

Analisis Potensi Angin Sebagai Energi Alternatif di Lingkup Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun

*WIND POTENTIAL ANALYSIS AS AN ALTERNATIVE ENERGY IN INTEGRATED
LABORATORY SCOPE PGRI MADIUN UNIVERSITY*

Riswanda Pandu Setyo Cahyo Pambuko¹, Ridam Dwi Laksono², Irna Tri Yuniahastuti^{3*}

¹²³Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Madiun

E-mail: pandu.riswanda@gmail.com¹, ridam.dl@unipma.ac.id²,

irnatri@unipma.ac.id^{3*}

email correspondent : irnatri@unipma.ac.id^{3*}

Disubmit : 22-08-2023; Direvisi: 31-08-2023; Dipublikasikan:31-12-2023

Abstrak

Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun membutuhkan sumber tegangan listrik guna menunjang aktifitas para dosen dan civitas akademika yang beraktifitas pada laboratorium terpadu. Tujuan penelitian untuk mengetahui besar kecepatan angin di lingkup Laboratorium terpadu Universitas PGRI Madiun, dan mengetahui potensi angin yang dapat menjadi daya listrik di lingkup Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun. Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen. Teknik analisis data yang digunakan penelitian ini yaitu menghitung kecepatan angin, menganalisa karakteristik kecepatan angin, menghitung daya yang dihasilkan angin menggunakan uji SPSS 26. Hasil penelitan menunjukkan data kecepatan angin yang paling dominan sebesar 98% dengan 294 data kecepatan angin lolos pengujian klasifikasi kecepatan angin dan data yang masuk pada klasifikasi menengah 1,6 – 10,7 di tiap lokasi berada di atas 95% yang berarti signifikan. Dari hasil perhitungan didapatkan pada masing-masing metode, yaitu hasil perhitungan tahunan oleh aplikasi HOMER 683 kWh/tahun dan hasil perhitungan dengan persamaan adalah sebesar 428,1 Watt. Oleh karenanya kecepatan angin pada Lingkup Laboratorium Terpadu tidak berpotensi menghasilkan energi listrik sebagai sumber utama sebesar 15.236 kWh/bulan yang digunakan pada Laboratorium Terpadu Universitas PGRI dikarenakan faktor pengambilan data hanya 20 hari dan tidak 24 jam, ketinggian pengukuran tiap lokasi berbeda, karenanya $Hb^0 < Hb^1$ maka Hb^1 diterima.

Kata Kunci : Angin, Anemometer, Energi Alternatif,

Abstract

The Laboratory of PGRI Madiun University requires a source of electrical voltage to support the activities of lecturers and the academic community who are active in the integrated laboratory and to determine the potential of wind that can become electrical power within the scope of the Laboratory of PGRI Madiun University. This type of research is quantitative with experimental methods. The data analysis generated by wind using the SPSS 26 test. The results showed that the most dominant wind speed data was 98% with 294 wind speed data passing the wind speed classification test and the data entered in the intermediate classification of 1.6 – 10.7 in each location was above 95% which significant. Namely the annual calculation results by the HOMER application 683 kWh / year and the calculation with equations are 428.1 Watts. Therefore, the wind speed in the Integrated Laboratory Scope does not have the potential to produce electrical energy as the main source of 15,236 kWh / month used in the Laboratory of PGRI University because the data collection factor is only 20 days and not 24 hours, the height of the measurement of each location is different,

therefore $Hb0 < Hb1$ then $Hb1$ is accepted.

Keywords: *Wind, Anemometer, Alternative Energy,*

PENDAHULUAN

Energi alternatif terbarukan di Indonesia sangat dibutuhkan untuk mengantisipasi jika cadangan bahan bakar kian menipis akibat konsumsi listrik yang bertambah banyak tiap tahunnya [1]. Energi listrik merupakan kebutuhan hidup masyarakat yang sangat penting untuk keberlangsungan hidup baik individu maupun kelompok [2]. Beberapa energi alternatif yang dapat diimplementasikan di Indonesia antara lain; energi cahaya matahari, energi air, energi nuklir, dan energi angin [3]. Energi alternatif sangat dibutuhkan di masa kini, di mana bahan bakar konvensional semakin sedikit jumlahnya, sementara itu jumlah kebutuhan energi dunia semakin besar. Energi alternatif adalah salah satu keanekaragaman sumber energi lain ditengah krisis energi seperti saat ini [4]. Semakin menipisnya energi fosil, hal tersebut akan menjadi ancaman pada ketersediaan energi di Indonesia karena konsumsi energi yang semakin bertambah [5]. Dari permasalahan krisis energi ini, maka harus ada penanganan yang lebih terarah dan menghambat krisis energi. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini memiliki pengaruh yang sangat luas di segala bidang kehidupan. Penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi akan memajukan aktivitas manusia dalam segala aspek kehidupan, salah satunya pada sistem pembangkit tenaga listrik [6]. Kebijakan pengembangan energi sesuai Undang-Undang Energi Nomor 30 tahun 2007 [7]. Pada wilayah Jawa Timur khususnya pada wilayah Madiun juga menghasilkan angin yang lumayan besar [8]. Dengan penelitian tersebut, wilayah madiun dapat dimanfaatkan sebagai penghasil energi alternatif. Diharapkan dengan pengembangan ini, alat tersebut dapat bermanfaat dan lebih efisien dalam fungsinya [9]. Salah satu tempat yang peneliti lakukan sebagai tempat energi alternatif adalah Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun. Laboratorium Universitas PGRI Madiun memiliki tinggi gedung kurang lebih 30 m dengan atap terbuka yang cukup luas untuk meneliti kecepatan angin yang lebih maksimal. Data kebutuhan daya listrik pada Laboratorium terpadu sebesar 15.236 kWh/bulan dengan penggunaan prasarana seperti lampu, AC, Komputer dan lift. Pada penelitian tersebut mendapatkan hasil observasi tentang kebutuhan daya di Laboratorium terpadu selama 3 bulan terakhir [10].

Tabel 1. Tingkatan Kecepatan Angin [11]

Tingkat kecepatan angin		
Tingkat angin	Kecepatan angin	Kondisi alam
1	0,00 – 0,02	----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, penunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan dan kertas berterbangan, ranting

		bergoyang
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon besar bergoyang bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Angin tornado

Potensi energi angin dipengaruhi oleh kecepatan dan frekuensi angin. Kecepatan angin yang dapat digunakan pada pembangkit listrik harus lebih dari 2,5 m/dt [8]. Pada saat kondisi ini angin akan memutar turbin yang terhubung oleh generator. Generator akan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [12]. Pada penelitian ini menghitung potensi daya kecepatan angin menurut [13].

Energi kinetik

Angin mempunyai massa dan kecepatan untuk menghasilkan energi kinetik.

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

Dengan Keterangan;

E = Energi (joule)

m = Massa udara (kg)

v = Kecepatan angin (m/s)

Daya Angin

Energi angin yang berhembus dalam satuan waktu.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \rho \alpha \cdot A \cdot v^3 \quad (2)$$

Dengan:

P_w = Daya angin (watt)

$\rho \alpha$ = Densitas atau kerapatan angin ($\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas penampang (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

Daya Efektifitas

Setelah menghitung daya angin kemudian menghitung daya efektif angin yang dihasilkan oleh turbin angin, oleh karena itu digunakan rumus sebagai berikut;

$$P_A = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \alpha \cdot A \cdot v^3 \tag{3}$$

Dengan keterangan;

P_A = Daya turbin angin (W)

C_p = Coefisien Power

$\rho \alpha$ = Kerapatan angin di waktu tertentu (kg/s)(dengan $\rho \alpha = 1,225\text{kg/s}$)

v = Kecepatan angina pada waktu tertentu (m/s)

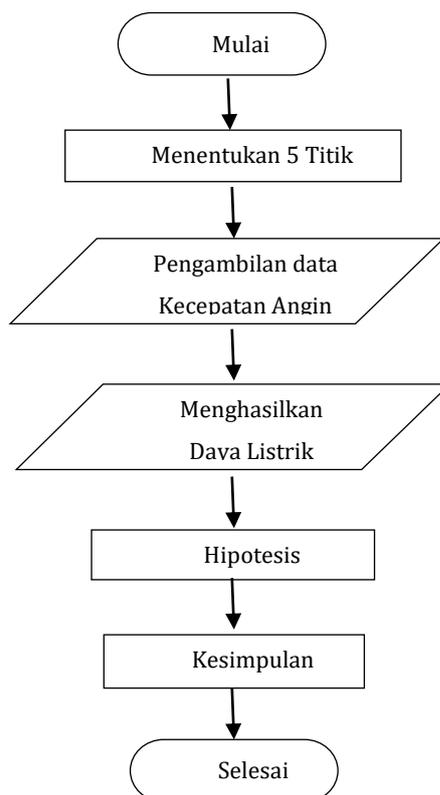
A = Luas daerah sapuan angin (m^2) dapat ditulis ($A = \pi r^2$)

METODE PENELITIAN

Tempat pelaksanaan

Penelitian dilakukan di Kampus 4 Laboratorium. Terpadu Universitas PGRI Madiun, Kanigoro, Kec. Kartoharjo, Kota Madiun, Jawa Timur. Penelitian ini berjudul Analisis Potensi Angin Sebagai Energi Alternatif Di Lingkungan Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun.

Tahapan Penelitian



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada langkah penelitian pada gambar 1, dimulai dengan observasi data yang berupa dokumentasi, letak geografis dan mengamati halang rintang disekitar lokasi penelitian yang dilalui oleh aliran angin. Pada observasi ini juga membutuhkan bantuan seperti aplikasi Google Map, dan juga alat ukur altimeter guna mengetahui kondisi di sekitar lokasi

penelitian. Adapun roll meter sebagai alat ukur jarak antara titik lokasi satu dengan lokasi lainnya. Selanjutnya menentukan titik lokasi yang sesuai dengan mempertimbangkan halang rintang di sekitar lokasi, dan juga kondisi hembusan angin pada lokasi tersebut sehingga akan dijadikan sebagai tempat penelitian. Pada penelitian ini menentukan 5 titik lokasi sebagai posisi penelitian. Kemudian peneliti melakukan pengambilan data kecepatan angin dengan mengukur kecepatan angin pada 5 titik lokasi penelitian dan mengukur kecepatan angin pada tiga shift di hari yang sama. Pengukuran kecepatan angin menggunakan Anemometer *Velocity* lalu data kecepatan angin direkapitulasi untuk kemudian dilakukan analisis. Pada analisis data dilakukan dengan mengklasifikasikan data dengan menggunakan aplikasi SPSS 26 setelah itu dilakukan analisis dengan menggunakan persamaan guna mengetahui potensi daya listrik yang dihasilkan. Kemudian dilakukan uji hipotesis dengan menggunakan persamaan dan juga aplikasi SPSS 26 untuk mengetahui data kecepatan angin memiliki potensi atau tidak. Setelah dilakukan analisis dan uji hipotesis, maka selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian.

Teknik Analisis Data

Pada penelitian menggunakan teknik analisis data sebagai berikut :

1. Menghitung nilai kecepatan angin, menganalisa dengan SPSS 26.
2. Menganalisa karakteristik kecepatan angin dari grafik hasil perhitungan nilai kecepatan angin.
3. Membuat asumsi jenis turbin angin, luas penampang, efisiensi *gearbox*, dan efisiensi generator. Berikut asumsi yang akan digunakan:
 - a) Jenis Turbin : *Three-Blade Rotor* ($C_p : 0,48$)
 - b) Jari-Jari : 1,5 m
 - c) Efisiensi *gearbox* : 95%
 - d) Efisiensi Generator : 80% (aryanto et al 2013)
4. Menghitung besaran kecepatan angin menggunakan persamaan 2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 2.4
5. Membuat analisa uji potensi angin dari hasil perhitungan daya yang telah didapatkan guna melihat hasil yang diperoleh data [14].
6. Pengaruh kecepatan di uji dengan statistik deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar di atas memperlihatkan kecepatan rata-rata angin pada tiap lokasi. Nilai rata-rata tertinggi berada pada lokasi 2 yaitu rooftop depan sebesar 7,1 m/s. Nilai kecepatan angin maksimal berada di lokasi 2 sebesar 9,3 m/s. sedangkan nilai rata-rata terendah kecepatan angin berada pada lokasi 3 yaitu parkir labolatorium terpadu dengan besar 1,9 m/s. Lokasi yang memiliki nilai kecepatan rata-rata angin tertinggi sama dengan lokasi yang memiliki nilai kecepatan tertinggi hasil pengukuran. Secara keseluruhan baik lokasi maupun waktu maka rata-rata kecepatan angin sebesar 3,6 m/s. Pengklasifikasian dilakukan guna mengetahui kesalahan data dan dilakukan perbaikan apabila terdapat kesalahan pada data [15]. Selanjutnya dari klasifikasi tersebut akan digunakan sebagai perhitungan potensi energi listrik.

Tabel 2. Kecepatan Angin

Tanggal **Tabel Kecepatan Angin Pada Lingkup Lab Terpadu Universitas PGRI Madiun (m/s)**

	Rooftop Belakang			Rooftop Depan			Parkiran Lab			Gerbang Utama Lab			Gor Lab		
	Shift 1	Shift 2	Shift 3	Shift 1	Shift 2	Shift 3	Shift 1	Shift 2	Shift 3	Shift 1	Shift 2	Shift 3	Shift 1	Shift 2	Shift 3
5/25/2023	1.9	4.5	4.6	2.1	3.4	3.9	2	2.9	2.5	2.5	2.8	2.4	2.1	2.1	2.1
5/26/2023	2	3.3	4.5	4.6	2.4	3.8	1.3	2.3	2.9	3	3.1	3.1	1.8	2.6	1.9
5/29/2023	2.8	3	3.5	1.8	3	2.7	3.2	2.6	2.6	2.4	2.9	2.1	2.3	1.6	2.9
5/30/2023	2.2	2.9	2.9	2	2.8	2.5	3.1	2.1	2	2.3	3.1	2.9	1.3	2.1	3
5/31/2023	4.2	3.1	3	1.4	2.2	3.2	1.9	2.3	1.5	2.5	2.1	3.5	3.1	2.3	2
6/5/2023	6.7	5.4	3.5	3.4	4.3	4.8	3.9	3	3.1	3	3.8	3.4	3.7	3.1	2.3
6/6/2023	3.4	4.3	4.7	3.6	4.3	6	3.2	4.1	2.7	3	3.4	3	3.7	3.1	3
6/7/2023	5.7	4.7	6.2	4	3.6	4.1	1.9	4.5	3.6	2.7	3.6	3.3	2.8	2.7	3.3
6/8/2023	2.7	4.8	4.2	4.9	5.5	6.5	1.9	3.8	3.3	2.8	3.1	3	2.8	3.7	3.6
6/9/2023	1.7	3.8	4.5	2	3.3	5.9	1.6	3.6	2.6	3	3.8	4.1	2.5	3	3.3
6/12/2023	2.1	4	4.5	2.5	4.4	3.7	1.6	3.5	3.1	3.2	3.6	3.4	3	3.4	2.7
6/13/2023	1.4	3.3	5.5	1.6	4.4	4	1.6	4.3	3.2	3.5	3.9	2.6	3	3.6	3
6/14/2023	1.3	5	4.6	1.8	4.1	4.1	2	3.8	2.7	3.9	4.8	3.3	2.8	4.2	3.4
6/15/2023	4.2	4.4	4.7	4	6.1	6.2	2.5	4.4	3.7	2.8	4.5	4.2	3.2	4.2	3.9
6/16/2023	3.8	3.2	4.2	3	4.8	4.2	2.9	4.1	3.8	2.7	4.4	4.4	3.5	3.8	3.4
6/19/2023	2.8	3.7	5	3.5	4.9	5.8	3.1	4.1	3.8	2.9	3.6	3.9	3.5	3.8	4.1
6/20/2023	3	4.2	5.8	4.5	5	5.9	3	4.7	4	4	5.7	4.1	3.2	3.7	4.3
6/21/2023	4.5	7.3	6.8	3.8	8.3	9.3	2.9	4.5	4.3	3	4.2	3.9	3	3.4	3.6
6/22/2023	3.5	5.6	7.1	3.5	5	6.5	3.2	3.9	4	3.2	3.5	4	3	3.5	3.2
6/23/2023	4.1	6.7	6	3.9	6.5	5.5	3.8	4	3.9	3.5	4.1	4	3.2	3.3	3.1

Tabel 3. Energi Kinetik Tiap Lokasi
Energi Kinetik Tiap Lokasi (Joule)

No	Tanggal	Rooftop Belakang	Rooftop Depan	Parkiran	Gerbang	GOR
1	5/25/2023	90.6	56.5	27.6	31.1	17.0
2	5/26/2023	64.1	85.7	18.7	53.0	17.0
3	5/29/2023	54.7	28.7	40.3	27.6	21.4
4	5/30/2023	34.8	26.5	25.4	38.9	17.8
5	5/31/2023	74.4	21.4	12.6	36.2	27.6
6	6/5/2023	258.4	132.9	68.1	72.2	51.3
7	6/6/2023	129.8	182.8	68.1	56.5	64.1
8	6/7/2023	311.3	109.0	68.1	60.2	46.4
9	6/8/2023	109.0	328.5	49.6	48.0	70.1
10	6/9/2023	68.1	95.6	32.3	88.1	46.4
11	6/12/2023	81.1	81.1	37.5	72.2	51.3
12	6/13/2023	72.2	68.1	51.3	68.1	60.2
13	6/14/2023	88.1	68.1	41.8	117.6	76.6
14	6/15/2023	160.1	294.7	81.1	103.5	98.2
15	6/16/2023	95.6	117.6	85.7	103.5	83.4
16	6/19/2023	103.5	194.9	90.6	76.6	100.8
17	6/20/2023	149.5	248.6	109.0	178.9	95.6
18	6/21/2023	437.9	667.0	109.0	93.1	68.1

19	6/22/2023	289.3	229.7	93.1	83.4	62.1
20	6/23/2023	322.7	273.6	109.0	106.2	60.2

Dalam melakukan perhitungan uji potensi angin dilakukan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Jenis turbin : *three-blade rotor* (C_p : 0,48)
2. Jari-jari : 1,5 m
3. Efisiensi gearbox : 95%
4. Efisiensi generator: 80%

Besar daya yang dibangkitkan oleh generator tergantung oleh besarnya efisiensi generator dan efisiensi pada transmisi mekanik(gearbox) [3]. Dengan menggunakan persamaan (5) untuk jenis turbin angin three-blade rotor, jari-jari turbin 1,5 m dan efisiensi generator 80% sedangkan efisiensi gearbox 95% didapatkan daya keluaran pada turbin angin adalah:

$$P_{gen} = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{gearbox} \cdot \eta_{gen}$$

$$P_{gen} = 0,14 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot (3,14 \cdot 2,25) \cdot 3,7^3 \cdot 0,95 \cdot 0,8$$

$$P_{gen} = 76,2 \text{ Watt} [11] \quad (4)$$

Dengan menggunakan proses yang sama pada setiap titik lokasi penelitian, diperoleh hasil sebagaimana disajikan dalam Tabel berikut ini :

Tabel 4. Rata-rata daya listrik

Rata-rata Daya Listrik Turbin Three blade rotor					
$r = 1,5 \text{ m}$					
Tempat	Rooftop Belakang	Rooftop Depan	Parkiran	Gerbang Lab	GOR Lab
Daya	126,0 Watt	139,3 Watt	51,3 Watt	63,7 Watt	47,8 Watt

Daya yang dapat dibangkitkan dengan menggunakan Three blade rotor pada lokasi 1 yaitu rooftop belakang adalah 126,0 watt. Pada lokasi 2 yaitu rooftop depan adalah 139,3 watt. Pada lokasi 3 yaitu Parkiran adalah 51,3 watt. Pada lokasi 4 yaitu Gerbang adalah 63,7 watt. Pada lokasi 5 yaitu GOR Lab adalah 47,8 watt. Kemudian dari data tersebut dihitung dan mendapatkan hasil daya listrik keseluruhan dalam 20 hari sebesar 428,1 Watt. Data hasil penelitian selama 20 hari tidak dapat membangkitkan daya listrik kebutuhan Laboratorium Terpadu sebesar 15.236 kWh/bulan. Oleh karena itu Lingkup Laboratorium Terpadu kurang baik sebagai pembangkit listrik tenaga angin apabila hanya menggunakan luas penampang dengan jari-jari 1,5 m. Hal tersebut juga dikarenakan pengukuran angin hanya dilakukan selama 20 hari, pengukuran angin tidak dilakukan selama 24 jam, karena lebih baik dilakukan minimal 6 bulan untuk mengetahui kondisi angin pada bulan berikutnya. Faktor ketinggian turbin dan referensi jenis baling-baling juga mempengaruhi kecepatan angin. Maka dari itu dapat dikatakan bahwa kecepatan angin pada Lingkup Laboratorium Terpadu tidak berpotensi menghasilkan energi listrik sebagai sumber utama yang digunakan pada Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun dan

dapat dijadikan sebagai energi alternatif karenanya $Hb_0 < Hb_1$ maka Hb_1 diterima.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dijelaskan pada bab 4 tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Kecepatan Angin yang terdapat pada lingkup Laboratorium Terpadu Universitas PGRI Madiun memiliki data kecepatan angin yang paling dominan sebesar 98% dengan 294 data kecepatan angin lolos pengujian klasifikasi kecepatan angin dan data yang masuk pada klasifikasi menengah 1,6 – 10,7 pada setiap lokasi berada di atas 95%. Dari analisis data yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa signifikan.

2. Setelah dilakukan analisis data dan penghitungan data penelitian, maka didapatkan pada masing-masing metode, dengan range daya dari hasil perhitungan tahunan oleh aplikasi HOMER 683 kWh/tahun dan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus adalah sebesar 428,1 Watt. Sedangkan dengan menggunakan perhitungan menggunakan persamaan yang didapatkan. Dari hasil tersebut, Lingkup Laboratorium Terpadu kurang baik membangkitkan tenaga listrik tenaga angin apabila hanya menggunakan luas penampang dengan jari-jari 1,5 m. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa kecepatan angin pada Lingkup Laboratorium Terpadu tidak berpotensi menghasilkan energi listrik sebagai sumber utama sebesar 15.236kWh/bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, V. Vincent, and J. W. Simatupang, "Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 105, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i2.9107.
- [2]M. Robani, "Studi Kelayakan & Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Bendung Njaen di Kabupaten Sukoharjo," 2019, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/70282>.
- [3]I. T. Yuniahastuti, I. Anshori, and I. Robandi, "Load frequency control (LFC) of micro-hydro power plant with capacitive energy storage (CES) using bat algorithm (BA)," *Proc. - 2016 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. ISEMANTIC 2016*, pp. 147–151, 2017, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2016.7873828.
- [4]I. Kholiq, "PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBSTITUSI BBM," *J. IPTEK*, vol. 19, no. 2, pp. 75–91, 2015, doi: 10.1016/s1877-3435(12)00021-8.
- [5]A. Pradipta and I. Sunaryantiningsih, "Performance analysis of a standalone hybrid renewable electric generation system during fault condition," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1375, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1375/1/012040.
- [6]R. D. Laksono, I. T. Yuniahastuti, and A. P. P. Prakoso, "Skenario Peningkatan Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Di Wilayah Bali Berdasarkan LOLP," *ELECTRA Electr. Eng. Artic.*, vol. 2, no. 1, p. 39, 2021, doi: 10.25273/electra.v2i1.10525.
- [7]Undang Undang Republik Indonesia, *Undang Undang Republik Indonesia Nomo 30 Tahun*

2007 *Tentang Energi*. 2007.

- [8] A. I. Agung, "POTENSI SUMBER ENERGI ALTERNATIF DALAM Mendukung Kelistrikan Nasional," *J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 892–897, 2013.
- [9] D. Susilo, R. D. Laksono, and Y. E. Ardiansyah, "Rancang Bangun Sistem Bel Sekolah Otomatis Berbasis Mikrokontroler Menggunakan ISD 4003," *ELECTRA Electr. Eng. Artic.*, vol. 2, no. 2, p. 12, 2022, doi: 10.25273/electra.v2i2.12232.
- [10] H. Prasetya, "PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI GEDUNG LAB TERPADU UNIVERSITAS PGRI MADIUN," Universitas PGRI Madiun, 2022.
- [11] L. Bimantara, "UJI POTENSI KECEPATAN ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF DI KAMPUS TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA," Universitas Islam Indonesia, 2020.
- [12] V. A. Muyassar, R. Kurnianto, and K. H. Khwee, "STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN FUNGSI KERAPATAN PROBABILITAS WEIBULL," *Progr. Stud. Tek. Elektro, Jur. Tek. Elektrourusan Tek. Elektro*, 2022.
- [13] Y. I. Nakhoda and C. Saleh, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai," *Inst. Teknol. Nas. Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2017.
- [14] B. Fandidarma, R. D. Laksono, and K. W. B. Pamungkas, "Rancang Bangun Mobil Remote Control Pemantau Area berbasis IoT menggunakan ESP 32 Cam," *ELECTRA Electr. Eng. Artic.*, vol. 2, no. 1, p. 31, 2021, doi: 10.25273/electra.v2i1.10522.
- [15] C. Sari, T. Agustinah, and A. Jazidie, "Design of actuator fault compensation with MRC in 2 DOF manipulator based on PID CTC," *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, pp. 250–254, 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124089.