

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Sumber Alternatif Pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh

Raihan Putri¹, Arnawan Hasibuan², Ezwarsyah³, Misbahul Jannah⁴, Robi Kurniawan⁵, Widyana Verawaty Siregar⁶, M Sayuti⁷

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh

⁵ Teknik Energi Terbarukan, Universitas Malikussaleh

⁶ Manajemen, Universitas Malikussaleh

⁷ Teknik Industri, Universitas Malikussaleh

Bukit Indah, Lhokseumawe 24351

e-mail: arnawan@unimal.ac.id

Abstrak— Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel, ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang baik. Sebagian besar kebutuhan listrik di Aceh masih sangat bergantung pada pasokan listrik (PLN) dari Sumatera Utara. Saat ada gangguan sedikit saja, akan terjadi pemadaman bergilir di beberapa wilayah Aceh. Oleh karenanya penulis akan membahas mengenai Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Bayu) dan penentuan jenis tipe turbin angin yang sesuai. Lokasi penelitian ini dilakukan pada Mesjid Tengku Bullah, Universitas Malikussaleh. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi kepustakaan dan metode eksperimen. Selain itu, software yang digunakan dalam penelitian ini adalah HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*). Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang diperoleh tergolong dalam kriteria jenis kecepatan angin kelas 4. Berdasarkan hasil pada HOMER potensi energi listrik yang dihasilkan oleh *Wind Turbine* dikawasan Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh dengan memanfaatkan potensi energi angin yang didapat, menghasilkan energi listrik sebesar 45.714,82 KWh per tahunnya. Energi yang dihasilkan oleh *Wind Turbine* dapat memenuhi konsumsi energi pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh melihat konsumsi energi pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh hanya sebesar 13.541,30 KWh pertahun.

Kata kunci : Energi Terbarukan, Energi Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Abstract— *One of the fastest growing renewable energies in the world today is wind energy. Wind energy is a renewable energy that is very flexible, environmentally friendly and has good work efficiency. Most of the electricity demand in Aceh is still very dependent on the electricity supply (PLN) from North Sumatra. When there is the slightest disturbance, there will be rotating blackouts in several areas of Aceh. Therefore, the author will discuss the Planning of Wind Power Plants (Bayu) and determining the appropriate types of wind turbines. The location of this research is the Tengku Bullah Mosque, Malikussaleh University. The method used in this research is the literature study method and the experimental method. In addition, the software used in this research is HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources). The results of the research that have been carried out can be concluded that the wind speed obtained belongs to the criteria for the type of wind speed class 4. Based on HOMER, the potential for electrical energy produced by the Wind Turbine in the area of the Tengku Bullah Mosque, Malikussaleh University, by utilizing the potential of wind energy obtained generates 45,714.82 KWh of electrical energy per year while energy consumption is only 13,541.30 KWh per year.*

Keywords : Renewable Energy, Wind Energy, Wind Power Generation

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia dan dunia pada umumnya terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Pemakaian energi di Indonesia lebih dari 82 % adalah bersumber dari fosil atau minyak bumi, padahal pemakaian energi ini sudah tidak efektif

untuk dimanfaatkan lagi karena menimbulkan berbagai dampak yang tidak ramah dengan lingkungan [1]. Upaya-upaya pencarian sumber energi alternatif selain fosil menyemangati para peneliti di berbagai negara untuk mencari energi lain yang kita kenal sekarang dengan istilah energi terbarukan. Energi terbarukan dapat didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Energi terbarukan meliputi energi air,

panas bumi, matahari, angin, biogas, bio mass serta gelombang laut. Salah satu energi terbarukan yang sedang berkembang pesat saat ini ialah energi angin selain fleksibel, energi angin juga sering dimanfaatkan untuk bidang pertanian, perikanan dan bahkan bisa untuk pembangkitan energilistrik [2] [3] [4].

PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) adalah suatu sistem pembangkit yang membutuhkan atau memanfaatkan angin sebagai sumber yang akan dikonversikan menjadi energi listrik [5]. PLTB adalah pilihan utama pembangkit listrik untuk daerah dan tempat memiliki potensi energi angin yang relatif baik [6]. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja baik di daerah landai maupun dataran tinggi, walaupun demikian daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya [4] [7]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Target kapasitas PLTB pada tahun 2025 yakni 255 MW. Sementara hingga tahun 2020 PLTB baru terpasang sekitar 135 MW dengan perincian 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto. Dengan demikian pengembangan energi angin di Indonesia masih menjadi tantangan nasional [8] [9].

Berdasarkan survey Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (Lapan) di dua puluh daerah di Indonesia, kecepatan rata-rata angin di Indonesia per tahun sekitar 2 sampai 6 m/s. Beberapa daerah di Indonesia bagian timur memiliki kecepatan angin rata-rata 5 m/s [10]. Sementara itu Aceh merupakan salah satu provinsi yang potensi kecepatan anginnya stabil dengan kecepatan angin rata-rata tahunan sekitar 5,15 m/s. Tidak dapat dimungkiri saat ini sebagian besar kebutuhan listrik di Aceh masih sangat bergantung pada pasokan listrik (PLN) dari Sumatera Utara. Saat ada gangguan sedikit saja, akan terjadi pemadaman bergilir di beberapa wilayah Aceh PLN sendiri sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Untuk sebuah kebutuhan yang menggantikan beberapa dari penggunaan beban listrik yang sebelumnya disuplay dari PLN.

Pada penelitian ini, objek penelitian yang dilakukan adalah Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh. Mesjid Tengku Bullah ini terletak di Kampus Utama Jl. Cot Tengku Nie, Reuleut, Kecamatan Muara Batu, Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh. Mesjid Tengku Bullah ini terletak pada koordinat: 5°14'02.6"N 96°59'17.3"E. Mesjid ini juga terletak di dataran tinggi yang dimana lokasi tersebut dekat dengan pantai TimurUtara Aceh. Dengan demikian, potensi kecepatan angin yang dihasilkan kemungkinan besar relatif lebih tinggi dan lebih stabil. Atas dasar ini penulis akan membahas mengenai Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga

Angin (Bayu) Skala Kecil dan penentuan jenis tipe turbin angin yang sesuai yang akan dilakukan pada Mesjid Tengku Bullah, dengan memanfaatkan hembusan angin yang dijadikan sebagai sumber energi listrik. Energi listrik ini nantinya akan digunakan sebagai sumber energi tambahan dan untuk menggantikan beberapa dari penggunaan beban listrik yang sebelumnya disuplay dari PLN.

II. STUDI PUSTAKA

A. Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain di panaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan dari radiasi matahari. Kondisi bumi yang tidak homogen, sehingga terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, mengakibatkan terjadinya aliran udara pada wilayah tersebut [11] [12] [13].

Potensi energi angin di Indonesia dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3-5 m/s dan total daya yang dapat dibangkitkan sebesar 9.290 MW, ini merupakan salah satu potensi energi yang cukup besar, mengingat di Indonesia hanya memanfaatkannya sekitar 1% dari potensinya [14].

Tabel 1. Kelas Angin dan Kecepatan Angin

Kelas Angin	Kondisi Angin		
	Kecepatan Angin (m/d)	Kecepatan Angin (km/jam)	Kecepatan Angin (knot/jam)
1	0.3 - 1.5	1 - 5.4	0.58 - 2.92
2	1.6 - 3.3	5.5 - 11.9	23.11 - 6.42
3	3.4 - 5.4	312.0 - 19.5	6.61 - 10.06
4	5.5 - 7.9	19.6 - 28.5	10.7 - 15.4
5	8.0 - 10.7	28.6 - 38.5	15.6 - 20.8
6	10.8 - 13.8	38.6 - 49.7	621 - 26.8
7	13.9 - 17.1	49.8 - 61.5	27 - 33.3
8	17.2	20.7 61.6	74.5 33.5
9	20.8	24.4 74.6	87.9 40.5
10	24.5	28.4 88.0	102.3 47.7
11	28.5	32.6 102.4	117.0 55.4
12	>32.6 >118	>32.6 >118	>32.6 >118
	63.4	63.4	63.4

Sumber: Badan Meteorologi, klimatologi, dan Geofisika

Dari pendefinisian masing-masing kelas untuk kecepatan rata-rata angin seperti pada tabel 2.1 diatas, kategori angin dengan kecepatan rendah atau Low Wind Speed (LWS) berada pada klasifikasi kelas III dan kelas IV. Pada kelas II kecepatan rata-rata angin mencapai 1.6 m/s – 3.3 m/d dan untuk kelas VI kecepatan angin adalah 10.8 m/d - 13.8 m/d. angin. Selain dengan alat pengukur dapat juga diukur atau diperkirakan menggunakan tabel Skala Beaufort. Kecepatan rata-rata angin dapat dihitung menggunakan rumus berikut [15] [16] :

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n v_1 t_1}{\sum_{i=1}^n t_1} \quad (1)$$

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter juga dapat dilihat seperti pada tabel 2 berikut [17].

Tabel 2. Tingkatan Kecepatan Angin 10 meter di atas Permukaan Tanah

Tingkatan kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/d)	Kondisi Alam di Daratan
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, daun2 bergoyan
5	5,5 – 7,9	pelan, petunjuk arah angin bergerak
6	8,0 – 10,7	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
8	13,9 – 17,1	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpung berombak kecil
9	17,2 – 20,7	Ujung pohon melengkung, hembusan angin
10	20,8 – 24,4	terasa di telinga
11	24,5 – 28,4	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat
12	28,5 – 32,6	
13	32,7 – 36,9	

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

B. Konversi Energi Angin

Konversi energi adalah penggunaan secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan. Upaya konservasi energi ditetapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir, dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudayakan pola hemat energi dengan memanfaatkan energi yang dapat diperbaharui, dalam hal ini energi angin. Prinsip kerja dari sistem konversi energi angin adalah mengkonversikan energi kinetik angin menjadi listrik melalui putaran kumparan generator. Energi mekanik pada turbin angin diperoleh dari suatu proses konversi energy angin [10]. Proses pemanfaatan energi angin melalui dua tahapan konversi yaitu [14] :

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik, maka langkah pertama yang harus

dilakukan adalah menghitung energi dengan formula [11] :

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

Untuk mendapatkan massa udara dimisalkan suatu blok udara mempunyai penampang dengan luas A (m²), dan bergerak dengan kecepatan v (m/det), maka massa udara adalah yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A \cdot v \cdot \rho \quad (3)$$

Dengan persamaan (2) dan (3) dapat dihitung besar daya yang dihasilkan dari energy angin yaitu :

$$P = \frac{1}{2} A \cdot v^3 \cdot \rho \quad (4)$$

$$P = k \cdot A \cdot v^3 \quad (5)$$

Untuk mendapatkan daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan dari suatu kincir adalah :

$$a = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (6)$$

Kerapatan udara ρ diformulasikan sebagai berikut :

$$p = \frac{p}{R \cdot T} \quad (7)$$

Selanjutnya konversi energi angin menjadi energi listrik dapat menggunakan formula :

$$\frac{P_{syst}}{A} = 0,1454 \cdot v^3 \text{ (watt/m}^2\text{)} \quad (8)$$

Dan untuk selang waktu dt didapat :

$$\frac{P_{syst}}{A} = 0,1454 \cdot v^3 dt \text{ (watt/m}^2\text{)} \quad (9)$$

III. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi kepustakaan dilakukan untuk mencari materi yang mendukung dan sesuai dengan materi penelitian disamping sebagai bahan perbandingan dasan teori dari rangkaian yang dibuat. Sedangkan metode penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi pada obyek penelitian serta adanya kontrol. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini alat uji dipilih untuk diteliti. Jadi eksperimen merupakan observasi dibawah kondisi buatan, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti. Pola eksperimen yang dipakai adalah model one shot case study. Penelitian model ini sering disebut sebagai model sekali tembak, yaitu menggunakan suatu perlakuan atau treatment hanya satu kali selanjutnya dianalisis. Model *one shoot case study* ini dipilih karena berguna untuk pendekatan masalah-masalah yang dapat diteliti. Model *one shoot case study* juga dapat digunakan untuk mengembangkan ide atau

gagasan-gagasan yang muncul setelah dilakukan penelitian.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Tahap persiapan
 - a) Mempelajari sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) secara umum melalui studi literatur.
 - b) Mempelajari literatur untuk mengetahui perencanaan dalam membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) termasuk peralatan yang ada.
 - c) Menentukan Topik pembahasan dan output yang ingin dihasilkan dari penelitian
 - d) Mengumpulkan data-data atau parameter-parameter yang di perlukan dalam pelaksanaan penelitian
2. Tahap Pengambilan data
 - a) Data primer, adalah data langsung dari objek yang diteliti, yaitu melalui pengamatan langsung dilapangan dengan alat ukur yang ada.
 - b) Data sekunder, adalah data angin yang diambil diambil dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dan juga data diambil pada software HOMER.
3. Tahap Pengolahan data
 - a) Menghitung kecepatan rata – rata angin pada tempat lokasi penelitian.
 - b) Melakukan analisa energi dan efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang direncanakan.
 - c) Memilih komponen – komponen yang diperlukan dengan menghitung efisiensi dari komponen – komponen.
 - d) Menghitung biaya ekonomi dari biaya perencanaan dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).
 - e) Melakukan penulisan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

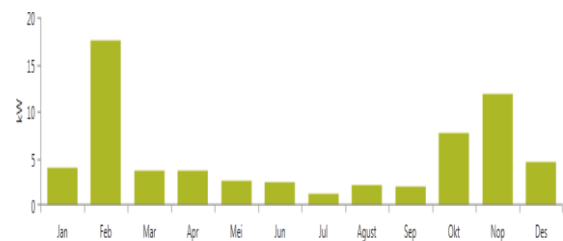
Berdasarkan hasil simulasi HOMER potensi rata-rata daya listrik yang dibangkitkan oleh Pembangkit listrik tenaga bayu dengan data kecepatan angin yang didapat yaitu sebagai berikut :

Tabel 1. Rata-Rata Daya yang dibangkitkan *Wind Turbine*

Bulan	kW/day
Januari	3,97
Februari	17,59
Maret	3,77
April	3,71
Mei	2,61
Juni	2,73
Juli	1,26
Agustus	2,18
September	1,92
Oktober	7,73
November	11,93

Desember	4,61
Rata-Rata	5,33

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa rata-rata daya listrik yang dapat dibangkitkan *Wind Turbine* dengan potensi kecepatan angin pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh yaitu sebesar 5,33 kW. Dimana daya listrik yang paling tinggi dihasilkan oleh *Wind Turbine* terdapat pada bulan Februari yaitu sebesar 17,59 kW dan yang paling rendah terdapat pada bulan Juli yaitu sebesar 1,26 kW. Untuk grafik rata-rata daya listrik yang dibangkitkan *Wind Turbine* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Grafik Rata-Rata Daya Listrik yang dibangkitkan

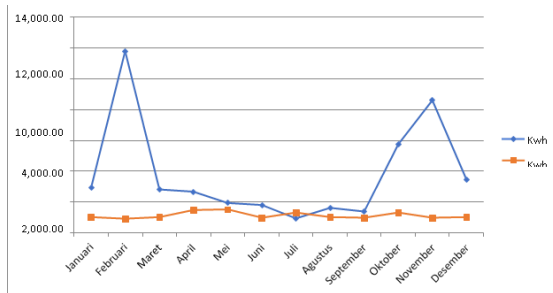
Berdasarkan hasil simulasi pada HOMER potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh *Wind Turbine* tiap bulannya berdasarkan kecepatan angin yang didapatkan yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. Potensi Energi Listrik yang dibangkitkan *Wind Turbine*

Bulan	kWh/day
Januari	2.953,435
Februari	11.788,21
Maret	2.808,835
April	2.672,018
Mei	1.944,435
Juni	1.815,108
Juli	939,3196
Agustus	1.628,299
September	1.386,867
Oktober	5.755,089
November	8.589,598
Desember	3.433,611
Rata-Rata	45.714,82

Pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa potensi energi listrik yang dihasilkan oleh *Wind Turbine* berdasarkan potensi kecepatan angin pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh yaitu sebesar 45.714,82 KWh. Dimana potensi energi listrik yang paling tinggi dihasilkan *Wind Turbine* terdapat pada bulan Februari yaitu sebesar 11.788,21 KWh, dan yang paling rendah terdapat pada bulan Juli yaitu sebesar 939,3196 KWh.

Setelah melakukan perhitungan konsumsi energi listrik pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh dan melihat potensi energi yang dihasilkan oleh *Wind Turbine* maka dapat dilihat perbandingan energi yang terpakai dengan energi yang dibangkitkan oleh *Wind Turbine*. Untuk perbandingan energi yang terpakai dengan energi yang dibangkitkan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Grafik Perbandingan Energi yang Terpakai dengan Energi yang dihasilkan Wind Turbine.

Keterangan :

Biru = Energi yang dihasilkan Wind Turbine

Orange = Energi yang terpakai

Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa potensi energi yang dihasilkan oleh Wind Turbine tiap bulannya melebihi pemakaian energi listrik pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh, kecuali pada bulan juli potensi energi yang dihasilkan oleh Wind Turbine tidak mencukupi pemakaian energi listrik pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka berdasarkan hasil kecepatan angin minimum, maksimum dan rata-rata pada kawasan Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh, dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang terjadi berpotensi untuk dimanfaatkan karena tergolong dalam kriteria jeniskecepatan angin kelas 4.

Hasil pada HOMER potensi energi listrik yang dihasilkan oleh Wind Turbine dikawasan Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh dengan memanfaatkan potensi energi angin yang didapat, menghasilkan energi listrik sebesar 45.714,82 KWh per tahunnya.

Dengan melihat konsumsi energi pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh yaitu sebesar 13.541,30 KWh pertahun, maka dapat disimpulkan bahwa energi yang dihasilkan oleh Wind Turbine dapat memenuhi konsumsi energi pada Mesjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sam and D. Patabang, "Studi Potensi Energi Angin Di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik," *SMARTek*, vol. 3, no. 1, 2005.
- [2] I. Daut, M. Irwanto, Y. M. Irwan, N. Gomesh, N. S. Ahmad, and others, "Potential of wind speed for wind power generation in Perlis, Northern Malaysia," *Telkomnika*, vol. 9, no. 3, p. 575, 2011.
- [3] Y. Daryanto, "Kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga bayu," 2007.
- [4] M. Syakirman, A. Bintoro, and A. Hasibuan, "SIMULASI PERBAIKAN TEGANGAN DENGAN PEMASANGAN TURBIN ANGIN PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL KOTA LHOSEUMAWE MENGGUNAKAN ETAP," *J. Energi Elektr.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–5, 2018.
- [5] R. Kurniawan, A. Nasution, A. Hasibuan, M. Isa, M. Gard, and S. V. Bhunte, "The Effect of Distributed Generator Injection with Different Numbers of Units on Power Quality in the Electric Power System," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 71–78, 2021.
- [6] A. Hasibuan, W. V. Siregar, A. Setiawan, and M. Daud, "Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Penerangan Pada Perahu Nelayan," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 85–88, 2021.
- [7] A. Hasibuan, S. Masri, and W. Othman, "Effect of distributed generation installation on power loss using genetic algorithm method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 308, no. 1, p. 12034.
- [8] A. P. Tampubolon, J. C. Adiatma, F. Tumiwa, and J. Giwangkara, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia," *IESR, Jakarta*, 2019.
- [9] H. Suyono, D. O. Prabawanti, M. Shidiq, R. N. Hasanah, U. Wibawa, and A. Hasibuan, "Forecasting of Wind Speed in Malang City of Indonesia using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Autoregressive Integrated Moving Average Methods," in *2020 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 2020, pp. 131–136.
- [10] M. Padmika, I. M. S. Wibawa, and N. L. P. Trisnawati, "Perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator," *Bul. Fis. Univ. Udayana*, vol. 18, no. 2, pp. 68–73, 2017.
- [11] M. R. Fachri and H. Hendrayana, "Analisa Potensi Energi Angin dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh," *CIRCUIT J.*

- Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [12] A. PRASETYO, “Studi potensi penerapan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia,” *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [13] R. Yunginger and others, “Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Gorontalo,” *Penelit. Dasar Keilmuan*, vol. 1, no. 1491, 2015.
- [14] A. Nelwan, “Karakteristik Weibull Pltb Miangas,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [15] B. P. P. DAERAH, “DESAIN AWAL TURBIN ANGIN LEPAS PANTAI DI GAMPONG ALUE NAGA.”
- [16] B. P. P. DAERAH, “EVALUASI KENYAMANAN RUANG TERBUKA HIJAU.”
- [17] M. N. Habibie, A. Sasmito, and R. Kurniawan, “Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku,” *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 12, no. 2, 2011.