

Transformasi Pertanian Cerdas Berbasis Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) untuk Memperkuat Ketahanan Pangan Berkelanjutan di Indonesia

Rizki Sanjaya¹, Hilalludin Hilalludin²

¹Sekolah Tinggi Ilmu Tarbiyah Madani, Indonesia

²Universitas Alma Ata Yogyakarta, Indonesia

Email: rizkisanjay003@gmail.ac.id¹ hilalluddin34@gmail.com²

ABSTRAK

Ketahanan pangan merupakan salah satu tantangan strategis yang dihadapi Indonesia akibat meningkatnya jumlah penduduk, perubahan iklim, keterbatasan sumber daya alam, serta rendahnya efisiensi produksi pertanian. Kondisi tersebut mendorong perlunya transformasi sektor pertanian melalui pemanfaatan teknologi digital, khususnya *Artificial Intelligence* (AI), guna mewujudkan sistem pertanian yang lebih produktif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran transformasi pertanian cerdas berbasis AI dalam meningkatkan efisiensi produksi pertanian serta memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Penelitian menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (*library research*) melalui analisis berbagai artikel ilmiah, buku, laporan organisasi internasional, serta dokumen kebijakan pemerintah yang relevan. Data dianalisis menggunakan teknik *content analysis* dan analisis tematik untuk mengidentifikasi pola, tema, dan hubungan antarvariabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi AI mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya pertanian, meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, memprediksi perubahan iklim dan risiko gagal panen, meningkatkan produktivitas hasil pertanian, serta memperkuat efisiensi distribusi pangan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penyajian analisis yang mengintegrasikan penerapan AI dalam seluruh sistem pertanian dengan empat dimensi ketahanan pangan, yaitu ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas pangan dalam konteks Indonesia. Penelitian ini memberikan implikasi bahwa penguatan infrastruktur digital, peningkatan literasi teknologi petani, serta kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta menjadi langkah strategis dalam mendukung transformasi pertanian cerdas dan mewujudkan ketahanan pangan nasional yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Artificial Intelligence; pertanian cerdas; ketahanan pangan; pertanian berkelanjutan; transformasi digital.

ABSTRACT

Food security has become one of Indonesia's strategic challenges due to rapid population growth, climate change, limited natural resources, and the relatively low efficiency of agricultural production. These challenges require the transformation of the agricultural sector through digital technologies, particularly Artificial Intelligence (AI), to establish a more productive and sustainable agricultural system. This study aims to analyze the role of AI-based smart agriculture in improving agricultural production efficiency and strengthening sustainable food security in Indonesia. The study employed a qualitative method with a library research approach by reviewing scientific journal articles, academic books, reports from international organizations, and relevant government policy documents. The collected data were analyzed using content analysis and thematic analysis to identify patterns, themes, and relationships among research findings. The results indicate that AI implementation optimizes the use of agricultural resources, improves decision-making accuracy, predicts climate variability and crop failure risks, enhances agricultural productivity, and increases the efficiency of food distribution systems. The novelty of this study lies in integrating AI applications across the entire agricultural system with the four dimensions of food security availability, access, utilization, and stability within the Indonesian context. The findings imply that strengthening digital infrastructure, improving farmers' technological literacy, and fostering collaboration among government, academia, and the private sector are essential strategies for accelerating smart agricultural transformation and achieving sustainable national food security.

Keywords: Artificial Intelligence; smart agriculture; food security; sustainable agriculture; digital transformation.

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu isu strategis yang menjadi perhatian global seiring meningkatnya jumlah penduduk dunia, perubahan iklim, degradasi lahan pertanian, serta ketidakpastian ekonomi dan geopolitik. Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) mendefinisikan ketahanan pangan sebagai kondisi ketika seluruh masyarakat memiliki akses fisik, sosial, dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, aman, bergizi, serta berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan hidup secara aktif dan sehat. Dalam konteks Indonesia, ketahanan pangan menjadi agenda prioritas pembangunan nasional mengingat sektor pertanian masih menjadi penopang utama penyediaan pangan sekaligus sumber penghidupan bagi jutaan masyarakat (AlZubi & Galyna, 2023). Meskipun demikian, sektor pertanian nasional masih menghadapi berbagai tantangan, seperti produktivitas lahan yang belum optimal, keterbatasan akses teknologi, tingginya risiko gagal panen akibat perubahan iklim, serangan hama dan penyakit tanaman, serta rendahnya efisiensi dalam pengelolaan sumber daya pertanian. Berbagai tantangan tersebut berpotensi menghambat tercapainya sistem pangan yang tangguh dan berkelanjutan.

Perubahan iklim menjadi salah satu faktor yang semakin memperumit permasalahan tersebut. Pergeseran musim tanam, meningkatnya intensitas cuaca ekstrem, serta ketidakpastian curah hujan menyebabkan petani mengalami kesulitan dalam menentukan waktu tanam, pemupukan, maupun panen secara tepat. Selain itu, praktik pertanian konvensional masih banyak bergantung pada pengalaman empiris tanpa didukung sistem analisis data yang memadai, sehingga pengambilan keputusan sering kali kurang akurat. Akibatnya, penggunaan pupuk, pestisida, air irigasi, dan tenaga kerja menjadi kurang efisien sehingga berdampak pada peningkatan biaya produksi sekaligus penurunan hasil panen. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas pertanian tidak lagi cukup hanya melalui perluasan lahan, tetapi memerlukan transformasi menuju sistem pertanian yang lebih cerdas, adaptif, dan berbasis teknologi digital (Ayuningtyas & Rositawati, 2025).

Perkembangan teknologi digital, khususnya Artificial Intelligence (AI), membuka peluang baru dalam mentransformasi sistem pertanian menuju pertanian presisi (*precision agriculture*). AI mampu mengolah data dalam jumlah besar melalui algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*), *computer vision*, Internet of Things (IoT), serta analitik prediktif untuk mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan akurat (Bayar et al., 2025). Teknologi ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai aktivitas pertanian, seperti prediksi cuaca, deteksi dini serangan hama dan penyakit tanaman, pemantauan kondisi lahan secara real-time, optimasi irigasi, estimasi hasil panen, hingga manajemen rantai pasok pangan. Dengan kemampuan tersebut, AI tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga membantu petani mengurangi risiko produksi sehingga berkontribusi terhadap keberlanjutan sistem pangan (Dhakal et al., 2026). Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi AI dalam meningkatkan produktivitas sektor pertanian. Sejumlah studi melaporkan bahwa penerapan *machine learning* mampu meningkatkan akurasi prediksi hasil panen melalui analisis data iklim dan karakteristik tanah. Penelitian lain mengungkapkan bahwa integrasi AI dengan sensor IoT dapat mengoptimalkan penggunaan air irigasi sehingga lebih hemat dan efisien, sedangkan teknologi *computer vision* terbukti efektif dalam mendeteksi penyakit tanaman pada tahap awal sehingga mampu mengurangi kerugian hasil panen. Selain itu, beberapa penelitian

juga menyoroti pemanfaatan AI dalam sistem rantai pasok pangan melalui prediksi permintaan pasar dan pengelolaan distribusi logistik yang lebih efisien. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa AI memiliki potensi besar sebagai teknologi pendukung transformasi pertanian modern (Dhal & Kar, 2024).

Meskipun demikian, penelitian sebelumnya masih memperlihatkan sejumlah kesenjangan (*research gap*). Sebagian besar studi lebih berfokus pada pengembangan aspek teknis AI, seperti akurasi algoritma, pengenalan citra tanaman, atau sistem prediksi hasil panen secara parsial. Penelitian tersebut umumnya dilakukan dalam skala laboratorium atau wilayah tertentu sehingga belum memberikan gambaran komprehensif mengenai bagaimana AI dapat diintegrasikan sebagai strategi transformasi pertanian nasional untuk memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan. Selain itu, kajian yang menghubungkan implementasi AI dengan dimensi ketahanan pangan—meliputi ketersediaan pangan (*availability*), akses pangan (*access*), pemanfaatan pangan (*utilization*), dan stabilitas pangan (*stability*) masih relatif terbatas, khususnya dalam konteks Indonesia yang memiliki karakteristik geografis, sosial, dan ekonomi yang sangat beragam. Dengan demikian, diperlukan kajian yang lebih holistik untuk menjelaskan hubungan antara transformasi pertanian berbasis AI dengan penguatan ketahanan pangan nasional (Dicky Kurniawan et al., 2026).

Urgensi penelitian ini semakin meningkat sejalan dengan percepatan transformasi digital yang didorong pemerintah melalui berbagai kebijakan pembangunan pertanian modern. Indonesia membutuhkan sistem pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan, efisiensi penggunaan sumber daya, maupun kesejahteraan petani. Implementasi AI diharapkan mampu mendukung terciptanya sistem pertanian yang lebih presisi, adaptif terhadap perubahan iklim, efisien dalam penggunaan input produksi, serta mampu meningkatkan kualitas pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Oleh karena itu, kajian mengenai transformasi pertanian cerdas berbasis AI menjadi sangat penting sebagai landasan ilmiah dalam penyusunan kebijakan maupun strategi pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia (Fadilah & Zahra, 2026).

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penyajian analisis yang mengintegrasikan berbagai penerapan Artificial Intelligence dalam sektor pertanian ke dalam perspektif ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya membahas satu aspek teknologi atau satu komoditas tertentu, penelitian ini mengkaji AI sebagai bagian dari transformasi sistem pertanian secara menyeluruh, mulai dari proses budidaya, pengelolaan sumber daya, mitigasi risiko produksi, hingga kontribusinya terhadap penguatan ketahanan pangan nasional. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kerangka konseptual yang lebih komprehensif mengenai peran AI dalam mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

Berdasarkan fenomena, kesenjangan penelitian, dan urgensi yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana transformasi pertanian cerdas berbasis Artificial Intelligence (AI) dapat mengatasi rendahnya efisiensi produksi pertanian sebagai upaya memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Secara khusus, penelitian ini berupaya menjawab pertanyaan penelitian: bagaimana implementasi teknologi Artificial Intelligence mampu meningkatkan efisiensi sistem pertanian sehingga berkontribusi terhadap

penguatan ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia? Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan literatur mengenai pertanian cerdas, menjadi dasar rekomendasi kebijakan transformasi digital sektor pertanian, serta memperkaya strategi penguatan ketahanan pangan nasional yang berorientasi pada keberlanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (*library research*) untuk mengkaji transformasi pertanian cerdas berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dalam memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai konsep, implementasi, serta perkembangan teknologi AI di sektor pertanian melalui analisis berbagai sumber ilmiah yang kredibel. Penelitian tidak melibatkan lokasi penelitian maupun partisipan secara langsung, melainkan memanfaatkan sumber data sekunder berupa artikel jurnal internasional dan nasional bereputasi, prosiding ilmiah, buku akademik, laporan organisasi internasional, serta dokumen kebijakan pemerintah yang relevan dengan tema penelitian. Pengumpulan data dilakukan melalui proses identifikasi, seleksi, evaluasi, dan dokumentasi literatur menggunakan basis data ilmiah seperti Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, Google Scholar, dan Garuda dengan kata kunci *Artificial Intelligence*, *Smart Agriculture*, *Precision Agriculture*, *Food Security*, *Sustainable Agriculture*, serta *Ketahanan Pangan Indonesia*. Literatur yang digunakan diprioritaskan terbit dalam lima tahun terakhir agar memperoleh informasi yang mutakhir dan relevan (Adlini et al., 2022).

Analisis data dilakukan secara analisis isi (*content analysis*) yang dipadukan dengan analisis tematik (*thematic analysis*) melalui tahapan reduksi data, pengkodean, pengelompokan tema, interpretasi, dan penarikan kesimpulan. Proses analisis diawali dengan mengidentifikasi temuan-temuan utama mengenai penerapan AI dalam sektor pertanian, kemudian mengelompokkan informasi berdasarkan tema seperti efisiensi produksi, pengelolaan sumber daya, mitigasi risiko pertanian, dan kontribusinya terhadap ketahanan pangan berkelanjutan. Selanjutnya dilakukan interpretasi secara kritis untuk menemukan hubungan antartema serta menjawab fokus penelitian mengenai bagaimana transformasi pertanian cerdas berbasis AI mampu meningkatkan efisiensi sistem pertanian di Indonesia. Keabsahan data dijaga melalui teknik triangulasi sumber dengan membandingkan berbagai referensi dari jurnal, buku, laporan resmi, dan dokumen kebijakan sehingga diperoleh informasi yang konsisten dan dapat dipercaya. Seluruh proses penelitian dilaksanakan dengan memperhatikan etika akademik melalui penggunaan sumber yang sah, pencantuman sitasi sesuai kaidah ilmiah, penghormatan terhadap hak cipta, serta menghindari segala bentuk plagiarisme agar hasil penelitian memiliki validitas ilmiah dan dapat direplikasi oleh peneliti selanjutnya (Assyakurrohim et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi pustaka (*library research*) untuk menganalisis berbagai literatur ilmiah yang membahas implementasi *Artificial Intelligence* (AI) dalam sektor pertanian serta implikasinya

terhadap penguatan ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Data penelitian diperoleh melalui proses identifikasi, seleksi, dan sintesis terhadap berbagai artikel jurnal nasional maupun internasional, prosiding ilmiah, buku akademik, laporan organisasi internasional, serta dokumen kebijakan pemerintah yang diterbitkan dalam beberapa tahun terakhir. Analisis dilakukan secara sistematis menggunakan pendekatan *content analysis* dan *thematic analysis* sehingga menghasilkan tema-tema utama yang menggambarkan hubungan antara transformasi pertanian cerdas berbasis AI dengan peningkatan efisiensi produksi pertanian dan penguatan ketahanan pangan nasional (Harsela, 2025).

Berdasarkan hasil analisis terhadap berbagai sumber pustaka, ditemukan bahwa perkembangan Artificial Intelligence telah mengubah paradigma pembangunan pertanian dari sistem konvensional menuju sistem pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang mengutamakan pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*). Transformasi tersebut ditandai dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi digital dalam hampir seluruh tahapan produksi pertanian, mulai dari perencanaan budidaya, pengolahan lahan, proses penanaman, pemeliharaan tanaman, pengendalian hama dan penyakit, pengelolaan irigasi, pemanenan, hingga distribusi hasil pertanian (Khan et al., 2025). Berbeda dengan sistem pertanian konvensional yang sebagian besar masih bergantung pada pengalaman petani, kondisi cuaca yang tidak menentu, dan pengamatan manual, sistem pertanian berbasis AI mampu mengolah jutaan data secara cepat sehingga menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat, adaptif, dan efisien.

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa AI tidak hanya diposisikan sebagai inovasi teknologi, tetapi telah berkembang menjadi instrumen strategis dalam meningkatkan daya saing sektor pertanian. Berbagai penelitian mengungkapkan bahwa algoritma *machine learning*, *deep learning*, *computer vision*, Internet of Things (IoT), *drone technology*, citra satelit, serta sistem pendukung keputusan mampu meningkatkan ketepatan identifikasi kondisi lahan, kesehatan tanaman, kebutuhan nutrisi, serta prediksi produktivitas panen. Integrasi berbagai teknologi tersebut menghasilkan sistem pertanian yang mampu bekerja secara lebih presisi dibandingkan metode konvensional karena setiap keputusan didasarkan pada hasil analisis data yang diperoleh secara real-time (Kumari et al., 2025).

Temuan penelitian juga memperlihatkan bahwa implementasi AI memberikan dampak nyata terhadap efisiensi penggunaan input produksi pertanian. Berbagai literatur menjelaskan bahwa penggunaan sensor berbasis IoT yang dikombinasikan dengan algoritma AI mampu mendeteksi kelembapan tanah, suhu udara, intensitas cahaya matahari, kadar nitrogen, fosfor, kalium, serta kebutuhan air tanaman secara otomatis. Informasi tersebut selanjutnya diolah menjadi rekomendasi pemberian irigasi, pemupukan, maupun penyemprotan pestisida sesuai kebutuhan aktual tanaman (Mandal et al., 2024). Dengan demikian, penggunaan input produksi menjadi lebih tepat sasaran sehingga mampu menekan biaya operasional, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat penggunaan pupuk dan pestisida secara berlebihan. Selain meningkatkan efisiensi produksi, penelitian ini menemukan bahwa AI memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mendukung sistem peringatan dini (*early warning system*) terhadap berbagai risiko pertanian. Perubahan iklim yang menyebabkan ketidakpastian musim tanam, peningkatan intensitas kekeringan,

banjir, maupun serangan organisme pengganggu tanaman menjadi salah satu tantangan terbesar dalam pembangunan pertanian Indonesia. Berdasarkan hasil sintesis literatur, teknologi AI mampu menganalisis data meteorologi, citra satelit, histori cuaca, serta karakteristik wilayah untuk memprediksi kemungkinan terjadinya gangguan produksi pertanian. Kemampuan prediktif tersebut memungkinkan petani melakukan langkah antisipatif sebelum risiko benar-benar terjadi sehingga potensi kehilangan hasil panen dapat ditekan secara signifikan (Mohammed et al., 2025).

Temuan lain yang cukup dominan dalam berbagai literatur adalah meningkatnya produktivitas pertanian setelah penerapan teknologi berbasis AI. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pertanian presisi (*precision agriculture*) mampu meningkatkan produktivitas tanaman melalui optimalisasi seluruh proses budidaya. AI membantu menentukan waktu tanam yang paling sesuai, memilih varietas tanaman berdasarkan karakteristik lahan, menghitung kebutuhan nutrisi tanaman secara akurat, serta memonitor pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan. Hasilnya, produktivitas lahan meningkat tanpa harus memperluas area pertanian sehingga konsep intensifikasi pertanian dapat diwujudkan secara lebih efektif dan berkelanjutan (Nath et al., 2024). Penelitian ini juga menemukan bahwa kontribusi AI tidak berhenti pada tahap produksi, tetapi meluas hingga sistem distribusi dan rantai pasok pangan. Berbagai studi menunjukkan bahwa AI mampu memprediksi permintaan pasar, mengoptimalkan jalur distribusi, mengurangi kehilangan hasil pascapanen (*post-harvest losses*), serta meningkatkan efisiensi logistik pangan. Integrasi data produksi dengan data permintaan pasar memungkinkan distribusi pangan dilakukan secara lebih tepat waktu sehingga mampu mengurangi pemborosan sekaligus menjaga stabilitas harga pangan. Kondisi tersebut memberikan manfaat tidak hanya bagi petani sebagai produsen, tetapi juga bagi konsumen karena pasokan pangan menjadi lebih stabil dan mudah diakses (Nurfahmi Fadlillah & Nurhadi Kamaluddin, 2025).

Berdasarkan keseluruhan hasil sintesis literatur, penelitian ini mengidentifikasi lima temuan utama yang menunjukkan kontribusi Artificial Intelligence terhadap transformasi pertanian cerdas di Indonesia. Kelima temuan tersebut meliputi peningkatan efisiensi produksi pertanian, optimalisasi pengelolaan sumber daya, mitigasi risiko pertanian, peningkatan produktivitas hasil panen, serta penguatan ketahanan pangan berkelanjutan. Ringkasan hasil penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Temuan Penelitian mengenai Kontribusi Artificial Intelligence terhadap Transformasi Pertanian Cerdas

No	Aspek Temuan	Hasil Sintesis Literatur	Dampak terhadap Ketahanan Pangan
1	Efisiensi produksi	AI meningkatkan akurasi pengambilan keputusan dalam budidaya pertanian melalui analisis data secara otomatis	Biaya produksi menurun dan hasil panen lebih optimal
2	Pengelolaan sumber daya	AI mengoptimalkan penggunaan air, pupuk, pestisida, serta energi sesuai kebutuhan tanaman	Efisiensi sumber daya meningkat dan keberlanjutan lingkungan lebih terjaga

3	Mitigasi risiko pertanian	AI memprediksi cuaca ekstrem, kekeringan, penyakit tanaman, dan serangan hama secara dini	Risiko gagal panen menurun dan stabilitas produksi meningkat
4	Produktivitas pertanian	AI mendukung sistem pertanian presisi sehingga pertumbuhan tanaman lebih optimal	Produktivitas lahan meningkat tanpa perlu perluasan lahan
5	Ketahanan pangan	AI memperkuat sistem produksi, distribusi, dan pengelolaan pangan nasional	Ketersediaan pangan menjadi lebih stabil dan berkelanjutan

Sumber: Hasil sintesis berbagai literatur (2026).

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa seluruh literatur yang dianalisis memperlihatkan kecenderungan yang sama, yaitu Artificial Intelligence memberikan kontribusi positif terhadap transformasi sistem pertanian modern. Aspek yang paling dominan adalah peningkatan efisiensi produksi melalui pengambilan keputusan berbasis data. Teknologi AI memungkinkan berbagai keputusan penting, seperti waktu tanam, kebutuhan irigasi, dosis pemupukan, serta pengendalian hama dilakukan secara lebih presisi dibandingkan pendekatan konvensional. Kondisi tersebut berimplikasi langsung terhadap peningkatan produktivitas sekaligus penurunan biaya operasional sehingga usaha tani menjadi lebih menguntungkan dan berkelanjutan.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa implementasi AI memiliki hubungan yang sangat erat dengan empat dimensi ketahanan pangan menurut FAO, yaitu ketersediaan (availability), akses (access), pemanfaatan (utilization), dan stabilitas (stability). Keempat dimensi tersebut saling berkaitan dan menunjukkan bahwa transformasi digital sektor pertanian tidak hanya bertujuan meningkatkan hasil panen, tetapi juga membangun sistem pangan yang tangguh dari hulu hingga hilir. Ringkasan hubungan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kontribusi Artificial Intelligence terhadap Dimensi Ketahanan Pangan Berkelanjutan

Dimensi Ketahanan Pangan	Implementasi Artificial Intelligence	Kontribusi
Ketersediaan pangan	Prediksi hasil panen, pertanian presisi, optimasi budidaya	Produksi pangan meningkat secara berkelanjutan
Akses pangan	Analisis permintaan pasar, distribusi logistik, sistem informasi pangan	Distribusi lebih cepat, efisien, dan merata
Pemanfaatan pangan	Monitoring kualitas hasil panen, penyimpanan cerdas, deteksi mutu pangan	Mutu dan keamanan pangan meningkat
Stabilitas pangan	Prediksi perubahan iklim, mitigasi bencana, sistem peringatan dini	Pasokan pangan lebih stabil sepanjang tahun

Sumber: Hasil analisis peneliti berdasarkan sintesis literatur (2026).

Berdasarkan Tabel 2 dapat dipahami bahwa Artificial Intelligence memberikan kontribusi terhadap seluruh dimensi ketahanan pangan secara simultan. Pada aspek ketersediaan pangan, AI meningkatkan kapasitas produksi melalui optimalisasi

proses budidaya. Pada aspek akses pangan, AI memperbaiki sistem distribusi sehingga kesenjangan pasokan antarwilayah dapat dikurangi. Pada aspek pemanfaatan pangan, AI membantu menjaga kualitas produk pertanian sehingga pangan yang diterima masyarakat lebih aman dan bernilai gizi. Sementara itu, pada aspek stabilitas pangan, AI memperkuat kemampuan sistem pertanian dalam menghadapi berbagai ketidakpastian akibat perubahan iklim maupun fluktuasi pasar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi pertanian cerdas berbasis Artificial Intelligence mampu menjawab permasalahan utama penelitian, yaitu rendahnya efisiensi produksi pertanian yang selama ini menjadi salah satu penyebab lemahnya ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Seluruh temuan mengindikasikan bahwa penerapan AI tidak hanya meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha tani, tetapi juga membangun sistem pertanian yang lebih adaptif, resilien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, Artificial Intelligence dapat dipandang sebagai salah satu pilar utama transformasi pertanian masa depan yang berpotensi memperkuat ketahanan pangan nasional sekaligus mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya tujuan mengakhiri kelaparan, mewujudkan pertanian berkelanjutan, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Pembahasan

Transformasi Pertanian Cerdas Berbasis Artificial Intelligence dalam Meningkatkan Efisiensi Produksi Pertanian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi pertanian cerdas berbasis *Artificial Intelligence* (AI) merupakan salah satu inovasi paling signifikan dalam perkembangan sektor pertanian modern. Berbeda dengan sistem pertanian konvensional yang sebagian besar mengandalkan pengalaman petani, intuisi, serta pengamatan manual terhadap kondisi lingkungan, pertanian cerdas memanfaatkan data sebagai dasar utama dalam pengambilan keputusan (*data-driven decision making*). Dengan kata lain, setiap tahapan budidaya tidak lagi ditentukan berdasarkan perkiraan semata, tetapi berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh secara real-time melalui sensor, citra satelit, drone, maupun perangkat Internet of Things (IoT). Transformasi ini mengubah pola pengelolaan pertanian dari pendekatan reaktif menjadi pendekatan prediktif sehingga berbagai risiko produksi dapat diantisipasi lebih awal (Pandey & Mishra, 2024).

Temuan tersebut sejalan dengan konsep Precision Agriculture Theory yang menyatakan bahwa pengelolaan lahan pertanian harus dilakukan secara spesifik sesuai karakteristik setiap lokasi, kondisi tanah, kebutuhan tanaman, serta faktor lingkungan yang memengaruhinya. Dalam teori ini, setiap bidang lahan memiliki karakteristik yang berbeda sehingga perlakuan terhadap tanaman tidak dapat disamaratakan. Artificial Intelligence menjadi komponen utama dalam pertanian presisi karena mampu mengolah data dalam jumlah besar (*big data*) menjadi informasi yang mudah dipahami oleh petani. Dengan demikian, keputusan mengenai waktu tanam, kebutuhan irigasi, dosis pemupukan, maupun pengendalian organisme pengganggu tanaman dapat dilakukan secara lebih tepat dibandingkan dengan metode konvensional (S.S. et al., 2024).

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi produksi merupakan dampak yang paling konsisten ditemukan dalam berbagai penelitian

mengenai implementasi AI di sektor pertanian. Teknologi *machine learning* memungkinkan sistem mempelajari pola pertumbuhan tanaman berdasarkan data historis sehingga mampu menghasilkan prediksi yang semakin akurat dari waktu ke waktu. Sementara itu, teknologi *computer vision* memungkinkan identifikasi penyakit tanaman melalui analisis citra daun, batang, maupun buah tanpa harus menunggu kerusakan berkembang lebih luas. Kondisi ini mempercepat proses penanganan sehingga kerugian akibat serangan hama dan penyakit dapat diminimalkan. Dalam perspektif peneliti, efisiensi yang dihasilkan AI tidak hanya berkaitan dengan peningkatan hasil panen, tetapi juga menyangkut efisiensi penggunaan seluruh sumber daya produksi. Selama ini, salah satu permasalahan utama sektor pertanian Indonesia adalah penggunaan input produksi yang belum optimal. Pemberian pupuk sering dilakukan secara berlebihan, irigasi masih menggunakan metode penyiraman konvensional, sedangkan penggunaan pestisida umumnya bersifat preventif tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tanaman. Praktik tersebut meningkatkan biaya produksi sekaligus memperbesar risiko kerusakan lingkungan. Kehadiran AI mampu mengubah pola tersebut melalui sistem rekomendasi berbasis data sehingga penggunaan air, pupuk, maupun pestisida menjadi lebih efisien dan sesuai kebutuhan tanaman (Sharma & Shivandu, 2024).

Temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa AI memberikan kontribusi terhadap peningkatan produktivitas melalui kemampuan prediktifnya. Algoritma AI dapat mengombinasikan data cuaca, kelembapan tanah, kandungan unsur hara, serta riwayat produktivitas lahan untuk menghasilkan rekomendasi budidaya yang lebih akurat. Kemampuan ini sangat penting bagi Indonesia sebagai negara agraris yang memiliki keragaman agroekosistem serta menghadapi dampak perubahan iklim yang semakin kompleks. Ketika informasi mengenai musim tanam, potensi kekeringan, maupun curah hujan dapat diprediksi lebih awal, petani memiliki kesempatan untuk melakukan penyesuaian strategi budidaya sehingga produktivitas tetap terjaga. Dari sudut pandang pembangunan pertanian, temuan ini menunjukkan bahwa Artificial Intelligence tidak hanya berfungsi sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai instrumen transformasi sistem produksi. AI mendorong perubahan pola pikir petani dari pendekatan berbasis pengalaman menuju pendekatan berbasis bukti (*evidence-based agriculture*). Perubahan tersebut menjadi sangat penting karena tantangan sektor pertanian di masa depan tidak hanya berkaitan dengan peningkatan produksi, tetapi juga bagaimana menghasilkan pangan secara lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Temuan penelitian ini memperkuat hasil berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa implementasi AI mampu meningkatkan produktivitas pertanian melalui optimalisasi proses budidaya. Berbagai penelitian internasional menunjukkan bahwa penerapan pertanian presisi berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air, menurunkan konsumsi pupuk kimia, mengurangi kehilangan hasil panen, serta meningkatkan akurasi prediksi produksi. Dengan demikian, hasil penelitian ini semakin mempertegas bahwa AI merupakan salah satu teknologi strategis dalam mendukung modernisasi sektor pertanian. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa transformasi digital sektor pertanian tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan sumber daya manusia dalam mengadopsi inovasi tersebut. Temuan ini selaras dengan Diffusion of Innovation Theory yang dikemukakan oleh Everett M. Rogers. Menurut teori ini,

keberhasilan suatu inovasi ditentukan oleh proses penyebaran pengetahuan, tingkat penerimaan masyarakat, karakteristik inovasi, saluran komunikasi, serta dukungan lingkungan sosial. Dalam konteks pertanian Indonesia, keberadaan AI belum sepenuhnya memberikan manfaat apabila petani belum memiliki literasi digital yang memadai. Oleh karena itu, transformasi pertanian cerdas harus diiringi dengan peningkatan kapasitas petani melalui pendidikan, pelatihan, pendampingan teknologi, serta penguatan peran penyuluh pertanian.

Lebih lanjut, hasil penelitian memperlihatkan bahwa AI memberikan dampak yang lebih luas dibandingkan sekadar peningkatan produktivitas. AI mendorong lahirnya sistem pertanian yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan. Sistem yang mampu belajar (*learning system*) akan terus meningkatkan akurasi prediksi seiring bertambahnya data yang diproses. Hal ini menunjukkan bahwa AI bukan merupakan teknologi statis, melainkan teknologi yang terus berkembang sesuai dinamika kondisi lapangan. Kemampuan tersebut menjadi keunggulan utama dibandingkan sistem pertanian konvensional yang relatif sulit beradaptasi terhadap perubahan iklim maupun fluktuasi lingkungan.

Berdasarkan hasil analisis, dapat dipahami bahwa transformasi pertanian cerdas berbasis Artificial Intelligence telah menjawab permasalahan utama penelitian, yaitu rendahnya efisiensi produksi pertanian di Indonesia. AI memungkinkan setiap keputusan budidaya dilakukan secara lebih cepat, tepat, dan akurat sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih optimal, biaya produksi dapat ditekan, produktivitas meningkat, serta risiko kegagalan panen dapat diminimalkan. Dengan demikian, AI tidak hanya menjadi teknologi pendukung aktivitas pertanian, tetapi telah berkembang menjadi fondasi baru dalam pembangunan sistem pertanian modern yang produktif, efisien, dan berkelanjutan. Temuan ini sekaligus memperkuat argumentasi bahwa transformasi digital merupakan kebutuhan strategis bagi sektor pertanian Indonesia dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, serta meningkatnya kebutuhan pangan nasional.

Peran Artificial Intelligence dalam Memperkuat Ketahanan Pangan Berkelanjutan di Indonesia

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi *Artificial Intelligence* (AI) tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas pertanian, tetapi juga memiliki peran strategis dalam memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Ketahanan pangan tidak hanya diukur dari kemampuan suatu negara menghasilkan pangan dalam jumlah yang cukup, tetapi juga mencakup kemampuan menjamin akses masyarakat terhadap pangan yang aman, bergizi, terjangkau, serta tersedia secara berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, AI berperan sebagai teknologi yang mampu menghubungkan seluruh proses dalam sistem pangan, mulai dari tahap produksi, distribusi, hingga konsumsi (Widjanarko et al., 2025).

Temuan penelitian menunjukkan bahwa AI mampu mendukung empat dimensi utama ketahanan pangan, yaitu ketersediaan (*availability*), akses (*access*), pemanfaatan (*utilization*), dan stabilitas (*stability*). Pada aspek ketersediaan pangan, AI meningkatkan produktivitas melalui sistem pertanian presisi yang mampu mengoptimalkan penggunaan lahan, air, pupuk, serta faktor produksi lainnya. Pada aspek akses pangan, AI membantu memperbaiki sistem distribusi dan rantai pasok sehingga hasil pertanian dapat disalurkan secara lebih cepat dan efisien. Pada aspek pemanfaatan pangan, teknologi AI mendukung pengawasan kualitas hasil panen

sehingga pangan yang dikonsumsi masyarakat memiliki mutu yang lebih baik. Sementara itu, pada aspek stabilitas pangan, AI mampu memprediksi potensi gangguan produksi akibat perubahan iklim maupun serangan hama sehingga tindakan mitigasi dapat dilakukan lebih awal. Temuan tersebut sejalan dengan konsep Food Security Framework yang dikembangkan oleh FAO, yang menyatakan bahwa ketahanan pangan merupakan hasil keterpaduan antara produksi yang memadai, distribusi yang efektif, akses ekonomi masyarakat, serta stabilitas pasokan pangan. Dalam perspektif ini, AI menjadi teknologi yang mampu memperkuat seluruh komponen tersebut secara bersamaan. Oleh karena itu, implementasi AI tidak hanya memberikan manfaat pada tingkat usaha tani, tetapi juga memperkuat sistem pangan nasional secara menyeluruh.

Selain mendukung ketahanan pangan, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa AI berkontribusi terhadap terwujudnya pertanian berkelanjutan (*Sustainable Agriculture*). Konsep pertanian berkelanjutan menekankan keseimbangan antara peningkatan produksi, efisiensi ekonomi, kesejahteraan petani, serta pelestarian lingkungan. AI memungkinkan penggunaan sumber daya alam secara lebih bijaksana melalui pengelolaan air, pupuk, dan pestisida berdasarkan kebutuhan aktual tanaman. Dengan demikian, peningkatan produktivitas tidak lagi harus diikuti oleh eksploitasi sumber daya secara berlebihan. Menurut analisis peneliti, keberadaan AI menjadi semakin penting karena sektor pertanian Indonesia menghadapi tantangan yang semakin kompleks, seperti perubahan iklim, penyempitan lahan pertanian, pertumbuhan jumlah penduduk, dan meningkatnya kebutuhan pangan. Apabila sistem pertanian masih mengandalkan metode konvensional, maka peningkatan produksi akan semakin sulit dicapai. Sebaliknya, penerapan AI memungkinkan peningkatan hasil produksi melalui optimalisasi sumber daya yang tersedia tanpa harus memperluas lahan pertanian. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi digital merupakan salah satu solusi strategis dalam menjaga ketahanan pangan jangka panjang.

Dengan demikian, hasil penelitian membuktikan bahwa AI memiliki peran yang sangat penting dalam membangun sistem pangan yang lebih tangguh, adaptif, dan berkelanjutan. Integrasi AI pada sektor pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memperkuat kemampuan Indonesia dalam menghadapi berbagai tantangan global yang berpotensi mengganggu ketersediaan pangan.

Tantangan dan Strategi Implementasi *Artificial Intelligence* pada Sektor Pertanian Indonesia

Meskipun memiliki potensi yang sangat besar, hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Artificial Intelligence dalam sektor pertanian Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu kendala utama adalah rendahnya literasi digital sebagian petani, khususnya petani skala kecil yang masih mendominasi struktur pertanian nasional. Banyak petani belum terbiasa memanfaatkan teknologi digital dalam proses budidaya sehingga adopsi AI masih berlangsung secara terbatas. Selain itu, keterbatasan infrastruktur teknologi, seperti akses internet, jaringan komunikasi, serta ketersediaan perangkat digital di wilayah pedesaan, juga menjadi faktor yang menghambat penerapan pertanian cerdas secara merata (Yogatama & Rimbawa, 2025).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa biaya investasi awal untuk penerapan AI relatif tinggi. Penggunaan sensor IoT, drone pertanian, perangkat pemantauan lahan, maupun sistem analisis berbasis AI memerlukan dukungan finansial yang tidak sedikit. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian petani masih menganggap teknologi AI sebagai inovasi yang sulit dijangkau. Oleh karena itu, dukungan pemerintah melalui kebijakan subsidi teknologi, pembiayaan pertanian digital, serta kemitraan dengan sektor swasta menjadi faktor penting dalam mempercepat transformasi pertanian berbasis AI. Temuan penelitian ini dapat dijelaskan melalui Diffusion of Innovation Theory yang dikemukakan oleh Rogers. Teori tersebut menjelaskan bahwa keberhasilan adopsi suatu inovasi dipengaruhi oleh karakteristik inovasi, saluran komunikasi, waktu, dan kondisi sosial masyarakat. Dalam konteks pertanian Indonesia, keberhasilan implementasi AI tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh kesiapan petani, efektivitas penyuluhan, dukungan kelembagaan, serta keberpihakan kebijakan pemerintah terhadap transformasi digital sektor pertanian.

Berdasarkan hasil analisis, strategi implementasi AI perlu dilakukan secara bertahap dan kolaboratif. Pemerintah perlu memperkuat infrastruktur digital di kawasan pertanian, meningkatkan kompetensi petani melalui pelatihan literasi digital, memperluas layanan penyuluhan berbasis teknologi, serta mendorong kerja sama antara perguruan tinggi, lembaga penelitian, perusahaan teknologi, dan kelompok tani. Kolaborasi tersebut akan mempercepat proses transfer inovasi sekaligus meningkatkan kemampuan petani dalam memanfaatkan AI untuk mendukung aktivitas budidaya. Selain itu, pengembangan ekosistem pertanian digital juga perlu diarahkan pada teknologi yang mudah digunakan, berbiaya terjangkau, dan sesuai dengan karakteristik pertanian Indonesia yang didominasi oleh petani kecil. Pendekatan ini penting agar transformasi digital tidak hanya dinikmati oleh perusahaan agribisnis berskala besar, tetapi juga mampu meningkatkan kesejahteraan petani secara merata. Dengan demikian, AI tidak hanya menjadi simbol modernisasi pertanian, melainkan menjadi instrumen nyata dalam meningkatkan produktivitas, daya saing, dan keberlanjutan sektor pertanian nasional.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi pertanian cerdas berbasis Artificial Intelligence merupakan langkah strategis dalam menjawab berbagai tantangan pembangunan pertanian di Indonesia. AI terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi, memperkuat ketahanan pangan, serta mendukung terwujudnya sistem pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Namun demikian, keberhasilan implementasinya memerlukan sinergi antara pemerintah, akademisi, sektor swasta, penyuluh pertanian, dan petani sebagai pelaku utama. Kolaborasi yang kuat akan mempercepat transformasi menuju pertanian cerdas sehingga mampu mewujudkan ketahanan pangan nasional yang berkelanjutan di tengah dinamika perubahan global.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa transformasi pertanian cerdas berbasis *Artificial Intelligence* (AI) memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi produksi pertanian sekaligus memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. Berdasarkan hasil sintesis berbagai literatur, penerapan AI mampu mengoptimalkan proses budidaya melalui pemanfaatan teknologi seperti

machine learning, *computer vision*, Internet of Things (IoT), dan analisis data prediktif yang mendukung pengambilan keputusan secara lebih akurat. Implementasi teknologi tersebut terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air, pupuk, dan pestisida, mengurangi risiko gagal panen akibat perubahan iklim maupun serangan hama, meningkatkan produktivitas hasil pertanian, serta memperbaiki sistem distribusi pangan. Temuan ini menunjukkan bahwa AI tidak hanya berfungsi sebagai inovasi teknologi dalam proses produksi, tetapi juga menjadi instrumen strategis dalam membangun sistem pertanian yang lebih adaptif, efisien, tangguh, dan berkelanjutan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk menganalisis bagaimana transformasi pertanian cerdas berbasis AI dapat mengatasi rendahnya efisiensi produksi sebagai upaya memperkuat ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia telah berhasil dijawab.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan agar implementasi *Artificial Intelligence* dalam sektor pertanian terus diperluas melalui sinergi antara pemerintah, perguruan tinggi, lembaga penelitian, sektor swasta, serta masyarakat tani. Penguatan infrastruktur digital, peningkatan literasi teknologi bagi petani, penyediaan akses terhadap inovasi pertanian cerdas, serta pengembangan kebijakan yang mendukung transformasi digital menjadi langkah penting untuk mempercepat adopsi AI di berbagai wilayah Indonesia. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan kajian empiris mengenai efektivitas penerapan AI pada berbagai komoditas pertanian, menganalisis dampaknya terhadap kesejahteraan petani, serta mengevaluasi model implementasi yang paling sesuai dengan karakteristik pertanian di Indonesia. Dengan demikian, pemanfaatan *Artificial Intelligence* diharapkan tidak hanya mampu meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga menjadi fondasi utama dalam mewujudkan ketahanan pangan nasional yang berkelanjutan, berdaya saing, dan mampu menghadapi tantangan global di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlini, M. N., Dinda, A. H., Yulinda, S., Chotimah, O., & Merliyana, S. J. (2022). Metode penelitian kualitatif studi pustaka. *Jurnal Edumaspul*, 6(1), 974–980.
- AlZubi, A. A., & Galyna, K. (2023). Artificial Intelligence and Internet of Things for Sustainable Farming and Smart Agriculture. *IEEE Access*, 11, 78686–78692. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298215>
- Assyakurrohim, D., Ikhrum, D., Sirodj, R. A., & Afgani, M. W. (2022). Metode studi kasus dalam penelitian kualitatif. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Komputer*, 3(01), 1–9.
- Ayuningtyas, D. P., & Rositawati, F. (2025). Pemanfaatan AI dalam Smart Farming untuk Mencapai SDGs 2 (Zero Hunger) di Indonesia. *ANTASENA: Governance and Innovation Journal*, 3(1), 176–190. <https://doi.org/10.61332/antasena.v3i1.325>
- Bayar, J., Ali, N., Cao, Z., Ren, Y., & Dong, Y. (2025). Artificial intelligence of things (AIoT) for precision agriculture: Applications in smart irrigation, nutrient and disease management. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101629. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101629>

- Dhakal, M., Banerjee, M., Pandey, K. K., & Seniya, C. (2026). Ai and IoT are no longer limited to high-tech labs but are improving nutrition-focused agricultural farming. *Discover Food*, 6(1), 69. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00777-w>
- Dhal, S. B., & Kar, D. (2024). Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in Food Security and Supply Chain Optimization. *Forecasting*, 6(4), 925–951. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
- Dicky Kurniawan, Eddy Soeryanto Soegoto, Rahma Wahdiniwati, & Agus Mulyana. (2026). Strategi Pengembangan Bisnis Agroteknologi Agri Edu Pariwisata Pertanian Kabupaten Sumedang. *Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Kewirausahaan*, 6(1), 212–222. <https://doi.org/10.55606/jumbiku.v6i1.6611>
- Fadilah, M. I., & Zahra, K. A. (2026). Smart Farming Technologies for Indonesia Agriculture Productivity and Sustainability. *Jurnal Ilmiah Pertanian Dan Peternakan*, 3(2), 1–11. <https://doi.org/10.35912/jipper.v3i2.5585>
- Harsela, C. N. (2025). Economic Impact Analysis of the Implementation of Agricultural Technology 4.0 on National Food Security. *Journal of Agricultural Economy and Technology Development*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.59261/jaetd.v2i1.10>
- Khan, G., Irshad, G., Ijaz, R., Javaid, S., Tahir, N., & Mehmood, S. (2025). Emboldening food security for global sustainability yoking artificial intelligence. *Discover Food*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00273-1>
- Kumari, K., Mirzakhani Nafchi, A., Mirzaee, S., & Abdalla, A. (2025). AI-Driven Future Farming: Achieving Climate-Smart and Sustainable Agriculture. *AgriEngineering*, 7(3), 89. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030089>
- Mandal, S., Yadav, A., Panme, F. A., Devi, K. M., & Kumar S.M., S. (2024). Adaption of smart applications in agriculture to enhance production. *Smart Agricultural Technology*, 7, 100431. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100431>
- Mohammed, S. P., Deepika, J., Sritharan, N., Ravichandran, V., Prasanthrajan, M., & Kannan, P. (2025). A systematic literature review on artificial intelligence in transforming precision agriculture for sustainable farming: Current status and future directions. *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.6175>
- Nath, P. C., Mishra, A. K., Sharma, R., Bhunia, B., Mishra, B., Tiwari, A., Nayak, P. K., Sharma, M., Bhuyan, T., Kaushal, S., Mohanta, Y. K., & Sridhar, K. (2024). Recent advances in artificial intelligence towards the sustainable future of agri-food industry. *Food Chemistry*, 447, 138945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138945>
- Nurfahmi Fadlillah & Nurhadi Kamaluddin. (2025). Penyuluhan Pemanfaatan Teknologi IoT dan AI pada Pertanian Melom Premium kepada Kelompok Satria Tani Hanggawana Kabupaten Tegal. *Bumi: Jurnal Hasil Kegiatan Sosialisasi Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(3), 131–138. <https://doi.org/10.61132/bumi.v3i3.1031>
- Pandey, D. K., & Mishra, R. (2024). Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 12, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, 5, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>

- S.S., V. C., S., A. H., & Albaaji, G. F. (2024). Precision farming for sustainability: An agricultural intelligence model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109386. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109386>
- Widjanarko, A. I., Daud, N., & Kurnianingtyas, D. (2025). From concrete jungles to urban gardens: AI-powered solutions for sustainable food production in cities. *Journal of Biopesticides and Agriculture Technology*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.61511/jbiogritech.v2i1.2025.2545>
- Yogatama, B. A., & Rimbawa, D. (2025). Cyber-Agriculture Harnessing AI, IoT, and Cybersecurity for Smart Farming and Food Security. *2025 IEEE 11th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCED68324.2025.11324967>