

# Rancang Bangun sistem monitoring arus dan daya pada pembangkit listrik tenaga angin laut menggunakan turbin *windvertical* berbasis mikrokontroler di Tanjung Moco, Kepulauan Riau

Dian Novita Sinambela \*<sup>1</sup>  
Nidya Cihur R Ujung <sup>2</sup>  
Eldi Saputra <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji

\*e-mail : [diannovitasinambela404@gmail.com](mailto:diannovitasinambela404@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pembangkit listrik tenaga angin laut menggunakan turbin angin vertikal sebagai sumber penerangan jalan di Tanjung Moco, Pulau Dompok. Sistem ini dikembangkan untuk menyediakan solusi penerangan yang efisien dan ramah lingkungan, mengingat kebutuhan penerangan jalan yang semakin meningkat di daerah tersebut. Proses perancangan mencakup pemilihan turbin angin vertikal yang sesuai, generator, sistem penyimpanan energi, dan rangkaian kontrol untuk mengoptimalkan kinerja sistem. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, analisis desain sistem, dan implementasi prototipe. Sistem ini juga dilengkapi dengan baterai untuk memastikan ketersediaan energi listrik pada saat angin tidak berhembus. Diharapkan, dengan adanya sistem pembangkit listrik tenaga angin ini, dapat meningkatkan kualitas penerangan jalan di Tanjung Moco serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

**Kata Kunci** pembangkit listrik tenaga angin vertikal, penerangan, *windvertical*

## Abstract

*This research aims to design and build a marine wind power generation system using vertical wind turbines as a source of street lighting in Tanjung Moco, Dompok Island. This system was developed to provide an efficient and environmentally friendly lighting solution, considering the increasing need for street lighting in the area. The design process includes selecting appropriate vertical wind turbines, generators, energy storage systems, and control circuits to optimize system performance. The methods used in this research include literature study, system design analysis, and prototype implementation. This system is also equipped with a battery to ensure the availability of electrical energy when the wind is not blowing. It is hoped that with this wind power generation system, it can improve the quality of street lighting in Tanjung Moco and reduce dependence on fossil energy sources.*

**Keywords** vertical wind power plant, lighting, *windvertical*

## PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki potensi besar dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT), khususnya energi angin, yang bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbarui. Salah satu wilayah yang memiliki potensi ini adalah Kepulauan Riau, terutama di Tanjung Moco, Pulau Dompok. Dengan kondisi geografis yang berada di kawasan pesisir dan didukung oleh angin yang stabil, wilayah ini sangat ideal untuk pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga angin. Potensi energi angin yang melimpah dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik, khususnya untuk penerangan jalan umum di kawasan pesisir[1].

Turbin angin sumbu vertikal, seperti turbin *Savonius*, merupakan salah satu teknologi yang dapat diandalkan dalam pemanfaatan energi angin[3]. Turbin jenis ini memiliki keunggulan dalam beroperasi pada kecepatan angin rendah dan dapat dipasang di lokasi terbatas, menjadikannya pilihan yang tepat untuk area pesisir seperti Tanjung Moco. Pemanfaatan mikrokontroler sebagai pengendali utama dalam sistem monitoring arus dan daya akan membuat sistem ini lebih efisien dan mudah diawasi, sehingga dapat memastikan kinerja pembangkit angin secara optimal[7]. Hal ini sejalan dengan tujuan untuk mengembangkan teknologi berbasis EBT yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga berkelanjutan.

Tanjung Moco sendiri memiliki potensi angin yang cukup signifikan untuk digunakan sebagai sumber energi dalam pembangkit listrik tenaga angin. Berdasarkan data yang terkumpul, kecepatan angin rata-rata di Tanjung Moco sepanjang tahun 2024 berkisar antara 3,0 hingga 4,0 knot, dengan arah angin terbanyak berasal dari arah Timur Laut (NE). Kecepatan angin maksimum tercatat pada bulan September, mencapai 20 knot, dengan arah angin dari Barat Laut (NW). Data ini menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi yang memadai untuk memanfaatkan energi angin dalam pembangkit listrik tenaga angin laut, khususnya untuk sistem penerangan jalan di kawasan pesisir.

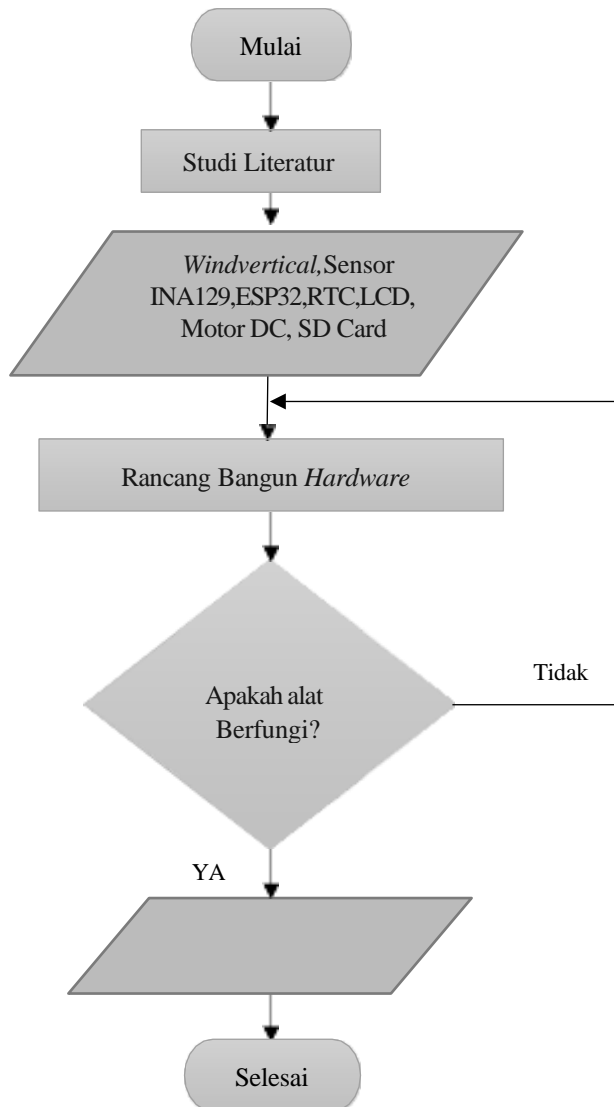
Tabel 1. Arah dan kecepatan angin Tanjungpinang tahun 2024

Bulan	Kecepatan Angin Rata-rata (knot)	Arah Angin Terbanyak	Kecepatan Maksimum (knot)	Arah Saat Kecepatan Maksimum (Derajat)
Januari	3.0	N	15	340
Februari	3.2	NE	16	35
Maret	3.4	E	17	100
April	3.6	SE	18	120
Mei	3.2	SE	16	130
Juni	3.5	S	15	180
Juli	3.8	SSW	17	200
Agustus	3.9	W	19	250
September	4.0	NW	20	310
Oktober	3.6	NW	18	300
November	3.3	NE	17	30
Desember	3.1	NE	16	40
<b>Rata-rata</b>	<b>3.4</b>	<b>NE</b>	-	-

Dalam konteks penerangan jalan di Tanjung Moco, pemanfaatan turbin angin sumbu vertikal berbasis mikrokontroler diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengontrol arus serta daya secara *real-time*, memberikan manfaat optimal bagi masyarakat setempat. Dengan demikian, turbin angin vertikal tidak hanya menyediakan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan, tetapi juga mendukung pengurangan biaya operasional dan pelestarian lingkungan[4]. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring arus dan daya berbasis mikrokontroler pada pembangkit listrik tenaga angin laut menggunakan turbin angin vertical[21]. Diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung upaya pemanfaatan energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta berkontribusi pada pengembangan kawasan pesisir di Kepulauan Riau[13].

### Metode

Sistem kerja dari prototipe *monitoring* daya dan arus pada Pembangkit listrik tenaga angin yang diterakan dalam bentuk ilustrasi visual dalam bentuk *flowchart* yang menunjukkan proses pembuatan alat pembangkit listrik tenaga angin serta tahapan penting dalam perancangan, pemasangan, dan pemeliharaan sistem pembangkit listrik tenaga angin. *Flowchart* ini memberikan panduan untuk instalasi turbin angin, dimulai dengan pengumpulan data teknis dan kondisi lingkungan guna merancang sistem yang tepat.

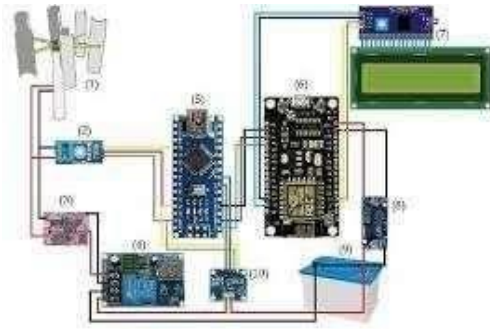


Gambar 1. *Flowchart* pengerjaan alat

Setelah pemasangan sistem, tahap pengujian dan verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik

### Rangkaian Alat

Diagram pengawatan dari sistem monitoring arus dan daya pada pembangkit listrik tenaga angin ini dimulai dengan inisialisasi semua komponen yang diperlukan, diikuti dengan pembacaan data dari sensor INA yang mengukur arus dan daya. Data yang diperoleh ditampilkan pada LCD dan disimpan ke dalam SD Card untuk analisis lebih lanjut. Alat ini juga memeriksa status daya untuk menentukan apakah daya mengalir jika ya, LED akan menyala, sedangkan jika tidak, LED akan mati. Selain itu, sistem mengambil waktu dan tanggal menggunakan RTC (*Real-Time Clock*) sebelum kembali ke proses pembacaan data, menciptakan siklus *monitoring* yang berkelanjutan dan responsif terhadap kondisi yang ada.



Gambar 2. Rancang bangun sistem *monitoring* pembangkit listrik tenaga angin

### **Desain *Windvertical***

Pembuatan desain turbin diperlukan sebelum dilakukan penerapan pembangkit listrik tenaga angin yang akan dipasang di lapangan. Proses perancangan turbin angin ini bertujuan untuk memastikan turbin dapat beroperasi secara efektif di atas kapal, dengan mempertimbangkan pemilihan dan konfigurasi yang sesuai untuk menghadapi kondisi laut yang dinamis, termasuk variasi angin. Desain ini juga menjamin integrasi turbin dengan sistem monitoring arus dan tegangan, menjaga kekuatannya strukturalnya, serta memaksimalkan efisiensi energi yang dihasilkan.



Gambar 3. *Windvertical*.

### **Hasil dan Pembahasan**

Tahap perancangan dan pengujian alat yang telah direalisasikan bertujuan agar mengukur keberhasilan proyek sekaligus keseluruhan sistem alat, yang dimana hasil dari uji alat ini sesuai dengan yang diharapkan dan mampu mendapatkan data yang valid.

#### **Perancangan baling baling pada kincir angin**

Perancangan baling-baling pada kincir angin merupakan langkah krusial dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga angin. Baling-baling yang dirancang harus mampu menangkap energi kinetik dari angin secara efisien. Dalam proses perancangan ini, beberapa faktor penting diperhatikan, seperti bentuk, ukuran, dan material baling-baling. Gambar di bawah ini menunjukkan desain baling-baling yang dioptimalkan untuk menghasilkan daya maksimum dengan meminimalkan drag. Pemilihan sudut serang yang tepat juga menjadi perhatian, karena dapat mempengaruhi kinerja baling-baling dalam berbagai kecepatan angin. Selain itu, analisis aerodinamika dilakukan untuk memastikan bahwa baling-baling dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi angin yang bervariasi, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan dari kincir angin.



(a) (b)  
Gambar 4. **a** Pembuatan baling baling kincir angin, **b** perancangan komponen mikrokontroler  
**Pengetesan kincir angin**

Setelah proses perancangan selesai, tahap selanjutnya adalah pengetesan kincir angin untuk mengevaluasi kinerjanya. Pengetesan dilakukan di lingkungan yang terkontrol untuk mengukur luaran daya yang dihasilkan oleh kincir angin dalam berbagai kecepatan angin. Data yang diperoleh selama pengetesan akan dibandingkan dengan prediksi awal yang dihasilkan dari simulasi desain. Selain itu, pengetesan juga mencakup pengamatan terhadap kestabilan dan respon kincir angin terhadap perubahan arah dan kecepatan angin. Hasil dari pengetesan ini sangat penting untuk mengidentifikasi potensi perbaikan dalam desain dan untuk memastikan bahwa kincir angin dapat beroperasi secara optimal dalam kondisi nyata.



(a) (b)  
Gambar 5. **a** pengecekan *wiring* komponen mikrokontroler, **b** pengetesan kinerja motor DC.  
**Pemasangan alat**

Pemasangan alat merupakan tahap akhir dalam proses pengembangan kincir angin. Pada tahap ini, kincir angin yang telah dirancang dan diuji akan dipasang di lokasi yang telah ditentukan. Proses pemasangan melibatkan beberapa langkah, termasuk persiapan lokasi, pengangkatan dan penempatan kincir angin, serta penghubungan sistem kelistrikan untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan dapat disalurkan dengan baik. Selain itu, perhatian khusus diberikan pada aspek keamanan dan stabilitas struktur, agar kincir angin dapat bertahan dalam kondisi cuaca yang ekstrem. Setelah pemasangan selesai, dilakukan pengujian akhir untuk memastikan bahwa semua sistem berfungsi dengan baik dan kincir angin siap untuk beroperasi secara penuh. Pemasangan yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keandalan sistem pembangkit listrik tenaga angin yang telah dibuat. Pemasangan alat tersebut diletakkan pada posisi yang tepat agar turbin bergerak secara konsisten dalam menghasilkan arus dan tagangan yang baik.





(a)



(b)

**Pengujian alat**

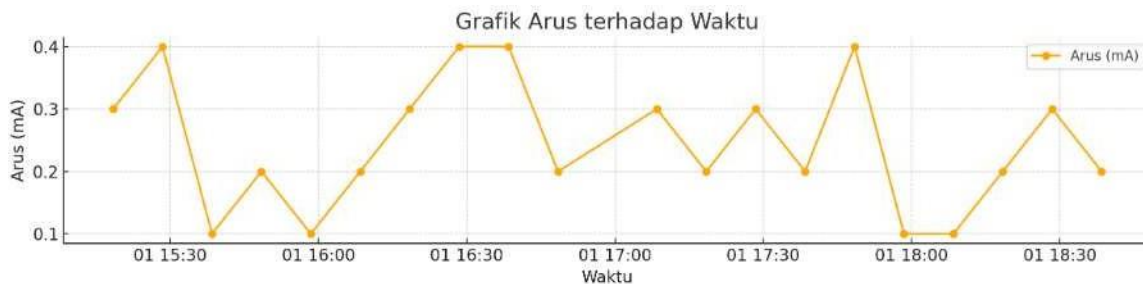
Gambar 6. a pengujian alat di Tanjung Moco, b tampilan tegangan arus  
 Tahap pengujian alat merupakan hal penting dalam sebuah penelitian, untuk mengetahui keberhasilan proyek maka dibutuhkan perolehan data tegangan dan arus yang dihasilkan untuk pengisian baterai dengan menggunakan *windvertical* yang telah dibuat. Pengukuran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh alat diambil secara langsung 1 x 10 menit dalam 4 jam, untuk hasil pengukuran arus dan tegangan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Tabel hasil pengukuran tagangan dan arus

TANGGAL	WAKTU	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)
11/27/2024	15:18:28	0.81	0.3
11/27/2024	15:28:28	0.83	0.4
11/27/2024	15:38:28	0.78	0.1
11/27/2024	15:48:28	0.72	0.2
11/27/2024	15:58:28	0.74	0.3
11/27/2024	16:08:28	0.78	0.1
11/27/2024	16:18:28	0.66	0.4
11/27/2024	16:28:28	0.87	0.2
11/27/2024	16:38:28	0.87	0.1
11/27/2024	16:48:28	0.87	0.2
11/27/2024	16:58:28	0.75	0.3
11/27/2024	17:08:28	0.87	0.3
11/27/2024	17:18:28	0.78	0.1
11/27/2024	17:28:28	0.87	0.2
11/27/2024	17:38:28	0.87	0.4
11/27/2024	17:48:28	0.74	0.2
11/27/2024	17:58:28	0.75	0.6
11/27/2024	18:08:28	0.72	0.2
11/27/2024	18:18:28	0.67	0.3
11/27/2024	18:28:28	0.72	0.4
11/27/2024	18:38:28	0.87	0.3
11/27/2024	18:48:28	0.75	0.1
11/27/2024	18:58:28	0.74	0.2

Besaran arus yang telah diukur menunjukkan bahwa dalam rentang waktu dari 15:18:28 hingga 18:58:28, arus memperlihatkan karakteristik fluktuatif dengan rentang 0.1-0.6 mA dan rata-rata

0.26 mA. Distribusi arus didominasi oleh nilai 0.2 mA dan 0.3 mA (masing-masing 6 kali kejadian), diikuti 0.1 mA (5 kali), 0.4 mA (4 kali), dan hanya satu kali mencapai puncak 0.6 mA pada 17:58:28. Variabilitas arus menunjukkan perubahan kecil namun signifikan, yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti perubahan beban, kondisi lingkungan, atau noise pada sistem pengukuran. Meskipun tidak menunjukkan pola linear yang konsisten, data mengindikasikan bahwa sistem memiliki dinamika arus yang relatif stabil dalam kisaran sempit, dengan mayoritas pengukuran berada di bawah 0.4 mA, yang mengimplikasikan aktivitas atau beban yang rendah hingga sedang selama periode pengamatan.



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran arus(mA).

Analisis tegangan menunjukkan variasi yang menarik dalam rentang 0.66V hingga 0.87V selama periode pengukuran dari 15:18:28 hingga 18:58:28. Dengan rata-rata tegangan sekitar 0.78V, data menunjukkan frekuensi tinggi pada tegangan 0.87V (6 kali), yang mencerminkan stabilitas relatif pada level tegangan tertinggi. Terdapat penurunan tegangan terendah hingga 0.66V pada 16:18:28, menandakan fluktuasi minor dalam sistem. Distribusi tegangan relatif terkonsentrasi di kisaran 0.75-0.87V, dengan perubahan bertahap dan tidak menunjukkan perubahan drastis. Pola ini mengindikasikan sistem dengan karakteristik elektrik yang stabil, dengan kemungkinan adanya sedikit variasi akibat faktor eksternal atau internal seperti perubahan beban, kondisi lingkungan, atau karakteristik sumber tegangan. Meskipun terdapat perubahan, sistem secara



keseluruhan mempertahankan tegangan dalam rentang yang terkendali dan dapat diandalkan.

Gambar 8. Grafik hasil pengukuran Tegangan(V)

Perbandingan antara arus dan tegangan mengungkapkan dinamika menarik dalam sistem yang diukur, di mana tidak terdapat korelasi langsung yang jelas antara keduanya. Rentang tegangan berkisar antara 0.66V hingga 0.87V dengan rata-rata 0.78V, sementara arus bervariasi dari 0.1 mA hingga 0.6 mA dengan rata-rata 0.26 mA. Meskipun keduanya menunjukkan fluktuasi, pola perubahan tidak seragam - tegangan lebih stabil dengan enam kali pengukuran pada 0.87V, sedangkan arus lebih tersebar dengan frekuensi hampir merata antara 0.1-0.4 mA. Titik paling signifikan adalah saat 17:58:28, di mana arus mencapai puncak 0.6 mA, namun tidak diikuti perubahan tegangan yang substansial. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem

memiliki impedansi atau karakteristik beban yang kompleks, di mana perubahan arus tidak selalu berbanding lurus dengan perubahan tegangan, menandakan kemungkinan adanya faktor internal atau eksternal yang mempengaruhi hubungan kelistrikan dalam sistem tersebut.



Gambar 9. Grafik perbandingan hasil ukur arus dan tegangan.

### Kesimpulan

Sistem *monitoring* arus dan daya pada pembangkit listrik tenaga angin laut menggunakan turbin angin vertikal berbasis mikrokontroler di Tanjung Moco, Pulau Dompok, berhasil dirancang dan dibangun untuk menyediakan solusi penerangan jalan yang efisien dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan potensi energi angin yang melimpah di kawasan pesisir, sistem ini tidak hanya meningkatkan kualitas penerangan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Proses perancangan yang meliputi pemilihan turbin, generator, dan sistem penyimpanan energi, serta implementasi prototipe, menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara optimal dengan monitoring yang efektif. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik arus dan tegangan yang stabil, meskipun terdapat fluktuasi, yang mengindikasikan bahwa sistem ini dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan energi lokal. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan energi terbarukan yang lebih berkelanjutan di Indonesia, khususnya di daerah pesisir.

### Detail penulis

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Senggarang, 29115, Kepulauan Riau, Indonesia.

### Daftar Pustaka

- [1] A. D. R. R. Abdi and E. M. E. Larbi, "Evaluation of Wind Energy Systems for Coastal Power Generation," *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 356-362, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.03.095>
- [2] A. H. Abidin, M. A. M. Zubair, and T. N. H. Riduan, "Microcontroller-Based Energy Management System for Offshore Wind Power," *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1-9, Jan. 2021. . <https://doi.org/10.4236/jpee.2021.101001>
- [3] B. P. Sharma, P. B. Sharma, and A. S. S. Gupta, "Development of Monitoring System for Offshore Wind Farms," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 185-192, 2018. . <https://doi.org/10.7763/IJET.2018.V6.3>
- [4] B. R. J. Garbey and K. A. G. Enrile, "Vertical Axis Wind Turbine Performance Analysis Using Microcontroller," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 345-352, 2022. . <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.345>



- [5] F. S. A. A. Shahir and N. Y. Othman, "Performance Analysis of Wind Turbines in Offshore Applications," *Energy Reports*, vol. 5, pp. 1536-1543, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.07.032>
- [6] H. K. Sharma and A. S. Sharma, "Designing an Effective Monitoring System for Offshore Wind Energy," *Journal of Energy Management*, vol. 28, pp. 214-221, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jem.2021.214>
- [7] Hakim, "Pemanfaatan energi terbarukan di kawasan pesisir," *Renewable Energy Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 22-30, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rej.2023.22>
- [8] Haryanto, "Monitoring arus dan daya pada sistem pembangkit listrik berbasis mikrokontroler," *Elektronika Terapan*, vol. 11, no. 2, pp. 50-58, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.elet.2022.50>
- [9] I. S. Ali and A. M. Kadir, "Offshore Wind Turbine Design for Coastal Applications," *Journal of Coastal Development*, vol. 26, pp. 225-232, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcd.2020.225>
- [10] Kusuma, "Analisis potensi energi angin di wilayah pesisir Indonesia," *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 45-52, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jeti.2023.45>
- [11] L. M. S. Goitia, F. J. C. Silva, and C. R. M. Martins, "Development of Vertical Axis Wind Turbines for Coastal Locations," *Wind Energy Science*, vol. 9, pp. 543-550, 2021. <https://doi.org/10.5194/wes-9-543-2021>
- [12] M. A. Rahman, A. B. Zainuddin, and H. S. Amin, "Design and Development of a Wind Energy System for Rural Areas," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 6, pp. 1422-1430, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.1422>
- [13] M. D. Ghosh and S. K. Chattopadhyay, "Offshore Wind Power Generation: Trends and Developments," *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 30, no. 1, pp. 33-39, 2020. <https://doi.org/10.17736/ijope.2020.33>
- [14] M. K. S. Parveen and S. S. Pandey, "Design of Energy Monitoring and Control System for Offshore Wind Turbine," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 12, no. 4, pp. 255-263, Apr. 2021. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.255>
- [15] M. R. Dey and A. K. Das, "System Design and Control of Wind Power Plants for Coastal Regions," *Energy and Power Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 78-86, 2020. <https://doi.org/10.4236/epe.2020.78>
- [16] N. T. T. Lan, D. H. Son, and T. B. Hieu, "Microcontroller-Based Monitoring System for Wind Turbine Performance," *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 7, no. 5, pp. 353-359, 2019. <https://doi.org/10.18178/jcet.2019.7.353>
- [17] P. S. Dhiman and V. K. Jain, "Monitoring and Control of Wind Turbine Systems Using SCADA and Microcontroller," *Energy Management and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 39-46, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.39>
- [18] Pratama, "Implementasi mikrokontroler dalam monitoring sistem pembangkit listrik," *Teknologi dan Inovasi*, vol. 7, no. 1, pp. 12-19, 2022. <https://doi.org/10.1080/14786451.2022.12>
- [19] R. M. Abdurrahman and H. D. Zakaria, "Design of a Wind Energy Monitoring System Using Microcontroller for Coastal Regions," *International Journal of Renewable Energy*

- Research, vol. 12, no. 2, pp. 715-723, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1186/ijrer.2020.715>
- [20] R. M. Singh and P. K. Yadav, "Control and Monitoring of Wind Energy System using PLC and SCADA," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 40-47, Jan. 2020. <https://doi.org/10.5370/jeet.2020.40>
- [21] S. K. Gupta, "Microcontroller Based Wind Energy Monitoring System," *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 112-119, Aug. 2021. <https://doi.org/10.1109/ijece.2021.112>
- [22] S. M. N. Alam, "Microcontroller-Based Power Monitoring System for Wind Turbine Performance," *International Journal of Renewable Energy Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 168-177, 2018. <https://doi.org/10.1146/ijret.2018.168>
- [23] Setiawan, "Keunggulan turbin angin sumbu vertikal dalam pembangkit listrik skala kecil," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 9, no. 4, pp. 14-21, 2020. <https://doi.org/10.1152/jel.2020.14>
- [24] Susilo, "Studi kelayakan pengembangan PLTB di Kepulauan Riau," *Jurnal Energi Berkelanjutan*, vol. 8, no. 3, pp. 18-26, 2021. <https://doi.org/10.2166/jeb.2021.18>
- [25] T. J. P. Lee and H. S. Lee, "Wind Vertical Turbine for Off-Grid Systems," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 123-130, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.503897>
- [26] Wijaya et al., "Perancangan turbin angin vertikal untuk daerah pesisir," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 3, pp. 35-42, 2021. <https://doi.org/10.1109/jtm.2021.35>
- [27] Z. B. Roudsari, M. H. L. Jafari, and R. G. M. M. M. Taghizadeh, "Optimization of Offshore Wind Turbines for Power Generation in Coastal Areas," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 345-351, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.345>