

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi yang pesat serta ketidakpastian perubahan iklim memberikan tekanan besar terhadap ketahanan pangan, baik pada tingkat global maupun nasional. Kondisi ini menuntut adanya peningkatan efisiensi produksi pertanian melalui pemanfaatan teknologi yang mampu mendukung pengambilan keputusan secara lebih akurat. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penerapan sistem pertanian presisi yang memanfaatkan data untuk memprediksi hasil panen berbagai komoditas secara lebih tepat dan berkelanjutan. Data produksi padi dan pangan nasional menjadi indikator penting dalam menggambarkan skala tantangan tersebut. Laporan Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024 menunjukkan dinamika produksi pangan nasional yang memerlukan upaya peningkatan efisiensi produksi serta perencanaan panen yang lebih akurat berbasis data (Ellahi dkk., 2023).

Selain itu, proyeksi dari *Food and Agriculture Organization* (FAO) mengenai kebutuhan pangan global pada dekade mendatang menunjukkan adanya potensi kesenjangan antara permintaan dan pasokan pangan. Hal ini menegaskan pentingnya peningkatan kemampuan peramalan produksi serta adaptasi terhadap berbagai risiko iklim, seperti volatilitas cuaca dan anomali iklim. Upaya tersebut menjadi bagian penting dalam menjaga stabilitas ketahanan pangan di tingkat nasional maupun regional (Kaur & Parashar, 2021). Dalam konteks ini, integrasi berbagai sumber data seperti data produksi historis, variabel cuaca, kondisi tanah, serta faktor manajemen budidaya menjadi fondasi penting dalam pengembangan model prediksi hasil panen yang akurat (Zhang dkk., 2022).

Sebagai bagian dari upaya digitalisasi sektor pertanian, platform JejakPadi telah diimplementasikan pada UD Tani Rejo dengan memanfaatkan teknologi cloud computing dan QR Code untuk mendukung ketertelusuran rantai pasok

secara transparan. Sistem ini memungkinkan proses pencatatan dan pelacakan produk beras dilakukan secara digital sehingga mendukung pengelolaan mutu serta transparansi distribusi dari hulu hingga hilir. Berdasarkan laporan implementasi sistem, penggunaan platform ini mampu membantu menurunkan potensi kehilangan beras serta meningkatkan daya saing produk melalui dokumentasi digital yang terpusat (Dey dkk., 2021).

Meskipun demikian, platform JejakPadi saat ini masih berfokus pada aspek ketertelusuran dan pengelolaan mutu serta belum dilengkapi dengan modul prediksi estimasi hasil panen. Akibatnya, perencanaan masa panen masih dilakukan secara manual dan berpotensi kurang akurat karena dipengaruhi oleh berbagai faktor kompleks seperti kondisi cuaca, kualitas tanah, serta pola budidaya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode estimasi konvensional sering kali memiliki keterbatasan dalam memproses berbagai variabel lingkungan yang bersifat dinamis (Ellahi dkk., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, algoritma kecerdasan buatan seperti machine learning dan deep learning telah banyak digunakan dalam analisis data pertanian. Metode ensemble learning seperti Random Forest diketahui mampu meningkatkan akurasi prediksi hasil panen pada berbagai penelitian (Zhang dkk., 2022). Selain itu, arsitektur jaringan saraf seperti Long Short-Term Memory (LSTM) juga efektif dalam memodelkan data runtun waktu yang berkaitan dengan dinamika lingkungan dan riwayat produksi (Gonçalves, 2025).

Dalam proses pengembangan model prediksi, pemilihan fitur yang relevan menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhi performa model. Riwayat hasil panen sering kali menjadi variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil prediksi. Oleh karena itu, teknik feature engineering seperti penggunaan rolling mean dan agregasi data time series dapat dimanfaatkan untuk mengekstraksi pola tren dari data historis sehingga meningkatkan stabilitas dan akurasi model (Núñez & Balzarini, 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan ini bertujuan untuk melakukan perbandingan kinerja enam model kecerdasan buatan, yaitu Random Forest, Gradient Boosting, Bagging Regressor, LSTM, GRU, dan RNN dalam memprediksi hasil panen pada sepuluh komoditas pertanian. Model dengan performa terbaik selanjutnya akan diintegrasikan sebagai modul prediksi panen pada platform JejakPadi. Implementasi modul ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan peramalan hasil panen secara lebih akurat serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam ekosistem pertanian digital.

1.2 State of the Art (Penelitian Terdahulu)

Interaksi antara faktor pertanian seperti kondisi iklim (suhu, curah hujan), karakteristik tanah, riwayat panen, dan masukan agronomis bersifat non-linear dan berdimensi tinggi. Metode statistik konvensional sering kesulitan menangkap kompleksitas interaksi multidimensi tersebut, sehingga estimasi produksi rentan terhadap ketidakakuratan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, pendekatan kecerdasan buatan, khususnya Machine Learning dan Deep Learning, telah digunakan untuk mengekstraksi pola kompleks dari data pertanian berskala besar (Zhang dkk., 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa model AI mampu menangkap hubungan non-linear dan dependensi temporal yang sulit direpresentasikan secara tradisional, sehingga meningkatkan akurasi prediksi hasil panen (Núñez & Balzarini, 2025). Selain itu, pendekatan berbasis data memungkinkan integrasi berbagai variabel heterogen seperti iklim, tanah, dan praktik agronomis dalam satu kerangka pemodelan yang terpadu. Hal ini memberikan keunggulan dibandingkan metode konvensional yang umumnya terbatas pada asumsi linearitas dan jumlah variabel yang lebih sedikit. Dengan demikian, penggunaan AI tidak hanya meningkatkan akurasi, tetapi juga memperluas kemampuan analisis dalam memahami dinamika kompleks sistem pertanian.

Pemanfaatan algoritma Machine Learning berbasis ensemble, seperti Random Forest dan Bagging Regressor, menjadi pendekatan penting untuk

mengurangi varians model dan meningkatkan stabilitas prediksi pada dataset pertanian yang berisik akibat fluktuasi lingkungan. Studi menunjukkan bahwa metode berbasis pohon memiliki ketahanan terhadap noise dan mampu menangkap variasi ekstrem pada data iklim dan tanah (Gonçalves).

Di sisi lain, arsitektur Deep Learning seperti Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), dan Recurrent Neural Network (RNN) menunjukkan performa unggul dalam menangkap dependensi temporal dari data time-series pertanian. Model ini mampu mengatasi permasalahan vanishing gradient dan memodelkan hubungan jangka panjang dalam riwayat produksi (Núñez & Balzarini, 2025). Selain itu, Arya dkk. menegaskan bahwa LSTM efektif dalam prediksi produksi pertanian skala besar dengan akurasi yang tinggi.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara komprehensif membandingkan model Tree-based Ensemble dan Deep Learning dalam konteks prediksi multikomoditas secara simultan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perbandingan enam model AI, yaitu Random Forest, Gradient Boosting, Bagging Regressor, LSTM, GRU, dan RNN, untuk mengidentifikasi model paling optimal dalam mendukung sistem prediksi pada platform JejakPadi.

1.3 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi celah pada sistem yang ada, permasalahan utama dalam kegiatan ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan kinerja antara metode Machine Learning (Random Forest, Gradient Boosting, Bagging Regressor) dan Deep Learning (LSTM, GRU, RNN) dalam memprediksi hasil panen secara presisi untuk 10 komoditas pertanian utama (padi, jagung, gandum, kedelai, singkong, kentang, sorgum, ubi jalar, ubi, dan pisang)?

2. Fitur atau variabel prediktor apakah yang memiliki tingkat kepentingan tertinggi (Feature Importance) dalam memengaruhi akurasi prediksi algoritma terhadap hasil panen?
3. Bagaimana cara mengintegrasikan model kecerdasan buatan dengan akurasi terbaik ke dalam platform JejakPadi agar dapat berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan yang praktis bagi petani?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan kegiatan dan penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi dan membandingkan performa 6 (enam) algoritma kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi model dengan tingkat presisi tertinggi dan kesalahan terendah (berdasarkan metrik MAE, MSE, dan R2) pada spesifik 10 komoditas tanaman pangan.
2. Menganalisis tingkat kepentingan fitur (Feature Importance) guna mengetahui variabel dominan yang paling menentukan hasil panen, baik dari sisi riwayat tren panen historis maupun faktor iklim dan agronomis.
3. Mengembangkan dan mengintegrasikan modul prediksi kecerdasan buatan paling optimal ke dalam platform Cloud Computing JejakPadi, guna memfasilitasi petani dengan informasi prediksi yang andal untuk merencanakan masa panen dan meminimalisir risiko kerugian.