



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

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

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 25322-25330

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

Sistem Pemantauan Kelembaban dan Suhu Tanah Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis IoT

Nadea Tri Atmaja, Dwi Yuli Prasetyo, Ilyas

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Islam Indragiri

Tembilahan, Indragiri Hilir, Riau, Indonesia

nadeatriatmaja7@gmail.com, dwiyuliprasetyo2@gmail.com, daengilyas01@gmail.com

Abstrak

Pemantauan kelembaban dan suhu tanah pada pembibitan kelapa sawit selama ini masih dilakukan secara manual sehingga kurang efisien, tidak konsisten, dan tidak bersifat real-time. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah berbasis Internet of Things (IoT) pada pembibitan kelapa sawit di Desa Kempas Jaya. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor soil moisture kapasitif, dan sensor suhu DS18B20, dengan tampilan lokal pada LCD 16x2 I2C. Data dikirim melalui jaringan WiFi ke backend REST API berbasis Laravel dan basis data MySQL, kemudian ditampilkan pada aplikasi Android beserta status kondisi tanah (AMAN, WASPADA, dan BAHAYA), grafik tren, riwayat, dan notifikasi. Metode pengembangan yang digunakan adalah Waterfall yang mencakup pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi 97,8% dengan rata-rata selisih 2,2% terhadap alat ukur referensi dan simpangan baku 0,87% pada uji stabilitas. Hasil uji lapangan pada lima titik menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi tanah berdasarkan standar kelembaban 60-80% dan suhu 24-28 derajat C untuk pembibitan kelapa sawit. Integrasi tampilan lokal, penyimpanan data, klasifikasi kondisi, dan akses melalui aplikasi memungkinkan pemantauan dilakukan secara real-time, baik di lokasi maupun dari jarak jauh. Sistem ini dapat membantu petani mengenali perubahan kondisi tanah dan mendukung pengambilan keputusan penyiraman secara lebih cepat, terukur, dan konsisten.

Kata kunci: Internet of Things, Kelembaban Tanah, Suhu Tanah, ESP32, Kelapa Sawit

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membawa perubahan besar pada berbagai sektor, termasuk pertanian dan perkebunan. IoT memungkinkan perangkat, sensor, dan aktuator saling terhubung melalui internet untuk mengirim dan mengolah data secara otomatis dan real-time (Bogena et al., 2022; Comegna et al., 2024). Pada sektor perkebunan kelapa sawit, produktivitas sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah, terutama kelembaban dan suhu tanah (Ramadan et al., 2025).

Penerapan IoT pada pertanian presisi memungkinkan transformasi dari praktik manual dan berbasis perkiraan menuju pengelolaan berbasis data (data-driven) yang lebih efisien serta dapat dipantau dari jarak jauh (Bogena et al., 2022; Comegna et al., 2024). Ketersediaan data lingkungan tanah secara real-time menjadi dasar penting bagi petani dan pengelola kebun dalam mengambil keputusan penyiraman dan pemupukan secara lebih tepat (Kurniawan, 2025; Kumari et al., 2025), sehingga kondisi tanah dapat dijaga tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman.

Di Desa Kempas Jaya, Kecamatan Kempas, Kabupaten Indragiri Hilir, pemantauan kelembaban dan suhu tanah pada pembibitan kelapa sawit umumnya masih dilakukan secara manual dan mengandalkan perkiraan. Kondisi tanah jarang diukur secara sistematis dan real-time, sehingga keputusan penyiraman dan pemupukan sering kurang tepat serta berisiko menyebabkan kekeringan maupun kelebihan air (Effendi et al., 2024; Melani et al., 2026). Fase pembibitan merupakan tahap kritis yang sangat bergantung pada kelembaban tanah yang optimal (Melani et al., 2026).

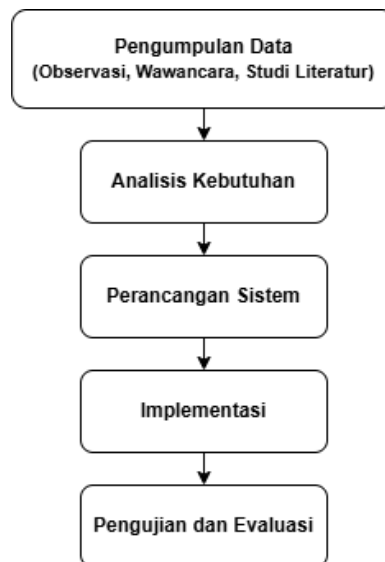
Beberapa penelitian telah menerapkan IoT untuk pemantauan kelembaban tanah menggunakan sensor soil moisture dan mikrokontroler seperti ESP8266, ESP32, atau NodeMCU (Anto & Magriyanti, 2022; Effendi et al., 2024; Pulungan & Priyana, 2025; Setiawan et al., 2022). Namun sebagian besar penelitian masih berfokus pada tanaman hortikultura atau lahan skala kecil, memantau parameter tunggal, dan belum banyak yang

mengintegrasikan pemantauan kelembaban dan suhu tanah sekaligus dengan tampilan lokal, penyimpanan data di server, klasifikasi status otomatis, serta akses jarak jauh melalui aplikasi, khususnya pada pembibitan kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah berbasis IoT yang mampu menampilkan kondisi tanah secara real-time pada LCD lokal, mengirimkan data ke backend melalui jaringan internet, mengklasifikasikan kondisi tanah menjadi status AMAN, WASPADA, atau BAHAYA, serta menyajikannya pada aplikasi Android sehingga dapat dipantau dari jarak jauh.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan Waterfall yang menekankan tahapan kerja berurutan dan terdokumentasi, meliputi pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian dan evaluasi. Kerangka penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka penelitian

2.1. Kebutuhan Sistem

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi kondisi pembibitan kelapa sawit di Desa Kempas Jaya, wawancara dengan petani mengenai kebutuhan pemantauan, serta studi literatur terkait kalibrasi sensor dan pengukuran kelembaban serta suhu tanah. Hasil pengumpulan data digunakan untuk menentukan kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta data dan pengguna sistem.

Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan penyedia konektivitas WiFi, sensor soil moisture kapasitif untuk membaca kelembaban tanah, sensor suhu DS18B20 (waterproof), serta LCD 16x2 I2C sebagai penampil informasi lokal. Perangkat lunak meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, backend REST API berbasis framework Laravel (PHP 8.3) dengan basis data MySQL pada server Nginx, serta aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan Kotlin dan Jetpack Compose. Konfigurasi pin antarperangkat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi pin perangkat keras

Komponen	Pin ESP32	Keterangan
Sensor soil moisture (AOUT)	GPIO34	Input analog kelembaban tanah
Sensor suhu DS18B20 (data)	GPIO4	Bus OneWire, pull-up 4,7 kOhm
LCD 16x2 I2C (SDA/SCL)	GPIO21/GPI O22	Jalur data dan clock I2C

2.2. Perancangan Sistem

Arsitektur sistem menggunakan pola IoT client-server. Sensor kelembaban dan suhu terhubung ke ESP32 sebagai edge device. ESP32 membaca kedua sensor, mengolah nilai kelembaban menjadi persentase, menampilkannya pada LCD, dan mengirimkannya melalui WiFi/HTTPS ke backend REST API berbasis Laravel. Backend menyimpan data ke basis data MySQL, mengklasifikasikan status kondisi tanah, dan menyediakannya bagi

aplikasi Android. Aplikasi dirancang dengan pola arsitektur berlapis (Compose-ViewModel-Repository-Retrofit) dan memiliki halaman Login, Beranda, Device, Alert, Histori, dan Setting.

Konversi nilai analog menjadi persentase kelembaban menggunakan pendekatan kalibrasi dua titik dengan nilai acuan dryValue = 3000 (kering, 0%) dan wetValue = 1200 (basah, 100%) sesuai resolusi ADC 12-bit ESP32. Setelah persentase kelembaban dan nilai suhu diperoleh, kondisi tanah diklasifikasikan menjadi tiga status, yaitu AMAN, WASPADA, dan BAHAYA, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai ambang WASPADA dapat dikonfigurasi melalui aplikasi, sedangkan status BAHAYA ditetapkan ketika kelembaban kurang dari 25% atau suhu lebih dari 38 derajat C.

Tabel 2. Klasifikasi status kondisi tanah

Status	Kondisi	Rekomendasi
AMAN	Kelembaban dan suhu dalam rentang normal	Dipertahankan
WASPADA	Kelembaban $\leq$ ambang minimum atau suhu $\geq$ ambang maksimum	Perhatian dan persiapan penyiraman
BAHAYA	Kelembaban $< 25\%$ atau suhu > 38 derajat C	Penyiraman/ penanganan segera

2.3. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian meliputi kalibrasi sensor, uji fungsional perangkat dan aplikasi dengan metode black box, uji akurasi dengan membandingkan pembacaan alat terhadap alat ukur referensi, uji stabilitas, serta uji lapangan pada pembibitan. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil nilai analog pada kondisi kering dan basah, sedangkan uji akurasi dan stabilitas menilai ketepatan dan konsistensi pembacaan alat.

Hasil pengukuran selanjutnya dievaluasi terhadap standar kelembaban dan suhu tanah yang efektif bagi pertumbuhan kelapa sawit, yaitu suhu 24-28 derajat C (Ramadan et al., 2025) dan kelembaban tanah 60-80% (Effendi et al., 2024; Melani et al., 2026). Standar tersebut menjadi acuan dalam menilai apakah status kondisi tanah yang dihasilkan sistem telah sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan bibit kelapa sawit.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Implementasi Sistem

Perangkat keras berhasil dirakit dengan menghubungkan sensor soil moisture kapasitif, sensor DS18B20, dan LCD 16x2 I2C ke ESP32 sesuai rancangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Konektivitas kabel jumper dipastikan kuat dan rapi agar mengurangi gangguan pembacaan, kemudian seluruh komponen diuji catu dayanya untuk memastikan tidak terjadi hubungan singkat.



Gambar 2. Hasil perakitan perangkat keras

Firmware pada ESP32 disusun menggunakan Arduino IDE. Program melakukan inisialisasi LCD, koneksi WiFi, dan sinkronisasi waktu NTP, kemudian membaca sensor kelembaban dengan teknik rata-rata 30 sampel serta membaca suhu tanah dari DS18B20. Nilai kelembaban dikonversi menjadi persentase, status kondisi tanah ditentukan, lalu ditampilkan pada LCD (Gambar 3) dan dikirim ke backend melalui HTTPS POST setiap sepuluh detik.



Gambar 3. Tampilan kelembaban, suhu, dan status pada LCD

Backend REST API berbasis Laravel menerima, memvalidasi, menyimpan, dan mengklasifikasikan data pada basis data MySQL, serta menyediakan endpoint bagi aplikasi. Aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan Kotlin dan Jetpack Compose menampilkan nilai kelembaban dan suhu terkini, indikator status, grafik tren, riwayat, dan notifikasi (Gambar 4), sehingga kondisi tanah dapat dipantau dari jarak jauh.



Gambar 4. Tampilan antarmuka aplikasi Android

3.2. Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan dengan metode black box untuk memastikan setiap fungsi menghasilkan keluaran yang diharapkan, baik pada perangkat maupun aplikasi. Pengujian pada aplikasi mencakup fitur login, tampilan

dashboard, grafik tren, riwayat, notifikasi, dan pengaturan, yang seluruhnya berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil pengujian fungsional perangkat ditunjukkan pada Tabel 3. Seluruh skenario menghasilkan keluaran yang sesuai sehingga fungsi dasar sistem dinyatakan berjalan dengan baik.

Tabel 3. Hasil pengujian fungsional (black box)

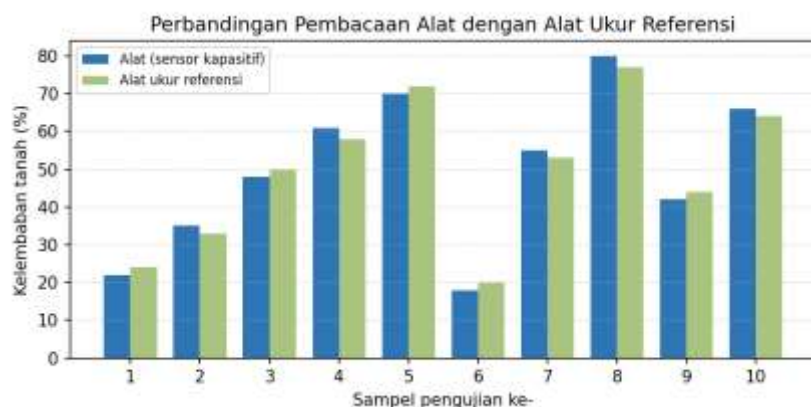
Skenario	Hasil yang diharapkan	Hasil
Sistem dinyalakan	LCD menyala, WiFi terhubung	Sesuai
Pembacaan sensor	LCD menampilkan kelembaban dan suhu	Sesuai
Kelembaban rendah	Status BAHAYA	Sesuai
Kondisi normal	Status AMAN	Sesuai
Pengiriman ke backend	Data tersimpan di server	Sesuai

3.3. Pengujian Akurasi dan Stabilitas

Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan kelembaban alat terhadap alat ukur referensi pada sepuluh sampel kondisi tanah yang berbeda (Tabel 4). Rata-rata selisih pembacaan sebesar 2,2% sehingga tingkat akurasi mencapai 97,8%. Perbandingan kedua pembacaan ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 4. Hasil pengujian akurasi

Sampel	Alat (%)	Referensi (%)	Selisih (%)
1	22	24	2
2	35	33	2
3	48	50	2
4	61	58	3
5	70	72	2
6	18	20	2
7	55	53	2
8	80	77	3
9	42	44	2
10	66	64	2
Rata-rata			2,2



Gambar 5. Grafik perbandingan pembacaan alat dengan alat ukur referensi

Uji stabilitas dilakukan dengan sepuluh kali pembacaan berturut-turut pada satu media tanah yang kondisinya dijaga tetap. Nilai pembacaan berada pada rentang 57-60% dengan rata-rata 58,2% dan simpangan baku 0,87%, yang menunjukkan pembacaan konsisten. Tingkat akurasi dan stabilitas tersebut didukung penerapan kalibrasi dua titik dan teknik rata-rata 30 sampel pada setiap pembacaan.

3.4. Uji Lapangan dan Evaluasi terhadap Standar

Uji lapangan dilakukan pada lima titik di pembibitan kelapa sawit dengan kedalaman pemasangan sensor yang sama. Hasil uji lapangan ditunjukkan pada Tabel 5, dan sistem mampu membedakan kondisi tanah pada tiap titik secara real-time.

Tabel 5. Hasil uji lapangan pada pembibitan kelapa sawit

Titik	Kelembaban (%)	Suhu (derajat C)	Status
1	28	30	WASPADA
2	52	29	AMAN
3	41	29	AMAN
4	19	33	BAHAYA
5	73	28	AMAN

Hasil tersebut dievaluasi terhadap standar kelembaban dan suhu tanah efektif bagi pertumbuhan kelapa sawit sebagaimana Tabel 6. Titik dengan kelembaban 73% dan suhu 28 derajat C berada pada rentang optimal (AMAN), titik dengan kelembaban 52% dan 41% masih tergolong cukup lembab (AMAN), sedangkan titik dengan kelembaban 28% dan 19% berada di bawah standar sehingga terdeteksi WASPADA dan BAHAYA, dengan suhu 30-33 derajat C yang masih dalam batas toleransi. Dengan demikian, klasifikasi status yang dihasilkan sistem telah sesuai dengan standar kelembaban dan suhu tanah kelapa sawit.

Tabel 6. Standar kelembaban dan suhu tanah efektif kelapa sawit

Parameter	Rentang efektif	Sumber
Suhu tanah/lingkungan	24-28 derajat C (toleransi 18-32)	Ramadan et al. (2025)
Kelembaban tanah	60-80% (kondisi lembab)	Effendi et al. (2024); Melani et al. (2026)

Dibandingkan penelitian terdahulu yang umumnya hanya memantau kelembaban tanah (Anto & Magriyanti, 2022; Pulungan & Priyana, 2025; Setiawan et al., 2022), sistem yang dibangun memiliki keunggulan pada pemantauan kelembaban sekaligus suhu, klasifikasi status otomatis, penyimpanan data pada backend, serta akses jarak jauh dan notifikasi melalui aplikasi Android. Keberadaan aplikasi menjawab permasalahan utama, yaitu petani yang sebelumnya harus datang langsung ke kebun untuk memantau kondisi tanah. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan, antara lain ketergantungan pada ketersediaan jaringan internet dan kalibrasi sensor yang masih statis, yang dapat menjadi peluang pengembangan pada penelitian selanjutnya.

3.5. Analisis Kinerja Pengukuran dan Keandalan Sistem

Tingkat akurasi sebesar 97,8% dengan rata-rata selisih 2,2% menunjukkan bahwa perangkat mampu menghasilkan pembacaan kelembaban yang mendekati alat ukur referensi pada kondisi pengujian yang digunakan. Nilai tersebut perlu dipahami bersama hasil uji stabilitas, yaitu rentang pembacaan 57-60%, rata-rata 58,2%, dan simpangan baku 0,87%. Kombinasi akurasi dan kestabilan ini mengindikasikan bahwa perubahan nilai yang ditampilkan sistem tidak hanya berasal dari fluktuasi acak sensor, tetapi dapat merepresentasikan perubahan kondisi media tanah. Dalam sistem pemantauan pertanian, konsistensi pembacaan memiliki arti penting karena keputusan penyiraman didasarkan pada kecenderungan nilai dari waktu ke waktu, bukan hanya satu hasil pengukuran. Penelitian mengenai jaringan sensor kelembaban tanah juga menekankan perlunya pengambilan data berkala dan penyajian tren agar pengguna dapat membedakan perubahan aktual dengan variasi sesaat pada sensor (Bogena et al., 2022; Comegna et al., 2024). Oleh karena itu, penyimpanan data pada basis data dan penyajian grafik dalam aplikasi memperkuat fungsi perangkat sebagai sistem pemantauan, bukan sekadar alat ukur sesaat.

Penerapan kalibrasi dua titik menggunakan dryValue dan wetValue memberikan dasar konversi nilai analog menjadi persentase yang lebih mudah dipahami pengguna. Teknik rata-rata 30 sampel pada setiap siklus pembacaan juga membantu meredam perubahan nilai analog yang terlalu cepat. Meskipun demikian, sensor kelembaban kapasitif tetap dipengaruhi oleh karakteristik media, tingkat kepadatan, distribusi air, suhu, dan posisi pemasangan. Patle et al. (2022) menunjukkan bahwa kalibrasi kelembaban tanah perlu mempertimbangkan pengaruh suhu dan kepadatan tanah, sedangkan Comegna et al. (2024) menegaskan bahwa sistem IoT berbiaya rendah memerlukan validasi lapangan agar hubungan antara sinyal sensor dan kondisi air tanah tetap dapat dipercaya. Dengan demikian, nilai akurasi penelitian ini merupakan indikator kinerja pada sampel dan media yang diuji, serta belum dapat digeneralisasi untuk seluruh jenis tanah tanpa kalibrasi tambahan. Penggunaan kedalaman pemasangan yang sama pada uji lapangan sudah menjadi langkah penting untuk mengurangi variasi, namun

pengujian pada tekstur tanah, tingkat pemadatan, dan kondisi cuaca yang berbeda akan memperkuat keandalan sistem pada penerapan jangka panjang.

3.6. Interpretasi Uji Lapangan pada Pembibitan Kelapa Sawit

Uji lapangan pada lima titik memperlihatkan adanya variasi kelembaban yang cukup besar, yaitu dari 19% hingga 73%, sementara suhu berada pada rentang 28-33 derajat C. Variasi tersebut memperlihatkan bahwa kondisi media pembibitan tidak selalu seragam meskipun berada pada lokasi yang sama. Titik dengan kelembaban 73% dan suhu 28 derajat C berada pada rentang efektif, sedangkan nilai kelembaban 28% dan 19% menunjukkan kebutuhan perhatian lebih cepat. Hasil ini mendukung penggunaan beberapa titik pengukuran karena satu lokasi pengamatan belum tentu mewakili seluruh area pembibitan. Pada penelitian pembibitan kelapa sawit, pemantauan kelembaban secara berkala dibutuhkan untuk mengurangi ketergantungan pada perkiraan visual dan membantu mengidentifikasi media yang mulai kering (Effendi et al., 2024; Melani et al., 2026). Sistem yang dibangun dalam penelitian ini menjadikan variasi tersebut lebih mudah dikenali melalui nilai numerik dan status, sehingga petani dapat menentukan titik yang memerlukan pemeriksaan atau penyiraman terlebih dahulu.

Klasifikasi AMAN, WASPADA, dan BAHAYA menyederhanakan interpretasi data bagi pengguna yang tidak selalu terbiasa membaca nilai sensor. Status WASPADA berfungsi sebagai tanda untuk melakukan pemeriksaan dan mempersiapkan penyiraman, sedangkan status BAHAYA menunjukkan perlunya penanganan segera sesuai ambang yang telah ditetapkan. Pendekatan berbasis ambang juga digunakan pada berbagai sistem pemantauan dan irigasi cerdas karena mampu mengubah data sensor menjadi informasi operasional yang mudah ditindaklanjuti (Anto & Magriyanti, 2022; Ardianto et al., 2025; Kurniawan, 2025). Namun, status tersebut sebaiknya diposisikan sebagai pendukung keputusan, bukan pengganti penilaian agronomis. Kondisi bibit, umur tanaman, jenis media, intensitas penyiraman, dan pola hujan tetap perlu diperhatikan sebelum tindakan dilakukan. Nilai ambang WASPADA yang dapat diatur melalui aplikasi memberikan fleksibilitas untuk menyesuaikan sistem dengan kondisi pembibitan, sementara batas BAHAYA menjaga agar peringatan kritis tetap konsisten.

Rentang kelembaban 60-80% dan suhu 24-28 derajat C digunakan sebagai acuan evaluasi pada penelitian ini. Kesesuaian titik kelima dengan rentang tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali kondisi yang mendekati standar, sedangkan titik lain memperlihatkan kondisi yang belum optimal. Kajian kesesuaian lahan kelapa sawit menunjukkan bahwa parameter lingkungan perlu dinilai secara terpadu karena suhu dan kondisi air tanah berhubungan dengan kemampuan tanaman mempertahankan pertumbuhan (Ramadan et al., 2025). Dalam konteks pembibitan, data suhu melengkapi pembacaan kelembaban karena media yang cukup lembab tetap dapat mengalami tekanan lingkungan ketika suhu meningkat. Integrasi dua parameter pada satu perangkat karena itu memberikan informasi yang lebih lengkap dibandingkan sistem yang hanya menampilkan kelembaban. Walaupun penelitian ini belum mengukur respons pertumbuhan bibit secara langsung, hasil pemantauan dapat menjadi dasar pencatatan kondisi lingkungan yang selanjutnya dibandingkan dengan perkembangan bibit pada periode pengamatan yang lebih panjang.

3.7. Integrasi Perangkat IoT, Backend, dan Aplikasi Android

Arsitektur client-server yang digunakan menghubungkan proses pengukuran di lapangan dengan penyimpanan dan penyajian data kepada pengguna. ESP32 berfungsi sebagai edge device yang membaca sensor, melakukan konversi nilai, menentukan status awal, menampilkan hasil pada LCD, dan mengirimkan data melalui HTTPS. Backend Laravel kemudian menjalankan validasi, penyimpanan, serta penyediaan data melalui REST API untuk aplikasi Android. Pembagian fungsi ini membuat proses pemantauan tidak sepenuhnya bergantung pada satu antarmuka. LCD tetap menyediakan informasi di lokasi, sedangkan aplikasi memberi akses jarak jauh, grafik tren, riwayat, dan notifikasi. Model serupa banyak digunakan dalam pertanian berbasis IoT karena pemisahan perangkat sensor, server, dan aplikasi memudahkan pengelolaan data sekaligus pengembangan fungsi lanjutan (Setiawan et al., 2022; Sutomo et al., 2025). Hasil pengujian black box yang menunjukkan seluruh fungsi berjalan sesuai harapan menegaskan bahwa alur data dari sensor sampai pengguna telah berfungsi pada skenario pengujian.

Pengiriman data setiap sepuluh detik memberikan pembaruan yang cukup rapat untuk mengamati perubahan kondisi tanah secara real-time. Frekuensi tersebut mendukung tampilan tren, tetapi pada implementasi jangka panjang perlu diseimbangkan dengan kebutuhan energi, kapasitas penyimpanan, kestabilan jaringan, dan kegunaan data. Sistem pemantauan IoT berdaya rendah umumnya mengatur interval pengiriman berdasarkan dinamika parameter agar komunikasi tidak menghabiskan sumber daya secara berlebihan (López et al., 2022). Pada pembibitan kelapa sawit, kelembaban tanah biasanya tidak berubah secara ekstrem dalam hitungan detik ketika tidak ada penyiraman atau hujan, sehingga penelitian berikutnya dapat mengevaluasi interval adaptif. Perangkat

dapat membaca lebih sering untuk menjaga sensitivitas, tetapi hanya mengirimkan data ketika terjadi perubahan bermakna, pada jadwal tertentu, atau ketika status berpindah dari AMAN menjadi WASPADA atau BAHAYA. Pendekatan tersebut berpotensi mengurangi beban komunikasi tanpa menghilangkan kemampuan peringatan dini.

Aplikasi Android memberikan nilai praktis karena pengguna dapat memeriksa kondisi tanpa harus selalu mendatangi lokasi pembibitan. Penyajian nilai terkini, grafik, riwayat, dan notifikasi mendukung dua jenis keputusan, yaitu respons segera terhadap kondisi kritis dan evaluasi pola kondisi tanah dari waktu ke waktu. Kurniawan (2025) menunjukkan bahwa akses jarak jauh membantu pengguna mengetahui kondisi kelembaban dan suhu tanpa dibatasi lokasi, sedangkan Sutomo et al. (2025) memperlihatkan manfaat integrasi sensor tanah dengan aplikasi Android untuk mendukung pengelolaan pertanian. Dalam penelitian ini, riwayat data juga dapat digunakan untuk memeriksa apakah suatu titik sering berada pada kondisi kering, apakah perubahan terjadi setelah penyiraman, dan apakah pola tertentu berulang pada jam tertentu. Analisis tersebut belum menjadi bagian pengujian utama, tetapi ketersediaan data historis menyediakan dasar bagi pengembangan rekomendasi penyiraman yang lebih terukur.

3.8. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu dan Kontribusi Sistem

Kontribusi sistem terletak pada integrasi beberapa fungsi yang sebelumnya sering diterapkan secara terpisah. Penelitian terdahulu telah menunjukkan penggunaan sensor kelembaban, mikrokontroler, dan jaringan internet untuk memantau tanah (Anto & Magriyanti, 2022; Pulungan & Priyana, 2025; Setiawan et al., 2022). Sistem pada penelitian ini tidak hanya membaca kelembaban, tetapi juga mengukur suhu tanah menggunakan DS18B20, menampilkan hasil pada LCD, menyimpan data melalui backend, mengklasifikasikan status, dan menyediakan akses melalui aplikasi Android. Integrasi tersebut sesuai dengan perkembangan sistem pertanian presisi yang mengarah pada pengumpulan lebih dari satu parameter dan penyediaan data secara berkelanjutan (Bogena et al., 2022; Kumari et al., 2025). Keberadaan tampilan lokal juga menjadi unsur penting karena pengguna di lokasi masih dapat melihat hasil pengukuran langsung, sedangkan akses aplikasi memperluas jangkauan pemantauan. Dengan demikian, kontribusi penelitian bukan hanya pada perangkat sensor, tetapi pada alur informasi lengkap dari media tanah sampai pengguna.

Berbeda dengan sistem irigasi otomatis yang langsung mengaktifkan pompa berdasarkan nilai sensor, perangkat yang dikembangkan berfokus pada pemantauan dan pemberian informasi. Pilihan tersebut memiliki kelebihan pada tahap awal penerapan karena pengguna masih dapat memverifikasi kondisi lapangan sebelum melakukan penyiraman. Ardianto et al. (2025) dan Prastiwi et al. (2025) menunjukkan bahwa ESP32 dan sensor kelembaban dapat dikembangkan menuju pengendalian pompa otomatis setelah ambang dan respons perangkat teruji. Hasil akurasi dan stabilitas penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan tersebut, tetapi otomatisasi memerlukan pengamanan tambahan, seperti batas durasi pompa, pemeriksaan ketersediaan air, penanganan kegagalan sensor, dan mekanisme kendali manual. Dengan mempertahankan fungsi pemantauan pada tahap ini, sistem membantu petani mengumpulkan data dan memahami karakteristik kondisi tanah sebelum keputusan penyiraman sepenuhnya diotomatisasi.

3.9. Implikasi, Keterbatasan, dan Arah Pengembangan

Secara praktis, sistem dapat membantu petani melakukan pemantauan secara lebih teratur dan terdokumentasi. Keputusan penyiraman yang sebelumnya bergantung pada perkiraan dapat didukung oleh nilai kelembaban, suhu, status, dan riwayat pengukuran. Manfaat tersebut terutama relevan ketika jumlah titik pembibitan bertambah atau lokasi tidak selalu dapat dikunjungi. Data historis juga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk menyesuaikan jadwal pemeriksaan dan penyiraman. Meskipun demikian, penelitian ini tidak mengukur penghematan air, pengurangan waktu kerja, atau peningkatan pertumbuhan bibit, sehingga manfaat tersebut belum dapat dinyatakan dalam bentuk kuantitatif. Pengujian lanjutan perlu membandingkan penggunaan sistem dengan metode manual selama satu atau beberapa siklus pembibitan agar dampaknya terhadap efisiensi operasional dan kondisi bibit dapat dinilai secara langsung.

Berdasarkan ruang lingkup pengujian, beberapa keterbatasan perlu diperhatikan. Uji akurasi menggunakan sepuluh sampel, uji stabilitas dilakukan pada satu media yang dipertahankan kondisinya, dan uji lapangan mencakup lima titik. Kalibrasi masih menggunakan dua nilai statis dan belum dibedakan berdasarkan jenis atau kepadatan tanah. Sistem juga bergantung pada koneksi WiFi untuk pengiriman data jarak jauh, sedangkan ketahanan catu daya, perlindungan perangkat terhadap air dan cuaca, keamanan komunikasi, serta performa pada penggunaan jangka panjang belum menjadi fokus pengujian. Literatur mengenai sensor kelembaban berbiaya rendah menegaskan bahwa kalibrasi spesifik media dan evaluasi lapangan berulang diperlukan untuk

mempertahankan ketepatan pembacaan (Comegna et al., 2024; Patle et al., 2022). Oleh sebab itu, hasil penelitian perlu dipandang sebagai validasi awal terhadap fungsi sistem pada lingkungan pembibitan yang diuji.

Pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada kalibrasi adaptif, penambahan beberapa node sensor, komunikasi alternatif untuk lokasi dengan jaringan terbatas, penyimpanan lokal saat koneksi terputus, dan sinkronisasi data ketika jaringan kembali tersedia. Penambahan parameter seperti kelembaban udara, intensitas cahaya, pH, atau curah hujan dapat memperkaya interpretasi kondisi pembibitan, tetapi perlu disesuaikan dengan kebutuhan pengguna agar sistem tetap sederhana dan mudah dirawat. Kumari et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi kelembaban dengan parameter tanah lain dapat memperluas fungsi pemantauan, sedangkan sistem berbasis aplikasi dapat dikembangkan untuk memberikan rekomendasi yang lebih kontekstual (Sutomo et al., 2025). Push notification real-time, pengaturan ambang per perangkat, dan rekapitulasi harian juga dapat meningkatkan kegunaan aplikasi. Setelah reliabilitas sensor dan jaringan teruji dalam periode yang lebih panjang, sistem dapat dikembangkan menuju penyiraman semiotomatis atau otomatis dengan tetap menyediakan kendali manual dan mekanisme pengamanan.

4. Kesimpulan

Sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah berbasis Internet of Things pada pembibitan kelapa sawit di Desa Kempas Jaya berhasil dirancang dan dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor soil moisture kapasitif, dan sensor suhu DS18B20, dengan tampilan lokal pada LCD, backend REST API berbasis Laravel, dan aplikasi Android sebagai media monitoring. Sistem mampu membaca kelembaban dan suhu tanah, mengklasifikasikan kondisi menjadi status AMAN, WASPADA, atau BAHAYA, serta menampilkannya secara real-time baik di lokasi maupun dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi 97,8% dengan simpangan baku 0,87%, dan hasil uji lapangan sesuai dengan standar kelembaban 60-80% serta suhu 24-28 derajat C tanah kelapa sawit, sehingga sistem dapat membantu petani mengambil keputusan penyiraman secara lebih cepat dan tepat. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter lingkungan lain, menerapkan kalibrasi adaptif, serta push notification real-time dan dukungan mode luring.

Referensi

1. Anto, S., & Magriyanti, A. A. (2022). Perancangan sistem monitoring kualitas tanah sawah dengan parameter suhu dan kelembaban tanah menggunakan Arduino berbasis Internet of Things (IoT). *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 15(2), 234-241. <https://doi.org/10.51903/elkom.v15i2.896>
2. Ardianto, A. F., Rahmasari, E. S., & Pratama, A. P. (2025). Smart irrigation system berbasis IoT dengan sensor soil moisture dan DHT22 menggunakan sumber daya terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB 2025)*. <https://doi.org/10.47701/2p6nej88>
3. Bogena, H. R., Weuthen, A., & Huisman, J. A. (2022). Recent developments in wireless soil moisture sensing to support scientific research and agricultural management. *Sensors*, 22(24), 9792. <https://doi.org/10.3390/s22249792>
4. Comegna, A., Hassan, S. B. M., & Coppola, A. (2024). Development and application of an IoT-based system for soil water status monitoring in a soil profile. *Sensors*, 24(9), 2725. <https://doi.org/10.3390/s24092725>
5. Effendi, N., Handoko, D., Azim, F., & Farida, F. (2024). Rancangan sistem monitoring kelembapan tanah pembibitan kelapa sawit berbasis Internet of Things. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 5(2), 358-366. <https://doi.org/10.37859/coscitech.v5i2.7572>
6. Kurniawan, T. (2025). SIMPATIKA: Sistem pemantauan kelembaban tanah dan suhu pada budidaya mangga di Desa Sumberjaya Karawang. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, 13(1), 47-55. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v13i1.15563>
7. Kumari, S., Ali, N., Dagati, M., & Dong, Y. (2025). IoT-enabled soil moisture and conductivity monitoring under controlled and field fertigation systems. *AgriEngineering*, 7(7), 207. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7070207>
8. López, E., Vionnet, C., Ferrer-Cid, P., Barcelo-Ordinas, J. M., Garcia-Vidal, J., Contini, G., Prodolliet, J., & Maiztegui, J. (2022). A low-power IoT device for measuring water table levels and soil moisture to ease increased crop yields. *Sensors*, 22(18), 6840. <https://doi.org/10.3390/s22186840>
9. Melani, M., Khairman, & Ginting, R. B. (2026). Perancangan alat ukur kelembaban tanah menggunakan sensor soil moisture berbasis IoT untuk mendukung pertumbuhan bibit unggul kelapa sawit. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 5(1), 1274-1278. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v5i1.7399>
10. Patle, K. S., Panchal, V., Saini, R., Agrawal, Y., & Palaparthi, V. S. (2022). Temperature compensated and soil density calibrated soil moisture profiling sensor with multi-sensing point for in-situ agriculture application. *Measurement*, 201, 111703. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111703>
11. Prastiwi, Y., Pawestri, C. R. R., Putro, O. S., & Pramono, P. (2025). Development of a prototype IoT-based soil temperature and humidity monitoring system for shallot plants. *Tech: Journal of Engineering Science*, 1(1). <https://doi.org/10.69836/tech.v1i1.442>
12. Pulungan, W. A., & Priyana, F. R. (2025). Monitoring kelembaban tanah pada tanaman menggunakan sensor kelembaban tanah YL-69. *Jurnal Mutiara Elektromedik*, 9(1), 10-18.
13. Ramadan, L. M. A. H., Kamarati, K. F. A., Rositah, E., & Alim, N. (2025). Land suitability study for oil palm plantations on the Politani Samarinda oil palm experimental garden land. *Jurnal Agriment*, 10(1), 72-81.
14. Setiawan, I., Junaidi, J., Fadryani, F., & Amaliah, F. R. (2022). Internet of Things (IoT) for soil moisture detection using time series model. *Jurnal Online Informatika*, 7(2), 236-243. <https://doi.org/10.15575/join.v7i2.951>
15. Sutomo, B., Saputri, T. A., & Satria, I. W. (2025). Utilizing IoT technology for soil moisture management through integration of pH and moisture sensors in an Android application for rice farming. *International Journal Software Engineering and Computer Science*, 5(1), 248-258. <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v5i1.3538>

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.12889>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)