

Pengembangan IoT & Artificial Intelligence dalam Smart Agriculture untuk Deteksi Penyakit Tanaman

Muhammad Faruq^{1)*} , Ach. Ramadani²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ moh.faruq221@gmail.com, ²⁾ rd8285691@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penerapan teknologi IoT & Artificial Intelligence dalam sistem pertanian cerdas guna meningkatkan kemampuan deteksi penyakit tanaman secara lebih cepat dan tepat. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk memantau kondisi tanaman secara berkelanjutan melalui sensor serta melakukan identifikasi penyakit berdasarkan analisis data lingkungan dan citra tanaman. Pendekatan penelitian menggunakan metode eksperimen berbasis machine learning yang meliputi pengumpulan data, tahap pra-proses, pelatihan model, hingga evaluasi performa sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi penyakit tanaman serta menghasilkan informasi secara real-time. Selain itu, pemanfaatan IoT memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara terus-menerus sehingga mendukung peningkatan efisiensi dalam pengelolaan pertanian. Namun demikian, terdapat beberapa kendala seperti variasi kondisi lingkungan dan keterbatasan dataset. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan diperlukan, terutama dengan memanfaatkan metode deep learning yang lebih kompleks serta data yang lebih beragam.

Kata Kunci: Internet of Things, Artificial Intelligence, Smart Agriculture, Deteksi Penyakit Tanaman, Machine Learning

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi jaringan komputer dalam beberapa tahun terakhir telah membawa perubahan signifikan di berbagai bidang, termasuk sektor pertanian.[1]. Transformasi ini mendorong munculnya konsep Smart Agriculture,

* faruq

yaitu sistem pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi.[2],[3].

Penggabungan IoT dan AI menjadi salah satu pendekatan utama dalam membangun sistem pertanian yang cerdas. IoT memungkinkan perangkat seperti sensor dan aktuator untuk terhubung dan mengumpulkan data secara berkelanjutan, sedangkan AI berperan dalam mengolah data tersebut menjadi informasi yang bermanfaat [4], [5], [6].

Di sisi lain, Artificial Intelligence berperan dalam menganalisis data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT[7]. Dengan menggunakan teknik machine learning dan deep learning, sistem AI mampu mengidentifikasi pola, mendeteksi anomali, serta memberikan prediksi terkait kondisi tanaman, termasuk potensi serangan penyakit[8], [9], [10]. Deteksi dini penyakit tanaman merupakan salah satu aspek krusial dalam pertanian, karena dapat mencegah kerugian yang lebih besar serta meningkatkan hasil panen secara keseluruhan[11].

Sensor yang ditempatkan pada area pertanian mampu merekam berbagai parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, serta kondisi tanah. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan melalui jaringan menuju server untuk dianalisis. Kualitas jaringan menjadi faktor penting dalam memastikan kelancaran proses komunikasi data.[12],[13].

Dengan mengintegrasikan IoT dan AI, sistem Smart Agriculture mampu memberikan solusi yang lebih efektif[14]. Data yang dikumpulkan secara real-time dapat dianalisis secara otomatis untuk mendeteksi gejala awal penyakit tanaman, seperti perubahan warna daun atau pola pertumbuhan yang tidak normal. Sistem ini juga dapat memberikan rekomendasi tindakan yang tepat, seperti penggunaan pestisida atau penyesuaian kondisi lingkungan[15].

Namun demikian, implementasi sistem ini juga menghadapi berbagai tantangan, khususnya dalam aspek jaringan komputer. Infrastruktur jaringan di daerah pertanian seringkali terbatas, sehingga diperlukan solusi jaringan yang adaptif seperti mesh network atau teknologi komunikasi berbasis low-power wide-area network (LPWAN)[16]. Selain itu, aspek keamanan data juga menjadi perhatian penting, mengingat sistem ini melibatkan pertukaran data secara terus-menerus melalui jaringan terbuka

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengimplementasikan integrasi IoT dan AI dalam sistem Smart Agriculture untuk deteksi penyakit tanaman. Fokus utama penelitian adalah pada perancangan arsitektur sistem berbasis jaringan komputer yang mampu mendukung komunikasi data secara real-time serta analisis cerdas menggunakan AI[17].

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pertanian modern, khususnya dalam meningkatkan efisiensi deteksi penyakit tanaman serta mendukung transformasi digital di sektor agrikultur[18].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pilar utama smart agriculture

Smart Agriculture merupakan pendekatan modern dalam sektor pertanian yang mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta kualitas hasil pertanian. Konsep ini memanfaatkan proses pemantauan dan pengambilan keputusan dalam pertanian tidak lagi bergantung sepenuhnya pada intervensi manusia. Berbagai teknologi seperti Internet of Things & Artificial Intelligence, dan jaringan komputer untuk menciptakan sistem pertanian yang mampu beroperasi secara otomatis dan adaptif terhadap kondisi lingkungan. Dengan adanya sistem ini[19].

B. Peran IoT sebagai Infrastruktur Pengumpulan Data

IoT berperan sebagai fondasi utama dalam Smart Agriculture[20][21], IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik seperti sensor dan aktuator untuk saling terhubung melalui jaringan komputer. Sensor digunakan untuk mengumpulkan data lingkungan secara real-time, seperti suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, intensitas cahaya, serta kondisi tanaman. Data yang dikumpulkan kemudian dikirimkan melalui jaringan menuju sistem pemrosesan, baik itu server lokal maupun cloud. Dengan adanya IoT, proses pengumpulan data menjadi lebih cepat, akurat, dan efisien dibandingkan metode konvensional[22].

C. Artificial Intelligence AI sebagai Otak Pemrosesan Data

Artificial Intelligence berfungsi sebagai komponen analisis dalam sistem Smart Agriculture. AI digunakan untuk mengolah data yang diperoleh dari sensor IoT sehingga dapat menghasilkan informasi yang bernilai[23]. Teknik seperti machine learning dan deep learning memungkinkan sistem untuk mengenali pola, melakukan klasifikasi, serta membuat prediksi berdasarkan data historis[24]. Dalam konteks deteksi penyakit tanaman, AI mampu mengidentifikasi gejala penyakit berdasarkan perubahan kondisi lingkungan maupun visual tanaman, seperti perubahan warna daun atau tekstur permukaan. Sistem deteksi penyakit tanaman berbasis AI umumnya menggunakan pendekatan klasifikasi data[25]. Data yang digunakan dapat berupa data numerik dari sensor maupun data citra tanaman. Pada data citra, model dilatih untuk mengenali perbedaan antara tanaman sehat dan tanaman yang terinfeksi penyakit[26]. Sedangkan pada data sensor, model menganalisis pola lingkungan yang berpotensi memicu munculnya

penyakit. Kombinasi kedua jenis data ini dapat meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi penyakit secara lebih komprehensif[27].

D. Infrastruktur Jaringan, Komputasi, dan Keamanan Data

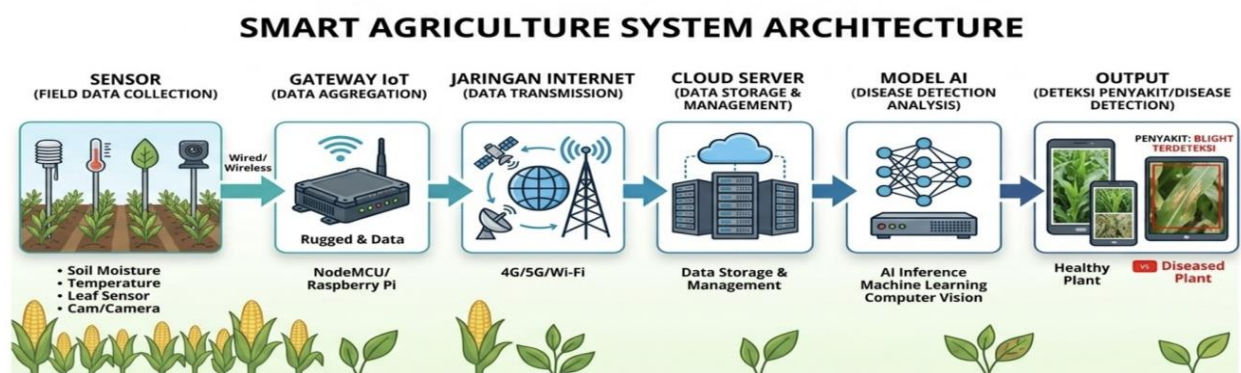
Dari perspektif jaringan komputer, keberhasilan implementasi Smart Agriculture sangat bergantung pada infrastruktur komunikasi yang digunakan. Jaringan berfungsi sebagai media penghubung antara perangkat IoT dengan sistem pemrosesan data[28]. Teknologi seperti wireless sensor network memungkinkan komunikasi antar perangkat dilakukan secara efisien dengan konsumsi energi yang rendah. Selain itu, penggunaan cloud computing memberikan kemudahan dalam penyimpanan dan pengolahan data dalam skala besar[29][30]. Sementara itu, edge computing digunakan untuk memproses data lebih dekat ke sumbernya, sehingga dapat mengurangi latensi dan meningkatkan kecepatan respon sistem. Selain aspek teknologi, keamanan data juga menjadi perhatian penting dalam sistem Smart Agriculture. Data yang dikirimkan melalui jaringan berpotensi mengalami gangguan atau serangan dari pihak yang tidak bertanggung jawab[31][32]. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme keamanan seperti enkripsi data, autentikasi pengguna, serta pengelolaan akses yang ketat[33][34]. Hal ini bertujuan untuk menjaga integritas dan kerahasiaan data yang digunakan dalam sistem. Dengan integrasi antara IoT, AI, dan jaringan komputer, Smart Agriculture mampu memberikan solusi yang lebih efektif dalam mendeteksi penyakit tanaman secara dini. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pertanian, tetapi juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis data. Oleh karena itu, pengembangan sistem ini menjadi sangat penting dalam mendukung transformasi digital di sektor pertanian[35][36].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dalam mengembangkan sistem berbasis IoT dan AI untuk mendeteksi penyakit tanaman. Tahap awal dilakukan dengan merancang arsitektur sistem yang terdiri dari sensor, gateway, server, serta modul AI. Data yang digunakan meliputi data lingkungan dan citra tanaman yang dikumpulkan secara berkala. Data tersebut kemudian melalui proses praproses sebelum digunakan dalam pelatihan model. Model AI dibangun menggunakan metode klasifikasi untuk mengidentifikasi kondisi tanaman. Selanjutnya, sistem diintegrasikan dengan jaringan komputer guna memastikan proses komunikasi data berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem berdasarkan beberapa parameter seperti akurasi, kecepatan respon, serta kestabilan jaringan[37][38].

A. Desain Sistem

Tahap awal penelitian dimulai dengan perancangan arsitektur sistem yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor IoT, gateway komunikasi, server/cloud, serta modul AI. Sensor digunakan untuk mengumpulkan data lingkungan seperti suhu, kelembaban tanah, dan kondisi daun tanaman. Data tersebut dikirim melalui jaringan nirkabel menuju gateway, kemudian diteruskan ke server untuk diproses lebih lanjut[39][40].



Gambar 1 arsitektur sistem smart algriculture

B. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu data sensor lingkungan dan data citra tanaman. Data sensor diperoleh dari perangkat IoT yang dipasang di lahan pertanian, sedangkan data citra diperoleh melalui kamera yang digunakan untuk menangkap kondisi daun tanaman[41]. Pengumpulan data dilakukan secara berkala

untuk memastikan sistem memiliki dataset yang cukup dalam melatih model AI. Data yang terkumpul kemudian disimpan dalam database untuk proses selanjutnya[42].

C. Praproses data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu data sensor lingkungan dan data citra tanaman. Data sensor diperoleh dari perangkat IoT yang dipasang di lahan pertanian[43][44], sedangkan data citra diperoleh melalui kamera yang digunakan untuk menangkap kondisi daun tanaman. Pengumpulan data dilakukan secara berkala untuk memastikan sistem memiliki dataset yang cukup dalam melatih model AI. Data yang terkumpul kemudian disimpan dalam database untuk proses selanjutnya[45][46].

D. Implementasi model ai

Pada tahap ini, digunakan metode machine learning berbasis klasifikasi untuk mendeteksi penyakit tanaman. Model dilatih menggunakan dataset yang telah diproses sebelumnya[47]. Algoritma yang digunakan mampu mengenali pola tertentu pada data yang menunjukkan adanya penyakit pada tanaman. Selain itu, sistem juga dirancang untuk mampu melakukan prediksi secara real-time berdasarkan data yang masuk dari sensor dan kamera. Model AI diintegrasikan dengan sistem IoT sehingga dapat memberikan hasil analisis secara otomatis.

E. Integrasi jaringan komputer

Sistem ini memanfaatkan jaringan komputer sebagai media komunikasi data antar perangkat. Teknologi wireless digunakan untuk menghubungkan sensor dengan gateway, sedangkan koneksi internet digunakan untuk mengirim data ke cloud server. Keandalan jaringan menjadi faktor penting dalam penelitian ini, terutama dalam menjaga kestabilan pengiriman data serta meminimalkan latensi. Oleh karena itu, dilakukan pengujian terhadap performa jaringan seperti kecepatan transfer data dan waktu respon sistem[48][49].

F. Pengujian dan evaluasi

tahap terakhir adalah pengujian sistem untuk mengetahui tingkat akurasi dan performa sistem secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi sistem dengan kondisi aktual tanaman.

Beberapa parameter yang digunakan dalam evaluasi meliputi:

- Akurasi deteksi penyakit
- Waktu respon sistem
- Stabilitas jaringan
- Tingkat keberhasilan system

Table 1 Desain system :

No	Tahapan	Deskripsi
1	Desain Sistem	Perancangan arsitektur IoT dan AI
2	Pengumpulan Data	Sensor dan citra tanaman
3	Praproses Data	Normalisasi dan augmentasi
4	Implementasi AI	Pelatihan model deteksi
5	Integrasi Jaringan	Komunikasi data IoT
6	Evaluasi	Pengujian akurasi dan performa

Dengan metode ini, diharapkan sistem yang dikembangkan mampu memberikan solusi yang efektif dalam mendeteksi penyakit tanaman secara dini serta meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pertanian berbasis teknologi[50].

IV. HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Perangkat IoT berhasil mengumpulkan data secara real-time dan mengirimkannya ke server untuk diproses oleh model AI. Model yang digunakan mampu mengklasifikasikan kondisi tanaman dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, sistem juga dapat memberikan respon dalam waktu yang relatif cepat sehingga mendukung proses monitoring secara langsung.

Dari sisi jaringan, sistem menunjukkan performa yang stabil meskipun pada kondisi tertentu terjadi penurunan kualitas komunikasi akibat gangguan sinyal. Hal ini menunjukkan bahwa infrastruktur jaringan masih menjadi faktor penting dalam implementasi sistem.berkelanjutan.

1. Hasil Deteksi Penyakit Tanaman

Model AI yang digunakan dalam penelitian ini mampu mengklasifikasikan kondisi tanaman menjadi beberapa kategori, yaitu tanaman sehat dan tanaman terindikasi penyakit. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi gejala awal penyakit dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Deteksi dilakukan berdasarkan kombinasi data sensor dan data citra tanaman. Sistem dapat mengenali perubahan kondisi lingkungan yang berpotensi menyebabkan penyakit, serta mengidentifikasi gejala visual pada tanaman seperti perubahan warna daun. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi data multimodal memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan penggunaan satu jenis data saja.

2. Evaluasi Kinerja Sistem

Untuk mengukur performa sistem, dilakukan pengujian menggunakan beberapa parameter utama, yaitu akurasi deteksi, waktu respon, serta stabilitas jaringan.

Table 2 evaluasi kinerja system

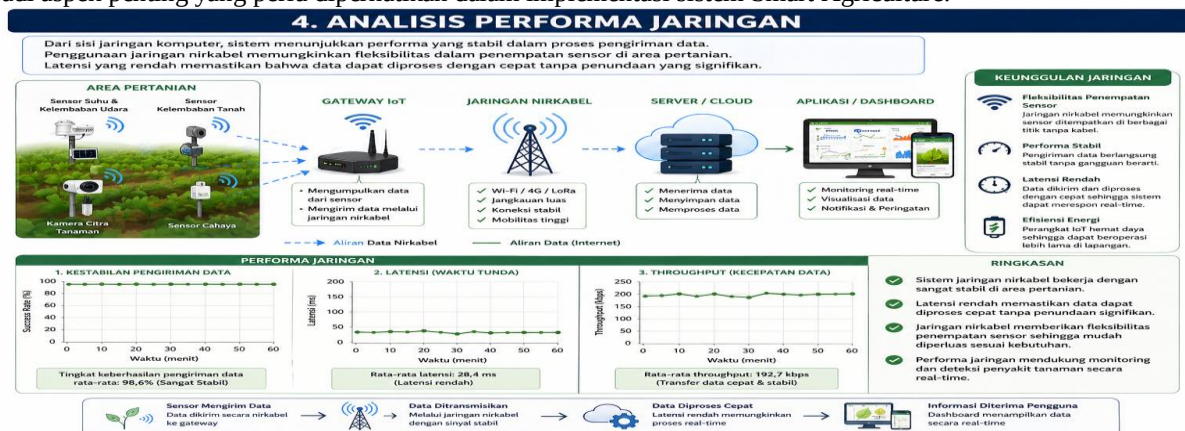
No	Parameter Evaluasi	Hasil	Keterangan
1	Akurasi Deteksi	91%	Sangat baik dalam mengenali penyakit
2	Waktu Respon	1–3 detik	Cepat dan real-time
3	Stabilitas Jaringan	Tinggi	Data terkirim tanpa gangguan
4	Konsistensi Sistem	Tinggi	Output stabil
5	Deteksi Dini	Baik	Mampu mendeteksi gejala awal

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik dalam mendeteksi penyakit tanaman. Tingkat akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa model AI mampu memahami pola data dengan efektif. Selain itu, waktu respon yang cepat menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan untuk pemantauan secara real-time.

3. Analisis Performa Jaringan

Dari sisi jaringan komputer, sistem menunjukkan performa yang stabil dalam proses pengiriman data. Penggunaan jaringan nirkabel memungkinkan fleksibilitas dalam penempatan sensor di area pertanian. Latensi yang rendah memastikan bahwa data dapat diproses dengan cepat tanpa penundaan yang signifikan.

Namun demikian, dalam beberapa kondisi tertentu seperti gangguan sinyal atau jarak sensor yang terlalu jauh dari gateway, terjadi penurunan kualitas komunikasi. Hal ini menunjukkan bahwa faktor infrastruktur jaringan masih menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan dalam implementasi sistem Smart Agriculture.



Gambar 2 Analisis performa jaringan

4. Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem menunjukkan hasil yang baik, terdapat beberapa keterbatasan yang ditemukan selama penelitian. Model AI masih memiliki kesulitan dalam mengenali penyakit dengan gejala yang sangat mirip. Selain itu, kualitas data sangat mempengaruhi hasil deteksi, sehingga diperlukan dataset yang lebih beragam untuk meningkatkan performa sistem.

V. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, integrasi Internet of Things & Artificial Intelligence dalam sistem Smart Agriculture menunjukkan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi deteksi penyakit tanaman. Sistem yang dikembangkan mampu mengumpulkan data lingkungan secara real-time melalui

sensor IoT, kemudian memproses data tersebut menggunakan model AI untuk menghasilkan prediksi kondisi tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital dalam sektor pertanian dapat mengurangi ketergantungan terhadap metode konvensional yang cenderung lambat dan kurang akurat.

Dari sisi performa sistem, tingkat akurasi deteksi yang tinggi menunjukkan bahwa model AI yang digunakan telah mampu mengenali pola data dengan baik. Proses preprocessing data seperti normalisasi dan pengolahan citra berperan penting dalam meningkatkan kualitas data yang digunakan dalam pelatihan model. Selain itu, penggunaan kombinasi data sensor dan citra tanaman terbukti memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan hanya menggunakan satu jenis data. Hal ini memperkuat bahwa pendekatan multimodal dalam analisis data mampu meningkatkan keakuratan sistem dalam mendeteksi penyakit tanaman.

Kecepatan respon sistem yang berada pada kisaran waktu real-time menjadi salah satu keunggulan utama dari sistem ini. Integrasi dengan jaringan komputer yang stabil memungkinkan proses pengiriman data berlangsung dengan latensi yang rendah. Dengan demikian, sistem dapat memberikan hasil deteksi secara cepat sehingga memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan lebih awal. Hal ini sangat penting dalam konteks pertanian, di mana keterlambatan dalam penanganan penyakit dapat menyebabkan kerugian yang signifikan.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan adanya beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Sistem masih mengalami kesulitan dalam mengenali penyakit dengan gejala yang mirip, yang menunjukkan bahwa model AI masih memerlukan peningkatan dalam hal pemahaman konteks dan kompleksitas data. Selain itu, performa sistem juga dipengaruhi oleh kualitas jaringan, terutama pada kondisi lingkungan yang memiliki keterbatasan infrastruktur komunikasi.

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem Smart Agriculture berbasis IoT dan AI yang mampu mendeteksi penyakit tanaman secara otomatis dan real-time. Sistem yang dihasilkan menunjukkan tingkat akurasi yang baik serta mampu meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pertanian.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa keterbatasan, terutama dalam hal variasi data dan kompleksitas penyakit. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan performa sistem, baik dari sisi model AI maupun infrastruktur jaringan.

Adapun beberapa poin penting yang dapat disimpulkan dari pembahasan ini adalah:

1. Integrasi IoT dan AI terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan data serta akurasi deteksi penyakit tanaman secara signifikan.
2. Penggunaan data multimodal (sensor dan citra) memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan pendekatan tunggal.
3. Infrastruktur jaringan komputer menjadi faktor kunci dalam menjamin kestabilan dan kecepatan sistem, sehingga perlu diperhatikan dalam implementasi di lapangan.

VI. KESIMPULAN

Hasil Penelitian ini berhasil mengimplementasikan integrasi Internet of Things & Artificial Intelligence dalam sistem Smart Agriculture untuk deteksi penyakit tanaman. Sistem yang dikembangkan mampu mengumpulkan data lingkungan secara real-time melalui sensor IoT dan mengolahnya menggunakan model AI untuk menghasilkan prediksi kondisi tanaman secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi penyakit tanaman serta mampu memberikan respon dalam waktu yang cepat.

Keunggulan utama dari sistem ini terletak pada kemampuannya dalam melakukan deteksi dini penyakit tanaman, sehingga memungkinkan tindakan pencegahan dapat dilakukan lebih cepat dan tepat. Selain itu, integrasi dengan jaringan komputer yang stabil juga berperan penting dalam mendukung proses komunikasi data secara real-time. Dengan demikian, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengelolaan pertanian modern.

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal kemampuan model AI dalam mengenali penyakit dengan gejala yang kompleks dan kemiripan tinggi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model berbasis deep learning yang lebih canggih serta memperluas dataset agar sistem dapat bekerja lebih optimal. Selain itu, optimalisasi infrastruktur jaringan juga diperlukan untuk mendukung implementasi di berbagai kondisi lingkungan pertanian.

Kontribusi Penulis: [Muhammad Faruq]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Faruq merancang konsep penelitian terkait integrasi Internet of Things & Artificial Intelligence dalam sistem Smart Agriculture untuk deteksi penyakit tanaman, menyusun metodologi penelitian, memimpin proses penulisan, serta melakukan penyuntingan dan validasi akhir naskah.

[Ach Ramadani]: Bertanggung jawab dalam pengembangan sistem Smart Agriculture berbasis IoT dan AI, termasuk perancangan arsitektur sistem, implementasi sensor IoT untuk pengumpulan data lingkungan, pengembangan model machine learning untuk deteksi penyakit tanaman, serta pengolahan dataset dan penyusunan draf awal pada bagian

hasil dan pengujian sistem.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. E. Putra, D. E. Arissandi, A. Rofiqi, and M. F. Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.31294/evolusi.v7i2.5843.
- [2] F. Prasetyo, E. Putra, F. Muslim, N. Hasanah, R. Paradina, and R. Alim, "Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," vol. 5, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [3] V. Christopher *et al.*, "Minority Resampling Boosted Unsupervised Learning with Hyperdimensional Computing for Threat Detection at the Edge of Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 126646–126657, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3111053.
- [4] N. M. Pradhan, B. S. Chaudhari, and M. Zennaro, "6TiSCH Low Latency Autonomous Scheduling for Industrial Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 71566–71575, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3188862.
- [5] I. Akhtar, S. Kirmani, M. Suhail, and M. Jameel, "Advanced Fuzzy-Based Smart Energy Auditing Scheme for Smart Building Environment with Solar Integrated Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 97718–97728, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3095413.
- [6] F. P. E. Putra, N. D. Saputri, F. Rosi, and R. Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Inte-grasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [7] F. Prasetyo, E. Putra, I. N. S. Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, "The Evolution of Quality Education : Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework," vol. 13, no. 1, pp. 386–395, 2024, doi: 10.18421/TEM131.
- [8] M. M. Islam and Z. A. Bhuiyan, "An Integrated Scalable Framework for Cloud and IoT Based Green Healthcare System," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 22266–22282, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3250849.
- [9] S. Singh, A. S. Nandan, G. Sikka, A. Malik, and P. K. Singh, "RETRACTED ARTICLE: Genetic algorithm-based data controlling method using IoT-enabled WSN in power grid," *Soft Comput.*, vol. 27, no. 15, p. 11055, 2023, doi: 10.1007/s00500-022-07186-6.
- [10] F. P. E. Putra, M. Riski, M. S. Yahya, and ..., "Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G," *J. Sistim Inf* ..., 2023, doi: 10.60083/jsisfotek.
- [11] F. Prasetyo, E. Putra, F. Iqbal, and N. Muhammad, "Twitter sentiment analysis about economic recession in indonesia," vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.31763/businta.v7i1.592.
- [12] M. S. Yaraziz and R. Hill, "A Review of Resource Allocation for Maximizing Performance of IoT Systems,"

IEEE Access, vol. 13, pp. 98426–98451, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3576716.

- [13] F. P. E. Putra, D. T. Agustina, T. S. K. Khotimah, and T. Ramadhanty, “Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT),” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [14] S. N. Azzah, S. Din, M. Ilyas, I. Ashraf, and G. S. Choi, “Resolving Energy Consumption Issues and Spectrum Allocation for Future Broadband Networks,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166071–166080, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3135934.
- [15] W. Villegas-Ch, J. Govea, R. Gutierrez, and A. Mera-Navarrete, “Optimizing Security in IoT Ecosystems Using Hybrid Artificial Intelligence and Blockchain Models: A Scalable and Efficient Approach for Threat Detection,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 16933–16958, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3532800.
- [16] S. Yun *et al.*, “A 2.4/5 GHz Dual-Band Low-Noise and Highly Linear Receiver With a New Power-Efficient Feedforward OPAMP for WiFi-6 Applications,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 137264–137273, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3339573.
- [17] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and ..., “Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik,” 2024.
- [18] F. P. E. Putra, R. A. Mustafida, and A. Nahriyah, “Perancangan Jaringan Nirkabel Berbasis Mesh untuk Menunjang Aplikasi Smart City,” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5934.
- [19] N. Hashim, C. Y. Leow, K. Moessner, and C. H. Heng Foh, “Aerial Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Vehicle-to-Vehicle Communication,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 169037–169048, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3606978.
- [20] C. Ma *et al.*, “Banana Individual Segmentation and Phenotypic Parameter Measurements Using Deep Learning and Terrestrial LiDAR,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 50310–50320, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3385280.
- [21] F. Prasetyo, E. Putra, S. R. Sutarsih, P. Permana, and M. U. Mansyur, “Optimalisasi perancangan aplikasi manajemen data koloman, di desa pulau mandangin sampang – madura berbasis website 1),” vol. 9, no. 2, pp. 285–294, 2024. doi.org/10.36341/rabit.v9i2.4840
- [22] P. K. Ray, H. K. Sahoo, A. Mohanty, J. K. Bhutto, A. B. Barnawi, and A. Ali Alshaya, “Robust H-Infinity Filter and PSO-SVM Based Monitoring of Power Quality Disturbances System,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 39041–39057, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3367727.
- [23] X. Zhao, G. Xie, Y. Luo, F. Liu, and H. Bai, “Enhancing Web Text Clustering Accuracy and Efficiency With a Maximum Entropy Function Model: Overcoming High-Dimensional and Directional Challenges,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 42961–42973, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3374770.
- [24] A. Shrotriya, A. Sharma, S. Prabhu, and A. Bairwa, “An Approach Toward Classifying Plant-Leaf Diseases and Comparisons With the Conventional Classification,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 117379–117398, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3411013.
- [25] K. L. Horace-Herron, N. V. R. Masna, S. Bhunia, S. Mandal, and S. Ray, “Nuclear Quadrupole Resonance for Substance Detection,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 111709–111722, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3438877.
- [26] A. G. Papakonstantinou, A. I. Konstanteas, and S. A. Papathanassiou, “Solutions to Enhance Frequency Regulation in an Island System with Pumped-Hydro Storage under 100% Renewable Energy Penetration,”

IEEE Access, vol. 11, pp. 76675–76690, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3296890.

- [27] N. Dong, L. Zhang, H. Zhou, X. Li, S. Wu, and X. Liu, “Two-Stage Fast Matching Pursuit Algorithm for Multi-Target Localization,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 66318–66326, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3290031.
- [28] V.-V. van Vo, D.-T. Le, S. M. Raza, M. Kim, and H. Choo, “Active Neighbor Exploitation for Fast Data Aggregation in IoT Sensor Networks,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 8, pp. 13199–13216, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3354730.
- [29] C.-H. Yang, B. Lee, and Y.-D. Lin, “Deep-Learning Approach for an Analysis of Real-Estate Prices and Transactions,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 89248–89265, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3568798.
- [30] S. Kumar, M. Kumar, and A. Sharma, “A Compact Stacked Multisector Near-Isotropic Coverage Rectenna Array System for IoT Applications,” *IEEE Microw. Wirel. Technol. Lett.*, vol. 34, no. 1, pp. 123–126, 2024, doi: 10.1109/LMWT.2023.3331214.
- [31] S. Kim, “Efficient User Subset Selection for Multiuser Space-Time Line Code Systems,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47687–47698, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170033.
- [32] I. Okubo, K. Sugiura, and H. Matsutani, “A Cost-Efficient FPGA-Based CNN-Transformer Using Neural ODE,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 155773–155788, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3480977.
- [33] M. S. Anjana, A. R. Devidas, and M. V Vinodini Ramesh, “Empowering Sustainability: The Crucial Role of IoT-Enabled Distributed Learning Systems in Reducing Carbon Footprints,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 25872–25892, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3539333.
- [34] T. Aksoy, S. Yüksel, H. Dinçer, U. Hacıoğlu, and R. Maialeh, “Complex Fuzzy Assessment of Green Flight Activity Investments for Sustainable Aviation Industry,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 127297–127312, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3226584.
- [35] R. Anwit, P. K. Jana, and M. S. Obaidat, “Obstacle Adaptive Smooth Path Planning for Mobile Data Collector in the Internet of Things,” *IEEE Trans. Sustain. Comput.*, vol. 8, no. 4, pp. 727–738, 2023, doi: 10.1109/TSUSC.2023.3281886.
- [36] B. Rana, Y. Singh, and H. Singh, “Metaheuristic Routing: A Taxonomy and Energy-Efficient Framework for Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 155673–155698, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3128814.
- [37] H. Lee, S. Kim, J. Kim, J. Jeong, J. Yang, and T. Song, “Ternary Toward Binary: Circuit-Level Implementation of Ternary Logic Using Depletion-Mode and Conventional MOSFETs,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 1193–1207, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3523344.
- [38] S. B. Weber, S. Stein, M. Pilgermann, and T. Schrader, “Attack Detection for Medical Cyber-Physical Systems-A Systematic Literature Review,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 41796–41815, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3270225.
- [39] M. Abrar, U. Ajmal, Z. M. Almohaimeed, X. Gui, R. Akram, and R. Masroor, “Energy Efficient UAV-Enabled Mobile Edge Computing for IoT Devices: A Review,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 127779–127798, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3112104.
- [40] F. Ahmad, W. B. Abbas, S. Khalid, F. Khalid, I. Khan, and F. AlDosari, “Performance Enhancement of mmWave MIMO Systems Using Machine Learning,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 73068–73078, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3190388.

- [41] M. U. Hassan, Y. Abbas Bangash, W. Iqbal, A. Abdellah, and J. Iqbal, "PRIDA-ME: A Privacy-Preserving, Interoperable and Decentralized Authentication Scheme for Metaverse Environment," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 6, pp. 493–515, 2025, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3523518.
- [42] Y. Li, L. Chen, C. Sun, G. Liu, C. Chen, and Y. Zhang, "Accurate Stock Price Forecasting Based on Deep Learning and Hierarchical Frequency Decomposition," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 49878–49894, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3384430.
- [43] A. I. A. Alzahrani, S. H. Chauhdary, and A. A. Alshdadi, "Internet of Things (IoT)-Based Wastewater Management in Smart Cities," *Electron.*, vol. 12, no. 12, 2023, doi: 10.3390/electronics12122590.
- [44] Z. Chen, Y. Zhang, and Z. Chen, "Dynamic and Experimental Analysis of Decoupling Simultaneous Vibration Isolation and Energy Harvesting for Suspension Systems," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 164985–164997, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3612030.
- [45] G. Xu, M. Song, Z. Leng, and Z. Jia, "Simulation Research on Fast Matching of Big Data Based on Spark," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 32628–32635, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3262989.
- [46] N. K. Sharma, S. Bojjagani, Y. C. A. P. Reddy, M. Vivekanandan, J. Jagadeesan, and A. K. Maurya, "A Novel Energy Efficient Multi-Dimensional Virtual Machines Allocation and Migration at the Cloud Data Center," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 107480–107495, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3320729.
- [47] L. Jiaxin, L. Xinmin, and W. Qiurong, "RETRACTED ARTICLE: Outdoor Sports Data Monitoring Scheme Based on Wearable Devices and Wireless Sensor Networks (WSNs)," *Mob. Networks Appl.*, vol. 30, no. Suppl 1, p. 21, 2025, doi: 10.1007/s11036-024-02362-4.
- [48] R. Ma, W. Zhang, R. Ma, W. Ni, S. Jiang, and S. Jiang, "Design and Verification of a Novel Sampling System for Lunar Water Ice Exploration," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 18938–18946, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3247963.
- [49] W. Wang, Y. Gong, H. Zhang, X. Yuan, and Y. Zhang, "Quantitative Assessment of Fall Risk in the Elderly Through Fusion of Millimeter-Wave Radar Imaging and Trajectory Features," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 13370–13385, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3355927.
- [50] T. A. Abose, V. Tekulapally, D. C. Kejela, K. T. Megersa, S. T. Daka, and K. A. Jember, "Optimized Cluster Routing Protocol With Energy-Sustainable Mechanisms for Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 99661–99671, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3429645.

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.