



ANALISIS HUBUNGAN LAJU ANGIN DAN DAYA LISTRIK MINIATUR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

¹Marsa Khoerunnisa ²Rachmawati Putri Ainiyah, ³Khadijah Azahra, ⁴Fuji Hernawati Kusumah

Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

¹khoerunnisamarsa@gmail.com, ²rachmaputri494@gmail.com, ³karazzahraa5@gmail.com, ⁴fujikusumah@uinjkt.ac.id

ABSTRACT

The increasing demand for energy and the dependence on environmentally harmful fossil fuels have encouraged the use of alternative energy sources, one of which is wind energy. This source is not only eco-friendly but also applicable on a small scale, such as through a miniature wind power plant used for learning and experimentation. This study aims to analyze the relationship between wind speed and the electric power produced by the miniature system. The setup consists of a three-blade wind turbine, a DC generator, an LED lamp, a multimeter, and an anemometer mounted on a motorcycle. Testing was conducted by moving the motorcycle at speeds of 20, 30, and 40 km/h. The results showed that the generated power at these speeds was 0.18, 1.45, and 8.82 watts, respectively. However, the LED did not light up when the multimeter was used but did light up when the multimeter was removed. This was caused by the internal resistance of the measuring instrument, which affected the current and reduced the measured power. Further research is needed to develop a better measurement method that does not interfere with system performance.

Keywords: wind turbine, electric power, wind power plant

ABSTRAK

Permasalahan kebutuhan energi yang terus meningkat serta ketergantungan terhadap energi fosil yang tidak ramah lingkungan mendorong pemanfaatan sumber energi alternatif, salah satunya energi angin. Energi ini tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga dapat dimanfaatkan dalam skala kecil, seperti melalui miniatur pembangkit listrik tenaga angin yang berfungsi sebagai media pembelajaran dan eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kecepatan angin dan daya listrik yang dihasilkan miniatur pembangkit. Sistem terdiri atas kincir angin tiga bilah, generator DC, lampu LED, multimeter, dan anemometer yang dipasang pada sepeda motor. Uji coba dilakukan dengan menggerakkan sepeda motor pada kecepatan 20, 30, dan 40 km/jam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada tiga kecepatan tersebut, daya yang dihasilkan berturut-turut sebesar 0,18, 1,45, dan 8,82 watt. Namun, LED tidak menyala saat pengukuran menggunakan multimeter, tetapi menyala ketika multimeter dilepas. Hal ini disebabkan oleh hambatan dari alat ukur yang mempengaruhi besar arus listrik sehingga daya yang terukur menjadi kecil. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menentukan metode pengukuran yang lebih baik agar tidak mempengaruhi performa sistem.

Kata Kunci: Turbin angin, Daya listrik, Pembangkit listrik tenaga angin.

I. PENDAHULUAN

Angin merupakan udara bergerak yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Adanya perbedaan suhu udara ini karena adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Pada dasarnya angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi karena adanya penerimaan radiasi surya yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara [1].

Energi merupakan komponen penting dalam kehidupan manusia, terutama dalam mendukung kegiatan industri, rumah tangga, dan teknologi digital. Ketergantungan terhadap energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam telah memicu berbagai permasalahan, mulai dari krisis energi hingga kerusakan lingkungan akibat emisi karbon yang tinggi [2]. Untuk menjawab tantangan tersebut, energi terbarukan menjadi alternatif yang semakin didorong pengembangannya secara global.

Ada banyak alasan mengapa energi terbarukan menjadi pilihan, salah satunya yaitu bersifat netral karbon dan biayanya relatif terjangkau. Energi terbarukan adalah sumber energi yang tidak akan habis secara alamiah karena berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar. Misalnya matahari, angin, sungai dan sebagainya [3].

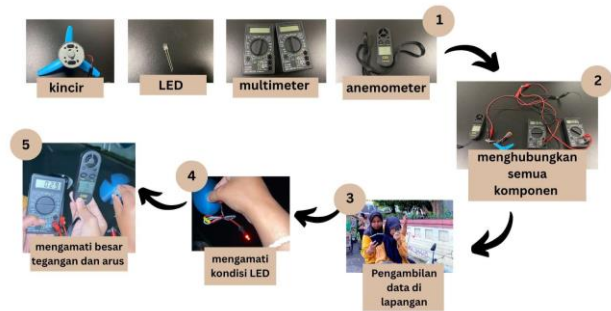
Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi angin. Energi angin tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga tersedia secara melimpah di berbagai wilayah, termasuk Indonesia. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Handayani et al [4] teknologi pembangkit listrik tenaga angin telah banyak dikembangkan, mulai dari skala industri hingga miniatur untuk kebutuhan pendidikan dan penelitian. Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan energi kinetik dari pergerakan angin untuk menghasilkan listrik. Namun, listrik yang dihasilkan oleh turbin angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Jika angin terlalu lemah atau terlalu kencang, daya listrik yang dihasilkan bisa tidak maksimal. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan angin dan daya listrik tidak selalu sebanding lurus. Ada kecepatan tertentu yang menghasilkan daya paling besar secara efisien [5] [6]. Hal ini menunjukkan pentingnya analisis lebih mendalam terhadap karakteristik kinerja turbin angin dalam berbagai kondisi kecepatan angin,

khususnya untuk sistem skala kecil atau miniatur yang banyak digunakan untuk kebutuhan pendidikan, penelitian, atau skala rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara variasi kecepatan angin dan daya listrik yang dihasilkan dengan memanfaatkan kecepatan angin melalui pergerakan kendaraan di jalan terbuka.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif dengan desain eksperimen lapangan. Penelitian dilakukan di area jalan terbuka dan relatif lurus di sekitar Jalan Lingkar Kampus 2 Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, yang memungkinkan kendaraan melaju dengan kecepatan konstan tanpa hambatan.

Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) yang dipegang sejajar dengan anemometer digital saat kendaraan bergerak, dengan posisi baling-baling tegak lurus terhadap arah gerak kendaraan.



GAMBAR 1
PROSES PENGAMBILAN DATA

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi miniatur PLTB dengan baling-baling tiga bilah, generator DC kecil sebagai konverter energi mekanik ke listrik, multimeter digital untuk mengukur nilai tegangan (volt) dan arus listrik (ampere), serta anemometer digital untuk mengukur kecepatan angin secara langsung saat kendaraan bergerak. Kecepatan kendaraan dikontrol menggunakan speedometer bawaan sepeda motor, dan data dicatat menggunakan lembar observasi manual. Selain itu, seluruh proses pengambilan data didokumentasikan melalui rekaman video dan foto untuk mendukung validitas data dan sebagai bukti visual dari pengukuran yang dilakukan selama eksperimen berlangsung.

Kendaraan bermotor digerakkan dengan tiga kecepatan berbeda, yaitu 20, 30, dan 40 km/jam. Selama kendaraan melaju, miniatur PLTB dipegang

sejajar dengan anemometer digital untuk memastikan keduanya menerima aliran angin yang sama. Pada setiap kecepatan, dicatat nilai kecepatan angin dari anemometer serta besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator. Pengambilan data dilakukan selama 1–2 menit untuk setiap variasi kecepatan, dengan pencatatan setiap 10 detik untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih stabil. Setiap pengujian kecepatan diulang sebanyak tiga kali guna meningkatkan akurasi dan reliabilitas hasil pengukuran.

Daya listrik dihitung dengan persamaan (1). Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menggambarkan hubungan antara laju angin dan daya listrik yang dihasilkan. Analisis dilakukan untuk melihat pola atau kecenderungan perubahan daya terhadap variasi kecepatan angin, sekaligus untuk menilai konsistensi data antar percobaan

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

Keterangan:

P = Daya listrik (watt)







V = Tegangan listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pengukuran rata-rata dari tiga kali percobaan untuk setiap variasi kecepatan:

TABEL 1.
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN, ARUS,
KECEPATAN ANGIN, DAN DAYA

Laju Kendaraan (km/jam)	Laju Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Kondisi Lampu Ketika Diukur	Kondisi Lampu Ketika Tidak Diukur
20	9.0	0.9	0.2	0.18		
30	11.5	2.9	0.5	1.45		
40	15.6	9.8	0.9	8.82		

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan sepeda motor, maka semakin besar pula kecepatan angin yang mengenai baling-baling kincir. Pada kecepatan 20 km/jam, kecepatan angin tercatat sebesar 9,0 m/s; pada 30 km/jam sebesar 11,5 m/s; dan pada 40 km/jam mencapai 15,6 m/s. Kecepatan angin yang lebih tinggi ini menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar, sehingga daya listrik yang dihasilkan juga ikut meningkat. Daya yang dihasilkan pada kecepatan 20 km/jam adalah 0,18 watt, meningkat menjadi 1,45 watt pada 30 km/jam, dan naik menjadi 8,82 watt pada 40 km/jam.

Hubungan antara kecepatan angin dan daya listrik dapat divisualisasikan melalui grafik berikut.



GAMBAR 2
GRAFIK KECEPATAN ANGIN VS DAYA

Grafik menunjukkan bahwa daya bertambah seiring meningkatnya kecepatan angin. Pola ini mendukung teori bahwa energi angin berbanding pangkat tiga dengan kecepatannya [7]. Namun, karena keterbatasan efisiensi sistem miniatur, peningkatannya tampak mendekati linier dan masih dapat diterima.

Kecepatan angin yang lebih tinggi menyebabkan kincir berputar lebih cepat, sehingga induksi elektromagnetik pada generator DC meningkat. Sebagai contoh, pada 9,0 m/s tegangan tercatat 0,9 V dan arus 0,2 A, sedangkan pada 15,6 m/s tegangan naik menjadi 9,8 V dan arus 0,9 A. Hal ini menunjukkan bahwa performa sistem sangat bergantung pada intensitas angin yang tersedia.



GAMBAR 3
POSISI STRATEGIS TURBIN



GAMBAR 4

PENGUKURAN MULTIMETER DAN ANEMOMETER

Salah satu fenomena menarik yang diamati selama pengujian adalah tidak menyala lampu LED saat rangkaian sedang diukur menggunakan multimeter, meskipun hasil pembacaan menunjukkan adanya tegangan dan arus listrik yang cukup. Sebaliknya, ketika multimeter dilepaskan dari rangkaian dan LED dihubungkan langsung ke keluaran generator, lampu LED justru menyala pada semua variasi kecepatan kendaraan, terutama ketika kecepatan angin telah mencapai di atas 9 m/s. Hal ini menunjukkan penggunaan alat ukur berpengaruh terhadap arus listrik yang mengalir pada miniatur ini.

Secara teknis, multimeter dapat menambah resistansi dalam rangkaian. Dalam sistem berdaya rendah seperti miniatur PLTB ini, penambahan resistansi sekecil apa pun dapat mengganggu besar arus listrik dan tegangan menuju beban. Lampu LED sendiri memiliki batas ambang tegangan tertentu (bias) agar dapat menyala, dan sangat sensitif terhadap penurunan tegangan meskipun dalam skala kecil. Oleh karena itu, walaupun hasil pengukuran menunjukkan nilai tegangan dan arus yang cukup besar secara teoritis, hambatan tambahan dari multimeter dapat menurunkan efisiensi aliran daya yang tersedia bagi LED, menyebabkan LED tidak menyala.

Setelah multimeter dilepas dari rangkaian, hambatan tambahan dari alat ukur tersebut ikut hilang, sehingga energi dari generator bisa mengalir lebih lancar ke LED. Hal ini terlihat dari pengamatan langsung, di mana LED menyala pada semua variasi kecepatan, terutama saat kecepatan angin melebihi 9 m/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa miniatur PLTB sebenarnya sudah mampu menghasilkan daya yang cukup untuk beban ringan seperti LED, namun kinerjanya sangat mudah terganggu, bahkan oleh alat ukur sekalipun. Oleh karena itu, eksperimen seperti ini sebaiknya menggunakan metode pencatatan data yang tidak mengganggu jalannya arus listrik, misalnya dengan sensor arus dan tegangan yang terhubung ke data logger atau sistem pemantauan otomatis. Dengan cara ini, hasil pengukuran akan lebih akurat dan tidak mempengaruhi kinerja sistem.

Ilustrasi dari eksperimen ini dapat dilihat pada Gambar 3, yang menunjukkan bentuk kincir miniatur

yang dipegang di bagian depan saat sepeda motor melaju, dirancang untuk langsung menangkap aliran angin frontal. Selanjutnya, Gambar 4 memperlihatkan proses pengukuran menggunakan multimeter, di mana terlihat kondisi LED yang tidak menyala karena rangkaian sedang dibebani alat ukur. Juga menunjukkan proses pengamatan kecepatan angin menggunakan anemometer digital yang digunakan untuk memverifikasi bahwa angin yang dihasilkan oleh kendaraan bergerak sesuai dengan variasi kecepatan yang diinginkan.

Berdasarkan hasil ini, terlihat bahwa alat ukur seperti multimeter bisa mempengaruhi kinerja sistem listrik berdaya rendah seperti miniatur PLTB. Sistem ini hanya bekerja dengan baik saat kecepatan angin cukup tinggi (di atas 9 m/s), tapi sangat mudah terganggu oleh perubahan kecil, termasuk gangguan dari alat ukur. Selain itu, kecepatan kendaraan yang tidak stabil membuat tegangan dan arus yang dihasilkan ikut berubah-ubah. Karena itu, untuk penelitian selanjutnya sebaiknya digunakan sensor digital atau data logger yang tidak mengganggu aliran listrik, agar hasil pengukuran lebih akurat dan sistem tetap bekerja dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap miniatur PLTB dengan variasi kecepatan kendaraan, terdapat hubungan antara kecepatan angin yang mengenai kincir dengan daya listrik yang dihasilkan oleh miniatur PLTB. Semakin cepat sepeda motor, semakin besar laju angin yang mengenai kincir. Pada saat laju angin 9.0 m/s, daya yang dihasilkan yaitu 0,18 watt, sedangkan pada laju 11,5 m/s dan 15,6 m/s, daya meningkat masing-masing menjadi 1,45 watt dan 8,82 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan oleh sistem kincir angin. Selain itu, ditemukan bahwa lampu LED tidak menyala saat sistem sedang diukur menggunakan multimeter, namun menyala ketika alat ukur dilepaskan. Fenomena ini menunjukkan bahwa penambahan alat ukur seperti multimeter, khususnya saat mengukur arus secara seri, dapat memberikan hambatan tambahan dalam rangkaian.

Kelebihan dari sistem ini adalah mampu mengubah energi angin yang dihasilkan dari gerakan kendaraan menjadi energi listrik dengan pendekatan sederhana dan efisien. Desain miniatur juga memungkinkan sistem ini digunakan sebagai alat pembelajaran atau prototipe awal untuk sistem energi terbarukan portable. Sistem ini juga menunjukkan



respons cepat terhadap perubahan kecepatan angin, dan dapat menghasilkan energi listrik tanpa memerlukan sumber energi eksternal selain angin yang ditimbulkan oleh kendaraan.

V. SARAN

Penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki untuk pengembangan ke depan. Salah satu kelemahannya adalah sistem sangat bergantung pada kecepatan kendaraan untuk menghasilkan angin, dan daya listrik yang dihasilkan masih kecil serta tidak stabil. Selain itu, penggunaan alat ukur seperti multimeter ternyata mempengaruhi hasil percobaan, karena membuat LED tidak menyala meskipun arus dan tegangan terukur cukup.

Untuk itu, sebaiknya digunakan alat pencatat data yang tidak mengganggu sistem, seperti sensor digital atau data logger otomatis. Desain turbin juga bisa disempurnakan agar lebih efisien menangkap angin, terutama saat kecepatan rendah. Penambahan alat penyimpan energi seperti baterai atau superkapasitor juga disarankan agar daya yang dihasilkan bisa digunakan lebih stabil. Selain itu, penelitian serupa sebaiknya dilakukan di kondisi angin alami, bukan hanya dengan simulasi dari kendaraan, agar bisa melihat kinerja sistem secara nyata di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta yang telah memberikan izin serta meminjamkan peralatan penelitian, seperti multimeter, anemometer, dan komponen pendukung lainnya. Dukungan ini sangat membantu kelancaran proses pengambilan data di lapangan. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pengampu mata kuliah dan semua pihak yang telah membantu secara teknis maupun non-teknis selama proses pengumpulan data dan penyusunan laporan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Harirotul Lathifah, S. Y. (2023). Analisis Potensi Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Energi. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 1005-1009.

- [2] M. S. Islam, M. R. (2020). Renewable Energy: The Need and Technologies. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 10, no. 2, pp. 622–635.
- [3] Arridina Susan Silitonga, H. I. (2020). *Energi Baru dan Terbarukan*. Yogyakarta: Deepublish.
- [4] H. Handayani, I. P. (2020). Potensi dan Tantangan Energi Angin di Indonesia. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 35–42
- [5] R. A. Pambudi, Y. S. (2021). Analisis Hubungan Kecepatan Angin terhadap Daya Output Turbin Angin Tipe Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, vol. 5, no. 3, pp. 67–72.
- [6] K. R. Saputra (2021). Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Kecil. *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 45–50.