

MONITORING PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MINI BERBASIS IOT

Yakub Hasurungan Banurea¹, Anjar Taufik Hidayat², Indah Permatasari^{3,*}

¹Telkom University

²Telkom University, Universitas Indonesia

³Telkom University

*Email: indahpermata@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan sumber energi yang potensial untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Proses pemantauan dan pengukuran parameter listrik yang dihasilkan umumnya dilakukan dengan cara manual menggunakan sebuah multimeter analog ataupun digital dan dilakukan pada lokasi alat tersebut berada. Sehingga dirasa kurang efisien karena membutuhkan waktu yang cukup lama serta data tidak dapat diperoleh setiap saat. Dalam penelitian ini, penulis merancang sebuah monitoring prototype pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis Internet of Things yang dirancang untuk memantau dan mengumpulkan data dari prototype pembangkit listrik tenaga angin mini secara real-time. Prototype ini terdiri dari turbin angin, generator, sensor INA 219, dan sensor tegangan DC yang terhubung ke NodeMCU ESP32 sebagai perangkat utama pengolah data. Sensor tersebut digunakan untuk mengukur parameter arus dan tegangan. Data yang dikumpulkan oleh modul sensor dikirim ke platform thingspeak melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan pada LCD. Sistem monitoring pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis IoT dapat bekerja dengan baik, melalui hasil monitoring didapatkan nilai rata-rata daya pada PLTB mini dengan kecepatan angin 4 knot diperoleh sebesar 0.00640913 Watt/s, pada kecepatan angin 5,6 knot diperoleh daya sebesar 0.00758126 Watt/s. Sehingga semakin cepat kecepatan angin maka semakin tinggi daya yang akan dihasilkan.

Kata kunci: *Internet of Things, Sensor INA 219, Sensor Tegangan, NodeMCU ESP32, ThingSpeak.*

Abstract

Wind power plants are a potential energy source for generating electricity in a sustainable and environmentally friendly manner. The process of monitoring and measuring the resulting electrical parameters is generally carried out manually using an analog or digital multimeter and is carried out at the location where the device is located. So it is felt to be less efficient because it takes quite a long time and data cannot be obtained at any time. In this research, the author designed a monitoring prototype of a mini wind power plant based on the Internet of Things which is designed to monitor and collect data from the mini wind power plant prototype in real-time. This prototype consists of a wind turbine, generator, INA 219 sensor, and DC voltage sensor connected to the NodeMCU ESP32 as the main data processing device. The sensor is used to measure current and voltage parameters. The data collected by the sensor module is sent to the thingspeak platform via the Wi-Fi network and displayed on the LCD. The IoT-based mini wind power plant monitoring system can work well, through monitoring results it is found that the average power value at the mini PLTB with a wind speed of 4 knots is 0.00640913 Watt/s, at a wind speed of 5.6 knots the power is 0.00758126 Watt/s. So the faster the wind speed, the higher the power that will be generated.

Keywords: *Internet of Things, Sensor INA 219, Voltage Sensor, NodeMCU ESP32, Thingspeak.*

1. PENDAHULUAN

Secara umum, angin bisa diartikan menjadi udara bergerak yang diakibatkan karena adanya perbedaan pada tekanan udara pada permukaan bumi yang bertekanan lebih tinggi ke tekanan lebih rendah (Fernando et al., 2022). Salah satu sumber energi terbarukan yang berpeluang untuk digunakan sebagai alternatif adalah energi angin (energi bayu). Selain dapat diperoleh dengan cuma-cuma, sumber energi jenis ini termasuk sumber energi yang ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah suatu sistem yang membutuhkan angin sebagai sumber yang akan dikonversikan menjadi energi listrik (Jamaludin & Efrizal, 2022).

Pemanfaatan perkembangan teknologi sekarang yaitu dengan menggunakan internet sebagai media pendukung dalam penyelesaian berbagai permasalahan yang ada, termasuk pada sistem monitoring suatu alat. Sistem monitoring merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Proses pemantauan dan pengukuran parameter listrik yang dihasilkan umumnya dilakukan dengan cara manual menggunakan sebuah multimeter analog ataupun digital dan dilakukan pada lokasi alat tersebut berada. Sehingga dirasa kurang efisien karena membutuhkan waktu yang cukup lama serta data tidak dapat diperoleh setiap saat (Azhari & Corio, 2022). Pemanfaatan Internet Of Things (IoT) pada era sekarang sangat bermanfaat dalam kehidupan sehari – hari, seperti memudahkan dalam bekerja sehingga bisa lebih cepat dan efisien (Hermanto et al., 2022). Pada penelitian ini, penulis akan merancang alat Pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis IoT, kincir angin yang digunakan yaitu jenis Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT). HAWT merupakan kincir yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Keunggulan dari turbin jenis ini adalah memiliki nilai koefisien daya yang relatif tinggi. Oleh karena itu untuk dapat merealisasikan alat monitoring energi listrik maka penulis akan membuat alat untuk mengukur arus dan tegangan listrik dengan menggunakan sensor arus, sensor tegangan, kemudian akan terhubung dengan Internet dan hasil dari monitoring akan dikirim ke sebuah website secara realtime..

2. STUDI PUSTAKA

Penelitian yang dilaksanakan oleh Arif Rahman Abdillah, Dyah Ariyanti, dan Ary Analisa Rahma pada tahun 2021 berjudul "Sistem Monitoring Arus, Tegangan, Dan Rpm Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Portabel Berbasis Internet of Things (IoT)." Dalam riset ini, para peneliti menggunakan sensor tegangan DC untuk mengukur tegangan, sensor ACS712 untuk mengukur arus yang dihasilkan, dan sensor IR untuk menghitung RPM pada kincir angin. Setelah memperoleh data Arus, Tegangan, dan RPM, informasi tersebut akan dikirim ke ESP32 sebagai pemroses data dan informasi. Setelah ESP32 menyelesaikan proses pengolahan data, informasi tersebut akan dikirim ke Server Thingspeak. Thingspeak berfungsi sebagai server penyimpanan data di internet. Oleh karena itu, diperlukan Wireless Access Point sebagai jembatan penghubung antara ESP32 dan jaringan internet. Hal ini bertujuan agar data dapat dikirim melalui internet dan terhubung dengan server Thingspeak. Server Thingspeak kemudian akan memvisualisasikan informasi nilai sensor arus, tegangan, dan RPM. Pada setiap sensor, dilakukan pengukuran sebanyak lima kali. Hasil pengukuran menunjukkan tingkat akurasi pembacaan arus, tegangan, dan RPM menggunakan voltage sensor, sensor ACS712, dan IR sensor, yang memiliki tingkat akurasi berturut-turut sebesar 96,025% untuk voltage sensor, 94,52% untuk sensor ACS712, dan 94,15% untuk IR sensor (Abdillah et al., 2021).

Dalam studi yang dilakukan oleh Ajeng Ayu You Maike, Rizana Fauzi, Mery Subito, Tan Suryani, dan Alamsyah pada tahun 2022 berjudul "Rancang Bangun Alat Monitoring Output Modul PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) Berbasis Data Logger", penelitian ini fokus pada sistem pemantauan arus, tegangan, dan output dari PLTB dengan menggunakan data logger. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengukuran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh output generator modul Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Proses pengukuran ini dilaksanakan menggunakan sensor INA 219, yang terhubung

ke Arduino sebagai mikrokontroler. Alat monitoring yang dikembangkan dalam penelitian ini memungkinkan pemantauan real-time terhadap kondisi arus dan tegangan dari output generator modul PLTB. Informasi tersebut dapat dengan mudah diakses melalui layar LCD dan juga melalui aplikasi data logger pada laptop, yang secara langsung mengimpor data ke aplikasi PLXdaq (Maiké et al., 2022).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Cahaya Lidya Aritonang, Maison, dan Dalam penelitian yang dilakukan oleh Cahaya Lidya Aritonang, Maison, dan Yosi Riduas Hais pada tahun 2020 berjudul "Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Intensitas Cahaya pada Panel Surya dengan Thingspeak", tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat alat pemantauan arus, tegangan, dan intensitas cahaya pada panel surya berbasis IoT yang bersifat real-time. Penelitian ini menggunakan sensor arus INA 219 dan sensor BH1750, yang kemudian dihubungkan ke NodeMCU V3 sebagai mikrokontroler. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sensor tegangan berhasil mengukur nilai tegangan pada panel surya dengan galat sebesar 1,64%, sementara sensor intensitas cahaya BH1750 memiliki persentase galat sebesar 1,24%. Informasi yang dihasilkan oleh alat pemantauan ini kemudian dikirim dan ditampilkan pada platform Thingspeak (Aritonang et al., 2020).

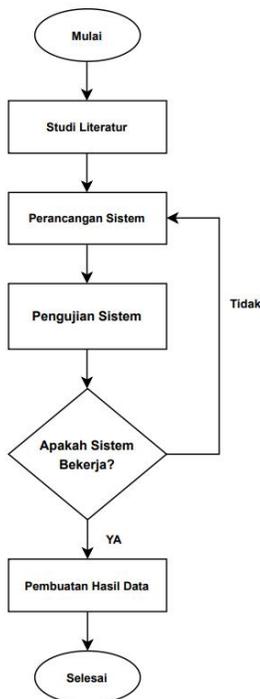
Dalam penelitian yang dilaksanakan oleh Ahmad Raditya Cahya Baswara dan Rafi Alfaqi pada tahun 2023 dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Internet of Things (IoT)", fokus utama penelitian ini adalah pentingnya pemantauan secara real-time dan berkala terhadap kondisi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Proses pemantauan ini dilakukan melalui sistem Internet of Things (IoT) untuk mempermudah pengawasan dari jarak jauh tanpa kehadiran fisik di lokasi pemasangan. Tujuan pokok dari penelitian ini adalah melakukan pemantauan terhadap nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh generator DC melalui Internet of Things (IoT), dengan memanfaatkan aplikasi Blynk dan Google Spreadsheet sebagai alat visualisasi. Perangkat dan sensor yang diterapkan melibatkan penggunaan sensor INA219 dan sensor tegangan yang terhubung secara langsung ke sistem PLTMH, dengan tujuan mengukur nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator DC. Data tersebut kemudian diproses untuk menghitung daya dengan mengalikan tegangan dan arus, dan mikrokontroler yang dipilih untuk tugas ini adalah NodeMCU ESP8266. Hasil pengukuran dari penelitian ini secara berkala disajikan melalui aplikasi Blynk setiap interval waktu 1 menit. Dalam analisis kesalahan pengukuran, rata-rata persentase kesalahan adalah 0,04336% untuk tegangan, 0,00259% untuk arus, dan 0,01079% untuk daya. Selain itu, persentase kesalahan pada putaran per menit (RPM) pada cakram berlubang 8 adalah 0,65233%, dan pada cakram berlubang 12 adalah 0,24466%. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem PLTMH berbasis IoT yang telah dikembangkan dapat dioperasikan dengan baik, memungkinkan pemantauan dari jarak jauh melalui jaringan internet di lokasi yang berbeda (Baswara & Alfaqi, 2023).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ichwan Dwi Wahyu Hermanto pada tahun 2022 berjudul "Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things (IoT)", peneliti mengembangkan rancangan sistem monitoring dan pengukuran pembangkit listrik yang menggunakan sel surya dan angin berbasis Internet of Things (IoT). Tujuan utama rancangan ini adalah untuk mempermudah penggunaan energi listrik dengan memungkinkan pemantauan tegangan, arus, dan daya dari pembangkit listrik melalui jaringan internet. Dalam penelitian ini, dua sensor utama yang digunakan adalah sensor tegangan DC dan sensor arus ACS712. Penelitian ini bertujuan merancang model pembangkit listrik hybrid sel surya dan angin berbasis IoT, di mana data yang dihasilkan dari radiasi matahari dan angin yang diterima oleh panel surya serta turbin angin dapat dimonitor melalui aplikasi Blynk. Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter (Hermanto et al., 2022).

3. METODE

Penelitian ini telah mengikuti serangkaian tahapan dan proses yang terstruktur untuk mencapai tujuan yang ditetapkan. Proses penelitian ini dimulai dengan studi literatur sebagai langkah awal, diikuti oleh fase perancangan sistem. Kemudian, sistem yang telah dirancang diuji untuk memastikan kelayakan dan jika

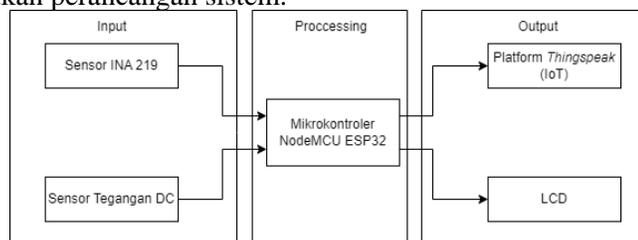
sistem tidak bekerja maka kembali ke perancangan sistem untuk memperbaiki kesalahan pada sistem sedangkan jika sistem bekerja dengan baik maka dilanjutkan dengan pengambilan hasil data. Proses penelitian ini tergambar dengan jelas dalam diagram alur penelitian yang disajikan pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini membahas monitoring pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis IoT menggunakan modul sensor INA 219, sensor Tegangan. Perancangan tersebut memakai jaringan IoT bernama platform ThingSpeak. Berikut blok diagram sebagai gambaran dari cara kerja sistem, sehingga memudahkan dalam melakukan perancangan sistem.

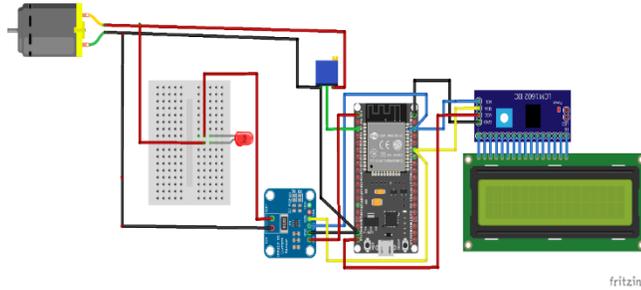


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Pada gambar diagram blok yang ditunjukkan pada gambar 2 diagram blok sistem monitoring prototype pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis IoT yang akan di dibuat. Pada sistem tersebut menggunakan dua sensor sebagai input yang dimana fungsi kedua sensor yang berbeda. Sensor INA 219 berfungsi sebagai membaca nilai arus, kemudian untuk membaca nilai tegangan DC menggunakan sensor tegangan DC. Kemudian dari dua sensor tersebut akan dihubungkan dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai pengelola data. Kemudian data yang dihasilkan akan dikirim menuju platform thingspeak dan ditampilkan ke LCD i2c 16x2 sebagai output.

3.2 Rangkaian Skematik Monitoring PLTB Mini

Pada tahap ini yaitu merancang rangkaian skematik monitoring prototype pembangkit listrik tenaga angin. Gambar rancangan rangkaian skematik monitoring prototype pembangkit listrik tenaga angin dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

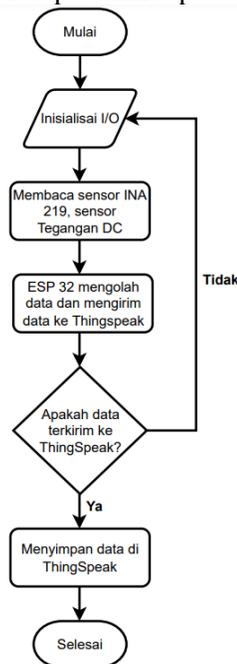


Gambar 3. Rangkaian Skematik

Terdapat beberapa komponen yaitu modul Sensor INA 219 yang berfungsi untuk membaca nilai arus, sensor Tegangan yang berfungsi untuk membaca nilai tegangan yang nantinya data akan di proses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP-32. Data yang sudah diolah kemudian dikirim melalui internet ke Platform ThingSpeak agar hasil data tersebut dapat dilihat melalui platform tersebut.

3.3 Perancangan Software

Pada penelitian ini, perancangan Software menggunakan Arduino IDE. Data yang diperoleh dapat dikirim melalui internet yang terhubung dengan Platform ThingSpeak. Data dari mikrokontroler NodeMCU ESP-32 diambil atau diproses, kemudian dikirimkan ke Platform ThingSpeak sebagai database. Selanjutnya, nilai yang dibaca oleh kedua sensor dapat dilihat pada Platform ThingSpeak dan LCD.



Gambar 4. Perancangan Alur Sistem

3.4 Skenario Pengujian Sistem

Pada tahap ini peneliti akan menjelaskan proses pengujian dari sistem yang sudah dirancang sebelumnya serta sensor-sensor yang digunakan pada alat ini dengan tujuan utama untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dibuat.

Pengujian sensor dapat diterapkan dengan beberapa cara tergantung jenis dan karakteristik sensor yang digunakan. Biasanya, pengujian sensor untuk memastikan sensor tersebut berfungsi dengan baik dan

memberikan respon yang akurat. Berikut metode yang dapat digunakan untuk pengujian sensor sebagai berikut:

$$\text{Error} = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai alat ukur}}{\text{Nilai alat ukur}} \times 100\%$$

Akurasi merupakan suatu sistem atau pengukuran dalam memberikan hasil yang mendekati hasil yang sebenarnya yang diinginkan. Pada pengukuran akurasi menggambarkan sejauh mana hasil pengukuran yang diberikan sistem.

$$\text{Akurasi} = \left(\frac{\text{Nilai pembacaan sensor}}{\text{Nilai pembacaan alat ukur}} \right) \times 100\%$$

Pengujian sensor INA 219 ini dilakukan untuk mengetahui dan memastikan tingkat akurasi nilai pada sensor. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan membandingkan nilai arus yang dibaca oleh sensor INA 219 kemudian akan dibandingkan dengan alat ukur multimeter standar LAB ITTP yang digunakan sehingga penulis dapat mengetahui nilai perbandingan kedua nilai tersebut.

Pengujian yang dilakukan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan DC kemudian akan dibandingkan dengan alat ukur multimeter standar LAB ITTP yang digunakan sehingga penulis dapat mengetahui nilai perbandingan kedua nilai tersebut.

Pengujian sistem keseluruhan dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa sistem yang telah dibuat berfungsi dengan baik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa nilai arus dan tegangan yang dihasilkan dari PLTB mini percobaan yang dilakukan dengan memanfaatkan angin buatan yang dihasilkan dari kipas angin sebagai angin untuk menggerakkan kincir, kemudian data dikirimkan melalui internet ke Platform ThingSpeak dan ditampilkan pada LCD.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pembahasan dilakukan pada monitoring prototype pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis internet of things. Pengujian meliputi hasil nilai arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan.



Gambar 5. Penerapan Rancangan Sistem Monitoring PLTB Mini

Pada Gambar 5 merupakan hasil penerapana alat monitoring pada PLTB mini. Dalam penerapan ini, digunakan pipa PVC dengan tinggi 100 cm dan diameter 1 inch sebagai tiang utama. Di bagian atas pipa PVC, terdapat sebuah bagian horizontal dengan panjang 40 cm sebagai penyangga sirip ekor. Sensor INA 219 dan perangkat lainnya diletakkan dibawah PLTB Mini,. Hasil data kemudian akan ditampilkan pada Platform ThingSpeak dan ditampilkan pada LCD.

4.1 Pengujian Sensor INA 219

Pada pengujian Modul Sensor INA 219, tujuannya adalah untuk mengukur akurasi sensor dalam membaca arus pada beban yang digunakan. Proses pengujian dilakukan dengan melakukan perbandingan antara nilai yang diukur oleh Multimeter digital dengan nilai yang dibaca oleh sensor INA 219. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sensor INA 219 memberikan hasil yang akurat dan konsisten dalam mengukur arus pada beban. Pada pengujian ini data yang akan diambil sebanyak 10 data dengan 3 skenario. Analisis pada skenario yang berbeda-beda tersebut dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana akurasi pengukuran arus (mA) dibandingkan dengan nilai referensi yang diharapkan, yakni yang diukur menggunakan multimeter digital.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi 112 mA

No	Arus (A)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (mA)	Sensor INA 219 (mA)		
1	112.3	110.8	1%	99%
2	112.7	110.9	2%	98%
3	112.2	111.1	1%	99%
4	112.1	111	1%	99%
5	112.2	111	1%	99%
Rata-Rata			1%	99%

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi 83 mA

No	Arus (A)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (mA)	Sensor INA 219 (mA)		
1	83	82.2	1%	99%
2	83	82.5	1%	99%
3	83	82.3	1%	99%
4	83	82.2	1%	99%
5	83	82.5	1%	99%
Rata-Rata			1%	99%

Tabel 3. Hasil Pengujian Auras 8.8 mA

No	Arus (A)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (mA)	Sensor INA 219 (mA)		
1	8.8	8.2	7%	93%
2	8.8	8.2	7%	93%
3	8.8	8.4	5%	95%
4	8.8	8.3	6%	94%
5	8.8	8.3	6%	94%
Rata-Rata			6%	94%

4.2 Pengujian Sensor Tegangan DC

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performansi keakuratan sensor dalam memperoleh hasil. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil nilai sensor dengan alat ukur Multimeter digital. Pada pengujian ini data yang akan diambil sebanyak 10 data dengan 3 skenario. Analisis pada skenario yang

berbeda-beda tersebut dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana akurasi pengukuran tegangan dibandingkan dengan nilai referensi yang diharapkan, yakni yang diukur menggunakan multimeter digital.

Tabel 4 Hasil Pengujian Akurasi 1,5 Volt.

No	Tegangan (V)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (V)	Sensor Tegangan (V)		
1	1.51	1.51	0%	100%
2	1.51	1.5	1%	99%
3	1.51	1.5	1%	99%
4	1.51	1.5	1%	99%
5	1.51	1.5	1%	99%
Rata-Rata			1%	99%

Tabel 5 Hasil Pengujian Akurasi 3 Volt

No	Tegangan (V)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (V)	Sensor Tegangan (V)		
1	3.09	3.07	1%	99%
2	3.09	3.06	1%	99%
3	3.09	3.06	1%	99%
4	3.09	3.07	1%	99%
5	3.09	3.09	0%	100%
Rata-Rata			1%	99%

Tabel 6 Hasil Pengujian Akurasi 3 Volt

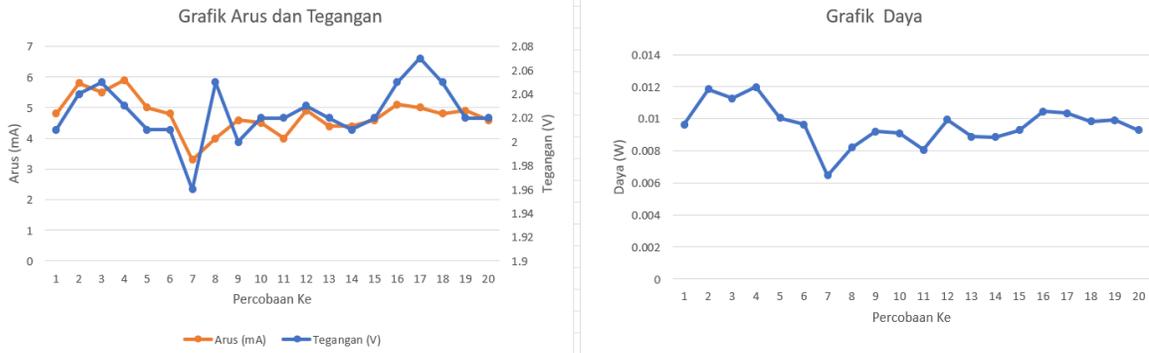
No	Tegangan (V)		Error (%)	Akurasi (%)
	Multimeter (V)	Sensor Tegangan (V)		
1	4.74	4.74	0%	100%
2	4.74	4.71	1%	99%
3	4.74	4.72	0%	100%
4	4.74	4.71	1%	99%
5	4.74	4.7	1%	99%
Rata-Rata			1%	99%

4.3 Pengujian Sensor Keseluruhan

Pada pengujian keseluruhan akan melakukan pengambilan data dilakukan dengan berbagai level kecepatan angin yaitu, pada dua tingkat yang berbeda, yaitu 4 knot dan 5,6 knot. Pengujian yang dilakukan meliputi monitoring nilai arus dan tegangan.

4.4 Pengambilan Data Dengan Kecepatan 4 Knot

Dalam tahap monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin mini berbasis IoT pengambilan data dilakukan dengan menggunakan kecepatan angin 4 knot, melakukan pengambilan data yang relevan untuk menganalisis kinerja PLTB mini pada kecepatan tersebut.

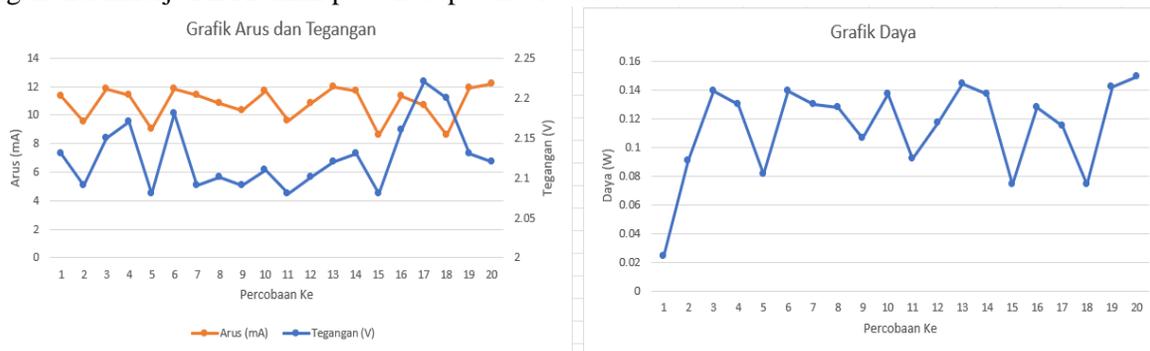


Gambar 6. Grafik Data Keseluruhan Kecepatan 4 Knot

Gambar 6 merupakan hasil pengujian sistem keseluruhan dari monitoring pembangkit listrik tenaga angin mini berbasis IoT dengan pengambilan 20 data. Berdasarkan pengukuran dalam grafik di atas, hasil pengukuran melalui sensor-sensor yang terhubung dengan sistem berbasis IoT pada PLTB mini telah menghasilkan data nilai arus dan tegangan. Pengukuran ini mencakup pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan pada kecepatan angin sebesar 4 Knot. Dari data yang tercatat dalam grafik pada gambar 4.8, pengukuran menggunakan sensor Tegangan DC menghasilkan nilai tegangan rata-rata sebesar 2,0245 Volt dari total 20 pengambilan data yang dilakukan. Selain itu, pengukuran arus menghasilkan nilai rata-rata sebesar 4,754 miliampere dari pengambilan data yang sama sebanyak 20 kali, Berdasarkan nilai arus dan tegangan yang diperoleh nilai rata-rata daya yang dapat dihasilkan dari PLTB mini yaitu 0.00640913 watt/s.

4.5 Pengambilan Data Dengan Kecepatan 5 Knot

Dalam tahap monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin mini berbasis IoT pengambilan data dilakukan dengan menggunakan kecepatan angin 5 knot, melakukan pengambilan data yang relevan untuk menganalisis kinerja PLTB mini pada kecepatan tersebut.



Gambar 7 Grafik Data Keseluruhan Kecepatan 5 Knot

Berdasarkan pengukuran pada gambar 7 di atas, hasil pengukuran melalui sensor-sensor yang terhubung dengan sistem berbasis IoT pada PLTB mini telah menghasilkan data nilai arus dan tegangan. Pengukuran ini mencakup pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan pada kecepatan angin sebesar 5,6 Knot. Dari data yang tercatat dalam grafik pada gambar 4.9, pengukuran menggunakan sensor Tegangan DC menghasilkan nilai tegangan rata-rata sebesar 2,1265 Volt dari total 20 pengambilan data yang dilakukan. Selain itu, pengukuran arus menghasilkan nilai rata-rata sebesar 0,948 miliampere dari pengambilan data yang sama sebanyak 20 kali, Berdasarkan nilai arus dan tegangan yang diperoleh nilai rata-rata daya yang dapat dihasilkan dari PLTB mini yaitu 0.00758126 watt/s. Berdasarkan grafik data di

atas menunjukkan bahwa nilai arus dan tegangan menghasilkan lebih besar dari pada data sebelumnya pada gambar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang sudah dilakukan pada sistem monitoring pembangkit listrik tenaga angin berbasis IoT, didapatkan kesimpulan sebagai berikut: Pembuatan alat monitoring dan pembangkit listrik tenaga angin mini dapat bekerja dengan baik ditandai dengan berhasilnya masing-masing sensor dalam membaca nilai yang dapat dimonitoring melalui platform ThingSpeak. Melalui pengujian menggunakan sensor INA 219, diperoleh akurasi sebesar 99% pada nilai 112 mA, 99% pada nilai 83 mA, dan 94% pada nilai 8,8 mA. Selanjutnya, pengujian dengan sensor tegangan menunjukkan akurasi 99% pada nilai 1,5 volt, 99% pada pengukuran 3 volt, dan 99% pada pengukuran 4,7 volt. Semakin meningkatnya kecepatan hembusan angin yang memutar kincir, akan mengakibatkan peningkatan nilai yang dihasilkan. Pada kecepatan angin 4 Knot, rata-rata daya yang dihasilkan mencapai 0.00640913 Watt/s, sementara pada kecepatan angin 5,6 Knot, rata-rata daya yang dihasilkan mencapai 0.00758126 Watt/s.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A. R., Ariyanti, D., & Rahma, A. A. (2021). Sistem Monitoring Arus, Tegangan dan RPM pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Portabel berbasis Internet of Thing (IoT). *Jurnal Energy*, 11(2), 101–111.
- Aritonang, C. L., Maison, M., & Hais, Y. R. (2020). Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Intensitas Cahaya pada Panel Surya dengan Thingspeak. *Jurnal Engineering*, 2(1).
- Azhari, M., & Corio, D. (2022). Sistem Monitoring Horizontal Axial Wind Turbine (HAWT) Berbasis Internet Of Things. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 13–20. <https://doi.org/10.30630/eji.14.1.272>
- Baswara, A. R. C., & Alfaqi, R. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Internet Of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(1), 39. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i1.008>
- Fernando, M., Jasa, L., & Hartati, R. S. (2022). Monitoring System Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Raspberry Pi 3. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(1), 135. <https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i01.P18>
- Hermanto, I. D. W., Kartini, U. T., Suprianto, B., & Endryansyah, E. (2022). Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik Elektro*, 11(3), 371–378.
- Jamaludin, J., & Efrizal, E. (2022). Analisis Sistem Pengereman pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Tipe Vertikal dengan Kapasitas 450 Watt. *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, 4(2). <https://doi.org/10.31000/mbjtm.v4i2.5748>
- Maike, A. A., Fauzi, R., Subito, M., Sollu, T. S., & Alamsyah, A. (2022). Rancang Banung Alat Monitoring Output Modul PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin)) berbasis Data Logger. *Foristek*, 12(1), 21–29. <https://doi.org/10.54757/fs.v12i1.141>