

# Pembangkit Listrik Tenaga Angin untuk Aplikasi Mikropower menggunakan Mikroturbin Generator

MUNNIK HARYANTI, BEKTI YULIANTI, NURWIJAYANTI KUSUMA NINGRUM

Teknik Elektro Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Indonesia  
Email: [munnik@unsurya.ac.id](mailto:munnik@unsurya.ac.id)

*Received* 5 Desember 2022 | *Revised* 20 Desember 2022 | *Accepted* 3 Januari 2023

## ABSTRAK

*Potensi energi di Indonesia sangat besar dan berlimpah. Terletak di antara dua Samudra dan benua merupakan keuntungan sendiri. Disamping letak strategis, garis katulistiwa membuat iklim menjadi tropis. Salah satu potensi tersebut adalah energi angin, yang selalu ada dan merupakan energi bersih. Ketersediaannya yang melimpah membuat energi ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini berkonsentrasi membuat pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan kincir angin untuk memutar generator DC, dengan konfigurasi lima buah blade dengan Panjang 75 cm, menggunakan fan belt sehingga putaran generator dapat semakin cepat. Hasil pengujian pertama didapatkan, dengan ketinggian 1,46 m didapatkan tegangan 12,1 V daya 60,5 W kecepatan angin untuk memutar kincir adalah 4 m/s. Hasil percobaan kedua didapatkan daya 133 W, pada kelajuan angin 8 m/s dan ketinggian 4 m.*

**Kata kunci:** *potensi angin, mikro generator, turbin angin*

## ABSTRACT

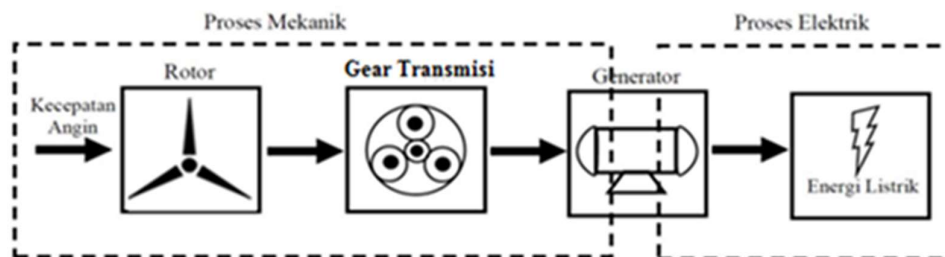
*Energy potential in Indonesia is very large and abundant. Located between two oceans and a continent is an advantage in itself. Besides the strategic location, the equator makes the climate tropical. One such potential is wind energy, which is always present and is clean energy. Its abundant availability makes this energy usable to generate electricity. This research concentrates on making wind power plants by using a windmill to rotate a DC generator, with a configuration of 5 blades with a length of 75 cm, using a fan belt so that the generator spins faster. The results of the first test were obtained, with a height of 1.46 m, a voltage of 12.1 V, a power of 60.5 W, the wind speed to turn the wheel was 4 m/s. The results of the second experiment obtained a power of 133 W, at a wind speed of 8 m/s and a height of 4 m.*

**Keywords:** *wind energy, micro generator, wind turbine*

## 1. PENDAHULUAN

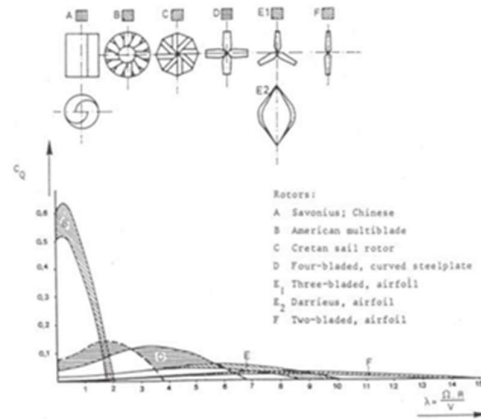
Kebutuhan listrik merupakan sesuatu hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Listrik ini dipisahkan menjadi beberapa sektor yang utama, yaitu sektor rumah tangga, komersial (usaha), industri (pabrik) dan kendaraan umum (transportasi massal). Pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi juga mempengaruhi peningkatan akan kebutuhan energi listrik pada suatu wilayah (**Basyiran, 2014**). Saat ini energi listrik di Indonesia disuplai oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang memanfaatkan potensi air (PLTA), potensi uap (PLTU) dan potensi gas (PLTG). Rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik dari tahun 2012 adalah 2,3 – 2,5%, diperkirakan pada akhir tahun 2030 kebutuhan akan energi listrik akan meningkat menjadi dua kali lipat dari kisaran tersebut. Dari data Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2018 – 2027, proyeksi rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik adalah 6,86% (**Winarko, dkk, 2019**). Potensial energi angin di Indonesia cukup besar yaitu sebesar 60.65 GW dan saat ini telah terpasang *wind power* (PLTB) sebesar 1,6 MW yang tersebar di seluruh Indonesia. PLTB yang terpasang pada umumnya menggunakan turbin generator kapasitas 2 KW dengan tegangan output 96 V dan memiliki tiga buah sudu/bilah. Kecepatan angin minimum untuk menggerakkan turbin tersebut adalah sebesar 3 m/s dan normalnya adalah 10-30 m/s. Sedangkan kecepatan rata-rata angin di Indonesia pada ketinggian 50 m adalah 3-6 m/s. Untuk dapat bekerja optimal dengan kecepatan angin yang cukup, maka turbin generator tersebut harus dipasang pada ketinggian di atas 50 m. PLTB saat ini yang dipasang di Indonesia digunakan untuk penerangan rumah di daerah-daerah terpencil untuk penerangan rumah dan jalan, di beberapa pantai seperti di pantai Pandansimo untuk penerangan rumah dan jalan dan juga digunakan untuk pembuatan es batu untuk mendinginkan ikan bagi nelayan. Sedikitnya jumlah turbin generator yang dipasang di Indonesia salah satu faktor penyebabnya adalah mahalnya harga komponen turbin generator angin tersebut dengan harga rata-rata 25 jt rupiah per kilo watt belum biaya infrastrukturnya.

Upaya pemerintah untuk menggalakkan energi bersih dewasa ini sangat gencar, terutama pembangunan-pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan di pelosok-pelosok daerah (**Hardianto, 2019**). Potensi sumber daya alam yang ada di Indonesia sangat berlimpah terutama Angin (**Garniwa & Herdiansyah, 2021**). Dalam pemanfaatannya, energi angin ditangkap oleh kincir angin untuk memutar generator yang ada di dalam turbin angin dan menghasilkan listrik. Ketika rotor berputar, maka secara otomatis generator tersebut akan mengalirkan energi listrik seperti pada Gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1. Proses Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Turbin angin yang mempunyai sudu bersoliditas tinggi secara teori menghasilkan torsi besar (**Wang & Chen, 2008**). Sedangkan, turbin angin yang memiliki jumlah sudu sedikit mempunyai torsi rendah tetapi memiliki putaran rotor yang tinggi. Berikut adalah hubungan antara efisiensi, *Tip Speed Ratio* dan torsi (**Ikhsan & Hipi, 2011**).



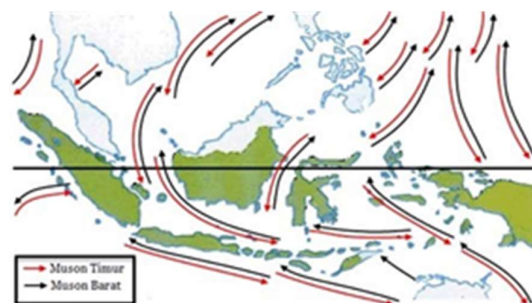
**Gambar 2. Hubungan Torsi dengan Efisiensi**

Berdasarkan penjelasan di atas bahwa negara Indonesia mempunyai potensi energi alam angin yang cukup besar, dalam tulisan ini dijelaskan dan diteliti pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik skala mikro. Pembangkit listrik yang dihasilkan berkapasitas kecil dan nantinya dapat dimanfaatkan untuk penerangan jalan, pengisian baterai, untuk lampu *emergency*, dan lain-lain.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang dapat bergerak dari tempat yang mempunyai kedudukan tinggi ke tempat yang mempunyai kedudukan rendah. Dalam artian, rotasi bumi mengakibatkan udara yang di dalamnya bergerak karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya (**Nawawi & Fatkhurrozi, 2017**). Apabila terkena panas, udara tersebut akan mengembang. Udara yang sudah mengembang tersebut menjadi lebih ringan sehingga akan naik ke atas. Apabila ini terjadi, tekanan udara yang mengembang tersebut akan turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitar akan mengalir ke tempat yang bertekanan rendah. Udara dingin akan menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah, di atas tanah udara menjadi panas lagi dan akan kembali naik. Naiknya aliran udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi. Siklus seperti ini ini disamping menyebabkan perbedaan iklim pada zona yang berbeda, laju angin yang dihasilkan pun akan berbeda juga.



**Gambar 3. Potensi Angin di Indonesia**

Berdasarkan topologi angin yang ada di Indonesia, syarat dan kondisi agar energi angin dapat dimanfaatkan menjadi listrik adalah seperti Tabel 1 di bawah ini (**Sari & Maulidany, 2020**).

**Tabel 1. Laju Angin**

Laju	Aliran	Rata-rata Kelajuan Angin (km/jam)	Laju rata-rata Angin(m/s)
0	Aliran Angin Tenang	<1	<0,277
1	Angin Sedikit tenang	1-5	0,27-1,3
2	Sedikit berhembus	6-11	1,6-3,05
3	Berhembus pelan	12-19	3,33-5,27
4	Angin berhembus sedang	20-29	5,55-8,05
5	Berhembus sejuk	30-39	8,33-10,83
6	Berhembus kuat	40-50	11,11-13,88
7	Mendekati kencang	51-61	14,16-16,94
8	Angin Kencang	62-74	17,22-20,55
9	Kencang sekali	75-87	20,83-24,16
10	Angin Badai	88-101	24,44-28,05
11	Angin Badai dahsyat	102-117	28,33-32,5
12	Angin Badai topan	>118	>32,77

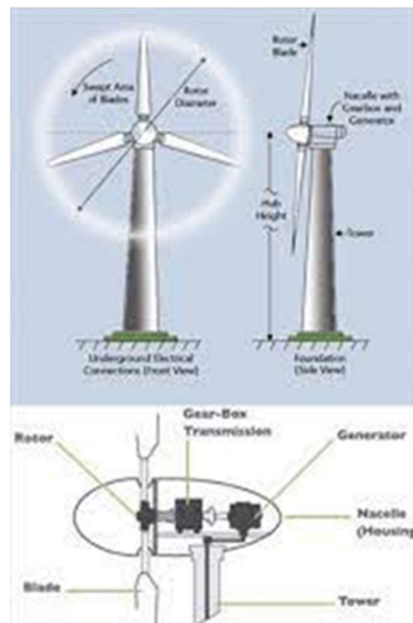
Indonesia yang memiliki garis pantai yang panjang dapat menjadi potensi besar dalam pemanfaatan energi angin dan perubahan iklim yang diakibatkan oleh pemanasan global ternyata dapat meningkatkan potensi angin di Indonesia. Dalam tahap proses dimanfaatkannya energi angin dapat melalui dua (2) tahapan yakni :

1. Aliran angin yang menggerakkan rotor (sudu) akan berputar searah jarum jam.
2. Perputaran rotor menghubungkan generator hingga menghasilkan listrik. Energi kinetik ( $E_k$ ) dihasilkan dari sapuan angin adalah ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

## 2.2 Kincir Angin

Turbin angin atau kincir angin ini pada awalnya dimanfaatkan mengakomodasi kebutuhan para petani untuk menggiling padi, aliran irigasi di pertanian, dan lainnya (**Isdiyarto, dkk, 2014**). Turbin angin pada masa lampau banyak penggunaannya di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lain dan lebih dikenal sebagai *Windmill*.



**Gambar 4. Kincir Angin**

Turbin angin seperti Gambar 4 di atas, dibangun dengan sangat besar menyerupai menara dengan poros yang dimilikinya dan generator terpasang di puncaknya. **(Sayoga, dkk, 2014)**. Kincir angin/Turbin dengan size yang lebih kecil digerakkan oleh baling-baling. Bilah dari baling-baling terdapat luas penampang.

Apabila bilah yang berpenampang A maka, berputar dengan laju v maka sejumlah massa yang melewati penampang A tersebut seperti ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$m = \rho Av^3 \text{ (kg/s)} \quad (2)$$

Daya yang dihasilkan energi angin adalah ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3 \text{ (W)} \quad (3)$$

Daya maksimum dari angin yang diterima kincir pada daerah sapuan A adalah ditunjukkan pada Persamaan (4).

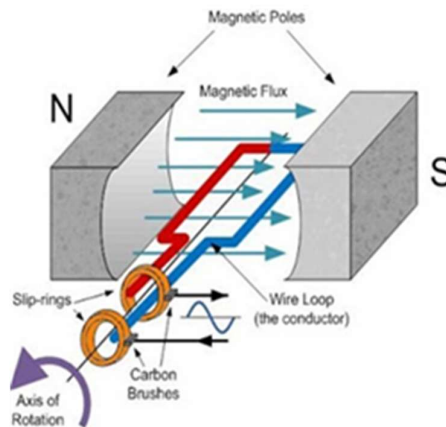
$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho Av^3 \text{ (W)} \quad (4)$$

Angka (59,3 %) disebut juga dengan *Betz limit* (dari Nama seorang penemu Jerman yaitu Albert Betz). Di mana secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dicapai oleh rotor turbin angin sumbu horizontal **(Jureczko, dkk, 2005)**. Namun karena adanya kerugian gesekan serta kerugian di ujung sudu, juga efisiensi aerodinamika rotor, maka rotor akan menjadi lebih kecil lagi yaitu berkisar harga maksimum 0.45 untuk rancangan sudu yang sangat baik. sehingga *power* yang diterima oleh keseluruhan sistem turbin angin seperti pada Persamaan (5).

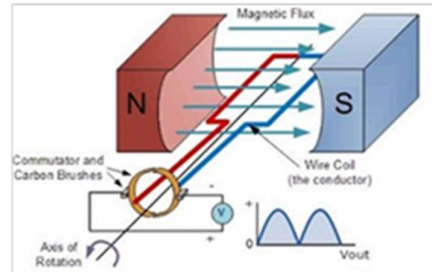
$$P = \eta_{rotor} \frac{1}{2} \rho Av^3 \text{ (W)} \quad (5)$$

### 2.3 Generator

Generator merupakan pengubah energi mekanik menjadi energi listrik **(Adam, dkk, 2019)**. Prinsip kerjanya seperti hukum faraday, apabila pada penghantar diputarakan di dalamnya sebuah medan magnet hingga terjadi perpotongan garis-garis gaya magnet, pada ujungnya timbullah garis gaya listrik (ggl) dengan satuan volt. Ada dua jenis generator yakni generator arus AC dan generator arus DC seperti pada Gambar 5 dan 6 di bawah ini.



**Gambar 5. Generator AC**



**Gambar 4. Prinsip Kerja Generator DC**

## 2.4 Akumulator

Akumulator atau baterai adalah contoh sumber listrik arus searah (DC), yang saat ini lazim digunakan (**Setiono, 2015**). Indonesia sebelah timur atau daerah-daerah terpencil khususnya belum atau dijangkau oleh aliran listrik, Accu mempunyai peranan yang sangat penting. Akumulator mempunyai dua tipe yakni kering dan basah. Tipe basah, konstruksi dasar dari setiap sel terdiri dari *electrode* positif dan *electrode* negative. Akumulator basah menggunakan larutan  $H_2SO_4$  sebagai katalisnya. Elektrodanya yang berasal dari  $PbO_2$  sebagai anoda (kutub positif) dan Pb sebagai katoda (kutub negative). Kemampuan dari sebuah akumulator dalam menyimpan energi atau besarnya energi yang dapat disimpan sekaligus dikeluarkan seperti refensi (**Marsus & Guntoro, 2014**) adalah ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$t = \frac{Ah}{Ich} \quad (6)$$

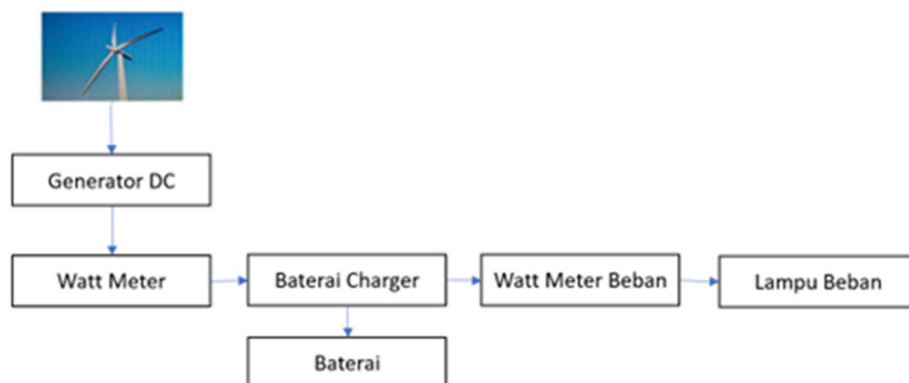
Varibel t adalah lama pengisian, Ah adalah besarnya kapasitas baterai dan Ich merupakan besarnya arus pengisian ke akumulator. Sedangkan lamanya pengisian adalah seperti pada Persamaan (7).

$$td = \frac{dayaAh}{dayaA} \quad (7)$$

Ah merupakan power yang diperoleh dari mengalikan Ah dengan besar tegangan akumulator (Wh), sedangkan daya A didapatkan dari perkalian A dengan tegangan akumulator (W).

## 2.5 Perancangan Alat

Dalam pembuatan sistem ini sesuai dengan blok alur runtutan seperti Gambar 7 dibawah ini :



**Gambar 5. Blok Diagram Alat**

Gambar 7 menerangkan bahwa putaran kincir akan menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik yang dapat disimpan ke dalam accumulator. Ditambahkan dua buah lampu sebagai beban di dalam penelitian ini.



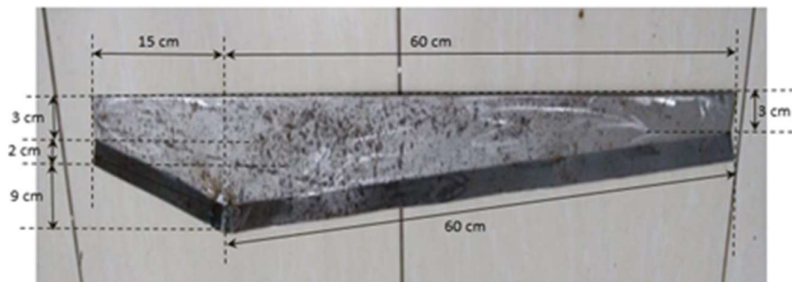
**Gambar 6. Penggunaan Belt pada Generator**

Ketinggian kincir angin ini adalah 146 cm. system pembangkit menggunakan *belt* dengan perbandingan seperti Persamaan (8).

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (8)$$

Di mana perbandingan roda yang terdapat pada kincir dan generator dengan dihubungkan oleh *fan belt* menghasilkan torsi yang lebih besar pada kincir angin, sehingga putaran di generator menjadi lebih cepat.

*Blade* merupakan bagian penting dari kincir angin. Aliran angin ditangkap oleh rotor (*blade*) untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik (**Schubel & Crossley, 2012**). Kecepatan angin yang ada di Indonesia adalah cenderung di antara 0-7 skala Beaufort (**Sari & Maulidany, 2020**). Dengan kecepatan rata-rata seperti itu membutuhkan jumlah *blade* antara 3-5 untuk menangkap energi angin yang ada .



**Gambar 7. Desain Blade**

Pada penelitian ini, *Blade* berbahan pelat besi dengan ketebalan 0,8 mm untuk turbin angin. Panjang jari-jari *Blade* berukuran 75 cm. Realisasi *blade* dibuat seperti asli dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 8. *Blade* Yang Telah Dipasang**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian telah dilakukan untuk memahami karakteristik dan performa dari sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dalam dua metode, yaitu pertama memberikan variasi pada kecepatan angin secara konstan mulai dari 1 m/s hingga 10 m/s. Kemudian pengujian kedua adalah dengan menguji sistem secara langsung di lingkungan yang mempunyai kecepatan angin bagus seperti di lepas pantai.

**Tabel 2. Kecepatan Angin dan Daya Pada Rotor yang Dihasilkan**

<b>v angin (m/s)</b>	<b>Input (W)</b>	<b>Output (W)</b>
1	1.08	0.49
2	8.65	3.89
3	29.21	13.14
4	69.24	31.16
5	135.23	60.85
6	233.67	105.15
7	371.07	166.98
8	553.90	249.25
9	788.65	354.89
10	1081.83	486.82

Tabel 2 memperlihatkan pengujian perbandingan kecepatan angin dan daya rotor yang dihasilkan. Kecepatan angin dibuat konstan dan divariasikan mulai 1 m/s sampai 10 m/s untuk



mengetahui daya *output* pada rotor. Kecepatan angin dibatasi hingga 10 m/s karena sudah termasuk kecepatan angin yang cukup kencang. Kecepatan angin di atas 10 m/s sudah termasuk kecepatan angin yang sangat kencang dan jika dialirkan ke turbin dapat merusak turbin dan baling-baling tersebut. Daya *input* merupakan daya dari energi angin dari area/luasan sapuan baling-baling yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (3). Sedangkan daya *output* adalah daya yang diperoleh oleh rotor dengan efisiensi rata-rata rotor sebesar 45%.

Pengujian kedua dilakukan secara langsung di lepas pantai, yang mana di pantai tersebut mempunyai laju angin rata-rata adalah 5 m/s. Kecepatan ini cukup memadai hingga dapat dilakukan pengujian sistem pembangkit listrik ini. Pengujian dilakukan pada pagi hingga sore hari antara pukul 7.00 pagi hingga pukul 17.00 **Error! Reference source not found.** Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pertama turbin angin dipasang pada tiang pendek setinggi 1.46 m. Pengujian tahap kedua turbin angin dipasang pada tiang setinggi 4 m. Hasil pengujian diperlihatkan dalam **Tabel 3**. Dengan ketinggian tiang 1.46 m yang mana turbin angin berada pada posisi di bawah. Pada ketinggian ini kecepatan angin rata-ratanya sebesar 4.1 m/s dan menghasilkan tegangan output 12.1 V dengan daya rata-rata tanpa beban adalah sebesar 60.5 W. Pada ketinggian 4 m kecepatan rata-rata angin 8.9 m/s yang menghasilkan tegangan sebesar 26.6 V dan daya rata-rata tanpa beban sebesar 133.3 W.



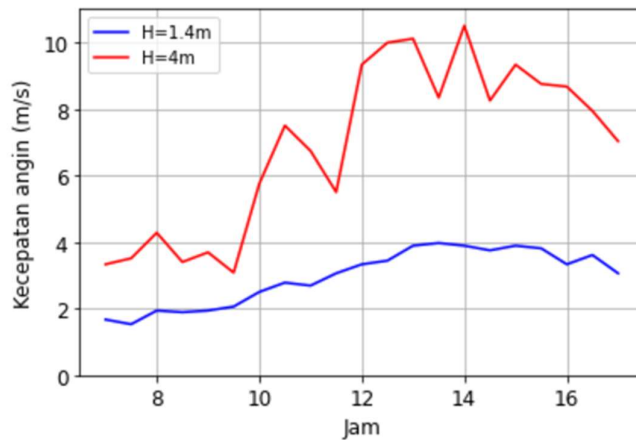
**Gambar 11. Pengujian Turbin Angin**

**Tabel 3. Pengujian Turbin Angin di Lepas Pantai**

Ketinggian (m)	Rata-rata kecepatan angin (m/s)	Tegangan Output (V)	Daya Output (W)
1.46	4.1	12.1	60.5
4	8.9	26.6	133.3

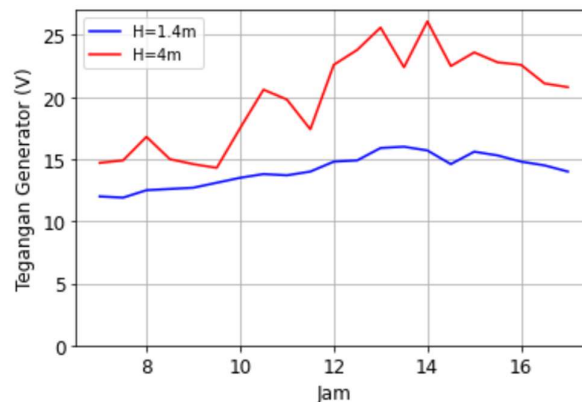
Berdasarkan **Tabel 3** di atas memperlihatkan bahwa angin di lepas pantai mempunyai kecepatan yang cukup kencang dan dapat menggerakkan turbin angin skala mikro dan menghasilkan daya listrik yang cukup besar. Kecepatan angin di lepas pantai bervariasi tergantung dari waktu dan cuaca di sekitar pantai. Pengujian kecepatan angin di pantai dilakukan untuk mengetahui kecepatan rata-rata pada pagi hari hingga sore hari, yang mana

pengujian ditetapkan pada pagi hari sekitar pukul 7:00 pagi hingga sore hari atau sekitar pukul 17:00 sore. Hasil pengujian diperlihatkan dalam **Error! Reference source not found.** Di dalam grafik ada dua buah *chart* yang memperlihatkan dua buah pengujian dengan ketinggian yaitu 1.46 m yang menggunakan tiang pendek (warna biru) dan 4 m yang menggunakan tiang panjang (grafik warna merah). Pada pagi hari sekitar pukul 7 hingga pukul 10 pagi, kecepatan angin relatif masih rendah yaitu sekitar 2 – 2.5 m/s untuk ketinggian tiang 1.46 m dan 4 – 4.5 m/s untuk ketinggian tiang 4 m. Setelah jam 10 ke atas kecepatan angin mulai naik dan puncaknya berada pada jam 12 hingga jam 15 sore, yang mana kecepatan angin di jam ini adalah 4 m/s untuk ketinggian tiang 1.46 m dan 10 m/s untuk ketinggian tiang 4 m. Kecepatan angin mulai menurun pukul 15:00 sampai pukul 17:00.

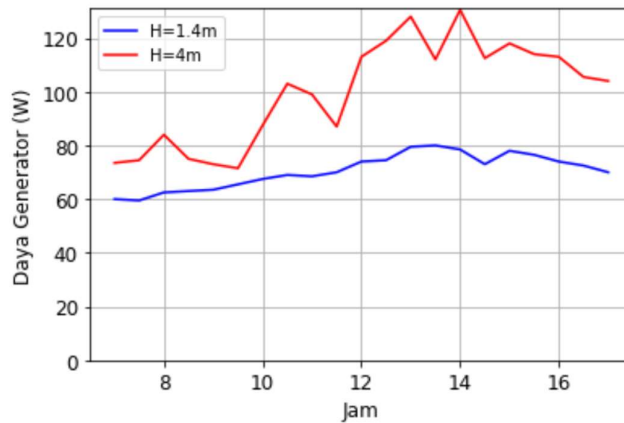


**Gambar 9. Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian 1.46 m dan 4 m**

Berdasarkan pengujian variasi kecepatan angin pukul 7:00 pagi hari sampai pukul 17:00 petang hari, kemudian diukur tegangan keluaran generator yang mana hasil pengujian diperlihatkan dalam **Error! Reference source not found.** Generator yang digunakan mempunyai spesifikasi tegangan keluaran maksimum sebesar 24 V dengan daya maksimum sebesar 120 W. Berdasarkan Grafik pengujian tersebut memperlihatkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh generator adalah 12 – 16 V untuk ketinggian tiang 1.46 m dan 15 – 26 V pada ketinggian tiang 4 m. Tegangan keluaran generator akan naik seiring dengan naiknya kecepatan pada angin. Semakin kencang kecepatan pada angin yang memutar generator, mengakibatkan semakin tinggi tegangan keluaran yang dihasilkan. Namun bila kecepatan pada angin bertambah kencang akan mengakibatkan *power* yang dihasilkan oleh generator menjadi tinggi dan hal ini dapat merusak generator tersebut.

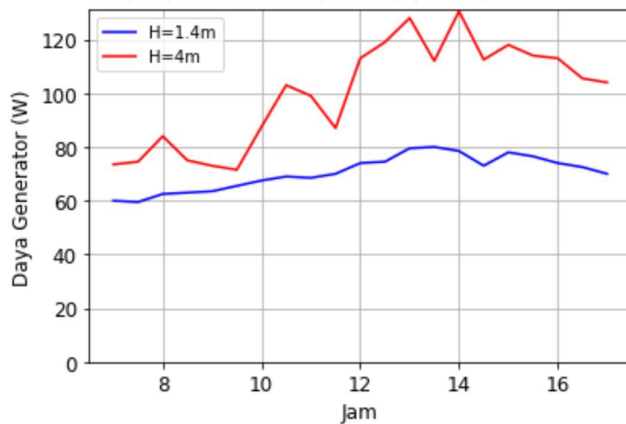


**Gambar 10. Pengujian Tegangan Generator pada Variasi Kecepatan Angin di Ketinggian 1.46 m Sampai 4 m**



**Gambar 11. Pengujian Daya Generator pada Variasi Kecepatan Angin di Ketinggian 1.46 m Sampai 4 m**

Berdasarkan data tegangan dan spesifikasi generator yang diuji, dapat dihitung perkiraan daya yang dihasilkan oleh generator. Perhitungan ini digunakan sebagai acuan dalam mendesain beban pada generator, contohnya adalah peralatan elektronik lainnya seperti baterai *charger* dan kapasitas lampu yang akan dipasang pada generator. Hasil perhitungan diperlihatkan pada



grafik . Berdasarkan grafik tersebut memperlihatkan bahwa seiring kenaikan kecepatan pada angin sehingga daya *output* generator juga akan menjadi besar. Pada kecepatan rendah dapat menghasilkan daya sekitar 60 – 80 W, sedangkan pada kecepatan angin kencang dapat menghasilkan daya sekitar 80 – 133 W.

#### 4. KESIMPULAN

Prototipe pembangkit listrik tenaga angin skala mikro telah dirakit dan diuji menggunakan kecepatan angin konstan dan diuji langsung di lepas pantai. Pengujian menggunakan kecepatan angin konstan menghasilkan daya *output* pada rotor sebesar 250 W pada kecepatan angin 9 m/s dengan efisiensi rata-rata rotor sebesar 45%. Pengujian turbin angin secara langsung di lepas pantai menghasilkan daya rata-rata sebesar 133.3 W dengan kecepatan pada angin dengan rata-rata sebesar 8.9 m/s. Pada kecepatan tinggi di atas 10 m/s dapat menghasilkan tegangan pada generator sebesar 26 V dengan daya 133.3 W. Dalam penerapan turbin angin untuk pembangkit listrik ini, ketinggian rata-rata yang disarankan adalah sekitar 4 m. Jika terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada generator.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini di danai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Perguruan Tinggi Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma tahun 2022 dengan nomor kontrak 02/P-I/UNSURYA/LP2M/XI/2022.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa pengaruh perubahan kecepatan angin pada pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) terhadap daya yang dihasilkan generator DC.
- Basyiran, T. B. (2014). Konsumsi Energi Listrik, Pertumbuhan Ekonomi dan Penduduk terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik di Indonesia. Skripsi Sarjana Fakultas Ekonomi, Universitas Syiah Kuala.
- Garniwa, I., & Herdiansyah, H. (2021). Sustainability index of solar power plants in remote areas in indonesia. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 6(1), 1–14.
- Hardianto, H. (2019). Utilization of solar power plant in indonesia: A Review. *International Journal of Environment, Engineering and Education*, 1(3), 1–8.
- Ikhsan, I., & Hipi, A. (2011). Analisis pengaruh pembebanan terhadap kinerja kincir angin tipe propeller pada wind tunnel sederhana. *TA, Makasar*.
- Isdiyarto, I., Ananta, H., & Purbawanto, S. (2014). Model pembangkit listrik tenaga angin dan surya skala kecil untuk daerah perbukitan. *Saintekno: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 12(1).
- Jureczko, M., Pawlak, M., & Mężyk, A. (2005). Optimisation of wind turbine blades. *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2–3), 463–471.
- Marsus, S., & Guntoro, B. (2014). Rancang Bangun Penggerak Turbin Angin. *TELISKA*, 15(3).
- Nawawi, I., & Fatkhurrozi, B. (2017). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Kecil pada Bangunan Bertingkat. *Theta Omega: Journal Of Electrical Engineering, Computer And Information Technology*, 1(1), 1–6.
- Sari, V., & Maulidany, D. A. (2020). Prediksi Kecepatan Angin Dalam Mendeteksi Gelombang Air Laut Terhadap Skala Beaufort Dengan Metode Hybrid Arima-Ann (Studi Kasus: Kabupaten Lombok Barat 2019). *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang*, 8(1).
- Sayoga, I. M. A., Wiratama, I. K., Mara, M., & Catur, A. D. (2014). Pengaruh variasi jumlah blade terhadap aerodinamik performan pada rancangan kincir angin 300 watt. *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan Dan Terapan Teknik Mesin*, 4(2).

- Schubel, P. J., & Crossley, R. J. (2012). Wind turbine blade design. *Energies*, *5*(9), 3425–3449.
- Setiono, I. (2015). Akumulator, pemakaian dan perawatannya. *METANA*, *11*(01).
- Wang, S.-H., & Chen, S.-H. (2008). Blade number effect for a ducted wind turbine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *22*(10), 1984–1992.
- Winarko, T., Hariyanto, N., Rahman, F. S., Watanabe, M., & Mitani, Y. (2019). Cost-benefit analysis of PV penetration and its impact on the frequency stability: case study of the south-central Kalimantan system. *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, (pp. 1700–1705).