Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

Studi Distribusi Kecepatan dan Densitas Daya Angin di Desa Sotboyak, Kepulauan Mentawai, Menggunakan Pendekatan Data Sekunder ERA5

Alfikri Ikhsan [a]

[a]*Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 23 Juni 2025
Revisi Akhir: 28 Juni 2025
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2025

KATA KUNCI

Energi Angin

ERA5

Sotbayak

KORESPONDENSI

E-mail:

alfikri.ikhsan@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Sotboyak Village, located in North Siberut District, Mentawai Islands, is one of the remote areas in Indonesia that remains unelectrified. This study aims to evaluate the wind energy potential in the region to assess its technical feasibility as an alternative energy source. Wind speed data were obtained from ERA5 reanalysis datasets for the period 2020–2024. ERA5 was selected due to its consistent historical coverage, high temporal resolution, and suitability for representing climate conditions in remote areas lacking direct observation stations. The analysis was conducted using MATLAB to examine annual trends and probability distributions of wind speed and wind power density. Results show that the annual average wind speed ranged from 1.72 to 1.95 m/s, with a five-year average of 1.81 m/s. The wind power density was recorded between 6.7 and 9.1 W/m², with a mean value of 7.51 W/m². The highest value occurred in May 2022, when daily peak wind speed reached 6.19 m/s and wind power density peaked at 145.17 W/m². However, most monthly average wind speeds remained below 2 m/s, with daily distributions concentrated in the 1–2.5 m/s range. The modal wind speed was around 1.5 m/s, and the modal power density was approximately 2.5 W/m². According to the NREL wind resource classification, this location falls into Wind Power Class 1, which is considered unsuitable for wind energy development, even at a small scale. Therefore, the technical potential of wind energy in Sotboyak Village is classified as very low and is not recommended as a primary energy source.

1. PENDAHULUAN

Akses terhadap energi listrik yang andal dan berkelanjutan merupakan prasyarat utama bagi peningkatan kualitas hidup, produktivitas masyarakat, dan pembangunan daerah. Di Indonesia, masih terdapat wilayah-wilayah tertinggal yang belum sepenuhnya teraliri listrik, terutama di kawasan 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar). Salah satu wilayah tersebut adalah Kabupaten Kepulauan Mentawai di Provinsi Sumatra Barat. Hingga tahun 2024 masih terdapat sejumlah desa di Mentawai yang belum mendapatkan akses listrik dari jaringan PLN, termasuk Desa Sotboyak yang terletak di Kecamatan Siberut Utara [1].

Desa Sotboyak memiliki luas wilayah 42,83 km² dan dihuni oleh 719 jiwa, yang terdiri dari 373 laki-laki dan 346 perempuan. Secara administratif, desa ini terbagi menjadi tiga dusun, yaitu Sotboyak, Simanene, dan Maseai. Lokasinya cukup terpencil, dengan jarak sekitar 13 km dari ibu kota kecamatan, 140 km dari ibu kota kabupaten, dan 167 km dari ibu kota provinsi. Berdasarkan data Badan Pusat

https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.29-35.2025

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

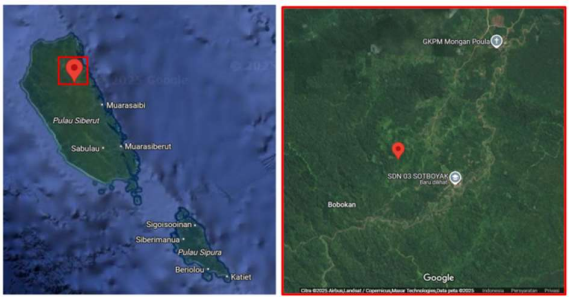
Statistik, terdapat 121 kepala keluarga (KK) yang belum teraliri listrik, dan 75 KK lainnya hanya mengandalkan sumber listrik non-PLN seperti genset atau panel surya [2]. Sistem kelistrikan di Mentawai saat ini disuplai melalui jaringan 20 kV dengan total daya terpasang sebesar 9,5 MW dan daya netto sebesar 5,5 MW. Beban puncaknya tercatat sebesar 3,3 MW [3]. Dalam dokumen Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034, pengembangan energi baru terbarukan (EBT) seperti tenaga surya, biomassa, dan angin menjadi bagian dari strategi dedieselisasi dan elektrifikasi desa-desa terpencil di Mentawai [3].

Beberapa studi sebelumnya telah meneliti potensi pemanfaatan energi terbarukan di wilayah Mentawai, khususnya sistem hybrid berbasis diesel, fotovoltaik, dan angin di wilayah Peipei Hamlet, Siberut Barat Daya [4][5]. Namun, belum terdapat kajian yang memetakan secara spesifik karakteristik angin di Desa Sotboyak berdasarkan data kecepatan angin historis multiyear. Padahal, evaluasi awal terhadap potensi angin penting sebagai langkah dasar untuk menentukan kelayakan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di lokasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan potensi energi angin di Desa Sotboyak menggunakan data reanalisis ERA5 selama periode 2020 hingga 2024 pada koordinat –1,1916 LS dan 98,918 BT. Analisis difokuskan pada visualisasi distribusi kecepatan angin dan identifikasi frekuensi dominan sepanjang waktu untuk mendukung kajian awal kelayakan energi angin. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan data awal yang mendukung pengembangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil sebagai solusi elektrifikasi berbasis EBT di wilayah desa terpencil.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan Cakupan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Sotboyak, Kecamatan Siberut Utara, Kabupaten Kepulauan Mentawai, Provinsi Sumatera Barat. Wilayah ini termasuk dalam daftar desa yang belum teraliri listrik oleh PLN, sehingga memiliki urgensi tinggi untuk pengembangan energi terbarukan. Lokasi pengambilan data ditentukan pada koordinat 98,918° BT dan –1,1916° LS seperti yang terlihat pada Gambar 1, yang mewakili pusat aktivitas masyarakat desa berdasarkan data geospasial [2]. Studi ini terbatas pada analisis kecepatan angin dan densitas daya angin berdasarkan data aktual di ketinggian 10 meter tanpa konversi ke dalam bentuk energi listrik (kWh).



Gambar 1. Titik Pengambilan Data

2.2. Sumber Data dan Karakteristik

Data kecepatan angin diperoleh dari dataset reanalisis ERA5 yang dikembangkan oleh European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) dan tersedia melalui platform Copernicus Climate Data Store (CDS) [6]. Dataset ini memiliki resolusi spasial 0,25° × 0,25° dan resolusi temporal 1 jam. Periode data yang digunakan dalam penelitian mencakup 1 Januari 2020 hingga 31 Desember 2024. Variabel utama yang diambil adalah kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah. File data diunduh dalam format NetCDF (.nc), dan titik data dipilih berdasarkan grid ERA5 terdekat dengan koordinat Desa Sotboyak seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Product type	Reanalysis
Variable	10m u-component of wind, 10m v-component of wind
Year	2020, 2021, 2022, 2023, 2024
Month	January, February, March, April, May, June, July, August, September, October, November, December
Day	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
Time	08:00
Geographical area	North: -1.18°, West: 98.91°, South: -1.2°, East: 98.92°
Data format	NetCDF4 (Experimental)

Gambar 2. Variabel Pengambilan Data

 https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.29-35.2025

2.3. Prosedur Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Tahapan awal meliputi pembacaan file NetCDF menggunakan fungsi ncread, konversi format waktu menggunakan datetime, serta seleksi data berdasarkan lokasi koordinat yang ditetapkan. Nilai kecepatan angin (m/s) kemudian digunakan untuk menghitung densitas daya angin *P* berdasarkan persamaan (1):

$$P = \frac{1}{2} p v^3 \quad (1)$$

Perhitungan ini dilakukan untuk setiap jam selama lima tahun, menghasilkan lebih dari 43.800 data per tahun. Selanjutnya, data dikelompokkan berdasarkan tahun untuk menghitung nilai rata-rata tahunan dari kecepatan angin dan densitas daya angin. Selain itu, dilakukan analisis nilai distribusi dari kedua parameter tersebut guna mengidentifikasi nilai yang paling sering muncul setiap tahun.

2.4. Visualisasi dan Interpretasi

Visualisasi hasil dilakukan untuk memperjelas pola musiman dan distribusi statistik dari data angin. Grafik garis digunakan untuk menampilkan rata-rata bulanan kecepatan angin dan densitas daya selama tahun 2020–2024. Untuk menjaga keterbacaan, grafik dibagi menjadi dua periode: 2020–2022 dan 2023–2024. Grafik ini membantu mengidentifikasi tren tahunan dan periode dengan potensi angin tertinggi.

Selain itu, distribusi probabilitas nilai harian dianalisis menggunakan *Probability Density Function* (PDF) yang dibentuk dari histogram normalisasi. Dua PDF disajikan, masing-masing untuk kecepatan angin dan densitas daya. Nilai modus ditandai pada masing-masing grafik untuk menunjukkan kondisi dominan yang paling sering terjadi. Interpretasi hasil didasarkan pada kecocokan nilai-nilai dominan dan rata-rata terhadap standar teknis, seperti batas *cut-in speed* turbin dan klasifikasi *Wind Power Class* dari NREL. Pendekatan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai pola temporal dan kelayakan potensi energi angin di lokasi studi.

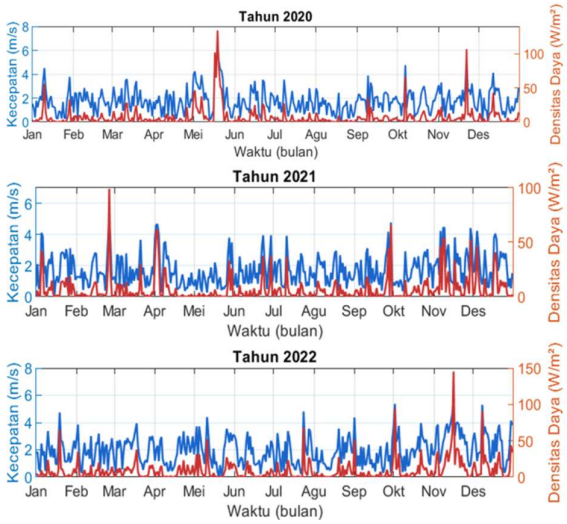
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pola Musiman Kecepatan dan Densitas Daya Angin

Gambar **3** dan Gambar **4** menunjukkan kecepatan angin untuk periode 2020–2024 menunjukkan bahwa karakteristik kecepatan dan densitas daya angin di Desa Sotboyak mengalami fluktuasi musiman yang khas, mencerminkan pengaruh dinamika angin muson dan efek lokal pesisir barat Sumatra. Peningkatan kecepatan angin umumnya terjadi pada bulan Mei, November, dan Desember, yang bertepatan dengan transisi antar musim. Gambar **3** menunjukkan distribusi kecepatan dan *power wind density* selama tiga tahun pertama observasi (2020–2022), puncak kecepatan angin tercatat pada Mei 2020 sebesar 5,76 m/s, Desember 2021 sebesar 5,45 m/s, dan Mei 2022 dengan nilai tertinggi mencapai 6,19 m/s yang merupakan kecepatan maksimum selama lima tahun terakhir. Di sisi lain, kecepatan angin minimum tercatat pada Februari 2020 sebesar 0,04 m/s, September 2021 sebesar 0,07 m/s, dan Oktober 2022 sebesar 0,05 m/s yang terlihat pada Gambar 3.

Pola musiman densitas daya angin mengikuti tren yang serupa. Nilai maksimum terjadi pada bulan Mei 2020 sebesar 134,11 W/m², Desember 2021 sebesar 99,03 W/m², dan kembali pada Mei 2022 dengan nilai puncak mencapai 145,17 W/m². Densitas minimum tercatat pada Februari 2020 dengan hanya 0,00004 W/m², Agustus 2021 sebesar 0,0002 W/m², dan Oktober 2022 sebesar 0,00006 W/m². Selama tahun 2023 dan 2024, pola musiman tetap ada namun dalam intensitas yang lebih rendah. Kecepatan angin tertinggi tercatat pada Desember 2023 sebesar 5,42 m/s dan November 2024 sebesar 4,87 m/s, sementara nilai minimumnya masih berada di bawah 0,3 m/s. Secara umum, meskipun terdapat bulan-bulan dengan peningkatan signifikan, rata-rata bulanan kecepatan angin tetap berada di bawah 2 m/s, dengan dominasi kecepatan rendah (< 3 m/s)

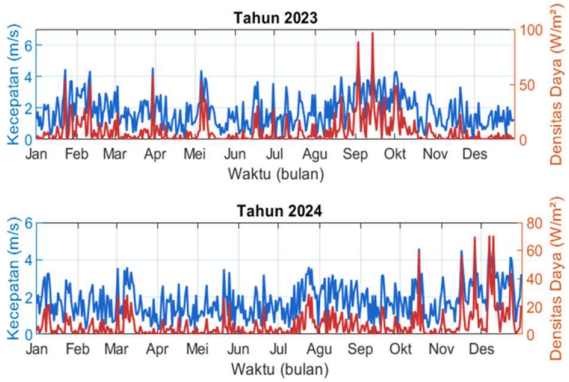
hampir sepanjang tahun. Hal ini menegaskan bahwa potensi energi angin di Desa Sotboyak bersifat sangat terbatas untuk aplikasi pembangkitan listrik.[6].



Gambar 3. Pola musiman kecepatan angin dan densitas daya angin (2020–2022)

Gambar 4 memperlihatkan kondisi kecepatan dan densitas daya angin pada tahun 2023 dan 2024 yang cenderung mengalami penurunan dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Pada tahun 2024, kecepatan angin maksimum hanya mencapai 4,87 m/s, lebih rendah dari puncak tahun 2022 yang mencapai 6,19 m/s. Demikian pula, nilai densitas daya tertinggi pada periode ini tercatat sebesar 70,65 W/m², yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan tahun 2022 yang mencapai lebih dari 145 W/m². Selain itu, tidak ditemukan pola musiman yang konsisten selama dua tahun terakhir ini. Fluktuasi kecepatan dan densitas angin terlihat acak, tanpa adanya tren peningkatan yang stabil pada bulan-bulan tertentu seperti yang sempat terlihat pada tahun 2020–2022.

Mayoritas bulan menunjukkan nilai rata-rata kecepatan angin di bawah 2 m/s, dengan variasi antarbulan yang relatif kecil. Ketidakteraturan ini mencerminkan lemahnya dinamika angin lokal di wilayah tersebut dan rendahnya intensitas gangguan atmosfer regional pada periode tersebut. Secara keseluruhan, kondisi kecepatan angin yang rendah dan tidak stabil ini mengindikasikan bahwa potensi energi angin di Desa Sotboyak sangat terbatas. Berdasarkan klasifikasi performa turbin, kecepatan angin yang tercatat bahkan belum mencapai ambang batas minimal operasional untuk turbin dengan kecepatan awal rendah *(low cut-in speed)*, yaitu sekitar 3 m/s [7]. Dengan demikian, implementasi pembangkitan listrik tenaga angin di wilayah ini diperkirakan tidak akan efektif dari sisi teknis maupun ekonomi.[7].



Gambar 4. Pola musiman kecepatan angin dan densitas daya angin (2023–2024)

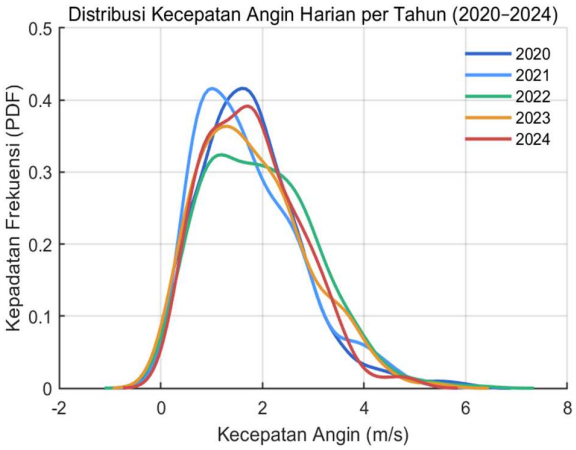
3.2. Distribusi Probabilitas Kecepatan Angin

Distribusi probabilitas kepadatan frekuensi (PDF) kecepatan angin harian di Desa Sotboyak selama periode 2020 hingga 2024 ditampilkan pada Gambar 5. Sebagian besar nilai kecepatan angin berada dalam kisaran 1 hingga 2,5 m/s, dengan nilai puncak (modus) konsisten di sekitar 1,5 m/s untuk seluruh tahun. Bentuk distribusi yang miring ke kanan *(positively skewed)* menegaskan dominasi kondisi angin lambat. Kondisi ini mencerminkan karakteristik klimatologis wilayah pesisir tropis seperti Mentawai yang sangat dipengaruhi oleh sirkulasi angin lokal.

Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Widiyanto [8], yang menyimpulkan bahwa wilayah pesisir Cilacap menunjukkan distribusi kecepatan angin dengan rentang serupa (< 3 m/s), dan dianggap tidak ideal untuk pengoperasian turbin angin konvensional. Secara teknis, sebagian besar turbin skala kecil memiliki kecepatan minimum operasi *(cut-in speed)* antara 3 hingga 4 m/s, sehingga kondisi angin di Desa Sotboyak tergolong

 https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.29-35.2025

tidak memenuhi syarat teknis untuk pembangkitan energi angin.

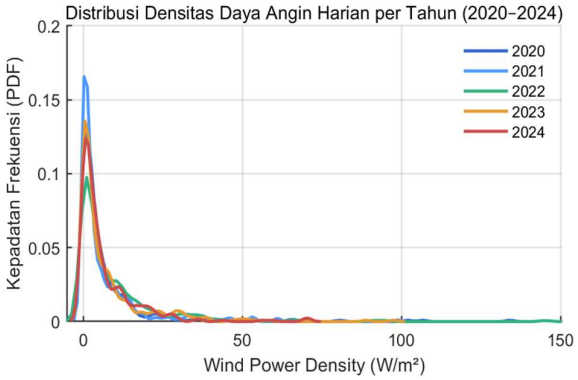


Gambar 5. Distribusi probabilitas kecepatan angin (2020–2024).

3.3. *Distribusi Probabilitas Densitas Daya Angin*

Distribusi densitas daya angin harian, seperti yang terlihat pada Gambar 6, menunjukkan sebagian besar nilai berkisar antara 0–20 W/m², dengan modus sekitar 2,5 W/m². Kurva distribusi ini sangat miring ke kanan, menandakan bahwa nilai-nilai tinggi sangat jarang terjadi. Menurut klasifikasi Wind Power Class dari NREL, wilayah dengan densitas daya < 100 W/m² tergolong Kelas 1 kategori yang dianggap *tidak layak* untuk pembangkitan listrik tenaga angin[9].

Selain itu, studi lanjutan di kawasan pesisir Finlandia dan Thailand menemukan bahwa lokasi dengan daya angin < 50 W/m² tidak memberikan prospek investasi teknis maupun ekonomis untuk turbin skala kecil hingga menengah. Khususnya, penelitian terhadap lokasi di Kudat dan Langkawi melaporkan densitas daya rata-rata antara 3,6 hingga 29,4 W/m², yang diklasifikasikan sebagai kelas 1, dan dinyatakan tidak layak untuk pengembangan besar [7].



Gambar 6. Distribusi Densitas Daya Angin (2020–2024)

3.4. *Evaluasi Kelayakan Berdasarkan Standar*

Tabel 1 menyajikan ringkasan statistik utama kecepatan dan densitas daya angin selama periode observasi 2020–2024. Kecepatan angin rata-rata tahunan berkisar antara 1,72–1,95 m/s, sedangkan densitas daya angin berada dalam kisaran 6,7–9,1 W/m². Jika dibandingkan dengan standar kelayakan teknis internasional, nilai-nilai ini termasuk dalam kategori sangat rendah dan tidak mencukupi untuk pengoperasian turbin angin secara optimal.

Tabel 1. Statistik Kecepatan dan Densitas Daya Angin (2020-2024)

Parameter	Nilai Rata-rata	Kategori (Standar)
Kecepatan angin	1,81 m/s	Tidak layak (< 3 m/s) [7]
Densitas daya	7,51 W/m²	Kelas 1 (< 100 W/m²) [9]

Menurut pedoman dari International Renewable Energy Agency (IRENA) [10] dan NREL [9], lokasi dengan kecepatan angin di bawah 3 m/s dan densitas daya di bawah 100 W/m² tidak direkomendasikan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Secara khusus, kecepatan angin rata-rata 1,81 m/s pada Desa Sotboyak berada jauh di bawah batas minimum operasional turbin angin konvensional yang umumnya memerlukan cut-in speed minimal 3–4 m/s. Sementara itu, nilai densitas daya rata-rata sebesar 7,51 W/m² hanya sekitar 7,5% dari ambang

batas teknis kelayakan. Dengan mempertimbangkan seluruh data observasi serta klasifikasi kelayakan teknis internasional, maka dapat disimpulkan bahwa Desa Sotboyak tidak memiliki potensi teknis yang memadai untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, baik dalam skala rumah tangga, hybrid, maupun komersial.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah mengevaluasi potensi energi angin di Desa Sotboyak, Kecamatan Siberut Utara, Kabupaten Kepulauan Mentawai, dengan menggunakan data reanalisis ERA5 periode 2020–2024. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata tahunan hanya berada pada kisaran 1,72 hingga 1,95 m/s, dengan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 1,81 m/s. Densitas daya angin tahunan tercatat sangat rendah, yaitu antara 6,7 hingga 9,1 W/m², dengan rata-rata sebesar 7,51 W/m². Nilai-nilai tersebut secara konsisten berada jauh di bawah standar minimum yang diperlukan untuk pengoperasian turbin angin dan masuk dalam kategori Wind Power Class 1, yang menunjukkan wilayah tidak layak untuk pemanfaatan energi angin. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa Desa Sotboyak tidak memiliki potensi teknis maupun ekonomis untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, baik skala rumah tangga maupun komersial. Oleh karena itu, disarankan untuk mengalihkan fokus perencanaan energi terbarukan di wilayah ini ke sumber energi alternatif yang lebih potensial, seperti energi surya, yang lebih sesuai dengan kondisi geografis dan karakteristik iklim setempat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Antara News, "Jelajah Mentawai Terang: Upaya PLN Bangkitkan Perekonomian Daerah Tertinggal," *Antara Sumbar*, 2023.

[2] Badan Pusat Statistik, "Kecamatan Siberut Utara dalam Angka," *Mentawai BPS Kabupaten Kepul. Mentawai*, vol. 24, 2024.

[3] PT. Perusahaan Listrik Negara, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025–2034," *PT. PLN Persero*, 2025.

[4] Syafii, Wati, and R. Fahreza, "Techno-economic-enviro optimization analysis of diesel/pv/wind with pumped hydro storage for mentawai island microgrid," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 10, no. 5, pp. 2396–2404, 2021, doi: 10.11591/eei.v10i5.3167.

[5] S. Syafii, P. Anugrah, H. D. Laksono, and H. Yamashika, "Economic Feasibility Study on PV/Wind Hybrid Microgrids for Indonesia Remote Island Application," *TEM J.*, vol. 10, no. 4, pp. 2001–2006, 2021, doi: 10.18421/TEM104-66.

[6] C. D. S. Copernicus Climate Change Service, "ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present," *Copernicus Clim. Chang. Serv. Clim. Data Store*, no. DOI: 10.24381/cds.adbb2d47, 2023.

[7] Z. Arifin, H. Suyanto, H. Aziz, and T. Elektro, "Tipe Nt1000W Di Wilayah Terpencil," *J. Energi Kelistrikan*, vol. VOL. 10 NO, 2018.

[8] W. (Wahyu) Widiyanto, "Analisis Probabilitas Kecepatan Angin Untuk Pesisir Cilacap Dengan Menerapkan Distribusi Weibull Dan Rayleigh," *Din. Rekayasa*, vol. 9, no. 1, pp. 10–16, 2013, [Online]. Available: https://www.neliti.com/publications/59072/.

[9] AWS Scientific *et al.*, "Fundamentals for Conducting a Successful Monitoring Program," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, no. 1, pp. 200–220, 2016, [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2016.08.002%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.052.

[10] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy Prospects: Indonesia*, no. March. 2017.

NOMENKLATUR

v	Kecepatan angin
ρ	Massa jenis udara
A	Luas area sapuan turbin

P	Densitas daya angin
$\bar{v}$	Kecepatan angin rata-rata
$Pavg$	Rata-rata densitas daya angin
PDF	Fungsi distribusi probabilitas *(Probability Density Function)*
t	Waktu