

PERAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM SISTEM IOT UNTUK PERTANIAN CERDAS : SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Afiana Nurani, Haura Taqiya Azza Nabila, Ilham Bintang Herlambang

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, UPN "Veteran" Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia
anaafiana2603@gmail.com

ABSTRAK

Artificial Intelligence of Things (AIoT), yang merujuk pada penggunaan Internet of Things (IoT) untuk melakukan tugas-tugas cerdas dengan bantuan integrasi Artificial Intelligence (AI), merupakan salah satu inovasi yang dapat mengoptimalkan proses bisnis melalui digitalisasi dan otomatisasi, terutama dalam sektor pertanian cerdas. Mengingat potensi besar yang dimiliki AIoT, kajian literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi AI dalam meningkatkan kinerja sistem IoT di sektor pertanian cerdas. Hasil kajian menunjukkan bahwa AI mampu menganalisis data secara real-time, mendeteksi pola, serta memberikan solusi otomatisasi yang mendukung pengelolaan sumber daya, seperti air dan pupuk, secara efisien. Teknologi ini memungkinkan petani mengambil keputusan dengan lebih cepat dan akurat, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan produktivitas, pengurangan pemborosan sumber daya, serta mendukung keberlanjutan sektor pertanian.

Kata kunci : *Artificial Intelligence of Things, Artificial Intelligence, Pertanian cerdas*

1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) telah menjadi pilar penting dalam menawarkan solusi inovatif dalam sektor pertanian selama beberapa tahun terakhir [1], [2]. Teknologi ini memungkinkan penggunaan perangkat dan sensor untuk memantau berbagai parameter vital, seperti kelembaban tanah, saluran irigasi, dan pemantauan hama. Dengan kemampuan menyediakan data secara *real-time*, IoT membantu petani mengelola lahan dengan lebih efisien [3].

Di sisi lain, perkembangan pesat teknologi *Artificial Intelligence* (AI) telah memperluas cakupan pengolahan data. AI tidak hanya mampu mengelola data dalam jumlah besar, tetapi juga mengolahnya menjadi sistem prediksi dan rekomendasi yang mendukung pengambilan keputusan secara optimal [4]. Dalam konteks IoT, AI berperan sebagai penunjang yang memungkinkan perangkat IoT, seperti robot dan sensor, mensimulasikan tindakan manusia guna mengambil keputusan secara cerdas [5]. Integrasi kedua teknologi ini melahirkan konsep *Artificial Intelligence of Things* (AIoT).

Tanpa AI, sistem IoT sering kali hanya menyajikan data mentah tanpa konteks atau analisis yang mendalam. Sebaliknya, AI mampu menganalisis data dari perangkat IoT untuk memberikan wawasan strategis terkait irigasi, pemupukan, dan pengendalian hama [6]. Selain itu, Sistem IoT yang menghasilkan data dalam jumlah besar memerlukan AI untuk pra-pemrosesan dan analisis guna mengurangi gangguan, meminimalkan dimensionalitas, dan menghilangkan kemungkinan redundansi [7], [8].

Berbagai penelitian telah mengungkapkan potensi besar AIoT dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas sektor pertanian [9], [10]. Sebagai contoh, Shukla et al. dalam studinya mengungkapkan bahwa sistem AIoT telah mendorong metode pertanian berpusat pada data dengan menawarkan wawasan terperinci, memastikan penggunaan sumber daya

terbaik, dan meningkatkan hasil panen [11]. Adli et al. dalam studinya juga menunjukkan bagaimana AIoT dapat digunakan untuk identifikasi penyakit, pemantauan pertanian cerdas, dan analisis data pertanian yang efisien [12].

Dengan potensi besar yang dimiliki oleh AIoT, penelitian yang lebih lanjut diperlukan untuk memahami bagaimana AI dapat mengoptimalkan kinerja sistem IoT di sektor pertanian secara menyeluruh. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur sistematis (*Systematic Literature Review* (SLR)) untuk mengeksplorasi model AIoT yang telah diterapkan dalam pertanian cerdas, menganalisis peran AI dalam meningkatkan kinerja sistem IoT di sektor pertanian, serta kontribusi AI dalam meningkatkan efisiensi dan hasil pertanian. Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran yang diberikan AI dalam mendukung keberlanjutan revolusi pertanian cerdas serta mengidentifikasi arah pengembangan teknologi ini di masa depan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini memaparkan teori dan penelitian sebelumnya terkait integrasi Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) menjadi Artificial Intelligence of Things (AIoT) dalam Smart Agriculture. Tinjauan pustaka bertujuan memberikan dasar teori, mengidentifikasi gap penelitian, dan mendukung argumen untuk penelitian ini.

2.1. Artificial Intelligence dalam Pertanian Cerdas

Artificial Intelligence (AI) merupakan teknologi yang telah berkembang pesat dan diterapkan di berbagai sektor, termasuk pertanian, untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dalam sektor pertanian, AI digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti prediksi cuaca, deteksi hama, serta

pengelolaan irigasi dan hasil panen. Kamilaris dan Prenafeta-Boldú menunjukkan bahwa AI mampu mengidentifikasi pola dalam data besar untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat. AI juga mendukung pemanfaatan sumber daya secara optimal melalui analisis berbasis data. Sun mencatat bahwa penerapan AI pada sistem irigasi cerdas berhasil mengurangi konsumsi air hingga 20% sambil meningkatkan hasil panen.

Selain itu, teknologi AI seperti jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Networks/ANN) dan pembelajaran mesin (Machine Learning/ML) telah diaplikasikan dalam analisis data tanah untuk merekomendasikan metode budidaya terbaik. Penerapan AI juga telah memungkinkan sistem otomatisasi, seperti prediksi kebutuhan tanaman dan deteksi dini penyakit, yang membantu petani meminimalkan kerugian.

2.2. Internet of Things dalam Pertanian Cerdas

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat yang saling terhubung untuk bertukar data, memberikan solusi untuk pemantauan dan pengelolaan lahan pertanian secara real-time. Perangkat seperti sensor kelembapan tanah, kamera multispektral, dan aktuator telah digunakan untuk mengumpulkan data yang relevan dengan kondisi lahan. Menurut Misra penerapan IoT meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya pertanian hingga 25% dengan memanfaatkan data real-time untuk pengambilan keputusan.

Liu mengungkapkan bahwa IoT tidak hanya mendukung otomatisasi, tetapi juga menghasilkan data granular yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Sebagai contoh, sensor IoT dapat mendeteksi perubahan lingkungan secara real-time dan mengirimkan data tersebut ke sistem pusat untuk dianalisis. Hal ini memungkinkan optimalisasi dalam irigasi, pemupukan, dan pemantauan tanaman secara terus-menerus.

2.3. Konsep AIoT dalam Pertanian Cerdas

Integrasi AI dan IoT menciptakan Artificial Intelligence of Things (AIoT), sebuah konsep yang menggabungkan kemampuan pengumpulan data dari IoT dengan analisis dan pengambilan keputusan berbasis AI. Teknologi AIoT memungkinkan otomatisasi penuh pada berbagai proses pertanian. Sebagai contoh, Zhang menunjukkan bahwa AIoT dapat mendeteksi tingkat kelembapan tanah melalui sensor IoT dan secara otomatis mengaktifkan irigasi sesuai kebutuhan tanpa intervensi manusia.

Selain itu, He menyoroti bahwa AIoT digunakan untuk deteksi dini penyakit tanaman, sehingga mengurangi risiko kerugian hasil panen. Sistem berbasis AIoT juga memungkinkan drone untuk memetakan lahan pertanian dan mendeteksi anomali, seperti serangan hama atau kekurangan nutrisi, dengan presisi tinggi.

AIoT mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara otomatis, seperti menentukan dosis pupuk yang optimal atau jadwal penyiraman, sehingga efisiensi dan produktivitas meningkat. Dalam jangka panjang, penerapan AIoT berkontribusi pada keberlanjutan sektor pertanian melalui pengurangan limbah dan pemanfaatan sumber daya yang lebih bijaksana.

2.4. Gap Penelitian

Kajian mengenai AI dan IoT secara terpisah telah banyak dilakukan, namun penelitian tentang integrasi AIoT dalam berbagai aspek pertanian cerdas masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan utama:

- Bagaimana peran AI dapat meningkatkan kapabilitas IoT dalam pertanian cerdas?
- Apa saja dampak pada implementasi AIoT di sektor pertanian?

Beberapa dampak yang diidentifikasi meliputi kebutuhan infrastruktur yang memadai, akses data berkualitas tinggi, biaya implementasi yang relatif tinggi dan efisiensi penghasil keuntungan signifikan. Oleh karena itu, melalui tinjauan literatur sistematis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai pengembangan AIoT yang berkelanjutan, efisien, dan relevan dengan kebutuhan pertanian modern.

3. METODE PENELITIAN

Artikel ini menggunakan pendekatan SLR untuk mengumpulkan dan menganalisis literatur yang sudah ada, sehingga dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai topik yang diteliti. Gambar 1 menunjukkan alur SLR yang digunakan dalam studi ini; alur yang serupa telah diterapkan sebelumnya [12].



Gambar 1. Alur *systematic literature review* [12]

3.1 Pertanyaan Penelitian (Research Question)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi kontribusi *Artificial Intelligence* (AI) dalam mengoptimalkan kinerja perangkat *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan di sektor pertanian. Oleh karena itu, cakupan penelitian difokuskan kepada integrasi AI dan IoT dalam berbagai aspek pertanian cerdas. Tabel 1 merupakan pertanyaan penelitian berdasarkan tujuan penelitian ini.

Tabel 1. *Research question and justification*

ID	Research question	Justification
RQ1	Bagaimana perkembangan sistem IoT dalam pertanian cerdas dengan adanya integrasi AI?	Memaparkan model AIoT yang diterapkan dalam pertanian cerdas.
RQ2	Apa peran AI dalam sistem IoT?	Memaparkan kontribusi AI dalam meningkatkan kinerja sistem IoT.
RQ3	Bagaimana AI memberikan nilai lebih pada IoT di sektor pertanian cerdas?	Memaparkan nilai lebih yang diberikan AI dalam sistem IoT di sektor pertanian cerdas.

3.2 Protokol Pengumpulan Artikel

Bagian ini berfokus pada protokol yang diterapkan pada basis data yang dituju, yaitu ScienceDirect dan MDPI, serta melalui pencarian di

Google Scholar. Tabel 2 menyajikan ringkasan kriteria inklusi dan eksklusi yang diterapkan untuk menyaring literatur relevan dalam studi ini.

Tabel 2. Kriteria inklusi dan eksklusi

No.	Criteria	Database
Inclusion		
1.	Literatur diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2024	SD, MDPI, GSC
2.	Literatur berasal dari basis data bereputasi baik	GSC
3.	Literatur ini tersedia dalam bentuk teks lengkap	SD, GSC
4.	Berfokus pada AIoT di sektor pertanian cerdas	SD, MDPI, GSC
Exclusion		
1.	Literatur yang diterbitkan sebelum tahun 2020	SD, MDPI, GSC
2.	Literatur tidak tersedia dalam teks lengkap	SD, GSC
3.	Literatur yang kajiannya tidak berfokus pada AIoT	SD, MDPI, GSC

3.3 Proses Pencarian (Research Process)

Proses pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci 'AIoT in Smart Agriculture' dan 'AI IoT Smart Agriculture' disetiap basis data. Kemudian, hasil pencarian akan disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Tabel 3 menyajikan detail terkait literatur yang disaring.

Tabel 3. Detail literatur yang disaring

Database	Criteria	Number of Articles
ScienceDirect	Included	68
	Excluded	15
MDPI	Included	42
	Excluded	2
Other (Google Scholar)	Included	103
	Excluded	34

3.4 Penilaian Kualitas (Quality Assessment)

Setelah literatur disaring, penilaian kualitas dilakukan untuk memastikan kualitas literatur dan relevansinya terhadap penelitian ini. Tabel 4 menunjukkan pertanyaan yang harus dijawab untuk menilai kualitas literatur berdasarkan skor tertentu: ya (1,0), sebagian (0,5) dan tidak (0).

Tabel 4. Tabel *quality assessment*

ID	Question
Q1	Apakah tujuan literatur didefinisikan dengan jelas?
Q2	Apakah pertanyaan penelitian dapat terjawab?
Q3	Apakah studi literatur tersebut sesuai untuk mencapai tujuan penelitian?
Q4	Apakah studi literatur tersebut dapat membuktikan validitas datanya?
Q5	Apakah hasil penelitiannya dilaporkan dengan baik?

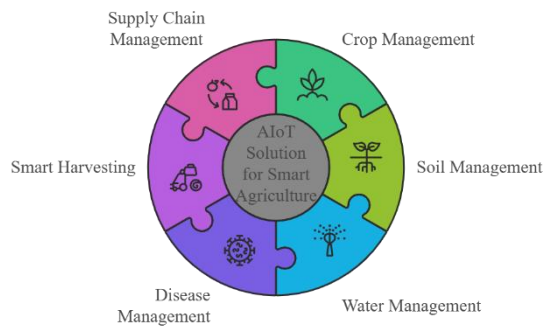
3.5 Kualitas (Quality Evaluation)

Seluruh literatur yang lulus kriteria inklusi dan eksklusi pada tahap sebelumnya dibaca dan dievaluasi untuk diberi skor. Hanya literatur dengan skor lebih dari 3,5 yang akan dipertimbangkan untuk penelitian ini. Sebanyak 25 literatur dianggap memenuhi syarat dan dimasukkan sebagai sampel untuk penelitian ini. Penilaian kualitas terhadap literatur terpilih menunjukkan bahwa studi [2], [13], [14], [15], [16], [17], [18], dan [19] memperoleh skor 5,0; studi [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], dan [31] memperoleh skor 4,5; studi [32], [33] memperoleh skor 4,0; studi [34], [35], dan [36] memperoleh skor 3,5. Literatur yang terpilih diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam dan komprehensif, serta mendukung pengembangan penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Aiot Dalam Pertanian Cerdas

Evolusi dari *Internet of Things* (IoT) ke *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) dengan adanya integrasi *Artificial Intelligence* (AI) mencerminkan kemajuan dalam paradigma komputasi, di mana perangkat bertransisi dari sekadar mengumpulkan dan berbagi data menjadi menggabungkan kecerdasan buatan, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan fungsionalitas yang ditingkatkan dalam ekosistem yang saling berhubungan [37]. Dalam sektor pertanian cerdas, transisi ini didorong oleh kebutuhan akan peningkatan manajemen data dalam praktik pertanian. Perpaduan teknologi ini memfasilitasi otomatisasi di bidang pertanian, yang mengarah pada peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya operasional [38].



Gambar 2. Domain pertanian cerdas

Pada Gambar 2 menunjukkan penggunaan AIoT dalam pertanian dari beberapa domain. Penerapan AIoT juga membuka peluang untuk pengembangan sistem pertanian presisi, di mana setiap tanaman atau area kecil dari ladang dapat dipantau dan dikelola secara individual, sehingga meningkatkan hasil panen dan mengurangi penggunaan sumber daya secara berlebihan [39], [40]. Misalnya, drone yang dilengkapi dengan sensor dan kamera AIoT dapat memetakan

lahan pertanian dan mendeteksi masalah seperti penyakit tanaman atau kekurangan nutrisi dengan cepat [41].

Secara keseluruhan, integrasi AIoT dalam sektor pertanian tidak hanya membantu petani dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi dampak negatif dari praktik pertanian tradisional [43]. Teknologi ini juga membuka peluang baru untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, sekaligus memberikan peluang bagi petani untuk memperoleh wawasan yang lebih mendalam mengenai kondisi pertanian mereka. Selain itu, AIoT dapat mempercepat adopsi praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang pada gilirannya akan meningkatkan ketahanan pangan global. Contoh lain dari aplikasi AIoT adalah sistem irigasi cerdas yang menyesuaikan jadwal penyiraman berdasarkan data real-time dapat menghemat penggunaan air hingga 50% [42]. Perangkat AIoT yang digunakan untuk aplikasi pertanian cerdas lainnya disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perangkat AIoT dalam Smart Agriculture

Domain pertanian	Aplikasi AIoT	Pendekatan AI	Peran AI	Author
Manajemen Tanaman (Crop Management)	Monitoring Tanaman	YoLov4	Mendeteksi objek	[20]
		- CNN - Deep learning	- Menentukan waktu dan dosis yang sesuai. - Memprediksi potensi ancaman - Merekomendasikan tindakan mitigasi	[36]
	Monitoring Tanaman dengan UGVs	- SLAM - RL	- Navigasi medan - Analisis data	[22]
	LED light spectrum	Deep learning	Analisis pertumbuhan tanaman	[20]
	Monitoring lingkungan	- Machine learning - Rule-based systems	- Memprediksi kondisi ideal - Mendeteksi anomali - Mengontrol perangkat berdasar kondisi	[34]
		- Machine Learning - ANN	- Menganalisis data suara - Mengidentifikasi kondisi lingkungan dan ancaman	[33]
Pengelolaan Tanah (Soil Management)	Sistem rekomendasi tanaman & Monitoring tanaman tumbuh	- Decision Tree - Random Forest - SVM	- Menganalisis data tanah - Memprediksi hasil panen	[35]
	Pendeteksi komposisi kelembapan tanah	Model ANN	- Pengolahan data - Memberikan rekomendasi pupuk	[16]
	Real-time Testing Parameter tanah	- Decision Tree - Random Forest - SVM	- Identifikasi pola/anomali - Validasi data	[35]
Pengelolaan Air (Water Management)	Anti embun beku dalam alat penyiram	LSTM multivariant	- Prediksi suhu - Dukungan Keputusan - Analisis Data	[14]
	Sistem Prediksi Evapotranspirasi tanaman	ANN	- Estimasi nilai ETo - Pengolahan data	[15]
	Deteksi kebutuhan air	- Machine Learning	Memprediksi, mendeteksi, dan mengoptimalkan	[32]

		- Deep Learning		
	Irigasi otomatis	Rule-based systems	Mengaktifkan/menonaktifkan sistem irigasi berdasarkan data kelembapan tanah	[34]
Pengelolaan Penyakit (Disease Management)	Deteksi penyakit	Machine learning	- Deteksi penyakit - Kontrol kualitas tanah	[24]
		Deep Learning	Deteksi penyakit. tanaman	[22], [27]
		- SVM - Random Forest - Naive Bayes	- Deteksi Penyakit - Pengolahan Data	[26]
		- Deep learning - CNN	- Mendiagnosis penyakit tanaman - Memprediksi perkembangan dan penyebaran penyakit. - Memberikan rekomendasi	[36]
	Deteksi hama	Deep learning	Identifikasi hama	[26]
		Machine learning	Deteksi ancaman tanaman	[28]
	Perlindungan dari hewan	ANN	Deteksi anomali	[29]
Pemanenan Cerdas (Smart Harvesting)	Object detection	YOLOv4	deteksi bunga	[17]
	Klasifikasi buah	Model ANN	Prediksi kematangan buah	[19]
Manajemen Rantai Pasokan (Supply Chain Management)	Mengukur area kerja mesin pertanian	Machine Learning	Proses data lokasi pertanian	[13]
	Manajemen rantai pasokan cerdas	RFID	- Analisis data untuk pelacakan - pemberitahuan instan	[31]
		Deep Learning	Pengawasan cerdas	[19]
	Monitoring tanaman untuk estimasi masa simpan	- Machine Learning - ANN	- Analisis data - Model Prediksi	[25]
	Keamanan data pertanian	Deep Learning	Pendeteksi Instruksi cegah serangan DDoS	[2]
	Optimizing farm operations	Machine Learning	Pembuatan model prediksi	[22]

4.2. Peran Ai Dalam Sistem IoT

Teknologi AI mampu menganalisis sejumlah besar data yang dihasilkan oleh perangkat IoT, memanfaatkan algoritma canggih dan kerangka kerja komputasi. Integrasi ini meningkatkan efisiensi pemrosesan data, analitik real-time, dan kemampuan pengambilan keputusan di berbagai aplikasi [44] [45]. Sebuah studi menunjukkan bahwa integrasi AI dalam sistem IoT menghasilkan kecepatan pemrosesan data yang tinggi, mencapai hingga 271 bit/s, dengan tingkat kegagalan yang rendah, yaitu sekitar 3,1% [46].

Dalam konteks pertanian cerdas, AI memproses data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dan perangkat IoT untuk memberikan wawasan yang lebih dalam dan actionable [47]. Sebagai contoh, AI dapat menghasilkan analitik prediktif yang dapat

meningkatkan strategi irigasi, yang mengarah pada peningkatan 40% dalam efisiensi sumber daya dan peningkatan 30% dalam hasil panen [48]. Selain itu, AI dapat menerima data yang ditransmisikan perangkat IoT untuk mendeteksi pola dan anomali dengan memfasilitasi intervensi tepat waktu [49].

Integrasi AI dengan IoT dalam sistem pertanian cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga menghasilkan solusi inovatif yang berdampak pada peningkatan hasil panen dan pengurangan kerugian. Algoritma AI memperkuat kemampuan IoT dengan menganalisis data secara cepat dan akurat, menjadikannya alat yang esensial dalam praktik pertanian modern [50]. Tabel 6 menunjukkan peran AI dalam sistem IoT.

Tabel 6. peran AI dalam system IoT

Kontribusi AI dalam IoT	Author	Hasil	Dampak bagi pertanian
data analisis	[51]	Menghasilkan model prediksi agronomi yang akurat, meningkatkan efisiensi produksi, dan memastikan pengelolaan sumber daya secara tepat melalui standar data dan platform analisis hibrida.	Mendorong keberlanjutan pertanian melalui pengurangan biaya operasional, dan peningkatan produktivitas hingga 25%

Kontribusi AI dalam IoT	Author	Hasil	Dampak bagi pertanian
	[52]	Smart Information Systems membantu manajemen pertanian dengan efisien, melindungi data pribadi petani, dan menyesuaikan fitur sesuai kebutuhan.	Teknologi ini mengurangi biaya dan mendukung keberlanjutan sektoktor pertanian
Sistem Pendeteksi	[53]	Model AI "Expert-Pro" efektif memprediksi risiko hama di rumah kaca tulip dengan mengidentifikasi faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan, memungkinkan manajemen hama yang lebih adaptif dan presisi.	Mengurangi penggunaan pestisida kimia, meningkatkan kesehatan tanaman, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan dengan efisiensi sumber daya yang lebih baik.
	[54]	Sistem kontrol gulma presisi yang mampu mendeteksi gulma dengan efisiensi tinggi, mengurangi penggunaan herbisida hingga 79-80%.	Meningkatkan efisiensi pertanian dengan mengurangi bahan kimia dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk kendaraan robotik.
Model Prediksi	[55]	Model prediksi berbasis AI yang secara signifikan meningkatkan akurasi dalam memprediksi risiko hama, mendeteksi gulma, dan menganalisis data lingkungan seperti suhu, kelembapan, serta kesehatan tanaman.	Penerapan teknologi ini mengurangi penggunaan pestisida dan herbisida hingga 80%, dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan dengan meminimalkan dampak lingkungan.
	[56]	Menunjukkan bahwa strategi fog-based secara signifikan mengurangi end-to-end latency dan penggunaan jaringan dibandingkan cloud-based, terutama saat jumlah sensor bertambah.	Efisiensi latensi yang lebih tinggi dan penghematan bandwidth. Strategi ini memungkinkan respons lebih cepat dalam pengambilan keputusan agrikultur.
Pengambilan Keputusan	[57]	Keputusan berbasis AI dalam sistem memungkinkan penggunaan drone dan robotika otonom untuk menghasilkan rekomendasi lebih akurat dengan memproses data skala besar, melampaui kemampuan manusia.	Mendorong inovasi agrikultur modern yang membantu pencapaian SDG, termasuk ketahanan pangan, efisiensi sumber daya, dan pengurangan dampak perubahan iklim

4.3. Pembahasan

AI memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kontrol sistem IoT di sektor pertanian. Dengan melakukan analisis data secara *real-time*, AI memberdayakan sistem IoT untuk mengekstrak wawasan berharga dari data yang sangat banyak, melakukan pengambilan keputusan, dan meningkatkan efisiensi operasional pertanian. Selain itu, AI secara kritis meningkatkan pengalaman petani dengan mempelajari wawasan dan perilaku tanaman seperti yang terlihat dari literatur sebelumnya. AI juga mengoptimalkan lingkungan IoT dengan menyempurnakan tindakan dan respons terhadap kebutuhan tanaman. Hal ini sangat penting untuk mendukung keberlanjutan pertanian cerdas, dimana AI dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan sehingga dapat mengenali anomali yang ada disekitar tanaman. Selain itu, AI juga menghadirkan otomatisasi dan efisiensi pada sistem IoT dengan menyederhanakan tugas-tugas berulang dan mengurangi ketergantungan pada intervensi manusia yang konstan, khususnya dalam sistem irigasi. AI mengotomatiskan proses berdasarkan pola yang dipelajari, meningkatkan kecerdasan dan produktivitas sistem IoT secara keseluruhan.

Dengan memanfaatkan kemampuan AI, sistem IoT telah mengalami peningkatan signifikan dalam hal kinerja. Misalnya, AI mengoptimalkan penggunaan pupuk untuk tanaman dan mendeteksi adanya ancaman hama dengan menggunakan data yang diperoleh perangkat IoT. Optimalisasi ini, seperti yang dibahas dalam berbagai literatur, membuat sistem IoT lebih efisien dan tangguh. AI juga memberikan nilai tambah yang signifikan pada teknologi IoT di sektor pertanian.

Dengan memanfaatkan sensor IoT, AI mampu menganalisis data secara *real-time*, seperti tingkat kelembapan tanah, pola cuaca, dan kondisi lingkungan lainnya. Hal ini memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih tepat, seperti menentukan waktu penyiraman atau pemberian pupuk secara optimal. Selain itu, AI meningkatkan efisiensi dan produktivitas dengan memberikan rekomendasi terbaik dalam teknik budidaya serta mendeteksi hama atau penyakit tanaman sejak dini. Dengan cara ini, kerugian dapat diminimalkan, dan hasil panen dapat dimaksimalkan. AI juga mendukung pengelolaan sumber daya yang lebih bijak, seperti mengurangi penggunaan air dan pupuk secara berlebihan, sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan.

Secara keseluruhan, penerapan AI dalam IoT menjadikan proses kerja di sektor pertanian lebih efisien, efektif, dan berkelanjutan, memberikan solusi cerdas yang berdampak positif bagi masa depan pertanian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian literatur sistematis ini telah berhasil mengungkapkan peran penting AI dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem IoT di sektor pertanian cerdas. AI memungkinkan analisis data secara *real-time*, optimalisasi sumber daya, dan pengambilan keputusan berbasis data yang mendukung keberlanjutan serta produktivitas pertanian. Selain itu, kemampuan AI untuk mendeteksi pola, memprediksi kebutuhan tanaman, dan mengotomatiskan proses pertanian telah terbukti mempercepat adopsi teknologi IoT dalam mendukung

sistem pertanian modern. Meski demikian, tantangan seperti kebutuhan data berkualitas tinggi, variabilitas lingkungan, dan biaya implementasi teknologi masih menjadi perhatian yang perlu diselesaikan untuk memperluas penerapan AI dan IoT secara global.

Untuk memaksimalkan potensi AI dan IoT dalam pertanian cerdas, disarankan agar para peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan bekerja sama dalam: (1) mengembangkan algoritma AI yang lebih adaptif dan hemat daya, (2) memperkuat infrastruktur teknologi informasi untuk mendukung konektivitas IoT, (3) meningkatkan akses terhadap data berkualitas tinggi melalui kolaborasi lintas sektor, dan (4) mempromosikan pelatihan bagi petani untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan mereka dalam menggunakan teknologi ini. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan AI dan IoT dapat semakin mendorong transformasi pertanian menuju masa depan yang lebih cerdas, berkelanjutan, dan tangguh terhadap perubahan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.-C. Chiu, W.-M. Yan, S. A. Bhat, and N.-F. Huang, "Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 9, p. 100357, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jafr.2022.100357.
- [2] M. A. Ferrag, L. Shu, H. Djallel, and K.-K. R. Choo, "Deep Learning-Based Intrusion Detection for Distributed Denial of Service Attack in Agriculture 4.0," *Electronics*, vol. 10, no. 11, May 2021, doi: 10.3390/electronics10111257.
- [3] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," *Agriculture*, vol. 12, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101745.
- [4] S. Qazi, B. A. Khawaja, and Q. U. Farooq, "IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 21219–21235, 2022, doi: 10.1109/access.2022.3152544.
- [5] N. Haqiq, M. Zaim, I. Bouganssa, A. Salbi, and M. Sbihi, "AIoT with I4.0: the effect of Internet of Things and Artificial Intelligence technologies on the industry 4.0," *ITM Web of Conferences*, vol. 46, p. 03002, 2022, doi: 10.1051/itmconf/20224603002.
- [6] D. Muhammed, E. Ahvar, S. Ahvar, M. Trocan, M.-J. Montpetit, and R. Ehsani, "Artificial Intelligence of Things (AIoT) for smart agriculture: A review of architectures, technologies and solutions," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 228, p. 103905, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.jnca.2024.103905.
- [7] H. Adli Karimah, N. Ismail Alina, H. Ghani Ab, N. Abdullah, and F. Ridzuan, "AIoT: bridging the gap between artificial intelligence and the internet of things," *Journal of Artificial Intelligence and Robotics*, vol. 1, no. 1, 2024, doi: 10.61577/jaiar.2024.100001.
- [8] T. A. Alghamdi and N. Javaid, "A Survey of Preprocessing Methods Used for Analysis of Big Data Originated From Smart Grids," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 29149–29171, 2022, doi: 10.1109/access.2022.3157941.
- [9] S. L. Ullo and G. R. Sinha, "Advances in IoT and Smart Sensors for Remote Sensing and Agriculture Applications," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 13, Jul. 2021, doi: 10.3390/rs13132585.
- [10] A. Soussi, E. Zero, R. Sacile, D. Trincherro, and M. Fossa, "Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 24, no. 8, Apr. 2024, doi: 10.3390/s24082647.
- [11] B. K. Shukla, N. Maurya, and M. Sharma, "Advancements in Sensor-Based Technologies for Precision Agriculture: An Exploration of Interoperability, Analytics and Deployment Strategies," *Engineering Proceedings*, vol. 58, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.3390/ecsa-10-16051.
- [12] H. K. Adli *et al.*, "Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 7, Apr. 2023, doi: 10.3390/s23073752.
- [13] M. Waleed, T.-W. Um, T. Kamal, A. Khan, and A. Iqbal, "Determining the Precise Work Area of Agriculture Machinery Using Internet of Things and Artificial Intelligence," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10, May 2020, doi: 10.3390/app10103365.
- [14] M. A. Guillén-Navarro, R. Martínez-España, A. Bueno-Crespo, J. Morales-García, B. Ayuso, and J. M. Cecilia, "A Decision Support System for Water Optimization in Anti-Frost Techniques by Sprinklers," *Sensors*, vol. 20, no. 24, Dec. 2020, doi: 10.3390/s20247129.
- [15] A. Elbeltagi *et al.*, "Combination of Limited Meteorological Data for Predicting Reference Crop Evapotranspiration Using Artificial Neural Network Method," *Agronomy*, vol. 12, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/agronomy12020516.
- [16] D. Ather *et al.*, "Selection of Smart Manure Composition for Smart Farming Using Artificial Intelligence Technique," *Journal of Food Quality*, vol. 2022, pp. 1–7, May 2022, doi: 10.1155/2022/4351825.
- [17] C.-W. Hsu, Y.-H. Huang, and N.-F. Huang, "Real-time Dragonfruit's Ripeness Classification System with Edge Computing Based on Convolution Neural Network," in *2022 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, IEEE, Jan. 2022, pp. 177–182. Accessed: Dec. 25, 2024. [Online].

- Available:
<https://doi.org/10.1109/icoi53446.2022.9687292>
- [18] M. A. Ferrag, L. Shu, H. Djallel, and K.-K. R. Choo, "Deep Learning-Based Intrusion Detection for Distributed Denial of Service Attack in Agriculture 4.0," *Electronics*, vol. 10, no. 11, May 2021, doi: 10.3390/electronics10111257.
 - [19] W.-T. Su, L.-Y. Jiang, T.-H. O, Y.-C. Lin, M.-H. Hung, and C.-C. Chen, "AIoT-Cloud-Integrated Smart Livestock Surveillance via Assembling Deep Networks with Considering Robustness and Semantics Availability," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 6140–6147, Oct. 2021, doi: 10.1109/lra.2021.3090453.
 - [20] C.-L. Chang, C.-C. Huang, and H.-W. Chen, "Design and Implementation of Artificial Intelligence of Things for Tea (*Camellia sinensis* L.) Grown in a Plant Factory," *Agronomy*, vol. 12, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/agronomy12102384.
 - [21] M.-C. Chiu, W.-M. Yan, S. A. Bhat, and N.-F. Huang, "Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 9, p. 100357, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jafr.2022.100357.
 - [22] M. Agelli, N. Corona, F. Maggio, and P. V. Moi, "Unmanned Ground Vehicles for Continuous Crop Monitoring in Agriculture: Assessing the Readiness of Current ICT Technology," *Machines*, vol. 12, no. 11, Oct. 2024, doi: 10.3390/machines12110750.
 - [23] J.-C. Feng, L. Sun, and J. Yan, "Carbon sequestration via shellfish farming: A potential negative emissions technology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 171, p. 113018, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2022.113018.
 - [24] C. Murugamani *et al.*, "Machine Learning Technique for Precision Agriculture Applications in 5G-Based Internet of Things," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, pp. 1–11, Jun. 2022, doi: 10.1155/2022/6534238.
 - [25] R. Torres-Sánchez, M. T. Martínez-Zafra, N. Castillejo, A. Guillamón-Frutos, and F. Artés-Hernández, "Real-Time Monitoring System for Shelf Life Estimation of Fruit and Vegetables," *Sensors*, vol. 20, no. 7, Mar. 2020, doi: 10.3390/s20071860.
 - [26] C. Murugamani *et al.*, "Machine Learning Technique for Precision Agriculture Applications in 5G-Based Internet of Things," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, pp. 1–11, Jun. 2022, doi: 10.1155/2022/6534238.
 - [27] C.-J. Chen, Y.-Y. Huang, Y.-S. Li, C.-Y. Chang, and Y.-M. Huang, "An AIoT Based Smart Agricultural System for Pests Detection," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 180750–180761, 2020, doi: 10.1109/access.2020.3024891.
 - [28] P. Blanco-Carmona, L. Baeza-Moreno, E. Hidalgo-Fort, R. Martín-Clemente, R. González-Carvajal, and F. Muñoz-Chavero, "AIoT in Agriculture: Safeguarding Crops from Pest and Disease Threats," *Sensors*, vol. 23, no. 24, Dec. 2023, doi: 10.3390/s23249733.
 - [29] K. Balakrishna, F. Mohammed, C. R. Ullas, C. M. Hema, and S. K. Sonakshi, "Application of IOT and machine learning in crop protection against animal intrusion," *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, no. 2, pp. 169–174, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.061.
 - [30] Z. Cheng and F. Zhang, "Flower End-to-End Detection Based on YOLOv4 Using a Mobile Device," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2020, pp. 1–9, Sep. 2020, doi: 10.1155/2020/8870649.
 - [31] H. Nozari, A. Szmelter-Jarosz, and J. Ghahremani-Nahr, "Analysis of the Challenges of Artificial Intelligence of Things (AIoT) for the Smart Supply Chain (Case Study: FMCG Industries)," *Sensors*, vol. 22, no. 8, Apr. 2022, doi: 10.3390/s22082931.
 - [32] M. Junaid *et al.*, "Smart Agriculture Cloud Using AI Based Techniques," *Energies*, vol. 14, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14165129.
 - [33] A. Alzuhair and A. Alghaihab, "The Design and Optimization of an Acoustic and Ambient Sensing AIoT Platform for Agricultural Applications," *Sensors*, vol. 23, no. 14, Jul. 2023, doi: 10.3390/s23146262.
 - [34] S. K. S. Durai and M. D. Shamili, "Smart farming using Machine Learning and Deep Learning techniques," *Decision Analytics Journal*, vol. 3, p. 100041, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.dajour.2022.100041.
 - [35] S. Joshi-Bag and A. Vyas, "AIoTST-CR: AIoT Based Soil Testing and Crop Recommendation to Improve Yield," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, vol. 11, no. 3, Sep. 2023, doi: 10.52549/ijeei.v11i3.4858.
 - [36] V. Balaska, Z. Adamidou, Z. Vryzas, and A. Gasteratos, "Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions," *Machines*, vol. 11, no. 8, Jul. 2023, doi: 10.3390/machines11080774.
 - [37] G. Paolone, F. Pilotti, and A. Piazza, "Evolution of the concept of device moving from internet of things to artificial intelligence of things," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, no. 6, p.

- 7236, Dec. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i6.pp7236-7243.
- [38] K. S. L. Kazi, "Artificial Intelligence (AI)-Driven IoT (AIoT)-Based Agriculture Automation," IGI Global Scientific Publishing. [Online]. Available: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/350033>
- [39] S. Singh, S. Sethi, R. Sharma, D. Vaibhavi, and A. Tiwari, "Precision Agriculture Monitoring System," in *2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, Jun. 2024, pp. 1–6. Accessed: Dec. 25, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/icccnt61001.2024.10724188>
- [40] K. P. G. D. M. Polwaththa, S. T. C. Amarasinghe, A. A. Y. D. Amarasinghe, and A. A. Y. Amarasinghe, "Exploring Artificial Intelligence and Machine Learning in Precision Agriculture: A Pathway to Improved Efficiency and Economic Outcomes in Crop Production," *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 50–59, Nov. 2024, doi: 10.54536/ajaset.v8i3.3843.
- [41] S. Kondo, N. Yoshimoto, and Y. Nakayama, "Farm Monitoring System with Drones and Optical Camera Communication," *Sensors*, vol. 24, no. 18, Sep. 2024, doi: 10.3390/s24186146.
- [42] A. Raza, M. A. Shahid, M. Safdar, M. A. R. Tariq, M. Zaman, and M. U. Hassan, "Exploring the Impact of Digital Farming on Agricultural Engineering Practices," *Biology and Life Sciences Forum*, vol. 27, no. 1, Oct. 2023, doi: 10.3390/IECAG2023-15386.
- [43] R. Singh, C. Prabha, and N. Sharma, "Artificial Internet of Things (AIoT) and its Momentous Impact and Challenges in Modern Agriculture," in *2023 International Conference on Integration of Computational Intelligent System (ICICIS)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 1–7. Accessed: Dec. 25, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/icicis56802.2023.10430232>
- [44] A. Kumar Dinkar, M. Alimul Haque, and A. Kumar Choudhary, "Enhancing IoT Data Analysis with Machine Learning: A Comprehensive Overview," *LatIA*, vol. 2, p. 9, Jul. 2024, doi: 10.62486/latia20249.
- [45] L. Harish, "Applications of Artificial Intelligence in IoT," IGI Global Scientific Publishing. [Online]. Available: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/331027>
- [46] Z. Huang *et al.*, "Artificial Intelligence Technology Based on the Internet of Things Big Data Visualization Orchestration Platform," in *2024 Second International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology (NMITCON)*, IEEE, Aug. 2024, pp. 1–6. Accessed: Dec. 25, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/nmitcon62075.2024.10699049>
- [47] M. K. Mondal, R. Mandal, and U. Biswas, "Big IoT Data Analytics in Fog Computing," *Fog Computing for Intelligent Cloud IoT Systems*, pp. 279–307, Jun. 2024, doi: 10.1002/9781394175345.ch12.
- [48] K. K., T. V. R. Kanth, A. Babiyola, and H. Mishra, "IoT-Based Smart Agricultural Monitoring Using WSN and Predictive Analytics with Artificial Intelligence (AI)," *International Journal of BIM and Engineering Science*, vol. 10, no. 1, pp. 26–34, 2025, doi: 10.54216/ijbes.100104.
- [49] N. Gouiza, H. Jebari, and K. Reklouai, "IoT in Smart Farming: A Review," Springer Nature Switzerland. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-54318-0_13
- [50] K. S. L. Kazi, "Artificial Intelligence (AI)-Driven IoT (AIoT)-Based Agriculture Automation," IGI Global Scientific Publishing. [Online]. Available: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/350033>
- [51] A. J. Atapattu, L. K. Perera, T. D. Nuwarapaksha, S. S. Udumann, and N. S. Dissanayaka, "Challenges in Achieving Artificial Intelligence in Agriculture," Springer Nature Singapore. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-5878-4_2
- [52] R. Mark, "Ethics of Using AI and Big Data in Agriculture: The Case of a Large Agriculture Multinational," *The ORBIT Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 1–27, 2019, doi: 10.29297/orbit.v2i2.109.
- [53] N. Salybekova, G. Issayev, A. Serzhanova, and V. Mikhailov, "Utilising artificial intelligence for cultivating decorative plants," *Botanical studies*, vol. 65, no. 1, p. 39, Dec. 2024, doi: 10.1186/s40529-024-00445-9.
- [54] G. C. Sunil, A. Upadhyay, and X. Sun, "Development of software interface for AI-driven weed control in robotic vehicles, with time-based evaluation in indoor and field settings," *Smart Agricultural Technology*, vol. 9, p. 100678, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100678.
- [55] W. K. Alazzai, B. Sh. Z. Abood, H. M. Al-Jawahry, and M. K. Obaid, "Precision Farming: The Power of AI and IoT Technologies," *E3S Web of Conferences*, vol. 491, p. 04006, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202449104006.
- [56] J. Sahoo and K. Barrett, "Internet of Things (IoT) Application Model for Smart Farming," in *SoutheastCon 2021*, IEEE, Mar. 2021, pp. 1–2.

Accessed: Dec. 26, 2024. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/southeastcon45413.2021.9401845>

- [57] B. Kisliuk, J. C. Krause, H. Meemken, J. C. S. Morales, H. Müller, and J. Hertzberg, "AI in

Current and Future Agriculture: An Introductory Overview," *KI - Künstliche Intelligenz*, vol. 37, no. 2, pp. 117–132, Apr. 2024, doi: 10.1007/s13218-023-00826-5.