

# Pemantauan Kecepatan dan Tegangan Berbasis Arduino pada Turbin Angin Savonius

Bayu Aska Adil<sup>1\*</sup>, Cahyo Wibowo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mpu Tantular  
bayu4sk4@gmail.com\*



e-ISSN: 2987-811X

**MARAS: Jurnal Penelitian Multidisiplin**

<https://ejournal.lumbungpare.org/index.php/maras>

Vol. 4 No. 3 September 2026

Page: 802-813

## Article History:

Received: 09-06-2026

Accepted: 01-07-2026

**Abstrak** : Indonesia sebagai negara beriklim tropis dengan pengaruh angin muson memiliki potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, meskipun kecepatan angin rata-rata relatif rendah (3–6 m/s). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kecepatan putar (RPM) dan tegangan keluaran pada turbin angin Savonius berbasis Arduino guna memperoleh data performa secara real-time serta menganalisis hubungan antara keduanya. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan memanfaatkan sensor kecepatan untuk membaca RPM, sensor tegangan untuk mengukur keluaran listrik, serta mikrokontroler Arduino sebagai pengolah data. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi angin untuk mengamati kinerja sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu merekam dan menampilkan data secara stabil dan responsif, serta terdapat hubungan positif antara peningkatan kecepatan putar turbin dengan tegangan yang dihasilkan. Dengan demikian, sistem monitoring ini dapat digunakan sebagai alat evaluasi kinerja turbin angin Savonius secara efektif dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

**Kata Kunci** : Turbin Angin Savonius; Energi Terbarukan; Sistem Pemantauan Arduino; Kecepatan Putar; Tegangan Keluaran; Secepatan Angin Rendah

## PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring pertumbuhan industri dan populasi menuntut pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Ketergantungan terhadap energi fosil tidak hanya berdampak pada keterbatasan cadangan sumber daya, tetapi juga menimbulkan permasalahan lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung ketahanan energi nasional. Indonesia sebagai negara yang terletak di garis khatulistiwa memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah, termasuk energi angin dengan kecepatan rata-rata

berkisar 3–6 m/s di beberapa wilayah. Kondisi tersebut memungkinkan pemanfaatan turbin angin skala kecil hingga menengah sebagai alternatif pembangkit listrik (Abdillah et al., n.d.) (Aristandi et al., 2025).

Dalam pengoperasian turbin angin, pemantauan parameter operasional seperti kecepatan putaran turbin dan tegangan keluaran generator menjadi sangat penting. Pemantauan diperlukan untuk mengevaluasi kinerja turbin, mendeteksi gangguan operasional, serta menjadi dasar untuk pengembangan sistem kontrol yang lebih baik. Perkembangan teknologi *mikrokontroler* seperti Arduino membuka peluang untuk mengembangkan sistem monitoring yang murah, akurat, dan mudah diimplementasikan (Wicaksono & Apriaskar, 2023) (Virdaus et al., 2023).

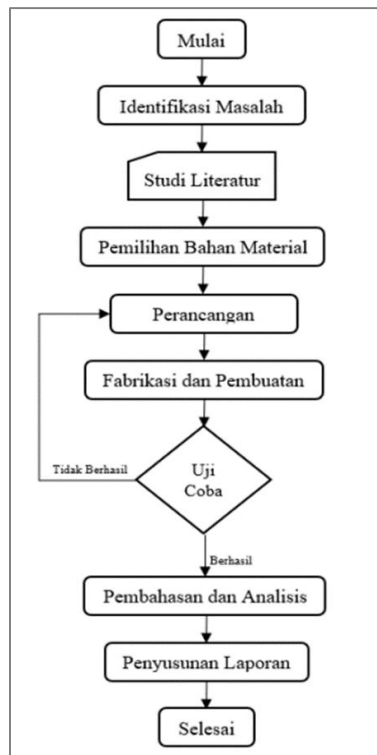
Penelitian terkait sistem monitoring berbasis mikrokontroler telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Arief dkk. merancang pemantauan tegangan dan arus pada pembangkit listrik tenaga angin menggunakan ESP8266 berbasis *Node-RED* yang terintegrasi dengan *smartphone* atau PC. Penelitian lain mengembangkan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk turbin angin sumbu *vertikal* skala kecil menggunakan Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266 yang terintegrasi dengan sensor INA219, LM35, *anemometer*, *infrared*, dan sensor tegangan DC. Sistem ini berhasil mengukur dan mengirimkan data tegangan, arus, daya, kecepatan angin, suhu, dan kecepatan putaran secara *real-time*.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini akan mengembangkan sistem pemantauan kecepatan turbin dan tegangan pada turbin angin Savonius 3 bilah (Khusnawati et al., 2022) (Nawir et al., 2023) berbasis Arduino. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi pemantauan yang efektif dan efisien untuk mengevaluasi kinerja turbin angin Savonius.

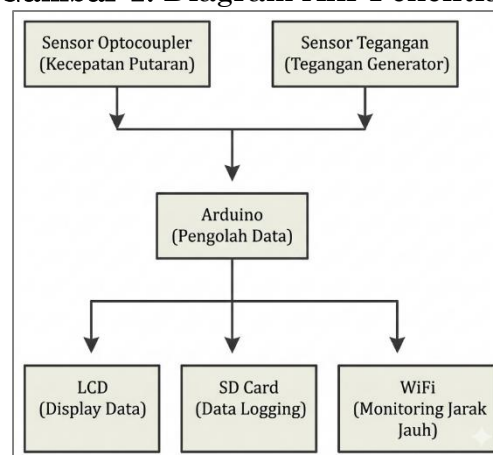
## METODE PENELITIAN

Penelitian oleh Habib Dermawan & Abdurrozzaq Hasibuan menjelaskan bahwa metode eksperimen digunakan karena mampu menguji hubungan sebab-akibat antar variabel melalui manipulasi variabel independen dan pengamatan terhadap variabel dependen, sehingga memberikan bukti yang kuat dalam penelitian ilmiah (Dermawan & Hasibuan, 2025).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi kinerja sistem pengukuran berbasis Arduino dalam mengukur tegangan dan putaran turbin pada turbin angin Savonius. Metode ini dipilih karena memungkinkan penulis melakukan pengujian secara langsung melalui perbandingan antara data yang diperoleh dari modul Arduino dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur manual. Dalam pelaksanaannya, pengambilan data dilakukan secara simultan pada kedua sistem pengukuran untuk memastikan konsistensi kondisi pengujian multi parameter. Parameter yang diamati meliputi nilai tegangan keluaran serta kecepatan putaran turbin yang dihasilkan selama proses operasi.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 2.** Diagram Blok

Diagram blok sistem pemantauan yang akan dikembangkan terdiri dari beberapa blok utama:

1. Blok *Input 1*: Sensor *optocoupler* untuk membaca kecepatan putaran turbin dan sensor tegangan untuk membaca tegangan keluaran *generator*.
2. Blok Proses: Arduino yang berfungsi sebagai pemroses data dari kedua sensor.
3. Blok *Output*: LCD untuk menampilkan data secara langsung dan *SD Card* untuk menyimpan data melalui komunikasi serial, Wifi menyampaikan data nirkabel yang dapat diakses dari jarak jauh.

### Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan *mikrokontroler open-source* yang menggunakan chip ATmega328P dari *Microchip* sebagai inti pemrosesnya. *Board* ini dikembangkan oleh Arduino.cc dan pertama kali diperkenalkan pada tahun 2010. Arduino Uno

dirancang dengan sejumlah pin *input* dan *output*, baik digital maupun analog, yang memungkinkan integrasi dengan berbagai perangkat tambahan seperti sensor, aktuator, maupun modul ekspansi (*shield*).

Secara teknis, Arduino Uno memiliki 14 pin digital, di mana 6 di antaranya mendukung fitur *Pulse Width Modulation* (PWM), serta 6 pin analog yang digunakan untuk membaca sinyal analog. Proses pemrograman dilakukan melalui Arduino IDE (Tyas et al., 2023) menggunakan kabel USB tipe B. Selain itu, papan ini dapat dioperasikan menggunakan sumber daya dari USB maupun catu daya eksternal seperti baterai 9 volt, dengan rentang tegangan input yang direkomendasikan antara 7 hingga 20 volt.



Gambar 3. Arduino Uno

### Sensor Tegangan

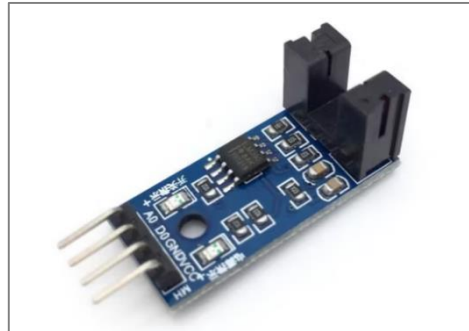
Sensor tegangan yang diintegrasikan dengan Arduino Uno bekerja berdasarkan prinsip dasar pembagi tegangan (*voltage divider*), yaitu membagi tegangan *input* menjadi nilai yang lebih kecil agar sesuai dengan batas maksimum tegangan yang dapat diterima oleh pin analog Arduino (sekitar 0–5V). Modul sensor tegangan biasanya terdiri dari dua resistor yang disusun seri, sehingga tegangan keluaran merupakan fraksi tertentu dari tegangan masukan sesuai dengan perbandingan nilai resistornya. Tegangan hasil pembagian ini kemudian dibaca oleh pin analog Arduino dan dikonversi menjadi data digital melalui *Analog-to-Digital Converter* (ADC) 10-bit, yang memiliki resolusi 1024 tingkat. Nilai digital tersebut selanjutnya dikalibrasi menggunakan faktor skala sesuai rasio pembagi tegangan untuk memperoleh nilai tegangan sebenarnya. Prinsip ini memungkinkan sistem melakukan pengukuran tegangan secara aman, akurat, dan *real-time* tanpa melebihi batas kerja *mikrokontroler* (Suhaimi et al., 2025).



Gambar 4. Sensor Tegangan

### Sensor Optocoupler

Sensor *optocoupler* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran dengan prinsip optik. Sensor ini terdiri dari dua komponen utama yaitu LED (*Light Emitting Diode*) dan fototransistor yang ditempatkan dalam satu kemasan. Ketika cahaya dari LED mengenai *fototransistor*, akan terjadi perubahan resistansi yang dapat dideteksi sebagai sinyal listrik (Susilo et al., 2022).



Gambar 5. Sensor Optocoupler

### LCD

LCD 20x4 dengan antarmuka I2C yang dihubungkan dengan *Arduino Uno* bekerja berdasarkan prinsip komunikasi serial dua jalur, yaitu *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL). Berbeda dengan LCD konvensional yang membutuhkan banyak pin, modul I2C menggunakan IC ekspander (umumnya PCF8574) untuk mengubah data serial dari Arduino menjadi sinyal paralel yang dapat dipahami oleh LCD. Data berupa karakter atau perintah dikirimkan oleh Arduino melalui protokol I2C, kemudian diterjemahkan oleh modul I2C menjadi sinyal kontrol dan data untuk mengatur tampilan pada LCD, seperti menampilkan teks, mengatur posisi kursor, dan mengontrol backlight. LCD 20x4 sendiri mampu menampilkan 4 baris dengan masing-masing 20 *karakter*, sehingga sangat efektif digunakan untuk menampilkan informasi secara *real-time* seperti nilai RPM, tegangan, dan waktu. Prinsip kerja ini memungkinkan efisiensi penggunaan pin serta kemudahan dalam integrasi sistem mikrokontroler (Rizkiawan et al., 2026).



Gambar 6. LCD 20x4

### Real Time Clock

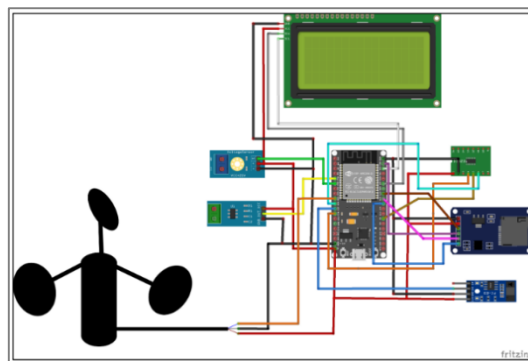
*Real Time Clock* (RTC) DS3231 merupakan modul pewaktu digital yang banyak digunakan dalam sistem berbasis *mikrokontroler* karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan kestabilan yang baik. Menurut datasheet dari Maxim Integrated (2015), DS3231 dilengkapi dengan *Temperature-Compensated Crystal Oscillator* (TCXO) yang mampu mengurangi kesalahan waktu akibat perubahan suhu lingkungan. Modul ini dapat menyimpan data waktu secara lengkap, meliputi detik,

menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun, serta tetap beroperasi menggunakan baterai cadangan ketika sumber daya utama terputus. Selain itu, komunikasi data dilakukan melalui protokol I2C yang sederhana dan efisien, sehingga memudahkan integrasi dengan berbagai *mikrokontroler* seperti Arduino (Surur et al., 2025).



Gambar 7. Real Time Clock

### Rangkaian Arduino



Gambar 8. Rangkaian Arduino

### Alat

Tabel 1. Alat dan Spesifikasinya

| No | Alat                                | Spesifikasi                                                           | Fungsi                                          |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | Arduino                             | Arduino Uno                                                           | Mikrokontroler pemroses data                    |
| 2  | Sensor Optocoupler                  | Modul dengan LED dan fototransistor                                   | Mendeteksi kecepatan putaran turbin             |
| 3  | Sensor Tegangan                     | Rangkaian pembagi tegangan (resistor 10k $\Omega$ dan 2,2k $\Omega$ ) | Mengukur tegangan keluaran generator            |
| 4  | LCD                                 | 20x4 dengan modul I2C                                                 | Menampilkan hasil pengukuran                    |
| 5  | Real Time Clock Modul               | RTC DS3231                                                            | Sebagai penanda waktu pada perangkat elektronik |
| 6  | DC - DC Buck Converter (to arduino) | 5 VDC                                                                 | Sebagai sumber tegangan perangkat Arduino       |
| 7  | Modul Micro SD                      |                                                                       | Sebagai penyimpan data                          |
| 8  | Kabel Jumper                        | Male to female, male to male                                          | Menghubungkan antara komponen elektronik        |

**Bahan****Tabel 2. Bahan dan Spesifikasinya**

| No | Bahan       | Spesifikasi                           | Fungsi                                |
|----|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Tachometer  | Digital (Merk DT-2234C <sup>+</sup> ) | Alat ukur referensi kecepatan putaran |
| 2  | Multimeter  | Digital (Merk XL830L)                 | Alat ukur referensi tegangan          |
| 3  | Laptop/PC   |                                       | Pemrograman dan pencatatan data       |
| 4  | Kipas Angin | SEKAI IST 2689                        | Sumber angin variabel                 |
| 5  | Anemometer  | Digital (GM816)                       | Pengukur kecepatan angin              |

**Pengujian Sensor Optocoupler**

Dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi yaitu tachometer digital. Prosedur pengujian:

1. Memasang piringan berlubang pada poros turbin.
2. Memposisikan sensor *optocoupler* tepat menghadap pulley yang dipasang sensor.
3. Menjalankan turbin pada berbagai variasi kecepatan dengan mengatur kipas angin.
4. Mencatat data kecepatan putaran dari sistem monitoring dan *tachometer* secara bersamaan.
5. Mengulangi pengujian sebanyak 10 kali untuk setiap variasi kecepatan.

**Pengujian Sensor Tegangan**

Dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi yaitu multimeter digital. Prosedur pengujian:

1. Menghubungkan *output generator* ke rangkaian sensor tegangan.
2. Menjalankan turbin pada berbagai variasi kecepatan untuk menghasilkan tegangan yang bervariasi.
3. Mencatat data tegangan dari sistem pemantauan dan *multimeter* secara bersamaan.
4. Mengulangi pengujian sebanyak 10 kali untuk setiap variasi kecepatan.

**Pengujian keseluruhan sistem**

Dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pemantauan secara terintegrasi. Prosedur pengujian:

1. Menyalakan sistem Arduino menggunakan *power supply* 220VAC dan memastikan LCD menampilkan data RPM dan tegangan.
2. Menghidupkan sumber angin pada kipas angin hingga turbin mulai berputar.
3. Melakukan pengukuran secara bertahap dengan variasi kecepatan angin (rendah, sedang, tinggi) pada waktu yang ditentukan.
4. Pada setiap kondisi, lakukan langkah pencatatan RPM dan tegangan pada LCD dan pengukuran manual dari *voltmeter* dan *tachometer*.
5. Ulangi pengambilan data sebanyak 10 kali pada setiap kondisi untuk meningkatkan akurasi.
6. Mencatat seluruh data ke dalam tabel pengujian.

**Tabel 3. Pengujian**

| Pemantauan<br>angin (m/s)                                                         | kecepatan | Pemantauan<br>Turbin (RPM)                                                        | Putaran | Pemantauan putaran dan<br>tegangan RPM dan Volt                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |           |  |         |  |

**Gambar 9. Posisi Pengujian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sensor kecepatan putaran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem monitoring terhadap tachometer digital. Pengujian dilakukan pada 3 variasi kecepatan angin yaitu kecepatan 1 adalah 4,7 m/s, kecepatan 2 adalah 5,5 m/s, dan kecepatan 3 adalah 6 m/s. Dengan 10 kali pengulangan untuk setiap variasi.

**Tabel 4. Tabel Pebandingan RPM Arduino Terhadap Pengukuran Manual**

| Nomor | Variabel    | RPM<br>LCD | RPM<br>Tachometer | Selisih | Error | Akurasi |
|-------|-------------|------------|-------------------|---------|-------|---------|
| 1     | Kecepatan 1 | 119.7      | 122.7             | 3       | 2.53% | 97.47%  |
| 2     | Kecepatan 2 | 138.6      | 141               | 2.4     | 1.56% | 98.44%  |
| 3     | Kecepatan 3 | 195.3      | 195.3             | 0       | 0%    | 100%    |

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem pemantauan terhadap voltmeter digital. Pengujian dilakukan pada 3 variasi kecepatan angin yaitu kecepatan 1 adalah 4,7 m/s, kecepatan 2 adalah 5,5 m/s, dan kecepatan 3 adalah 6 m/s. Dengan 10 kali pengulangan untuk setiap variasi.

**Tabel 5. Pebandingan Tegangan Arduino terhadap Pengukuran Manual pada kecepatan 1**

| Nomor | Waktu       | Voltmeter<br>LCD | Voltmeter<br>Manual | Selisih | Error | Akurasi |
|-------|-------------|------------------|---------------------|---------|-------|---------|
| 1     | Kecepatan 1 | 2.91             | 2.98                | 0.064   | 2.11% | 97.89%  |
| 2     | Kecepatan 2 | 4.28             | 4.30                | 0.02    | 0.44% | 99.56%  |

| Nomor | Waktu       | Voltmeter LCD | Voltmeter Manual | Selisih | Error | Akurasi |
|-------|-------------|---------------|------------------|---------|-------|---------|
| 3     | Kecepatan 3 | 5.384         | 5.382            | 0.002   | 0.04  | 99.96%  |

### Analisis Penyebab Selisih Pengukuran RPM

1. Delay pembacaan sensor Arduino Sensor RPM (*optocoupler* atau *infrared*) menghitung jumlah pulsa setiap interval waktu tertentu. Apabila interval sampling tidak tepat atau terdapat delay akibat proses LCD dan program Arduino, maka jumlah pulsa yang dihitung sedikit berbeda dengan putaran sebenarnya. Sehingga RPM Arduino bisa lebih tinggi atau lebih rendah dibanding tachometer.
2. Fluktuasi putaran turbin Turbin Savonius digerakkan oleh angin dari kipas sehingga putarannya tidak benar-benar konstan. Saat tachometer membaca: misalnya putaran sedang naik, sementara Arduino membaca beberapa milidetik sebelumnya, maka kedua alat akan menunjukkan nilai yang sedikit berbeda. Hal ini terlihat dari adanya perubahan RPM pada setiap percobaan.
3. Posisi sensor dan *reflector* Jika sensor infrared tidak tepat menghadap *reflector* atau tanda pada poros sebagian pulsa terlambat terbaca, atau terjadi kehilangan pulsa. Akibatnya nilai RPM sedikit lebih kecil atau lebih besar.

### Analisis Penyebab Selisih Pengukuran Tegangan

1. Resolusi ADC Arduino Uno menggunakan ADC 10-bit dengan referensi 5 Volt, resolusi ADC adalah

$$\frac{5}{1023} = 4,89 \text{ mV}$$

Artinya perubahan tegangan sekecil beberapa miliVolt tidak dapat dibedakan. Pada tegangan rendah (sekitar 3 Volt), kesalahan kuantisasi menjadi lebih besar secara persentase dibanding tegangan 5 Volt. Hal ini menjelaskan mengapa *error* terbesar terjadi pada kecepatan angin pertama.

2. *Noise* dari *generator*

*Generator* turbin menghasilkan tegangan yang berfluktuasi akibat perubahan putaran. Voltmeter digital biasanya memiliki filter internal sehingga tampilannya lebih stabil. Sedangkan Arduino membaca tegangan secara cepat sehingga lebih mudah menangkap fluktuasi tersebut.

Jika melihat pada penelitian yang dilakukan oleh Alfi Syahri, Andik Bintoro dari hasil pengujian serta pada tabel di atas di dapat hasil perbandingan nilai *error* sebesar 3.5% antara nilai uji sensor dengan alat multimeter (Syahri & Bintoro, 2023).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian akurasi yang dilakukan dengan membandingkan data sistem monitoring terhadap alat ukur referensi (multimeter digital dan tachometer), diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Akurasi pengukuran tegangan mencapai 99.14 % dengan *error* rata-rata 0.84 %.
2. Akurasi pengukuran kecepatan putaran mencapai 98.64 % dengan *error* rata-rata 1.36 %.

Berdasarkan hasil tersebut, sistem monitoring yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk aplikasi pemantauan turbin angin Savonius.

Berdasarkan penelitian berikut kontribusi penelitian ini dapat dilihat dari aspek teknologi, implementasi, dan hasil pengujiannya yaitu :

1. Mengembangkan sistem monitoring RPM dan tegangan berbasis Arduino yang terintegrasi untuk turbin angin Savonius.
2. Membuktikan bahwa sistem memiliki akurasi tinggi melalui validasi dengan alat ukur standar, sehingga layak digunakan sebagai alat monitoring.
3. Menyediakan data eksperimen mengenai hubungan antara kecepatan putaran turbin dan tegangan keluaran generator.
4. Memberikan alternatif sistem monitoring yang sederhana, murah, dan mudah direalisasikan untuk aplikasi laboratorium maupun penelitian energi terbarukan.
5. Memberikan dasar pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya pada aspek kalibrasi sensor, peningkatan akurasi, penyimpanan data, dan integrasi IoT.

### **Implikasi Penelitian**

Bahwa sistem monitoring berbasis Arduino dapat diterapkan sebagai alat pemantauan performa turbin angin Savonius yang sederhana, ekonomis, dan cukup akurat, sehingga mempermudah proses pengukuran RPM dan tegangan secara *real-time*. Selain mendukung kegiatan praktikum dan penelitian di laboratorium, sistem ini juga berpotensi dikembangkan menjadi sistem monitoring otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk aplikasi energi angin skala kecil.

### **Keterbatasan Penelitian**

Pengujian sistem masih dilakukan pada skala laboratorium menggunakan sumber angin buatan sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasi di lapangan. Selain itu, sistem monitoring hanya mengukur parameter kecepatan putaran (RPM) dan tegangan generator tanpa mencakup pengukuran arus, daya, maupun efisiensi sistem. Data hasil pengukuran juga hanya ditampilkan secara *real-time* pada LCD tanpa fasilitas penyimpanan data atau pemantauan jarak jauh. Meskipun hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, proses kalibrasi sensor masih perlu dioptimalkan untuk meningkatkan keandalan sistem pada berbagai kondisi operasi.

### **Saran Penelitian Selanjutnya**

Pada pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) (Soori et al., 2023) agar data dapat dipantau secara real-time dari jarak jauh (Transfer et al., n.d.). Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter pengukuran seperti arus, daya, kecepatan angin, dan efisiensi turbin, serta dilengkapi dengan fitur penyimpanan data (data logging) untuk analisis jangka panjang. Penelitian selanjutnya juga disarankan melakukan pengujian pada kondisi angin alami dan menerapkan metode kalibrasi maupun filtering sinyal guna meningkatkan akurasi dan keandalan sistem monitoring.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan baik moril maupun materil terhadap pelaksanaan kegiatan penelitian ini kepada :

- 1 DR. Ir. Herbert Hasudungan Siahaan, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Mpu Tantular.
- 2 Cahyo Wibowo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi sekaligus pengampu mata kuliah Tugas Rancang.
- 3 Rekan-rekan Mata Kuliah Tugas Rancang dan Saminar Proposal Prodi Teknik Mesin Universitas Mpu Tantular.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, M. R., Santoso, A. D., & Nofandi, F. (n.d.). *RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU ( PLTB ) UNTUK DAYA LAMPU NAVIGASI*. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22991>
- [2] Aristandi, A., Dyoritu, V. J., Hidayat, B. M., Ryo, M., Siswoyo, D. A., Ahnaf, A., Fathana, F., & Heru, P. (2025). *Analisis Potensi , Teknologi , dan Inovasi dari Pemanfaatan Energi Angin sebagai Sumber Energi Listrik*. 9, 17236–17243.
- [3] Dermawan, H., & Hasibuan, A. (2025). *Metode Penelitian Eksperimen : Prinsip , Prosedur , dan Aplikasi dalam Penelitian Ilmiah*. 4–7.
- [4] Khusnawati, N., Teknik, F., Studi, P., Mesin, T., Kudus, U. M., Wibowo, R., Teknik, F., Studi, P., Mesin, T., Kudus, U. M., Kabib, M., Teknik, F., Studi, P., Mesin, T., Kudus, U. M., & Ratio, T. S. (2022). *Analisa turbin angin sumbu horizontal tiga sudu*. 5(2), 35–42.
- [5] Nawir, H., Djalal, M. R., Hasri, A. A., & Fauziah, A. W. (2023). *Modifikasi Sumbu Vertikal dengan Variasi Jumlah Bilah Angin Savonius Turbin*. 02(01).
- [6] Rizkiawan, M. A., Avista, Z., Kurniawan, E., & Ghalib, B. (2026). *Development of an Online Simulation Model for Arduino Uno- Based I2C LCD Running Text*. 2(1).
- [7] Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of Things and Cyber-Physical Systems Internet of things for smart factories in industry 4 . 0 , a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3(March), 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
- [8] Suhaimi, K. S., Muhtar, A., Kurniawan, Y., Corio, D., & Utami, N. S. (2025). *Kalibrasi Sensor Tegangan Berbasis Least Square Untuk Meteran Energi Rumah Tangga Least Square-Based Voltage Sensor Calibration for Household Energy Meter*. 13(2).
- [9] Surur, M. M., Fahrizal, M. S., Andhika, D., & Pradana, P. (2025). *SISTEM OTOMATISASI POMPA AIR BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN KONTROL WAKTU MENGGUNAKAN SENSOR RTC DS3231*. 02, 77–84.
- [10] Susilo, D., Maghfiroh, A. M., Madiun, U. P., Teknik, F., & Elektro, P. T. (2022). *Sensor Pengukur Kecepatan Putaran Motor Berbasis Mikrokontroller AT-Mega 8535*. 3(1), 43–50.
- [11] Syahri, A., & Bintoro, A. (2023). *MONITORING DAN CONTROLLING DAYA BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN SENSOR PZEM-004T*. 12, 43–51.
- [12] Transfer, A., Ats, S., & Arduino, M. (n.d.). *Automatic Transfer Switch ( ATS ) Using Arduino Uno , IoT-Based Relay and Monitoring dan Monitoring Berbasis IoT*. 1–8.
- [13] Tyas, U. M., Buckhari, A. A., Studi, P., Teknologi, P., Pendidikan, P. S., Pembelajaran, P., & Belajar, H. (2023). *Implementasi aplikasi arduino ide pada mata kuliah sistem digital 1,2,3,4*. 1(April).
- [14] Virdaus, A. I., Faizatama, A. M., Sukriyandoko, I. A., Adriyanto, F., & Muzaqih,

- A. F. (2023). *Yawing based IoT Monitoring System to Improve Horizontal Axis Wind Turbine Performance*. 05(2), 74–77.
- [15] Wicaksono, D. H., & Apriaskar, E. (2023). *Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Internet of Things*. 14(02), 118–123. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i2.010>