variabel resistor sesuai dengan skema rangkaian yang telah ditentukan. Setelah rangkaian selesai, sambungkan sistem tersebut ke turbin angin untuk memastikan koneksi yang stabil.

Selanjutnya, untuk pengukuran tegangan, sambungkan kabel pengukur (+) avometer ke kutub positif turbin angin dan kabel pengukur (-) ke kutub negatif turbin angin. Setelah semua peralatan terhubung dengan benar, pengujian pengereman dilakukan dengan variasi nilai resistor. Pengujian dimulai dengan nilai resistansi maksimal yang kemudian secara bertahap dikurangi untuk mengamati pengaruhnya terhadap sistem.

Selama pengujian, dilakukan pemantauan terhadap kecepatan turbin angin, tegangan yang dihasilkan, serta nilai arus yang mengalir melalui rangkaian. Semua data yang diperoleh, termasuk perubahan nilai arus, tegangan, dan kecepatan turbin, dicatat dengan teliti. Dari data yang terkumpul, daya yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dihitung untuk mengevaluasi performa sistem dalam berbagai kondisi resistansi.

3. Hasil

3.1 Rancang Bangun Bilah Taperless

Perancangan bilah menggunakan website untuk mengolah data kecepatan angin rata-rata sebagai data *base* penentuan naca bilah. Setelah itu data naca dan kecepatan angin dijadikan acuan dalam penentuan jari-jari bilah, berdasarkan data tersebut didapatkan hasil panjang bilah yang digunakan yaitu 1 meter. Langkah berikutnya adalah penentuan material yang akan digunakan dalam proses pembuatan bilah. Berdasarkan perhitungan naca, panjang bilah, kecepatan angin yang berada di wilayah Jember, serta ketersediaan material, maka tim memutuskan untuk menggunakan kayu mahoni. Dimana kayu mahoni memiliki harga yang lebih ekonomis, relatif ringan dan mudah dibentuk, serta ketersediaannya yang melimpah. Selain itu dalam perancangan model bilah, tim memilih untuk membuat ilah taperless karena bilah taperless lebih mudah dibuat dan memiliki efisiensi yang lebih baik pada kecepatan angin sedang



Gambar 1. Desain Turbin Angin

3.2 Data Percobaan Lapangan

Percobaan pengoperasian bilah berada di Pantai Asmara, Jember dengan titik koordinat -8,4281595, 113,5762236. Percobaan dilakukan pada tanggal 09 November 2024, tepatnya pada pukul 12.00 WIB dengan 15 hasil data. Percobaan ini dilakukan untuk menguji performa dari bilah *taperless* dan sistem pengereman elektrik *dynamic braking* menggunakan resistor.

Tabel 1. Data hasil uji performa

No	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (A)	Tegangan (V)	Resistor (Ω)
1	3,8	0,05	45,39	907,8
2	4,3	0,1	47,33	473,3
3	4,3	0,1	47,10	471
4	4,8	0,15	47,71	318,06
5	4,6	0,2	45,81	229,05
6	3,3	0,25	42,26	169,04
7	3,3	0,3	36,30	121
8	1,4	0,5	40,10	80,2
9	3,6	0,7	38,40	54,85
10	3,6	0,8	38,14	47,67
11	4,1	1,1	30,79	27,99
12	4,4	1,5	22,44	14,96
13	4,7	0,15	0,745	5
14	4,2	0,1	0,29	2,9
15	2,2	0,15	0,179	1,19

Bilah yang telah dibuat memiliki spesifikasi yaitu Massa jenis udara (ρ) sebesar $1,225 \text{ kg/m}^3$, jari-jari bilah (R) yang digunakan adalah 1 m dengan luas sapuan (A) sebesar $3,142 \text{ m}^2$. Bilah tersebut didesain untuk kecepatan angin sebesar $3,75 \text{ m/s}$.

4. Pembahasan

4.1. Bilah Turbin Tipe Taperless

Sampai saat ini terdapat tiga jenis model bilah yang umum digunakan yaitu taperless, inverse taper dan taper. Setiap model bilah memiliki keunggulan dan keunikannya masing-masing. Dalam pembangunan turbin angin diperlukan pemilihan model bilah yang disesuaikan data kecepatan angin daerah tersebut. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam perancangan dan pembuatan bilah adalah prinsip aerodinamika dan material yang digunakan. Sebagai contoh, profil bilah harus benar-benar cocok dan sesuai dengan lingkungan tempat bilah dioperasikan. Bilah turbin angin tipe taperless adalah tipe bilah yang memiliki ukuran yang sama dari pangkal hingga ujung bilah. Salah satu keunggulan yang ditawarkan bilah tipe ini adalah proses pembuatan yang tergolong mudah apabila dibandingkan tipe taper dan inverse taper, serta sangat cocok digunakan pada angin berkecepatan rendah maupun tinggi [8]. Luas area untuk menangkap energi kinetik angin adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi daya keluaran dari turbin angin. Keunggulan lain dari bilah tipe taperless adalah luas area sapuan yang lebih besar karena ukurannya yang sama dari pangkal hingga ujung bilah. Bilah tipe ini memerlukan kecepatan angin awal yang tinggi dibandingkan dengan tipe taper, diluar hal tersebut taperless mampu menangkap energi angin lebih banyak karena luas sapuan yang besar saat berputar [9].

4.2. Performa Bilah Taperless

Kecepatan angin rata rata tidak dapat dijadikan acuan dalam menentukan potensi energi angin pada suatu daerah, diperlukan studi lapangan secara langsung untuk melakukan penelitian awal dan pengambilan data untuk memastikan potensi angin di wilayah tersebut, dalam penelitian yang telah dilakukan kecepatan angin beberapa provinsi di Indonesia memiliki kecepatan rata-rata 2meter/s sampai 3 meter/s, maka dari itu tim memutuskan untuk menggunakan bilah dengan tipe *taperless*.

4.3. Hubungan antara Kecepatan Angin dan Arus

Data menunjukkan variasi arus yang terukur selama pengujian dengan berbagai kecepatan angin. Secara umum, semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar pula arus yang dihasilkan, meskipun ada beberapa data yang tidak mengikuti pola ini secara konsisten. Hal ini bisa dijelaskan oleh faktor-faktor lain seperti efisiensi turbin atau pengaruh resistor yang dipakai dalam sistem pengereman. Pada kecepatan angin 4,3 m/s yaitu pada pengujian ke-2 dan ke-3), arus yang dihasilkan adalah 0,1 A, meskipun ada sedikit variasi pada tegangan 47,33 V dan 47,10 V. Kecepatan angin yang sama seharusnya menghasilkan arus yang serupa, namun faktor lain seperti hambatan dalam sistem dan konfigurasi resistor bisa mempengaruhi perbedaan tersebut. Pada kecepatan angin 4,1 m/s (pengujian ke-11), meskipun kecepatan angin relatif tinggi, arus yang dihasilkan cukup besar, yaitu 1,1 A, namun dengan tegangan yang lebih rendah yaitu 30,79 V. Hal ini menunjukkan adanya proses pengereman yang efektif, yang mengurangi kecepatan rotasi bilah [10].

4.4. Efektivitas Sistem Pengereman Dinamis

Sistem pengereman dinamis bertujuan untuk mengurangi kecepatan bilah dengan cara mengalirkan arus melalui resistor, yang mengubah energi mekanik menjadi energi panas. Berdasarkan data arus dan tegangan, kita dapat mengidentifikasi keberhasilan sistem pengereman dalam mengatur kecepatan turbin. Pada pengujian ke-13 (kecepatan angin 4,7 m/s), arus yang terukur hanya 0,15 A, dengan tegangan 0,745 V, yang menunjukkan bahwa sistem pengereman hampir sepenuhnya mengurangi kecepatan bilah. Nilai resistor yang digunakan adalah 5 Ω , yang menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan output sistem secara signifikan. Pengujian ke-12 menunjukkan arus yang lebih tinggi (1,5 A) pada tegangan yang lebih rendah (22,44 V). Hal ini mengindikasikan bahwa resistor lebih efektif dalam menurunkan tegangan dan menghasilkan pengereman yang lebih baik. Pada pengujian dengan kecepatan angin rendah, seperti pada pengujian ke-8 (kecepatan angin 1,4 m/s), arus yang terukur mencapai 0,5 A dengan tegangan 40,10 V. Ini menunjukkan bahwa meskipun kecepatan angin rendah, sistem pengereman tetap berfungsi untuk mengurangi kecepatan bilah.

4.5. Resistor dan Pengaruhnya terhadap Pengaturan Kecepatan

Resistor berperan penting dalam mengatur kecepatan turbin dengan mengubah energi kinetik dari bilah menjadi energi panas. Penggunaan resistor yang lebih besar dapat meningkatkan resistansi dan menurunkan arus, yang berfungsi untuk memperlambat bilah lebih efektif. Berdasarkan data, kita bisa melihat bahwa resistor yang lebih besar cenderung menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan arus yang lebih kecil. Pengujian ke-5 (kecepatan angin 4,6 m/s) menunjukkan resistor 229,05 Ω menghasilkan arus yang lebih besar (0,2 A) dibandingkan dengan pengujian yang

menggunakan resistor lebih kecil, meskipun kecepatan angin relatif tinggi. Ini mungkin menunjukkan bahwa hambatan dalam sistem tidak sepenuhnya optimal untuk mengurangi kecepatan secara lebih efisien.

4.6. Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Tegangan dan Resistor

Berdasarkan data, ada tren di mana kecepatan angin yang lebih tinggi tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan tegangan atau arus yang signifikan. Pada kecepatan angin tinggi, seperti pengujian ke-4 dengan kecepatan 4,8 m/s, meskipun menghasilkan arus 0,15 A, tegangan yang terukur adalah 47,71 V, yang menunjukkan bahwa sistem turbin mampu menangkap energi lebih banyak dan mengubahnya menjadi energi listrik. Penggunaan resistor yang sesuai dapat menyeimbangkan aliran energi ini.

5. Kesimpulan

Turbin angin taperless merupakan jenis yang paling umum digunakan karena keunggulannya yang cocok untuk berbagai kondisi kecepatan angin (rendah maupun tinggi). Selain itu bilah tipe ini juga mampu menangkap lebih banyak energi angin karena luas area sapuan yang lebih besar. Kecepatan angin yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak arus, namun nilai arus tidak selalu meningkat secara signifikan seiring dengan kecepatan angin yang lebih tinggi karena pengaruh resistor dan sistem pengereman yang bekerja untuk mengurangi kecepatan bilah. Resistor berperan penting dalam mengatur arus dan tegangan dalam sistem, dan resistor yang lebih tinggi dapat memperlambat kecepatan bilah lebih efektif, namun mungkin juga mengurangi efisiensi sistem dalam menghasilkan daya. Sistem pengereman dinamis dengan resistor berfungsi dengan baik dalam mengurangi kecepatan bilah angin, terutama pada kondisi angin yang lebih tinggi, tetapi pada kecepatan angin rendah, pengereman harus diatur agar tidak terlalu memperlambat bilah secara berlebihan.

Referensi

- [1] Nurhasanah, R. (2020). Rancang Bangun Turbin Angin untuk Pembangkit Listrik Hybrid One Pole Energy. *Power Plant*, 8(2), 524017.
- [2] Alfaridzi, M. A., & Setiawan, R. (2020, Desember). Analisis Performa Bilah Taperless Dengan Airfoil Naca 4412 Pada Horizontal Axis Wind Turbine Tsd 500 Di Pt Lentera Bumi Nusantara. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 3(2), 64-73. Retrieved From <https://journal2.um.ac.id/index.php/jtmp>
- [3] Augustiantyo, B., & Setiawan, R. (N.D.). Optimasi Desain Bilah Dengan Metode Linearisasi Chord Dan Twist Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal. *Jurnal Media Mesin*, 22(2), 97-110.
- [4] Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022, September). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. *Jurnal Crankshaft*, 5(2), 35-42.
- [5] Ms, S., & Ibrochim, M. (2009, Juni). Analisa Potensi Energi Angin Dan Estimasi Energi Output Turbin Angin Di Lebak Banten. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 7(1), 51-59.
- [6] Murniati, M. E., & Sudarti. (2021, September). Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Energi Listrik Tenaga Angin di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online-BMKG. *JURNAL SURYA ENERGY*, 6(1), 9-16. doi:10.32502
- [7] Pratiwi, D. A. (2020). Uji Performa Turbin Angin Darrieus 6 Blade Dan Solar Pv Sebagai Sumber Pembangkit Listrik Hybrid Di Pantai Tamban Kabupaten Malang. *Jtm*, 8 (1), 161-166.
- [8] Purdiatama, M. E., Saputro, H., & Wijayanto, D. S. (2018). Studi Numerikal Performansi Turbin Angin Savonius Di Pesisir Pantai Kabupaten Demak. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan (JIPTEK)*, 11(2), 52-58. doi:10.20961
- [9] Sidik, R. M., Kardiman, & Fauji, N. (2022, Agustus). Rancang Bangun Bilah Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe Taperless Dengan Airfoil Psu94-097 Menggunakan Material Kayu Nangka (*Artocapus Heterophyllus*). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8 (14), 406-414.
- [10] Tamba, C. N., Simanjuntak, K. S., & Nainggolan, R. (2022). Pengaplikasian Turbin Angin Sebagai Penggerak Dan Penghasil Daya Pada Prototipe Smart Boat. *Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, 999-1009.