

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Sistem Monitoring Pengisian Battery Berbasis *Internet of Things (IoT)*

Ahmad Alif Farhan^{1*}, Diana Alia², Hadi Setiawan³

¹⁻³Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: ahmadaliffarhan1@gmail.com

Abstract. *Extreme climate change in Indonesia, caused by air pollution from the use of fossil energy, has encouraged the development of renewable energy technology, including Wind Power Plants (PLTB). This technology is increasingly important for providing clean energy, especially in the maritime industry. The aim of this applied scientific work is to provide a battery charging solution when the emergency battery charger charging system on commercial ships experiences problems. To make it easier to monitor the power produced by wind power plants and also battery capacity via a smartphone application in real time. The method used in this applied scientific research is experimental. The results of calculating the average power during testing at night show an average power of 10.22 Watt/min and an average current of 0.78 A. So it can be concluded that battery charging takes 11.53 hours. Meanwhile, the results of calculating the average power during testing during the day show an average power of 13.41 Watt/min and an average current of 1.02 A. So it can be concluded that charging the battery lasts for 8.82 hours. From the two data obtained, it can be concluded that charging is optimal during the day because the efficient charging time is 8.82 hours.*

Keywords: Battery Charger, IoT, Monitoring, Wind Power Plant.

Abstrak. Perubahan iklim ekstrem di Indonesia, yang disebabkan oleh polusi udara dari penggunaan energi fosil, mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Teknologi ini semakin penting untuk menyediakan energi bersih, terutama di industri maritim. Tujuan dari karya ilmiah terapan ini adalah Untuk solusi pengisian *battery* ketika sistem pengisian *battery charger* darurat pada kapal niaga mengalami masalah. Untuk memudahkan monitoring daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu dan juga kapasitas *battery* melalui aplikasi *smartphone* secara *realtime*. Metode yang digunakan dalam penelitian karya ilmiah terapan ini yaitu eksperimental. Hasil perhitungan rata-rata daya ketika pengujian diwaktu malam hari menunjukkan rata-rata daya 10,22 Watt/min dan rata-rata arus 0,78 A. Maka dapat disimpulkan pengisian daya baterai (accu) yaitu selama 11,53 jam. Sedangkan hasil perhitungan rata-rata daya ketika pengujian diwaktu siang hari menunjukkan rata-rata daya 13,41 Watt/min dan rata-rata arus 1,02 A. Maka dapat disimpulkan pengisian daya baterai (accu) yaitu selama 8,82 jam. Dari kedua data yang didapat maka bisa disimpulkan pengisian daya yang optimal ketika siang hari karna waktu efisien pengisian daya selama 8,82 jam.

Kata Kunci: Battery Charger, IoT, Monitoring, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

1. PENDAHULUAN

Terjadinya perubahan iklim yang ekstrem di Indonesia saat ini berdampak pada kenaikan suhu udara secara mendadak, hal ini dapat disebabkan karena tingkat polusi udara yang tinggi. Tingkat polusi udara yang tinggi disebabkan oleh penggunaan energi fosil secara terus menerus sebagai sumber energi utama, mulai dari pembangkit listrik bertenaga fosil hingga banyaknya kendaraan konvensional yang masih digunakan. Perkembangan teknologi telah menjadi pendorong utama dalam transformasi berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk bagaimana energi dihasilkan, disimpan, dan dikelola.

Perkembangan teknologi energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya, angin, dan air semakin berkembang seiring dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil, dimana turbin angin telah mengalami peningkatan efisiensi dan kemampuan menghasilkan energi yang lebih besar dalam berbagai kondisi cuaca. Teknologi yang menggunakan tenaga angin, atau sering disebut sebagai PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), telah berkembang pesat dan memainkan peran penting dalam penyediaan energi bersih dan terbarukan. Pemanfaatan tenaga angin dalam dunia pelayaran zaman modern merupakan salah satu langkah inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan emisi karbon di industri *maritim*.

Meskipun kapal layar tradisional telah menggunakan tenaga angin selama berabad-abad, teknologi modern telah membawa konsep ini ke tingkat yang lebih tinggi dengan menggabungkan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan.

Permasalahan pada sistem baterai *charger* darurat (*emergency battery charger*) di kapal niaga dapat menjadi serius karena baterai darurat adalah komponen penting yang memastikan kapal tetap berfungsi dengan baik selama kondisi darurat, seperti pemadaman listrik atau kegagalan sistem utama. Beberapa permasalahan yang terjadi diatas kapal yaitu kapasitas penyimpanan yang menurun, seiring waktu baterai pada sistem darurat dapat mengalami penurunan kapasitas penyimpanan karena siklus pengisian dan pengosongan yang berulang. Penurunan kapasitas ini dapat mengurangi waktu operasional perangkat penting selama keadaan darurat sehingga pengisian menjadi tidak optimal jika *charger* tidak berfungsi dengan baik, baterai mungkin tidak terisi penuh atau terisi terlalu lambat, mengakibatkan baterai tidak siap digunakan saat diperlukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Teori

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) adalah fasilitas yang mengubah energi angin menjadi listrik. PLTB adalah sistem yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Pembangkit ini termasuk dalam kategori energi terbarukan, karena angin adalah sumber daya alam yang tak terbatas dan ramah lingkungan. Konversi energi angin menjadi listrik dilakukan melalui proses yang melibatkan beberapa komponen utama, terutama turbin angin.

Prinsip Dasar Energi Angin

Energi angin berasal dari pergerakan massa udara yang disebabkan oleh perbedaan tekanan atmosfer akibat pemanasan matahari. Ketika angin bergerak, ia membawa energi kinetik yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.

Turbin Angin

Turbin angin adalah perangkat yang paling umum digunakan untuk mengonversi energi angin menjadi listrik.

Pengaruh Luas Penampang Sudut pada Kincir Angin

Luas penampang sudut pada kincir angin berpengaruh signifikan terhadap efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanik. Penampang sudut ini mengacu pada area permukaan yang dipengaruhi oleh angin, yang mana dapat dikontrol dengan mengatur sudut pitch (kemiringan) bilah kincir angin terhadap arah aliran angin.

Battery Lead Acid

Fungsi dari baterai adalah untuk memasok sumber daya listrik yang cukup ke peralatan, seperti untuk menghidupkan mesin (starter) dan memasok sistem pengapian untuk memberi sumber tegangan untuk penerangan lampu dan kebutuhan tegangan lainnya di mobil atau sepeda motor. Dalam penelitian ini, penggunaan *Baterai Lead Acid* NP 20-12 digunakan untuk menampung daya yang dihasilkan oleh turbin.

Blynk

Blynk adalah sebuah layanan aplikasi yang digunakan untuk mengontrol mikrokontroler dari jaringan internet. Aplikasi yang disediakan oleh blynk sendiri masih butuh disusun sesuai dengan kebutuhan. Dalam penelitian ini, penggunaan aplikasi *Blynk* digunakan sebagai aplikasi monitoring daya yang dihasilkan dan juga daya yang tersimpan pada battery.

Charge Controller

Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Charge controller* mengatur *overcharging* (Kelebihan pengisian karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari genrator. Kelebihan voltase dan arus saat pengisian akan mengurangi umur baterai.

Generator DC

Generator DC adalah perangkat elektromekanis dalam bidang mesin listrik yang mengubah dari suatu energi berupa energi mekanik/gerak menjadi energi listrik. Jenis listrik yang dihasilkan dari generator ini adalah listrik DC (*Direct Current*). Secara umum, komponen inti terbagi menjadi dua bagian utama: stator (bagian yang tidak bergerak) dan rotor (bagian bergerak).

ESP32

Menurut penelitian (Imran and Rasul 2020) ESP32 adalah sebuah Mikrokontroler yang merupakan pengembangan dan menjadi penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ESP32 sudah terdapat modul WiFi, sehingga pengguna nya bisa mengontrol mikrokontroler dari jarak jauh menggunakan jaringan Internet.

DC Voltage Sensor

Sensor tegangan ini merupakan besaran analog yang dapat diolah, diproses atau dikonversi dalam bentuk lainya sedangkan dalam dunia digital tegangan akan dikonversi dengan ADC (*analog to digital converter*). Sensor adalah transduser atau pengubah parameter menjadi besaran analog representasinya, biasanya apapun tipe sensor akan dikonversi ke tegangan agar dapat diolah untuk proses selanjutnya.

ACS712

Sensor arus ACS712 adalah *Hall Effect current* sensor. *Hall effect allegro* ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi.

ADS1115

ADS1115 adalah sebuah modul yang berfungsi untuk melakukan fungsi konversi dari sinyal analog ke digital. Modul ADS1115 terdiri dari 4 *input* sinyal analog.

LCD 16x2 I2c

LCD adalah media tampilan yang paling mudah untuk diamati karena menghasilkan tampilan karakter yang baik dan cukup banyak. Pada LCD 16×2 dapat ditampilkan 32 karakter, 16 karakter pada baris atas dan 16 karakter pada baris bawah.

Step Down DC LM2596

Modul DC *step down* LM2596 adalah modul yang memiliki IC LM2596 sebagai komponen utamanya. Modul DC *step down* LM2596 merupakan modul penurun tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimental. Penulis menganggap metode ini sangat cocok karena penelitian ini melakukan pengembangan sebuah alat dan melakukan penelitian berupa eksperimen untuk menguji efektivitas suatu alat (*prototype*). Pengujian akan dilakukan dengan cara menguji setiap bagian alat berdasarkan karakteristik dan fungsi masing – masing komponen. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah setiap bagian dari perangkat dapat bekerja secara maksimal dan sesuai dengan fungsinya dan menulis hasil pengujian komponen.

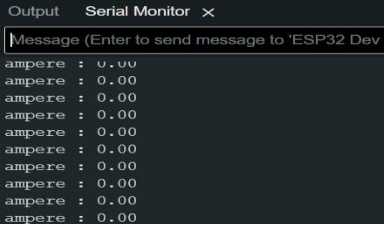


4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

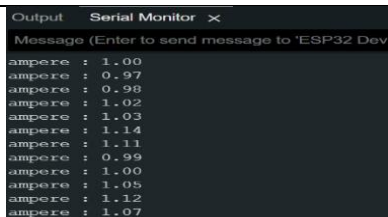
Pengujian Statis

Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dengan cara menggerakkan motor dc dan melihat pada serial monitor apakah sensor arus berfungsi mengalirkan arus yang dihasilkan oleh motor dc atau tidak.

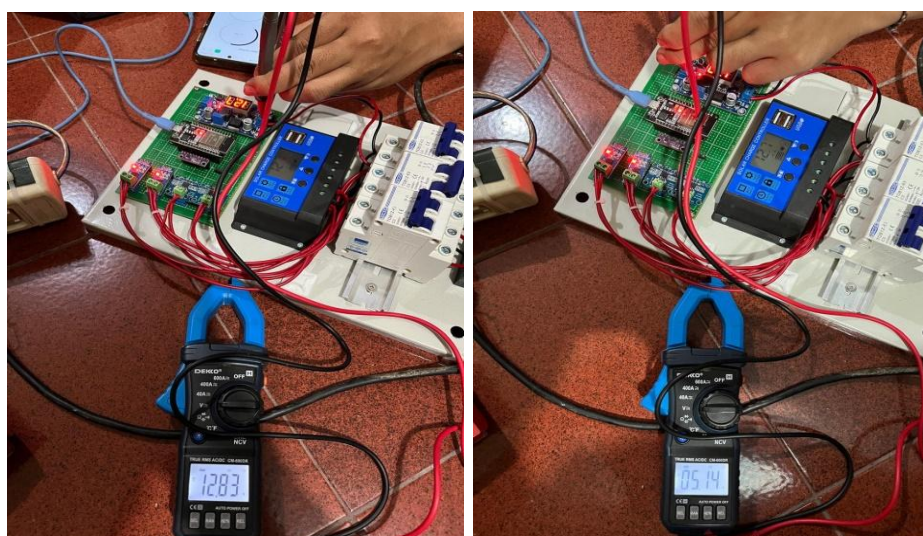
Tabel 1. Pengujian Sensor Arus

No	Kondisi Motor	Serial Monitor
1	Berhenti	 <pre> Output Serial Monitor x Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 ampere : 0.00 </pre>
2	Pelan 186,7-190,0 rpm	 <pre> Output Serial Monitor x Message (Enter to send message to ampere : 0.43 ampere : 0.60 ampere : 0.56 ampere : 0.67 ampere : 0.71 ampere : 0.64 ampere : 0.61 ampere : 0.66 ampere : 0.60 ampere : 0.64 </pre>
3	Sedang 190,0-202,2 rpm	 <pre> Output Serial Monitor x Message (Enter to send message to 'ESP3 ampere : 0.61 ampere : 0.88 ampere : 0.84 ampere : 0.81 ampere : 0.82 ampere : 0.86 ampere : 0.82 ampere : 0.71 ampere : 0.81 ampere : 0.79 ampere : 0.85 </pre>

No	Kondisi Motor	Serial Monitor
4	Kencang 202,2 rpm	

Pengujian Step Down DC

Pengujian modul step down DC bertujuan untuk memastikan bahwa modul tersebut dapat menurunkan tegangan input ke tegangan output sesuai spesifikasi, dengan cara memultitester step down apakah tegangan yang kita inginkan sudah sesuai atau belum.

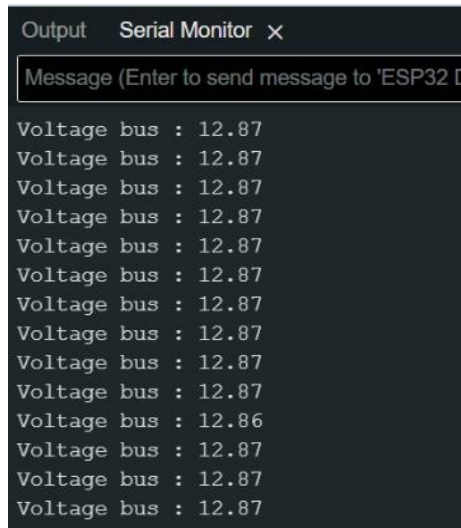


Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 1. Pengujian Step Down DC

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dengan cara dihubungkan tegangan dari baterai sebesar 12 Volt, lalu kita bisa melihat di serial monitor aplikasi arduino apakah sensor bisa berfungsi dengan baik atau tidak.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 2. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian LCD 16x2

Pengujian display LCD I2C untuk mengetahui apakah LCD bisa berfungsi dengan baik atau tidak dengan cara memprogram arduino dengan tulisan “Monitoring PLTS & PLTB”.



Sumber: Dokumen Pribadi

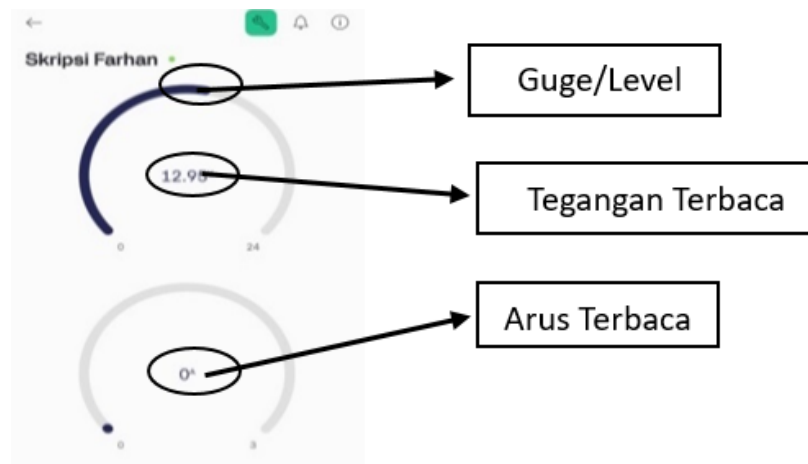
Gambar 3. Pengujian LCD 16x2

Pengujian Akses Blynk IoT

Pengujian Blynk IoT dilakukan dengan cara mengirim data dari ESP 32 pada server dan aplikasi Blynk untuk mengetahui apakah dapat dilakukan komunikasi dari Blynk dengan ESP 32, Komunikasi tersebut nanti digunakan untuk memonitoring sistem IoT.

No	Blynk	Gambar
3.		
4.		

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat monitoring aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Besar tegangan dan arus ditampilkan melalui *gauge* atau meteran yang menunjukkan jumlah tegangan dan arus yang dibaca oleh sensor.



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 5. Data Blynk pada *smartphone* ketika kondisi berhenti

Penyajian Data

Penyajian data pada malam hari

Hari ke 1

Tabel 3. Penyajian Data hari ke 1

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
20.00	200,2	13,01	1,13	14,70	1,12	13,00
21.00	295,4	13,08	1,20	15,69	1,19	13,10
22.00	96,8	12,97	0,40	5,18	0,39	12,96
23.00	50,3	12,94	0,27	3,49	0,27	12,93

Hari ke 2

Tabel 4. Penyajian Data hari ke 2

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
20.00	190,8	13,06	0,85	11,10	0,84	13,04
21.00	186,7	13,00	0,63	8,19	0,62	12,98
22.00	110,4	12,98	0,45	5,84	0,44	12,97
23.00	155,3	13,00	0,60	7,8	0,59	13,01

Hari ke 3

Tabel 4. Penyajian Data hari ke 3

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
20.00	99,8	12,97	0,42	5,44	0,41	12,95
21.00	70,5	12,94	0,36	4,65	0,36	12,92
22.00	120,8	13,00	0,48	6,24	0,47	12,98
23.00	183,5	13,01	0,61	7,93	0,62	13,00

Hari ke 4

Tabel 6. Penyajian Data hari ke 5

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
20.00	230,1	13,02	1,15	14,97	1,14	13,00
21.00	276,9	13,06	1,18	15,41	1,17	13,08
22.00	280,2	13,06	1,19	15,54	1,20	13,04
23.00	297,8	13,08	1,20	15,69	1,19	13,10

Hari ke 5

Tabel 7. Penyajian Data hari ke 5

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
20.00	171,4	13,00	0,59	7,67	0,58	12,98
21.00	158,3	13,00	0,65	8,45	0,64	13,01
22.00	241,1	13,02	1,15	14,97	1,14	13,00
23.00	286,1	13,05	1,19	15,53	1,20	13,06

Berdasarkan informasi dari tabel 3 menunjukkan kecepatan baling-baling terendah 50,3 Rpm dengan nilai tegangan hasil pengukuran 12,94 volt dan arus 0,27 A menghasilkan daya 3,49 watt, sedangkan kecepatan baling-baling tertinggi 295,4 Rpm memiliki keluaran tegangan 13,08 volt dan arus 1,20 A menghasilkan daya sebesar 15,69 watt ketika percobaan ini dilakukan waktu sore hari sampai malam hari.

Perhitungan rata-rata daya

Dari perhitungan daya yang diperoleh pada tabel 3 maka didapatkan rata rata daya yaitu:

$$Prata-rata = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$Prata-rata = \frac{204,53}{20}$$

$$Prata-rata = 10,22 \text{ Watt/min (613,5 Wh)}$$

Pengukuran lama pengisian baterai

Berdasarkan informasi dari tabel 3 maka didapatkan arus rata srata yaitu rata-rata arus 0,78 A. Maka dapat dihitung lama pengisian batterai (accu) dengan kapasitas sebesar 9 Ah menggunakan rumus persamaan yaitu:

$$Ta = \frac{C}{I}$$

$$Ta = \frac{9}{0,78}$$

$$Ta = 11,53 \text{ jam}$$

Maka dapat ditemukan bahwa baterai dapat terisi penuh selama 11,53 jam.

Penyajian Data pada Siang Hari

Hari ke1

Tabel 8. Penyajian Data Hari ke 1

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
08.00	250,2	13,03	1,13	14,72	1,12	13,01
09.00	290,9	13,09	1,18	15,44	1,17	13,10
10.00	200,8	13,02	1,07	13,93	1,06	13,00
11.00	120,8	12,98	0,57	7,39	0,56	12,97

Hari ke 2

Tabel 9. Penyajian Data Hari ke 2

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
08.00	190,8	13,06	0,85	11,10	0,84	13,04
09.00	186,7	13,00	0,73	9,49	0,72	12,98
10.00	210,4	13,01	1,08	14,05	1,07	13,00
11.00	255,3	13,05	1,14	14,87	1,15	13,06

Hari ke 3

Tabel 10. Penyajian Data Hari ke 3

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
08.00	300,1	13,09	1,21	15,83	1,20	13,07
09.00	326,9	13,10	1,22	15,98	1,22	13,12
10.00	210,2	13,00	1,09	14,17	1,08	13,01
11.00	390,9	13,09	1,23	16,10	1,24	13,08

Hari ke 4

Tabel 11. Penyajian Data Hari Ke 4

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
08.00	220,8	13,02	1,09	14,19	1,08	13,00
09.00	132,3	12,98	0,58	7,52	0,57	12,95
10.00	188,8	13,05	0,82	10,70	0,81	13,03
11.00	176,7	13,00	0,71	9,23	0,72	12,98

Hari ke 5

Tabel 12. Penyajian Data Hari Ke 5

Jam	Kecepatan Baling-baling (Rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Multimeter Arus (A)	Multimeter Tegangan (V)
08.00	310,4	13,10	1,22	15,98	1,20	13,05
09.00	305,3	13,10	1,20	15,72	1,18	13,07
10.00	304,3	13,09	1,21	15,83	1,20	13,10
11.00	326,9	13,10	1,22	15,98	1,23	13,12

Berdasarkan informasi dari tabel 8 menunjukkan kecepatan baling-baling terendah 120,8 Rpm dengan nilai tegangan hasil pengukuran 12,98 volt dan arus 0,57 A menghasilkan daya 7,39 watt, sedangkan kecepatan baling-baling tertinggi 326,9 Rpm memiliki keluaran tegangan 13,10 volt dan arus 1,22 A menghasilkan daya sebesar 15,98 watt ketika percobaan ini dilakukan waktu pagi hari sampai siang hari.

Perhitungan Rata-Rata Daya

Dari perhitungan daya yang diperoleh pada tabel 4.8 maka didapatkan rata rata daya yaitu:

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{268,28}{20}$$

$$P_{rata-rata} = 13,41 \text{ Watt/min (804,84 Wh)}$$

Pengukuran Lama Pengisian Baterai

Berdasarkan informasi dari tabel 8 maka didapatkan arus rata rata yaitu rata-rata arus 1,02 A. Maka dapat dihitung lama pengisian batterai (accu) dengan kapasitas sebesar 9 Ah menggunakan rumus persamaan yaitu:

$$Ta = \frac{C}{I}$$

$$Ta = \frac{9}{1,02}$$

$$Ta = 8,82 \text{ jam}$$

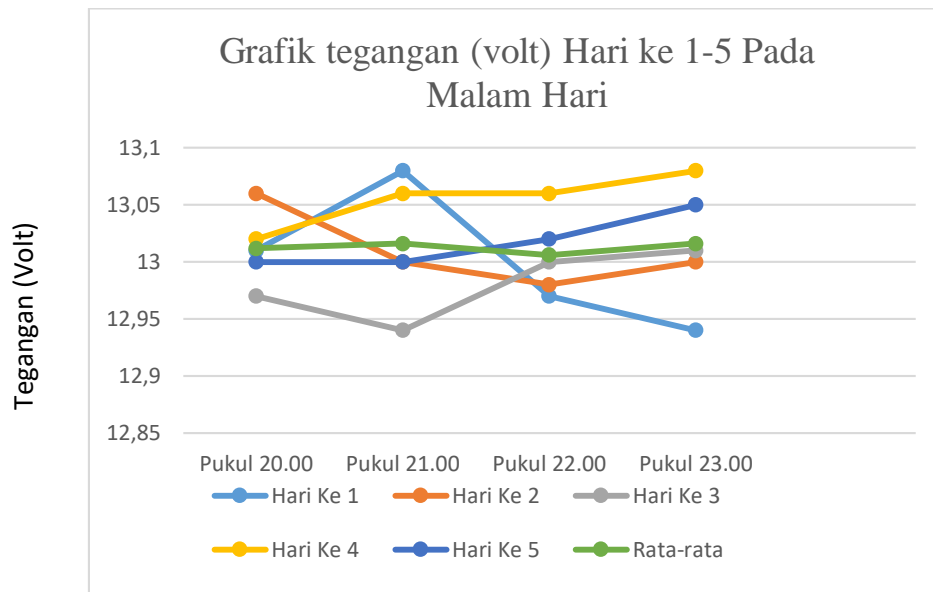
Maka dapat ditemukan bahwa baterai dapat terisi penuh selama 8,82 jam.

Analisa Data

Dari data yang telah disajikan pada bagian penyajian data kemudian dibuat analisis data berdasarkan data tersebut untuk mengetahui bagaimana optimal dan lama waktu pengisian baterai. Hasil perhitungan rata-rata daya ketika pengujian diwaktu malam hari menunjukkan rata-rata daya 10,22 Watt/min dan rata-rata arus 0,78 A. Maka dapat disimpulkan pengisian daya baterai (accu) yaitu selama 11,53 jam. Sedangkan hasil perhitungan rata-rata daya ketika pengujian diwaktu siang hari menunjukkan rata-rata daya 13,41 Watt/min dan rata-rata arus 1,02 A. Maka dapat disimpulkan pengisian daya baterai (accu) yaitu selama 8,82 jam. Dari kedua data yang didapat maka bisa disimpulkan pengisian daya yang optimal ketika siang hari

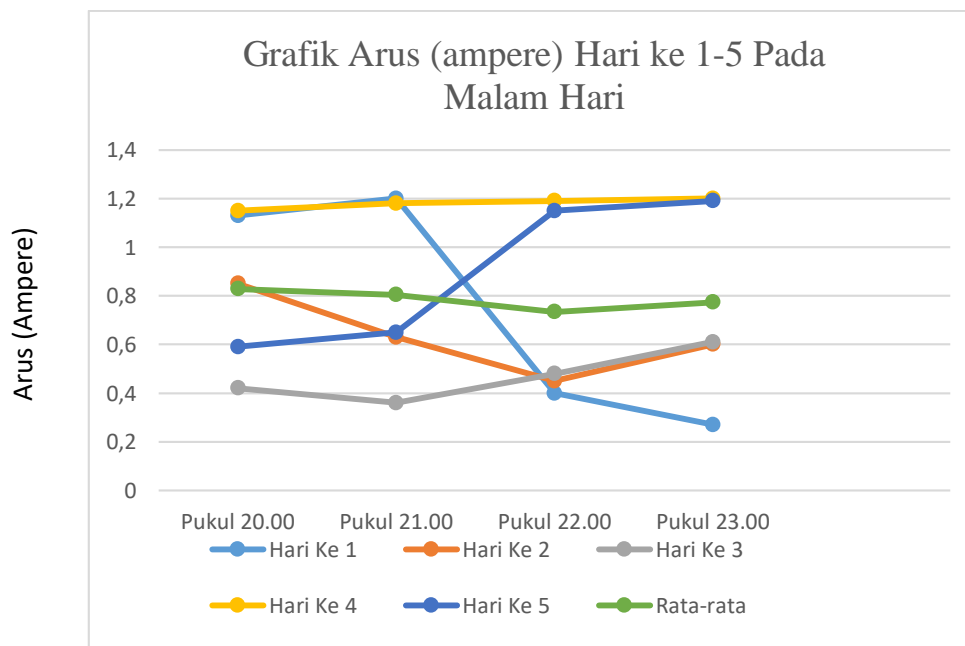
karna waktu efisien pengisian daya selama 8,82 jam. Dari data-data yang ada dapat disimpulkan dengan grafik sebagai berikut:

1) Grafik Pengujian Pada Malam Hari



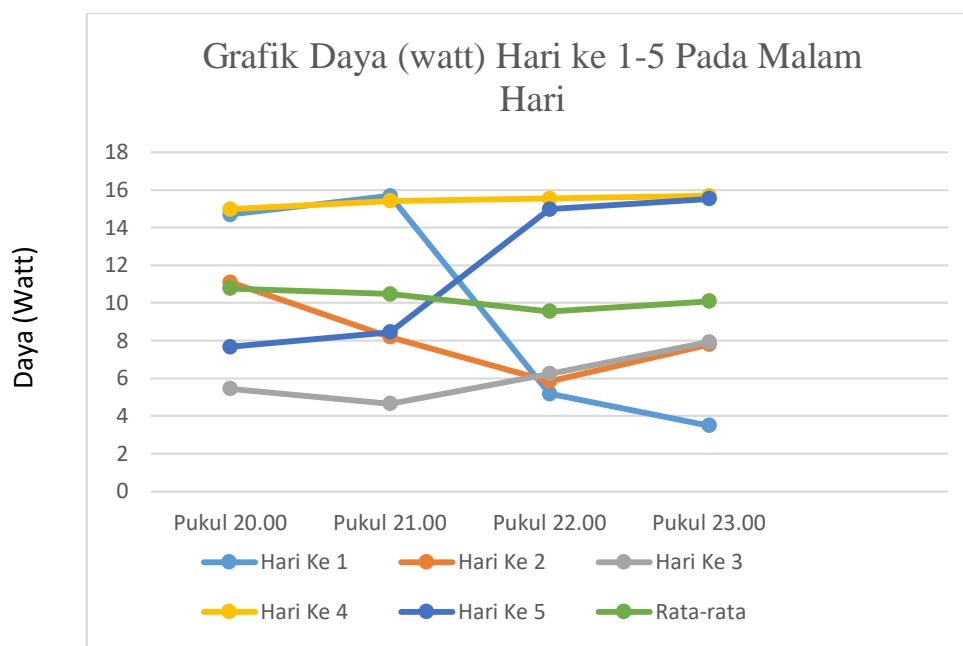
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 6. Grafik Data Tegangan (Volt)



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 7. Grafik Data Arus (Ampere)

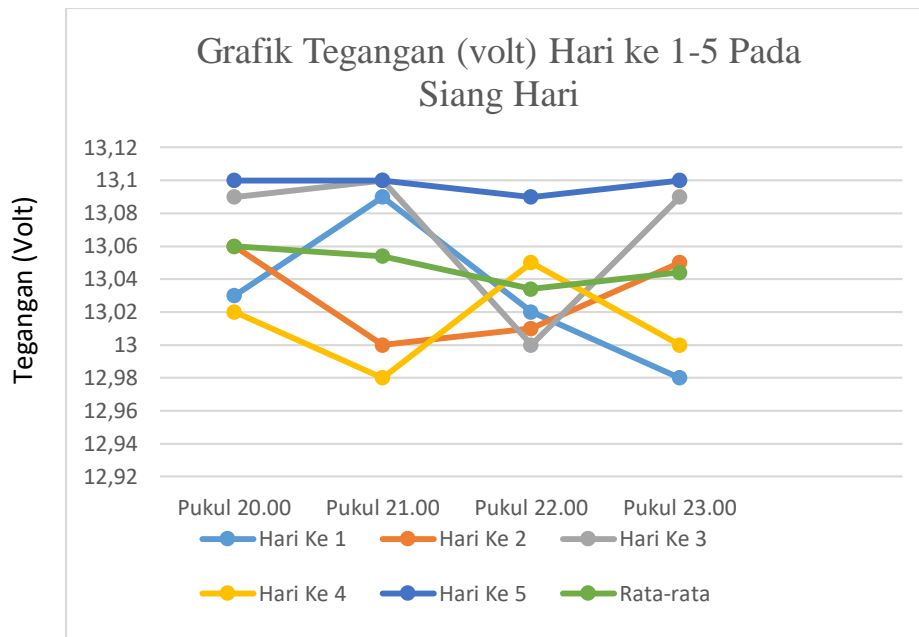


Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 8. Grafik Data Daya (Watt)

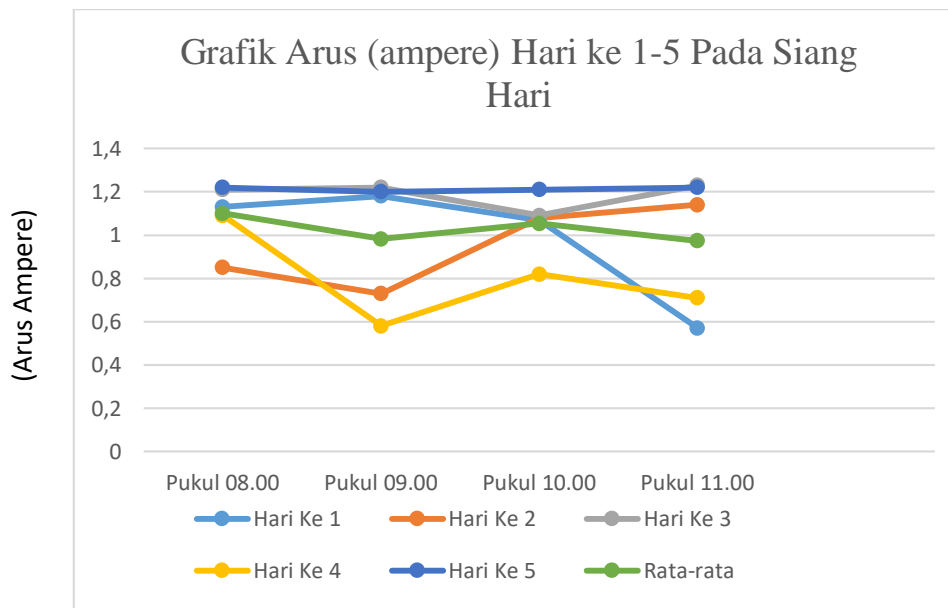
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa pada malam hari, nilai tegangan relatif stabil di kisaran 12,95–13,8 V, hari ke-4 menunjukkan performa tegangan yang paling konsisten dan tinggi di antara semua hari. Untuk arus mengalami fluktuasi lebih besar dibanding tegangan, berada di kisaran 0,3 – 1,2 A. Hari ke-5 menunjukkan variasi arus yang sangat mencolok, menurun drastis pada malam menjelang pukul 23.00. Hari ke-4 kembali menunjukkan arus yang paling stabil dan tinggi. Sedangkan daya terdapat penurunan daya yang cukup signifikan pada hari ke-5 di pukul 22.00 dan 23.00, disebabkan oleh penurunan arus meskipun tegangan relatif stabil. Hari ke-4 menghasilkan daya tertinggi dan paling stabil sepanjang malam (sekitar 15–16 watt), rata-rata daya pada malam hari yaitu 10,22 watt.

2) Grafik Pengujian Pada Siang Hari



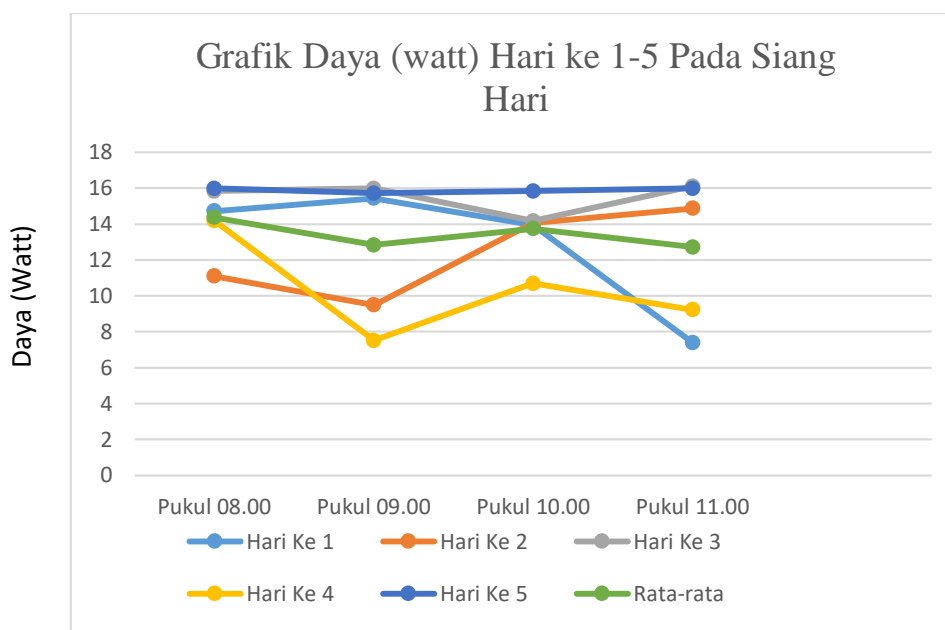
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 9. Grafik Data Tegangan (Volt)



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 10. Grafik Data Arus (Ampere)



Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 11. Grafik Data Daya (Watt)

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa pada siang hari tegangan cukup stabil di kisaran 12,98 – 13,11 V, hari ke-5 menunjukkan tegangan tertinggi dan paling stabil dibandingkan hari-hari lainnya. Tidak terdapat penurunan tegangan drastis, menandakan pasokan listrik atau beban cukup stabil saat siang hari. Untuk arus bervariasi antara 0,6 – 1,25 A, dengan performa tertinggi terjadi pada hari ke-3 dan hari ke-1. Hari ke-5 menunjukkan penurunan arus secara bertahap, terutama setelah pukul 10.00. Hari ke-4 memiliki arus yang cenderung rendah dan tidak stabil. Hari ke-1 dan Hari ke-3 menghasilkan daya tertinggi dan paling konsisten. Hari ke-4 menunjukkan performa paling rendah dengan daya hanya sekitar 8 – 11 watt. Hari ke-5 mengalami penurunan signifikan daya di pukul 11.00 akibat penurunan arus. Rata-rata daya pada siang hari ya itu 13,41 watt.

Dari Kesimpulan di atas dapat dilihat bahwa siang hari cenderung memberikan *output* daya lebih tinggi dan konsisten, terutama pada hari ke-1 dan ke-3. Sedangkan untuk malam hari tetap mampu menghasilkan daya, namun beberapa hari (seperti hari ke-5) menunjukkan penurunan drastis pada arus dan daya. Tegangan relatif stabil baik siang maupun malam, menunjukkan kualitas penyimpanan atau regulasi daya yang cukup baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu dengan sistem *monitoring* pengisian baterai berbasis IoT bergantung pada kecepatan angin, ukuran turbin, dan efisiensi turbin. Sistem IoT memantau dan mengatur pengisian baterai, memastikan pengisian yang optimal dan menghindari kerusakan pada baterai. Hasilnya, daya yang dihasilkan dapat digunakan dengan efisien untuk mengisi baterai dan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan. Pada pengujian yang dilakukan pada waktu malam hari dan siang hari selama 5 hari, didapatkan hasil rata-rata daya pada malam hari yaitu 10,22 watt sedangkan untuk hasil rata-rata daya yang didapatkan pada siang hari yaitu 13,41 watt.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa perancangan dan realisasi rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu dengan sistem monitoring berbasis IoT belum sempurna, maka dari itu Penulis menyarankan agar penelitian selanjutnya tidak hanya berfokus pada fungsi monitoring, tetapi juga menambahkan fitur output lain yang lebih bermanfaat. Selain itu, pengembangan alat ini sebaiknya disesuaikan dengan kemajuan teknologi terkini untuk meningkatkan efisiensi dan fungsionalitasnya. Dengan demikian, alat ini dapat menjadi lebih inovatif dan aplikatif di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2023). Analisa pengaruh perubahan kecepatan angin pada pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) terhadap daya yang dihasilkan generator DC. *RELE (Rekayasa Elektronika dan Energi)*.
- Aho, A. V., Hopcroft, J. E., & Ullman, J. D. (1983). *Data structures and algorithms*. Addison-Wesley.
- Fajri, S., & Yuhendri, M. (2023). Monitoring pembangkit listrik tenaga angin menggunakan Human Machine Interface. *JTEIN (Jurnal Teknik Elektro Indonesia)*, 4(1), 434–444. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.421>
- Faris, M., Abiyyu, A., Kurniawan, D., Nurmala, E., & Muda, I. (2024). Kegagalan sistem kerja start-stop emergency generator di kapal AHTS Logindo Sturdy. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 1(2), 10–22.
- Hamzah, A., Chaniago, B., Suwitno, S., Rosma, I. H., Gussyafri, H., & Kurniawan, I. (2018). Web-based wind energy conversion system monitoring. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI 2018)* (pp. 179–182). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICon-EEI.2018.8784337>
- Kalyanraj, D., Prakash, S. L., & Sabareswar, S. (2017). Wind turbine monitoring and control systems using Internet of Things. In *International Conference on 21st Century Energy Needs – Materials, Systems and Applications (ICTFCEN 2016)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTFCEN.2016.8052714>

- Kovalčík, M., Fecilak, P., & Jakab, F. (2013). Control and monitoring system of small water and wind power plant. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA 2013)* (pp. 235–238). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iceta.2013.6674435>
- Malihah, L. (2022). Tantangan dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim dan mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan: Sebuah tinjauan. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 17(2), 219–232. <https://doi.org/10.47441/jkp.v17i2.272>
- Prayitno, W. A., Muttaqin, A., & Syauqy, D. (2017). Sistem monitoring suhu, kelembapan, dan pengendali penyiraman tanaman hidroponik menggunakan Blynk Android. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Komputer*, 1(4), 292–297. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/87/46>
- Rafiee, M., Khajehzadeh, M., & Faramarzi, M. (2020). Smart wind farm monitoring system using wireless sensor networks. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 10(1), 345–352.
- Romadhon, R. S. F. D. (2023). Analisis pengaturan energi terbarukan dalam kendaraan berbasis elektrik untuk mendukung perlindungan lingkungan (Analisis komparatif antara Indonesia, Brazil, dan Pakistan). *Jurnal Pacta Sunt Servanda*, 4, 1–14.
- Wicaksono, D. H., Djuniadi, D., & Apriaskar, E. (2023). Monitoring sistem pembangkit listrik tenaga angin berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(2), 118. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i2.010>
- Winambo, E. (2022). Kinerja charger controller dan akumulator di Kampus III Universitas PGRI Semarang. *Jurnal Elektro dan Teknologi Informasi*, 1(1), 25–30.
- Zainal, M., Tri Putra, K., & Amri, U. (2023). Perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga angin dengan vertical axis wind turbine. *Jurnal Mosfet*, 3(2), 17–22. <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v3i2.2673>
- Zhao, Y., Zhang, H., Wang, J., & Li, Y. (2021). A low-cost IoT solution for remote wind turbine monitoring. *Renewable Energy*, 164, 1234–1243. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.052>