

Analisis Efisiensi Generator DC pada Prototipe PLTB Skala Mikro untuk Pengisian Baterai Ponsel

Rahmawati¹, Asnawi Bermawi Orkha¹, Ike Bayusari¹, Caroline¹, Hermawati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Indralaya, Indonesia

Penulis Korespondensi: etikmahyuddin@yahoo.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi generator DC pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala mikro untuk pengisian daya ponsel, dengan latar belakang kebutuhan akan energi alternatif yang efisien dan ramah lingkungan yang semakin mendesak serta keterbatasan sumber energi fosil. Adapun pengisian daya baterai ponsel merupakan aplikasi yang menarik saat ini sebab telah menjadi suatu kebutuhan pokok di kehidupan sehari-hari. Generator DC dipilih karena ingin menyesuaikan energi yang dihasilkan untuk pengisian baterai ponsel dibandingkan generator AC tiga fasa yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Data diperoleh dengan mengukur tegangan, arus, dan kecepatan angin di PLTB skala mikro pada dua ponsel dengan tegangan baterai berbeda yaitu 3,9 volt dan 4,1 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pada tegangan baterai 4,1 volt lebih efisien pada kecepatan angin yang tinggi, sementara hasil pada tegangan baterai 3,9 volt lebih efisien pada kecepatan angin yang rendah. Kesimpulannya, meskipun terdapat perbedaan efisiensi pada berbagai kondisi, daya yang dihasilkan masih kecil untuk pengisian ponsel secara efektif. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk optimalisasi desain turbin dan penggunaan material yang lebih efisien.

Kata Kunci—Energi angin, pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro, generator DC, efisiensi, pengisian baterai ponsel.

Abstract—This study aims to analyze the efficiency of a DC generator in a micro-scale wind power plant (PLTB) for mobile phone charging. The background of this research is the urgent need for efficient and environmentally friendly alternative energy sources, as well as the limitations of fossil energy sources. Mobile phone battery charging is an attractive application because it has become a basic necessity in daily life. A DC generator was chosen to better match the energy produced for charging mobile phone batteries compared to the three-phase AC generator used in previous studies. Data was obtained by measuring voltage, current, and wind speed in a micro-scale PLTB on two mobile phones with different battery voltages, namely 3.9 volts and 4.1 volts. The results showed that the 4.1-volt battery voltage was more efficient at higher wind speeds, while the 3.9-volt battery voltage was more efficient at lower wind speeds. In conclusion, despite the differences in efficiency under various conditions, the power generated is still small for effective mobile phone charging. Further research is recommended to optimize turbine design and use more efficient materials.

Keywords—Wind energy, micro-scale wind power plant, DC generator, efficiency, mobile phone battery charging.

I. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah energi angin. Energi angin ialah energi yang dihasilkan oleh pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, atau sebaliknya, yang terjadi ketika udara berpindah dari suhu yang lebih rendah ke suhu yang lebih tinggi [1]. Energi angin ini dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga angin atau lebih dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga bayu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro telah menjadi fokus penelitian yang menjanjikan dalam upaya memenuhi kebutuhan energi di daerah yang tidak terjangkau listrik konvensional [2]. Pengisian daya baterai ponsel merupakan aplikasi yang menarik saat ini sebab telah menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari. Meskipun begitu, efisiensi generator DC dalam PLTB skala mikro bisa menjadi faktor kritis yang menentukan seberapa berhasil pengisian baterai ponsel dapat dilakukan [3]. Pada penelitian sebelumnya, generator yang digunakan adalah generator AC 3 Fasa dan penggunaan bebannya adalah dengan mengisi baterai merk Yuasa (YB5L-B) sebagai media penyimpanan energi listrik sebelum digunakan. Sedangkan pada penelitian ini, penggunaan bebannya adalah untuk pengisian baterai ponsel. Oleh karena itu pada penelitian ini akan memakai generator DC. Hal ini dikarenakan baterai ponsel umumnya menggunakan tegangan DC (arus searah) untuk pengisian. Dengan menggunakan generator DC, penelitian ini akan menyesuaikan sumber energi yang dihasilkan dengan kebutuhan baterai ponsel secara langsung. Dimana hal ini dilakukan dengan cara mengukur dan menganalisis tegangan, arus, dan kecepatan

angin pada prototipe PLTB skala mikro kemudian selanjutnya menghitung dan menganalisis daya output dan efisiensi generator DC pada prototipe PLTB skala mikro tersebut. [4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Angin

Suatu aliran udara yang tersusun dari banyak gas di atmosfer bumi disebut energi angin. Faktor utama yang menyebabkan angin yaitu rotasi bumi dan pemanasan yang tidak merata yang terjadi di atmosfer dan permukaan bumi yang kondisinya tidak rata. Angin terbentuk disebabkan adanya perbedaan pada tekanan udara. Udara bergerak dari daerah dengan tekanan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara lebih rendah. Cahaya matahari adalah juga merupakan faktor yang mempengaruhi perbedaan tekanan udara ini. Banyaknya paparan sinar matahari pada suatu daerah biasanya membuat daerah tersebut memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya yang mendapat sinar matahari lebih sedikit [2].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit listrik tenaga bayu/angin merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Secara umum prinsip kerja turbin angin pada pembangkit listrik tenaga angin/bayu ialah energi angin dalam bentuk aliran diterima oleh rotor (sudu-sudu turbin) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran yang kemudian selanjutnya memutar rotor generator untuk membangkitkan energi listrik [5].

C. Turbin Angin

Turbin angin ialah suatu alat pada pembangkit listrik tenaga angin/bayu yang mempunyai fungsi mengubah energi mekanik yang berasal dari memanfaatkan energi angin untuk memutar sudu yaitu sebuah bagian dari turbin angin, dimana energi angin ini dikonversikan menjadi energi mekanik oleh sudu tersebut kemudian dari energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator yang terhubung dengan sudu, lalu energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan listrik/beban listrik. Turbin angin berdasarkan bentuk rotornya diklasifikasikan menjadi turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT) [6].

D. Generator DC

Generator DC ialah suatu mesin DC yang bekerja dengan cara merubah energi mekanik sehingga menghasilkan daya listrik dengan perantara energi magnet dalam bentuk arus searah (DC). Pada generator DC, energi mekanik yang berasal dari penggerak mula yang dikopel dengan rotor. Penggerak mula ini dapat berasal dari tenaga uap panas, tenaga potensial air, motor diesel, dan lain sebagainya. Energi listrik keluaran generator dikeluarkan pada kumparan jangkar generator yang juga terdapat pada rotornya [7].

E. Menentukan Efisiensi Generator

1) Daya

Daya ialah jumlah energi yang dihasilkan dalam jangka per satuan waktu. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha [8]. Pada generator arus searah dikenal tiga macam daya yaitu daya masukan (P_{in}), daya jangkar dan daya keluaran (P_{out}) [4].

Daya listrik keluar yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{out} = V \cdot I \cos \theta \quad (1)$$

Keterangan:

P_{out} : Daya Aktif Keluar (W)

I : Arus listrik (A)

V : Tegangan listrik (V)

$\cos \theta$: Faktor daya

Daya masuk generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (2)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya Aktif Masuk (W)

r : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Sudut (rad/s)

2) Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran dari seberapa besar torsi yang dibutuhkan untuk mengubah gerakan suatu benda dengan bentuk dan gaya tertentu. Momen inersia dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$I = \frac{2}{3} \cdot \rho \cdot H \cdot t \cdot d^3 \quad (3)$$

Keterangan :

ρ : Massa jenis material turbin (kg/m^3)

H : Tinggi benda yang berputar (m)

t : Tebal sudu (m)

d : Diameter sudu (m)

3) Torsi

Torsi ialah hasil perkalian antara gaya yang diterapkan pada suatu objek dengan lengan torsi, yang merupakan jarak dari titik penerapan gaya ke sumbu rotasi. Torsi dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$r = I \times \alpha \quad (4)$$

Keterangan:

r : Torsi (Nm)

I : Momen inersia (kg/m^2)

α : Percepatan sudut (rad/s^2)

4) Efisiensi Generator

Efisiensi dicirikan sebagai perbandingan antara daya hasil dan daya masuk dalam suatu siklus. Daya masukan generator adalah sebagai tenaga mekanis karena turbin dan generator digandeng dan bekerja sama untuk menyalurkan daya hasil atau daya keluar menjadi tenaga listrik [9].

Perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) dengan daya masukan (P_{in}) pada generator disebut efisiensi generator dan dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta_G = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

η_G : Efisiensi Generator

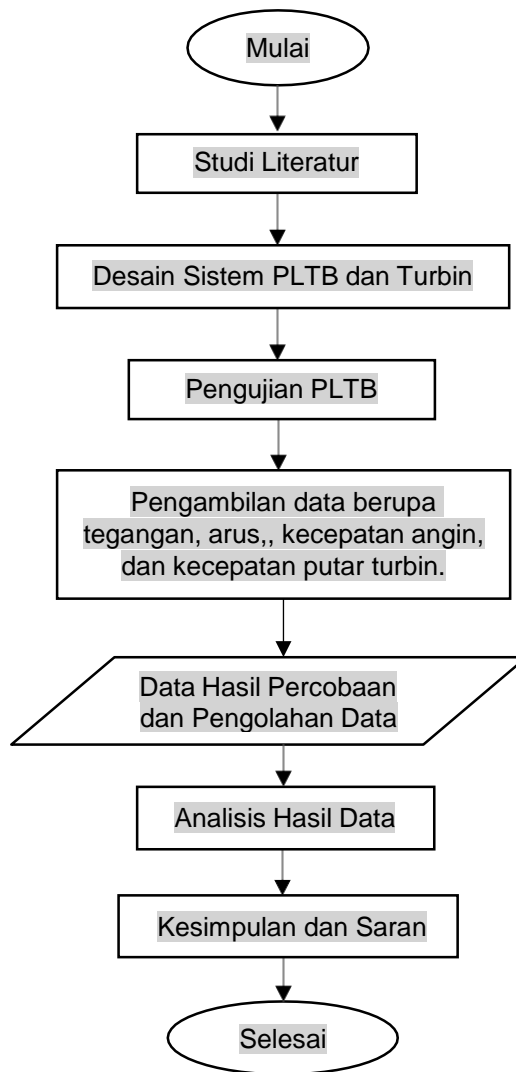
P_{out} : Daya Aktif Keluar ($Watt$)

P_{in} : Daya Aktif Masuk ($Watt$)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi yang digunakan untuk perancangan, pembuatan, pengujian, dan pengambilan data pada alat dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya. Waktu penelitian dimulai dari bulan Oktober 2023 sampai dengan Juni 2024 dengan melakukan perencanaan dan konsep penelitian, lalu melakukan studi literatur pada buku serta jurnal, melakukan penulisan proposal, mendesain alat yang akan dibuat yang dilanjutkan membuat alat penelitian, lalu pengambilan data pada alat, dan menganalisa serta menarik kesimpulan.

A. Diagram Alir Penelitian

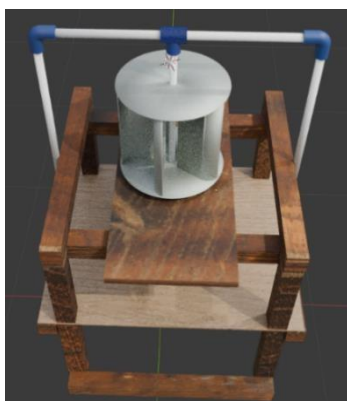


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Desain Alat Penelitian

Turbin yang digunakan

Pada perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro akan menggunakan turbin jenis vertikal savonius tipe-L dengan jumlah 5 sudu.



Spesifikasi Turbin Prototipe

Bahan Sudu	: Aluminium
Ketebalan Sudu	: 0,2 cm
Ketebalan Alas dan Atap	: 0,4 cm
Panjang Sudu	: 15 cm
Diameter Alas dan Atap	: 32 cm
Panjang Pipa Penyanggah	: 46 cm
Jumlah Sudu	: 5 sudu
Jarak antara Pipa dan Sudu	: 3 cm
Jarak antar Sudu	: 72°
Sudut Belok Sudu	: 140°



Keterangan gambar:

1. Turbin
2. Pipa Penahan Turbin
3. Meja Penyanggah Turbin
4. Ratio Gear
5. Generator
6. Meja Bantu

Gambar 2. Desain Alat Penelitian

Generator yang digunakan

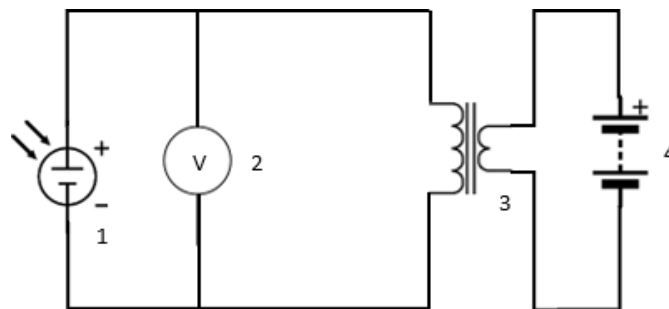
Generator yang digunakan sebagai konversi tenaga kinetik yang dihasilkan oleh tenaga angin pada prototipe PLTB skala mikro ini merupakan generator DC dengan merk Forrest model F8-M2-3440 yang berdaya maksimal sebesar 30 watt dan mengeluarkan tegangan *output* DC maksimal sebesar 24 volt.



Gambar 3. Fisik Generator

C. Rangkaian Pengukuran

1) Rangkaian Pengukuran Tegangan

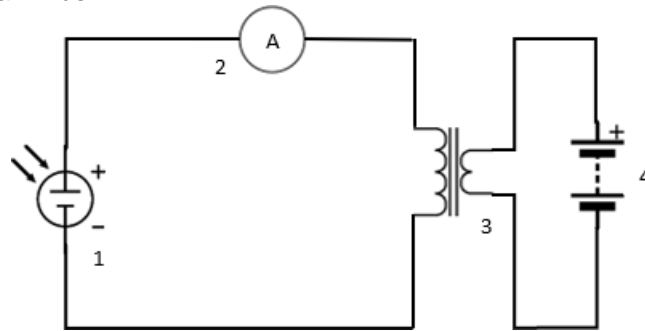


Gambar 4. Rangkaian Pengukuran Tegangan

Keterangan:

- a. Prototipe PLTB skala mikro
- b. Voltmeter
- c. Modul *DC Step Down (Adjustable) with USB*
- d. Beban (Ponsel)

2) Rangkaian Pengukuran Arus



Gambar 5. Rangkaian Pengukuran Arus

Keterangan:

- a. Prototipe PLTB skala mikro
- b. Ampermeter
- c. Modul DC Step Down (Adjustable) with USB
- d. Beban (Ponsel)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Penelitian ini menggunakan dua buah ponsel sebagai beban dengan nilai tegangan baterai yang berbeda yaitu 3,9 volt dan tegangan baterai 4,1 volt. Tujuan dari bab ini adalah untuk menampilkan hasil penelitian dan mengolah data yang berupa kecepatan angin (m/s), tegangan (V), dan arus (A), kecepatan putar turbin (RPM), sehingga mendapatkan nilai daya *output* generator (watt), daya *input* generator (watt) dan nilai efisiensi generator untuk kemudian dianalisis. Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 kali pengujian dimana sebanyak 3 kali tiap masing-masing ponsel yang berjumlah 2 buah dengan tegangan baterai berbeda yaitu 3,9 volt dan 4,1 volt. Penelitian ini menggunakan anemometer digital untuk mengukur kecepatan angin, multimeter untuk mengukur tegangan dan arus dari turbin dan tachometer untuk mengukur kecepatan putar turbin. Pengambilan data menggunakan angin buatan yang berjarak 30 cm dari turbin. Angin buatan berasal dari *blower* yang diposisikan sejajar dengan turbin angin.



Gambar 6. Fisik Alat Penelitian

B. Data Hasil Pengukuran

Table 1. Tabel Data Hasil Pengukuran

No.	Tegangan Baterai Ponsel (V)	Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Arus (A)	Tegangan (V)	Kecepatan Rotor (Rpm)
1	3,9 volt	1	6,4	0,02	4,08	306,7
		2	6,7	0,02	4,29	313,9
		3	7,1	0,03	4,21	363,7
2	4,1 volt	1	6,4	0,02	3,96	311,0
		2	6,7	0,02	4,02	320,4
		3	7,1	0,03	3,97	316,3

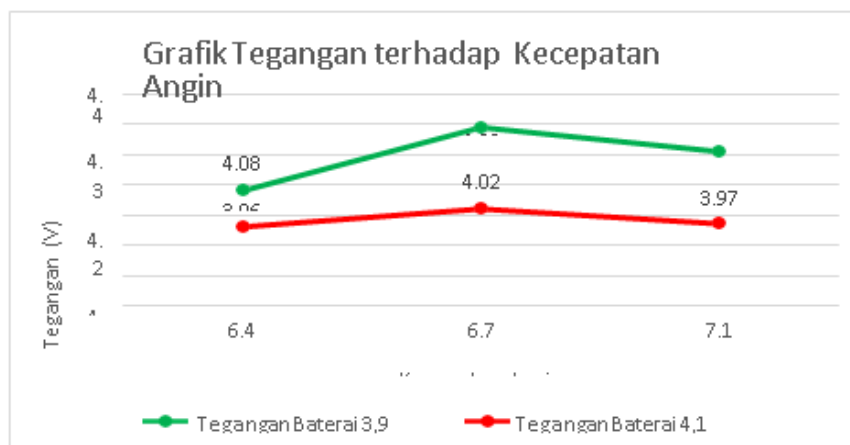
Pada penelitian ini telah didapatkan data pengukuran tegangan (volt), arus (ampere), kecepatan angin (m/s), torsi (Nm) dan kecepatan putar turbin (RPM). Pengambilan data penelitian dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing ponsel yang berbeda tegangan baterai. Tabel 1 adalah data hasil pengukuran pada alat penelitian.

C. Data Hasil Perhitungan

Table 2. Tabel Data Hasil Perhitungan

No.	Tegangan dan Kapasitas Baterai Ponsel (V)	Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Torsi (Nm)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi Generator
1	3,9 volt	1	6,4	0,01043	0,3348	0,0816	24,37%
		2	6,7	0,01068	0,3508	0,0804	22,91%
		3	7,1	0,01236	0,4704	0,1263	26,84%
2	4,1 volt	1	6,4	0,01059	0,3447	0,0792	22,97%
		2	6,7	0,01091	0,3658	0,0858	23,45%
		3	7,1	0,01075	0,3558	0,1191	33,47%

Dari data hasil pengukuran dan perhitungan seperti yang terlihat pada tabel 4.1 dan 4.2 akan disajikan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam menganalisis efisiensi generator pada dua tegangan baterai ponsel yang berbeda. Dimana pada grafik tersebut akan membandingkan kecepatan angin terhadap tegangan, arus, daya dan efisiensi dari generator. Hasil dari grafik tersebut akan dianalisis dan akan ditarik kesimpulan berdasarkan data grafik yang di tampilkan.



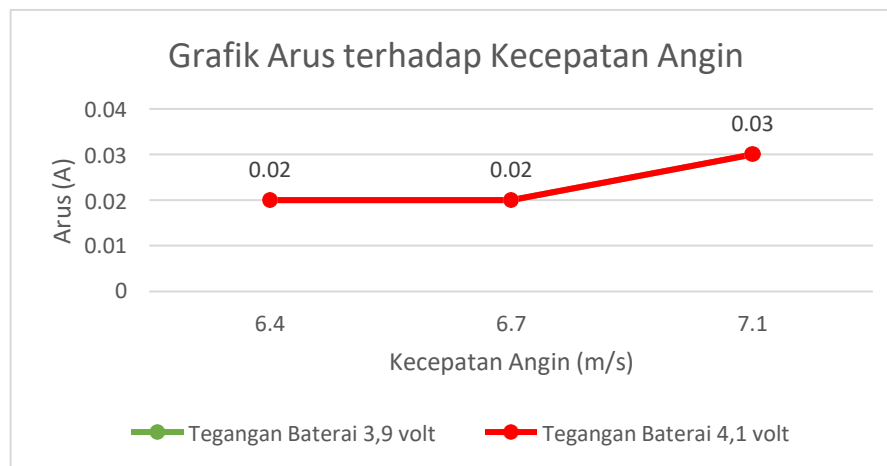
Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Kecepatan Angin

Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada ponsel dengan tegangan baterai 3,9 Volt mengalami peningkatan signifikan saat kecepatan angin meningkat dari 6,4 m/s ke 6,7 m/s, dan kemudian sedikit menurun saat kecepatan angin meningkat lebih lanjut menjadi 7,1 m/s. Ini menunjukkan bahwa ada hubungan positif antara kecepatan angin dan tegangan baterai, tetapi pada titik tertentu peningkatan kecepatan angin tidak lagi meningkatkan tegangan secara signifikan. Lalu pada ponsel dengan tegangan baterai 4,1 Volt, pola yang serupa dengan tegangan 3,9 Volt terlihat. Tegangan mengalami peningkatan saat kecepatan angin meningkat dari 6,4 m/s ke 6,7 m/s, namun kembali menurun saat kecepatan angin mencapai 7,1 m/s.

Tegangan baterai 3,9 Volt memiliki tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan baterai 4,1 Volt pada semua titik kecepatan angin. Pada kecepatan angin 6,4 m/s, nilai *output* tegangan di tegangan baterai 3,9 Volt (4,08 Volt) lebih tinggi dibandingkan dengan pada tegangan baterai 4,1 Volt (3,96 Volt). Pada kecepatan angin 6,7 m/s, perbedaan tegangan menjadi lebih besar, dengan tegangan *output* di tegangan baterai 3,9 Volt (4,29 Volt) sementara pada tegangan baterai 4,1 Volt (4,02 Volt). Pada kecepatan angin 7,1 m/s, perbedaan sedikit menurun, tetapi tegangan baterai 3,9 Volt (4,21 Volt) tetap lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan baterai 4,1 Volt (3,97 Volt).

Dari sini bisa disimpulkan bahwa baterai dengan tegangan 3,9 Volt menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan baterai dengan tegangan 4,1 Volt dalam hal respon terhadap peningkatan kecepatan angin. Hal ini mungkin disebabkan oleh kondisi internal baterai atau karakteristik khusus dari baterai yang digunakan. Penelitian lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan ini.

Grafik Perbandingan Arus terhadap Kecepatan Angin

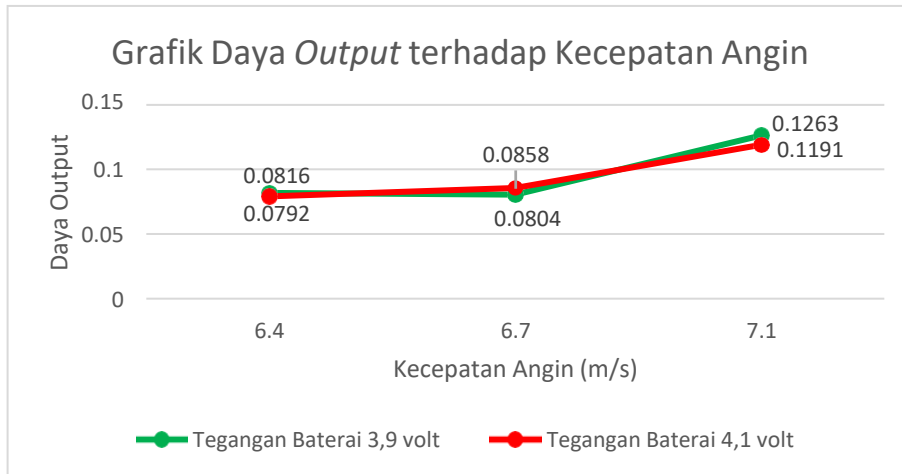


Gambar 8. Grafik Perbandingan Arus terhadap Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik di gambar 8 dapat diamati bahwa data pada kedua tegangan baterai sama sehingga tidak ada perbedaan pada gambar grafik untuk kedua tegangan baterai tersebut. Pada kecepatan angin 6,4 m/s dan 6,7 m/s, arus yang dihasilkan oleh baterai dengan tegangan 3,9 Volt dan 4,1 Volt tetap konstan pada 0,02 A. Ini menunjukkan bahwa dalam rentang kecepatan angin ini, perubahan kecepatan tidak mempengaruhi arus yang dihasilkan. Saat kecepatan angin meningkat menjadi 7,1 m/s, arus yang dihasilkan oleh kedua baterai meningkat menjadi 0,03 A. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin yang lebih tinggi, ada peningkatan daya yang dihasilkan, yang tercermin dalam peningkatan arus.

Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa pada kecepatan angin 6,4 m/s, daya *output* untuk baterai ponsel dengan tegangan 3,9 Volt sedikit lebih tinggi (0,0816 W) dibandingkan dengan baterai dengan tegangan 4,1 Volt (0,0792 W). Ini menunjukkan bahwa baterai ponsel dengan tegangan awal yang lebih rendah menghasilkan sedikit lebih banyak daya pada kecepatan angin ini. Pada kecepatan angin 6,7 m/s, daya *output* masih lebih tinggi untuk baterai dengan tegangan 3,9 Volt (0,0858 W) dibandingkan dengan baterai tegangan 4,1 Volt (0,0804 W). Namun, perbedaannya masih kecil. Kedua grafik menunjukkan peningkatan daya *output* dibandingkan dengan kecepatan 6,4 m/s, tetapi peningkatan lebih signifikan untuk tegangan baterai 3,9 Volt. Pada kecepatan angin 7,1 m/s, daya *output* meningkat tajam untuk kedua baterai. Baterai dengan tegangan 3,9 Volt menghasilkan daya *output* 0,1263 W, sedangkan baterai dengan tegangan 4,1 Volt menghasilkan 0,1191 W. Kembali, baterai dengan tegangan 3,9 Volt menunjukkan performa yang sedikit lebih baik.

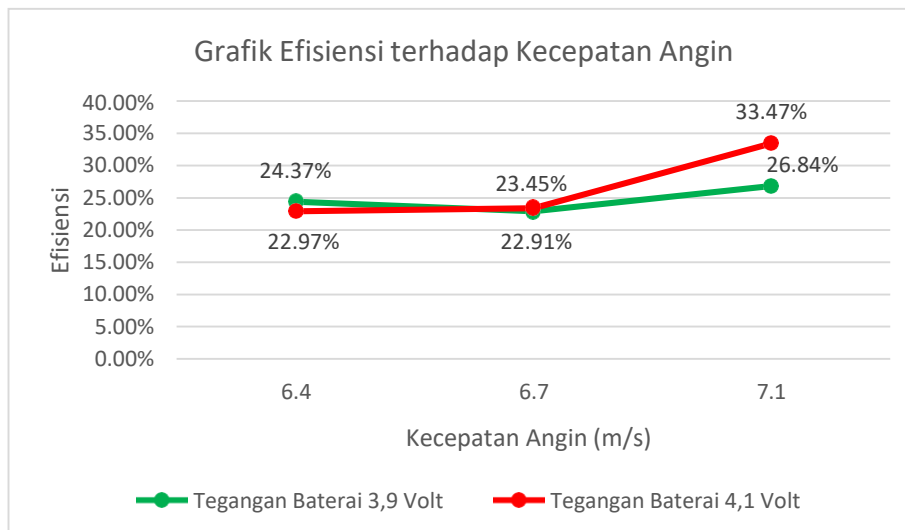
Grafik Perbandingan Daya Output terhadap Kecepatan Angin



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya Output terhadap Kecepatan Angin

Secara umum, baterai dengan tegangan awal 3,9 Volt menunjukkan daya output yang sedikit lebih tinggi pada semua kecepatan angin dibandingkan dengan baterai dengan 4,1 Volt. Hal ini konsisten pada ketiga titik kecepatan angin yang diuji (6,4 m/s, 6,7 m/s, dan 7,1 m/s). Peningkatan kecepatan angin dari 6,4 m/s ke 7,1 m/s berbanding lurus dengan peningkatan daya output untuk kedua tegangan baterai. Ini menunjukkan bahwa lebih banyak energi angin dapat dikonversi menjadi daya listrik saat kecepatan angin meningkat. Efisiensi sistem dalam mengonversi energi angin ke daya output tampaknya lebih optimal pada tegangan baterai 3,9 Volt. Namun, perbedaannya tidak terlalu besar, menunjukkan bahwa kedua sistem cukup efisien tetapi dengan sedikit keunggulan untuk tegangan baterai 3,9 Volt. Dengan demikian, meskipun baterai dengan tegangan 3,9 Volt menunjukkan performa yang sedikit lebih baik dalam hal daya output, kedua baterai secara umum menunjukkan pola peningkatan daya yang serupa dengan meningkatnya kecepatan angin.

Grafik Efisiensi Generator



Gambar 10. Grafik Efisiensi terhadap Kecepatan Angin

Dari grafik di Gambar 4.7 terlihat bahwa efisiensi pada tegangan baterai 3,9 Volt mengalami sedikit fluktuasi dengan penurunan pada kecepatan angin 6,7 m/s, tetapi kembali meningkat pada kecepatan angin 7,1 m/s. Dimana efisiensi terendah didapat disini dengan nilai sebesar 22,91 %. Lalu pada tegangan baterai 4,1 Volt, efisiensi menunjukkan tren peningkatan yang lebih jelas seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Kenaikan yang signifikan terjadi pada kecepatan angin 7,1 m/s. Dimana efisiensi tertinggi didapatkan disini dengan nilai sebesar 33,47 % Pada kecepatan angin 6,4 m/s, tegangan 3,9 Volt memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan 4,1 Volt. Pada kecepatan angin 6,7 m/s, efisiensi kedua tegangan hampir sama, dengan tegangan 4,1 Volt sedikit lebih tinggi. Pada kecepatan angin 7,1 m/s, tegangan 4,1 Volt memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan 3,9 Volt.

Pada tegangan baterai 4,1 Volt cenderung menunjukkan peningkatan efisiensi yang lebih baik pada kecepatan angin yang lebih tinggi, terutama pada kecepatan 7,1 m/s. Grafik ini menunjukkan kecepatan angin dan tegangan baterai mempengaruhi efisiensi. Tegangan baterai yang lebih tinggi (4,1 Volt) cenderung lebih efisien pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Hal ini bisa mengindikasikan bahwa sistem lebih diuntungkan dengan penggunaan tegangan baterai yang lebih tinggi pada kondisi angin yang lebih kuat. Namun, pada kecepatan angin yang lebih rendah, efisiensi antara kedua tegangan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dari hasil pengujian keseluruhan, generator DC dapat dianggap menunjukkan efisiensi yang baik dalam hal konversi energi angin menjadi listrik untuk pengisian baterai ponsel berdasarkan dari nilai efisiensi yang didapat dari pengujian ini dimana nilai terendah dan tertingginya berturut-turut sebesar 22,91% dan 33,47%.

V. KESIMPULAN

Terdapat hubungan positif antara kecepatan angin dan tegangan hingga titik tertentu (6,7 m/s). Namun, pada kecepatan angin yang lebih tinggi (7,1 m/s), peningkatan kecepatan angin tidak lagi meningkatkan tegangan secara signifikan, dan bahkan menyebabkan sedikit penurunan tegangan. Pada tegangan baterai 3,9 Volt menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan pada tegangan baterai 4,1 Volt dalam hal respon tegangan terhadap peningkatan kecepatan angin. Pada kecepatan angin 6,4 m/s dan 6,7 m/s, arus tetap konstan di 0,02 A untuk kedua baterai, sementara pada 7,1 m/s arus meningkat menjadi 0,03 A, menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin mempengaruhi arus hanya pada kecepatan yang lebih tinggi. Penelitian ini berhasil menghitung daya output pada kecepatan angin 6,4 m/s, 6,7 m/s dan 7,1 m/s. Hasilnya menunjukkan bahwa baterai dengan tegangan 3,9 Volt umumnya memberikan daya output yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan pada tegangan baterai 4,1 Volt. Peningkatan daya output seiring dengan meningkatnya kecepatan angin menunjukkan bahwa lebih banyak energi angin dapat dikonversi menjadi daya listrik pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa tegangan baterai 4,1 Volt lebih efisien pada kecepatan angin yang lebih tinggi, sedangkan tegangan baterai 3,9 Volt lebih efisien pada kecepatan angin yang lebih rendah. Dari keseluruhan pengujian, efisiensi yang didapat berkisar dari 22,91% sampai yang tertinggi di 33,47% sehingga generator DC yang digunakan dapat dianggap telah efisien namun daya yang dihasilkan masih kecil untuk pengisian baterai ponsel.

Untuk pengujian berikutnya, disarankan untuk menambah rentang pengujian agar dapat mendapat hasil yang lebih akurat. Selain itu, perlu dilakukan optimalisasi desain turbin dan penggunaan material yang lebih ringan serta lebih efisien untuk meningkatkan daya *output* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. N. Nugroho, "Analisis Pengisian Baterai pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius untuk Pencatutan Beban Listrik," Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [2] Y. I. Nahkoda and Saleh Choirul, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga di Daerah Pesisir Pantai," *Industri Inovatif*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, Mar. 2017.
- [3] J.W Simatupang and K. Sulistiohadhi, "Portable Wind Turbine for Energy Recharging Device Applications," *J. Electron*, pp. 19–24, 2016, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/306504079>
- [4] N. Priyaningsih and N. Yuniarti, "Analisis Efisiensi Generator pada Wind Turbine," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, 2017, [Online]. Available: <http://journal.uny.ac.id/index.php/jee/>
- [5] Ezwarsyah and Asran, "Prototipe Turbin Angin Skala Kecil Tipe Vertikal Axis Untuk Battery Charging di Daerah Remote Area," *ELECTRICIAN Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 3, no. 2, pp.119-124, 2009.
- [6] A. D. Priyambodo and A. I. Agung, "Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Generator DC di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 285–292, 2019.
- [7] M. Martua, D. Setiawan, and H. Yuvendius, "Studi Karakteristik Luar Dan Efisiensi Generator Dc Penguat Terpisah Terhadap Perubahan Beban Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, vol. 1, no.1, pp. 22-36, 2021.
- [8] K.B Pranata and C. Sundaygara, *Buku Ajar Mata Kuliah Elektronika Dasar 1. Panduan Praktikum Elektronika Dasar 1*, 2018.
- [9] A. Kusumma Wijaya, D. Nugroho, and dan Agus Adhi Nugroho, "Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi," *Jurnal Transistor Elektro dan Informatika (Transistor EI)*, vol. 4, no. 1, pp. 113–124, 2022