

SKRIPSI

**SISTEM MONITORING SUHU, KELEMBABAN,
DAN PH TANAH MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
INTERNET OF THINGS (IOT)**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :
I Gusti Kade Arya Diatmika
NIM. 2115344037

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Pemantauan kondisi tanah secara akurat dan real-time sangat penting untuk mendukung pengelolaan pertanian yang efektif, namun metode konvensional sering memerlukan waktu dan biaya besar. Penelitian ini merancang dan membangun sistem monitoring suhu, kelembaban, dan pH tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor tanah 3-in-1, dan sensor DHT22. Data hasil pembacaan dikirim melalui koneksi WiFi ke Firebase Realtime Database menggunakan modul WiFiManager untuk konfigurasi jaringan dinamis, serta ditampilkan secara lokal pada LCD TFT melalui ESP32 kedua. Sistem dijalankan secara paralel menggunakan FreeRTOS, sedangkan aplikasi Android berbasis Flutter digunakan untuk menampilkan data real-time, riwayat, dan grafik tren. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan data sensor terhadap alat ukur manual untuk menghitung persentase error, serta mengukur latency pengiriman data ke aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan sensor tanah 3-in-1 memiliki rata-rata error 4,54% untuk suhu tanah, 7,41% untuk kelembaban tanah, dan 3,04% untuk pH tanah, sedangkan sensor DHT22 memiliki rata-rata error 4,39% untuk suhu udara dan 5,06% untuk kelembaban udara. Pengujian delay menunjukkan rata-rata waktu tunda sebesar 1,32 detik. Sistem mampu bekerja stabil dan memberikan informasi real-time yang dapat diakses jarak jauh, sehingga dapat menjadi solusi praktis dan ekonomis dalam mendukung pemantauan kondisi tanah untuk pertanian presisi.

Kata kunci: IoT, ESP32, suhu tanah, kelembaban tanah, pH tanah, Firebase, FreeRTOS.

ABSTRACT

Accurate and real-time monitoring of soil conditions is essential to support effective agricultural management, while conventional methods often require considerable time and cost. This study designed and developed an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring soil temperature, soil moisture, and soil pH using an ESP32 microcontroller, a 3-in-1 soil sensor, and a DHT22 sensor. Measurement data are transmitted via WiFi to the Firebase Realtime Database using the WiFiManager module for dynamic network configuration and displayed locally on a TFT LCD through a second ESP32. The system runs in parallel using FreeRTOS, while an Android application built with Flutter is used to display real-time data, history, and trend graphs. Quantitative analysis was carried out by comparing sensor readings with manual measuring instruments to calculate the percentage error and measuring the data transmission latency to the application. The test results showed that the 3-in-1 soil sensor had an average error of 4.54% for soil temperature, 7.41% for soil moisture, and 3.04% for soil pH, while the DHT22 sensor had an average error of 4.39% for air temperature and 5.06% for air humidity. Delay testing showed an average latency of 1.32 seconds. The system is proven to operate stably and provide real-time information accessible remotely, making it a practical and economical solution to support soil condition monitoring for precision agriculture.

Keywords: *IoT, ESP32, soil temperature, soil moisture, soil pH, Firebase, FreeRTOS.*

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian`	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	6
2.2. Landasan Teori	7
2.2.1. Definisi Tanah.....	7
2.2.2. Sensor Soil 3 in 1 Pengukur Suhu, Kelembaban pH Tanah	9
2.2.3. Converter RS 485 ke TTL	10
2.2.4. Mikrokontroler ESP32	10
2.2.5. LCD TFT	12
2.2.6. Teknologi Internet of Things (IoT).....	14
2.2.7. Firebase Realtime Database.....	15
2.2.8. Alat Ukur Soil Meter Analyzer.....	16
2.2.9. Hygrometer Thermometer Digital	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1. Metode Penelitian	18
3.2. Perancangan Alat	19
3.2.1. Rancangan Hardware	19
3.2.2. Rancangan Software	25
3.3. Pembuatan Alat.....	28
3.3.1. Alat dan Bahan.....	28
3.4. Analisa Hasil Penelitian.....	29
3.4.1. Perhitungan Error Sensor.....	30
3.4.2. Latency Pengiriman Data ke Aplikasi	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Implementasi.....	32
4.1.1. Implementasi Hardware	33
4.1.2. Implementasi Software	34
4.2. Pegujian Alat.....	42
4.2.1. Pengujian Mikrokontroler.....	42
4.2.2. Pengujian LCD 3.5 Inch SPI Module ILI9488	43
4.2.3. Pengujian DHT-22	44
4.2.4. Pengujian Sensor Soil 3 in 1	44
4.3. Pengujian Parameter – Parameter yang diamati	45
4.3.1. Hasil Pengujian Sample Tanah	45
4.3.2. Hasil Pengujian dan pengambilan Data Sensor DHT-22.....	51
4.3.3. Pengujian Delay Pengiriman Data Hingga Muncul di Aplikasi	53
4.4. Pembahasan Hasil Implementasi dan Pengujian	54
4.4.1. Analisa Cara Kerja Sistem	54
4.4.2. Analisa Pengujian Error Sensor Tanah	55
4.4.3. Analisa Pengujian Error Sensor DHT-22	56
4.4.4. Analisa Delay Data masuk ke Aplikasi	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor suhu, kelembaban, dan Ph Tanah	9
Gambar 2. 2 RS485 to TTL.....	10
Gambar 2. 3 Mikrokontroler ESP32	11
Gambar 2. 4 LCD TFT 3.5 inch	13
Gambar 2. 5 Ilustrasi Penggunaan Teknologi Internet of Things	15
Gambar 2. 6 Firebase Cloud Database	16
Gambar 2. 7 Soil Meter Analyzer	17
Gambar 2. 8 Hygrometer Thermometer Digital.....	17
Gambar 3. 1 Flowchart Alur penelitian.....	18
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Hardware.....	20
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Hardware	21
Gambar 3. 4 Skema Wiring Diagram Hardware	22
Gambar 3. 5 (a) Tampak Perspektif, (b) Tampak depan, (c) Tampak samping kiri,	24
Gambar 3. 6 Rancangan Flowchart Aplikasi	25
Gambar 3. 7 Rancangan Aplikasi.....	26
Gambar 3. 8 Rancangan Stuktur Database.....	27
Gambar 4. 1 (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang, (c) Tampak Samping Kiri, (d) Tampak Samping Kanan.....	34
Gambar 4. 2 Gambar konfigurasi kredensial autentikasi firebase	35
Gambar 4. 3 Task yang dijalankan.....	36
Gambar 4. 4 Pengiriman Data ke Firebase Database	36
Gambar 4. 5 Mengirim Data ke ESP32 Display	37
Gambar 4. 6 Data yang disimpan di Firebase Database.....	38
Gambar 4. 7 Tampilan antarmuka utama aplikasi yang menampilkan data	39
Gambar 4. 8 Tampilan halaman riwayat data berdasarkan tanggal yang dipilih	40
Gambar 4. 9 Tampilan halaman grafik tren data sensor dalam aplikasi Flutter.....	41
Gambar 4. 10 Deteksi Board info pada Arduino IDE	42
Gambar 4. 11 Output Terminal mengenali mikrokontroler	43
Gambar 4. 12 Pengujian LCD TFT	43
Gambar 4. 13 Serial Monitor Pengujian Sensor DHT-22	44
Gambar 4. 14 Serial Monitor Pengujian Sensor Soil 3 in 1	45

DAFTAR TABEL

Table 3. 1	Inisialisasi Pin Komponen Pada ESP32.....	23
Table 3. 2	Inisialisasi Pin Komponen Pada RS485 to Serial	23
Table 3. 3	Komponen yang dipakai	28
Table 3. 4	Software yang digunakan.....	29
Table 3. 5	Alat yang digunakan	29
Table 3. 6	Tabel Perhitungan Error Sensor Tanah.....	30
Table 3. 7	Tabel Perhitungan Error Sensor DHT22.....	31
Table 3. 8	Pengujian Latency Pengiriman Data ke Aplikasi	31
Table 4. 1	Data Pengujian Tanah Subur Buatan	46
Table 4. 2	Data Pengujian Tanah Humus.....	47
Table 4. 3	Data Pengujian Tanah Lempung.....	49
Table 4. 4	Data Pengujian Tanah Sawah	50
Table 4. 5	Data Pengujian Sensor DHT-22.....	52
Table 4. 6	Hasil Pengujian Delay Data Muncul ke Aplikasi	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor pertanian merupakan salah satu pilar utama dalam menjamin ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat, karena menyediakan bahan pangan yang menjadi kebutuhan dasar manusia [1]. Keberhasilan budidaya tanaman tidak hanya ditentukan oleh faktor genetis tanaman itu sendiri, tetapi juga sangat bergantung pada kualitas tanah dan kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh. Parameter penting yang berpengaruh terhadap produktivitas tanaman meliputi suhu tanah, kelembaban tanah, tingkat keasaman (pH) tanah, serta faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban udara [2].

Kualitas tanah yang tidak optimal dapat menurunkan kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara, sehingga menghambat pertumbuhan dan menurunkan hasil panen. Misalnya, pH tanah yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengurangi ketersediaan unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium [3]. Demikian pula, kelembaban tanah yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman kekurangan air, sedangkan kelembaban yang terlalu tinggi dapat memicu pembusukan akar. Oleh karena itu, pemantauan parameter-parameter ini menjadi sangat krusial, baik untuk pertanian di lahan terbuka maupun di lingkungan terkendali seperti greenhouse.

Pada greenhouse, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban udara dapat diatur melalui sistem ventilasi, pendingin, atau pemanas. Namun, meskipun udara dapat dikontrol, kondisi tanah tetap harus diawasi dengan ketat karena media tanam adalah tempat utama akar menyerap nutrisi. Kelembaban udara yang tinggi dapat mengurangi laju penguapan air dari tanah, sedangkan suhu udara yang tinggi dapat mempercepat penguapan tersebut [2]. Interaksi kedua faktor ini, bersama pH dan kelembaban tanah, akan membentuk kondisi media tanam yang secara langsung mempengaruhi kesehatan tanaman.

Metode konvensional dalam memantau kondisi tanah, seperti pengambilan sampel dan pengujian laboratorium, memang mampu memberikan hasil yang akurat, tetapi memiliki kelemahan dalam hal kecepatan dan efisiensi. Proses ini memerlukan waktu yang cukup lama, mulai dari pengambilan sampel hingga keluarnya hasil analisis, dan sering kali membutuhkan biaya yang tidak sedikit [4]. Dalam budidaya tanaman, terutama di greenhouse dengan siklus pertumbuhan cepat, keterlambatan informasi ini dapat mengurangi peluang untuk melakukan intervensi tepat waktu.

Kemajuan teknologi informasi telah membuka peluang baru melalui penerapan Internet of Things (IoT), yaitu konsep di mana perangkat fisik saling terhubung dan dapat bertukar data melalui jaringan internet [5]. IoT memungkinkan proses pemantauan kondisi tanah dilakukan secara otomatis dan real-time, sehingga petani atau pengelola dapat mengakses informasi tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Penelitian [6] menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam pemantauan suhu dan kelembaban tanah pada tanaman padi dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan, sedangkan [7] mengungkapkan bahwa IoT mampu mengurangi ketergantungan pada metode manual dan mempercepat pengambilan keputusan terkait pengelolaan air, pemupukan, dan pengendalian hama.

Selain itu, penelitian [8] membuktikan bahwa teknologi IoT dapat memantau pH tanah secara efektif, memberikan data yang cepat dan mudah diakses untuk pengambilan keputusan yang tepat. Penggunaan sensor seperti DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor tanah 3-in-1 untuk mengukur suhu tanah, kelembaban tanah, dan pH, memungkinkan integrasi pemantauan parameter lingkungan dan media tanam dalam satu sistem yang saling melengkapi. Dengan sistem ini, pengelola greenhouse dapat mengetahui kondisi aktual media tanam kapan saja, bahkan dari jarak jauh.

Salah satu keunggulan utama sistem monitoring berbasis IoT adalah kemampuannya menyajikan data secara real-time. Hal ini memberikan kesempatan bagi pengelola untuk segera melakukan penyesuaian apabila ditemukan kondisi yang kurang ideal. Penelitian [9][10][11] menunjukkan bahwa integrasi sensor dan IoT telah membantu meningkatkan produktivitas pertanian dengan memberikan informasi yang akurat dan dapat diakses kapan saja. Bahkan pada skala kecil atau prototipe, sistem ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan teknologi pertanian presisi yang lebih kompleks di masa mendatang.

Dalam konteks greenhouse, data dari sistem monitoring dapat dimanfaatkan untuk merencanakan strategi pemupukan, mengatur jadwal irigasi, atau mengantisipasi perubahan kondisi lingkungan yang berpotensi merugikan tanaman. Firebase Realtime Database, seperti yang dijelaskan pada penelitian [12], dapat digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor secara real-time, sehingga dapat diakses oleh banyak pengguna sekaligus dengan sinkronisasi otomatis. Hal ini memastikan bahwa informasi yang diterima selalu terbaru, tanpa jeda yang signifikan.

Dalam penelitian ini, sistem monitoring berbasis IoT dirancang agar dapat digunakan pada greenhouse maupun lahan terbuka. Namun, pengujian dilakukan di lingkungan uji terbatas yang memiliki kondisi menyerupai greenhouse pada skala kecil, karena keterbatasan fasilitas. Fokus penelitian adalah pada pengujian fungsi sistem monitoring, sehingga secara prinsip sistem ini dapat diaplikasikan pada greenhouse komersial maupun skala rumah tangga di masa depan. Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan penelitian yang mampu merancang dan menguji sistem pemantauan kondisi tanah dan udara secara real-time, dengan tujuan menghasilkan perangkat yang akurat, mudah diakses, dan ekonomis, sehingga dapat mendukung pengelolaan tanaman secara lebih efisien dan tepat waktu.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya, berikut adalah rumusan masalah terkait hal tersebut.

- a. Bagaimana merancang sistem IoT yang terintegrasi untuk memantau (suhu, kelembaban, dan pH) tanah, suhu udara, dan kelembaban udara secara real-time?
- b. Bagaimana efektifitas sistem IoT yang terintegrasi untuk memantau (suhu, kelembaban, dan pH) tanah, suhu udara, dan kelembaban udara secara real-time?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian tetap terarah sesuai tujuan dan relevan dengan konteks permasalahan, beberapa pembatasan diterapkan dalam kajian ini.

- a. Penelitian hanya berfokus pada pemantauan tiga parameter tanah yaitu suhu, kelembaban, dan pH.
- b. Pengujian sistem dilakukan di lingkungan uji terbatas yang menyerupai kondisi greenhouse skala kecil, namun tidak dilakukan pada greenhouse komersial sebenarnya.
- c. Sistem IoT dirancang hanya berupa prototype yang diterapkan pada lahan terbatas, perlu penelitian lebih lanjut jika diterapkan pada lahan yang lebih luas
- d. Pengelolaan data menggunakan Firebase Realtime Database untuk penyimpanan dan akses jarak jauh secara *real-time*.
- e. Penelitian tidak membahas secara mendetail tantangan keamanan data atau biaya implementasi skala besar.

- f. Analisis yang dilakukan mencakup pengujian akurasi sensor, waktu respons sistem, dan stabilitas koneksi, tanpa membahas analisis agronomis mendalam terkait peningkatan hasil panen.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari latar belakang dan rumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

- a. Dapat merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT yang terintegrasi untuk memantau suhu, kelembaban, dan pH tanah di lahan sawah secara real-time.
- b. Dapat menguji efektivitas dan akurasi sistem IoT dalam menyediakan data real-time untuk pengambilan keputusan pemupukan dan irigasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi inovatif dalam pemantauan unsur hara tanah melalui integrasi teknologi IoT. Adapun tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut

- a. Memberikan petani akses ke data real-time tentang kondisi tanah, sehingga memudahkan pengambilan keputusan terkait irigasi, pemupukan, dan pencegahan kerusakan tanaman.
- b. Mengurangi ketergantungan pada metode konvensional yang memakan waktu dan biaya, seperti pengambilan sampel manual dan uji laboratorium
- c. Memberikan dasar untuk penelitian lanjutan terkait integrasi teknologi AI atau machine learning dengan sistem IoT untuk prediksi kondisi tanah.

1.6. Sistematika Penulisan

Agar isi skripsi dapat tersampaikan dengan runtut dan mudah dipahami, penulisannya disusun ke dalam beberapa bab yang saling berkaitan. Secara garis besar, sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. BAB I Pendahuluan

Bab ini menguraikan gambaran awal penelitian, dimulai dari latar belakang masalah yang melandasi dilakukannya penelitian, perumusan dan batasan masalah, tujuan serta manfaat yang ingin dicapai, hingga penjelasan mengenai sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

b. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi kajian literatur yang mendukung penelitian, mencakup hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan dan teori-teori dasar yang menjadi landasan. Pada bab ini juga dijelaskan konsep teknologi Internet of Things (IoT), sensor yang digunakan, serta prinsip-prinsip yang berkaitan dengan sistem monitoring suhu, kelembaban, dan pH tanah.

c. BAB III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang ditempuh selama penelitian. Di dalamnya mencakup metode perancangan sistem, pembuatan dan perakitan prototipe, rancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta metode pengujian yang dilakukan untuk memperoleh data yang valid.

d. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil implementasi dari sistem yang telah dibuat. Penjelasan meliputi uraian mengenai perangkat keras dan perangkat lunak, hasil pengujian alat dan sensor, analisis terhadap data yang diperoleh, serta pembahasan mengenai kinerja sistem monitoring yang dikembangkan.

e. BAB V Penutup

Bab ini memuat kesimpulan yang ditarik dari hasil penelitian serta saran yang dapat dijadikan acuan atau masukan untuk penelitian berikutnya, baik untuk penyempurnaan sistem maupun pengembangan lebih lanjut di bidang yang sama.

f. Daftar Pustaka

Bab terakhir berisi daftar referensi yang digunakan sebagai acuan dalam penyusunan skripsi, baik berupa buku, jurnal, artikel, maupun sumber ilmiah lain yang relevan.

g. Lampiran

Lampiran berisi data dan informasi pendukung penelitian yang tidak dimasukkan ke dalam bab utama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan serangkaian pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem monitoring suhu, kelembaban, dan pH tanah berbasis Internet of Things (IoT), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sistem yang dirancang berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor tanah 3-in-1 untuk mengukur suhu tanah, kelembaban tanah, dan pH tanah, serta sensor DHT22 untuk mengukur suhu udara dan kelembaban udara. Data hasil pengukuran dapat dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan secara real-time baik melalui LCD 3,5 inci maupun aplikasi Flutter di smartphone. Dengan demikian, sistem mampu melakukan pemantauan secara terintegrasi antar perangkat keras, perangkat lunak, dan aplikasi.
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tanah 3-in-1 memiliki rata-rata error 4,54% untuk suhu tanah (terendah 1,39%, tertinggi 8,00%), rata-rata error 7,41% untuk kelembaban tanah (terendah 4,35%, tertinggi 12,50%), dan rata-rata error 3,04% untuk pH tanah (terendah 0,00%, tertinggi 5,71%). Sensor DHT22 memiliki rata-rata error 4,39% untuk suhu udara dan 5,06% untuk kelembaban udara. Selain itu, pengujian delay menunjukkan rata-rata waktu tunda 1,32 detik, dengan nilai terendah 0,95 detik dan tertinggi 2,15 detik. Hasil ini membuktikan bahwa sistem dapat bekerja dengan akurasi yang memadai dan responsif dalam menampilkan data secara real-time.

5.2. Saran

Meskipun sistem telah memenuhi tujuan penelitian, terdapat beberapa potensi pengembangan yang dapat meningkatkan kinerja dan kegunaannya di masa mendatang:

- a. Peningkatan Akurasi Sensor
Mengganti sensor kelembaban tanah dan pH dengan versi berpresisi lebih tinggi untuk mengurangi deviasi pembacaan, khususnya pada kondisi lapangan yang ekstrem.
- b. Pengembangan Fitur Aplikasi
 - 1). Menambahkan rekomendasi terhadap Tindakan apa yang selanjutnya perlu dilakukan berdasarkan dari pengukuran sensor terhadap tanah

- 2). Mengimplementasikan fitur data logging dalam format .csv atau .xlsx untuk analisis lanjutan secara offline.
- c. Integrasi Kontrol Otomatis
Mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis data kelembaban tanah, sehingga sistem tidak hanya melakukan monitoring tetapi juga pengendalian
- d. Peningkatan Konektivitas
Menyediakan opsi konektivitas nirkabel tambahan seperti LoRa atau GSM untuk pemantauan di lokasi tanpa jaringan WiFi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Verma, D. Singh, I. P. Pathania, dan K. Aggarwal, “Strategies to improve agriculture sustainability, soil fertility and enhancement of farmers income for the economic development,” dalam *Soil Fertility Management for Sustainable Development*, Springer Singapore, 2019, hlm. 43–70. doi: 10.1007/978-981-13-5904-0_4.
- [2] G. Mohyuddin, M. A. Khan, A. Haseeb, S. Mahpara, M. Waseem, dan A. M. Saleh, “Evaluation of Machine Learning Approaches for Precision Farming in Smart Agriculture System: A Comprehensive Review,” *IEEE Access*, vol. 12, hlm. 60155–60184, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3390581.
- [3] B. Siswanto, “SEBARAN UNSUR HARA N, P, K DAN PH DALAM TANAH,” 2018.
- [4] L. Yu dkk., “Review of research progress on soil moisture sensor technology,” *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 14, no. 4, hlm. 32–42, Jul 2021, doi: 10.25165/j.ijabe.20211404.6404.
- [5] D. oleh, dr Rani Tiyas Budiyanti, dan M. C. Asta Karya Kreatifa Media JKyai Mojo, *INTERNET OF THINGS*.
- [6] J. Wang, X. Zhang, L. Xiao, dan T. Li, “Survey for Soil Sensing with IOT and Traditional Systems,” *Network*, vol. 3, no. 4, hlm. 482–501, Des 2023, doi: 10.3390/network3040021.
- [7] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, dan U. Rathnayake, “A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 8, Agu 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.
- [8] A. Dwi, “Sistem Monitoring Ph Tanah Pada Perkebunan Nanas Berbasis Internet Of Things (IoT),” 2022.
- [9] A. Thoriq, L. Hasta Pratopo, R. Mulya Sampurno, S. Hisyam Shafiyullah, dan I. Artikel, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things”, doi: 10.19028/jtep.10.3.268-280.
- [10] D. Mualfah, G. H. Sandi, dan E. Fuad, “Sistem Monitoring pH dan Kelembaban Tanah pada Tanaman Kacang Tanah Berbasis IoT (Internet of Things),” 2023.

- [11] P. Ariyanto, A. Iskandar, dan U. Darussalam, “Rancang Bangun Internet of Things (IoT) Pengaturan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 5, no. 2, hlm. 2021, 2021, doi: 10.35870/jti.
- [12] I. Nyoman, B. Hartawan, dan W. Sudiarsa, “ANALISIS KINERJA INTERNET OF THINGS BERBASIS FIREBASE REAL-TIME DATABASE,” Online, 2019. [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.stiki-indonesia.ac.id/index.php/jurnalresistor>
- [13] G. Santoso, S. Hani, dan R. Prasetyo, “Sistem Monitoring Kualitas Tanah Tanaman Padi dengan Parameter Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things (IoT),” *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, vol. 5, hlm. 146–155, Des 2020, doi: 10.22236/teknoka.v5i.297.
- [14] I. P. Sari, A. Novita, A.-K. Al-Khowarizmi, F. Ramadhani, dan A. Satria, “Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3,” *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 4, hlm. 337–343, Jun 2024, doi: 10.56211/blendsains.v2i4.505.
- [15] H. Yin, Y. Cao, B. Marelli, X. Zeng, A. J. Mason, dan C. Cao, “Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture,” 1 Mei 2021, *John Wiley and Sons Inc.* doi: 10.1002/adma.202007764.
- [16] H. Halim dan A. Anwar, “RANCANG BANGUN HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK TANAMAN SELADA DI KECAMATAN BATULICIN KABUPATEN TANAH BUMBU,” *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 4, hlm. 523–530, Okt 2020, doi: 10.31949/jb.v1i4.515.
- [17] U. Peningkatan Kesuburan Tanah Pada Lahan Kering Di Kelurahan Aimas Distrik Aimas Kabupaten Sorong Mira Herawati dan A. Fahrizal, “Abdimas : Papua Journal of Community Service Volume 1 Nomor (2) Halaman : 14-23.”
- [18] A. N. F. Ningrum, H. F. Aditya, C. Z. Fatiha, dan R. M. Kusuma, “Karakteristik Kimia pada Tanah Merah, Humus, dan Kapur: Implikasi untuk Pengelolaan Tanah dan Produktivitas Pertanian,” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 4, hlm. 2755–2763, Okt 2024, doi: 10.70609/gtech.v8i4.5362.

- [19] Y. I. Intara, A. Sapei, N. Sembiring, dan B. Djoefrie, “PENGARUH PEMBERIAN BAHAN ORGANIK PADA TANAH LIAT DAN LEMPUNG BERLIAT TERHADAP KEMAMPUAN MENGIKAT AIR (AFFECTED OF ORGANIC MATTER APPLICATION AT CLAY AND CLAY LOAM SOIL TEXTURE ON WATER HOLDING CAPACITY),” 2011.
- [20] F. S. Harahap, D. Kurniawan, dan R. Susanti, “Pemetaan Status pH Tanah dan C-Organik Tanah Sawah Tadah Hujan di Kecamatan Panai Tengah Kabupaten Labuhanbatu,” *Agrosains : Jurnal Penelitian Agronomi*, vol. 23, no. 1, hlm. 37, Apr 2021, doi: 10.20961/agsjpa.v23i1.48479.
- [21] A. Siddique, K. N. Harikishan, M. Kaif, N. N. Gowda, V. M. Aparanji, dan S. Karthik, “Crop Prediction using NPK Sensor: Novel Approach Using Machine Learning Algorithms,” *International Conference on Smart Systems for Applications in Electrical Sciences, ICSSES 2024*, 2024, doi: 10.1109/ICSSES62373.2024.10561287.
- [22] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, dan O. Težak, “Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices,” *Sensors*, vol. 23, no. 15, Agu 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [23] M. Nizam, H. Yuana, dan Z. Wulansari, “MIKROKONTROLER ESP 32 SEBAGAI ALAT MONITORING PINTU BERBASIS WEB,” 2022.
- [24] H. W. Chen, J. H. Lee, B. Y. Lin, S. Chen, dan S. T. Wu, “Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives,” 1 Maret 2018, *Springer Nature*. doi: 10.1038/lisa.2017.168.
- [25] M. Katayama, “TFT-LCD technology,” *Thin Solid Films*, vol. 341, no. 1–2, hlm. 140–147, Mar 1999, doi: 10.1016/S0040-6090(98)01519-3.