



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 7162-7168

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Integrasi Smart Agriculture untuk Peningkatan Penyimpanan Air dan Mitigasi Kekeringan

Putri Yunita Wahyuti, Misbahuddin, Sukartono, Husnitalia Mayantika
Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Lahan Kering, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram
putriyunitawahyuti@gmail.com

Abstrak

Perubahan iklim menyebabkan ketidakstabilan curah hujan dan peningkatan risiko kekeringan yang berdampak serius terhadap produktivitas pertanian di Indonesia. Tantangan tersebut diperparah oleh rendahnya daya infiltrasi tanah dan penggunaan sistem irigasi konvensional yang belum efisien dalam pemanfaatan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji integrasi sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi peningkatan kapasitas penyimpanan air dan mitigasi dampak kekeringan pada lahan pertanian. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kepustakaan (*library research*) dengan mengumpulkan data sekunder dari berbagai literatur ilmiah nasional dan internasional yang diperoleh melalui portal seperti Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, SpringerLink, dan ProQuest. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan sistem Smart Agriculture dengan dukungan sensor kelembapan tanah, sensor cuaca, sistem irigasi otomatis, dan algoritma pengambilan keputusan adaptif mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 40–58% tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Selain itu, teknologi konservasi air seperti embung mikro dan aplikasi biochar terbukti meningkatkan infiltrasi dan retensi air tanah pada lahan kering. Namun, implementasi Smart Agriculture di Indonesia masih menghadapi hambatan berupa keterbatasan infrastruktur digital, biaya investasi awal yang tinggi, serta rendahnya literasi digital petani. Oleh karena itu, diperlukan dukungan pemerintah dalam bentuk subsidi perangkat, pelatihan teknis, dan pengembangan sistem berbasis *open-source* untuk memperluas adopsi teknologi ini. Integrasi antara teknologi digital, konservasi sumber daya air, dan penguatan kapasitas sumber daya manusia menjadi strategi kunci dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: Smart Agriculture, Internet of Things, Efisiensi Air, Kekeringan, Infiltrasi Tanah, Pertanian Berkelanjutan

1. Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor yang sangat vital dalam mendukung ketahanan pangan suatu negara, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Sebagai salah satu negara dengan populasi terbesar di dunia, kebutuhan akan produk pertanian terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi. Kondisi ini menuntut peningkatan produktivitas pertanian yang berkelanjutan melalui pengelolaan sumber daya air yang efektif dan efisien. Ketergantungan sektor pertanian terhadap air menjadikan isu konservasi dan efisiensi penggunaan air semakin penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional (Rahman & Suryani, 2021). Salah satu permasalahan utama yang dihadapi sektor pertanian adalah perubahan iklim yang mengakibatkan ketidakstabilan curah hujan dan meningkatnya risiko kekeringan. Menurut laporan IPCC (2022) menyebutkan bahwa sistem pertanian tropis berpotensi mengalami penurunan produktivitas hingga 20–30% apabila tidak dilakukan upaya adaptasi terhadap perubahan pola curah hujan dan ketersediaan air tanah.

Air memiliki peran penting dalam mendukung proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, transpirasi, dan penyerapan unsur hara. Namun, pengelolaan air di sektor pertanian Indonesia masih menghadapi tantangan besar. Sekitar 60–70% dari total ketersediaan air nasional digunakan untuk pertanian, tetapi sistem irigasi tradisional yang masih mendominasi sering kali menimbulkan pemborosan air akibat kebocoran saluran dan distribusi yang tidak merata (Wahyudi et al., 2025). Sebagian besar lahan pertanian di Indonesia merupakan lahan kering dengan kemampuan infiltrasi rendah, sehingga air hujan tidak terserap optimal dan memperburuk risiko kekeringan musiman. Howell (2001) menegaskan bahwa pengelolaan air yang tepat waktu dan sesuai kebutuhan tanaman sangat penting untuk mencapai efisiensi penggunaan air (*water use efficiency*). Oleh karena itu, diperlukan sistem pengelolaan air yang lebih adaptif dan mampu menyesuaikan penyiraman berdasarkan kebutuhan aktual tanaman

agar produktivitas pertanian tetap terjaga. Penerapan *Smart Farming* atau Pertanian Cerdas menjadi salah satu solusi potensial untuk menjawab tantangan tersebut.

Smart Farming merupakan sistem pertanian modern yang mengintegrasikan teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), Big Data Analytics, Artificial Intelligence (AI), dan Wireless Sensor Networks (WSN) untuk mengoptimalkan proses produksi pertanian secara presisi (Abdmeziem, Tandjaoui, & Romdhani, 2016). Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, termasuk kelembapan tanah, suhu, dan intensitas cahaya, sehingga penyiraman dapat dilakukan secara otomatis dan efisien. Menurut Akhter & Shabir (2021), penerapan IoT-based Precision Agriculture yang didukung machine learning mampu memprediksi kebutuhan air tanaman serta mengurangi pemborosan sumber daya air. Integrasi sistem Smart Agriculture menjadi strategi penting untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan memperbaiki infiltrasi tanah guna memitigasi dampak kekeringan di lahan pertanian, sekaligus mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim dan tuntutan era Revolusi Industri 4.0. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan sistem Smart Agriculture dalam upaya meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan memperbaiki infiltrasi tanah sebagai langkah mitigasi terhadap dampak kekeringan di lahan pertanian. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi peningkatan efisiensi penggunaan air, mendorong penerapan teknologi pertanian presisi di Indonesia, serta mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim dan tantangan era Revolusi Industri 4.0.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah metode penelitian kepustakaan (*library research*), yaitu dengan mengumpulkan dan menganalisis data sekunder dari berbagai sumber literatur ilmiah yang relevan untuk memperoleh dasar teoritis dan konseptual dalam menjawab permasalahan penelitian. Data diperoleh melalui penelusuran terhadap berbagai sumber ilmiah seperti buku, artikel jurnal nasional dan internasional, prosiding, laporan penelitian, tesis, dan disertasi yang membahas penerapan teknologi Smart Agriculture dalam peningkatan efisiensi penggunaan air dan mitigasi dampak kekeringan di lahan pertanian. Sumber-sumber tersebut dikumpulkan melalui portal jurnal nasional seperti Garuda dan Neliti, serta database internasional seperti Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, SpringerLink, dan ProQuest. Analisis dilakukan secara kualitatif menggunakan metode analisis isi (*content analysis*) untuk menelaah hasil penelitian terdahulu, mengidentifikasi pola dan tren penerapan teknologi *Smart Agriculture*, serta menafsirkan hubungan antara inovasi teknologi dengan peningkatan efisiensi air dan produktivitas pertanian. Hasil analisis kemudian disusun secara deskriptif untuk menggambarkan manfaat, kendala, serta strategi penerapan sistem pertanian cerdas dalam konteks pertanian Indonesia yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim.

3. Hasil dan Diskusi

Desain dan Arsitektur Sistem Smart Agriculture

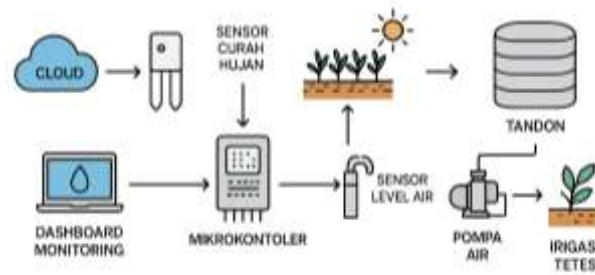
Desain sistem *Smart Agriculture* atau pertanian cerdas bertujuan untuk menciptakan sistem pertanian yang adaptif terhadap kondisi lingkungan dan efisien dalam penggunaan sumber daya air. Dalam menghadapi tantangan kekeringan yang semakin meningkat akibat perubahan iklim global, integrasi teknologi digital menjadi solusi yang menjanjikan. Sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan lingkungan dan pengendalian irigasi secara otomatis berbasis data real-time. Dengan demikian, petani dapat mempertahankan produktivitas pertanian dalam kondisi keterbatasan air sekaligus berkontribusi terhadap konservasi sumber daya air yang berkelanjutan.

1. Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture Sensor)

Sensor kelembapan tanah merupakan komponen utama dalam sistem *Smart Agriculture* yang berfungsi untuk mendeteksi kadar air di zona perakaran tanaman. Nilai kelembapan diperoleh berdasarkan konduktivitas listrik antara dua elektroda sensor yang tertanam di tanah. Ketika kadar air menurun, resistansi meningkat dan sinyal digital yang dihasilkan menurun. Data dari sensor ini menjadi dasar bagi sistem untuk menentukan waktu dan volume penyiraman yang optimal. Penerapan sensor ini mampu mengurangi pemborosan air dan mencegah kondisi tanah yang terlalu kering maupun jenuh. Selain itu, sensor dapat dikalibrasi sesuai karakteristik tanah seperti lempung, pasir, atau liat, sehingga efisiensi air dapat dioptimalkan, terutama pada daerah dengan tingkat kekeringan tinggi.

2. **Sensor Level Air Ultrasonik**
Sensor level air digunakan untuk mengukur ketinggian permukaan air pada tandon, embung, atau sumur penampungan air. Prinsip kerjanya didasarkan pada pantulan gelombang ultrasonik dari permukaan air yang diukur berdasarkan waktu tempuh gelombang. Data ketinggian air dikirim ke mikrokontroler untuk pemantauan kapasitas air secara real-time. Ketika level air turun di bawah ambang batas minimum, sistem akan mengaktifkan pompa pengisian otomatis atau mengalihkan distribusi air ke area yang lebih kritis.
3. **Sensor Curah Hujan (Rain Gauge Sensor)**
Sensor curah hujan berfungsi untuk mengukur intensitas dan frekuensi hujan yang terjadi di area pertanian. Data curah hujan digunakan untuk memperkirakan jumlah air alami yang diterima oleh lahan, sehingga sistem dapat menyesuaikan jadwal irigasi secara otomatis. Ketika curah hujan tinggi, sistem akan menunda irigasi untuk mencegah kelebihan air; sebaliknya, ketika curah hujan rendah, sistem akan mengaktifkan irigasi. Data historis curah hujan dapat digunakan untuk analisis prediktif terhadap potensi kekeringan, sehingga pengelolaan air menjadi lebih efisien dan berbasis cuaca aktual.
4. **Sensor Suhu dan Kelembapan Udara**
Sensor suhu dan kelembapan udara digunakan untuk menghitung laju evapotranspirasi (ETc), yaitu kehilangan air dari tanah dan tanaman ke atmosfer. Nilai ETc digunakan untuk menentukan kebutuhan air tanaman. Saat suhu meningkat dan kelembapan udara menurun, laju evapotranspirasi bertambah sehingga kebutuhan air tanaman meningkat. Data sensor ini memungkinkan sistem melakukan penyesuaian otomatis terhadap durasi dan volume penyiraman secara dinamis dan hemat air.
5. **Mikrokontroler dan Modul IoT (ESP32/NodeMCU)**
Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang mengumpulkan data dari sensor, memproses informasi, dan mengirimkan instruksi ke aktuator. Komponen ini terintegrasi dengan modul Internet of Things (IoT) seperti ESP32 atau NodeMCU yang memiliki konektivitas Wi-Fi atau GSM. Data hasil pemantauan dikirim ke cloud untuk disimpan, dianalisis, dan ditampilkan melalui dashboard atau aplikasi berbasis smartphone secara real-time. Dengan demikian, sistem dapat diakses dari jarak jauh dan memberikan notifikasi otomatis apabila terjadi kondisi kritis seperti kekeringan, penurunan level air, atau gangguan sensor.
6. **Pompa Air dan Katup Solenoid (Actuator)**
Aktuator merupakan komponen eksekusi yang mengatur aliran air berdasarkan instruksi dari mikrokontroler. Pompa air berfungsi menyalurkan air ke sistem irigasi, sedangkan katup solenoid mengontrol pembukaan dan penutupan saluran air. Pengendalian otomatis ini memungkinkan air hanya dialirkan ketika kelembapan tanah di bawah ambang batas tertentu dan berhenti ketika mencapai kondisi ideal. Sistem ini terbukti mampu menghemat penggunaan air dibandingkan metode manual serta menjaga kondisi tanaman tetap optimal.
7. **Sistem Irigasi Tetes Otomatis (Drip Irrigation System)**
Sistem irigasi tetes menyalurkan air secara langsung ke zona perakaran tanaman melalui jaringan pipa kecil dengan emitter. Air dialirkan dalam volume kecil namun kontinu, menjaga kelembapan tanah tetap stabil tanpa menimbulkan genangan. Integrasi sistem ini dengan sensor kelembapan tanah dan modul IoT memungkinkan pengaturan irigasi otomatis berdasarkan kondisi aktual. Metode ini efektif untuk wilayah dengan curah hujan rendah atau sumber air terbatas.
8. **Dashboard Monitoring dan Aplikasi Penggunaan**
Komponen dashboard berfungsi untuk menampilkan seluruh data hasil pemantauan secara real-time kepada pengguna melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi Android. Petani dapat memantau kelembapan tanah, suhu, curah hujan, dan status tandon air secara langsung. Fitur peringatan dini memberikan notifikasi apabila terdeteksi kondisi tidak normal. Selain itu, data historis yang tersimpan dapat digunakan untuk menganalisis pola penggunaan air dan meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi.
9. **Algoritma Pengambilan Keputusan (Decision Support Algorithm)**
Agar sistem mampu beroperasi secara cerdas, algoritma pengambilan keputusan digunakan untuk menginterpretasikan data sensor menjadi tindakan irigasi yang tepat. Algoritma ini menghitung keseimbangan air dengan mempertimbangkan input (curah hujan dan irigasi) serta output (evapotranspirasi dan kelembapan tanah). Dengan dukungan machine learning, sistem dapat memprediksi kebutuhan air berdasarkan pola

historis dan kondisi lingkungan aktual, menjadikannya bersifat adaptif, prediktif, dan efisien terhadap perubahan iklim.



Gambar 1. Rancangan desain dan arsitektur *smart farming* dalam penyimpanan air dan infiltrasi rendah

Tantangan Implementasi di Lapangan

Penerapan Smart Agriculture di Indonesia memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air, produktivitas lahan, serta keberlanjutan sistem pertanian nasional. Namun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan multidimensi, baik dari aspek teknis, ekonomi, maupun sosial. Dari sisi teknis, keterbatasan infrastruktur jaringan internet dan pasokan listrik di daerah pedesaan menjadi hambatan utama dalam penerapan sistem pertanian berbasis Internet of Things (IoT). Koneksi internet yang tidak stabil menghambat pengiriman data sensor secara real-time ke pusat data atau cloud serta mengganggu fungsi pengendalian otomatis seperti sistem irigasi cerdas dan pemantauan lahan. Penelitian Saptaji et al. (2025) menemukan bahwa keberhasilan implementasi IoT dalam sistem irigasi dan pemupukan di Indonesia dipengaruhi secara signifikan oleh faktor kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*) sedangkan kendala teknis seperti akses internet dan kemampuan pengguna menurunkan tingkat adopsi teknologi oleh petani. Kondisi geografis Indonesia yang luas dan beragam memperburuk persoalan ini, terutama di wilayah terpencil yang belum memiliki infrastruktur digital dan energi yang memadai.

Kondisi lingkungan pertanian di Indonesia yang bercirikan kelembapan tinggi, intensitas sinar matahari kuat, dan curah hujan tinggi berdampak pada ketahanan fisik perangkat sensor dan aktuator yang digunakan dalam sistem IoT. Perangkat yang tidak dirancang sesuai dengan kondisi tropis akan mengalami penurunan umur operasional serta kerusakan dini, yang pada akhirnya meningkatkan biaya perawatan dan mengurangi efisiensi ekonomi penerapannya. Dari sisi ekonomi, biaya investasi awal yang tinggi juga menjadi hambatan signifikan. Menurut Satria et al. (2024), petani kecil di Indonesia menganggap investasi pada teknologi digital pertanian termasuk sensor, modul IoT, mikrokontroler, dan sistem irigasi otomatis masih terlalu mahal dibandingkan dengan potensi keuntungan jangka pendek yang diperoleh, terutama tanpa adanya dukungan pembiayaan atau subsidi dari pemerintah. Negara-negara seperti Jepang dan Korea Selatan menunjukkan bahwa dukungan kebijakan publik yang kuat, baik berupa subsidi, bantuan alat, maupun pelatihan, dapat mempercepat transformasi digital pertanian secara signifikan.

Dari aspek sosial, rendahnya literasi digital petani menjadi salah satu tantangan paling krusial dalam penerapan Smart Agriculture di Indonesia. Sebagian besar petani masih mengandalkan metode konvensional dan belum memiliki keterampilan dalam mengoperasikan perangkat digital atau menginterpretasikan data sensor. Penelitian Rachmawati (2024) menjelaskan bahwa penerapan Smart Farming 4.0 di Indonesia menghadapi hambatan besar dalam mendorong adopsi inovasi karena sebagian besar petani memiliki tingkat pendidikan yang relatif rendah dan cenderung mempertahankan pola budidaya tradisional yang diwariskan secara turun-temurun. Selain itu, biaya awal penerapan inovasi, seperti pembelian alat, benih unggul, dan input pertanian modern lainnya, masih dinilai terlalu tinggi dan memberatkan petani. Pendapat tersebut sejalan dengan Hidayati et al. (2025) yang menegaskan bahwa rendahnya literasi digital, terbatasnya akses informasi, tingginya biaya investasi, serta ketidaksesuaian inovasi dengan kondisi lokal merupakan faktor penghambat utama dalam adopsi teknologi pertanian modern di Indonesia. Selain itu, lemahnya layanan penyuluhan dan kurangnya pendampingan teknis menyebabkan rendahnya efektivitas penggunaan perangkat setelah masa implementasi awal. Perlunya untuk peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan dan penguatan lembaga penyuluhan menjadi prasyarat penting untuk memperluas adopsi sistem pertanian cerdas di Indonesia.

Mitigasi Dampak Kekeringan dan Infiltrasi Rendah di Lahan Pertanian

Tantangan utama yang dihadapi sektor pertanian Indonesia saat ini adalah penurunan ketersediaan air tanah akibat perubahan iklim, peningkatan suhu permukaan, dan rendahnya daya infiltrasi pada tanah bertekstur liat dan padat. Kondisi ini diperparah oleh praktik irigasi konvensional yang tidak efisien dan degradasi struktur tanah akibat penggunaan bahan kimia pertanian berlebih. Oleh karena itu, pendekatan berbasis teknologi dan konservasi air menjadi strategi utama dalam mitigasi kekeringan dan peningkatan efisiensi penggunaan air di lahan pertanian. Penelitian Wahyudi et al., (2025) menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) mampu mengoptimalkan penyiraman tanaman dengan mengukur kelembapan tanah secara real-time menggunakan sensor kapasitif. Hasilnya, penggunaan air menurun hingga 40% dibandingkan metode manual tanpa memengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian serupa oleh Nurhaliza (2024) pada lahan kering juga menunjukkan efisiensi air yang signifikan melalui sistem berbasis mikrokontroler dan sensor kelembapan tanah. Penggunaan sistem ini dapat menjaga kelembapan optimal tanaman dan menekan frekuensi penyiraman, sehingga lebih hemat energi dan air (Jurnal Teknologi Informasi, 2024). Dari perspektif efisiensi sistem dan keberlanjutan, Malikussaleh et al. (2025) menambahkan bahwa penggabungan sensor tanah, mikrokontroler, dan aktuator otomatis dapat meminimalkan kehilangan air akibat penguapan berlebih dan over-irigasi. Teknologi ini dinilai adaptif terhadap berbagai jenis lahan, termasuk lahan tadah hujan yang mengalami defisit air musiman. Selain itu, penelitian Saragih & Kurniawan (2025) yang mengembangkan sistem irigasi berbasis logika fuzzy Sugeno menunjukkan bahwa pengendalian otomatis berbasis algoritma adaptif dapat menyesuaikan kebutuhan air sesuai kondisi aktual tanah dan cuaca. Teknologi ini memberikan solusi efisien untuk mengelola air secara presisi tanpa intervensi manual yang intensif

Pendekatan konservasi air melalui embung mikro, water harvesting, dan penggunaan biochar juga terbukti efektif dalam meningkatkan infiltrasi dan retensi air tanah. Puspitasari et al. (2023) melaporkan bahwa penerapan embung mikro mampu meningkatkan kapasitas simpan air tanah hingga 35% dan mempertahankan kelembapan tanah selama musim kemarau pada lahan kering bertekstur liat. Peningkatan infiltrasi juga dapat dicapai melalui aplikasi biochar yang memperbaiki porositas tanah dan mengurangi limpasan permukaan. Upaya konservasi air ini menjadi penting sebagai pendukung sistem irigasi presisi berbasis IoT yang memerlukan pasokan air terukur dan berkelanjutan.

Dari sisi sosial, penelitian Rahmawati et al. (2025) mengembangkan Early Warning System berbasis IoT dan data cuaca BMKG untuk memprediksi kekeringan. Sistem ini dapat memperingatkan petani mengenai risiko penurunan kelembapan tanah, sehingga tindakan antisipatif seperti penjadwalan irigasi dapat dilakukan lebih dini. Studi ini menunjukkan penurunan risiko gagal panen hingga 28% di wilayah Gunungkidul yang sering dilanda kekeringan. Dengan demikian, mitigasi kekeringan dan infiltrasi rendah di lahan pertanian tidak hanya dapat dicapai melalui inovasi teknis, tetapi juga memerlukan peningkatan literasi digital petani, pelatihan operasional teknologi, dan dukungan kebijakan publik. Pendekatan multidimensional ini menggabungkan aspek konservasi sumber daya air, otomatisasi berbasis IoT, serta pendekatan sosial-edukatif, menjadikannya selaras dengan konsep Smart Agriculture 4.0 yang berorientasi pada efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan.

Integrasi Sistem Smart Agriculture untuk Mitigasi Kekeringan dan Infiltrasi Rendah

Penerapan sistem Smart Agriculture di Indonesia telah menunjukkan keberhasilan signifikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi dampak kekeringan di sektor pertanian tropis. Berbagai penelitian nasional telah membuktikan efektivitas integrasi teknologi Internet of Things (IoT), sensor kelembapan tanah, dan sistem irigasi otomatis berbasis algoritma adaptif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas pertanian. Penelitian oleh Setiyorini et al. (2022) berhasil mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan dukungan energi surya yang mampu mengoptimalkan penyiraman berdasarkan data kelembapan tanah secara real-time, sehingga mendukung efisiensi air pada lahan kering di Indonesia. Selain itu, Putra et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT dengan embung mikro di lahan kering mampu meningkatkan efisiensi air sebesar 58% dan menurunkan stres air tanaman sebesar 35%, membuktikan potensi sinergi antara teknologi digital dan konservasi sumber daya air di ekosistem pertanian tropis. Penelitian serupa oleh Nurhaliza (2024) dan Saragih & Kurniawan (2025) juga memperlihatkan bahwa sistem irigasi cerdas berbasis algoritma adaptif dan logika fuzzy dapat menyesuaikan pola penyiraman dengan kondisi lingkungan aktual, menghemat air hingga 42%, serta meningkatkan hasil panen sebesar 18% dibanding sistem manual. Basuki et al. (2024) melalui pengembangan IoT-Based HydroM8 Self-Watering Plant Factory menegaskan pentingnya efisiensi air dan kontribusinya terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDG) 6, yaitu air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan. Sistem penyiraman mandiri berbasis IoT ini mampu mengatur kebutuhan air tanaman

secara otomatis, sekaligus mengurangi konsumsi air tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Berbagai penelitian tersebut memperlihatkan bahwa integrasi teknologi digital dengan konservasi air memberikan hasil nyata dalam mitigasi kekeringan dan peningkatan efisiensi sumber daya air di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan Smart Agriculture dapat menjadi solusi strategis dalam menghadapi perubahan iklim dan keterbatasan air di wilayah tropis kering.

Dibandingkan dengan negara maju seperti Jepang dan Korea Selatan, penerapan Smart Agriculture di Indonesia masih menghadapi tantangan besar dari sisi infrastruktur digital, literasi teknologi petani, dan biaya investasi awal. Di Jepang, penggunaan AI dan big data telah diintegrasikan ke dalam sistem manajemen pertanian nasional melalui platform Field Server Network, yang memungkinkan prediksi irigasi dan cuaca dengan akurasi tinggi (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Japan, 2023). Korea Selatan telah mengimplementasikan Smart Farm Innovation Valley yang menghubungkan petani dengan pusat data pertanian nasional untuk optimasi penggunaan air dan energi, sementara Israel berhasil mengembangkan sistem drip irrigation dengan kontrol berbasis IoT dan algoritma prediktif untuk efisiensi air hingga 70% di lahan gurun (Tal, 2020). India mengadopsi sistem IoT sederhana berbasis sensor kelembapan tanah dan pengendali GSM untuk pertanian kecil, berhasil menurunkan konsumsi air 50% dengan biaya implementasi rendah, yang relevan untuk konteks petani kecil di Indonesia (Singh et al., 2022).

Kesenjangan antara Indonesia dan negara-negara tersebut menunjukkan bahwa tantangan terbesar terletak pada aspek infrastruktur dan kapasitas manusia. Banyak petani Indonesia belum memiliki akses stabil ke internet dan listrik di daerah pedesaan, serta belum terbiasa menggunakan teknologi digital dalam pengambilan keputusan pertanian. Selain itu, biaya awal investasi perangkat IoT dan sensor masih menjadi hambatan bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan modal. Untuk mengatasi hal tersebut, beberapa solusi strategis dapat diimplementasikan: 1) Peningkatan literasi digital dan pelatihan teknis bagi petani melalui program penyuluhan berbasis komunitas. 2) Subsidi atau insentif pemerintah untuk perangkat Smart Agriculture, terutama sensor, mikrokontroler, dan sistem irigasi otomatis. 3) Kolaborasi antarpengurusan tinggi, pemerintah, dan sektor swasta dalam membangun smart farming demonstration plots di berbagai wilayah agroekologi. 4) Pengembangan sistem lokal berbasis open-source IoT agar teknologi dapat diakses dengan biaya lebih rendah. 5) Integrasi data cuaca dan kelembapan tanah nasional melalui kerja sama dengan BMKG untuk mendukung sistem peringatan dini kekeringan yang terhubung dengan petani secara real-time. Dengan strategi tersebut, Indonesia berpotensi besar mengejar ketertinggalan dari negara-negara maju dan membangun ekosistem Smart Agriculture yang inklusif, efisien, dan adaptif terhadap perubahan iklim. Integrasi antara teknologi digital, sistem konservasi air, dan penguatan kapasitas sumber daya manusia akan menjadi fondasi utama pertanian berkelanjutan di masa depan.

4. Kesimpulan

Integrasi sistem Smart Agriculture berbasis Internet of Things (IoT), sensor kelembapan tanah, dan algoritma pengambilan keputusan adaptif terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air serta memitigasi dampak kekeringan dan infiltrasi rendah di lahan pertanian. Sistem ini memungkinkan pemantauan lingkungan secara real-time dan pengendalian irigasi otomatis yang menyesuaikan kebutuhan tanaman, sehingga mampu menghemat air tanpa menurunkan produktivitas. Namun, penerapan teknologi ini di Indonesia masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan infrastruktur digital, biaya investasi awal yang tinggi, dan rendahnya literasi digital petani. Oleh karena itu, dukungan pemerintah dalam bentuk subsidi alat, pelatihan teknis, dan pengembangan sistem berbasis open-source menjadi sangat penting untuk memperluas adopsi teknologi ini. Dengan sinergi antara inovasi teknologi, konservasi sumber daya air, dan peningkatan kapasitas manusia, Smart Agriculture berpotensi menjadi solusi strategis dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim serta mendukung ketahanan pangan nasional.

Referensi

1. Abdmeziem, M. R., Tandjaoui, D., & Romdhani, I. (2016). Architecting the Internet of Things: State of the art. *Journal of Network and Computer Applications*, 76, 57–81. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.10.002>
2. Akhter, R., & Shabir, G. (2021). Internet of Things (IoT) for smart agriculture: Technologies, practices, and future direction. *Journal of Agricultural Studies*, 9(3), 1–18. <https://doi.org/10.5296/jas.v9i3.18379>
3. Basuki, C., Pratiwi, C. P., Dewat, F. G. P., & Winarta, N. P. (2024). IoT-Based HydroM8 Self-Watering Plant Factory: A Design Thinking Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(1), 012105. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012105>
4. Hidayati, N., Prasetyo, F., & Wulandari, R. (2025). Analisis Faktor Penghambat Adopsi Teknologi Smart Farming di Kalangan Petani Indonesia. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 13(2), 101–113.

5. Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93(2), 281–289. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.932281x>
6. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
7. Malikussaleh, M., Fitriani, D., & Rahmadani, R. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Efisiensi Air pada Pertanian Skala Kecil. *Jurnal METIK*, 9(1), 45–56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11568924>
8. Nurhaliza, A. (2024). Perancangan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Sensor Kelembapan Tanah untuk Lahan Kering. *Jurnal Teknologi Informasi*, 7(2), 112–120. <https://doi.org/10.51239/jti.v7i2.668>
9. Puspitasari, D., Nugroho, T., & Widodo, S. (2023). Analisis Efektivitas Embung Mikro dan Water Harvesting terhadap Ketersediaan Air Tanah di Lahan Kering. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(4), 203–214.
10. Putra, A., Rachman, F., & Dewi, R. (2023). Penerapan Sistem Irigasi Tetes Otomatis Berbasis IoT dan Embung Mikro untuk Efisiensi Air di Lahan Kering. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(4), 215–228.
11. Rachmawati, D. (2024). Penerapan Smart Farming 4.0 di Indonesia: Tantangan dan Strategi Adopsi Inovasi Pertanian Digital. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(3), 187–198. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.3.187>
12. Rahman, F., & Suryani, D. (2021). Konservasi air dalam mendukung ketahanan pangan nasional. *Jurnal Sumber Daya dan Lingkungan*, 8(2), 101–110.
13. Rahmawati, F., Hidayat, N., & Siregar, B. (2025). Pengembangan Early Warning System Berbasis IoT untuk Mitigasi Kekeringan Pertanian di Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 13(1), 17–29.
14. Saptaji, K., Nugroho, S., & Widyaningrum, R. (2025). Evaluasi Faktor Keberhasilan Implementasi Internet of Things (IoT) dalam Sistem Irigasi dan Pemupukan Cerdas di Indonesia. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 13(1), 55–67. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.13.1.55-67>
15. Saragih, H., & Kurniawan, D. (2025). Rancang Bangun Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Logika Fuzzy Sugeno untuk Greenhouse. *Jurnal Algoritma*, 22(1), 33–42. <https://doi.org/10.31284/j.algoritma.v22i1.2327>
16. Sari, N. P., Yuliani, D., & Arifin, M. (2023). Penerapan sistem smart farming berbasis IoT untuk peningkatan efisiensi pertanian di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian Terpadu*, 14(1), 45–54.
17. Satria, F., Yuliani, D., & Handayani, P. (2024). Analisis Kelayakan Ekonomi dan Persepsi Petani terhadap Investasi Teknologi Smart Agriculture di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 14(2), 89–102. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11568291>
18. Setiyorini, A., Fitriastuti, F., Haryanto, E., Haryanto, E. M., & Lukmanfiandy, S. (2022). Design and Build Remote Watering System Based on IoT (Case Study: Code Tourism Park Yogyakarta). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1030(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1030/1/012007>
19. Singh, R., Kumar, P., & Mehta, D. (2022). Low-Cost IoT-Based Smart Irrigation System for Indian Small-Scale Farmers. *International Journal of Agricultural Technology and Innovation*, 4(2), 85–95. <https://doi.org/10.32628/IJATI.2022.04.02.005>
20. Tal, A. (2020). The Water Efficiency Revolution: Israel's Innovative Smart Irrigation System. *Environmental Science & Policy*, 114, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.07.013>
21. Wahyudi, A., Pradana, B., & Permatasari, N. (2025). Penerapan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Efisiensi Penggunaan Air di Lahan Pertanian Greenhouse. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 14(1), 25–36. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11568256>
22. Wahyudi, A., Pradana, R., & Permatasari, S. (2025). Analisis efisiensi irigasi pertanian berbasis konservasi air di Indonesia. *Jurnal Agroklimat dan Hidrologi*, 12(1), 33–42.