

Kajian Potensi Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan Metode Simpangan Baku Distribusi Weibull

Dimas Muhammad Fauzan*, Yandri, Ayong Hiendro

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat

*Koresponden email: dimasagungpermadi@unja.ac.id

Diterima: 15 September 2025

Disetujui: 20 September 2025

Abstract

This study evaluates the wind energy potential in West Kalimantan by utilizing annual wind speed data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) Supadio Pontianak, recorded from January 1 to December 31, 2024. The analysis applies the standard deviation method within the Weibull distribution to determine the shape k and scale c parameters, which are subsequently used for estimating the annual energy output of a wind turbine. Research procedures include secondary data collection, wind speed data processing, statistical analysis, Weibull parameter estimation, model validation using Mean Absolute Error (MAE), and energy potential calculation based on the turbine power curve. Results show that the average wind speed is 5.11 knots (2.63 m/s) with a standard deviation of 2.96 knots, resulting in $k=1.8182$ and $c=5.7726$ knots. The Weibull model fits the observed data well, with an MAE of 0.06666. The Aeolos-H 3 kW turbine was chosen as a case study, showing an estimated annual energy production of 261.890 kWh. These findings demonstrate that even under low to moderate wind conditions, properly selected turbines can generate meaningful electricity output. This study provides insights for small-scale renewable energy development and supports technology selection for wind power generation in low-wind-speed regions of Indonesia.

Keywords: *wind energy, weibull distribution, standard deviation method, renewable energy*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi energi angin di Kalimantan Barat dengan memanfaatkan data kecepatan angin tahunan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Supadio Pontianak pada periode 1 Januari hingga 31 Desember 2024. Analisis dilakukan dengan metode simpangan baku pada distribusi Weibull untuk menentukan parameter bentuk k dan parameter skala c , yang kemudian digunakan dalam estimasi produksi energi tahunan turbin angin. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data sekunder, pengolahan data kecepatan angin, analisis statistik, perhitungan parameter Weibull, validasi model dengan Mean Absolute Error (MAE), serta estimasi energi berdasarkan kurva daya turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata adalah 5,11 knot (2,63 m/s) dengan simpangan baku 2,96 knot, menghasilkan $k=1,8182$ dan $c=5,7726$ knot. Model Weibull menunjukkan kecocokan yang baik terhadap data pengamatan dengan nilai MAE sebesar 0,06666. Turbin Aeolos-H 3 kW dipilih sebagai studi kasus, dengan estimasi produksi energi tahunan sebesar 261.890 kWh. Temuan ini membuktikan bahwa meskipun kondisi angin di wilayah penelitian tergolong lemah hingga sedang, pemilihan turbin yang sesuai tetap mampu menghasilkan energi listrik yang signifikan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan energi terbarukan skala kecil serta pemilihan teknologi turbin angin di daerah berkecepatan angin rendah di Indonesia.

Kata Kunci: *energi angin, distribusi weibull, metode simpangan baku, energi terbarukan*

1. Pendahuluan

Gas alam merupakan salah satu jenis energi fosil yang terbentuk melalui proses dekomposisi bahan organik dalam waktu yang sangat panjang. Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya menyebabkan kebutuhan energi juga meningkat, sehingga konsumsi bahan bakar fosil kian besar. Jika kondisi tersebut terus berlanjut tanpa adanya upaya pengendalian, maka dikhawatirkan akan menimbulkan krisis energi. Oleh sebab itu, pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi salah satu alternatif strategis, mengingat potensi sumber dayanya yang sangat besar di Indonesia [1].

Energi baru terbarukan merupakan energi yang bersumber dari alam, ketersediaannya melimpah, dapat diperbarui, dan dimanfaatkan secara berkesinambungan [2]. Sejak diberlakukannya PP Nomor 112 Tahun 2022 terkait percepatan pengembangan energi listrik berbasis energi terbarukan untuk mengantikan pembangkit berbahan bakar fosil, pemerintah semakin mendorong pemanfaatan energi ramah lingkungan

[3]. Indonesia memiliki beragam potensi energi terbarukan, mulai dari tenaga surya, panas bumi, air, biomassa, hingga energi angin, yang seluruhnya dapat dimanfaatkan tanpa merusak lingkungan [4].

Energi angin merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang cukup menjanjikan untuk dikembangkan karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin untuk memutar turbin, kemudian menghasilkan energi mekanik yang akan diubah menjadi energi listrik. Proses perubahan ini dikenal sebagai konversi energi angin, sedangkan perangkat utamanya adalah turbin angin [5].

Untuk mengetahui potensi daya listrik yang bisa diperoleh dari energi angin, diperlukan analisis data kecepatan angin menggunakan metode statistik [6]. Salah satu metode yang umum digunakan adalah distribusi Weibull, karena mampu memodelkan distribusi kecepatan angin dengan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap data lapangan [7].

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji potensi energi angin di Indonesia, khususnya di wilayah Kalimantan, sekaligus menghitung estimasi energi listrik yang dapat dihasilkan melalui penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Angin merupakan pergerakan udara yang terjadi saat adanya perbedaan tekanan di atmosfer sehingga menimbulkan aliran dari satu wilayah ke wilayah lain [9]. Energi angin dapat dimanfaatkan melalui turbin untuk menghasilkan listrik. Pemanfaatan energi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga dapat mengurangi dampak lingkungan [12]. PLTB mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Angin yang berhembus akan menggerakkan bilah turbin, kemudian gerakan tersebut diteruskan ke rotor dan generator. Putaran rotor pada generator menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan secara langsung atau disimpan dalam baterai [8]. Turbin angin merupakan perangkat mekanis yang dirancang khusus untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Pada umumnya, turbin angin modern memiliki 2–3 bilah dengan sumbu horizontal dan dihubungkan langsung ke jaringan listrik [13]. Turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT) memiliki rotor yang sejajar dengan arah aliran angin. Turbin ini dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah bilah yang digunakan.

2.2 Distribusi weibull

Distribusi Weibull digunakan untuk menggambarkan pola kecepatan angin, di mana $f(v)$ merepresentasikan fungsi densitas probabilitas (PDF). Distribusi ini ditentukan oleh dua fungsi, yaitu fungsi densitas probabilitas dan fungsi distribusi kumulatif. Weibull menjadi salah satu model distribusi yang paling banyak digunakan untuk memodelkan kecepatan angin, karena bentuknya yang fleksibel sehingga dapat menyesuaikan berbagai pola data angin. Dalam bidang energi angin, distribusi Weibull sering diterapkan untuk memperkirakan potensi energi berdasarkan data kecepatan angin dalam periode tertentu [15][16][17] :

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (1)$$

Dengan demikian, fungsi distribusi kumulatif Weibull $F(v)$ diperoleh melalui proses integrasi dari fungsi densitas probabilitas Weibull [7]. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut [10][11]:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

2.3 Metode Simpangan Baku

Untuk menganalisis kecepatan angin menggunakan distribusi Weibull, kita harus memperkirakan parameter k dan c , untuk itu pada penelitian ini kita menggunakan metode simpangan baku. Namun, untuk menentukan nilai parameter harus ditentukan nilai rata-rata (V_m) dan nilai simpangan baku (σ_v). Untuk menentukan nilai (V_m) kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut [14] :

$$V_m = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i v_i^3}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Dan untuk menentukan nilai σ_v kita menggunakan rumus sebagai berikut [14] :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (v_i - V_m)^2}{\sum_{i=1}^n f_i}} \quad (4)$$

Dimana :

V_m = nilai rata-rata kecepatan angin (knot)

σ_v = Simpangan baku (knot)

v = nilai kecepatan angin (knot)

f_i = Nilai pengukuran frekuensi kecepatan angin

Untuk mendapatkan nilai k pada metode simpangan baku secara sederhana didefinisikan [14] :

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{V_m} \right)^{-1.090} \quad (5)$$

Setelah ditentukan nilai k , selanjutnya kita menentukan nilai c dengan persamaan [14] :

$$c = \frac{2 V_m}{\sqrt{\pi}} \quad (6)$$

Setelah mengetahui nilai parameter k dan c terdapat indeks kesesuaian atau kriteria statistik untuk mengidentifikasi apakah pendekatan yang dilakukan sudah baik atau tidak. Pada penelitian kali ini digunakan *Mean Absolute Eror* (MAE) sebagai indeks kesesuaian untuk membandingkan data yang diperoleh dari pengukuran dengan data prediksi yang telah dihitung. MAE menunjukkan nilai rata-rata kesalahan (*eror*) absolut antara hasil pendekatan dengan nilai sebenarnya. Rumus dinyatakan sebagai [18] :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i(v) - F(v)| \quad (7)$$

Dimana : $F_i(v)$ = Data Distribusi Kumulatif pengukuran

$F(v)$ = Data Distribusi Kumulatif metode simpangan baku

2.4 Penentuan Energi Tahunan

Setelah mengetahui parameter k dan c kemudian dihitung menggunakan pendekatan *Weibull*, dengan mendapatkan data kurva daya kita dapat melakukan estimasi terhadap energi tahunan yang dihasilkan. Untuk menentukan energi tahunan yang dihasilkan oleh masing-masing turbin angin kita dapat menggunakan persamaan [7][19] :

$$E_{out} = T \sum_{v=v_{in}}^{v=v_0} P(v) f(v) \quad (8)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (1) ke persamaan (8) maka persamaan menjadi [7] :

$$E_{out} = T \sum_{v=v_{in}}^{v=v_0} P(v) \left[\frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} \right] \quad (9)$$

Dimana :

E_{out} = Energi listrik yang dihasilkan (kWh)

T = Jumlah waktu kecepatan angin dalam satu tahun (h)

$P(v)$ = Daya turbin angin (kW)

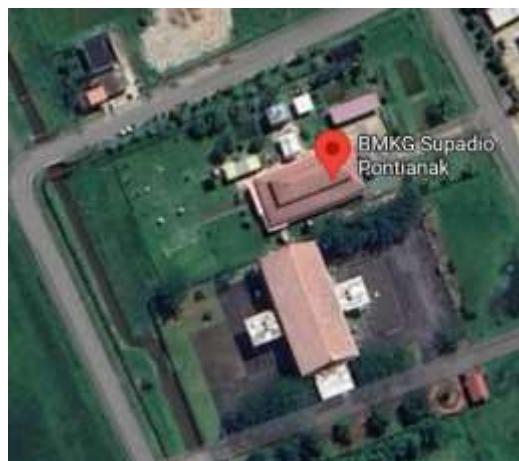
$f(v)$ = Fungsi kerapatan probabilitas weibull

k = parameter bentuk

c = parameter skala (knot)

2.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif untuk menganalisis potensi energi angin sebagai sumber pembangkit listrik tenaga bayu. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa kecepatan angin harian selama periode satu tahun (1 Januari–31 Desember 2024) yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Stasiun Supadio Pontianak. Data tersebut merupakan hasil pencatatan menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS) pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah. Selain itu, data teknis mengenai turbin angin yang digunakan dalam penelitian juga dikumpulkan, meliputi kapasitas nominal, daya keluaran, serta kecepatan potong (cut-in, rated, dan cut-out) sesuai dengan spesifikasi dari pabrikan.



Gambar 1: Lokasi Penelitian

Sumber: Google Earth

Adapun alat yang dibutuhkan dalam penelitian meliputi laptop dengan perangkat lunak pengolah data (Microsoft Excel dan MATLAB) untuk perhitungan distribusi statistik, serta kalkulator untuk mendukung perhitungan manual. Bahan penelitian berupa data kecepatan angin selama satu tahun dan data spesifikasi teknis turbin angin tipe Aeolos-H yang menjadi objek studi.



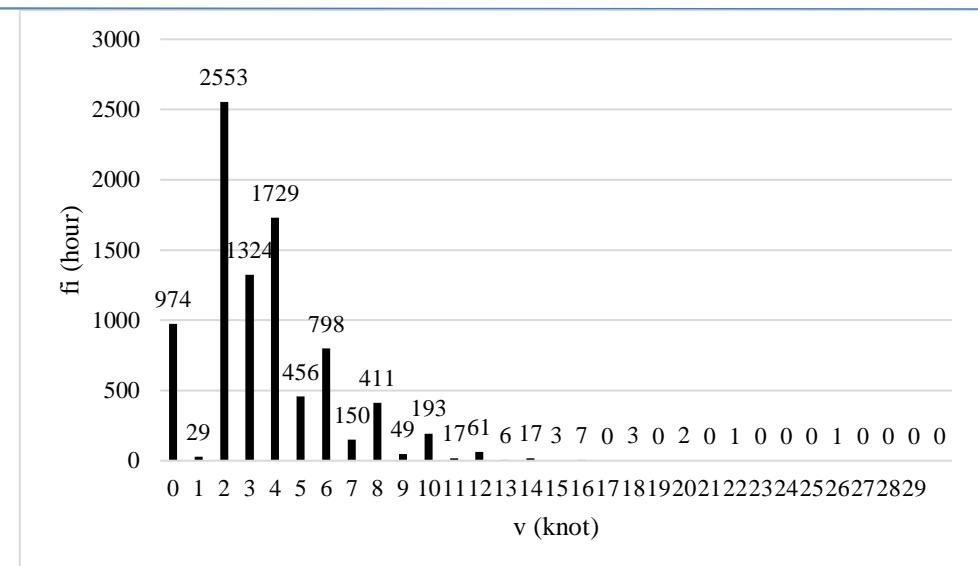
Gambar 2 : Diagram Alir Penelitian

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Probabilitas Dan Distribusi Kumulatif Kecepatan Angin

Gambar 3 merupakan hasil pengukuran kecepatan angin yang dihimpun oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Supadio yang diukur menggunakan AWS (*Automatic Weather Station*) dengan tinggi pemasangan alat 10 meter di atas permukaan tanah. pengukuran dilakukan selama satu tahun mulai dari tanggal 1 Januari-31 Desember 2024.

Dengan menggunakan data pada **Gambar 3** kita dapat menentukan probabilitas dan distribusi kumulatif kecepatan angin selama satu tahun. **Tabel 1** menampilkan data probabilitas kecepatan angin tahunan dan distribusi kumulatifnya dalam satuan knot.

**Gambar 3.** Data pengukuran Frekuensi Kecepatan Angin BMKG Supadio**Tabel 1.** Distribusi kumulatif kecepatan angin

v (knot)	p_i	$F_i(v)$	v (knot)	p_i	$F_i(v)$
0	0,11088	0,11088	15	0,00034	0,99841
1	0,0033	0,11418	16	0,0008	0,99921
2	0,29064	0,40482	17	0	0,99921
3	0,15073	0,55555	18	0,00034	0,99955
4	0,19684	0,75239	19	0	0,99955
5	0,05191	0,8043	20	0,00023	0,99978
6	0,09085	0,89515	21	0	0,99978
7	0,01708	0,91223	22	0,00011	0,99989
8	0,04679	0,95902	23	0	0,99989
9	0,00558	0,9646	24	0	0,99989
10	0,02197	0,98657	25	0	0,99989
11	0,00194	0,98851	26	0,00011	1
12	0,00694	0,99545	27	0	1
13	0,00068	0,99613	28	0	1
14	0,00194	0,99807	29	0	1

3.2 Menentukan Parameter Weibull

Dalam distribusi weibull kita harus mentukan 2 parameter yaitu parameter bentuk k dan parameter skala c . Untuk menetukan parameter tersebut kita dapat menggunakan data kecepatan dan probabilitas atau frekuensi, dengan menggunakan metode simpangan baku yang terdapat pada persamaan (5) dan (6). Namun, perlu dihitung terlebih dahulu rata-rata kecepatan angin dan simpangan baku dengan menggunakan persamaan (3) dan (4).

Berikut merupakan perhitungan rata-rata kecepatan angin dan simpangan baku :

a. Menghitung kecepatan rata-rata

Menghitung kecepatan rata-rata dilakukan dengan menggunakan persamaan (3).

$$V_m = \left(\frac{1 \times 133,7898^3}{1} \right)^{1/3}$$

$$V_m = 5,114553 \text{ knot}$$

b. Menghitung simpangan baku

Menentukan kecepatan rata-rata dilakukan dengan menggunakan persamaan (4).

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{8,7736}{1}}$$

$$\sigma_v = 2,955283 \text{ knot}$$

c. Menghitung Parameter k

Setelah menghitung rata-rata kecepatan angin dan simpangan baku kita dapat menghitung parameter k dengan menggunakan persamaan (5).

$$k = \left(\frac{2,955283}{5,114553} \right)^{-1.090}$$

$$k = 1,8182 .$$

d. Menghitung Parameter skala (c)

Setelah menghitung rata-rata kecepatan angin dan simpangan baku kita dapat menghitung parameter k dengan menggunakan persamaan (6).

$$c = \frac{2 \times 5,114553}{\sqrt{\pi}}$$

$$c = 5,7726 \text{ knot}$$

Setelah ditentukan nilai parameter c , kita dapat mengkonversi dari satuan knot ke m/s. Nilai 1 knot adalah 0,5144 m/s maka $c = 5,7726 \times 0,5144 = 2,9696 \text{ m/s}$.

3.3 Menghitung Distribusi Weibull

Setelah menentukan nilai parameter k dan parameter c menggunakan metode simpangan baku pada distribusi Weibull, diperoleh $k = 1,8182$ dan $c = 5,7726$. Selanjutnya, fungsi distribusi Weibull dihitung untuk setiap kecepatan angin dari 0 hingga 29 knot. Distribusi ini dinyatakan dengan fungsi pada persamaan (2.2). Untuk $v = 1$:

$$F(1) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{5,7726}\right)^{1,8182}}$$

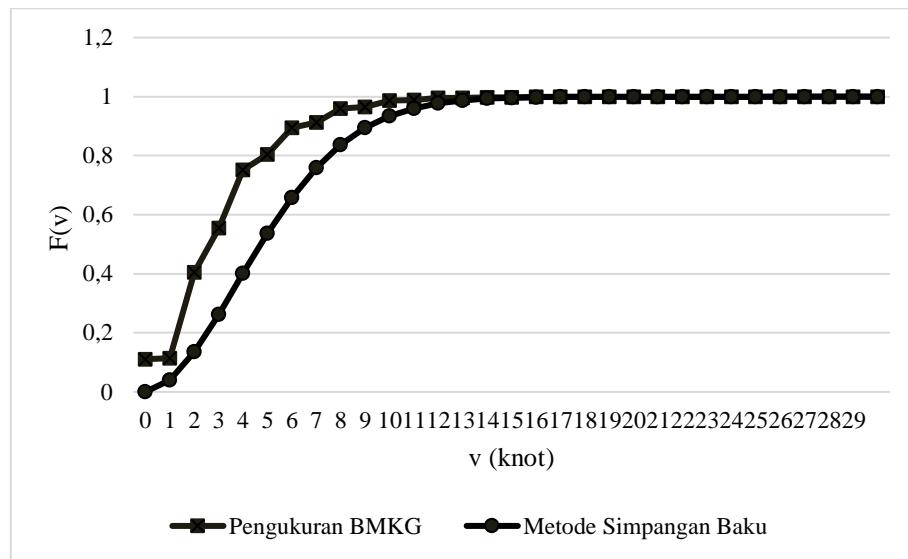
$$F(1) = 0,0404$$

Dengan cara yang sama hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Data Perhitungan Distribusi Kumulatif

$v (\text{knot})$	$F(v)$	$v (\text{knot})$	$F(v)$
0	0	15	0,996573
1	0,040432	16	0,99831
2	0,135448	17	0,999197
3	0,262291	18	0,999632
4	0,401456	19	0,999837
5	0,537025	20	0,999931
6	0,65794	21	0,999971
7	0,758241	22	0,999989
8	0,836342	23	0,999996
9	0,893779	24	0,999998
10	0,93384	25	0,999999
11	0,960424	26	1
12	0,977248	27	1
13	0,987421	28	1
14	0,993309	29	1

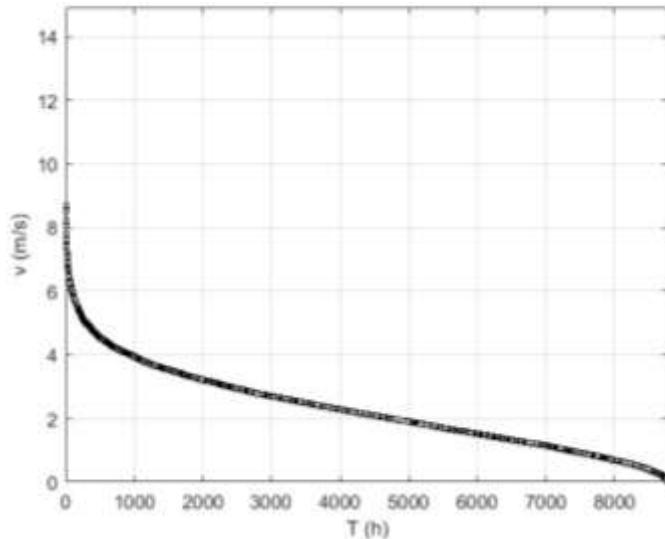
Untuk melihat Distribusi kumulatif weibull yang telah ditentukan mampu mempresentasikan data pengamatan, maka perlu dilakukan perbandingan. Gambar 1 menyajikan perbandingan distribusi kumulatif kecepatan angin hasil pengukuran BMKG Supadio dengan hasil model distribusi Weibull yang diperoleh menggunakan metode simpangan baku. Gambar ini memvisualisasikan distribusi kumulatif $F(v)$ untuk setiap kecepatan angin dari 0 hingga 29 knot. Untuk mengukur sejauh mana akurasi data maka diperlukan ukuran kuantitatif. *Mean Absolute Error* (MAE) dapat digunakan untuk menghitung akurasi, (MAE) dihitung menggunakan persamaan (7) dan diperoleh nilai sebesar 0,06666 atau setara dengan rata-rata selisih absolut antara data pengukuran dan hasil model.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Distribusi Kumulatif

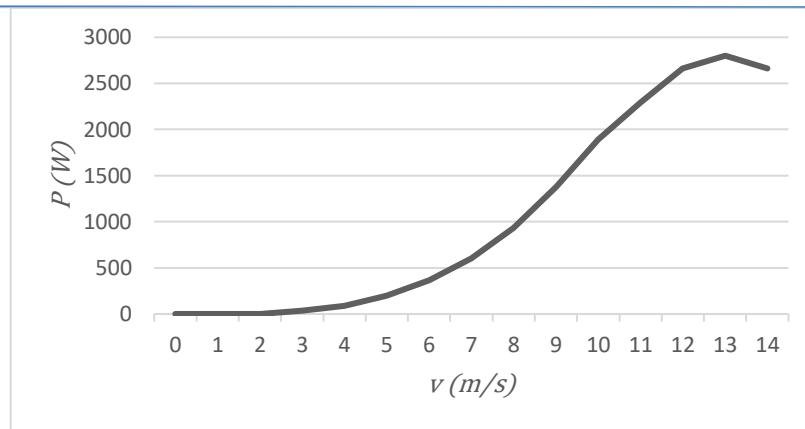
3.4 Kurva Durasi Waktu Angin dan Kurva Daya

Setelah menentukan parameter k dan c , kita dapat membuat kurva durasi angin.



Gambar 5. kurva Durasi Kecepatan Angin

Pada **Gambar 5** terihat kecepatan angin rendah sangat mendominasi untuk itu harus menggunakan kurva daya dengan nilai cut in rendah. Untuk itu pada penelitian kali ini dipilih Aeolos- H 2 kw dengan nilai cut in sebesar 3 m/s.

**Gambar 6.** kurva daya turbin Aeolos- H 3kW

3.5 Penentuan Energi Tahunan Turbin Angin

Dengan mensubtitusikan nilai k dan c pada fungsi kerapatan probabilitas pada persamaan 1, maka:

$$f(v) = \frac{1,8182}{5,7726} \left(\frac{v}{5,7726} \right)^{1,8182-1} e^{-(v/5,7726)^{1,8182}}$$

$$f(v) = 0,3149 (0,1732 v)^{0,8182} e^{-(0,1723 v)^{1,8182}}$$

Selanjutnya, energi listrik tahunan dihitung menggunakan persamaan 2 dengan mensubtitusikan nilai daya yang terdapat pada kurva daya turbin angin. Hasil lengkap perhitungan ditampilkan pada tabel 4.6 , yang mencakup kecepatan angin dalam knot dan m/s, daya keluaran turbin, probabilitas tahunan, jumlah jam per tahun, serta energi yang dihasilkan pada tiap kecepatan.

Tabel 3. Energi Listrik Tahunan Turbin Angin

v(m/s)	v(knot)	P (W)	f(v)	T(h)	E(Wh)
0	0	0	0	0,000	0
1	1,9438	0	0,1126	989,078	0
2	3,8876	0	0,1406	1235,030	0
3	5,8315	35	0,1157	1016,309	35570,815
4	7,7753	90	0,0732	642,989	57869,01
5	9,7192	200	0,0375	329,400	65880
6	11,6631	365	0,0159	139,666	50978,09
7	13,6069	600	0,0057	50,069	30041,4
8	15,5508	930	0,0017	14,933	13887,69
9	17,4946	1380	0,00046	4,041	5576,58
10	19,4384	1890	0,0001	0,878	1659,42
11	21,3823	2290	0,00002	0,176	403,04
12	23,3261	2660	0,00000035	0,003	7,98
<i>v(m/s)</i>		<i>v(knot)</i>	<i>P (W)</i>	<i>f(v)</i>	<i>T(h)</i>
13	25,27	2800	0,00000052	0,005	14
14	27,2138	2660	0,000000069	0,001	2,66
					261,890 kWh

3.6 Pembahasan

Hasil perhitungan distribusi Weibull menunjukkan bahwa kecepatan angin di lokasi penelitian didominasi pada rentang 2–4 knot, dengan probabilitas tertinggi 0,2906 pada kecepatan 2 knot (1,02 m/s). Nilai rata-rata kecepatan angin adalah 5,11 knot (2,63 m/s) dengan simpangan baku 2,96 knot. Parameter Weibull yang diperoleh yaitu k=1,8182 dan c=5,7726 knot, yang menggambarkan karakteristik angin lemah

hingga sedang, dengan sebagian besar energi berada di bawah 10 knot (5,14 m/s). Turbin Aeolos-H 2 kW dipilih karena memiliki cut-in speed 3 m/s dan mampu beroperasi hingga 18 m/s, sesuai dengan profil angin di lokasi. Kurva daya menunjukkan bahwa kontribusi energi terbesar berasal dari rentang kecepatan 3 - 9 m/s. Estimasi energi tahunan yang dihasilkan turbin adalah 261,890 kWh, menandakan bahwa meskipun kecepatan angin relatif rendah, turbin ini tetap layak digunakan dan berpotensi mendukung pengembangan energi terbarukan skala kecil di wilayah penelitian.

4. Kesimpulan

Karakteristik kecepatan angin lokasi penelitian didominasi oleh kecepatan angin dalam rentang 1,02 hingga 3,08 m/s, dengan kecepatan rata-rata sebesar 2,63 m/s dan simpangan baku 1,5227 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi memiliki potensi angin lemah hingga sedang. Diperoleh parameter weibull $k = 1,8182$ dan $c = 2,9696$ m/s dengan nilai MAE sebesar 0,06666. Hasil estimasi menunjukkan bahwa penggunaan turbin Aeolos- H 2 kW di lokasi penelitian dapat menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 261,890 kWh per tahun. Turbin Aeolos- H 2 kW terbukti cocok digunakan pada lokasi penelitian karena memiliki spesifikasi yang sesuai dengan karakteristik angin setempat, seperti nilai *cut-in speed* sebesar 3 m/s dan daya maksimum yang dicapai pada kecepatan 13 m/s. Turbin ini mampu beroperasi optimal pada kondisi angin lokal yang dominan terjadi pada rentang kecepatan tersebut.

5. Referensi

- [1] Z. Afidah, Y. Yushardi, and S. Sudarti, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Turbin Angin Sumbu Vertikal di Kecamatan Sangkapura Kabupaten Gresik,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 7, no. 1, p. 08, 2023, doi: 10.30588/jeemm.v7i1.1325.
- [2] A. A. Solikah and B. Bramastia, “Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 1, pp. 27–43, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- [3] Republik Indonesia, “Presidential Regulation Number 112 of 2022 (The Acceleration of Renewable Energy Development for Electricity),” *Gov. Indones.*, no. 135413, pp. 1–37, 2022, [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/225308/perpres-no-112-tahun-2022>
- [4] A Mulkan, “Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik,” *J. Ilm. Tek. Unida*, vol. 3, no. 1, pp. 74–83, 2022, doi: 10.55616/jitu.v3i1.308.
- [5] Zafira, “Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid,” *Smart City Indo*, vol. 8, no. 5, p. 1, 2021.
- [6] Atika Ratna Dewi and Sri Handini, “Analisis Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa Menggunakan Distribusi Weibull,” *J. Stat. dan Apl.*, vol. 6, no. 1, pp. 130–136, 2022, doi: 10.21009/jsa.06112.
- [7] Y. Yandri, K. H. Khwee, and R. Kurnianto, “Studi Komparatif Turbin Angin Berdaya Sama dengan Kurva Daya yang Berbeda Berbasis Distribusi Weibull,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 1, p. 36, 2024, doi: 10.22441/jte.2024.v15i1.007.
- [8] D. P Prasetya, I. Sunaryantingsih, and R. D. Laksono, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Di Wisata Sumber Klampok Kabupaten Nganjuk Potential Analysis of Wind Power Plant (PLTB) in Sumber Klampok Tourism, Nganjuk Regency,” *J. Keilmuan Tek.*, vol. 01, no. 02, pp. 151–159, 2023, [Online]. Available: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/SET-UP>
- [9] Aufar and Dani, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Horizontal Sebagai Energi Listrik Alternatif Di Area Tambak Desa Jambo Timu,” *J. Tektro*, vol. 7, no. 2, pp. 216–224, 2023.
- [10] M. Ali, M. K. Mridul, and A. Al Mahbub, “Comparative wind power assessment by weibull distribution function in Faridpur,” *Proc. 2020 11th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. ICECE 2020*, pp. 13–16, 2020, doi: 10.1109/ICECE51571.2020.9393088.
- [11] Suwarno, I. Yusuf, M. Irwanto, and A. Hiendro, “Analysis of wind speed characteristics using different distribution models in Medan City, Indonesia,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 1102–1113, 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i2.pp1102-1113.
- [12] A. Indriani, G. Manurung, N. Daratha, and H. Hendra, “Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu),” *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.33369/jamplifier.v9i2.15376.
- [13] J. F. W. Eds *et al.*, *Advances in Industrial Control, WT Modeling*. 2011.
- [14] S. Mathew, *Windy Energy Fundamentals*. 2006.
- [15] M. Gilbert M, *Renewable And Eficient Electric Power System*, vol. 11, no. 1. 2019.

-
- [16] M. A. Alanazi, M. Aloraini, M. Islam, S. Alyahya, and S. Khan, "Wind Energy Assessment Using Weibull Distribution with Different Numerical Estimation Methods: A Case Study," *Emerg. Sci. J.*, vol. 7, no. 6, pp. 2260–2278, 2023, doi: 10.28991/ESJ-2023-07-06-024.
 - [17] H. Saputra, "Analisa Potensi Energi Angin Di Pantai Lhong Kabupaten Aceh Besar Menggunakan Distribusi Weibull," *VOCATECH Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 56–64, 2022, doi: 10.38038/vocatech.v4i1.93.
 - [18] G. Abbas, A. Ali, M. T. Ben Othman, M. W. Nawaz, A. U. Rehman, and H. Hamam, "A novel energy pattern factor-based optimized approach for assessing Weibull parameters for wind power applications," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: 10.1038/s41598-024-80929-7.
 - [19] Z. R. Shu, Q. S. Li, and P. W. Chan, "Investigation of offshore wind energy Spotential in Hong Kong based on Weibull distribution function," *Appl. Energy*, vol. 156, pp. 362–373, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.07.027.
- .