

# Analisis Prediksi Kecepatan Angin di Kabupaten Pekalongan dengan Algoritma *Decision Tree Regression*

Noviana Safira <sup>1</sup>, Abdul Hakim Prima Yuniarto <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan, Pekalongan, Indonesia, 51173

\* Korespondensi: [a.hakim.py@gmail.com](mailto:a.hakim.py@gmail.com)

Received: 7 May 2025

Revised: 10 June 2025

Accepted: 21 June 2025

## Citation:

Safira, N., & Yuniarto, A. H. P. (2025). Analisis prediksi kecepatan angin di Kabupaten Pekalongan dengan algoritma decision tree regression. *QOMARUNA Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(2), 1-9. <https://doi.org/10.62048/qjms.v2i2.88>



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## ABSTRACT

The coastal characteristics of Pekalongan Regency indicate substantial wind potential, prompting the need for studies on renewable energy utilization. This study aims to forecast wind speed and estimate the electrical power that can be generated using a Decision Tree Regression algorithm. Eleven years of historical climate data (2013–2023) from the Indonesian Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) were used to build the model. Evaluation results show a Mean Squared Error (MSE) of 4.108 and a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.049, indicating the model has limited predictive performance. The 2024 wind speed forecast ranges from 3.8 to 7 m/s, with an average of 4.5 m/s. This wind speed translates into estimated electrical power ranging from 844 to 5,277 watts, averaging 1,599 watts per month, equivalent to a potential monthly energy output of 191.88 kWh. This study concludes that while there is potential for small-scale Wind Power Plant (PLTB) development, such as for public street lighting, the accuracy of the predictive model needs to be significantly improved for more critical applications.

**Keywords:** Decision Tree, Machine Learning, PLTB, Predictions, Wind Speed

## ABSTRAK

Karakteristik pesisir Kabupaten Pekalongan mengindikasikan potensi angin yang substansial, sehingga mendorong perlunya studi mengenai pemanfaatan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kecepatan angin dan mengestimasi daya listrik yang dapat dihasilkan menggunakan algoritma Decision Tree Regression. Model dibangun berdasarkan data iklim historis selama sebelas tahun (2013–2023) yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Evaluasi model menghasilkan nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 4,108 dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,049, yang menunjukkan kinerja prediksi masih terbatas. Hasil prediksi kecepatan angin tahun 2024 berkisar antara 3,8 hingga 7 m/s, dengan rata-rata 4,5 m/s. Kecepatan angin ini diproyeksikan menghasilkan daya listrik antara 844 hingga 5.277 watt, dengan rata-rata 1.599 watt per bulan, yang setara dengan potensi energi sebesar 191,88 kWh per bulan. Studi ini menyimpulkan bahwa meskipun ada potensi untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil, seperti untuk penerangan jalan umum, akurasi model prediktif perlu ditingkatkan secara signifikan untuk aplikasi yang lebih kritis.

**Kata kunci:** Decision Tree, Machine Learning, PLTB, Prediksi, Kecepatan Angin

## 1. Pendahuluan

Kabupaten Pekalongan, sebagai wilayah pesisir utara Jawa, memiliki potensi energi angin signifikan yang belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi terbarukan. Optimalisasi pemanfaatan potensi ini mensyaratkan adanya sistem konversi energi yang andal, di mana efektivitasnya sangat bergantung pada akurasi prediksi kecepatan angin untuk menentukan daya listrik yang dihasilkan (Adistia et al., 2020). Seiring perkembangan teknologi Artificial Intelligence (AI), metode machine learning menawarkan pendekatan yang lebih unggul untuk peramalan (Putri et al., 2024; Wardhana et al., 2023). Dengan mengolah data iklim harian dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), algoritma supervised learning seperti Decision Tree dapat diimplementasikan untuk melakukan prediksi sebagai tahap fundamental dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) (Chairunisa et al., 2024).

Berbagai studi terdahulu telah menerapkan metode machine learning dalam peramalan kecepatan angin. Studi oleh (Demolli et al., 2019) menerapkan lima algoritma machine learning dan menyimpulkan bahwa pemodelan prediktif dapat menjadi dasar studi kelayakan PLTB, khususnya di lokasi yang potensinya belum terpetakan. Di Indonesia, (Siti Nurjanah et al., 2024) menggunakan algoritma Regresi Lasso di Makassar dan menunjukkan kapabilitas model dalam memprediksi kecepatan angin berdasarkan variabel atmosferik pendukung. Meskipun hasilnya menjanjikan, belum banyak studi yang secara khusus meneliti potensi energi angin di Kabupaten Pekalongan. Selain itu, penerapan algoritma Decision Tree dalam konteks geografis pesisir utara Jawa yang beriklim tropis masih sangat terbatas.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kecepatan angin serta mengestimasi potensi energi listrik angin di Kabupaten Pekalongan menggunakan algoritma Decision Tree. Secara praktis, penelitian ini menyajikan analisis kuantitatif awal yang dapat mendukung studi kelayakan pengembangan PLTB skala kecil. Sementara secara akademik, studi ini memberikan kontribusi metodologis dengan mengevaluasi performa Decision Tree dalam konteks prediksi kecepatan angin di wilayah pesisir tropis yang belum banyak dieksplorasi.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Potensi Energi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pemanfaatan angin sebagai sumber energi terbarukan, terutama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), merupakan solusi strategis dalam transisi energi. Keberhasilan implementasi PLTB sangat bergantung pada pemahaman karakteristik angin di suatu lokasi, yang alirannya dipengaruhi oleh perbedaan tekanan atmosfer (Fadila et al., 2024). Karakteristik ini bersifat dinamis dan bervariasi, seperti pada fenomena angin darat dan angin laut di wilayah pesisir yang menunjukkan pola temporal harian (Triyandi et al., 2021).

Tantangan utama dalam pemanfaatan energi angin adalah sifatnya yang intermiten atau tidak konstan. Oleh karena itu, akurasi dalam memprediksi kecepatan angin menjadi faktor krusial. Energi kinetik angin yang ditangkap oleh turbin untuk diubah menjadi energi listrik berbanding lurus dengan kecepatan angin itu sendiri (Adistia et al., 2020). Sistem PLTB modern mengubah energi kinetik ini menjadi energi mekanik untuk memutar generator, sehingga prediksi kecepatan angin yang andal menjadi fundamental untuk studi kelayakan dan operasional pembangkit (Andiyantama et al., 2021; Fahim et al., 2022)

### 2.2 Peramalan Kecepatan Angin Menggunakan *Machine Learning*

Untuk mengatasi tantangan variabilitas angin, metode peramalan konvensional seringkali tidak memadai. Di sinilah machine learning, sebagai cabang dari kecerdasan buatan, menawarkan pendekatan yang lebih superior. Algoritma *machine learning* mampu mengidentifikasi pola kompleks dan non-linear dari data historis berskala besar tanpa perlu diprogram secara eksplisit untuk setiap skenario (Retnoningsih & Pramudita, 2020; Yeganeh-Bakhtiary et al., 2022). Kemampuan adaptif ini menjadikannya alat yang sangat efektif untuk tugas peramalan dalam domain energi terbarukan.

Dalam penelitian ini, algoritma Decision Tree dipilih sebagai metode utama. Decision Tree adalah model supervised learning yang menstrukturkan data secara hierarkis menyerupai diagram alur, menjadikannya sangat efektif untuk tugas klasifikasi dan prediksi. Keunggulan utamanya terletak pada strukturnya yang transparan dan mudah diinterpretasikan, yang memungkinkan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi hasil prediksi (Illahi et al., 2023).

### 2.3 Penelitian Terdahulu

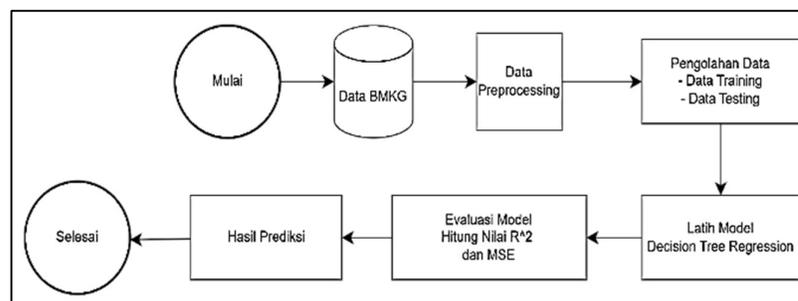
Sejumlah penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam konteks analisis potensi energi angin di berbagai wilayah Indonesia. Rahman et al., (2022). Menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN) untuk memprediksi kecepatan angin di Provinsi Aceh berdasarkan data dari BMKG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin tahunan di wilayah tersebut adalah 3,91 m/s, dengan estimasi daya listrik maksimum sebesar 853,33 watt. Berdasarkan temuan tersebut, disimpulkan bahwa Provinsi Aceh memiliki potensi yang relatif rendah untuk dikembangkan sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Sementara itu, Ardiana et al., (2023) menganalisis potensi energi angin di kawasan Pantai Watu Ulo, Jember, Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan data BMKG setempat dan mencatat rata-rata kecepatan angin harian sebesar 6,5 m/s. Kecepatan tersebut dinilai cukup tinggi untuk menggerakkan turbin angin dengan kapasitas hingga 1 MW, sehingga wilayah tersebut dianggap memiliki potensi besar untuk pengembangan PLTB.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Nurjanah et al., (2024) di Kota Makassar, yang memanfaatkan model Regresi Lasso untuk memprediksi kecepatan angin berdasarkan data dari BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Paotere. Hasil prediksi menunjukkan kecepatan angin maksimum mencapai 10,76 m/s dan daya listrik sebesar 1.597 watt. Temuan ini menunjukkan bahwa Kota Makassar memiliki prospek yang cukup besar untuk pengembangan PLTB sebagai sumber energi alternatif.

## 3. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain peramalan (forecasting) berbasis machine learning. Alur penelitian dirancang secara sistematis untuk memastikan hasil yang valid dan dapat direplikasi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Proses dimulai dari akuisisi dan deskripsi data, dilanjutkan dengan tahap pra-pemrosesan untuk memastikan kualitas data. Tahap inti mencakup pemodelan menggunakan algoritma Decision Tree dengan data yang telah dibagi menjadi set pelatihan dan pengujian. Selanjutnya, performa model dievaluasi menggunakan metrik standar. Model terbaik kemudian digunakan untuk memprediksi kecepatan angin di masa depan, yang hasilnya menjadi dasar untuk mengkalkulasi estimasi potensi daya listrik.



Gambar 1. Diagram alir prediksi

### 3.1 Sumber dan Deskripsi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data iklim harian sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), spesifiknya dari Stasiun Klimatologi Jawa Tengah. Data mentah diperoleh dalam format Microsoft Excel (.xlsx). Rentang waktu data mencakup

11 tahun, dari 1 Januari 2013 hingga 31 Desember 2023, dengan total 4.017 data points. Setiap data point terdiri dari 10 variabel (fitur), yaitu:

- Variabel Target (Dependen): Kecepatan angin rata-rata (m/s).
- Variabel Prediktor (Independen): Arah angin saat kecepatan maksimum, arah angin terbanyak, curah hujan, kecepatan angin maksimum, kelembapan rata-rata, lamanya penyinaran matahari, temperatur maksimum, temperatur minimum, dan temperatur rata-rata.

### 3.2 *Preprocessing Data*

Sebelum memasuki tahap pemodelan, data mentah terlebih dahulu melalui proses pra-pemrosesan guna meningkatkan kualitas dan konsistensi data. Salah satu langkah awal dalam tahapan ini adalah penanganan nilai hilang (missing values), yang berpotensi mengganggu kinerja model prediktif. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan metode imputasi, yaitu dengan mengisi nilai yang hilang pada setiap kolom menggunakan nilai rata-rata (mean) dari kolom yang bersangkutan. Pendekatan ini dipilih agar ukuran dataset tetap utuh tanpa mengintroduksi bias yang signifikan (Ispramono Hadi et al., 2022; Panggabean et al., 2021).

Setelah data dibersihkan, langkah selanjutnya adalah membagi dataset menjadi dua bagian utama. Sebanyak 80% dari total data digunakan sebagai data latih (*training set*) untuk membangun dan melatih model, sedangkan sisanya, yaitu 20%, dialokasikan sebagai data uji (*testing set*). Pembagian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya, sehingga dapat menguji kemampuan generalisasi model terhadap data (Yusuf et al., 2022).

### 3.3 **Pembuatan dan Pelatihan Model Prediksi**

Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan algoritma Decision Tree, yaitu algoritma berbasis pohon keputusan yang umum digunakan dalam tugas prediksi dan klasifikasi. Pemilihan algoritma ini didasarkan pada beberapa pertimbangan. Decision Tree memiliki kemampuan untuk menangani hubungan non-linear antar variabel secara efektif, yang sangat relevan dalam konteks prediksi kecepatan angin yang dipengaruhi oleh berbagai faktor atmosferik. Selain itu, struktur model yang transparan dan mudah diinterpretasikan memungkinkan proses pengambilan keputusan dalam model dapat dipahami dengan baik, baik oleh peneliti maupun pemangku kepentingan non-teknis. Keunggulan lainnya terletak pada efisiensi komputasi, menjadikannya cocok untuk digunakan pada dataset berukuran menengah seperti yang digunakan dalam studi ini.

Proses pemodelan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan memanfaatkan pustaka utama *Scikit-learn* untuk membangun model *Decision Tree*. Selain itu, pustaka *Pandas* dan *NumPy* digunakan untuk keperluan manipulasi dan pengolahan data. Untuk memperoleh hasil yang optimal, model *Decision Tree* dikonfigurasi dengan mengatur beberapa hiperparameter kunci, antara lain kriteria pemisahan (*criterion*), kedalaman maksimum pohon (*max depth*), dan jumlah minimum sampel pada setiap daun (*min samples leaf*) sebagaimana disarankan dalam literatur terkait (Karaman, 2023). Penyesuaian parameter ini bertujuan untuk menyeimbangkan antara kompleksitas model dan kemampuannya dalam menghasilkan prediksi yang akurat.

### 3.4 **Evaluasi Performa Model**

Untuk Performa model prediksi yang telah dilatih dievaluasi menggunakan dua metrik standar untuk masalah regresi:

- Mean Squared Error (MSE): Mengukur rata-rata dari kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Nilai MSE yang semakin mendekati nol menunjukkan model yang semakin akurat.
- R-Square ( $R^2$ ): Koefisien determinasi yang mengukur seberapa baik model dapat menjelaskan variabilitas data. Nilai  $R^2$  berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 1 mengindikasikan kecocokan model yang lebih baik (Puspita Sari et al., 2021; Ryan & Alfandy, 2022).

### 3.5 Prediksi Kecepatan Angin

Setelah model prediksi selesai dibuat dan diuji, maka selanjutnya adalah menerapkan model prediksi pada data yang baru. Data baru yang dimaksud adalah data prediksi kecepatan angin untuk tahun 2024 di Kabupaten Pekalongan.

### 3.6 Perhitungan Daya Listrik

Data prediksi yang sudah diambil kemudian diformulasikan dengan persamaan fisika untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh angin sebagai energi kinetik yang menggerakkan turbin sebagai output dari tenaga angin yang dihasilkan (Rahman et al., 2022). Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

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

keterangan :

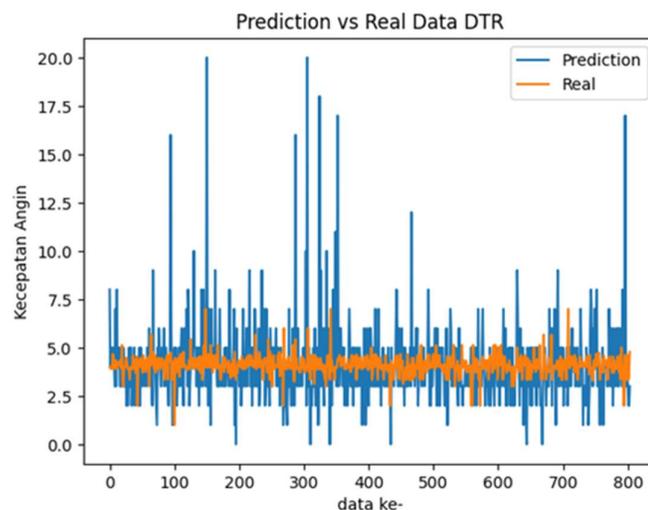
- $P$  = Daya dari Angin (watt)
- $A$  = Luas Penampang turbin ( $m^2$ )
- $v$  = Kecepatan Angin (m/s)
- $\rho$  = Konstanta Kerapatan Udara ( $1225 \text{ kg/m}^3$ )

Persamaan (1) di atas digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan dari prediksi kecepatan angin tahun 2024 dengan ketentuan luas penampang turbin angin ( $A$ ) menggunakan tipe Micro Wind Turbine AWI-1000T 1000W yang tergolong tipe horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) sebesar 4 m (Rahman et al., 2022). Kemudian untuk menghitung energi yang dihasilkan maka hanya mengalikan saja daya listrik dengan jam efektifnya.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Performa Model Prediksi

Setiap Model prediksi kecepatan angin dibangun menggunakan algoritma Decision Tree Regression. Untuk mengevaluasi kinerjanya, hasil prediksi dari data uji dibandingkan secara visual dengan data riil (observasi), seperti yang disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Perbandingan Data Real dan Data Prediksi

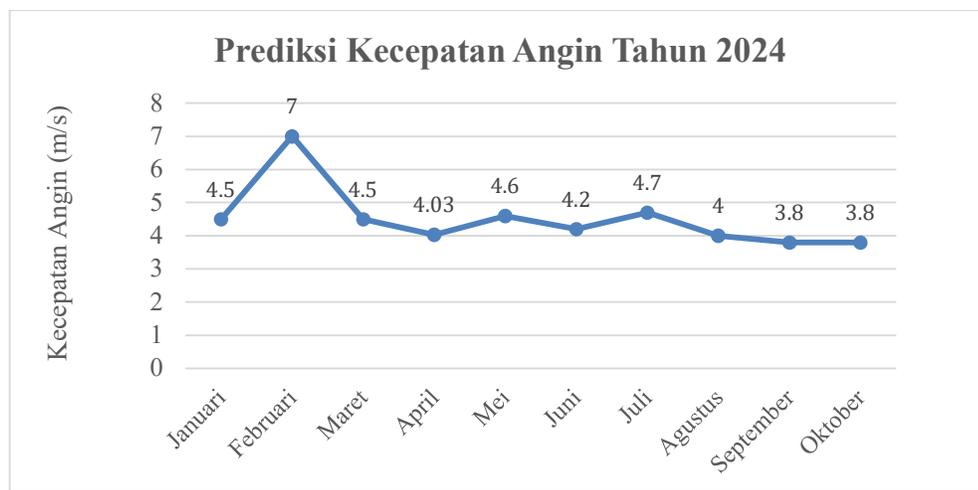
Secara visual, Gambar 2 menunjukkan bahwa model mampu menangkap tren fluktuatif umum dari data kecepatan angin. Namun, terlihat jelas bahwa prediksi model menunjukkan volatilitas yang

lebih tinggi dan seringkali gagal memprediksi nilai puncak (kecepatan angin tertinggi) dan lembah (kecepatan angin terendah) secara akurat.

Evaluasi kuantitatif memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai performa model. Dari perhitungan, diperoleh nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 3,581 untuk data latih dan 4,108 untuk data uji. Lebih signifikan lagi, diperoleh nilai R-Square ( $R^2$ ) sebesar 0,049. Nilai  $R^2$  yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa model Decision Tree dengan konfigurasi saat ini hanya mampu menjelaskan sekitar 4,9% dari variabilitas dalam data kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki daya prediktif yang sangat terbatas dan akurasinya belum memadai untuk peramalan presisi.

#### 4.2 Prediksi Kecepatan Angin dan Estimasi Potensi Daya

Meskipun memiliki keterbatasan performa, model tetap diaplikasikan untuk membuat proyeksi eksploratif kecepatan angin untuk tahun 2024 di Kabupaten Pekalongan. Hasil prediksi disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Data Prediksi Kecepatan Angin Tahun 2024

Berdasarkan hasil proyeksi pada Gambar 3, kecepatan angin di Kabupaten Pekalongan untuk tahun 2024 diperkirakan berkisar antara 3,8 m/s hingga 7,0 m/s, dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 4,5 m/s. Secara teoritis, nilai rata-rata ini masuk dalam rentang operasional turbin angin skala kecil (umumnya 4–20 m/s).

Selanjutnya, hasil prediksi kecepatan angin ini dikonversi menjadi estimasi daya listrik menggunakan Persamaan (1). Hasil estimasi daya listrik bulanan untuk tahun 2024 ditunjukkan pada Gambar 4. Estimasi daya listrik yang dihasilkan berkisar antara 844 Watt hingga 5.277 Watt, dengan rata-rata bulanan sebesar 1.599 Watt. Dengan asumsi jam angin efektif selama 4 jam per hari (120 jam per bulan), potensi energi bulanan yang dapat dibangkitkan adalah sekitar 191,88 kWh.



**Gambar 4.** Daya Listrik yang Dihasilkan

#### 4.3 Pembahasan

Rendahnya akurasi model, yang tecermin dari nilai  $R^2 = 0,049$ , merupakan temuan utama dalam penelitian ini. Hasil ini mengindikasikan bahwa algoritma Decision Tree tunggal kemungkinan tidak cukup kompleks untuk menangkap pola stokastik dan non-linear dari data angin di lokasi studi. Faktor-faktor seperti perubahan iklim mikro, efek topografi pesisir yang tidak terwakili dalam variabel, atau interaksi antar variabel yang rumit mungkin memerlukan model yang lebih canggih.

Meskipun hasil prediksi menunjukkan kecepatan angin rata-rata (4,5 m/s) yang secara teoritis memungkinkan untuk PLTB skala kecil, ketidakandalan model membuat estimasi daya listrik (rata-rata 1.599 Watt) harus diinterpretasikan dengan sangat hati-hati. Potensi energi sebesar 191,88 kWh per bulan secara realistis hanya dapat mendukung aplikasi skala sangat kecil dan bersifat mandiri (off-grid), seperti beberapa unit lampu penerangan jalan umum (PJU) hibrida (angin dan surya), dan tidak cukup untuk menyuplai jaringan listrik yang lebih besar. Oleh karena itu, klaim bahwa Kabupaten Pekalongan berpotensi untuk pembangunan PLTB perlu disertai dengan catatan bahwa potensi tersebut terbatas pada aplikasi khusus dan memerlukan studi lebih lanjut dengan model yang lebih akurat.

#### 4.4 Keterbatasan Penelitian

Artikel Penting untuk diakui bahwa penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang dapat memengaruhi akurasi hasil dan validitas interpretasi. Pertama, dari sisi kompleksitas model, penelitian ini hanya mengandalkan satu algoritma prediktif, yaitu Decision Tree. Meskipun algoritma ini memiliki keunggulan dalam hal interpretabilitas dan efisiensi, pendekatan ini cenderung kurang mampu menangkap hubungan non-linier yang kompleks dalam data. Sebagai alternatif, model ensemble seperti Random Forest atau Gradient Boosting dapat digunakan untuk meningkatkan performa prediksi karena mampu menggabungkan banyak pohon keputusan, sehingga mengurangi varians dan meningkatkan akurasi model secara keseluruhan.

Keterbatasan kedua terletak pada proses perhitungan estimasi daya listrik. Dalam penelitian ini, kalkulasi dilakukan menggunakan pendekatan fisika ideal dengan asumsi densitas udara yang konstan dan tanpa mempertimbangkan faktor efisiensi turbin atau kerugian sistem. Padahal, dalam aplikasi nyata, daya output dari turbin angin sangat dipengaruhi oleh efisiensi konversi energi, kondisi operasional turbin, dan berbagai faktor lingkungan lainnya. Oleh karena itu, hasil perhitungan teoritis yang disajikan dalam studi ini kemungkinan lebih tinggi dibandingkan potensi daya aktual yang dapat dihasilkan di lapangan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa implementasi algoritma Decision Tree tunggal memiliki keterbatasan signifikan dalam memprediksi kecepatan angin di Kabupaten Pekalongan, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai  $R^2$  yang sangat rendah (0,049) yang menandakan ketidakmampuan model menangkap kompleksitas pola angin. Meskipun proyeksi model menghasilkan kecepatan angin rata-rata (4,5 m/s) yang secara teoritis dapat mengoperasikan turbin skala kecil, akurasi model yang rendah menjadikan estimasi potensi daya (rata-rata 1.599 Watt) tidak dapat dijadikan dasar perencanaan yang andal. Dengan demikian, potensi pembangunan PLTB di lokasi studi, berdasarkan temuan ini, harus ditafsirkan secara hati-hati, yakni terbatas pada aplikasi skala sangat kecil (off-grid) dan memerlukan validasi lebih lanjut melalui metodologi yang lebih robust sebelum dapat dipertimbangkan secara serius.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengimplementasikan model machine learning yang lebih kompleks seperti metode ensemble (Random Forest, XGBoost) atau model sekuensial (LSTM) untuk meningkatkan akurasi prediksi. Terakhir, analisis potensi energi sebaiknya disempurnakan dengan mengintegrasikan kurva daya (power curve) spesifik dari pabrikan turbin serta memasukkan faktor kapasitas (capacity factor) yang realistis untuk menghasilkan estimasi produksi energi yang lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Fisika Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan yang sudah membantu selama proses penelitian, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

## Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan terkait dengan penelitian, penulisan, dan/atau publikasi dari artikel ini.

## Daftar Pustaka

- Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., Vincent, V., & Simatupang, J. W. (2020). Potensi energi panas bumi, angin, dan biomassa menjadi energi listrik di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i2.9107>
- Andiyantama, M. Q., Zahira, I., & Irawan, A. (2021). Prediksi energi listrik kincir angin berdasarkan data kecepatan angin menggunakan LSTM. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.25077/jitce.5.01.1-7.2021>
- Ardiana, J. D. P., Y., & S. (2023). Analisis potensi energi angin sebagai PLTB di Pantai Watu Ulo Jember menggunakan data BMKG. *Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 2(4), 962–965. <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1313>
- Chairunisa, G., Najib, M. K., Nurdiati, S., Imni, S. F., Sanjaya, W., Andriani, R. D., Henriyansah, Putri, R. S. P., & Ekaputri, D. (2024). Life expectancy prediction using decision tree, random forest, gradient boosting, and XGBoost regressions. *Jurnal Sintak*, 2(2), 71–82. <https://doi.org/10.62375/jsintak.v2i2.249>
- Demolli, H., Dokuz, A. S., Ecemis, A., & Gokcek, M. (2019). Wind power forecasting based on daily wind speed data using machine learning algorithms. *Energy Conversion and Management*, 198, 111823. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111823>
- Fadila, M. S., Fitri, L., Dasuha, P., Fauzi, R., Matematika, P. S., Sains, F., & Selatan, L. (2024). Prediksi kecepatan angin harian Kota Bandar Lampung menggunakan recurrent neural network (RNN). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Seri 02*, 1(2), 95–100.
- Fahim, M., Sharma, V., Cao, T. V., Canberk, B., & Duong, T. Q. (2022). Machine learning-based digital twin for predictive modeling in wind turbines. *IEEE Access*, 10, 14184–14194. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3147602>

- Illahi, P. K., Viana, A. R., Permata, N. F. M., & Pratama, M. Y. (2023). Penerapan algoritma decision tree dan regresi linear untuk klasifikasi kanker payudara. *SENTIMAS: Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 86–92. <https://journal.irpi.or.id/index.php/sentimas>
- Karaman, Ö. A. (2023). Prediction of wind power with machine learning models. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(20), 11455. <https://doi.org/10.3390/app132011455>
- Puspita Sari, A., Hakim, E. A., Arman Prasetya, D., Arifuddin, R., & Dani, P. (2021). Sistem prediksi kecepatan dan arah angin menggunakan bidirectional long short-term memory. *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur*, 1(1), 6–16. <https://doi.org/10.22219/skpsppi.v1i0.4196>
- Putri, I. P., Terttiaavini, T., & Arminarahmah, N. (2024). Analisis perbandingan algoritma machine learning untuk prediksi stunting pada anak. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1), 257–265. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1078>
- Rahman, A., Sugiyarto, I., Faddillah, U., & Sudarsono, B. (2022). Prediksi kecepatan angin untuk mengetahui sumber energi alternatif menggunakan regresi ANN (Studi kasus Provinsi Aceh tahun 2022). *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 5(2). <https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/INTECOM/article/download/4990/2974>
- Retnoningsih, E., & Pramudita, R. (2020). Mengenal machine learning dengan teknik supervised dan unsupervised learning menggunakan Python. *Bina Insani ICT Journal*, 7(2), 156. <https://doi.org/10.51211/biict.v7i2.1422>
- Ryan, M., & Alfiandy, S. (2022). Prediksi kecepatan angin 12 jam ke depan menggunakan automatic weather observing system (AWOS) berbasis regresi linear. *Buletin GAW Bariri*, 3(2), 1–7. <https://doi.org/10.31172/bgb.v3i2.63>
- Nurjanah, S., Purbolingga, Y., Putri, D. M., Rahmawati, A., Fahrizal, F., & Akramunnas, B. W. (2024). Prediksi kecepatan angin untuk mengetahui potensi sumber energi alternatif menggunakan model regresi lasso: Studi kasus Kota Makassar pada tahun 2024. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 3(1), 278–288. <https://doi.org/10.55606/juprit.v3i1.3501>
- Triyandi, E., Risma, P., Kusumanto, R., Dewi, T., & Oktarina, Y. (2021). Pembangkit energi listrik hybrid mini menggunakan turbin angin sumbu vertikal Savonius sebagai sumber energi alternatif. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, 2(2), 49–56. <https://doi.org/10.52158/jasens.v2i2.200>
- Wardhana, R. G., Wang, G., & Sibuea, F. (2023). Penerapan machine learning dalam prediksi tingkat kasus penyakit di Indonesia. *Journal of Information System Management (JOISM)*, 5(1), 40–45. <https://doi.org/10.24076/joism.2023v5i1.1136>
- Yeganeh-Bakhtiary, A., Eyvazoghli, H., Shabakhty, N., Kamranzad, B., & Abolfathi, S. (2022). Machine learning as a downscaling approach for prediction of wind characteristics under future climate change scenarios. *Complexity*, 2022, 8451812. <https://doi.org/10.1155/2022/8451812>
- Yusuf, M., Setyanto, A., & Aryasa, K. (2022). Analisis prediksi curah hujan bulanan wilayah Kota Sorong menggunakan metode multiple regression. *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, 6(1), 405–417.s