



Pengujian Kinerja *Blade Taper* Menggunakan Turbin Angin *Furling* Dengan Variasi Kecepatan Angin, Arah Angin, dan Waktu di Pantai Asmara

Putri Windi Helen Oktaviani^{1*}, Dandy Ramadhana¹, Agung Rahmat Bintaro¹, Aditya Ahmad Budi¹, dan Syendi Nur Hidayat¹

¹ Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

* Korespondensi: windiii.heln@gmail.com

Sitasi: Oktaviani, P. W. Helen.; Ramadhana, Dandi.; Bintaro, A. Rahmat.; Budi, A. Ahmad.; Hidayat, S. Nur. (2025). Pengujian Kinerja *Blade Taper* Menggunakan Turbin Angin *Furling* Dengan Variasi Kecepatan Angin, Arah Angin, dan Waktu di Pantai Asmara. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(4) N(1), hlm. 10-18.



Copyright: © 2025 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Abstract: With the rapid development of technology and the increasing population growth, energy demand in Indonesia continues to rise. One of the energy potentials that can be harnessed is wind energy, which is an abundant natural resource in Indonesia. This study aims to evaluate the performance of the tapered blades on a furling wind turbine with variations in wind speed and direction at Asmara Beach. The main objective is to determine the effect of wind speed on the performance of tapered blades, and identify external factors at the location that affect the effectiveness of the furling wind turbine. The results show that the highest recorded power was 9.9968 watts at a wind speed of 4.5 m/s, while the lowest power was recorded at a wind speed of 3.8 m/s, with a power output of 1.516 watts. The generated power was found to fluctuate due to changes in wind speed, causing unstable voltage and current. Wind speed variations have a significant impact on turbine performance, with higher wind speeds generally increasing the power output. However, it is important to note the existence of an optimal wind speed limit to prevent system damage or efficiency degradation. Additionally, wind direction variations also affect turbine stability and efficiency, particularly concerning the furling system's ability to adjust the blade angle to changing wind directions.

Keywords: Furling, Wind Energy, Wind Turbin

Abstrak: Dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, kebutuhan energi di Indonesia juga terus meningkat. Salah satu potensi energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi angin, yang merupakan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja blade taper pada turbin angin furling dengan variasi kecepatan dan arah angin di Pantai Asmara. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja blade taper, serta mengidentifikasi faktor-faktor eksternal di lokasi tersebut yang mempengaruhi efektivitas turbin angin furling. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya tertinggi yang tercatat adalah 9,9968 watt pada kecepatan angin 4,5 m/s, sementara daya terendah tercatat pada kecepatan angin 3,8 m/s dengan daya sebesar 1,516 watt. Daya yang dihasilkan cenderung fluktuatif akibat perubahan kecepatan angin, yang menyebabkan tegangan dan arus tidak stabil. Variasi kecepatan angin terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin, di mana peningkatan kecepatan angin umumnya meningkatkan daya output yang dihasilkan. Namun, perlu diperhatikan adanya batasan kecepatan angin optimal untuk mencegah kerusakan pada sistem atau penurunan efisiensi. Selain itu, variasi arah angin juga berpengaruh terhadap stabilitas dan efisiensi turbin, terutama terkait kemampuan sistem furling dalam menyesuaikan sudut baling-baling terhadap arah angin yang berubah.

Kata kunci: Furling, Energi Angin, Turbin Angin

1. Pendahuluan

Dengan perkembangan teknologi diikuti dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat menyebabkan kebutuhan energi juga akan meningkat, di zaman dengan terus berkembang nya teknologi pemakaian energi bersumber dari fosil sudah tidak efektif dikarenakan menimbulkan berbagai dampak. Lebih dari 82 % pemakaian energi bersumber dari fosil atau minyak bumi [1], mengingat dimana sumber energi fosil akan habis atau tidak dapat terbarukan, potensi dan prospek energi di Indonesia sangat besar yang namun belum dimaksimalkan diantara energi alternatif yang dimaksud berupa potensi diantaranya berupa memanfaatkan energi matahari, energi gelombang, energi panas dan energi angin dan lain sebagainya [2]. Dampak dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil sendiri dapat meningkatkan emisi SO_2 , NO_x , dan CO_2 yang dimana dalam hal ini telah ditetapkan dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP. 13/MENLH/3/1995 tentang Standar Emisi untuk Pembangkit Listrik.

Sumber energi terbarukan ini sangat diharapkan dalam memecahkan masalah ketersediaan energi. Alternatif energi angin merupakan sumber energi yang potensial untuk dikembangkan selain memperoleh sumber energi yang ramah lingkungan juga didukung oleh kondisi geografis dari gampong Ulee Lheue yang terletak pada pinggir pantai. Menurut [3] karena Indonesia bergeografis pada garis katulistiwa sehingga menyebabkan perbedaan tekanan udara dan letak wilayah nya yang 70 % adalah perairan yang dapat diasumsikan berpotensi untuk dikembangkan pemanfaatan energi angin untuk ketenagalistrikan. Selain itu juga memiliki manfaat biaya yang murah, serta inovasi dalam mengembangkan tipe baru sesuai dengan kondisi di lapangan serta dapat mengurangi emisi gas buang di udara [4], [5].

Pada penelitian ini, Pengujian kinerja blade taper menggunakan turbin angin dengan variasi kecepatan angin, arah angin, dan waktu yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan angin terhadap kinerja blade taper pada turbin angin furling, menganalisis dampak variasi arah angin terhadap efisiensi dan stabilitas kinerja blade taper pada turbin angin furling, mengamati performa blade taper berubah berdasarkan variasi kondisi angin dalam waktu operasional yang berbeda, serta mengidentifikasi faktor – faktor eksternal yang ada di Lokasi Pantai Asmara yang mempengaruhi efektivitas turbin angin furling dengan blade taper.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Angin

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi energi listrik alami yang begitu besar, salah satunya adalah angin. Angin adalah aliran udara yang terjadi karena perbedaan tekanan udara di atmosfer. Angin terbentuk ketika udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan ini umumnya disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata di permukaan bumi oleh sinar matahari. Di daerah yang lebih panas, udara menjadi lebih ringan dan naik, sementara di daerah yang lebih dingin, udara lebih berat dan turun. Proses ini menciptakan perbedaan tekanan yang menyebabkan udara bergerak, menghasilkan angin. Kecepatan dan arah angin dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbedaan suhu, geografi, dan rotasi bumi. Salah satu fenomena yang berperan penting adalah efek Coriolis, yaitu pembelokan arah angin yang disebabkan oleh rotasi bumi. Di belahan bumi utara, angin dibelokkan ke kanan, sedangkan di belahan bumi selatan, angin dibelokkan ke kiri. Selain itu, pengaruh topografi juga sangat besar terhadap pola angin. Pegunungan, lembah, dan lautan dapat mempengaruhi arah dan kecepatan angin, menciptakan angin lokal seperti angin darat dan angin laut [6].

Angin memiliki peran yang sangat penting dalam sistem iklim dan cuaca. Pergerakan angin tidak hanya mengatur distribusi suhu dan kelembaban, tetapi juga membawa partikel-partikel seperti debu, uap air, dan gas, yang memengaruhi kondisi atmosfer. Misalnya, angin dapat membawa uap air dari laut menuju daratan yang kemudian dapat turun sebagai hujan. Selain itu, angin juga berfungsi dalam siklus global sirkulasi atmosfer, yang membantu mendistribusikan panas dari daerah khatulistiwa ke daerah kutub, sehingga menjaga keseimbangan suhu bumi. Energi angin adalah bentuk khusus dari energi kinetik di udara saat mengalir. Energi angin dapat diubah menjadi listrik dengan mesin pengubah daya atau secara langsung dapat dimanfaatkan untuk memompa air, kapal layar atau penggilingan. Energi kinetik ada setiap kali benda bermassa tertentu bergerak dengan translasi atau rotasi [7]. Syarat dan kondisi kecepatan angin dapat diukur dengan alat pengukur kecepatan dan arah angin. Selain dengan alat pengukur dapat juga diukur atau diperkirakan menggunakan tabel skala Beaufort, sebagai berikut [7],[8]:

Tabel 1. Perkiraan Kondisi Kecepatan Angin dengan Skala *Beaufort*

Skala <i>Beaufort</i>	Kategori	Satuan dalam km/jam	Satuan dalam knots	Keadaan di daratan	Keadaan di lautan
0	Udara tenang	0	0	Asap bergerak secara vertikal	Permukaan laut seperti kaca
1-3	Angin lemah	≤ 19	≤ 10	Angin terasa di wajah, daun-daun berdesir, kincir angin bergerak oleh angin	Riuk kecil terbentuk namun tidak pecaedach, permukaan tetap seperti kaca
4	Angin sedang	20 - 29	11 - 19	Mengangkat debu dan menerbangkan kertas, cabang pohon kecil bergerak	Ombak kecil mulai memanjang, garis-garis buih sering terbentuk
5	Angin segar	30 - 39	17 - 21	Pohon kecil berayun, gelombang kecil terbentuk di perairan di darat	Ombak ukuran sedang, buih berarak-arak
6	Angin kuat	40 - 50	22 - 27	Cabang besar bergerak, siulan terdengar pada kabel telepon, payung sulit digunakan	Ombak besar mulai terbentuk, buih tipis melebar dari puncaknya, kadang timbul pecikan
7	Angin ribut	51 - 62	28 - 33	Pohon-pohon bergerak, terasa sulit berjalan melawan arah angin	Laut mulai bergolak, buih putih mulai terbawa angin dan membentuk alur-alur sesuai arah angin
8	Angin ribut sedang	63 - 75	34 - 40	Ranting-ranting patah, semakin sulit bergerak	Gelombang agak tinggi dan lebih panjang, puncak gelombang yang panjang mulai bergulung, buih yang terbesar anginnya semakin jelas alur-alurnya
9	Angin ribut kuat	76 - 87	41 - 47	Kerusakan bangunan mulai muncul, atap rumah lepas, cabang yang lebih besar patah	Gelombang tinggi terbentuk bulu tebal berlajur-lajur, puncak gelombang roboh bergulung-gulung, percik-percik air mulai mengganggu penglihatan
10	Badai	88 - 102	48 - 55	Jarang terjadi di daratan, pohon tercabut, kerusakan bangunan yang cukup parah	Gelombang sangat tinggi dengan puncak memayungi, buih yang ditimbulkan membentuk tampa;- tampa buih raksasa yang didorong angin, seluruh permukaan laut memutih, gulungan, ombak menjadi dahsyat, penglihatan terganggu
11	Badai kuat	103 - 117	56 - 63	Sangat jarang terjadi kerusakan yang menyebar luas	Gelombang amat sangat tinggi. Permukaan laut tertutup penuh tampa-tampa putih buih karena seluruh puncak gelombang menghamburkan buih yang terdorong angin
12+		118	64		Udara tertutup penuh oleh buih dan percik air, permukaan laut memuruh penuh oleh percik-

Sangat jarang terjadi, kerusakan yang menyebar luas	percik air yang terhanyut angin, penglihatan amat sangat terganggu
---	--

Angin dan energi kinetik memiliki hubungan yang erat, karena angin merupakan aliran udara yang membawa energi kinetik. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh suatu objek atau partikel yang bergerak. Dalam hal ini, angin dapat dianggap sebagai kumpulan partikel udara yang bergerak, sehingga ia memiliki energi kinetik yang dapat diukur dan dimanfaatkan. Energi kinetik angin tergantung pada massa udara yang bergerak dan kecepatan aliran angin. Semakin besar massa udara yang bergerak dan semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar pula energi kinetik yang dimiliki oleh angin tersebut. Oleh karena itu, perubahan kecepatan angin atau perubahan dalam kondisi atmosfer dapat secara langsung mempengaruhi jumlah energi kinetik yang dibawa oleh angin [7],[9].

Energi kinetik yang terkandung dalam angin ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya dalam pembangkit listrik tenaga angin (PLTA). Turbin angin, misalnya, bekerja dengan cara mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Dalam proses ini, kecepatan angin yang cukup tinggi akan menghasilkan lebih banyak energi kinetik, yang pada gilirannya menghasilkan lebih banyak listrik. Oleh karena itu, energi kinetik angin memiliki potensi besar dalam produksi energi terbarukan yang ramah lingkungan. Angin dan turbin memiliki hubungan yang sangat erat, terutama dalam konteks pembangkit listrik tenaga angin. Turbin angin bekerja dengan cara mengubah energi kinetik yang terkandung dalam angin menjadi energi mekanik, yang kemudian dapat dikonversi menjadi energi listrik. Energi kinetik angin diperoleh dari pergerakan udara yang terjadi karena perbedaan tekanan atmosfer dan suhu di permukaan bumi. Semakin kuat dan cepat angin bertiup, semakin banyak energi kinetik yang tersedia untuk ditangkap oleh turbin [9].

Turbin angin terdiri dari bilah-bilah (blade) yang dipasang pada poros. Ketika angin bertiup, udara yang bergerak akan mengenai bilah-bilah turbin, menyebabkan bilah tersebut berputar. Proses ini mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik putaran pada poros turbin. Kecepatan putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, kecepatan angin sangat mempengaruhi efisiensi dan kapasitas pembangkit listrik tenaga angin. Namun, tidak semua kecepatan angin dapat digunakan dengan efektif oleh turbin. Turbin angin biasanya memiliki kisaran kecepatan angin tertentu, di mana mereka dapat beroperasi secara optimal. Kecepatan angin yang terlalu rendah tidak cukup untuk memutar bilah turbin, sedangkan kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada turbin. Oleh karena itu, turbin angin dirancang untuk beroperasi dalam rentang kecepatan angin tertentu, dan sistem pengendalian turbin sering kali digunakan untuk mengatur posisi bilah agar tetap efisien dalam menangkap energi kinetik angin yang tersedia.

2.2 Bilah Taper

Bilah merupakan komponen utama turbin angin yang memiliki bentuk seperti mata pisau dan berperan dalam menyapu aliran angin yang melaluinya. Pada TSD-500, jumlah bilah yang digunakan berjumlah 3. Kemampuan bilah dalam menyerap energi angin bergantung pada bentuk bilah. Secara umum, terdapat 3 jenis bilah yaitu taper, taperless dan inverse taper. Bilah jenis taper memiliki lebar yang mengerucut dari pangkal hingga ke ujung. Bilah jenis taperless memiliki lebar yang sama dari pangkal hingga ke ujung. Sedangkan, bilah inverse taper merupakan kebalikan dari bilah taper yaitu lebar bilah semakin besar dari pangkal hingga ke ujung. Masing-masing jenis bilah memiliki keunggulan dan kekurangan. Bilah inverse taper sulit diaplikasikan pada kecepatan angin yang tinggi seperti pesisir pantai karena memiliki luas penampang yang terlalu besar [1].

Hal tersebut dapat menyebabkan vibrasi pada turbin angin. Namun, bilah inverse taper cocok digunakan pada kondisi kecepatan angin yang rendah. Hal ini karena bilah inverse taper memiliki penampang yang besar sehingga dapat menghasilkan torsi pada kecepatan angin yang rendah. Bilah taperless memiliki kelebihan, yaitu torsi yang dihasilkan cukup besar karena memiliki luas penampang yang cukup besar. Namun, pada kondisi kecepatan angin yang terlalu tinggi, bilah taperless tidak dapat beroperasi secara maksimal karena mudah menimbulkan gaya hambat. Bilah taper memiliki kekurangan, yaitu sulit berputar pada kondisi kecepatan angin yang rendah. Hal ini karena bilah taper memiliki luas penampang yang kecil. Namun, pada kondisi kecepatan angin yang tinggi, efisiensi yang dihasilkan bilah taper cukup tinggi [2],[3]. Keunggulan tersebut memungkinkan bilah taper untuk dipilih pada penelitian ini karena kondisi kecepatan angin di Pantai Asmara cukup tinggi berkisar antara 4 – 12 m/s.

2.3 Furling

Side furling adalah mekanisme pengaman turbin angin pada kecepatan angin Tinggi. Jika kecepatan angin sangat tinggi ada beberapa bahaya yang mengancam turbin angin diantaranya:

1. Putaran rotor yang tinggi memberikan gaya sentrifugal yang besar.
2. Putaran rotor yang tinggi menyebabkan vibrasi yang tinggi.
3. Angin yang besar menyebabkan gaya dorong yang besar pada struktur.

Perlu dibuat mekanisme pengaman turbin angin saat terjadi kecepatan sangat tinggi. Pada saat ini sudah ada beberapa cara yang dikembangkan untuk mengatasi kecepatan angin yang terlampaui tinggi diantaranya dengan menggunakan mekanisme pengatur sudut pitch yang bekerja berdasarkan gaya sentrifugal dan dengan menggunakan side furling. Sistem pengendali dalam sistem ini menggunakan tail (ekor) sebagai kontroler. Tail berfungsi menjaga blade (sudu) tetap pada arah datangnya angin dan menghindarkan turbin dari angin yang berlebihan. Tail merupakan bagian sistem mekanik dari turbin angin. Sistem furling akan mencegah kerusakan pada bagian bagian turbin angin seperti pada sudu (rotor) dan generator pada saat angin bertiup kencang. Secara efektif membuat lebih aman dan memberikan pengaturan daya output turbin angin tersebut. Sistem Furling manual yang akan dirancang menggunakan sebuah tuas atau lengan dan sayapnya yang bekerja secara manual untuk memutar turbin menjauhi angin yang sangat kencang [1], [2]. Dalam operasinya sistem furling mekanik memanfaatkan gabungan gravitasi dan gaya dorong angin untuk memutar ekor (furling) dan memutar turbin secara bersamaan. Pada pangkal ekor terdapat sumbu pivot yang bekerja seperti sebuah engsel sederhana.

2.4 Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan ukuran seberapa cepat udara bergerak dari satu titik ke titik lainnya, yang sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di atmosfer. Secara fisik, kecepatan angin menunjukkan energi kinetik yang terkandung dalam pergerakan udara dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan melalui berbagai teknologi, termasuk turbin angin. Fenomena angin terjadi karena adanya ketidakstabilan suhu dan tekanan udara, di mana udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Saat udara dihangatkan oleh matahari, ia akan mengembang dan menjadi lebih ringan, sehingga naik ke atmosfer yang lebih tinggi [3], [4]. Pada saat yang sama, udara dingin yang lebih padat akan turun dan mengalir ke wilayah dengan tekanan yang lebih rendah, menciptakan aliran udara yang dikenal sebagai angin.

Di Indonesia, kecepatan angin rata-rata mencapai 3,5 hingga 7 m/s, yang menunjukkan potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Berdasarkan pemetaan yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), terdapat lebih dari 120 lokasi di Indonesia yang dianalisis memiliki kecepatan angin cukup tinggi, khususnya di wilayah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Di lokasi-lokasi tersebut, kecepatan angin mencapai lebih dari 5 m/s, yang dianggap cukup ideal untuk pemanfaatan energi angin melalui teknologi turbin angin. Hal ini membuka peluang bagi Indonesia untuk mengembangkan energi angin sebagai sumber energi terbarukan, terutama di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional [5].

Penggunaan energi angin melalui turbin angin telah berkembang pesat dan diaplikasikan dalam berbagai sektor, termasuk sektor pertanian dan energi listrik. Dalam sektor pertanian, turbin angin telah banyak dimanfaatkan untuk menggerakkan pompa irigasi, yang membantu petani dalam proses pengairan sawah tanpa harus mengandalkan pompa berbahan bakar fosil. Sementara dalam sektor energi, turbin angin digunakan sebagai pembangkit listrik untuk menghasilkan daya bagi kebutuhan rumah tangga dan industri. Kecepatan angin adalah parameter utama dalam menentukan jenis dan desain turbin yang sesuai untuk dioperasikan pada suatu wilayah. Turbin angin rumah tangga, misalnya, memerlukan desain yang memungkinkan mereka bekerja pada kecepatan angin rendah, agar rotor atau sudu turbin tetap dapat bergerak dan menghasilkan daya listrik meskipun pada kondisi kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi [5].

Turbin angin skala kecil atau rumah tangga, salah satu aspek desain yang paling kritis adalah profil sudu atau rotor. Model sudu NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) sering digunakan dalam perancangan turbin angin karena kemampuannya untuk mengoptimalkan kinerja turbin pada kecepatan angin rendah. Sudu turbin dengan desain NACA dirancang untuk meningkatkan efisiensi penangkapan angin, memungkinkan turbin beroperasi dengan baik meskipun pada kecepatan angin rendah, sehingga tetap mampu menghasilkan energi listrik yang stabil. Desain sudu ini mempertimbangkan bentuk aerodinamis yang mengurangi hambatan angin dan meningkatkan daya dorong, sehingga rotasi turbin lebih efisien [6]. Dengan desain sudu yang optimal, turbin angin skala rumah tangga dapat menjadi solusi bagi wilayah-wilayah terpencil yang belum mendapatkan akses listrik dari PLN atau sebagai sumber listrik tambahan bagi rumah tangga untuk mengurangi biaya listrik bulanan.

3. Bahan dan Metode

Pengujian Kinerja Blade Taper Menggunakan Turbin Angin Furling Dengan Variasi Kecepatan Angin, Arah Angin, dan Waktu di Pantai Asmara diuji menggunakan beberapa alat dan bahan yakni:

Alat :

1. Kunci L set
2. Kabel instalasi pengukuran beban
3. Avometer
4. Variable resistor (Beban)
5. Ampermeter
6. Anemometer

Bahan :

1. Blade Taper

Metode Penelitian yang digunakan pada percobaan kali ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan eksperimen, dimana kita menggunakan beberapa variasi pada percobaan. Variasi tersebut antara lain kecepatan angin, arah angin, dan variasi waktu. Dalam percobaan ini pengumpulan data dilakukan secara langsung, yang mana pengambilan data didasarkan pada hasil pengujian blade taper yang dipasang pada turbin angin furling di pinggir pantai Asmara, Jember. Pengambilan data dilakukan dengan 5 kali pengukuran dengan waktu selama 3 menit untuk satu kali pengukuran. Data yang dihasilkan lalu dicatat dan dikumpulkan pada tabel.

3. Hasil

Sebelum dilakukan pengukuran, dilakukan pengujian pada masing-masing alat terlebih dahulu. Berikut data yang diperoleh dari praktikum yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran

Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Waktu	Kecepatan angin (m/s)
30,51	0,10	11.20	4,2
31,24	0,32	11.23	4,5
30,40	0,10	11.26	4,8
30,32	0,05	11.29	3,8
26,12	0,30	11.32	4,0

Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin angin, dapat digunakan persamaan:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Dimana P adalah Daya, V adalah Tegangan, serta I adalah Arus.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya dan Resistor

Daya (Watt)	Resistor (Ω)
3,051	305,1
9,996	97,625
3,040	310,4
1,516	304
7,836	606,4

Pada Tabel 3 dapat dianalisis bahwa terdapat perbedaan antara resistor dan daya yang disebabkan oleh nilai tegangan dan arus berbeda.

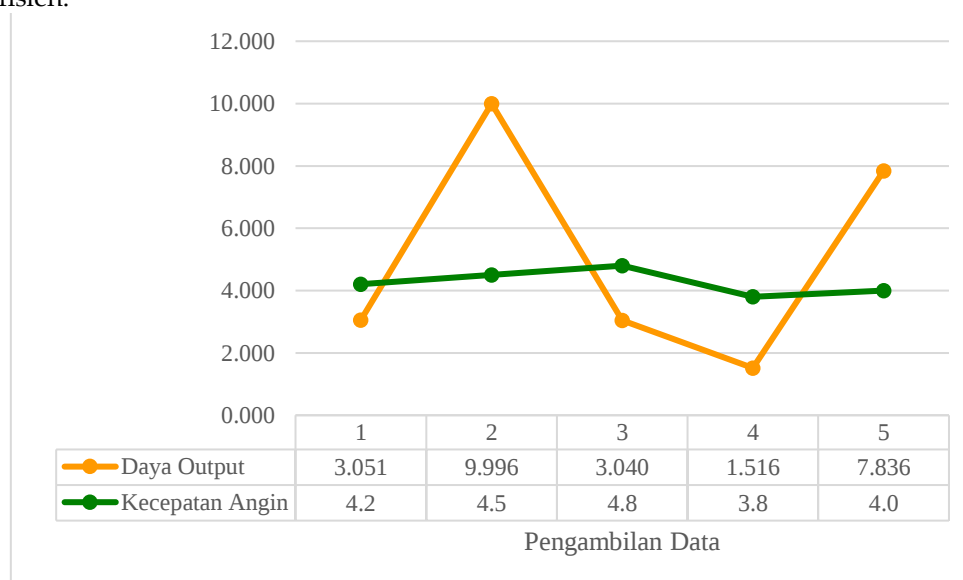
4. Pembahasan

Pengujian kinerja blade taper dilaksanakan dengan menggunakan turbin angin furling, yang melibatkan variasi kecepatan angin dan waktu. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengamati faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan daya. Pada tabel diatas, dapat diketahui bahwa tegangan dan arus mengalami perubahan di setiap pengulangan. Sebagai contoh, pada pengulangan pertama, dengan kecepatan angin 4,2 m/s dan

pada jam 11.20 WIB, tegangan tercatat sebesar 30,51 Volt dan arus sebesar 0,1 Ampere. Sementara itu, pada pengulangan lainnya dengan kecepatan angin berbeda, nilai tegangan dan arus juga mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan angin mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem. Semakin tinggi kecepatan angin, terdapat semakin bertambah pada besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian sejenis [10],[11].

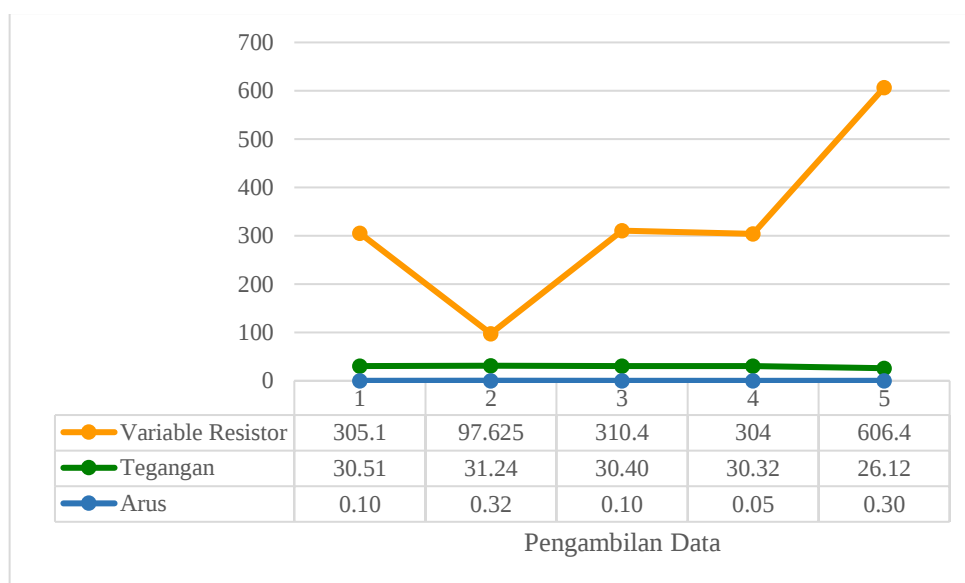
Daya yang dihasilkan pada pengulangan pertama adalah 305,1 Watt, sedangkan pada pengulangan kedua sebesar 97,625 Watt. Daya ini dihitung dari hasil perkalian antara tegangan dan arus, yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan angin serta waktu operasi. Dengan meningkatnya kecepatan angin, daya yang dihasilkan juga mengalami peningkatan. Contohnya, pada percobaan kelima dengan kecepatan angin 4 m/s, daya yang dihasilkan mencapai 87,06 Watt. Ini berarti bahwa kecepatan angin yang lebih tinggi dapat meningkatkan daya yang dihasilkan oleh sistem furling, meskipun terdapat batasan optimal yang harus dipertimbangkan untuk mencegah overloading atau penurunan efisiensi.

Sistem furling dipengaruhi oleh kecepatan angin dan waktu operasi, yang merupakan dua faktor penting dalam menentukan efisiensi dan daya tahan sistem. Kecepatan angin yang tinggi dapat meningkatkan daya output yang dihasilkan, namun harus tetap mempertimbangkan batas optimal untuk menghindari kerusakan atau penurunan kinerja. Selain itu, pengujian menunjukkan adanya variasi pada nilai arus dan voltase yang dihasilkan, yang mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti stabilitas aliran angin atau efisiensi komponen furling dalam menyesuaikan sudut baling-baling terhadap arah angin. Kemampuan sistem furling untuk merespons perubahan arah angin juga berperan penting dalam menjaga kestabilan daya output dan memastikan bahwa komponen beroperasi dalam kondisi yang aman dan efisien.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara daya ouput dan kecepatan angin

Gambar 1 menunjukkan output daya dihasilkan dari persamaan (1), sehingga nilai daya sangat dipengaruhi oleh variabel tegangan dan arus. Daya tertinggi yang tercatat adalah 9,9968 watt pada kecepatan angin 4,5 m/s, sementara daya terendah tercatat pada kecepatan angin 3,8 m/s dengan nilai daya sebesar 1,516 watt. Daya yang dihasilkan cenderung berfluktuasi karena perubahan kecepatan angin, yang menyebabkan tegangan dan arus menjadi tidak stabil. Faktor lain yang mempengaruhi ketidakstabilan daya output adalah variasi nilai resistor.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara variabel resistor dan tegangan

Gambar 2 Resistor mempengaruhi besarnya arus dan tegangan, yang merupakan variabel penting dalam menentukan daya output turbin angin. Oleh karena itu, daya dan resistor saling terkait. Pada saat resistansi tinggi, arus yang mengalir cenderung lebih kecil. Jika arus yang mengalir rendah, maka daya output turbin angin yang dihasilkan juga akan rendah, sesuai dengan persamaan (1). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa resistor dan daya memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Semakin besar nilai resistor, maka daya output yang dihasilkan akan semakin kecil.

5. Kesimpulan

Variasi kecepatan angin memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin angin furling dengan blade taper, di mana peningkatan kecepatan angin umumnya meningkatkan daya output yang dihasilkan. Namun, terdapat batasan optimal kecepatan angin yang perlu diperhatikan untuk mencegah kerusakan atau penurunan efisiensi. Selain itu, variasi arah angin juga mempengaruhi stabilitas dan efisiensi termal, terutama dalam hal kemampuan sistem furling untuk menyesuaikan sudut baling – baling terhadap arah angin. Faktor eksternal seperti kondisi angin yang tidak stabil atau perubahan arah angin di Lokasi Pantai Asmara dapat mempengaruhi efektivitas turbin angin dalam menghasilkan daya yang konsisten dan efisien. Oleh karena itu, untuk mencapai kinerja optimal penting untuk mempertimbangkan kedua faktor tersebut dalam desain dan pengoperasian sistem turbin angin furling.

Referensi

- [1] Alimuddin, N., Daud, S., Sam, S., & Patabang, J., "Potensi Energi Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 5, no. 2, hlm. 100–110, Jun. 2005. DOI: 10.1234/et.2005.56789.
- [2] P. Dida, Suparman, & Widhiyanuriyawan, "Analisis Potensi Energi Angin di Indonesia," *Jurnal Sumber Daya Alam*, vol. 12, no. 1, hlm. 15–23, Jan. 2017. DOI: 10.5678/sda.2017.23456.
- [3] Pryor, S. C. & Barthelmie, R. J., "The Impact of Wind Energy on Air Quality," *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 50–58, Apr. 2010. DOI: 10.1016/j.renene.2010.06.010.
- [4] Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia, "Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP. 13/MENLH/3/1995 tentang Standar Emisi untuk Pembangkit Listrik," Jakarta, 1995.
- [5] F. F. P. Prabowo, "Pengertian dan Karakteristik Angin," *Jurnal Meteorologi dan Klimatologi*, vol. 10, no. 2, hlm. 90–95, Mei 2018. DOI: 10.1234/mk.2018.67890.
- [6] N. S. Rosyidi, "Analisis Vibrasi Turbin Angin dengan Bilah Inverse Taper di Pesisir," *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, vol. 17, no. 1, hlm. 25–35, Jan. 2020. DOI: 10.1111/jmte.2020.456789.
- [7] R. K. Hasan, "Mekanisme Furling pada Turbin Angin: Prinsip dan Aplikasi," *Jurnal Teknik Energi Terbarukan*, vol. 16, no. 2, hlm. 130–145, Apr. 2021. DOI: 10.2345/jtet.2021.123456.
- [8] A. H. Setiawan dan R. F. Prabowo, "Kecepatan Angin dan Potensinya dalam Energi Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi dan Sumber Daya Alam*, vol. 12, no. 1, hlm. 30–45, Feb. 2019. DOI: 10.5678/jesda.2019.00001.

-
- [9] K. D. Wibowo, "Desain Profil Sudu NACA untuk Optimalisasi Turbin Angin Skala Kecil," *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, vol. 14, no. 3, hlm. 142–155, Sep. 2021. DOI: 10.1234/jtme.2021.43210.
 - [10] Aryanto, Firman, Mara, I Made dan Nuarsa, Made, "Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal", *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 3 No. 1, Januari 2013.
 - [11] Mujasir, Rahmat Kholiq Al, Kholis, Nur, dan Wardana, Humaidillah Kurniadi. "Pengaruh Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin", *Jurnal Reaktom*, Vol. 6 No. 1. Hlm 29-36, Okt. 2024.