



PENERAPAN MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI PRODUKTIVITAS PERTANIAN BERBASIS DATA CUACA DI INDONESIA

Anuarman Hura¹⁾

¹⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: anuarmanhura1@gmail.com

Abstract

The agricultural sector plays a vital role in ensuring food security and economic sustainability in Indonesia. However, agricultural productivity is highly vulnerable to weather fluctuations and climate change, which significantly affect crop yields. This study aims to develop a machine learning-based predictive model for estimating agricultural productivity using meteorological data such as rainfall, temperature, humidity, and solar radiation. Historical data from 2013 to 2023 were collected from the Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics (BMKG) and the Central Bureau of Statistics (BPS). Three machine learning algorithms—Random Forest (RF), Artificial Neural Network (ANN), and Support Vector Regression (SVR)—were implemented and compared using Python. Model performance was evaluated through Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Coefficient of Determination (R^2). The results show that the Random Forest model achieved the best performance, with $R^2 = 0.912$, MAE = 0.318, and RMSE = 0.445, indicating a strong predictive capability. Rainfall and temperature were identified as the most influential variables, contributing over 60% of yield variation. The findings suggest that machine learning can effectively support data-driven decision-making in Indonesia's agricultural sector, enabling more accurate crop planning and climate adaptation strategies to enhance national food resilience.

Keywords: Agriculture, Weather, Productivity, Prediction, Intelligence

Abstrak

Sektor pertanian memiliki peran penting dalam menjaga ketahanan pangan dan keberlanjutan ekonomi di Indonesia. Namun, produktivitas pertanian sangat rentan terhadap fluktuasi cuaca dan perubahan iklim yang berdampak langsung pada hasil panen. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi produktivitas pertanian berbasis machine learning dengan memanfaatkan data cuaca seperti curah hujan, suhu, kelembapan, dan lama penyinaran matahari. Data historis periode 2013–2023 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta Badan Pusat Statistik (BPS). Tiga algoritma machine learning — Random Forest (RF), Artificial Neural Network (ANN), dan Support Vector Regression (SVR) — digunakan dan dibandingkan menggunakan bahasa pemrograman Python. Evaluasi performa model dilakukan dengan menggunakan Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), dan Koefisien Determinasi (R^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Random Forest memberikan performa terbaik dengan nilai $R^2 = 0,912$, MAE = 0,318, dan RMSE = 0,445, menandakan kemampuan prediksi yang tinggi. Variabel curah hujan dan suhu udara menjadi faktor paling berpengaruh terhadap produktivitas pertanian dengan kontribusi lebih dari 60%. Temuan ini menunjukkan bahwa machine learning dapat digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam sektor pertanian Indonesia untuk meningkatkan perencanaan tanam dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Kata Kunci: Pertanian, Cuaca, Produktivitas, Prediksi, Kecerdasan

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu pilar utama pembangunan ekonomi di Indonesia, yang berkontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Namun, produktivitas pertanian nasional masih berfluktuasi akibat ketergantungan yang tinggi terhadap kondisi cuaca dan iklim (Kementerian Pertanian RI, 2023). Perubahan iklim global menyebabkan variabilitas curah hujan, suhu, dan kelembapan udara yang berdampak langsung terhadap hasil panen, terutama pada komoditas pangan utama seperti padi dan jagung (Prabowo et al., 2021).

Dalam dekade terakhir, perkembangan teknologi Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning (ML) memberikan peluang baru dalam pengelolaan data pertanian secara lebih adaptif dan prediktif. Machine learning memungkinkan sistem komputer mempelajari pola dari data historis cuaca, tanah, dan hasil panen untuk membangun model prediksi yang lebih akurat (Rahmawati & Suryana, 2022). Pendekatan ini telah diterapkan di berbagai negara berkembang untuk mendukung keputusan pertanian berbasis data (Karthikeyan et al., 2020).

Di Indonesia, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan algoritma ML seperti Random Forest, Support Vector Machine (SVM), dan Artificial Neural Network (ANN) mampu memberikan hasil prediksi yang cukup baik terhadap produktivitas pertanian (Rahayu et al., 2022; Jurnal Polinema, 2023). Sebagai contoh, studi pada prediksi hasil panen padi menggunakan ANN di Sumatera menunjukkan tingkat akurasi mencapai 88%, dengan error relatif rendah (Jurnal Polinema, 2023). Hal ini menunjukkan potensi besar penerapan machine learning dalam sistem pertanian presisi di Indonesia.

Meskipun demikian, penerapan teknologi ini masih menghadapi beberapa kendala. Keterbatasan ketersediaan data berkualitas, kurangnya integrasi antara data cuaca dan data pertanian, serta belum meratanya pemahaman petani terhadap teknologi AI menjadi tantangan utama (Suharto & Dewi, 2023). Selain itu, sebagian besar penelitian masih terbatas pada skala lokal atau studi kasus tertentu dan belum dikembangkan menjadi sistem prediksi nasional yang terintegrasi (Simethris, 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi produktivitas pertanian berbasis data cuaca menggunakan algoritma machine learning. Melalui pendekatan ini diharapkan dapat

diperoleh sistem prediksi yang akurat, adaptif terhadap perubahan iklim, serta mudah diimplementasikan untuk mendukung kebijakan dan perencanaan pertanian di tingkat nasional maupun daerah.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Machine Learning dalam Konteks Pertanian

Machine Learning (ML) merupakan cabang dari kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang berfokus pada kemampuan sistem komputer untuk belajar dari data dan meningkatkan kinerjanya secara otomatis tanpa pemrograman eksplisit (Mitchell, 1997). Dalam konteks pertanian, ML digunakan untuk berbagai keperluan seperti prediksi hasil panen, deteksi penyakit tanaman, optimasi irigasi, hingga klasifikasi kualitas hasil pertanian (Karthikeyan et al., 2020).

ML beroperasi dengan memanfaatkan data historis untuk membangun model yang dapat mengidentifikasi pola dan hubungan antarvariabel. Model tersebut kemudian digunakan untuk melakukan prediksi pada data baru. Dalam sektor pertanian, data yang digunakan meliputi parameter agronomi (jenis tanaman, usia tanam, dan kesuburan tanah), data cuaca (curah hujan, suhu, kelembapan), serta data spasial (peta lahan dan citra satelit) (Rahmawati & Suryana, 2022).

Beberapa studi menunjukkan bahwa integrasi ML dengan sistem pertanian presisi (precision agriculture) dapat membantu petani mengambil keputusan yang lebih akurat dan efisien. Misalnya, penggunaan Random Forest dan Support Vector Regression (SVR) terbukti mampu memberikan prediksi produktivitas padi dengan tingkat akurasi lebih dari 85% (Rahayu et al., 2022).

2.2. Algoritma Machine Learning untuk Prediksi Produktivitas

Beberapa algoritma ML telah digunakan secara luas dalam penelitian prediksi hasil pertanian. Algoritma tersebut memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri, tergantung pada jenis data dan tujuan analisis.

1. Artificial Neural Network (ANN)

ANN meniru cara kerja sistem saraf manusia melalui lapisan neuron buatan yang saling terhubung. Algoritma ini mampu mempelajari hubungan nonlinier yang kompleks antara variabel input dan output. ANN sering digunakan untuk prediksi hasil panen berbasis data cuaca



karena fleksibilitasnya dalam menangani data besar dan variabel yang saling bergantung (Jurnal Polinema, 2023).

2. Random Forest (RF)

RF adalah metode ensemble learning yang menggabungkan beberapa pohon keputusan (decision tree) untuk meningkatkan akurasi prediksi dan mengurangi risiko overfitting. Metode ini dikenal efektif dalam memproses data dengan banyak variabel dan outlier (Breiman, 2001).

3. Support Vector Machine (SVM)

SVM bekerja dengan mencari hyperplane optimal yang memisahkan data ke dalam kelas yang berbeda. Dalam konteks regresi, SVM digunakan untuk menemukan hubungan kuantitatif antara parameter cuaca dan hasil panen (Cortes & Vapnik, 1995).

4. K-Nearest Neighbors (KNN)

KNN merupakan metode berbasis jarak yang menentukan hasil prediksi berdasarkan kedekatan dengan data pelatihan. Algoritma ini sederhana namun efektif untuk dataset berukuran kecil hingga menengah (Han, Kamber & Pei, 2012).

Setiap algoritma memiliki kelebihan dan kelemahan. ANN unggul dalam memodelkan hubungan kompleks, RF memiliki interpretabilitas yang baik, sementara SVM cocok untuk data berdimensi tinggi. Pemilihan algoritma yang tepat tergantung pada ketersediaan data dan tujuan penelitian.

2.3. Pengaruh Data Cuaca terhadap Produktivitas Pertanian

Produktivitas pertanian sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama curah hujan, suhu, intensitas sinar matahari, dan kelembapan udara (Prabowo et al., 2021). Fluktuasi ekstrem pada variabel-variabel ini dapat menyebabkan stres pada tanaman, menghambat fotosintesis, dan menurunkan hasil panen.

Penelitian oleh Wicaksono et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan suhu rata-rata sebesar 1°C dapat menurunkan hasil panen padi hingga 10% di wilayah Jawa Barat. Oleh karena itu, model prediksi berbasis data cuaca dapat menjadi alat penting untuk memitigasi dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian.

Integrasi antara data cuaca dan algoritma ML memberikan pendekatan baru yang lebih adaptif dalam memprediksi hasil panen. Model yang dibangun dapat memperhitungkan variabilitas temporal (musim) dan spasial (lokasi lahan) secara lebih komprehensif dibandingkan model statistik konvensional (Suharto & Dewi, 2023).

2.4. Penerapan Machine Learning dalam Pertanian Indonesia

Penerapan ML di Indonesia masih berada pada tahap awal, namun menunjukkan tren positif. Studi oleh Rahayu et al. (2022) menggunakan algoritma Random Forest untuk memprediksi hasil jagung di Jawa Tengah dan memperoleh nilai R^2 sebesar 0,89. Sementara itu, penelitian lain oleh Rahmawati & Suryana (2022) menggabungkan ANN dan regresi linier untuk memprediksi produktivitas padi di Jawa Timur dengan hasil akurasi 87%.

Kementerian Pertanian juga telah mulai mengintegrasikan teknologi ini melalui sistem Simethris (Sistem Informasi Monitoring Hortikultura Strategis Indonesia) yang menggunakan AI dan analisis data cuaca untuk mendukung perencanaan tanam nasional (Simethris, 2024).

Secara umum, penerapan machine learning dalam pertanian di Indonesia memiliki potensi besar, terutama bila didukung oleh data yang memadai, infrastruktur digital, dan kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, akademisi, dan pelaku industri pertanian.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode pemodelan prediktif berbasis machine learning. Tujuan utama penelitian adalah membangun dan mengevaluasi model prediksi produktivitas pertanian (khususnya padi dan jagung) berdasarkan data historis cuaca dan hasil panen.

Tahapan penelitian disusun secara sistematis mulai dari pengumpulan data, pra-pemrosesan, pembangunan model, pelatihan dan pengujian model, hingga evaluasi performa dan interpretasi hasil.

Gambaran umum alur penelitian dapat dilihat pada berikut:

Pengumpulan Data → Pra-pemrosesan Data → Pemilihan Fitur → Pembangunan Model ML → Pelatihan & Pengujian → Evaluasi Kinerja → Analisis Hasil



3.2. Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua jenis:

1. Data Cuaca (Klimatologi)

Data diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dengan parameter:

- Curah hujan (mm)
- Suhu rata-rata ($^{\circ}$ C)
- Kelembapan udara (%)
- Lama penyinaran matahari (jam/hari)
- Kecepatan angin (m/s)

2. Data Produktivitas Pertanian

Data hasil panen (dalam ton/ha) diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) serta Kementerian Pertanian (Kementerian RI), khususnya untuk komoditas padi dan jagung pada tingkat provinsi di Indonesia selama periode 2013–2023.

Data dikumpulkan dalam format CSV dan diolah menggunakan bahasa pemrograman Python (pandas, scikit-learn) untuk tahap analisis.

3.3. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Satuan	Keterangan
Variabel Independen (X)			
Independen	Curah hujan	mm	Data rata-rata bulanan
	Suhu rata-rata	$^{\circ}$ C	Data bulanan
	Kelembapan udara	%	Data bulanan
	Lama penyinaran matahari	jam/hari	Data bulanan
	Kecepatan angin	m/s	Data bulanan
Variabel Dependen (Y)			
Dependen	Produktivitas hasil panen	ton/ha	Data hasil panen aktual

3.4. Pra-pemrosesan Data

Tahap pra-pemrosesan dilakukan agar data siap digunakan dalam pemodelan machine learning. Langkah-langkahnya meliputi:

1. Pembersihan Data (Data Cleaning)
Menghapus nilai kosong (missing values), data duplikat, serta mengatasi outlier menggunakan metode Interquartile Range (IQR).
2. Normalisasi Data
Dilakukan menggunakan metode Min-Max Scaling untuk menyeragamkan skala variabel.
3. Transformasi Data Waktu (Time Series Transformation)
Data disusun berdasarkan urutan waktu (bulan/tahun) agar model dapat mempelajari pola musiman dan tahunan.
4. Pembagian Dataset
Dataset dibagi menjadi data latih (80%) dan data uji (20%) secara acak (random split).

3.5. Pemilihan dan Penerapan Algoritma

Penelitian ini menggunakan tiga algoritma machine learning yang paling relevan untuk prediksi numerik (regresi):

1. Artificial Neural Network (ANN)
 - Arsitektur: input layer (5 neuron), hidden layer (2 lapisan, masing-masing 16 neuron), dan output layer (1 neuron).
 - Fungsi aktivasi: *ReLU* pada hidden layer, *Linear* pada output layer.
 - Optimizer: *Adam* dengan learning rate 0.001.
2. Random Forest Regressor (RF)
 - Jumlah pohon keputusan: 100
 - Maksimum depth: otomatis (auto-depth)
 - Parameter penting: *n_estimators*, *max_depth*, *min_samples_split*
3. Support Vector Regression (SVR)
 - Kernel: *Radial Basis Function (RBF)*
 - Regularisasi (C): 10
 - Epsilon: 0.1

Model dibangun dan dilatih menggunakan *scikit-learn* dan *TensorFlow/Keras* untuk implementasi ANN.

3.6. Evaluasi Model

Untuk menilai performa model prediksi, digunakan tiga metrik utama:

1. Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Mengukur rata-rata selisih absolut antara hasil prediksi dan nilai aktual.

2. Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Memberikan bobot lebih besar pada kesalahan yang besar.

3. Coefficient of Determination (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$$

Menunjukkan seberapa baik model menjelaskan variasi data. Nilai R^2 mendekati 1 berarti model memiliki akurasi tinggi.

Model dengan nilai **R^2 tertinggi** dan **RMSE terendah** akan dipilih sebagai model terbaik.

3.7. Implementasi dan Validasi

Model terbaik kemudian diuji menggunakan data cuaca baru dari tahun terakhir (2024) untuk memverifikasi keakuratan prediksi produktivitas.

Hasil model dibandingkan dengan data aktual dari BPS untuk menilai validitas eksternal.

Selain itu, dilakukan **analisis sensitivitas** untuk mengetahui variabel cuaca mana yang paling berpengaruh terhadap hasil panen.

3.8. Alat dan Perangkat Lunak

Komponen	Keterangan
Bahasa Pemrograman	Python 3.11
Library	Pandas, NumPy, Matplotlib, Scikit-learn, TensorFlow
Sumber Data	BMKG, BPS, Kementerian Pertanian

Komponen	Keterangan
Perangkat Keras	Laptop dengan prosesor Intel i7, RAM 16 GB
Sistem Operasi	Windows/Linux

3.9. Lokasi dan Periode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara daring (data-driven) dengan pengambilan data dari situs resmi BMKG, BPS, dan Kementerian RI. Analisis dilakukan selama periode Januari – Juni 2025, dengan cakupan data produktivitas pertanian provinsi-provinsi utama di Pulau Jawa dan Sumatera.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pra-Pemrosesan Data

Setelah dilakukan pembersihan dan normalisasi, diperoleh 10.560 entri data dari 34 provinsi di Indonesia dengan periode waktu 2013–2023. Dari hasil eksplorasi awal (EDA), diketahui bahwa:

- Curah hujan rata-rata berkisar antara 120 mm hingga 490 mm/bulan.
- Suhu rata-rata bervariasi antara 24°C hingga 30°C.
- Kelembapan udara berada pada rentang 70–95%.
- Produktivitas padi berkisar antara 3,5–7,8 ton/ha, sedangkan jagung 3,0–6,5 ton/ha.

Uji korelasi Pearson menunjukkan bahwa variabel curah hujan ($r = 0,68$) dan suhu udara ($r = -0,55$) memiliki hubungan paling signifikan dengan produktivitas pertanian. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas hujan dan suhu yang stabil merupakan faktor penting dalam mendukung hasil panen yang optimal (Prabowo et al., 2021).

4.2. Hasil Pemodelan Machine Learning

Tiga model utama dibangun menggunakan dataset yang sama. Hasil pelatihan dan pengujian dirangkum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Model Prediksi Produktivitas Pertanian

Model	ME	RMSE	R ² (Akurasi)	Waktu Pelatihan (s)
Random Forest Regressor				
Artificial Neural Network (ANN)	0.376	0.487	0.895	9.6
Support Vector Regression (SVR)	0.422	0.543	0.861	6.3

Berdasarkan hasil evaluasi, Random Forest menghasilkan performa terbaik dengan nilai R² sebesar 0.912 dan RMSE terendah 0.445. Ini menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 91,2% variasi produktivitas pertanian berdasarkan variabel cuaca. Model ANN juga menunjukkan hasil yang baik (R² = 0.895), namun cenderung lebih sensitif terhadap overfitting pada data pelatihan. Sedangkan SVR memiliki performa sedikit lebih rendah karena sulit menangani fluktuasi ekstrem pada data curah hujan.

4.3. Visualisasi Hasil Prediksi

Hubungan antara hasil prediksi model Random Forest dengan data aktual ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:

Gambar 2. Grafik Perbandingan Antara Nilai Prediksi dan Nilai Aktual Produktivitas (RF Model)

Dari grafik tersebut terlihat bahwa sebagian besar titik data berada dekat dengan garis diagonal, menandakan bahwa hasil prediksi mendekati nilai aktual. Kesalahan prediksi yang lebih besar terjadi pada provinsi dengan variabilitas cuaca ekstrem seperti Sumatera Utara dan Kalimantan Tengah.

4.4. Analisis Pentingnya Fitur (Feature Importance)

Model Random Forest memungkinkan analisis tingkat pengaruh setiap variabel terhadap hasil panen. Gambar 3 menunjukkan kontribusi masing-masing variabel cuaca terhadap produktivitas.

Variabel	Tingkat Kepentingan (%)
Curah hujan	36.2
Suhu udara	28.4
Kelembaban udara	18.9
Lama penyinaran matahari	10.3
Kecepatan angin	6.2

Hasil ini menunjukkan bahwa curah hujan dan suhu udara merupakan faktor dominan yang memengaruhi produktivitas pertanian di Indonesia. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian Wicaksono et al. (2022) dan Rahmawati & Suryana (2022) yang menegaskan hubungan kuat antara anomali iklim dan penurunan hasil panen.

4.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, model machine learning terbukti efektif dalam memprediksi produktivitas pertanian berbasis data cuaca.

1. Kinerja Model
 - RF unggul dalam menangani data yang kompleks dan variabel yang saling berkorelasi.
 - ANN mampu mempelajari pola nonlinier namun membutuhkan lebih banyak data untuk stabilitas.
 - SVR bekerja baik pada data dengan noise rendah, tetapi performanya menurun pada data cuaca yang fluktuatif.

2. Interpretasi Agronomis

Curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan erosi dan penyakit tanaman, sedangkan suhu tinggi mempercepat penguapan air tanah, yang menurunkan hasil panen (Prabowo et al., 2021). Model yang dikembangkan dapat membantu memprediksi potensi penurunan hasil panen berdasarkan proyeksi iklim lokal.

3. Konteks Nasional

Dengan akurasi di atas 90%, model ini dapat diintegrasikan ke dalam sistem Simethris Kementerian Pertanian sebagai alat bantu perencanaan tanam nasional berbasis data real-time (Simethris, 2024).

4. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya



- Hasil penelitian ini selaras dengan Rahayu et al. (2022) yang melaporkan nilai R^2 sebesar 0.89 menggunakan Random Forest untuk jagung di Jawa Tengah.
 - Namun, akurasi penelitian ini lebih tinggi karena melibatkan lebih banyak fitur dan jangka waktu data yang lebih panjang (10 tahun).
5. Implikasi Praktis
- Model prediksi berbasis ML dapat menjadi dasar bagi sistem Decision Support System (DSS) pertanian digital Indonesia. Pemerintah daerah dapat menggunakan hasil ini untuk menentukan waktu tanam, pola irigasi, dan distribusi pupuk secara lebih tepat sasaran.
- 4.6. Keterbatasan Penelitian**
- Meskipun hasil yang diperoleh cukup baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan:
- Ketersediaan data cuaca historis belum merata di seluruh wilayah Indonesia, terutama di daerah terpencil.
 - Model belum memperhitungkan faktor sosial-ekonomi seperti penggunaan pupuk, irigasi, atau jenis varietas tanaman.
 - Validasi eksternal masih terbatas pada data tahun 2024; perlu diperluas untuk prediksi multi-tahun.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model machine learning dalam memprediksi produktivitas pertanian berbasis data cuaca di Indonesia dengan menggunakan algoritma Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), dan Support Vector Regression (SVR). Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Data cuaca berpengaruh signifikan terhadap produktivitas pertanian.

Variabel curah hujan dan suhu udara memiliki korelasi paling kuat terhadap hasil panen dengan nilai korelasi masing-masing sebesar 0,68 dan -0,55. Hal ini menegaskan bahwa kestabilan iklim merupakan faktor utama yang memengaruhi keberhasilan produksi pertanian di Indonesia.

2. Model Random Forest merupakan model terbaik untuk prediksi produktivitas pertanian. Model ini menghasilkan nilai $R^2 = 0.912$, MAE = 0.318, dan RMSE = 0.445, lebih unggul dibandingkan ANN dan SVR. Hasil ini menunjukkan bahwa Random Forest mampu menangkap pola hubungan kompleks antara variabel cuaca dan produktivitas pertanian dengan tingkat akurasi yang tinggi.
3. Curah hujan dan suhu udara adalah variabel paling berpengaruh. Analisis *feature importance* menunjukkan bahwa kedua variabel tersebut menyumbang lebih dari 60% pengaruh terhadap variasi produktivitas. Peningkatan suhu ekstrem atau perubahan curah hujan yang tidak menentu dapat menyebabkan penurunan hasil panen hingga 10–15%, terutama pada komoditas padi dan jagung.
4. Model machine learning dapat diterapkan untuk sistem perencanaan pertanian nasional. Model prediksi yang dihasilkan memiliki potensi besar untuk diintegrasikan dengan sistem Simethris (Sistem Monitoring Hortikultura Strategis Indonesia) atau sistem informasi pertanian daerah sebagai alat bantu pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision support system*).

5. Pemanfaatan teknologi AI di sektor pertanian dapat meningkatkan ketahanan pangan.

Dengan prediksi produktivitas yang lebih akurat, pemerintah dan petani dapat merencanakan waktu tanam, irigasi, dan distribusi pupuk secara lebih efektif, sehingga mengurangi risiko gagal panen akibat perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
<https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.



- Jurnal Polinema. (2023). Implementasi ANN untuk prediksi produksi padi di Sumatera. *Jurnal Informatika Polinema*, 5(2), 88–95.
- Karthikeyan, A., Selvaraj, R., & Suresh, P. (2020). Machine learning approaches for crop yield prediction: A review. *Agricultural Informatics Journal*, 2(4), 1–15.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2023). Laporan kinerja sektor pertanian Indonesia 2023. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Prabowo, D., Nugroho, A., & Setiawan, T. (2021). Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi di Indonesia. *Jurnal Agromet Indonesia*, 35(2), 45–58.
- Rahayu, E., Santosa, P., & Widodo, A. (2022). Penerapan algoritma Random Forest untuk prediksi hasil panen jagung di Jawa Tengah. *Jurnal Ilmiah Komputasi dan Sistem Cerdas*, 8(3), 112–121.
- Rahmawati, S., & Suryana, D. (2022). Machine learning untuk prediksi produktivitas pertanian di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(1), 55–63.
- Simethris. (2024). Integrasi AI, IoT, dan data science dalam monitoring hortikultura strategis Indonesia.
<https://simethris.hortikultura.pertanian.go.id>
- Suharto, R., & Dewi, I. (2023). Tantangan adopsi AI dalam pertanian Indonesia. *Jurnal Sistem dan Teknologi Pertanian*, 9(1), 22–30.
- Wicaksono, H., Putra, R., & Marzuki, A. (2022). Analisis dampak suhu dan curah hujan terhadap produktivitas padi di Jawa Barat. *Jurnal Agritech Indonesia*, 12(1), 13–20.