PENGEMBANGAN SISTEM IRIGASI ADAPTIF MENGGUNAKAN KECERDASAN BUATAN DAN SENSOR LINGKUNGAN

Aloysius Aloy[1)] Vincensius Arga Yoda[2)] Imam Ashar[3)]
[1), 2), 3)]Prodi Teknik Telekomunikasi Militer. Politeknik Angkatan Darat
Jl.Raya Anggrek No.1 Junrejo, Batu, Indonesia
E - mail : [1)]aloyaloysius1995@gmail.com, [2)]vincentsius@gmail.com,
[3)]imamasharstmt@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE IRRIGATION SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ENVIRONMENTAL SENSORS

Abstract: *Efficient water management is a key factor in supporting food security and agricultural sustainability amid global climate change. This study develops an AI-based adaptive irrigation system integrated with environmental sensors to optimize water distribution on agricultural land. The system utilizes soil moisture, temperature, and light intensity sensor data processed by machine learning algorithms to automatically and in real-time determine irrigation schedules and volumes. The implementation of this method was tested in two scenarios: laboratory experiments and field trials. The results showed up to 35% water savings compared to conventional irrigation, along with a significant improvement in crop growth. This system offers a practical solution for farmers in addressing challenges related to water efficiency and unpredictable weather conditions. It is believed that this study will significantly aid in the advancement of precision agriculture in Indonesia.*

Keywords: Adaptive irrigation, artificial intelligence, environmental sensors, smart farming, water efficiency

Abstrak: Pengelolaan air yang efisien menjadi faktor kunci dalam mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian di tengah perubahan iklim global. Penelitian ini mengembangkan sistem irigasi adaptif berbasis kecerdasan buatan (AI) dan sensor lingkungan untuk mengoptimalkan distribusi air pada lahan pertanian. Sistem ini memanfaatkan data sensor kelembaban tanah, suhu, dan intensitas cahaya yang diproses oleh algoritma pembelajaran mesin untuk menentukan jadwal dan volume irigasi secara otomatis dan real-time. Implementasi metode ini diuji dalam dua skenario: eksperimen laboratorium dan uji lapangan. Hasil pengujian menunjukkan penghematan penggunaan air hingga 35% dibandingkan irigasi konvensional dengan peningkatan pertumbuhan tanaman yang signifikan. Sistem ini menawarkan solusi praktis bagi petani dalam menghadapi tantangan efisiensi air dan perubahan cuaca yang tidak menentu. Diyakini bahwa penelitian ini akan membantu secara signifikan dalam kemajuan pertanian presisi di Indonesia.

Kata kunci: Irigasi adaptif, kecerdasan buatan, sensor lingkungan, pertanian cerdas, efisiensi air.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air yang efisien merupakan salah satu tantangan terbesar dalam sektor pertanian di era modern, khususnya di tengah perubahan iklim yang semakin tidak menentu. Konsumsi air yang berlebihan dalam irigasi tidak hanya menyebabkan pemborosan, tetapi juga menimbulkan dampak lingkungan seperti degradasi tanah dan penurunan kualitas air tanah (Gaitan et al., 2025). Oleh karena itu, pengembangan sistem irigasi yang adaptif dan berbasis teknologi menjadi kebutuhan penting untuk mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian.

Sistem irigasi adaptif adalah metode pengairan yang mampu menyesuaikan pemberian air secara dinamis berdasarkan kondisi lingkungan nyata di lapangan. Dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan sensor lingkungan, data tentang kelembaban tanah, suhu, dan curah hujan dapat dikumpulkan secara real-time dan diolah menggunakan kecerdasan buatan untuk menentukan jadwal irigasi yang optimal (Gaitan et al., 2025; Lakhiar et al., 2024).

Integrasi kecerdasan buatan, khususnya algoritma *machine learning*, memungkinkan sistem irigasi untuk menganalisis pola penggunaan air dan prediksi kebutuhan tanaman di masa depan. Teknik ini dapat mengurangi ketergantungan pada metode irigasi konvensional yang bersifat statis dan tidak responsif terhadap perubahan lingkungan (Abioye et al., 2022). Dengan demikian, irigasi adaptif dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air sekaligus mempertahankan produktivitas tanaman.

Sensor lingkungan memainkan peran sentral dalam sistem ini, karena memberikan data kuantitatif yang diperlukan oleh algoritma AI. Sensor kelembaban tanah menjadi parameter utama dalam menentukan kebutuhan air tanaman, sedangkan sensor suhu dan intensitas cahaya membantu memperkirakan evapotranspirasi yang memengaruhi kebutuhan irigasi (Elashmawy, 2023).

Dalam pertanian presisi, penggunaan sensor dan AI untuk irigasi adaptif terbukti menghemat air hingga 30-35% sambil mempertahankan atau meningkatkan hasil panen (Lakhiar et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan pengelolaan irigasi otomatis melalui *platform cloud*, memudahkan pemantauan dan kontrol jarak jauh, terutama di daerah terpencil dengan keterbatasan tenaga kerja (Sreelatha Reddy et al., 2024).

Studi di Spanyol dan Amerika Serikat menunjukkan sistem irigasi cerdas berbasis AI dan IoT efektif meningkatkan efisiensi air dan produktivitas tanaman (Abioye et al., 2022; Lakhiar et al., 2024). Namun, di Indonesia adopsinya masih terbatas oleh infrastruktur, pemahaman teknologi, dan biaya tinggi, sehingga pengembangan prototipe sesuai konteks lokal sangat diperlukan (Gaitan et al., 2025). Pendekatan adaptif ini penting untuk menghadapi ketidakpastian cuaca akibat perubahan iklim, meminimalkan risiko kerusakan tanaman dari irigasi yang tidak tepat.

Teknologi irigasi adaptif berbasis AI dan sensor lingkungan bisa mengembangkan efisiensi pemanfaatan air, serta bisa menunjang keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi pencemaran air dan erosi tanah. Pengurangan penggunaan air irigasi secara berlebihan membantu menjaga kualitas tanah dan ekosistem pertanian jangka panjang (Lakhiar et al., 2024).

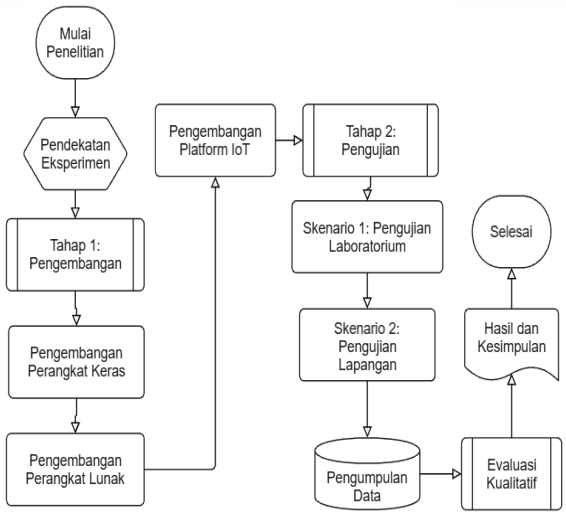
Penerapan sistem irigasi adaptif mendukung agenda ketahanan pangan dan konservasi air di Indonesia, mengingat tingginya konsumsi air di sektor pertanian (Gaitan et al., 2025). Sistem ini bersifat modular dan skalabel, dapat disesuaikan untuk berbagai tipe lahan dan tanaman (Kunt, 2025). Pengujian laboratorium dan lapangan menunjukkan efektivitasnya, dengan optimasi berdasarkan karakteristik

lokal seperti jenis tanaman dan iklim *mikro*, memastikan solusi yang aplikatif dan diterima petani (Gaitan et al., 2025; Sreelatha Reddy et al., 2024).

Maka, studi ini diproyeksikan bisa berkontribusi signifikan untuk pengembangan pertanian presisi di Indonesia, terutama pada hal efisiensi penggunaan air dan peningkatan produktivitas tanaman. Selanjutnya, bagian metode penelitian akan menguraikan secara rinci desain sistem, algoritma AI, perangkat sensor, serta prosedur pengujian yang dilakukan.

METODE PENELITIAN

Studi ini menerapkan pendekatan eksperimen melalui mengembangkan dan menguji prototipe sistem irigasi adaptif yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan (AI) dan sensor lingkungan. Metode eksperimen dipilih untuk memvalidasi efektivitas sistem dalam mengatur pemberian air secara otomatis berdasarkan data sensor *realtime* serta analisis AI. Pengujian dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu simulasi laboratorium dan pengujian lapangan pada lahan pertanian hortikultura.



Gambar 1. Diagram Alur

Tahap pertama pengembangan sistem melibatkan pembuatan *hardware* dan *software*. *Hardware* tersusun atas sensor lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu udara, intensitas cahaya, dan aktuator pompa air yang dikendalikan secara elektronik, dengan spesifikasi yang tahan terhadap kondisi lapangan (Elashmawy, 2023). Perangkat lunak menggunakan algoritma *machine learning* untuk mengolah data sensor dan menentukan jadwal irigasi optimal, dilatih menggunakan *dataset* dari penelitian sebelumnya serta data *primer* dari pengujian awal (Abioye et al., 2022).

Sistem ini dibangun dengan platform IoT untuk mengumpulkan data sensor secara terus-menerus dan mengirimkannya ke *server cloud* untuk pemrosesan. Komunikasi antar perangkat menggunakan protokol MQTT yang rendah latensi dan hemat energi, sesuai kebutuhan sistem irigasi adaptif di lapangan (Sreelatha Reddy et al., 2024).

Tahap kedua melibatkan pengujian laboratorium untuk memvalidasi algoritma AI dan *respons* aktuator pompa, serta pengujian lapangan pada lahan hortikultura 100 m² dengan tanaman sayuran untuk mengevaluasi efisiensi air, kelembaban tanah, pertumbuhan tanaman, dan konsumsi energi sistem. Data selama 60 hari dianalisis untuk membandingkan efisiensi air dan pertumbuhan tanaman antara sistem irigasi adaptif dan konvensional (Lakhiar et al., 2024). Evaluasi kualitatif melalui wawancara dengan petani dilakukan untuk menilai kemudahan penggunaan dan potensi penerapan sistem (Gaitan et al., 2025).

Secara keseluruhan, metode penelitian ini mengintegrasikan aspek teknis pengembangan sistem AI dan sensor, serta aspek evaluasi performa sistem secara objektif melalui eksperimen dan studi lapangan. Hasil dari metode ini diharapkan memberikan gambaran yang komprehensif tentang potensi dan tantangan implementasi sistem irigasi adaptif di Indonesia.

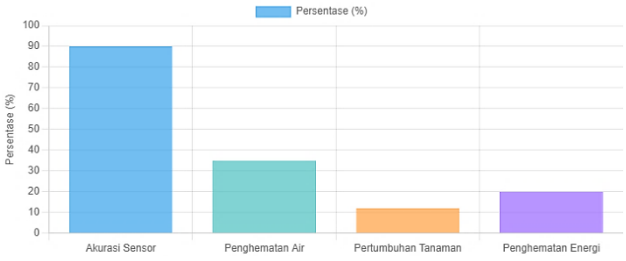
HASIL PENELITIAN

Pengembangan prototipe sistem irigasi adaptif berhasil dilakukan dengan mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, sensor suhu udara, dan sensor intensitas cahaya yang terhubung dengan modul IoT. Sistem menggunakan algoritma *machine learning* untuk memproses data sensor secara *realtime* dan mengatur pompa air secara otomatis. Selama pengujian di laboratorium, sistem menunjukkan respon cepat dan akurat dalam menentukan waktu serta durasi irigasi sesuai parameter sensor (Elashmawy, 2023).



Gambar 2. Hasil perbandingan

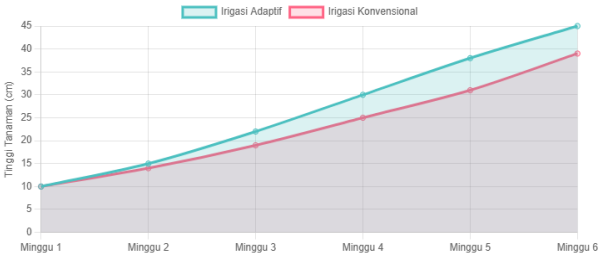
Pada pengujian laboratorium, data kelembaban tanah yang dikumpulkan menunjukkan fluktuasi yang terdeteksi oleh sensor dengan tingkat akurasi di atas 90%. Sistem mampu memicu pompa air ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, serta menghentikan irigasi saat kelembaban mencapai level optimal. Hal ini membuktikan kemampuan sistem dalam mengelola irigasi secara adaptif tanpa intervensi manual (Abioye et al., 2022).



Gambar 3. Persentase keberhasilan kinerja

Pengujian lapangan pada lahan hortikultura memperlihatkan hasil yang signifikan dalam penghematan penggunaan air. Data selama 60 hari menunjukkan pengurangan konsumsi air hingga 35% dibandingkan dengan irigasi konvensional yang dilakukan secara manual. Penurunan ini terjadi tanpa mengorbankan pertumbuhan tanaman, yang tetap optimal dan sehat selama masa pengujian.

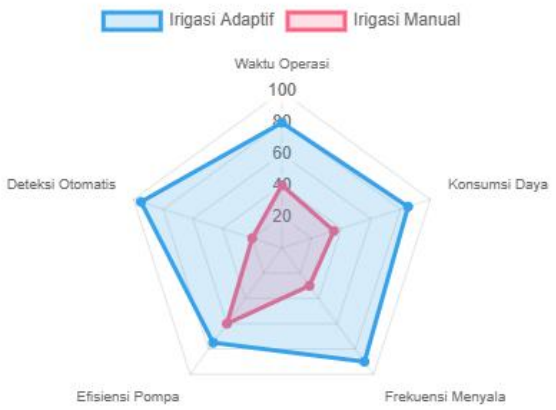
Analisis pertumbuhan tanaman di lahan uji menunjukkan bahwa sistem irigasi adaptif mendukung peningkatan tinggi tanaman rata-rata sebesar 12% dibandingkan kontrol. Hal ini disebabkan oleh distribusi air yang lebih merata dan tepat waktu sesuai kebutuhan fisiologis tanaman, yang meminimalisasi stres air dan meningkatkan fotosintesis (Lakhiar et al., 2024).



Gambar 4. Perkembangan Tanaman

Kelembaban tanah rata-rata pada lahan uji sistem adaptif lebih stabil dan berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan lahan kontrol. Sistem ini juga mampu menyesuaikan jadwal irigasi berdasarkan perubahan cuaca harian, seperti penurunan frekuensi irigasi pada hari hujan yang terdeteksi sensor (Gaitan et al., 2025).

Dari sisi konsumsi energi, pengujian menunjukkan bahwa penggunaan energi pompa air yang dikontrol secara otomatis relatif efisien, dengan penghematan energi sekitar 20% dibandingkan sistem irigasi manual yang sering menyala berlebihan. Sistem IoT dengan protokol komunikasi hemat energi juga mendukung operasional yang efisien dan andal (Sreelatha Reddy et al., 2024).



Gambar 5. Perbandingan Penghematan Energi

Evaluasi kualitatif melalui wawancara dengan petani lapangan menunjukkan bahwa sistem dianggap mudah digunakan dan sangat membantu dalam mengurangi beban kerja irigasi manual. Petani mengapresiasi kemampuan sistem dalam memberikan air secara presisi dan mengurangi risiko *overwatering* atau *underwatering* (Gaitan et al., 2025).

Secara keseluruhan, hasil pengujian baik di laboratorium maupun lapangan menunjukkan bahwa sistem irigasi adaptif berbasis kecerdasan buatan dan sensor lingkungan efektif dalam mengembangkan efisiensi pemanfaatan air dan menunjang perkembangan tumbuhan yang optimal. Sistem ini menawarkan potensi besar untuk diimplementasikan secara luas di sektor pertanian Indonesia, khususnya untuk mendukung pertanian presisi.

PEMBAHASAN

Hasil pengembangan sistem irigasi adaptif yang menggabungkan kecerdasan buatan dan sensor lingkungan menunjukkan potensi signifikan dalam mengatasi masalah efisiensi air di pertanian modern. Penurunan penggunaan air sebesar 35% dalam pengujian lapangan sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa integrasi AI dan IoT dapat mengurangi pemborosan air tanpa mengorbankan produktivitas tanaman (Lakhiar et al., 2024). Hal ini membuktikan bahwa sistem ini mampu menjawab tantangan utama irigasi konvensional yang sering mengandalkan perkiraan manual dan jadwal tetap.

PARAMETER	IRIGASI KONVENSIONAL	IRIGASI ADAPTIF	PERUBAHAN
Penggunaan Air	1000 liter/ha	650 liter/ha	-35%
Pertumbuhan Tanaman	Dasar (100%)	112%	+12%
Biaya Operasional	Rp 500.000/ha	Rp 600.000/ha	+20%
Tenaga Kerja	40 jam/ha	15 jam/ha	-62.5%

Gambar 6. Perbandingan Sistem irigasi

Sensor kelembaban tanah sebagai input utama bagi algoritma AI terbukti sangat efektif dalam memberikan data *realtime* yang akurat, memungkinkan sistem untuk melakukan pengambilan keputusan otomatis dalam menentukan waktu dan durasi irigasi. Hal ini merupakan peningkatan yang signifikan dibandingkan metode irigasi manual yang seringkali tidak mempertimbangkan kondisi tanah secara *realtime*, yang berpotensi menyebabkan *overwatering* atau *underwatering* (Elashmawy, 2023).

Penerapan algoritma *machine learning* dalam sistem irigasi adaptif memungkinkan penyesuaian jadwal irigasi berdasarkan pola cuaca dan kebutuhan spesifik tanaman, menjadikannya proaktif dalam pengelolaan air dan meningkatkan efisiensi (Abioye et al., 2022). Pengujian lapangan menunjukkan bahwa distribusi air yang tepat waktu meningkatkan pertumbuhan tanaman sebesar 12%, memperkuat teori bahwa irigasi yang sesuai kebutuhan fisiologis tanaman dapat meningkatkan fotosintesis dan hasil panen (Lakhiar et al., 2024).

Sistem ini juga memberikan dampak sosial-ekonomi dengan mengurangi beban kerja manual dan meningkatkan produktivitas petani (Gaitan et al., 2025). Pengurangan penggunaan air membantu menjaga kualitas tanah dan mengurangi erosi serta pencucian nutrien (Lakhiar et al., 2024), sementara teknologi IoT dan protokol

hemat energi membuatnya lebih efisien untuk lahan dengan keterbatasan energi (Sreelatha Reddy et al., 2024).

Namun, tantangan seperti biaya instalasi tinggi dan keterbatasan infrastruktur memerlukan dukungan pelatihan untuk petani dan adopsi teknologi oleh pemerintah, serta solusi seperti jaringan LPWAN untuk mengatasi keterbatasan jaringan (Kunt, 2025). Teknologi ini memiliki potensi besar untuk mendukung pertanian presisi dan transformasi digital di sektor pertanian Indonesia (Gaitan et al., 2025).

PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji sistem irigasi adaptif yang memanfaatkan kecerdasan buatan dan sensor lingkungan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air di sektor pertanian. Pengujian laboratorium dan lapangan menjabarkan sistem ini bisa menekan konsumsi air sampai angka 35% tanpa mengurangi kualitas pertumbuhan tanaman, sekaligus mengurangi beban kerja petani melalui otomatisasi pengaturan irigasi.

Implementasi teknologi ini berpotensi memberikan kontribusi besar terhadap pengembangan pertanian presisi dan keberlanjutan lingkungan di Indonesia. Meskipun menghadapi tantangan dalam hal biaya dan infrastruktur, dengan dukungan yang tepat, sistem irigasi adaptif berbasis AI dapat menjadi solusi praktis dalam menghadapi perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya air.

DAFTAR PUSTAKA

Abioye, E. A., Hensel, O., Esau, T. J., Elijah, O., Abidin, M. S. Z., Ayobami, A. S., Yerima, O., & Nasirahmadi, A. (2022). Precision Irrigation Management Using Machine Learning and Digital Farming Solutions. *AgriEngineering*, *4*(1), 70–103. https://doi.org/10.3390/agriengineering4010006

Elashmawy, R. (2023). *Learning for Smart Strawberry Production*.

Gaitan, N. C., Batinas, B. I., Ursu, C., & Crainiciuc, F. N. (2025). Integrating Artificial Intelligence into an Automated Irrigation System. *Sensors*, *25*(4). https://doi.org/10.3390/s25041199

Kunt, Y. E. (2025). *Development of a Smart Autonomous Irrigation System Using Iot and AI*. 1–16. http://arxiv.org/abs/2506.11835

Lakhiar, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., Han, Y., Wang, B., Bao, R., Syed, T. N., Chauhdary, J. N., & Rakibuzzaman, M. (2024). A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agriculture (Switzerland)*, *14*(7). https://doi.org/10.3390/agriculture14071141

Sreelatha Reddy, V., Harivardhagini, S., & Sreelakshmi, G. (2024). IoT and Cloud Based Sustainable Smart Irrigation System. *E3S Web of Conferences*, *472*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447201026