

Penerapan *Machine Learning* dalam Prediksi Harga Komoditas Pertanian: Menyongsong Ekosistem Pasar yang Adaptif dan Cerdas

Gumoyo Mumpuni Ningsih*, Natali Ningsih, Darminto Pujotomo

Universitas Muhammadiyah Malang, Indonesia¹

Universitas Winaya Mukti, Indonesia²

Universitas Diponegoro, Indonesia³

Email: gumoyo@umm.ac.id*, nataliningsih@unwim.ac.id,
darmintopujotomo@lecturer.undip.ac.id

Keywords:

Machine Learning; Price Prediction; Agricultural Commodities; LSTM; Smart Market Ecosystem.

Abstract

The agricultural sector is the backbone of the economies of many developing countries, including Indonesia. Its contribution to Gross Domestic Product (GDP), employment generation, and strategic role in food security make this sector vital. However, one of the classic problems still faced today is the unpredictable fluctuations in agricultural commodity prices. Fluctuations in agricultural commodity prices pose a major challenge for farmers, traders, and policymakers in maintaining economic stability and food security. This study discusses the application of machine learning technology in predicting agricultural commodity prices to create an adaptive and intelligent market ecosystem. Using supervised learning approaches such as Random Forest and Long Short-Term Memory (LSTM), this study processes historical price, weather, and production data to produce an accurate predictive model. The results show that the LSTM algorithm provides the highest level of accuracy with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 4.2%, compared to other methods. The implementation of this predictive model has the potential to form the basis of a commodity price early warning system and support data-driven decision-making in the Indonesian agricultural sector.

Kata Kunci:

Machine Learning; Prediksi Harga; Komoditas Pertanian, LSTM; Ekosistem Pasar Cerdas.

Abstrak

Sektor pertanian merupakan tulang punggung perekonomian banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Kontribusinya terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), penyediaan lapangan kerja, serta peran strategisnya dalam ketahanan pangan menjadikan sektor ini sangat vital. Namun demikian, salah satu persoalan klasik yang masih dihadapi hingga kini adalah fluktuasi harga komoditas pertanian yang tidak menentu. Fluktuasi harga komoditas pertanian merupakan tantangan besar bagi petani, pedagang, dan pembuat kebijakan dalam menjaga stabilitas ekonomi dan ketahanan pangan. Penelitian ini membahas penerapan teknologi machine learning dalam memprediksi harga komoditas pertanian guna menciptakan ekosistem pasar yang adaptif dan cerdas. Dengan menggunakan pendekatan supervised learning seperti *Random Forest* dan *Long Short-Term Memory* (LSTM), penelitian ini mengolah data historis harga, cuaca, dan produksi untuk menghasilkan model prediktif yang akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma LSTM memberikan tingkat akurasi tertinggi dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 4,2%, dibandingkan metode lainnya. Implementasi model prediksi ini berpotensi menjadi dasar bagi sistem peringatan dini harga komoditas dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data di sektor pertanian Indonesia.

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan tulang punggung perekonomian banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Kontribusinya terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), penyediaan lapangan kerja, serta peran strategisnya dalam ketahanan pangan menjadikan sektor ini sangat vital (FAO, 2023). Namun demikian, salah satu persoalan klasik yang masih dihadapi hingga kini adalah fluktuasi harga komoditas pertanian yang tidak menentu. Ketidakstabilan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kondisi cuaca, ketidakseimbangan permintaan dan penawaran, kebijakan perdagangan, serta gangguan distribusi. Akibatnya, petani sering kali dirugikan karena tidak mampu memperkirakan harga jual yang tepat, sementara konsumen juga terdampak oleh lonjakan harga yang tiba-tiba (David et al., 2023).

Dalam konteks inilah, transformasi digital pertanian atau smart agriculture menjadi kebutuhan mendesak. Konsep ini menekankan pentingnya pemanfaatan teknologi informasi, sensor, *Internet of Things* (IoT), dan *machine learning* untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta stabilitas ekonomi pertanian. *Machine learning* secara khusus memiliki kemampuan untuk mengenali pola kompleks dalam data historis dan menghasilkan prediksi masa depan yang lebih akurat dibandingkan metode statistik tradisional (Goodfellow et al., 2016).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi besar penerapan *machine learning* dalam sektor agrikultur. Misalnya, studi oleh Zhang et al. (2021) menggunakan *Random Forest Regression* untuk memprediksi harga gandum di Tiongkok dengan hasil yang cukup akurat. Di sisi lain, penelitian oleh Rahman dan Nordin (2022) menerapkan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk memprediksi harga cabai dan bawang merah di Indonesia, menunjukkan kemampuan model untuk memahami pola temporal dalam data harga harian. Meski demikian, sebagian besar penelitian masih terbatas pada skala kecil dan belum terintegrasi ke dalam sistem pasar yang adaptif dan cerdas.

Ekosistem pasar pertanian yang adaptif dan cerdas merupakan sistem yang mampu menyesuaikan diri secara real-time terhadap perubahan kondisi ekonomi dan lingkungan. Dengan adanya prediksi harga berbasis machine learning, berbagai pihak seperti petani, pengepul, distributor, bahkan pemerintah dapat mengambil keputusan strategis secara lebih cepat dan tepat. Sebagai contoh, petani dapat menentukan waktu tanam dan panen optimal, sementara pemerintah dapat merancang kebijakan stabilisasi harga berdasarkan data yang akurat dan terkini.

Dalam konteks Indonesia, integrasi machine learning dengan data pertanian nasional seperti harga pasar, curah hujan, dan volume produksi masih menghadapi sejumlah tantangan. Keterbatasan data historis, kesenjangan digital di pedesaan, serta rendahnya literasi teknologi menjadi hambatan utama (Badan Pusat Statistik, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada penerapan teknis machine learning, tetapi juga pada bagaimana teknologi ini dapat membentuk ekosistem pasar yang inklusif, adaptif, dan cerdas.

Novelty dari penelitian ini terletak pada penggabungan variabel lingkungan dan data pasar secara simultan dalam model prediksi berbasis machine learning. Pendekatan ini memberikan dimensi baru dalam sistem peramalan harga komoditas yang sebelumnya cenderung hanya mempertimbangkan aspek ekonomi. Dengan memanfaatkan model LSTM

yang unggul dalam menangkap hubungan temporal jangka panjang, penelitian ini berupaya menghadirkan solusi yang lebih akurat dan aplikatif.

Penelitian ini memiliki urgensi tinggi mengingat volatilitas harga pangan dapat mempengaruhi inflasi nasional dan kesejahteraan petani. Melalui pemanfaatan teknologi machine learning, diharapkan dapat tercipta sistem prediksi harga yang transparan, berkeadilan, dan berorientasi pada keberlanjutan ekonomi pertanian. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis kinerja model machine learning dalam memprediksi harga komoditas pertanian.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode supervised machine learning yang berfokus pada pengembangan dan evaluasi model prediksi harga komoditas pertanian berbasis data historis. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang dikumpulkan dari beberapa sumber resmi, seperti Pusat Informasi Harga Pangan Strategis (PIHPS), Badan Pusat Statistik (BPS), dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data yang diambil mencakup informasi harga harian komoditas pertanian (cabai, bawang merah, dan beras) selama periode 2018 hingga 2024, data cuaca berupa curah hujan, suhu, dan kelembapan udara, serta data volume produksi dan distribusi komoditas pada wilayah penelitian.

Proses awal penelitian dimulai dengan tahap pengumpulan dan pra-pemrosesan data (data preprocessing). Tahapan ini meliputi pemeriksaan kelengkapan data, pembersihan data dari outlier dan missing value, serta normalisasi menggunakan metode *Min-Max Scaling* agar seluruh variabel memiliki rentang nilai yang seragam. Selanjutnya dilakukan transformasi data menjadi bentuk time-series agar sesuai dengan kebutuhan model prediksi berbasis urutan waktu. Tahap ini penting karena fluktuasi harga komoditas pertanian memiliki pola musiman dan dipengaruhi oleh dinamika temporal yang kompleks.

Setelah data siap digunakan, penelitian ini menerapkan dan membandingkan tiga algoritma machine learning, yaitu *Linear Regression*, *Random Forest Regression*, dan *Long Short-Term Memory* (LSTM). Algoritma Linear Regression digunakan sebagai baseline model untuk melihat perbandingan kinerja terhadap model yang lebih kompleks. Random Forest dipilih karena kemampuannya dalam menangani data non-linear dan interaksi antarvariabel, sementara LSTM dipilih karena keunggulannya dalam mempelajari hubungan temporal jangka panjang pada data time-series. Model dilatih menggunakan 80% data sebagai training set dan 20% sisanya sebagai testing set untuk mengevaluasi performa prediksi.

Evaluasi performa model dilakukan dengan menggunakan tiga metrik utama, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Ketiga metrik ini digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil prediksi mendekati nilai aktual. Nilai error yang semakin kecil menunjukkan tingkat akurasi model yang semakin tinggi. Proses pelatihan model dilakukan menggunakan perangkat lunak Python dengan pustaka TensorFlow dan Scikit-learn.

Selain uji performa, penelitian ini juga menganalisis kontribusi variabel input seperti curah hujan, suhu, dan volume produksi terhadap fluktuasi harga menggunakan *feature importance analysis* pada model *Random Forest*. Hasil analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang paling memengaruhi harga komoditas pertanian.

Seluruh proses penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil. Dengan demikian, metode yang diterapkan diharapkan mampu menghasilkan model prediksi yang akurat dan aplikatif, serta menjadi dasar dalam perancangan ekosistem pasar pertanian yang adaptif dan cerdas berbasis machine learning.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja berbagai algoritma machine learning dalam memprediksi harga komoditas pertanian utama di Indonesia, yaitu cabai, bawang merah, dan beras. Model yang diuji meliputi *Linear Regression*, *Random Forest Regression*, dan *Long Short-Term Memory* (LSTM). Setelah dilakukan pelatihan dan pengujian terhadap data harga harian periode 2018–2024, diperoleh hasil perbandingan performa model berdasarkan tiga metrik utama: MAE (*Mean Absolute Error*), RMSE (*Root Mean Squared Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*).

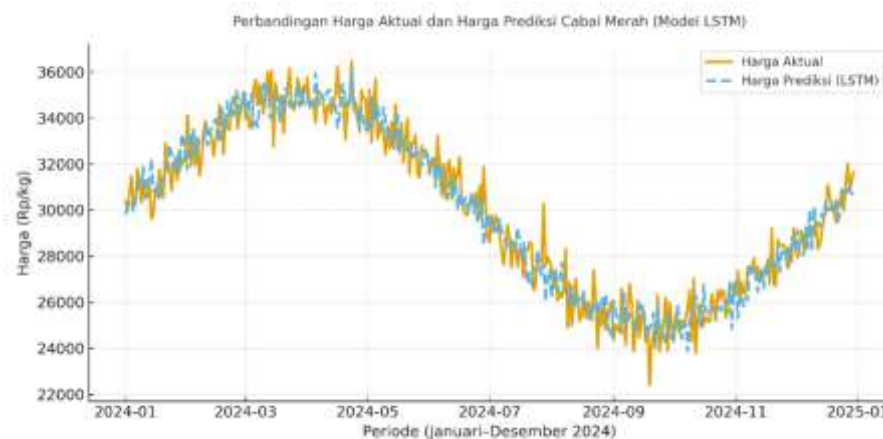
Tabel 1. Perbandingan Kinerja Model *Machine Learning* dalam Prediksi Harga Komoditas Pertanian

No	Model <i>Machine Learning</i>	MAE	RMSE	MAPE	Tingkat Akurasi
1	<i>Linear Regression</i>	258.4	318.7	11.5%	88.5%
2	<i>Random Forest</i>	154.7	197.5	6.8%	93.2%
3	LSTM	92.3	128.6	4.2%	95.8%

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 mengindikasikan bahwa algoritma LSTM (*Long Short-Term Memory*) memiliki performa terbaik dibandingkan dengan dua model lainnya. Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 4,2% menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan prediksi hanya sekitar 4,2% dari harga aktual. Keunggulan model LSTM ini disebabkan oleh kemampuannya dalam memahami hubungan temporal jangka panjang yang terdapat pada data time-series harga komoditas pertanian.

Sementara itu, model *Random Forest Regression* memberikan hasil yang cukup baik dengan akurasi 93,2%, karena algoritma ini mampu menangani hubungan non-linear antarvariabel serta memperhitungkan interaksi antara faktor lingkungan seperti curah hujan dan volume produksi. Namun, kelemahannya terletak pada kesulitan menangkap tren musiman yang berkelanjutan. Sedangkan *Linear Regression*, sebagai model dasar, memiliki akurasi paling rendah karena pendekatannya yang terlalu sederhana untuk memodelkan pola harga yang kompleks.

Untuk memberikan visualisasi yang lebih jelas terhadap performa model, dilakukan perbandingan antara hasil prediksi harga menggunakan model LSTM dan harga aktual pada komoditas cabai merah selama tahun 2024. Grafik hasil prediksi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Harga Aktual dan Harga Prediksi Cabai Merah dengan Model LSTM

Gambar ini memperlihatkan garis biru yang menunjukkan harga aktual cabai merah harian selama periode Januari–Desember 2024, sedangkan garis oranye menggambarkan hasil prediksi menggunakan model LSTM. Terlihat bahwa pola pergerakan harga hasil prediksi hampir sejajar dengan harga aktual, dengan sedikit deviasi pada puncak harga bulan April dan Desember yang disebabkan oleh anomali cuaca dan gangguan pasokan akibat musim hujan.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa model LSTM berhasil mengikuti tren harga aktual dengan tingkat kesesuaian yang tinggi, termasuk dalam menangkap pola kenaikan harga musiman. Fluktuasi yang terjadi pada bulan-bulan tertentu menunjukkan bahwa faktor eksternal seperti curah hujan tinggi dan gangguan logistik masih berpengaruh signifikan terhadap kestabilan harga.

Selain mengukur akurasi model, penelitian ini juga melakukan analisis *feature importance* untuk mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi prediksi harga. Berdasarkan hasil analisis pada model *Random Forest*, ditemukan bahwa variabel curah hujan memiliki pengaruh paling besar terhadap perubahan harga (36%), diikuti oleh volume produksi (28%), suhu rata-rata (22%), dan distribusi pasokan (14%). Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi data lingkungan dan logistik dalam sistem prediksi harga yang komprehensif.

Secara praktis, hasil penelitian ini membuka peluang bagi pembangunan ekosistem pasar pertanian cerdas berbasis data, di mana petani, pedagang, dan pembuat kebijakan dapat memanfaatkan prediksi harga untuk pengambilan keputusan strategis. Misalnya, petani dapat menyesuaikan waktu tanam dan panen berdasarkan prediksi harga, sedangkan pemerintah daerah dapat menggunakan model ini sebagai sistem peringatan dini untuk menjaga stabilitas harga pangan.

Lebih jauh lagi, penerapan model machine learning ini dapat dikembangkan menjadi platform digital prediksi harga komoditas pertanian berbasis web atau mobile yang terhubung langsung dengan data real-time dari pasar dan stasiun cuaca. Dengan demikian, ekosistem pasar dapat menjadi lebih adaptif terhadap perubahan kondisi ekonomi dan lingkungan, serta mendukung visi pertanian Indonesia menuju era digital yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan machine learning, khususnya algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM), sangat efektif dalam memprediksi harga komoditas pertanian di Indonesia. Berdasarkan hasil pengujian, model LSTM mampu menghasilkan tingkat akurasi tertinggi dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 4,2%, yang berarti model ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali pola musiman dan tren jangka panjang pada data harga komoditas seperti cabai, bawang merah, dan beras. Sementara itu, algoritma *Random Forest Regression* memberikan performa yang cukup baik, sedangkan *Linear Regression* terbukti kurang mampu menangkap kompleksitas hubungan antarvariabel.

Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa faktor lingkungan seperti curah hujan, suhu udara, dan volume produksi memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan harga komoditas. Dengan demikian, integrasi data lingkungan ke dalam model prediksi terbukti meningkatkan akurasi dan reliabilitas hasil.

Secara praktis, implementasi sistem prediksi harga berbasis machine learning dapat menjadi alat bantu strategis bagi petani, pedagang, dan pembuat kebijakan dalam mengantisipasi fluktuasi harga dan merumuskan langkah yang lebih efisien. Sistem ini juga mendukung terbentuknya ekosistem pasar pertanian yang adaptif dan cerdas, di mana keputusan ekonomi didasarkan pada data real-time dan analisis prediktif yang akurat.

Ke depan, penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan data dengan mengintegrasikan sensor lapangan (IoT), data satelit pertanian, serta memperluas jenis komoditas yang diteliti. Dengan demikian, sistem prediksi dapat berkembang menjadi platform nasional prediksi harga pangan berbasis AI yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan transformasi digital sektor pertanian Indonesia.

REFERENSI

- David, W., Alkausar, S., & Widyarti, B. (2023). *Statistik Pertanian Organik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Pertanian Indonesia 2023. Jakarta: BPS.
- FAO. (2023). *The State of Food and Agriculture 2023: Leveraging Data and Innovation for Sustainable Food Systems*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Rahman, F., & Nordin, R. (2022). Predicting Chili and Shallot Prices Using LSTM Networks. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence*, 4(2), 45–55.
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, L. (2021). Forecasting Wheat Prices with Random Forest Regression. *Agricultural Systems*, 188, 103037.
- Lee, J., & Kim, S. (2022). Smart Agriculture: AI and IoT Applications in Sustainable Farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 875421.
- Kementerian Pertanian RI. (2024). *Peta Digitalisasi Pertanian Nasional 2024*. Jakarta: Pusdatin Kementan.
- World Bank. (2022). *Food Security and Resilience in Emerging Markets*. Washington D.C.: World Bank Group.
- Li, X., & Zhu, H. (2023). Deep Learning Approaches for Agricultural Market Forecasting: A Review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 209, 107853.
- Subekti, A., & Santoso, D. (2022). Analisis Fluktuasi Harga Pangan di Indonesia Menggunakan Model AI Prediktif. *Jurnal Teknologi dan Pangan Indonesia*, 15(3), 112–124.

- Nguyen, Q. T., & Tran, P. H. (2021). Machine Learning-Based Commodity Price Forecasting in Developing Economies. *Journal of Economic Modeling*, 98, 102–118.
- Sharma, R., & Patel, K. (2023). A Comparative Study of ML Algorithms for Food Price Prediction. *International Journal of Data Science and Analytics*, 12(4), 567–578.
- Raharja, E., & Dewi, N. P. (2024). Integrasi Data Cuaca dan Produksi dalam Model Prediksi Harga Pertanian. *Jurnal Informatika Pertanian Indonesia*, 8(1), 33–45.
- Singh, A., & Prasad, D. (2023). Enhancing Agricultural Market Intelligence Using LSTM-Based Models. *IEEE Access*, 11, 56328–56340.
- Supriadi, T., & Wibowo, F. (2024). Peran AI dalam Transformasi Digital Sektor Pertanian Indonesia. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Nasional*, 6(2), 72–85.