

Monitoring Kelistrikan Tree Wind Turbine Berbasis Internet of Things

Paisal ^{1*}, Akhmad Taufik ², Yansi Parorengan ³ dan Arham Al Azhali SR ⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail korespondensi: paisal@poliupg.ac.id

Abstract: The Tree Wind Turbine is an innovative renewable energy technology designed in the shape of a tree, where small turbines function as “leaves” that capture wind from multiple directions. This concept is particularly suitable for urban environments due to its aesthetic design and environmentally friendly characteristics. The development of such systems is important to address environmental issues caused by the continued reliance on fossil-based energy sources, which contribute to air pollution and climate change. However, the implementation of small-scale wind turbines in urban areas requires an effective monitoring system to ensure optimal performance and early detection of potential operational problems. This research aims to design an Internet of Things (IoT)-based monitoring system capable of measuring electrical parameters such as current and voltage, as well as environmental parameters including wind speed, in real time. The system utilizes an ESP32 microcontroller integrated with ACS712 current sensors, 0–25 V voltage sensors, an anemometer, and an ADS1115 module to improve measurement accuracy. The collected data are transmitted to an online database and visualized through a web-based dashboard. The experimental results show that the monitoring system successfully records electrical parameters and wind speed in real time with stable performance. The system is able to clearly differentiate the performance of turbines with 3, 4, and 5 blades, where the highest average voltage recorded reached 5.08 V at a wind speed of 4.54 m/s. The developed system provides an effective solution for monitoring small-scale wind energy systems and supports environmentally friendly energy utilization in urban areas.

Keywords: esp32; sensor; turbine; savonius; monitoring; wind speed

Abstrak: Tree Wind Turbine merupakan inovasi teknologi energi terbarukan yang dirancang menyerupai bentuk pohon dengan turbin-turbin kecil sebagai “daun” yang berfungsi menangkap angin dari berbagai arah. Konsep ini dinilai sesuai untuk lingkungan perkotaan karena memiliki bentuk yang estetik serta mendukung pemanfaatan energi yang lebih ramah lingkungan. Pengembangan sistem energi terbarukan menjadi penting untuk mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan energi berbasis fosil yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan perubahan iklim. Namun, sistem turbin angin skala kecil memerlukan pemantauan yang baik agar kinerja sistem tetap optimal serta potensi gangguan dapat terdeteksi sejak dini. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter kelistrikan berupa arus dan tegangan, serta parameter lingkungan berupa kecepatan angin secara real-time. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor arus ACS712, sensor tegangan 0–25 V, anemometer, serta modul ADS1115 untuk meningkatkan akurasi pembacaan data. Data hasil pengukuran dikirimkan ke database online dan ditampilkan dalam bentuk grafik melalui web dashboard. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam data tegangan, arus, dan kecepatan angin secara real-time dengan kinerja yang stabil. Sistem juga mampu membedakan performa turbin dengan variasi jumlah daun 3, 4, dan 5 secara jelas. Tegangan rata-rata tertinggi yang dihasilkan mencapai 5,08 V pada kecepatan angin 4,54 m/s. Sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi monitoring energi angin yang efektif serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan di lingkungan perkotaan.

Kata kunci : esp32; sensor; turbine; savonius; monitoring; wind speed

I. PENDAHULUAN

Krisis energi global serta meningkatnya kebutuhan energi mendorong berbagai negara untuk beralih dari sumber energi fosil menuju sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi angin, yang telah mengalami perkembangan signifikan mulai dari teknologi kincir angin tradisional hingga turbin angin modern dengan efisiensi tinggi [1]. Pemanfaatan energi angin tidak hanya diterapkan pada skala besar seperti

pembangkit listrik tenaga bayu, tetapi juga mulai dikembangkan pada skala kecil untuk mendukung sistem energi terdesentralisasi di lingkungan perkotaan.

Namun demikian, penerapan turbin angin di wilayah perkotaan menghadapi berbagai tantangan teknis dan sosial. Keterbatasan ruang instalasi, tingkat kebisingan, dampak visual terhadap lingkungan, serta turbulensi aliran angin akibat keberadaan bangunan tinggi menjadi beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja turbin angin di kawasan urban [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, konsep Wind-Sensitive Urban Design (WiSUD) mulai diperkenalkan sebagai pendekatan dalam perencanaan kota yang mempertimbangkan karakteristik aliran angin sehingga potensi energi angin di lingkungan perkotaan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal [3]. Meskipun demikian, integrasi turbin angin dengan infrastruktur perkotaan masih menghadapi berbagai kendala teknis, terutama terkait stabilitas struktur bangunan serta efisiensi konversi energi pada kondisi angin yang tidak stabil [4].

Salah satu inovasi yang dikembangkan untuk menjawab tantangan tersebut adalah Tree Wind Turbine, yaitu turbin angin berukuran kecil yang dirancang menyerupai bentuk pohon dengan banyak bilah turbin berbentuk daun. Desain ini memungkinkan turbin bekerja pada kecepatan angin rendah, bahkan sekitar 7 km/jam, sehingga lebih cocok digunakan pada lingkungan perkotaan yang memiliki karakteristik angin relatif lemah dan tidak stabil [5]. Selain memiliki nilai estetika yang lebih baik dibandingkan turbin konvensional, konsep Tree Wind Turbine juga dirancang untuk meningkatkan distribusi penangkapan energi angin melalui banyak unit turbin kecil yang bekerja secara simultan.

Dalam upaya meningkatkan kinerja dan keandalan sistem pembangkit energi angin skala kecil, diperlukan sistem pemantauan yang mampu merekam dan menganalisis parameter operasional turbin secara berkelanjutan. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem monitoring energi terbarukan yang terintegrasi dan berbasis jaringan internet. Sistem IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor, mikrokontroler, serta platform komunikasi data sehingga parameter kelistrikan dan lingkungan dapat dipantau secara real-time melalui jaringan internet [6]. Penerapan teknologi IoT juga telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sistem energi terbarukan, termasuk pada sistem pembangkit energi hybrid serta pemantauan kinerja turbin angin dari jarak jauh [7], [8].

Dalam sistem monitoring turbin angin, pengukuran parameter lingkungan seperti kecepatan angin menjadi faktor penting untuk menganalisis potensi energi yang dapat dihasilkan. Pengukuran tersebut umumnya dilakukan menggunakan anemometer yang dirancang untuk mendeteksi kecepatan aliran udara secara akurat [9]. Seiring perkembangan teknologi sensor, anemometer berbasis IoT juga telah dikembangkan untuk menghasilkan pengukuran tiga dimensi yang lebih akurat dan mampu terintegrasi langsung dengan sistem monitoring digital [10].

Selain parameter lingkungan, pengukuran parameter kelistrikan seperti arus dan tegangan juga sangat penting untuk mengetahui performa pembangkit listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Sensor arus ACS712 banyak digunakan dalam sistem monitoring karena memiliki desain sederhana, biaya relatif rendah, serta mampu mengukur arus AC maupun DC secara akurat [11]. Sensor berbasis efek Hall ini juga memiliki tingkat keandalan yang baik dalam berbagai aplikasi pengukuran sistem tenaga listrik modern [12]. Sementara itu, pengukuran tegangan pada sistem berbasis mikrokontroler umumnya dilakukan menggunakan rangkaian voltage divider yang berfungsi untuk menyesuaikan tegangan input agar sesuai dengan batas tegangan yang dapat diterima oleh mikrokontroler [13]. Rangkaian ini juga telah banyak diterapkan pada berbagai sistem monitoring kelistrikan berbasis IoT [14].

Data yang diperoleh dari berbagai sensor tersebut kemudian dikirimkan ke server atau hosting database berbasis cloud sehingga dapat diakses secara real-time melalui jaringan internet. Sistem penyimpanan data berbasis cloud memungkinkan pemantauan performa sistem energi secara berkelanjutan serta mempermudah proses analisis data dalam jangka panjang [15]. Integrasi teknologi IoT dengan sistem monitoring energi juga memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan sistem pembangkit listrik terbarukan secara lebih efisien dan terdistribusi [16].

Untuk memastikan keberlanjutan sistem monitoring berbasis IoT, aspek efisiensi energi pada perangkat sensor dan komunikasi juga menjadi perhatian penting. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan teknologi energy harvesting yang memungkinkan perangkat IoT memperoleh sumber energi dari lingkungan sekitarnya, termasuk dari energi surya maupun energi angin itu sendiri [17]. Selain itu, pengembangan node IoT dengan konsumsi daya ultra rendah juga memungkinkan sistem monitoring bekerja secara mandiri dengan dukungan sumber energi terbarukan seperti panel surya [18].

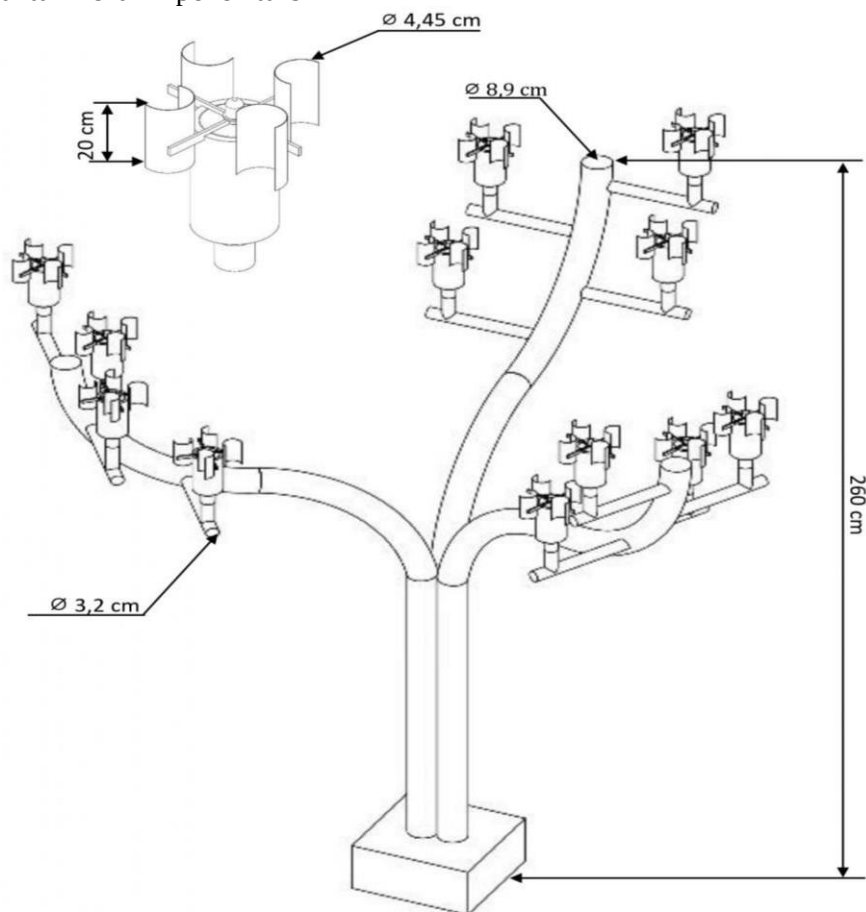
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kelistrikan pada Tree Wind Turbine berbasis Internet of Things yang mampu mengukur parameter kecepatan angin, arus listrik, dan tegangan secara real-time. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan informasi operasional turbin secara akurat dan berkelanjutan, sehingga dapat mendukung optimalisasi pemanfaatan energi angin skala kecil di lingkungan perkotaan serta meningkatkan efisiensi sistem pembangkit energi terbarukan.

II. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilakukan di area jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pelaksanaan penelitian dan pengerjaan dimulai dari bulan November 2024 – Juli 2025.

A. Perancangan Mekanik

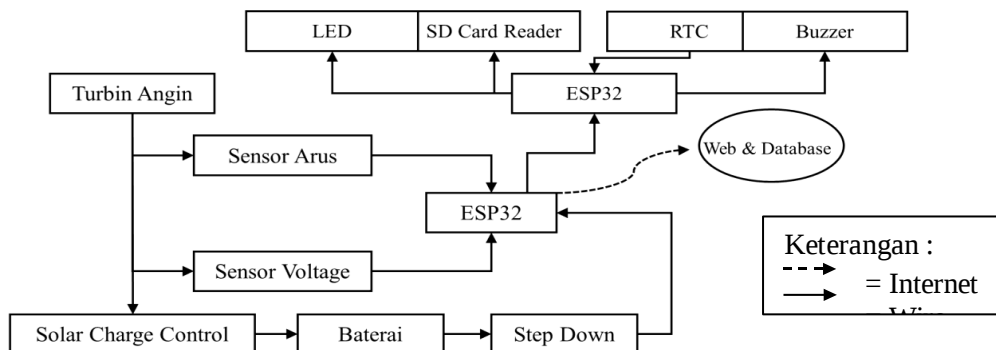
Rancangan struktur mekanik pohon turbin



Gambar 1. Desain Pembuatan Pohon Turbin Angin

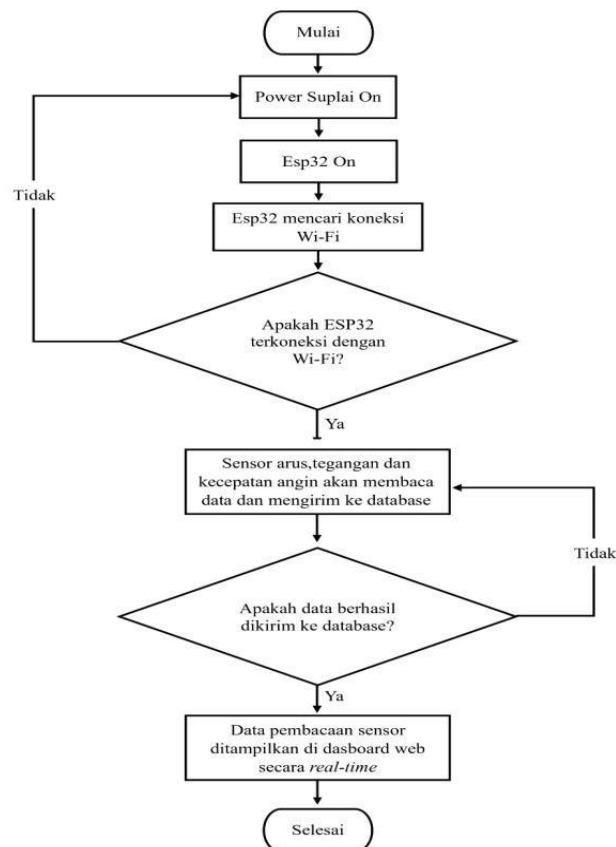
B. Perancangan Elektronik

Rancangan rangkaian elektronik dan komponen yang dibutuhkan untuk sistem.



Gambar 2. Diagram Skematik Sistem monitoring kelistrikan pohon turbin angin

Pembuatan program untuk sistem kontrol menggunakan menggunakan Arduino IDE untuk membaca semua sensor yang terhubung ke miktorkontroler. Dan untuk pembuatan web menggunakan HTML dan CSS lalu pengintegrasian antara website, database dan mikrokontroler menggunakan JavaScript dengan Visual Studio Code sebagai media simulasi program. Setelah perancangan dan pembuatan alat selesai maka dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem sesuai dengan rancangan. Pegambilan data dilakukan dengan menilai performa setiap turbin yang bekerja dengan variasi jumlah daun turbin.



Gambar 3. Diagram Alir Prinsip Kerja Monitoring pada Pohon Turbin Angin (Tree Wind Turbine)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Pohon Turbin dan Sistem Elektronik



Gambar 4. Hasil Pembuatan Pohon Turbin Angin dan Sistem Monitoring

Struktur akhir dari pohon turbin angin setelah semua komponen rangka dipasang. Posisi cabang tampak menyebar seimbang dengan orientasi vertikal dan diagonal, memberikan ruang cukup bagi masing-masing turbin untuk berputar tanpa saling mengganggu. Pohon turbin angin ini berada di ketinggian 10 m dari permukaan tanah dengan kecepatan angin tertinggi pada saat dilakukan pengujian berada pada 9,44 m/s. Adapun perhitungan mekanik pada pohon turbin dan turbin dapat dilihat dalam tabel 1 dan 2 dibawah ini.

Tabel 1 Hasil perhitungan sistem kerja mekanik pohon turbin

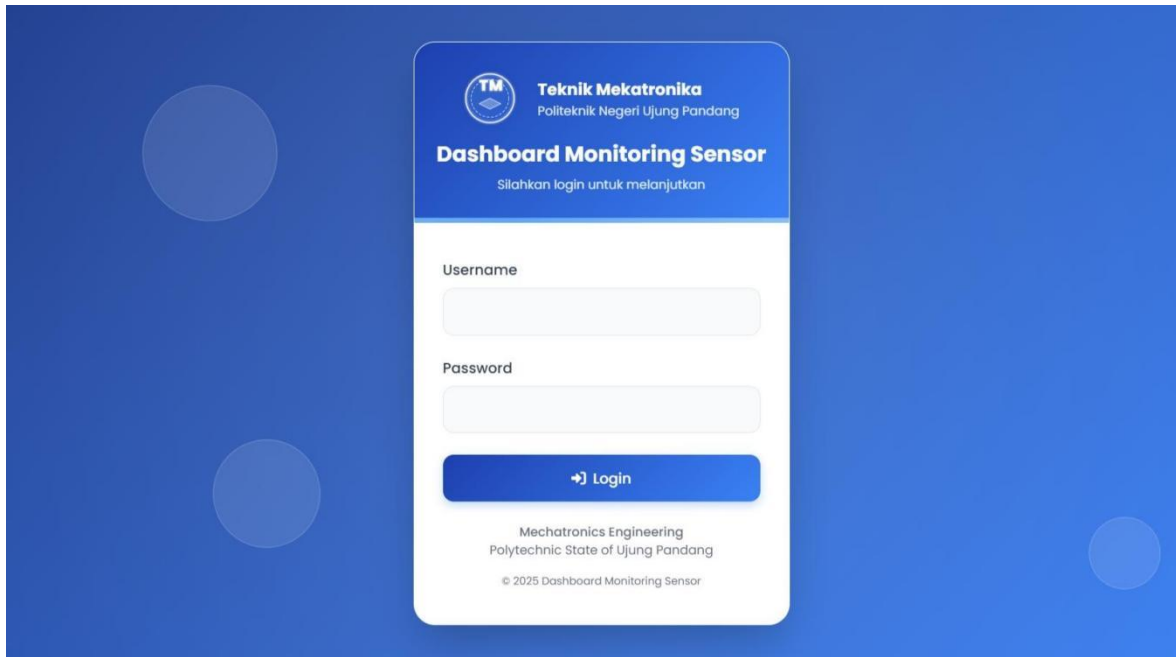
No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Gaya Dorong Akibat Angin	[N]	13,48
2.	Tekanan Dinamis	[N/m ³]	515,25
3.	Total Gaya Akibat Bebab Angin	[N]	43,53
4.	Momen Akibat Beban Angin	[Nm]	126,18
5.	Tegangan Lentur	[N/m ²]	$2,46 \times 10^7$
6.	Kekuatan Buckling	[N]	1,42

Tabel 2 Hasil perhitungan luas dan gaya mekanik turbin

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Luas permukaan yang kontak langsung dengan angin	[m ²]	0,30480
2.	Gaya Hambat pada rotor	[N]	39,92
3.	Gaya Angkat Rotor	[N]	26,5

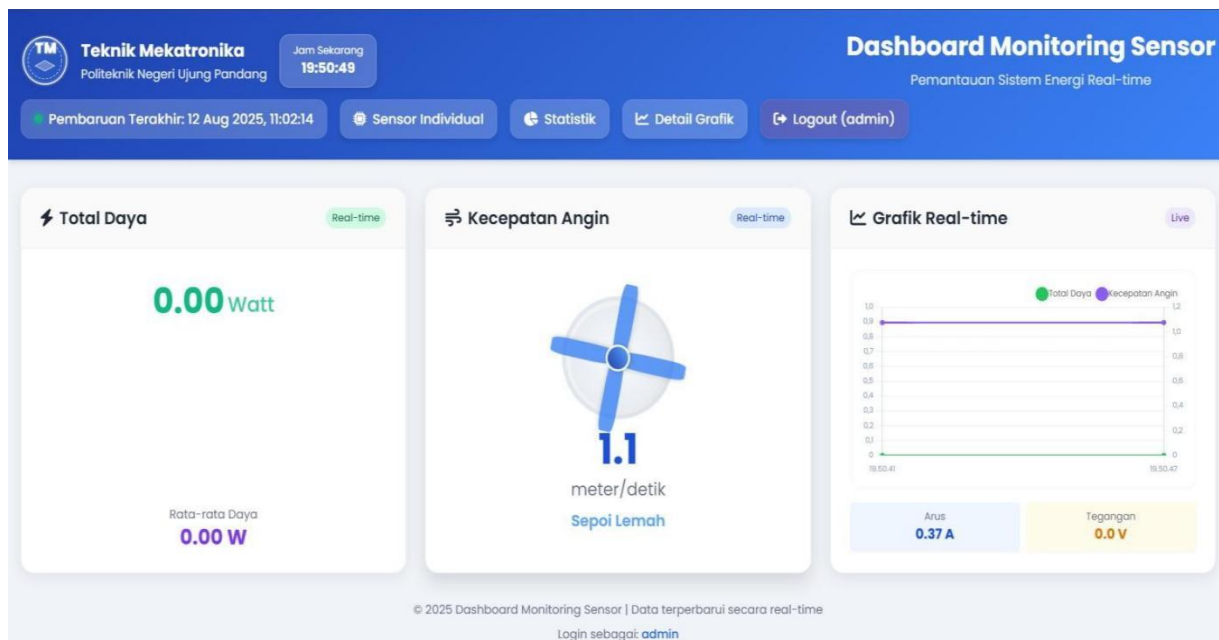
B. Tampilan Website

Sebelum mengakses data monitoring, pengguna akan diarahkan ke halaman login terlebih dahulu seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 dibawah.



Gambar 5. Halaman Login Dashboard Monitoring

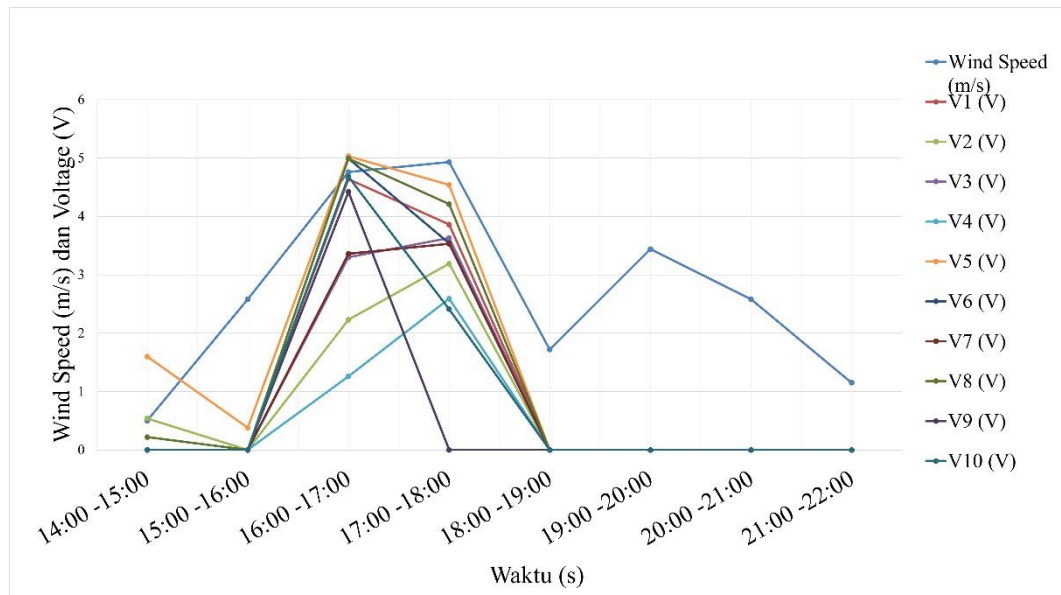
Setelah berhasil masuk, pengguna akan diarahkan ke tampilan utama dashboard monitoring. Tampilan ini memuat seluruh data sensor dan visualisasi dalam bentuk angka dan grafik. Gambar 6 berikut memperlihatkan tampilan utama dashboard yang telah dirancang



Gambar 6. Tampilan utama dashboard sistem monitoring

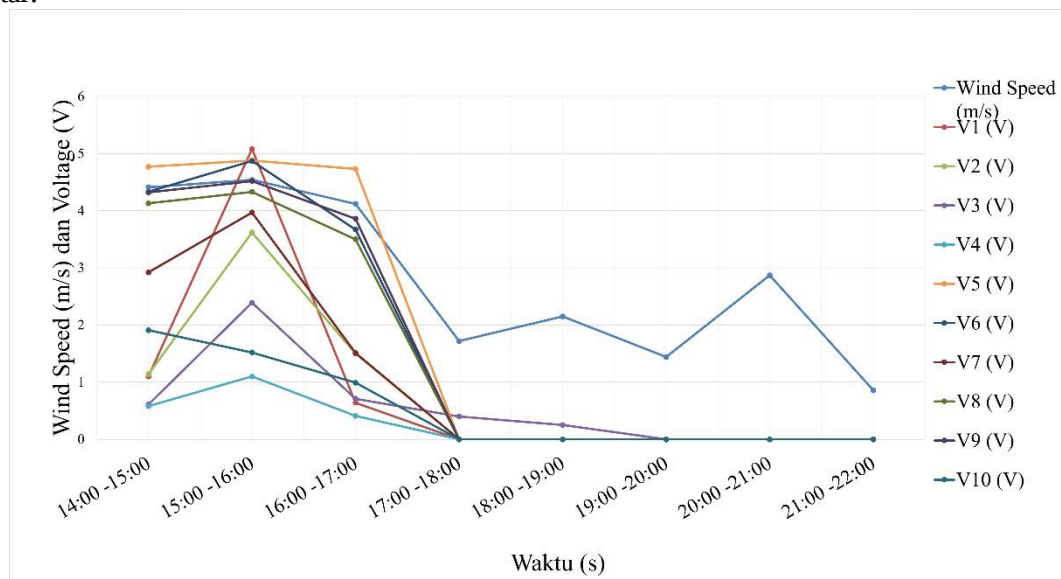
C. Hasil Monitoring

Data hasil monitoring dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik agar hasil pengukuran dapat terlihat lebih jelas dan mudah dipahami secara visual. Setiap grafik menampilkan data dari hari yang berbeda, sehingga memudahkan dalam melakukan perbandingan, mengidentifikasi pola, serta menganalisis perubahan kinerja dari waktu ke waktu.



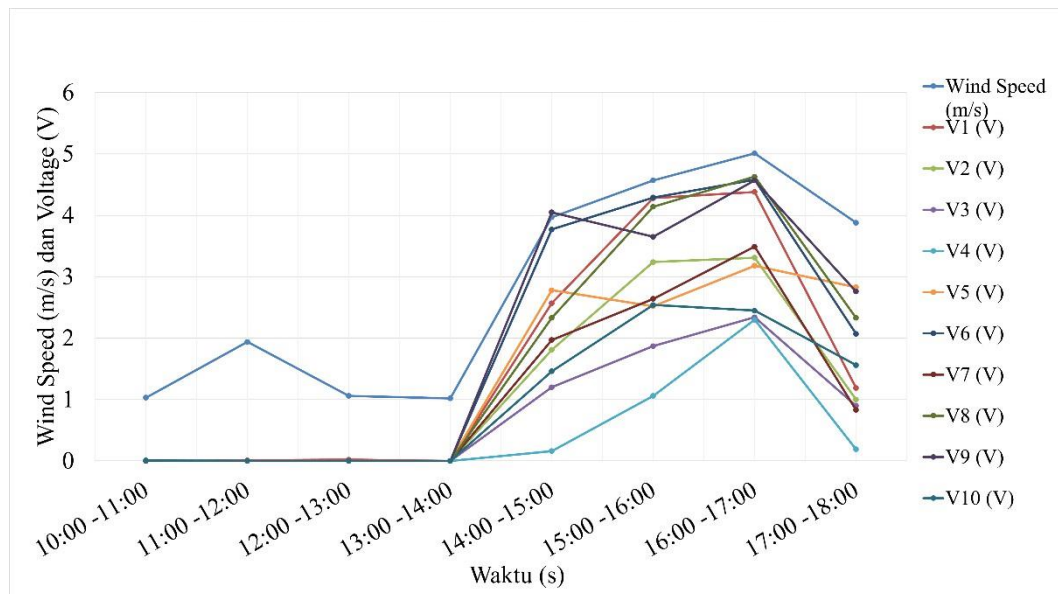
Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan angin dengan tegangan berdasarkan data pada tanggal 14 Juli 2025

Dapat diperhatikan dalam gambar 7 diatas bahwa rata-rata tegangan tertinggi berada pada sensor tegangan nomor 5 yakni 5,03 V dengan kecepatan angin 4,76 m/s pada pukul 16:00-17:00 WIB. Dan rata-rata kecepatan angin terendah 1,15 m/s dimana tidak ada tegangan yang berarti turbin tidak berputar.



Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan angin dengan tegangan berdasarkan data pada tanggal 16 Juli 2025

Dapat diperhatikan dalam gambar 4.9 diatas bahwa rata-rata tegangan tertinggi berada pada sensor tegangan nomor 1 yakni 5,08 V dengan kecepatan angin 4,54 m/s pada pukul 15:00-16:00 WIB. Dan rata-rata kecepatan angin terendah 0,86 m/s dimana tidak ada tegangan yang berarti turbin tidak berputar.



Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan angin dengan tegangan berdasarkan data pada tanggal 18 Juli 2025

Dapat diperhatikan dalam gambar 4.10 diatas bahwa rata-rata tegangan tertinggi berada pada sensor tegangan nomor 8 yakni 4,63 V dengan kecepatan angin 5,01 m/s pada pukul 16:00-17:00 WIB. Dan rata-rata kecepatan angin terendah 1,02 m/s dimana tidak ada tegangan yang berarti turbin tidak berputar. Dari ketiga grafik diatas dapat disimpulkan bahwa turbin angin bekerja dengan optimal pada rentang waktu 14.00 sampai 18.00 WIB. Dimana data grafik menampilkan data apabila kecepatan angin naik maka tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin juga relatif naik.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem monitoring arus, tegangan, dan kecepatan angin pada tiap turbin Tree Wind Turbine berhasil dirancang dan diimplementasikan secara real-time menggunakan sensor ACS712, voltage divider, dan anemometer yang terhubung ke ESP32. Hasil pengujian menunjukkan turbin mampu menghasilkan rata-rata tegangan 5,08 volt dengan kecepatan angin 4,54 m/s pada jam 15:00–16:00 WIB, serta mampu merepresentasikan kondisi kelistrikan tiap turbin secara langsung.
2. Sistem juga berhasil menyimpan data sensor ke database MySQL berbasis cloud melalui protokol HTTP yang diakses lewat dashboard web. Dashboard menampilkan data arus dan tegangan tiap turbin dalam bentuk numerik maupun grafik secara real-time, dengan proses pengiriman, penyimpanan, dan tampilan data berjalan baik meski sesekali terjadi eror dalam batas wajar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa hormat dan syukur, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan saudara yang dengan tulus telah memberikan dukungan, doa, serta bantuan pembiayaan, serta kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah menyediakan fasilitas dan lingkungan akademik yang mendukung, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Möllerström, F. Ottermo, J. Hylander, and H. Bernhoff, "A historical review of vertical axis wind turbines rated 100 kW and above," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 105, pp. 1–13, 2019.
- [2] P. Bereziartua-Gonzalez and A. Retegi, "Social acceptance of wind energy in urban areas: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113947, 2025.
- [3] J. Vallejo-Díaz and J. Herrera-Moya, "Wind-Sensitive Urban Design: Integrating wind energy into urban planning," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 1205–1217, 2024.
- [4] Z. Liu, Y. Zhang, and H. Xu, "Integration challenges of building-mounted wind turbines in urban environments," *Journal of Cleaner Production*, vol. 436, p. 140569, 2024.
- [5] S. Yadav, A. Kumar, and R. Verma, "Tree-shaped wind energy system for urban areas," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 3157–3162, 2022.
- [6] F. Wijaya and R. Pratama, "IoT-based monitoring system for renewable energy application," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1825, no. 1, p. 012072, 2021.
- [7] H. Abdillah, S. Putri, and M. Fadhillah, "Hybrid renewable energy monitoring and control using IoT," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 1025–1033, 2023.
- [8] H. Saheb, "IoT-based remote monitoring of wind turbine performance," *Renewable Energy Focus*, vol. 41, pp. 48–55, 2022.
- [9] D. Sari, H. Nugroho, and S. Widodo, "Design of low-cost anemometer for wind energy potential measurement," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1063, no. 1, p. 012045, 2022.
- [10] A. Ospina-Rojas, J. Rueda-Bayona, and J. Pineda, "Development of an IoT-based 3D ultrasonic anemometer," *Measurement*, vol. 236, p. 113763, 2025.
- [11] A. Putra and D. Nugraha, "Current measurement using ACS712 sensor in IoT application," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1569, no. 2, p. 022045, 2020.
- [12] A. Nandi, S. Chattopadhyay, and R. Roy, "Reliability analysis of Hall-effect based current sensors for smart grids," *Measurement: Sensors*, vol. 24, p. 100510, 2023.
- [13] M. Rahman, A. Yusuf, and R. Sari, "Voltage divider design for microcontroller-based measurement systems," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 1043–1051, 2021.
- [14] A. Sofwan, D. Prasetyo, and A. Widodo, "Design of voltage measurement system using voltage divider for IoT-based monitoring," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1096, no. 1, p. 012003, 2022.
- [15] M. Irwansyah and A. Kurniawan, "Cloud database implementation for IoT-based monitoring," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1899, no. 1, p. 012120, 2021.
- [16] F. Wijaya and R. Pratama, "IoT-based monitoring system for renewable energy application," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1825, no. 1, p. 012072, 2021.
- [17] E. Nzeanorue, C. Okafor, and P. Eze, "Energy harvesting techniques for powering IoT devices in renewable energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113920, 2025.
- [18] T. Polonelli, D. Brunelli, and L. Benini, "Ultra-low power IoT nodes for renewable energy monitoring using solar harvesting," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 343, p. 113653, 2022.