

Implementasi Machine Learning untuk Prediksi Kebutuhan Irigasi Tanaman pada Sistem Smart Agriculture Berbasis Internet of Things

Ahmad Hamdani ^{1)*} , Moh. Izzul Haq Ramadlani ²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ mohizzulhaqramadlani@gmail.com, ²⁾ achmadhamdani789@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning telah membuka peluang dalam pengembangan Smart Agriculture untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya pertanian, khususnya pada sistem irigasi tanaman. Pengelolaan irigasi yang masih dilakukan secara konvensional sering menyebabkan pemborosan air dan menurunkan produktivitas tanaman. Tujuan penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Machine Learning dalam memprediksi kebutuhan irigasi tanaman pada sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things sehingga penggunaan air dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien. Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pengembangan sistem yang mengintegrasikan sensor IoT dan algoritma Machine Learning. Data lingkungan diperoleh dari sensor kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara yang dikumpulkan secara real-time, kemudian melalui proses preprocessing, pelatihan model, dan pengujian untuk menghasilkan prediksi kebutuhan irigasi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengumpulkan dan mengolah data lingkungan secara otomatis melalui perangkat IoT. Model Machine Learning mampu menganalisis hubungan antara kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara untuk menghasilkan prediksi kebutuhan air tanaman secara real-time. Integrasi IoT dan Machine Learning memungkinkan proses monitoring lahan berlangsung secara berkelanjutan serta membantu menentukan waktu dan jumlah irigasi yang lebih tepat dibandingkan metode konvensional. Implementasi Machine Learning pada sistem Smart Agriculture berbasis IoT mampu mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan irigasi secara lebih akurat dan efisien. Sistem yang dikembangkan berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya air. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan model prediksi yang lebih kompleks dengan memanfaatkan data lingkungan yang lebih beragam untuk meningkatkan akurasi sistem.

Kata Kunci: Smart Agriculture, Machine Learning, Internet of Things, Prediksi Irigasi, Pertanian Cerdas

Article history: Received 19 June 2026, First Decision 25 June 2026, Accepted 30 June 2026, Available Online 05 July 2026

I. PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan, pertumbuhan ekonomi, serta kesejahteraan masyarakat. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dunia, kebutuhan akan produksi pangan juga mengalami peningkatan yang signifikan[1]. Di sisi lain, sektor pertanian saat ini menghadapi berbagai tantangan, seperti perubahan iklim, keterbatasan sumber daya air, degradasi lahan, serta ketidakpastian kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi produktivitas tanaman[2]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dan pemanfaatan teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi serta efektivitas pengelolaan pertanian agar kebutuhan pangan dapat terpenuhi secara berkelanjutan.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah melahirkan konsep pertanian cerdas atau *Smart Agriculture*[3], yaitu penerapan teknologi digital dalam aktivitas pertanian untuk mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih akurat dan efisien[4]. Smart Agriculture memanfaatkan berbagai teknologi modern seperti Internet of Things (IoT), komputasi awan (*cloud computing*), analisis data, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), dan *Machine Learning* untuk memantau kondisi lahan pertanian secara real-time. Melalui teknologi tersebut, petani dapat memperoleh informasi yang lebih cepat dan akurat mengenai kondisi lingkungan, sehingga dapat melakukan tindakan yang tepat dalam mengelola tanaman[5].

* Dani

Salah satu aspek penting dalam budidaya tanaman adalah pengelolaan irigasi[6]. Air merupakan kebutuhan utama bagi pertumbuhan tanaman karena berperan dalam proses fotosintesis, penyerapan nutrisi, dan berbagai aktivitas fisiologis lainnya[7]. Namun, praktik irigasi yang masih dilakukan secara manual sering kali menyebabkan penggunaan air yang tidak efisien[8]. Pemberian air yang berlebihan dapat mengakibatkan pemborosan sumber daya, peningkatan biaya operasional, serta risiko kerusakan akar tanaman[9]. Sebaliknya, kekurangan air dapat menyebabkan stres pada tanaman yang berdampak pada penurunan produktivitas hasil panen. Kondisi ini menunjukkan pentingnya sistem yang mampu menentukan kebutuhan irigasi secara tepat sesuai dengan kondisi aktual tanaman dan lingkungan[10].

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam sistem pertanian modern memungkinkan pengumpulan data secara otomatis melalui berbagai sensor yang ditempatkan di lahan pertanian[11]. Sensor tersebut dapat digunakan untuk mengukur parameter lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan curah hujan[12]. Data yang diperoleh kemudian dikirim secara real-time ke server atau platform penyimpanan untuk dianalisis lebih lanjut[13]. Kehadiran IoT memberikan peluang besar untuk menciptakan sistem pemantauan pertanian yang lebih akurat, cepat, dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional[14].

Meskipun demikian, data yang diperoleh dari perangkat IoT umumnya memiliki volume yang besar dan kompleks[15]. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis yang mampu mengolah data tersebut menjadi informasi yang bermanfaat dalam mendukung pengambilan keputusan[16]. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan saat ini adalah Machine Learning[17]. Machine Learning merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem komputer mempelajari pola dari data historis untuk menghasilkan prediksi atau keputusan secara otomatis[18]. Dalam konteks pertanian, Machine Learning dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kebutuhan irigasi berdasarkan berbagai parameter lingkungan yang diperoleh dari sensor IoT[19].

Implementasi Machine Learning pada sistem Smart Agriculture memiliki potensi yang sangat besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air[20]. Dengan memanfaatkan data historis dan data real-time, model Machine Learning dapat memprediksi kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman[21]. Prediksi tersebut dapat membantu petani dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya air, mengurangi risiko kesalahan dalam pemberian irigasi, serta meningkatkan produktivitas tanaman[22]. Selain itu, sistem yang mampu melakukan prediksi secara otomatis juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pengamatan manual yang sering kali dipengaruhi oleh faktor subjektivitas manusia[23].

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa algoritma Machine Learning seperti Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine, dan Artificial Neural Network mampu memberikan hasil prediksi yang cukup baik dalam berbagai permasalahan pertanian[24]. Namun demikian, implementasi Machine Learning yang terintegrasi dengan perangkat IoT untuk prediksi kebutuhan irigasi masih menjadi bidang penelitian yang terus berkembang. Setiap jenis tanaman, kondisi lingkungan, dan karakteristik lahan memiliki kebutuhan yang berbeda sehingga diperlukan model yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan[25]. Oleh karena itu, penelitian mengenai integrasi Machine Learning dan IoT dalam sistem Smart Agriculture masih memiliki relevansi yang tinggi untuk dikembangkan[26].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi Machine Learning dalam memprediksi kebutuhan irigasi tanaman pada sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things[27]. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memanfaatkan data sensor lingkungan untuk menghasilkan prediksi kebutuhan air yang lebih akurat dan efisien[28]. Selain meningkatkan efektivitas pengelolaan irigasi, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pertanian cerdas yang mendukung keberlanjutan sektor pertanian di era digital[29]. Dengan adanya sistem prediksi yang berbasis data dan teknologi cerdas, proses pengelolaan pertanian dapat dilakukan secara lebih modern, efisien, dan adaptif terhadap berbagai perubahan kondisi lingkungan[30].

II. TINJAUAN PUSTAKA

I. SMART AGRICULTURE

Smart Agriculture merupakan konsep pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian[31]. Konsep ini mengintegrasikan berbagai teknologi seperti sensor, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, komputasi awan, dan analisis data untuk membantu proses pemantauan serta pengambilan keputusan dalam kegiatan budidaya tanaman. Melalui Smart Agriculture, kondisi lahan dan tanaman dapat dipantau secara real-time sehingga petani dapat mengambil tindakan yang lebih tepat berdasarkan data yang diperoleh dari lingkungan pertanian[32].

Penerapan Smart Agriculture memberikan berbagai keuntungan, antara lain efisiensi penggunaan sumber daya, peningkatan hasil produksi, pengurangan biaya operasional, serta kemampuan untuk mengantisipasi berbagai permasalahan yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Dengan dukungan teknologi digital, proses pertanian tidak lagi bergantung sepenuhnya pada pengamatan manual, tetapi didukung oleh data yang lebih akurat dan terukur[33].

II. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirim, dan bertukar data secara otomatis. Dalam bidang pertanian, IoT digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor yang berfungsi memantau kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembapan tanah, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan curah hujan[34].

Data yang diperoleh dari sensor akan dikirim ke sistem pengolahan data untuk dianalisis lebih lanjut[35]. Keunggulan IoT terletak pada kemampuannya dalam menyediakan data secara real-time sehingga kondisi lahan dapat dipantau secara terus-menerus. Dengan adanya teknologi ini, proses pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional yang masih mengandalkan observasi langsung di lapangan[36].

III. Machine Learning

Machine Learning merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem komputer mempelajari pola dari data yang tersedia dan menghasilkan prediksi atau keputusan tanpa harus diprogram secara eksplisit untuk setiap kondisi[37]. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan data historis sebagai dasar pembelajaran sehingga sistem dapat mengenali hubungan antar variabel dan menghasilkan prediksi yang sesuai[38].

Dalam bidang pertanian, Machine Learning dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti prediksi hasil panen, deteksi penyakit tanaman, klasifikasi kualitas produk pertanian, hingga prediksi kebutuhan irigasi[39]. Kemampuan Machine Learning dalam mengolah data dalam jumlah besar menjadikannya sangat sesuai untuk diterapkan pada sistem Smart Agriculture yang menghasilkan data sensor secara terus-menerus. [40]

IV. Sistem Irigasi Tanaman

Irigasi merupakan proses penyediaan dan pemberian air pada tanaman untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya. Ketersediaan air yang cukup sangat berpengaruh terhadap perkembangan akar, penyerapan unsur hara, dan produktivitas tanaman. Pengelolaan irigasi yang kurang tepat dapat menyebabkan pemborosan air maupun gangguan pertumbuhan tanaman.[41]

Pada sistem pertanian modern, pengelolaan irigasi tidak hanya dilakukan berdasarkan perkiraan, tetapi juga mempertimbangkan berbagai parameter lingkungan yang dapat memengaruhi kebutuhan air tanaman. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu menentukan kebutuhan irigasi secara lebih akurat agar penggunaan air menjadi lebih efisien dan produktivitas tanaman dapat ditingkatkan.[42]

V. Integrasi Machine Learning dan IoT pada Smart Agriculture

Integrasi Machine Learning dan IoT menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam pengembangan Smart Agriculture. Sensor IoT berfungsi mengumpulkan data lingkungan secara real-time, sedangkan Machine Learning digunakan untuk menganalisis data tersebut dan menghasilkan prediksi yang mendukung pengambilan keputusan.[43]

Dalam penelitian ini, data seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara digunakan sebagai parameter masukan untuk model Machine Learning. Model tersebut kemudian menghasilkan prediksi kebutuhan irigasi tanaman berdasarkan kondisi aktual yang terdeteksi oleh sensor. Integrasi kedua teknologi ini memungkinkan terciptanya sistem pertanian yang lebih cerdas, otomatis, dan efisien dalam pengelolaan sumber daya air. Selain

meningkatkan produktivitas pertanian, pendekatan ini juga mendukung konsep pertanian berkelanjutan melalui penggunaan air yang lebih optimal dan berbasis data.[44]

VI. METODE

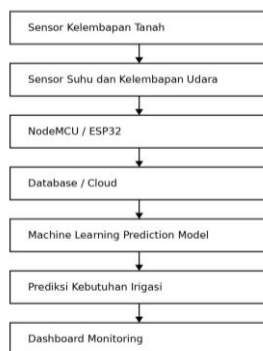
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) dan Machine Learning untuk memprediksi kebutuhan irigasi tanaman pada lingkungan Smart Agriculture. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengumpulan, pengolahan, dan analisis data lingkungan pertanian yang diperoleh secara real-time melalui sensor yang terhubung ke jaringan internet. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh pemahaman mengenai Smart Agriculture, Internet of Things, Machine Learning, serta berbagai metode prediksi yang telah diterapkan dalam bidang pertanian. Referensi diperoleh dari jurnal ilmiah, prosiding konferensi, buku akademik, dan sumber ilmiah lainnya yang relevan dengan topik penelitian.[45]

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem yang terdiri atas perangkat sensor, mikrokontroler, basis data, serta model Machine Learning yang saling terintegrasi. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk memperoleh data kondisi tanah, sedangkan sensor suhu dan kelembapan udara digunakan untuk memantau kondisi lingkungan sekitar tanaman. Seluruh data yang diperoleh dikirimkan melalui perangkat IoT menuju server atau basis data untuk disimpan dan diproses lebih lanjut. Data yang telah terkumpul kemudian melalui tahap preprocessing yang meliputi pembersihan data, penanganan data kosong, serta normalisasi data agar siap digunakan dalam proses pelatihan model Machine Learning.[46]

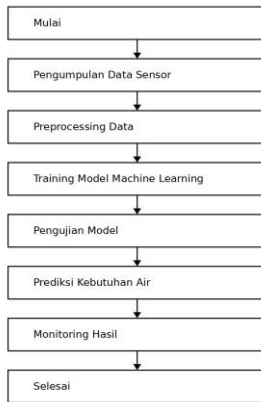
Setelah proses preprocessing selesai, data dibagi menjadi data latih dan data uji. Data latih digunakan untuk membangun model Machine Learning, sedangkan data uji digunakan untuk mengevaluasi performa model yang telah dibuat. Model Machine Learning mempelajari hubungan antara parameter lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara terhadap kebutuhan irigasi tanaman. Hasil dari proses pembelajaran tersebut digunakan untuk menghasilkan prediksi kebutuhan air yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. Model yang telah terbentuk kemudian diintegrasikan dengan sistem IoT sehingga mampu menerima data sensor secara real-time dan menghasilkan rekomendasi kebutuhan irigasi secara otomatis.[47]

Tahap selanjutnya adalah pengujian sistem untuk mengetahui tingkat akurasi dan efektivitas model dalam melakukan prediksi kebutuhan irigasi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi yang dihasilkan sistem terhadap kondisi aktual kebutuhan air tanaman. Hasil evaluasi digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendukung pengambilan keputusan pada lingkungan Smart Agriculture. Dengan metode yang digunakan, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem prediksi kebutuhan irigasi yang lebih cerdas, efisien, dan adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga dapat membantu meningkatkan produktivitas pertanian dan efisiensi penggunaan sumber daya air.[48]

Gambar 1. Arsitektur Sistem Smart Agriculture Berbasis IoT dan Machine Learning



Gambar 2. Alur Sistem Prediksi Kebutuhan Irigasi



Gambar di atas menunjukkan proses pengumpulan data lingkungan menggunakan sensor IoT, kemudian data dikirim ke basis data untuk diproses menggunakan Machine Learning. Hasil analisis digunakan untuk menghasilkan prediksi kebutuhan irigasi yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian cerdas.[49]

Tabel 1. Perangkat Keras yang Digunakan

no	Perangkat	Fungsi
1	ESP32 / NodeMCU	Mikrokontroler IoT
2	Sensor Kelembapan Tanah	Mengukur kelembapan tanah
3	Sensor DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan udara
4	Laptop/Komputer	Pengolahan data dan pengembangan sistem
5	Pompa Air	Simulasi sistem irigasi otomatis

Tabel 2. Parameter Penelitian

no	Parameter	Keterangan
1	Kelembapan Tanah	Variabel utama kebutuhan irigasi
2	Suhu Udara	Kondisi lingkungan
3	Kelembapan Udara	Faktor pendukung prediksi
4	Waktu Pengukuran	Data temporal
5	Kebutuhan Air	Output prediksi sistem

Tahap akhir penelitian dilakukan melalui analisis hasil pengujian untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam memprediksi kebutuhan irigasi tanaman. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan mengenai efektivitas integrasi Machine Learning dan Internet of Things pada sistem Smart Agriculture. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pertanian cerdas yang lebih efisien, akurat, dan berkelanjutan.[50]

VII. HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT) berhasil melakukan pengumpulan data lingkungan secara real-time melalui sensor kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara.

Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirim ke basis data untuk diproses menggunakan model Machine Learning yang telah dilatih sebelumnya.

Implementasi Machine Learning pada sistem berhasil menghasilkan prediksi kebutuhan irigasi tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang terukur. Sistem mampu menganalisis hubungan antara tingkat kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara untuk menentukan kebutuhan air tanaman secara otomatis. Hasil prediksi ditampilkan pada dashboard monitoring sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi lahan dan rekomendasi irigasi secara cepat dan akurat.

Pengujian sistem menunjukkan bahwa integrasi antara IoT dan Machine Learning mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring lahan pertanian dibandingkan metode konvensional. Proses pengumpulan data berlangsung secara otomatis tanpa memerlukan pengamatan manual secara terus-menerus. Selain itu, sistem juga mampu memberikan informasi kebutuhan irigasi secara real-time sehingga membantu pengguna dalam menentukan waktu penyiraman yang tepat.

Berdasarkan hasil implementasi, penggunaan Machine Learning dalam sistem Smart Agriculture memberikan kemampuan prediksi yang baik terhadap kebutuhan irigasi tanaman. Sistem yang dikembangkan mampu memanfaatkan data sensor sebagai dasar pengambilan keputusan sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan teknologi Machine Learning dan Internet of Things memiliki potensi yang besar untuk mendukung pengembangan pertanian cerdas yang lebih modern, efektif, dan berkelanjutan.

VIII. PEMBAHASAN

Penerapan Machine Learning pada sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT) memberikan solusi yang lebih efektif dalam pengelolaan irigasi tanaman. Sistem yang dikembangkan mampu memanfaatkan data lingkungan yang diperoleh dari berbagai sensor untuk menghasilkan prediksi kebutuhan air secara otomatis. Integrasi antara teknologi IoT dan Machine Learning memungkinkan proses pemantauan kondisi lahan dilakukan secara real-time sehingga pengguna dapat memperoleh informasi yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, penggunaan teknologi digital dalam sektor pertanian juga membantu mengurangi ketergantungan terhadap metode konvensional yang masih mengandalkan pengamatan manual.

Data yang diperoleh dari sensor kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara menjadi sumber informasi utama dalam proses prediksi. Semakin lengkap dan berkualitas data yang digunakan, maka semakin baik pula kemampuan model Machine Learning dalam mengenali pola kebutuhan irigasi tanaman. Dengan adanya sistem ini, proses pengambilan keputusan dapat dilakukan berdasarkan data aktual yang diperoleh dari lapangan sehingga risiko kesalahan dalam pemberian air dapat diminimalkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi cerdas memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas sektor pertanian.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa aspek penting yang dapat dibahas sebagai berikut:

1. Kemampuan Machine Learning dalam Prediksi Irigasi

Machine Learning mampu mempelajari pola hubungan antara kondisi lingkungan dan kebutuhan air tanaman berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor IoT. Melalui proses pembelajaran tersebut, sistem dapat menghasilkan prediksi yang membantu pengguna dalam menentukan waktu dan jumlah irigasi yang diperlukan. Kemampuan ini memberikan keuntungan karena keputusan yang dihasilkan tidak hanya berdasarkan perkiraan, tetapi berdasarkan analisis data yang lebih objektif.

2. Peran Internet of Things dalam Monitoring Pertanian

Internet of Things berperan sebagai teknologi yang menghubungkan sensor dengan sistem pengolahan data sehingga informasi lingkungan dapat diperoleh secara real-time. Penggunaan sensor memungkinkan proses pemantauan kondisi lahan dilakukan secara berkelanjutan tanpa memerlukan pengamatan langsung. Data yang dihasilkan menjadi dasar penting dalam proses analisis dan prediksi yang dilakukan oleh Machine Learning. Dengan demikian, IoT menjadi komponen utama yang mendukung keberhasilan sistem Smart Agriculture.

3. Manfaat Sistem Smart Agriculture terhadap Efisiensi Penggunaan Air

Sistem yang dikembangkan mampu membantu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air melalui prediksi kebutuhan irigasi yang lebih akurat. Penggunaan air dapat disesuaikan dengan kondisi aktual tanaman sehingga risiko pemborosan maupun kekurangan air dapat dikurangi. Selain berdampak pada penghematan sumber daya, penerapan sistem ini juga berpotensi meningkatkan produktivitas tanaman dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, integrasi Machine Learning dan Internet of Things menunjukkan potensi yang besar dalam mendukung transformasi digital sektor pertanian. Sistem Smart Agriculture yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan irigasi, tetapi juga memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih akurat melalui pemanfaatan data dan teknologi cerdas.

IX. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi Machine Learning pada sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT) memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi tanaman. Sistem yang dikembangkan mampu memanfaatkan data lingkungan yang diperoleh dari sensor kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara untuk menghasilkan prediksi kebutuhan air tanaman secara otomatis. Integrasi antara teknologi IoT dan Machine Learning memungkinkan proses pengumpulan data, pengolahan informasi, serta pengambilan keputusan dilakukan secara lebih cepat, akurat, dan berbasis data.

Penerapan Machine Learning memberikan kemampuan kepada sistem untuk mengenali pola hubungan antara kondisi lingkungan dan kebutuhan irigasi tanaman sehingga dapat membantu pengguna dalam menentukan waktu serta jumlah penyiraman yang tepat. Sementara itu, teknologi IoT berperan dalam menyediakan data lingkungan secara real-time yang menjadi dasar utama dalam proses prediksi. Kombinasi kedua teknologi tersebut mampu menciptakan sistem pertanian cerdas yang lebih efektif dibandingkan metode konvensional.

Selain meningkatkan efisiensi penggunaan air, sistem Smart Agriculture yang dikembangkan juga berpotensi mendukung peningkatan produktivitas tanaman serta penerapan pertanian berkelanjutan. Oleh karena itu, implementasi Machine Learning dan Internet of Things dapat

menjadi salah satu solusi inovatif dalam menghadapi tantangan sektor pertanian modern serta mendukung transformasi digital di bidang pertanian menuju sistem yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

Kontribusi Penulis: [Dani]: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan. Ahmad Hamdani berperan dalam merancang konsep penelitian, menyusun metodologi, melakukan analisis konseptual terkait integrasi teknologi smart agriculture, serta menyusun dan menyempurnakan naskah akhir. [Izzul]: Investigasi, Kurasi Data, Visualisasi, Penulisan – Draf Awal. Moh. Izzul Haq Ramadlani bertanggung jawab dalam pengumpulan dan kajian literatur, penyusunan data referensi, pembuatan ilustrasi/diagram sistem, serta kontribusi dalam penulisan awal hasil penelitian. 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] J. Miao, H. Li, Z. Zheng, and C. Wang, "Secrecy energy efficiency maximization for UAV swarm assisted multi-hop relay system: Joint trajectory design and power control," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 37784–37799, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3062895.
- [2] S. Alex, K. J. Dhanaraj, and P. P. Deepthi, "Private and Energy-Efficient Decision Tree-Based Disease Detection for Resource-Constrained Medical Users in Mobile Healthcare Network," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 17098–17112, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149771.
- [3] V. R. J. Velez, J. P. C. B. B. Pavia, N. M. B. Souto, P. J. A. Sebastião, and A. M. C. Correia, "Performance Assessment of a RIS-Empowered Post-5G/6G Network Operating at the mmWave/THz Bands," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 49625–49638, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3277388.
- [4] B. S. Gouda *et al.*, "Distributed Intermittent Fault Diagnosis in Wireless Sensor Network Using Likelihood Ratio Test," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6958–6972, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3236880.
- [5] M. T. Takcı, T. Gözel, and M. H. Hakan Hocaoglu, "Quantitative Evaluation of Data Centers' Participation in Demand Side Management," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 14883–14896, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3052204.
- [6] S. H. Hong, D. M. Kim, and S. J. Kim, "Power Control Strategy Optimization to Improve Energy Efficiency of the Hybrid Electric Propulsion Ship," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 22534–22545, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3364374.
- [7] A. Podlubne and D. Göhringer, "A Survey on Adaptive Computing in Robotics: Modelling, Methods and Applications," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 53830–53849, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3281190.
- [8] X. Gao, "TAS: A Temperature-Aware Scheduling for Heterogeneous Computing," *IEEE Access*, vol. 11, pp.

54773–54781, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3281839.

- [9] A. Giannopoulos, S. Spantideas, N. Kapsalis, P. Karkazis, and P. Trakadas, “Deep Reinforcement Learning for Energy-Efficient Multi-Channel Transmissions in 5G Cognitive HetNets: Centralized, Decentralized and Transfer Learning Based Solutions,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 129358–129374, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3113501.
- [10] A. Caroline del Monego, L. Gobel Fernandes, J. A. Pontes, D. Cortez, and A. Andre Badin, “A Modified Three-Phase Four-Switch Boost Rectifier With Two Inductors for Wind Energy Application Systems,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 143572–143584, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3434735.
- [11] A. Ali and M. M. Iqbal, “A Cost and Energy Efficient Task Scheduling Technique to Offload Microservices Based Applications in Mobile Cloud Computing,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 46633–46651, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170918.
- [12] K. K. Munasinghe, M. N. Dharmaweera, U. L. Wijewardhana, C. De Alwis, and R. Parthiban, “Joint Minimization of Spectrum and Power in Impairment-Aware Elastic Optical Networks,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43349–43363, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065964.
- [13] F. Kooshki, A. G. Garcia-Armada, M. M. Mowla, A. Flizikowski, and S. Pietrzyk, “Energy-Efficient Sleep Mode Schemes for Cell-Less RAN in 5G and Beyond 5G Networks,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 1432–1444, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3233430.
- [14] M. Nouripayam, A. Prieto, and J. Rodrigues, “A Scalable All-Digital Near-Memory Computing Architecture for Edge AIoT Applications,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 108609–108625, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3582013.
- [15] N.-S. Pham, S. Shin, L. Xu, W. Shi, and T. Suh, “Cross-Filter Structured Pruning for Efficient Sparse CNN Acceleration,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 129461–129475, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3587027.
- [16] S. Al-Otaibi, A. Al-Rasheed, R. F. Mansour, E. Yang, G. P. Joshi, and W. Cho, “Hybridization of Metaheuristic Algorithm for Dynamic Cluster-Based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 83751–83761, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3087602.
- [17] N. Ishaque and M. A. Azam, “Reliable Data Transmission Scheme for Perception Layer of Internet of Underwater Things (IoUT),” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 968–980, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3134264.
- [18] I. Ishteyaq, K. Muzaffar, N. Shafi, and M. A. Alathbah, “Unleashing the Power of Tomorrow: Exploration of Next Frontier With 6G Networks and Cutting Edge Technologies,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 29445–29463, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3367976.
- [19] K. Moghaddasi, S. Rajabi, and F. S. Soleimanian Gharehchopogh, “Multi-Objective Secure Task Offloading Strategy for Blockchain-Enabled IoV-MEC Systems: A Double Deep Q-Network Approach,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 3437–3463, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3348513.
- [20] U. Ghafoor, H. Z. Khan, M. Ali, A. M. Siddiqui, M. Naeem, and I. Rashid, “Energy Efficient Resource Allocation for H-NOMA Assisted B5G HetNets,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 91699–91711, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3201527.
- [21] K. P. Seng and L.-M. Ang, “Embedded Intelligence: State-of-the-Art and Research Challenges,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 59236–59258, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3175574.
- [22] E. Cheshmikhani, B. Peccerillo, A. Mondelli, and S. Bartolini, “A General Framework for Accelerator Management Based on ISA Extension,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 120702–120713, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3222346.

- [23] W. Cai, Q. Xie, M. Zhang, S. Lv, and J. Yang, "Stream-Function Based 3D Obstacle Avoidance Mechanism for Mobile AUVs in the Internet of Underwater Things," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 142997–143012, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119594.
- [24] F. Abderrazak, E. Antonino-Daviu, L. Talbi, and M. Ferrando-Bataller, "Characteristic Modes Analyses for Misalignment in Wireless Power Transfer System," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 65007–65023, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3397249.
- [25] A. Saraswat, K. Abhishek, H. K. Azad, and S. Selvarajan, "MSI-A: An Energy Efficient Approximated Cache Coherence Protocol," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 48123–48135, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3273219.
- [26] V. Basnayake, D. N. K. Jayakody, H. Mabed, A. Kumar, and T. D. Perera, "M-Ary QAM Asynchronous-NOMA D2D Network With Cyclic Triangular-SIC Decoding Scheme," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6045–6059, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3236966.
- [27] L. Prendl, L. Kasper, M. Holzegger, and R. Hofmann, "Framework for Automated Data-Driven Model Adaption for the Application in Industrial Energy Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 113052–113060, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3104058.
- [28] J. M. Tabora *et al.*, "Assessing Energy Efficiency and Power Quality Impacts Due to High-Efficiency Motors Operating under Nonideal Energy Supply," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121871–121882, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109622.
- [29] F. Mylonopoulos, H. Polinder, and A. Coraddu, "A Comprehensive Review of Modeling and Optimization Methods for Ship Energy Systems," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 32697–32707, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3263719.
- [30] C. P. Lau, G. Ma, H. Susanto, S. Dang, K. S. Ng, and B. Shihada, "Opportunistic Mobile Networks Content Delivery for Important but Non-Urgent Traffic," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 101904–101923, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3316216.
- [31] A. M. Almasoud, A. Alsharoa, D. Qiao, and A. E. Kamal, "An Energy-Efficient Internet of Things Relaying System for Delay-Constrained Applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 82259–82271, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3196836.
- [32] S. Lavdas, P. K. Gkonis, Z. Zinonos, P. Trakadas, L. Sarakis, and K. Papadopoulos, "A Machine Learning Adaptive Beamforming Framework for 5G Millimeter Wave Massive MIMO Multicellular Networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 91597–91609, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202640.
- [33] R. H. Morales *et al.*, "A Novel Global Maximum Power Point Tracking Method Based on Measurement Cells," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 97481–97494, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3205163.
- [34] O. Griebel, B. Hammoud, and N. Wehn, "Adaptive Sliding Window Decoding of Spatially Coupled Low-Density Parity-Check Codes: Algorithms and Energy Efficient Implementations," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 191140–191161, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3517704.
- [35] A. Arsalan, T. Umer, R. A. Rehman, and B.-S. Kim, "Next-Gen Internet of Drones: Federated Learning and Digital Twin Synergy for Energy-Efficient Task Allocation and Seamless Service Migration," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 64459–64472, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3558439.
- [36] H. Asmat, I. Ud Din, A. Almogren, A. Altameem, and M. Y. Khan, "Enhancing Edge-Linked Caching in Information-Centric Networking for Internet of Things With Deep Reinforcement Learning," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 154918–154932, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3483455.
- [37] Y. Hironaka, T. Yamae, C. L. Ayala, N. Yoshikawa, and N. Takeuchi, "Low-Latency Adiabatic Quantum-

- Flux-Parametron Circuit Integrated With a Hybrid Serializer/Deserializer,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 133584–133590, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3230447.
- [38] M. Kazerooni and E. Shahroosvand, “A Novel Search Algorithm and Scan Time Estimation in Airborne Ground Penetrating Radar Using Cell Footprint Meshing,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 114268–114281, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3582826.
- [39] A. Parker, S. Moayedi, K. James, D. Peng, and M. A. Alahmad, “A Case Study to Quantify Variability in Building Load Profiles,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 127799–127813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3112103.
- [40] F. Prasetyo, E. Putra, M. Mursidi, and D. Wahid, “Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik,” vol. 3, no. 2, pp. 931–937, 2024.
- [41] J. Informatika, F. P. E. Putra, L. Romadona, and S. F. Rohmah, “Implementasi dan Evaluasi Protokol QUIC untuk Optimalisasi Kinerja Streaming Video Real-Time pada Jaringan 5G,” pp. 0–7.
- [42] F. Prasetyo, E. Putra, N. Ramadhani, and M. Mursidi, “Service Quality Analysis of RFID - Based Smart Door Lock in Front One Azana Style Hotel Area,” vol. 4, no. 1, pp. 372–381, 2024.
- [43] F. Prasetyo, E. Putra, F. Muslim, and R. Paradina, “Technical Performance Comparison of Modern Frontend Frameworks Study on Svelte , React , and Vue,” vol. 5, no. 1, pp. 355–364, 2025.
- [44] J. Informatika, F. Prasetyo, E. Putra, A. Vidyan, and M. Ali, “Evaluasi Kualitas Layanan (QoS) pada Jaringan Wi-Fi 6 Dibandingkan dengan Wi-Fi 5”.
- [45] F. Prasetyo, E. Putra, A. Zulfikri, A. Rohman, and R. Alim, “Analysis Comparative of Performance Optimization Techniques for PHP Framework Testing : Laravel , CodeIgniter , Symfony,” vol. 5, no. 1, pp. 242–248, 2025.
- [46] F. Prasetyo, E. Putra, M. Nazir, and Y. Zain, “OPTIMASI PENILAIAN PADA E - LEARNING UNIVERSITAS MADURA DENGAN MENGGUNAKAN,” vol. 20, no. 2, pp. 118–126, 2020.
- [47] F. Prasetyo, E. Putra, M. Dafid, and I. Syafi, “Firewall Implementation as a Computer Network Security Strategy for Data Protection,” vol. 5, no. 1, pp. 291–297, 2025.
- [48] 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.
- [49] M. N. Fauzan, R. Munadi, S. Sumaryo, and H. H. Nuha, “Enhanced Grey Wolf Optimization for Efficient Transmission Power Optimization in Wireless Sensor Network,” *Appl. Syst. Innov.*, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.3390/asi8020036.
- [50] F. P. E. Putra, A. Muzayyin, and M. U. Mansyur, “ANALISIS KUALITAS LAYANAN ABSENSI BERBASIS FINGER BERDASARKAN Quality of Service,” *J. Inform.*, 2024, doi: <https://doi.org/10.30873/ji.v24i1.3949>.