SMART-TANI: IRIGASI TETES OTOMATIS BERBASIS SENSOR KELEMBAPAN TANAH SEDERHANA UNTUK PERTANIAN TROPIKA HEMAT AIR

Nathan Michael Setiawan
nathansetiawan230@gmail.com
SMA Kristen Kasih Kemuliaan

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi pertanian yang besar, tetapi ketidakmerataan distribusi curah hujan dan rendahnya efisiensi penggunaan air masih menjadi tantangan dalam pengelolaan irigasi. Praktik penyiraman yang masih mengandalkan intuisi menyebabkan pemberian air sering tidak sesuai dengan kondisi kelembapan tanah dan berpotensi menimbulkan pemborosan. Di sisi lain, sistem irigasi otomatis yang tersedia umumnya memiliki ketergantungan terhadap internet dan biaya penerapan yang relatif tinggi, sehingga belum sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan petani kecil di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur. Oleh karena itu, gagasan SMART-TANI dikembangkan sebagai inovasi irigasi tetes otomatis yang terjangkau, presisi, dan dapat beroperasi secara offline. Sistem ini mengintegrasikan sensor kelembapan tanah kapasitif, mikrokontroler ESP32, relai, pompa, dan selang irigasi tetes. Sensor mendeteksi kondisi kelembapan tanah pada zona perakaran, kemudian ESP32 mengolah data dan membandingkannya dengan nilai ambang yang telah dikalibrasi. Apabila kelembapan berada di bawah ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa untuk mengalirkan air melalui selang tetes hingga kelembapan mencapai kondisi yang ditentukan. Selain pemrosesan lokal tanpa internet, ESP32 dapat menyediakan akses Wi-Fi lokal untuk pemantauan melalui perangkat seluler. Implementasi SMART-TANI dilakukan melalui tahapan kalibrasi, uji coba skala kecil, pendampingan petani, serta replikasi berbasis kode terbuka. Konsep ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi ketergantungan terhadap konektivitas internet, menekan biaya penerapan teknologi, dan mendukung modernisasi pertanian yang lebih adaptif serta berkelanjutan bagi petani kecil.

Kata kunci: Irigasi Tetes, Kelembapan Tanah, ESP32, Pertanian Presisi, SMART-TANI, Offline.

PENDAHULUAN

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi besar dalam produksi pangan untuk memperkuat ketahanan pangan nasional. Pengelolaan potensi tersebut sangat bergantung pada ketersediaan air sebagai faktor kunci pertumbuhan tanaman. Namun, ketersediaan air di wilayah tropika tidak selalu menjamin kebutuhan irigasi karena curah hujan tinggi tidak terbagi merata, sehingga risiko kekeringan tetap mengintai saat kemarau (Aditya et al. 2021). Fenomena ini menegaskan bahwa permasalahan utama irigasi nasional sebenarnya terletak pada efisiensi pemanfaatan air, bukan sekadar ketersediaannya di alam.

Masalah efisiensi pemanfaatan air diperparah oleh kebiasaan petani yang mengandalkan intuisi saat menyiram (Suryaningrat et al. 2022). Kebiasaan intuitif ini membuat pemberian air tidak sesuai kelembapan tanah aktual, sehingga tanaman sering disiram berlebihan atau terlambat mendapat air. Ketidaktepatan penyiraman tersebut berujung pada pemborosan air dan penurunan produktivitas. Solusinya, penerapan irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah terbukti menghemat penggunaan air hingga 50% dibandingkan metode manual (Hamouda et al. 2024).

Kendati mampu menghemat air, penerapan teknologi irigasi otomatis masih menemui hambatan. Sebagian besar sistem yang ada hanya berfokus pada fungsi pemantauan dan sangat bergantung pada koneksi internet (Pertiwi et al. 2021; Mustopa et

al. 2024). Ketergantungan internet ini menyulitkan petani perdesaan dengan akses jaringan terbatas. Selain kendala sinyal, teknologi Internet of Things (IoT) komersial umumnya dirancang untuk skala industri berbiaya tinggi, sehingga sulit dijangkau petani kecil (Lamsal et al. 2023). Oleh karena itu, diperlukan inovasi irigasi otomatis, terjangkau, sederhana, dan beroperasi tanpa internet.

Guna menjawab kebutuhan tersebut, penulis merancang SMART-TANI. SMART-TANI hadir sebagai solusi irigasi tetes otomatis presisi yang dirancang khusus untuk memotong ketergantungan pada internet dan biaya perangkat yang mahal. Kehadiran SMART-TANI menawarkan pendekatan baru dalam mengelola pemberian air tanaman secara mandiri, akurat, dan adaptif. Rancangan ini menjadi gagasan konkret yang mampu menjembatani modernisasi pertanian dengan keterbatasan infrastruktur petani kecil.

Gagasan SMART-TANI dikembangkan untuk mencapai empat tujuan utama: Pertama, menghadirkan teknologi tepat guna untuk menghentikan pemborosan air. Kedua, menawarkan konsep irigasi tetes otomatis yang beroperasi secara offline. Ketiga, menjelaskan mekanisme kerja terintegrasi dari sensor, ESP32, hingga penyiraman. Keempat, merumuskan strategi implementasi bertahap agar dapat diterapkan secara nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

SMART-TANI hadir untuk menjawab kesenjangan antara kebutuhan irigasi presisi dan keterbatasan finansial petani kecil. Secara konseptual, sistem ini didefinisikan sebagai alat irigasi tetes otomatis yang mengeksekusi penyiraman berdasarkan data kelembapan tanah aktual tanpa internet maupun intervensi manusia. Definisi operasional tersebut merespons tiga masalah utama: penyiraman intuitif (Suryaningrat et al. 2022), ketergantungan internet (Pertiwi et al. 2021; Mustopa et al. 2024), dan tingginya harga alat komersial (Lamsal et al. 2023).

Untuk mengatasi masalah tersebut, SMART-TANI menggabungkan tiga komponen utama. Pertama, sensor kelembapan tanah kapasitif untuk mengukur kadar air zona perakaran. Komponen open-source ini memangkas biaya lisensi platform tertutup sehingga tetap terjangkau (Puig et al. 2022). Kedua, mikrokontroler ESP32 yang mengolah data sensorik, mengeksekusi penyiraman otomatis tanpa internet, sekaligus memancarkan Wi-Fi lokal (access point) untuk pemantauan via ponsel (Pereira et al. 2023). Ketiga, aktuator (relai, pompa, selang tetes) yang mengalirkan air menuju zona perakaran berdasarkan ambang kelembapan yang telah ditentukan.

Ketiga komponen tersebut bekerja menyatu dalam alur kerja otomatis. Sensor membaca kondisi air tanah, lalu mengirim data ke ESP32 untuk dibandingkan dengan ambang batas (threshold) hasil kalibrasi. Jika kelembapan di bawah ambang batas, ESP32 memicu relai untuk menyalakan pompa. Setelah kelembapan mencapai batas optimal, ESP32 mematikan relai sehingga aliran air terhenti. Mekanisme berbasis data ini menjamin pemberian air sesuai kebutuhan riil tanaman (Raheja et al. 2025; Mendrofa et al. 2026).

Setelah mekanisme kerja komponen dipahami, selanjutnya adalah menyatukan ketiganya secara fisik menjadi satu sistem utuh melalui proses perakitan berikut. Pertama, pemasangan sensor kapasitif pada area perakaran. Kedua, penyambungan sensor ke modul analog ESP32. Ketiga, penghubungan output ESP32 ke relai pompa. Keempat, pemasangan pompa pada selang tetes. Kelima, pemrograman logika ambang batas serta mode access point pada ESP32.

Setelah seluruh proses perakitan fisik selesai, penerapan SMART-TANI di lapangan dilanjutkan melalui empat fase implementasi. Pertama, kalibrasi awal sesuai jenis tanah (Jabro et al. 2020). Kedua, uji coba skala kecil untuk memvalidasi sensor dan mendeteksi

kendala teknis (Abdelmoneim et al. 2025). Ketiga, pendampingan dan pelatihan antarmuka kepada petani lokal (Larasati 2024). Keempat, replikasi mandiri berbasis kode terbuka (Boukri et al. 2026).

Keberhasilan implementasi bergantung pada kolaborasi lintas pihak karena adopsi teknologi dipengaruhi literasi digital, pembiayaan, dan dukungan kelembagaan (Amrullah 2023; Satria et al. 2024). Petani berperan mengoperasikan dan merawat alat. Penulis merancang skematik, program, dan panduan teknis. Penyuluh menerjemahkan instruksi teknis ke bahasa sederhana. Perguruan tinggi menguji keandalan sistem jangka panjang. Pemerintah daerah mendukung via kebijakan, pelatihan, dan subsidi.

Berdasarkan seluruh mekanisme dan komponen yang telah diuraikan, SMART-TANI menawarkan tiga keunggulan. Pertama, efisiensi biaya dari komponen open-source (Gulo et al. 2025; Boukri et al. 2026). Kedua, efisiensi air hingga 50% karena air dialirkan saat dibutuhkan (Hamouda et al. 2024). Ketiga, kemandirian operasional offline melalui pemrosesan lokal ESP32 (Lamsal et al. 2023).

KESIMPULAN

SMART-TANI merupakan gagasan irigasi tetes otomatis presisi yang mengatasi keterbatasan biaya, air, dan infrastruktur internet petani kecil. Keunggulan tersebut dirancang untuk dicapai melalui integrasi sensor kapasitif, ESP32, dan aktuator irigasi tetes. Pemrosesan data secara lokal memastikan sistem beroperasi mandiri tanpa internet dengan biaya terjangkau.

Skema ini mengubah paradigma irigasi dari perkiraan menjadi keputusan terukur berbasis data. Pemberian air terukur mencegah pemborosan air dan menjaga kelembapan tanah ideal. Namun, efektivitas sistem sangat ditentukan oleh ketepatan kalibrasi sensor dan penetapan ambang batas kelembapan.

Oleh sebab itu, implementasi SMART-TANI harus dijalankan bertahap mulai dari kalibrasi, uji coba, pendampingan, hingga replikasi mandiri. Tahapan ini memastikan teknologi tepat guna benar-benar menjawab kebutuhan petani. Dengan pendekatan adaptif ini, SMART-TANI berpotensi menjadi alternatif teknologi irigasi hemat air yang dapat dikembangkan untuk mendukung pertanian tropika berkelanjutan.

DAFTAR PUSAKA

Abdelmoneim AA, Al Kalaany CM, Dragonetti G, Derardja B, Khadra R. 2025. Comparative analysis of soil moisture and weather-based irrigation scheduling for drip-irrigated lettuce using low-cost Internet of Things capacitive sensors. Sensors. 25(5): 1568.

Aditya F, Gusmayanti E, Sudrajat J. 2021. Pengaruh perubahan curah hujan terhadap produktivitas padi sawah di Kalimantan Barat. Jurnal Ilmu Lingkungan. 19(2): 237–246.

Amrullah ER. 2023. Impact of access to agricultural extension on the adoption of technology and farm income of smallholder farmers in Banten, Indonesia. Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies. 11(1): 45–56.

Boukri Y, Hamici HS, Mansour RF, Toubal Maamar AE, Ghoneim SSM, Paramasivam P, Hashim MA, Hussein EE. 2026. Analysis and experimental implementation of affordable smart irrigation system using IoT to reduce agricultural costs and minimize water usage. Applied Water Science. 16: 36.

Gulo MJ, Azzahra S, Manafe DI. 2025. Sistem urban portable agriculture berbasis IoT: Validasi teknis dan analisis kinerja platform monitoring hidroponik berbiaya rendah. Jurnal Kolaboratif Sains. 8(11): 6640–6653.

Hamouda F, Puig-Sirera À, Bonzi L, Remorini D, Massai R, Rallo G. 2024. Design and validation of a soil moisture-based wireless sensors network for the smart irrigation of a pear orchard. Agricultural Water Management. 305: 109138.

Jabro JD, Stevens WB, Iversen WM, Allen BL, Sainju UM. 2020. Irrigation scheduling based on

wireless sensors output and soil-water characteristic curve in two soils. Sensors. 20(5): 1336.

Lamsal RR, Karthikeyan P, Otero P, Ariza A. 2023. Design and implementation of Internet of Things (IoT) platform targeted for smallholder farmers: from Nepal perspective. Agriculture. 13(10): 1900.

Larasati PS. 2024. Penerapan media sosial dalam kegiatan penyuluhan pertanian di Jawa Tengah: Sebuah narrative review. Journal of Agribusiness Science and Rural Development. 3(2): 91–100.

Mendrofa RKI, Latifa U, Setiawan MA. 2026. Rancang bangun sistem irigasi otomatis berbasis ESP32 dan sensor kelembapan tanah untuk monitoring real-time. EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control. 8(1): 12–21.

Mustopa A, Sujjada A, Kharisma IL. 2024. Pengembangan sistem irigasi tetes non circulation menggunakan IoT dan analisis big data. Smart Comp. 13(1): 66–70.

Pereira GP, Chaari MZ, Daroge F. 2023. IoT-enabled smart drip irrigation system using ESP32. IoT. 4(3): 221–243.

Pertiwi A, Kristianti VE, Jatnita I, Daryanto A. 2021. Sistem otomatisasi drip irigasi dan monitoring pertumbuhan tanaman cabai berbasis IoT. Sebatik. 25(2): 739–747.

Puig F, Rodríguez Díaz JA, Soriano MA. 2022. Development of a low-cost open-source platform for smart irrigation systems. Agronomy. 12(12): 2909.

Raheja A, Sharda R, Garg S, Kaur S, Das S, Choudhary OP. 2025. Designing and field calibration of low-cost microcontroller-based soil moisture sensor for subsurface drip-irrigation system. Scientific Reports. 15: 35948.

Satria D, Maghraby W, Setyanti AM. 2024. Digital agricultural technology for smallholder farmers: barriers and opportunities in Indonesia. SOCA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian. 20(2): 101–112.

Suryaningrat A, Kurnianto D, Rochmanto RA. 2022. Sistem monitoring kelembaban tanaman cabai rawit menggunakan irigasi tetes gravitasi berbasis IoT. ELKOMIKA. 10(3): 568.