

Pengembangan Sistem Monitoring pH Tanah Berbasis IoT dan Python untuk Optimalisasi Budidaya Jambu Air

Muhammad Zen^{1*}, Sayuti Rahman²

¹ Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Sistem Komputer, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

² Program Pascasarjana, Magister Informatika, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}: muhammadzen@dosen.pancabudi.ac.id

Email: ²: masay.ram@gmail.com

(* Email Corresponding Author: muhammadzen@dosen.pancabudi.ac.id)

Received: September 23, 2025 | Revision: September 24, 2025 | Accepted: September 26, 2025

Abstrak

pH tanah merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi ketersediaan unsur hara dan produktivitas tanaman, termasuk pada budidaya jambu air. Pemantauan pH tanah secara konvensional masih memiliki keterbatasan, baik dari sisi akurasi, frekuensi pengukuran, maupun efisiensi tenaga. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring pH tanah berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi bahasa pemrograman Python sebagai pengolah data. Sensor pH tanah dihubungkan dengan mikrokontroler yang dilengkapi modul komunikasi untuk mengirimkan data secara real-time ke server. Data yang terkumpul kemudian diproses menggunakan Python untuk visualisasi, penyimpanan, serta analisis tren perubahan pH. Sistem ini diharapkan mampu memberikan informasi yang cepat, akurat, dan berkelanjutan guna mendukung konsep pertanian cerdas. Dengan adanya sistem monitoring ini, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan lahan, pemupukan, serta perawatan tanaman, khususnya dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas jambu air.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT), pH Tanah, Python, Pertanian Cerdas, Jambu Air

Abstract

Soil pH is a crucial parameter that directly affects nutrient availability, plant growth, and overall agricultural productivity. In the cultivation of *Syzygium aqueum* (water guava), maintaining an optimal soil pH range is essential to ensure healthy development and improve fruit quality. However, conventional soil pH measurement methods are still manual, time-consuming, and lack real-time monitoring capabilities. This research aims to develop an Internet of Things (IoT)-based soil pH monitoring system integrated with Python programming to support smart agriculture practices. The proposed system utilizes pH sensors connected to microcontrollers that transmit real-time data through IoT platforms, enabling farmers to access and monitor soil conditions remotely. Data collected are processed and visualized using Python, providing insights into soil acidity trends and supporting decision-making in cultivation management. This approach is expected to enhance efficiency, reduce the risk of improper soil treatment, and contribute to the adoption of precision farming in water guava cultivation.

Keywords: Internet of Things (IoT), Soil pH, Python, Smart Agriculture, Water Guava

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor penting yang menopang perekonomian Indonesia dan menjadi sumber penghidupan bagi sebagian besar masyarakat pedesaan [1]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan, kualitas dan kuantitas hasil pertanian dituntut untuk terus meningkat. Namun, dalam praktiknya, petani sering dihadapkan pada berbagai tantangan, mulai dari keterbatasan teknologi, fluktuasi iklim, hingga masalah kesuburan tanah. Salah satu faktor utama yang sering diabaikan, tetapi memiliki dampak besar terhadap produktivitas tanaman, adalah kondisi pH tanah.

pH tanah berperan penting dalam menentukan ketersediaan unsur hara dan kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi [2]. Tanah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat menghambat pertumbuhan tanaman, menurunkan kualitas hasil, bahkan menyebabkan tanaman rentan terhadap penyakit. Pada komoditas hortikultura, seperti jambu air, pH tanah yang tidak sesuai berpotensi menurunkan produktivitas serta memengaruhi kualitas buah yang dihasilkan [3]. Oleh karena itu, pemantauan pH tanah secara berkala menjadi salah satu langkah penting dalam mendukung praktik budidaya yang sehat dan berkelanjutan.

Selama ini, sebagian besar petani masih menggunakan cara konvensional untuk mengukur pH tanah, yaitu dengan alat ukur sederhana yang dilakukan secara manual [4]. Metode ini memang relatif murah dan mudah digunakan, tetapi memiliki banyak keterbatasan. Pertama, hasil pengukuran sering kali tidak konsisten dan dipengaruhi oleh keterampilan pengguna. Kedua, frekuensi pengukuran biasanya rendah karena membutuhkan waktu dan tenaga ekstra. Ketiga, data yang diperoleh tidak terdokumentasi dengan baik, sehingga sulit digunakan untuk analisis tren jangka panjang. Kondisi ini menyebabkan petani sering mengambil keputusan pemupukan atau perbaikan tanah tanpa dasar data yang kuat, yang pada akhirnya berisiko menurunkan hasil pertanian.

Dalam konteks inilah, perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), menghadirkan solusi yang menjanjikan [5]. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik, seperti sensor, untuk terhubung ke jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, mengirim, dan menyimpan data secara otomatis [6]. Dengan memanfaatkan sensor pH

tanah yang terhubung ke mikrokontroler, informasi mengenai kondisi tanah dapat diperoleh secara real-time tanpa harus melakukan pengukuran manual berulang-ulang. Data ini kemudian dapat diolah untuk memberikan gambaran yang lebih akurat dan berkelanjutan mengenai kondisi lahan pertanian.

Lebih lanjut, pemanfaatan bahasa pemrograman Python dalam sistem ini memberikan nilai tambah tersendiri [7]. Python dikenal sebagai bahasa yang fleksibel, mudah dipahami, serta memiliki banyak pustaka yang mendukung pengolahan data, machine learning, dan visualisasi. Dengan Python, data pH tanah yang dikumpulkan dari sensor IoT tidak hanya dapat ditampilkan secara sederhana, tetapi juga bisa dianalisis lebih dalam, misalnya untuk melihat tren perubahan pH, memberikan rekomendasi perbaikan, hingga memprediksi kebutuhan pemupukan di masa depan [8].

Integrasi IoT dan Python dalam sistem monitoring pH tanah sejalan dengan konsep pertanian cerdas (smart agriculture) [9]. Pertanian cerdas menekankan pemanfaatan teknologi informasi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian. Melalui sistem ini, petani dapat memantau kondisi lahan mereka dengan lebih efektif, mengambil keputusan yang berbasis data, serta mengurangi risiko kesalahan akibat perkiraan manual. Selain itu, akses data secara real-time memungkinkan petani melakukan tindakan korektif lebih cepat, sehingga dapat meminimalkan potensi kerugian.

Jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, sebagian besar studi tentang IoT di bidang pertanian masih terfokus pada aspek monitoring kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, atau intensitas cahaya [10]. Hanya sedikit yang menyoroti secara khusus pemantauan pH tanah dengan integrasi penuh ke dalam sistem komputasi modern. Begitu juga di sisi lain, penelitian yang membahas analisis data pertanian berbasis Python umumnya masih terpisah dari sistem IoT. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada penyatuan kedua aspek tersebut dalam satu sistem utuh, yang tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur otomatis, tetapi juga sebagai sistem analisis cerdas.

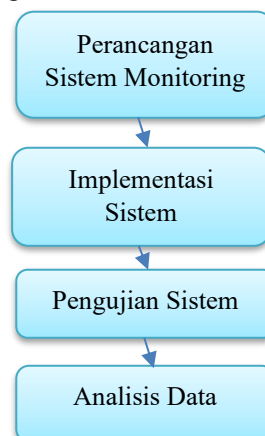
Dampak dari sistem monitoring ini tidak hanya terasa pada tingkat teknis, tetapi juga pada aspek sosial dan ekonomi. Dengan data yang lebih akurat, petani dapat menggunakan pupuk secara lebih tepat, sehingga biaya produksi dapat ditekan dan risiko pencemaran lingkungan akibat pemupukan berlebih dapat dikurangi. Produktivitas yang meningkat akan berdampak pada peningkatan kesejahteraan petani, sementara keberlanjutan lingkungan tetap terjaga. Pada akhirnya, sistem ini dapat menjadi salah satu solusi konkret dalam mewujudkan pertanian yang adaptif, modern, dan berkelanjutan di Indonesia.

Berdasarkan uraian tersebut, jelas bahwa ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan sistem monitoring pH tanah berbasis IoT dengan dukungan Python. Penelitian ini hadir sebagai upaya menjawab kebutuhan tersebut dengan merancang, membangun, dan menguji sebuah sistem yang dapat memberikan data pH tanah secara real-time, sekaligus menyajikan hasil analisis yang bermanfaat bagi petani. Diharapkan, sistem ini tidak hanya relevan bagi budidaya jambu air, tetapi juga dapat diperluas penggunaannya pada berbagai komoditas pertanian lainnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini menggambarkan alur kegiatan yang dilakukan dalam pengembangan sistem monitoring pH tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan bahasa pemrograman Python. Penelitian dimulai dari tahap perancangan sistem monitoring, yaitu dengan mendesain arsitektur yang menghubungkan sensor pH tanah dengan mikrokontroler serta modul komunikasi untuk pengiriman data.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Langkah-langkah penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu:

1. **Perancangan Sistem Monitoring-** meliputi pemetaan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem monitoring pH tanah.
2. **Implementasi Sistem** - proses integrasi sensor pH tanah dengan mikrokontroler dan koneksi ke jaringan internet.
3. **Pengujian Sistem** - pengujian dilakukan agar mendapatkan nilai pH yang akurat setelah proses kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan dengan alat ukur pH lain.
4. **Analisis Data** - analisis data dilakukan setelah hasil monitoring divisualisasikan dalam bentuk grafik, kemudian dievaluasi keandalannya berdasarkan konsistensi pembacaan sensor.

2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen berbasis pengembangan sistem Internet of Things (IoT) [11] yang difokuskan pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring pH tanah.

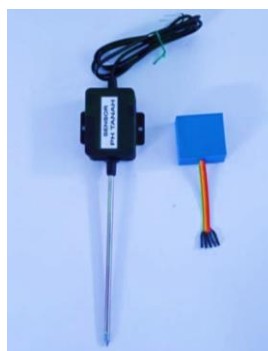
2.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi sensor pH tanah, mikrokontroler (misalnya ESP32 atau Arduino), modul komunikasi nirkabel, serta perangkat lunak Python untuk pengolahan data [12]. Bahan penelitian berupa sampel tanah yang diambil dari media tanam pohon buah, khususnya jambu air, yang digunakan untuk menguji konsistensi dan keakuratan sistem.



Gambar 2. ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler generasi terbaru yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT). Perangkat ini dilengkapi dengan prosesor yang cepat, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, serta konsumsi daya yang relatif rendah. Keunggulan tersebut membuat ESP32 sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi, mulai dari otomasi rumah, perangkat wearable, hingga sistem monitoring berbasis sensor [13]. Dalam penelitian ini, ESP32 dipilih karena kemampuannya untuk membaca data dari sensor pH tanah secara real-time sekaligus mengirimkan informasi tersebut ke komputer atau server melalui jaringan nirkabel. Dengan demikian, ESP32 tidak hanya berperan sebagai pengendali utama, tetapi juga sebagai jembatan komunikasi antara perangkat keras sensor dengan perangkat lunak berbasis Python yang digunakan untuk analisis data.



Gambar 3. Sensor pH Tanah

Dalam praktiknya, sensor pH tanah sering kali menghasilkan data yang berfluktuasi akibat kondisi lingkungan, kelembapan tanah, atau gangguan listrik pada saat pembacaan [14]. Oleh karena itu, sistem ini dipadukan dengan Data Measurement System (DMS) agar nilai pH yang diperoleh lebih stabil dan reliabel [15]. DMS bekerja dengan cara melakukan penyaringan (filtering) dan pengambilan data berulang (sampling) sehingga fluktuasi ekstrem dapat dikurangi, lalu nilai rata-rata yang lebih representatif dipilih sebagai hasil akhir. Selain itu, DMS juga memastikan data yang direkam bersifat konsisten dan dapat dilacak kembali karena tersimpan secara sistematis. Dengan dukungan DMS, hasil pengukuran pH tanah tidak hanya lebih akurat tetapi juga siap digunakan sebagai dasar analisis lebih lanjut menggunakan Python untuk pemantauan jangka panjang maupun prediksi kondisi tanah.

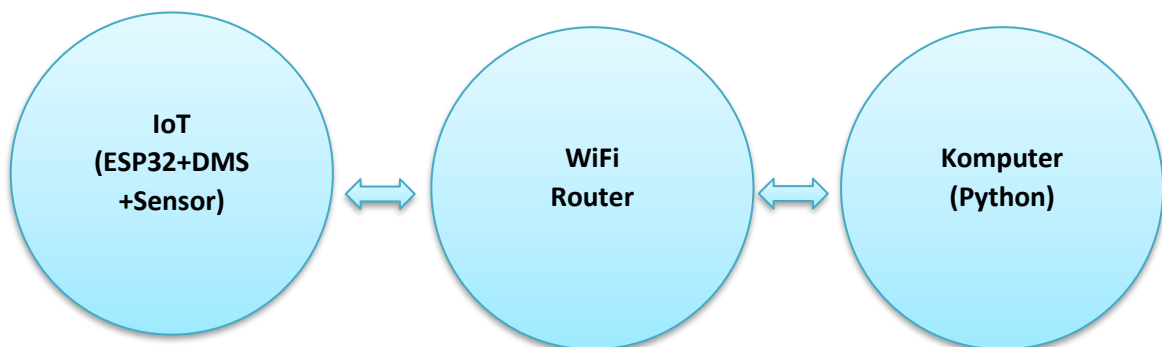
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Sistem IoT Monitoring pH Tanah

Perancangan sistem monitoring pH tanah pada penelitian ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Pemilihan ESP32 didasarkan pada sejumlah keunggulan teknis yang dimilikinya, antara lain tersedianya modul WiFi dan Bluetooth bawaan, prosesor dual-core dengan kecepatan hingga 240 MHz, serta kemampuan membaca sinyal analog dengan resolusi 12-bit. Hal ini menjadikan ESP32 lebih fleksibel dibandingkan dengan mikrokontroler konvensional seperti Arduino Uno yang masih memerlukan modul tambahan untuk komunikasi nirkabel.

Selain ESP32, digunakan sensor pH tanah yang dilengkapi dengan Data Measurement System (DMS). Sistem ini berfungsi untuk menstabilkan hasil pembacaan sehingga data yang dihasilkan lebih konsisten. Dalam konteks penelitian ini, DMS membantu mengurangi noise akibat faktor eksternal seperti fluktuasi suhu, kelembapan tanah, maupun gangguan listrik dari lingkungan. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan secara berkala melalui jaringan WiFi ke server lokal. Visualisasi data dibuat dalam bentuk grafik sehingga memudahkan interpretasi perubahan pH tanah dalam rentang waktu tertentu.

Desain ini merupakan langkah awal menuju sistem pertanian cerdas (smart farming), di mana sensor mampu memberikan informasi real-time kepada petani atau peneliti. Dengan demikian, keberadaan sistem monitoring berbasis ESP32 ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi murah, fleksibel, dan mudah diimplementasikan pada skala rumah tangga maupun pertanian komersial.



Gambar 4. Skema Koneksi IoT – WiFi - Komputer

3.2 Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi sensor pH merupakan tahapan krusial agar hasil pengukuran sesuai dengan nilai sebenarnya. Sensor pH yang digunakan dalam penelitian ini dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar pH 7.00 dan pH 4.00. Dua titik kalibrasi dipilih karena mampu memberikan representasi linier dari respon sensor pada rentang pH yang umum dijumpai pada tanah.

Sebelum kalibrasi, sensor menunjukkan pembacaan dengan deviasi cukup besar, di mana hasil pengukuran pada larutan buffer pH 7.00 cenderung bergeser ke arah 7.3 – 7.5. Setelah dilakukan kalibrasi, diperoleh persamaan regresi linier:

$$pH = -0.0386 \times ADC + 16.030$$

Persamaan ini diterapkan dalam sistem ESP32 untuk mengubah nilai ADC (Analog to Digital Converter) menjadi nilai pH yang lebih akurat. Proses kalibrasi ini tidak hanya meningkatkan akurasi, tetapi juga memperbaiki

konsistensi hasil pengukuran. Dengan demikian, data yang diperoleh dapat diandalkan sebagai dasar analisis kondisi tanah.

Penting untuk dicatat bahwa kalibrasi perlu dilakukan secara berkala, mengingat sensor pH tanah cenderung mengalami drift akibat faktor usia elektroda, kontaminasi tanah, maupun kondisi lingkungan. Untuk memudahkan pengguna, penelitian ini juga menambahkan menu kalibrasi berbasis webserver sehingga proses kalibrasi dapat dilakukan dengan antarmuka yang sederhana tanpa perlu memodifikasi kode secara manual.

3.3 Interpretasi terhadap Pertumbuhan Jambu Air

Tanaman jambu air (*Syzygium aqueum*) tumbuh optimal pada kondisi tanah dengan pH 5.5 – 7.5. Dengan hasil monitoring pada kisaran 6.8 – 7.1, dapat dikatakan bahwa kondisi tanah dalam penelitian ini berada pada zona ideal. Hal ini berarti akar tanaman dapat menyerap unsur hara secara efektif, baik makro (N, P, K) maupun mikro (Fe, Mn, Zn, Cu).

Kondisi pH netral yang terjaga juga membantu mencegah terjadinya fiksasi unsur hara di dalam tanah. Misalnya, pada pH terlalu rendah (asam), unsur logam berat seperti Al dan Fe bisa menjadi toksik, sedangkan pada pH terlalu tinggi (basa), unsur mikro cenderung tidak tersedia. Dengan pH yang stabil mendekati netral, risiko tersebut dapat dihindari sehingga tanaman jambu air memiliki peluang tumbuh dengan baik dan menghasilkan buah berkualitas.

3.4 Hasil Implementasi Sistem

Pada tahap ini, sistem monitoring pH tanah berhasil dibangun menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan sensor pH tanah. Data hasil pengukuran dikirimkan secara real-time melalui koneksi Wi-Fi ke server lokal yang ditangani oleh Python. Sistem dilengkapi dengan Data Measurement System (DMS) sehingga data pH yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dengan pembacaan sensor secara mentah.

Antarmuka monitoring sederhana juga dikembangkan menggunakan Python, yang menampilkan data pH dalam bentuk tabel serta grafik tren waktu nyata (real-time trend chart). Hal ini memungkinkan pengguna untuk dengan cepat melihat dinamika perubahan pH tanah pada pohon jambu air di lokasi pengujian.

3.5 Analisis Data Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran selama periode observasi menunjukkan bahwa nilai pH tanah berada pada kisaran 6.8 hingga 7.1. Grafik monitoring memperlihatkan tren yang relatif stabil, dengan fluktuasi kecil sekitar ± 0.2 sepanjang hari.

Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah dalam keadaan netral hingga sedikit asam, yang umumnya merupakan kondisi ideal bagi banyak jenis tanaman hortikultura termasuk jambu air. Rentang pH ini memungkinkan ketersediaan unsur hara makro maupun mikro berada pada tingkat optimal, sehingga mendukung penyerapan nutrisi oleh akar tanaman.

Stabilitas hasil monitoring juga mengindikasikan bahwa sistem berbasis ESP32 yang dilengkapi dengan DMS bekerja dengan baik dalam menjaga konsistensi pengukuran. Dibandingkan dengan metode manual, sistem ini jelas lebih efisien karena mampu memberikan data real-time yang berkesinambungan tanpa perlu pengukuran berulang secara manual.

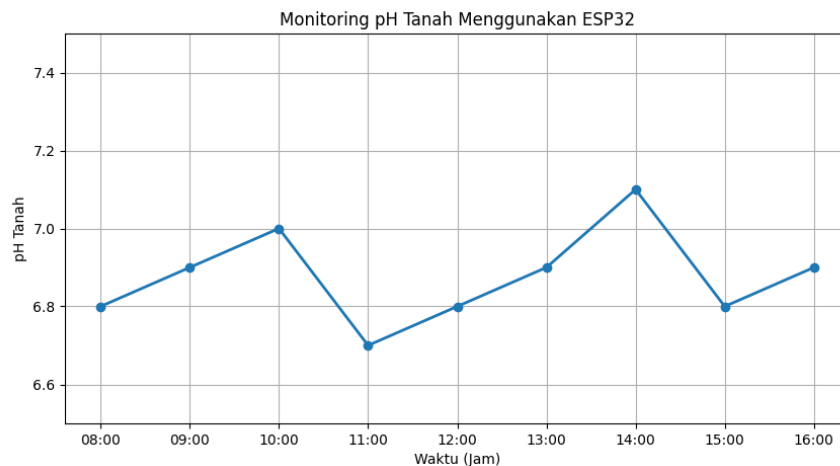


Gambar 5. Implementasi Sensor pH Tanah

3.6 Analisis Data Hasil Pengukuran

Implementasi sistem ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan sensor pH tanah dapat memberikan solusi praktis untuk pemantauan kesehatan tanah di skala rumah tangga maupun lahan pertanian kecil. Keunggulan utama dari penelitian ini adalah penggunaan ESP32 yang hemat energi, dukungan Python sebagai platform analisis data yang fleksibel, serta DMS untuk menstabilkan hasil pengukuran.

Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya monitoring berbasis IoT untuk mendukung pertanian cerdas (*smart farming*). Namun, kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan DMS dalam pembacaan sensor pH tanah, yang membuat hasil lebih stabil dan layak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.



Gambar 6. Grafik Monitoring pH Tanah

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring pH tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dan sensor pH memiliki potensi besar dalam mendukung praktik pertanian cerdas. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa data pH tanah yang diperoleh secara langsung dari sensor cenderung berfluktuasi karena adanya gangguan atau noise, sehingga sulit dijadikan dasar pengambilan keputusan secara tepat. Namun, setelah data tersebut diproses menggunakan Data Measurement System (DMS), hasil pengukuran menjadi lebih stabil dan representatif, yang pada akhirnya memberikan gambaran kondisi pH tanah secara lebih akurat. Stabilitas ini penting karena pH tanah merupakan faktor krusial yang memengaruhi ketersediaan unsur hara, pertumbuhan tanaman, dan produktivitas hasil panen, termasuk pada komoditas jambu air yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu mengurangi ketidakpastian dalam pengukuran, tetapi juga menawarkan solusi praktis bagi petani untuk memantau kondisi lahannya secara real-time. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi IoT, sensor pH, dan DMS dapat menjadi fondasi penting dalam pengembangan sistem monitoring tanah yang efisien, adaptif, dan mendukung peningkatan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] S. I. Kusumaningrum, "Pemanfaatan sektor pertanian sebagai penunjang pertumbuhan perekonomian indonesia," *Transaksi*, vol. 11, no. 1, pp. 80–89, 2019.
- [2] H. Karamina, W. Fikrinda, and A. T. Murti, "Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai pH tanah di perkebunan jambu biji varietas kristal (*Psidium guajava* l.) Bumiaji, Kota Batu," *Kultivasi*, vol. 16, no. 3, 2017.
- [3] D. B. Siagian, R. Rahmawaty, and A. Anwar, "Respon pertumbuhan tanaman jambu air madu (*Syzygium aqueum*) dengan beberapa taraf pemberian air dan Pupuk kompos kotoran ayam pada tanah Ultisol," *Agril. J. Ilmu Pertan.*, vol. 8, no. 1, pp. 6–11, 2020.
- [4] V. F. S. Vera, R. Ekawita, and E. Yuliza, "Desain bangun pH tanah digital berbasis arduino uno," *J. Online Phys.*, vol. 7, no. 1, pp. 36–41, 2021.
- [5] Evi Triana, Ade Zulkarnain Hasibuan, Arnes Sembiring, and Yessi Fitri Annisah Lubis, "Prototipe Alat Pakan Ternak Ayam Otomatis Dua Sisi Berbasis Mikrokontroler," *J. Komput. Teknol. Inf. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 130–137, 2022, doi: 10.62712/juktisi.v1i2.46.
- [6] A. Maulida, Choirunnisa Safa Fayzalmi, Faiz Ata Choirul Anaam, Dikhi Ardiansyah, Muhamad Ariel Gunawan, and Nur Ridwan, "Design of IoT-Based Smart Trash Bin Monitoring Using ESP32 and Firebase," *J. Komput. Teknol. Inf. Sist. Inf.*,

- vol. 4, no. 2, pp. 420–428, 2025, doi: 10.62712/juktisi.v4i2.420.
- [7] G. Tanganelli, C. Vallati, and E. Mingozzi, “CoAPthon: Easy development of CoAP-based IoT applications with Python,” in *2015 IEEE 2nd world forum on internet of things (WF-IoT)*, IEEE, 2015, pp. 63–68.
- [8] S. Rahman, A. Sembiring, D. Siregar, I. G. Prahmana, R. Puspadini, and M. Zen, “Python: Dasar Dan Pemrograman Berorientasi Objek,” *Penerbit Tahta Media*, 2023.
- [9] S. H. Haji and A. B. Sallow, “IoT for smart environment monitoring based on Python: a review,” *Asian J. Res. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 57–70, 2021.
- [10] R. Ginanjar, R. Candra, and S. B. Kembaren, “Kendali Dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya Untuk Tanaman Tomat,” *J. Ilm. Inform. Komput.*, vol. 23, no. 3, pp. 166–174, 2020.
- [11] G. C. Hillar, *Internet of things with python*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [12] M. N. Gani, H. Ludiyati, R. Hanifatunnisa, E. Mozef, and R. N. Ananti, “Sistem Pemantauan Kelembaban Tanah Jarak Jauh Berbasis LoRa Menggunakan Sensor pH dan Kelembaban,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 22, no. 2, pp. 153–161, 2023.
- [13] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, “Design and implementation of ESP32-based IoT devices,” *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, 2023.
- [14] Z. R. Tembusai and B. Armando, “Sistem monitoring kualitas tanah tanaman hias berbasis IoT dengan sensor pH,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, pp. 2030–2035, 2024.
- [15] H. A. Melati, “Development of pH Measuring Strip Test Based On West Kalimantan Local Plant,” *EduChemia*, 2025.