

## Analisis Perbandingan Distribusi Kecepatan Angin Untuk Mengetahui Probabilitas Kecepatan Angin di Pulau Jawa

I Made Putra Ananta Wijaya<sup>1</sup>, Mardi Santoso<sup>2</sup>, Mohammad Abu Jami'in<sup>3</sup>, George Endri Kusuma<sup>4</sup>,  
Didik Sukoco<sup>5</sup>

Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*,2,4</sup>.  
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3,5</sup>.  
Email: [imadeputral@student.ppns.ac.id](mailto:imadeputral@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [mardisantoso@ppns.ac.id](mailto:mardisantoso@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [jammy@ppns.ac.id](mailto:jammy@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>

**Abstract** - Wind speed is the movement of air from areas of high pressure to areas of low pressure. As the use of electric energy increases due to the growing human population in a region, there is a need for renewable energy sources to convert renewable energy into electricity. Wind energy is highly potential if utilized, considering its relatively low utilization for electricity generation in Indonesia. In the initial stage of using wind energy for electricity generation, data on the wind potential of a region is required, thus an analysis of wind speed in several areas on Java Island is necessary. The wind speed data in this Final Project includes several regions in the Java Province, namely: Bandung, Banyuwangi, Bekasi, Gresik, Kudus, Malang, Semarang, Surabaya, Surakarta, and Tuban. The method used in modeling wind speed involves the Weibull distribution, Rayleigh distribution, and Gamma distribution. Goodness-of-fit tests are applied to examine the best probability functions of each distribution to be analyzed. The distribution that meets the criteria of Coefficient of Determination, Chi-Square, and Root Mean Square Error is the Weibull distribution, as evidenced by the probability plots of the Weibull distribution, which closely match the actual data from various regions. Areas with potential for wind energy to be converted into electricity are evaluated based on the percentage of wind speeds exceeding 2 m/s. The areas with the highest potential are Tuban with a percentage of 56.89%, Malang with 56.71%, and Bandung with 50.20%.

**Keywords** : Weibull Distribution, Rayleigh Distribution, Gamma Distribution, Goodness of Fit

### Nomenclature

PdfW	=	Fungsi Kepadatan Distribusi Weibull
PdfG	=	Fungsi Kepadatan Distribusi Gamma
PdfR	=	Fungsi Kepadatan Distribusi Rayleigh
V	=	Kecepatan Angin (m/s)
c	=	Parameter Skala
k	=	Parameter Bentuk
$\Gamma$	=	Fungsi Gamma
Vm	=	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
RMSE	=	Root Mean Square Error
$\chi^2$	=	Uji Chi-Square
$R^2$	=	Koefisien Determinan

### 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat dan merupakan sumber daya yang paling ekonomis yang dapat digunakan dalam berbagai macam kegiatan. Hampir segala aktifitas manusia didukung oleh keberadaan energi listrik. Penggunaan energi listrik didasarkan atas suplai energi yang murah dan penggunaan energinya lebih mudah dibandingkan dengan energi lainnya. Energi listrik juga sangat berperan penting dalam menunjang segala aktifitas yang berlangsung baik

Kebutuhan akan energi khususnya energi listrik semakin menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari orang Indonesia. Bahan bakar fosil yang saat ini digunakan sebagai komponen utama pembangkit listrik semakin terbatas, belum lagi polusi yang diakibatkan dalam pengkonversi bahan bakar fosil menjadi listrik. Untuk itu sangat dibutuhkan sumber energi alternatif yang berpotensi menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan dalam prosesnya. Salah satu solusi untuk berkurangnya dampak negatif yang terjadi di lingkungan adalah dengan memanfaatkan energi yang terbarukan. Energi yang terbarukan ialah energi yang dapat diperbarui dan dapat digunakan secara terus menerus dengan pemanfaatan yang bersumber dari alam seperti matahari, pemanfaatan air terjun, dan angin. [1].

Pemanfaatan energi terbarukan yang memiliki potensi yang bisa dikembangkan adalah energi angin. Energi angin merupakan energi yang proses pengkonversinya tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan untuk saat ini pemanfaatan energi angin di Indonesia masih tergolong sangat rendah. Energi angin dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin

angin dan dikonversi menjadi listrik melalui generator sebagai sumber penghasil dayanya. [2].

Energi Angin di Indonesia pemanfaatannya masih bisa dikatakan rendah untuk pemanfaatan energi terbarukan. Palsanya rata-rata kecepatan angin di wilayah Indonesia masih tergolong rendah, berkisar antara 3 m/s hingga 4 m/s, sehingga pemanfaatan untuk skala besar masih tergolong sulit. Untuk mendapatkan angin yang besar untuk pemanfaatan skala besar hanya bisa dilakukan di daerah tertentu seperti pantai, pegunungan, dan wilayah dataran tinggi.

Potensi energi angin bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Tidak semua daerah memiliki tenaga angin cukup potensial. Saat menggunakan energi angin, diperlukan data atau informasi tentang potensi energi angin yang tersedia di suatu lokasi jika diperlukan. Penggunaan fungsi kerapatan probabilitas untuk pemodelan kecepatan angin banyak digunakan beberapa penelitian di banyak negara. Fungsi kepadatan ini termasuk Weibull, Rayleigh, Ga Pemodelan untuk mengetahui fungsi probabilitas kecepatan angin memiliki banyak sekali distribusi yaitu distribusi Weibull, Distribusi Gamma, Distribusi Rayleigh yang akan dikerjakan pada tugas akhir ini untuk mengetahui distribusi mana yang terbaik yang akan di uji menggunakan metode Goodness of Fit yaitu Koefisien Determinan, Root Mean Square Error (RMSE) dan Uji Chi-Square ( $\chi^2$ ) dengan menganalisa pemodelan kecepatan angin beberapa daerah di Pulau Jawa. mma, Lognormal, Eksponensial, dan Gaussian.

### 1.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull (dinamakan menurut Fisikawan Swedia W. Weibull) yang menerapkan itu ketika mempelajari kekuatan material dalam ketegangan material dan kelelahan di tahun 1930 memberikan perkiraan yang dekat dengan hukum probabilitas banyak alam fenomena. Selama setengah abad distribusi Weibull telah menarik perhatian ahli statistik yang berkerja pada teori dan metode serta berbagai bidang statistik. Penelitian dan makalah telah banyak sekali yang menulis penelitian menggunakan distribusi Weibull bersama dengan normal dan distribusi eksponensial [9].

Distribusi angin umumnya diwakili oleh distribusi Weibull. Distribusi Weibull dapat dilihat oleh adanya dua fungsi yaitu fungsi kepadatan probabilitas (PDFw) dan fungsi distribusi kumulatif. Fungsi kepadatan

probabilitas dapat ditentukan dengan persamaan berikut [11]:

$$PDFw = k \cdot c^{-k} \cdot V^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right)$$

Metode Empiris merupakan distribusi data yang memerlukan nilai rata-rata kecepatan angin dan standar deviasi dalam menentukan parameter skala dan parameter bentuk dapat dinyatakan pada persamaan sebagai berikut [12]:

$$V_m = \left( \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot V_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (V_i - V_m)^2}{\sum_{i=1}^n f_i}}$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1,086}$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \exp(-t) dt$$

### 1.2 Distribusi Rayleigh

Distribusi Rayleigh sering digunakan dalam pembelajaran fisika untuk proses pemodelan seperti radiasi suara dan cahaya, tinggi gelombang, dan kecepatan angin. Selain distribusi Weibull, distribusi Rayleigh juga merupakan distribusi yang dianggap tepat untuk menggambarkan distribusi kecepatan angin. Distribusi Rayleigh digunakan ketika area distribusi Weibull dianggap kurang akurat untuk diterapkan. Dengan memberikan nilai parameter bentuk (k) bernilai 2 pada distribusi Weibull, fungsi kepadatan probabilitas Rayleigh (PDFr) dan fungsi kepadatan kumulatif Rayleigh (CDFr) dinyatakan sebagai berikut [13]:

$$PDFr = \frac{V}{2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{V}{c}\right)^2\right]$$

$$CDFr = \frac{V_m}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad V_m = \left( \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot V_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

### 1.3 Distribusi Gamma

Distribusi Gamma juga merupakan salah satu distribusi yang banyak digunakan untuk pemodelan distribusi angin. Distribusi Gamma juga memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk (k) dan parameter skala (c). Distribusi Gamma dua parameter juga disebut Pearson type III distribusi berikut merupakan fungsi kerapatan probabilitas (PDFg) [14]:

$$PDFg = \frac{c^{-k} \cdot V^{k-1} \cdot \exp\left(-\frac{V}{c}\right)}{\Gamma(k)}$$

Untuk mencari parameter bentuk (k) dan parameter skala menghubungkan antara nilai rata-rata kecepatan angin dan variasi data awal kecepatan angin menggunakan persamaan [15]:

$$V_m = \left( \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot V_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (V_i - V_m)^2}{\sum_{i=1}^n f_i}}$$

$$k = \frac{\sigma^2}{V_m}$$

$$c = \frac{V_m}{\sigma}$$

#### 1.4 Uji Goodness Of Fit

Untuk memeriksa apakah fungsi kerapatan probabilitas teoritis cocok untuk menggambarkan data kecepatan angin atau tidak perlu adanya tes untuk memvalidasi prediksi distribusi kecepatan angin yang diperoleh dari fungsi kerapatan probabilitas distribusi Weibull, Rayleigh, dan Gamma antara lain seperti:

- Mean Square Error Test (RMSE)
- Uji Chi-Square ( $\chi^2$ )
- Koefisien Determinasi

RMSE digunakan untuk mengukur perbedaan antara prediksi dan nilai Aktual (terukur). Kesalahan kuadrat akar-akar nilai didefinisikan sebagai berikut [7]:

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Oleh karena itu semakin banyak fungsi distribusi yang dapat dipilih adalah dengan nilai RMSE terendah.

Metode Chi-Square digunakan untuk menguji prediksi distribusi angin dengan distribusi angin yang sebenarnya. Persamaan matematis untuk uji Chi-Square didefinisikan sebagai berikut [19]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - x_i)^2}{x_i}$$

Metode yang menghasilkan hasil terbaik ditentukan dengan nilai uji Chi-Square harus dekat dengan 0.

Koefisien Determinasi adalah teknik statistik yang digunakan untuk menentukan hubungan linear antara dua kumpulan data. Persamaan untuk

Koefisien Determinasi didefinisikan sebagai berikut [19]:

$$R^2 = \frac{(Y_i - Z_i)^2 - (Y_i - X_i)^2}{(Y_i - Z_i)^2}$$

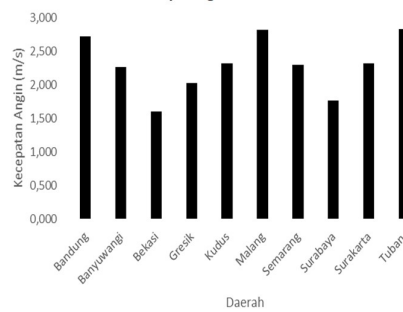
Nilai untuk Koefisien Determinasi nilai R selalu diantara -1 dan 1 dan nilai yang terbaik adalah 1.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

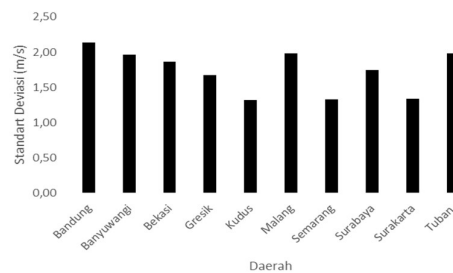
Penelitian dilakukan pada 10 daerah di Pulau Jawa yaitu : Bandung, Banyuwangi, Bekasi, Gresik, Kudus, Malang, Semarang, Surabaya, Surakarta, dan Tuban.

#### 3.1 Kecepatan Rata-Rata dan Standart Deviasi.

Dalam menghitung rata-rata dan standart variasi ini juga dilakukan untuk tiap bulan dan satu tahun. Jadi waktu analisis dibutuhkan 744 jam untuk bulan yang memiliki 31 hari 720 jam untuk bulan yang memiliki 30 hari dan 672 jam untuk bulan february yang memiliki 28 hari.



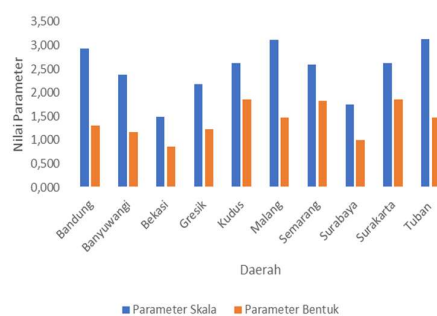
Gambar 3. 1 Kecepatan Rata-Rata



Gambar 3. 2 Standart Deviasi.

#### 3.2 Parameter Bentuk dan Skala

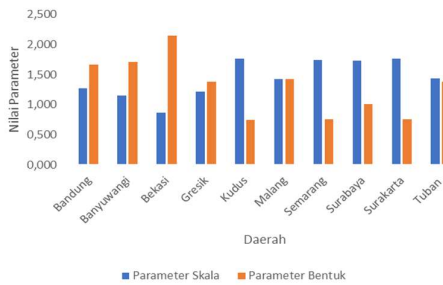
##### 3.2.1 Distribusi Weibull



Gambar 3. 3 Parameter Bentuk dan Skala Distribusi Weibull

nilai parameter bentuk dan parameter skala pada Distribusi Weibull. Dalam konteks kecepatan angin, parameter bentuk dan parameter skala Weibull dapat digunakan untuk memodelkan distribusi kecepatan angin dalam suatu wilayah atau lokasi tertentu. Parameter bentuk akan menunjukkan karakteristik bentuk distribusi (misalnya, apakah distribusi lebih condong ke sisi kanan atau kiri), sementara parameter skala akan menunjukkan tingkat jumlah data kecepatan angin.

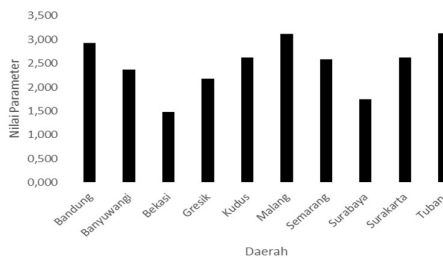
### 3.2.2 Distribusi Gamma



Gambar 3. 4 Parameter Distribusi Gamma.

Nilai parameter bentuk dan parameter skala pada Distribusi Gamma, hal ini sama menunjukkan bahwa parameter bentuk digunakan untuk memodelkan distribusi kecepatan angin, sedangkan parameter bentuk menunjukkan tingkat jumlah data kecepatan angin.

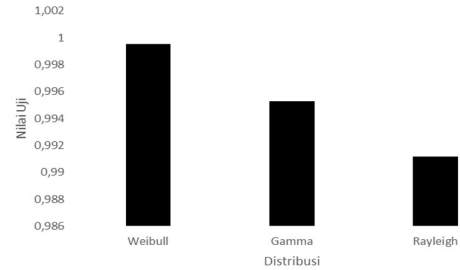
### 3.2.3 Distribusi Rayleigh



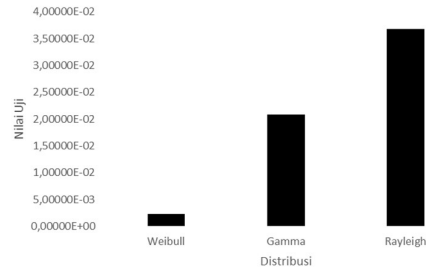
Gambar 3. 5 Distribusi Rayleigh.

nilai parameter skala pada Distribusi Rayleigh. Pada Distribusi Rayleigh hanya memiliki parameter skala dikarenakan pada parameter bentuk ditetapkan bernilai 2. Maka dalam distribusi Rayleigh memiliki bentuk distribusi yang tetap dengan bentuk cembung tunggal.

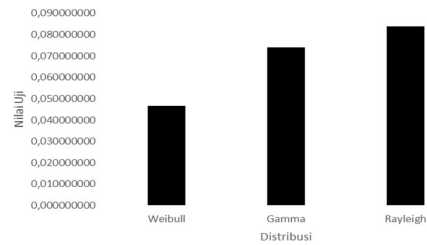
### 3.3 Uji Goodness Of Fit



Gambar 3. 6 Nilai Koefisien Determinan



Gambar 3. 7 Nilai Chi Square



Gambar 3. 8 Nilai Root Mean Square Error

rentang nilai yang dihasilkan antara 0 sampai 1. Untuk estimasi data pengujian ini nilai pengujian yang baik untuk pengujian Root Mean Square Error (RMSE) dan uji Chi-Square adalah mendekati 0, sedangkan untuk koefisien determinan nilai yang terbaik untuk pengujian adalah mendekati 1. Pada pengujian Goodness of Fit ini pada distribusi Weibull mendapatkan distribusi terbaik dengan persyaratan hasil RMSE yang tertinggi dari distribusi Gamma dan distribusi Rayleigh mendekati nilai 1 dan untuk Chi-square dan koefisien determinan distribusi Weibull memperoleh pengujian dengan nilai terendah yang mendekati nilai 0 dari distribusi Rayleigh dan distribusi Gamma yang diujikan.

#### 4. KESIMPULAN

Untuk menghitung keakuratan dari ketiga distribusi yang dianalisa perlu adanya pengujian Goodness Of Fit yang dapat digunakan untuk menguji kepresisian dari distribusi dalam pengujian ini. Pengujian yang dilakukan pada Analisa ini menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) yang terdapat pada persamaan Uji Chi-Square terdapat pada persamaan dan koefisien determinan terdapat pada persamaan . Untuk estimasi data pengujian ini nilai pengujian yang baik untuk pengujian Root Mean Square Error (RMSE) dan Uji Chi-Square adalah mendekati 0, sedangkan untuk koefisien determinan nilai yang terbaik untuk pengujian adalah mendekati 1. Pada pengujian Goodness of Fit ini pada Distribusi Weibull mendapatkan distribusi terbaik dengan persyaratan hasil RMSE yang tertinggi dari Distribusi Gamma dan Distribusi Rayleigh mendekati nilai 1 dan untuk Chi-square dan Koefisien Determinan Distribusi Weibull memperoleh pengujian dengan nilai terendah yang mendekati nilai 0 dari distribusi Rayleigh dan Distribusi Gamma yang diujikan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Husnaini, Suriadi, and Syahrizal, "Analisis Potensi Tenaga Angin Menggunakan Metode Weibull di Waduk Keliling Aceh Besar," 2017.

[2] P. Parma, M. Arif, and T. Hardianto, "Aplikasi Energi Terbarukan Melalui Pengukuran Potensi Angin dengan Metode Analisis Weibull pada Pantai Puger Jember," Jember, 2013.

[3] W. Widiyanto, "Analisis Probabilitas Kecepatan Angin untuk Pesisir Cilacap dengan Menerapkan Distribusi Weibull dan Rayleigh," vol. 9, no. 1, 2013.

[4] A. Wildani and S. Kurniasari, "Distribusi Weibull Kecepatan Angin Wilayah Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang Madura," Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, vol. 4, no. 1, p. 57, Mar. 2019, doi: 10.33366/rekabuana.v4i1.1135.

[5] W. Septia, "Perbandingan Pemodelan Kecepatan Angin Untuk Hijriyah dan Masehi Dengan Menggunakan Distribusi Weibull dan Gamma," 2019.

[6] V. Sari and D. A. Maulidany, "Prediksi Kecepatan Angin Dalam Mendeteksi Gelombang Air Laut Terhadap Skala Beaufort

Dengan Metode Hybrid Arima-Ann," 2020. [Online]. Available: <http://jurnal.unimus.ac.id>

[7] F. A. Hadi, "Constructing A Mathematical-statistical Model of Wind Energy in Iraq Using Different Weibull Distribution Functions," 2014.

[8] Richard, "Modul Probabilitas," Jakarta, 2013.

[9] A. K. Azad and M. Saha, "Weibull's Analysis Of Wind Power Potential At Coastal Sites In Kuakata, Bangladesh," XX, 2010.

[10] Suwarno and M. F. Zambak, "The Probability Density Function for Wind Speed Using Modified Weibull Distribution," International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 11, no. 6, pp. 544–550, 2021, doi: 10.32479/ijeeep.11625.

[11] F. Mahmuddin, M. Idrus, and Hamzah, "Analysis of Ocean Wind Energy Density around Sulawesi and Maluku Islands with Scatterometer Data," in Energy Procedia, Elsevier Ltd, 2015, pp. 107–115. doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.041.

[12] D. K. Kaoga, S. D. Yamigno, D. Raidandi, and N. Djongyang, "Performance Assessment of Two-parameter Weibull Distribution Methods for Wind Energy Applications in the District of Maroua in Cameroon," International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) International Journal of Sciences: Basic and Applied Research, vol. 17, no. 1, pp. 39–59, 2014, [Online]. Available: <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>

[13] Suwarno and Rohana, "Wind speed modeling based on measurement data to predict future wind speed with modified rayleigh model," International Journal of Power Electronics and Drive Systems, vol. 12, no. 3, pp. 1823–1831, Sep. 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i3.pp1823-1831.

[14] H. Shi, Z. Dong, N. Xiao, and Q. Huang, "Wind Speed Distributions Used in Wind Energy Assessment: A Review," Frontiers in Energy Research, vol. 9. Frontiers Media S.A., Nov. 22, 2021. doi: 10.3389/fenrg.2021.769920.

[15] A. Misbahussurur, "Estimasi Parameter Distribusi Gamma Dengan Metode Maksimum Likelihood," 2009.

[16] N. Aries, S. M. Boudia, and H. Ounis, "Deep assessment of wind speed distribution models: A case study of four sites in Algeria," *Energy Convers Manag*, vol. 155, pp. 78–90, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.082.

[17] R. B. Abernethy, J. E. Breneman, and G. L. Reinman, "Weibull Analysis Handbook," 1983.

[18] F. Sondia et al., "Kecepatan Minimal Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid ( Surya-

Angin)," 2021. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>

[19] A. K. Khamees, A. Y. Abdelaziz, M. R. Eskaros, M. A. Attia, and A. O. Badr, "The Mixture of Probability Distribution Functions for Wind and Photovoltaic Power Systems Using a Metaheuristic Method," *Processes*, vol. 10, no. 11, p. 2446, Nov. 2022, doi: 10.3390/pr10112446.