

Desain Sistem Monitoring Lahan Pertanian Berbasis Internet of Things (IoT)

Wilda Rina Hasibuan ^{*1}, Sunardi², Herman³

¹Program Studi Sistem Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

^{1,3}Program Studi Informatika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

e-mail: ^{*1}2436083035wildarina@webmail.uad.ac.id, ²sunardi@mti.uad.ac.id,

³hermankaha@mti.uad.ac.id

Abstrak. Pengelolaan pertanian jambu madu yang masih dilakukan secara tradisional dapat menurunkan kualitas dan hasil panen. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring pertanian berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau kondisi lahan dan nutrisi tanaman secara real-time. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) melalui tahap perancangan, pengembangan, dan pengujian sistem. Sistem memanfaatkan sensor suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta sensor nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang terintegrasi dengan platform monitoring. Data yang diperoleh digunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam pengelolaan air dan nutrisi tanaman. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor suhu sebesar 98,56%, kelembapan udara 98,89%, dan kelembapan tanah 98,92% dengan selisih kecil dibandingkan alat standar. Selain itu, sistem mampu memantau indeks risiko pengeringan tanah dan kadar unsur hara secara otomatis. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi monitoring multi-parameter berbasis IoT untuk mendukung pertanian jambu madu yang lebih efektif dan efisien.

Kata Kunci : desain sistem, monitoring, lahan pertanian, Internet of Things

Abstract. Traditional management of honey guava farming can reduce crop quality and yield. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based agricultural monitoring system to monitor land conditions and plant nutrients in real time. The research employed the Research and Development (R&D) method through system design, development, and testing stages. The system utilizes temperature, air humidity, soil moisture, and nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) sensors integrated with a monitoring platform. The collected data are used to support decision-making in irrigation and nutrient management. The testing results showed sensor accuracy levels of 98.56% for temperature, 98.89% for air humidity, and 98.92% for soil moisture, with only small differences compared to standard measuring instruments. In addition, the system can automatically monitor soil drying risk and nutrient levels. The novelty of this research lies in the integration of multi-parameter monitoring based on IoT to support more effective and efficient honey guava farming

Keyword : system design, monitoring, agricultural land, Internet of Things

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting di Indonesia karena berperan dalam memenuhi kebutuhan pangan dan mendukung perekonomian masyarakat. Salah satu komoditas unggulan yang memiliki potensi ekonomi tinggi adalah jambu Madu Deli Hijau. Tetapi pengelolaan pertanian jambu madu masih banyak dilakukan secara tradisional sehingga pemantauan kondisi lahan dan kebutuhan nutrisi tanaman belum optimal. Kondisi tersebut menyebabkan ketidaktepatan dalam pengelolaan irigasi dan pemupukan yang berdampak pada penurunan kualitas serta hasil panen. Mayoritas penduduk Indonesia berprofesi sebagai petani [1]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam penerapan sistem pertanian cerdas (*smart farming*) melalui



monitoring dan pengendalian lahan secara otomatis dan *real-time*. Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik dan sensor saling terhubung untuk memperoleh data lingkungan secara akurat dan berkelanjutan. Dalam bidang pertanian, IoT telah dimanfaatkan untuk monitoring suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, sistem irigasi otomatis, serta pengendalian pemupukan. Penggunaan sensor kelembapan tanah dan sistem *water pump* otomatis dapat membantu menjaga ketersediaan air sesuai kebutuhan tanaman sehingga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih optimal. Selain itu, pemanfaatan teknologi digital dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan dan mengurangi kesalahan pemantauan secara manual.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring pertanian berbasis IoT, tetapi umumnya hanya berfokus pada parameter suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah. Penelitian sebelumnya juga belum mengintegrasikan sensor nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) secara *real-time* dalam satu sistem monitoring berbasis IoT. Padahal, unsur hara NPK memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman jambu madu.

Perubahan pengelolaan pertanian menggunakan teknologi menjadi terobosan besar dalam bidang pertanian. Dampak teknologi adalah terjadinya revolusi pada sektor pertanian [2]. Salah satu inovasi yang dapat diterapkan pada pengembangan pertanian konvensional menjadi pertanian cerdas (*Smart farming*) adalah penggunaan IoT. *Smart farming* merupakan solusi inovatif di sektor pertanian yang memanfaatkan sistem jaringan berbasis IoT dalam melakukan pemantauan dan pengendalian otomatis [3]. Teknologi IoT merupakan era baru dalam dunia internet yang dapat digambarkan dengan menghubungkan peralatan elektronik dengan jaringan komputer untuk berintraksi dengan *embedded system* [4]. IoT merupakan konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat koneksi internet yang menghubungkan mesin, perangkat elektronik, dan objek fisik lainnya [5].

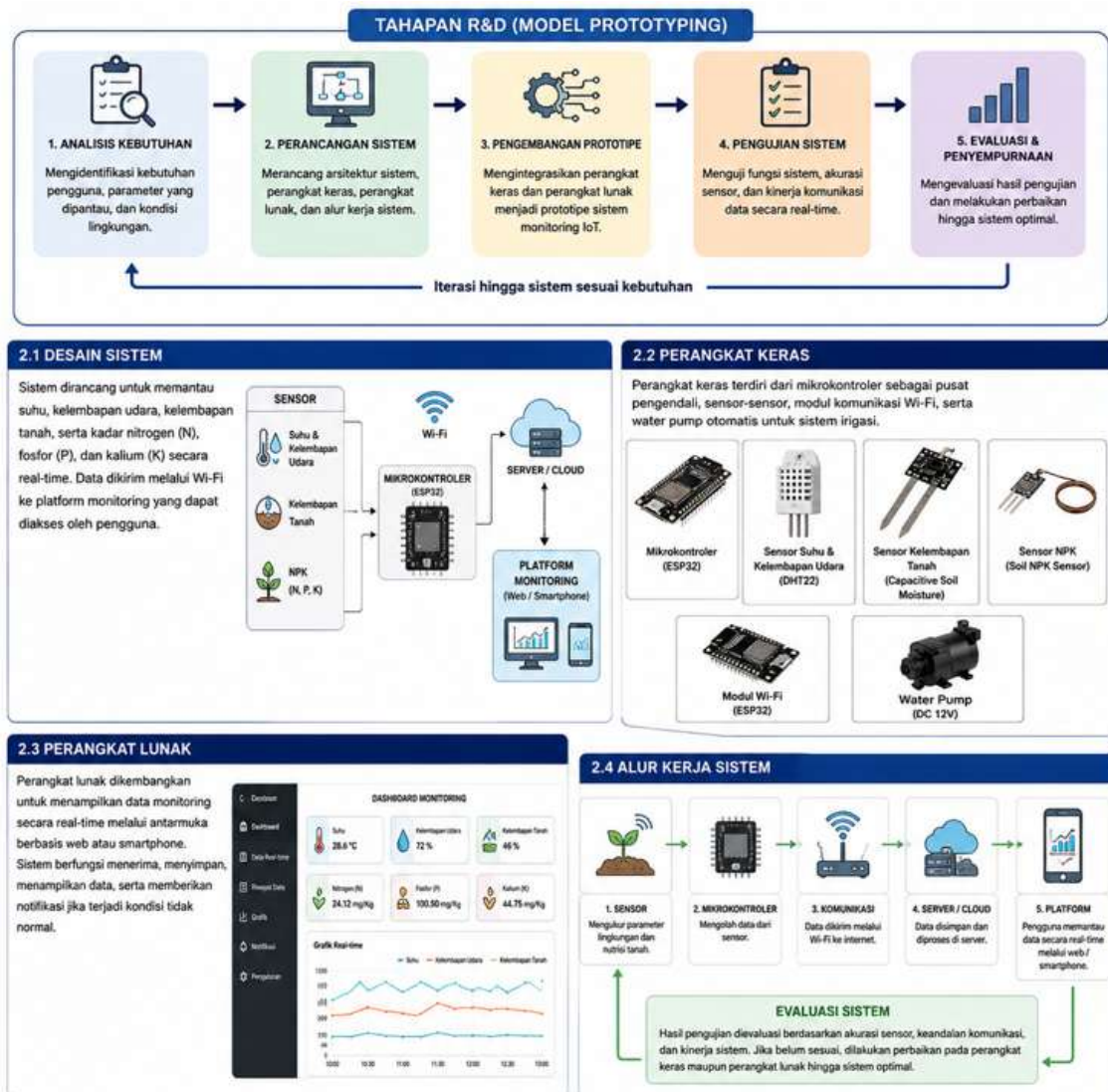
Pemanfaatan teknologi dapat membantu petani dalam mengatasi masalah seperti irigasi, pemupukan, penyiraman, pH tanah, kehabisan tanah, kelembapan tanah dan lain-lain. Kondisi tanah yang mendapatkan air berlebih maupun kurang dapat mempengaruhi nutrisi yang didapatkan oleh tanaman. Hal tersebut dapat diatasi dengan penyiraman secara otomatis untuk mengoptimalkan kebutuhan nutrisi tanaman [6]. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk mengetahui kondisi tanah kering atau tidak dan memanfaatkan *water pump* untuk melakukan irigasi secara otomatis yang nantinya dalam sistem dikendalikan oleh arduino uno [7]. Tanaman memerlukan tanah sebagai media tanam untuk keberlangsungan hidupnya. Tanah yang baik merupakan faktor utama agar tanaman dapat tumbuh dengan subur. Ada beberapa faktor yang menentukan tingkat kesuburan tanah salah satunya kadar air yang terkandung pada tanah. Air memiliki peranan sebagai pelarut unsur hara yang ada dalam tanah dan sebagai alat transportasi yang mendistribusikan unsur hara dari akar hingga keseluruhan organ tanaman [8]. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan melibatkan serangkaian langkah yang dimulai dari pengukuran kebutuhan, studi literatur, penelitian dalam skala kecil, dan pertimbangan dari segi nilai [9]. R&D tidak hanya fokus pada penciptaan produk baru tetapi juga pada pengujian efektivitas produk tersebut untuk memastikan bahwa produk dapat berfungsi dengan baik di lingkungan yang ditargetkan [11].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode R&D untuk mengembangkan model *prototyping* berbasis IoT. Metode R&D memungkinkan pengembangan sistem secara iteratif dengan menguji coba, mengevaluasi, dan menyempurnakan sistem monitoring lahan pertanian pada tanaman jambu sehingga menghasilkan sistem yang efektif, efisien, dan *user-friendly* serta memberikan umpan balik pada tiap tahapannya. R&D mengembangkan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada. Konsep ini mencakup serangkaian metoda penelitian untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji efektivitas produk. R&D memainkan peran penting dalam inovasi, memungkinkan penciptaan teknologi, produk, atau sistem baru yang dapat digunakan atau dijual dengan tujuan untuk



menambah laba perusahaan [9],[10],[11]. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui proses perancangan, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan hingga diperoleh sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Fokus penelitian diarahkan pada implementasi sistem monitoring kondisi lahan pertanian jambu madu secara *real-time*.



Gambar 1. Tahapan R&D (Model Prototyping)

Tahapan dalam R&D meliputi beberapa langkah kritis yang dimulai dari penelitian awal hingga implementasi produk atau inovasi yang dijelaskan secara rinci pada Tahap Rancangan dan Implementasi Produk.

2.1 Tahap Rancangan dan Implementasi Produk

2.1.1 Penelitian dan Pengumpulan Informasi

Tahap ini diperlukan sebagai kebutuhan awal dan analisis tentang ide untuk membangun atau mengembangkan sistem. Pengumpulan dilakukan untuk mengetahui komponen-komponen yang akan digunakan pada sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna.

2.1.2 Perencanaan.

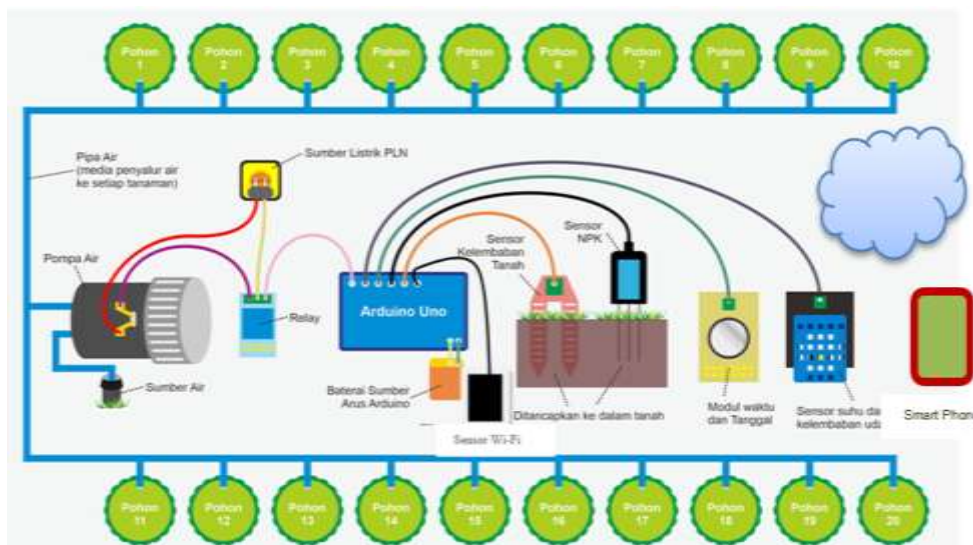
Analisis kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan. Fokus utama pada tahap ini adalah menentukan parameter tanah yang akan dipantau, seperti waktu, suhu, kelembapan udara,

kelembapan tanah dan kadar N, P, K. Sistem dirancang untuk mengumpulkan data secara real-time menggunakan berbagai sensor, kemudian dikirimkan melalui modul komunikasi Wi-Fi ke pusat pengolahan data atau smartphone.

2.1.3 Pengembangan Prototipe Awal.

Tahap ini merupakan langkah untuk memastikan kerja sistem yang terpadu dan terstruktur yang diintegrasikan dengan berbagai komponen untuk menghasilkan prototipe yang fungsional sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Prototipe ini menjadi representasi awal sistem yang akan diuji dan dikembangkan lebih lanjut untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan kondisi lapangan secara efektif.

Rangkaian desain sistem monitoring lahan pertanian berbasis IoT ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Desain Sistem Monitoring Lahan Pertanian Berbasis IoT

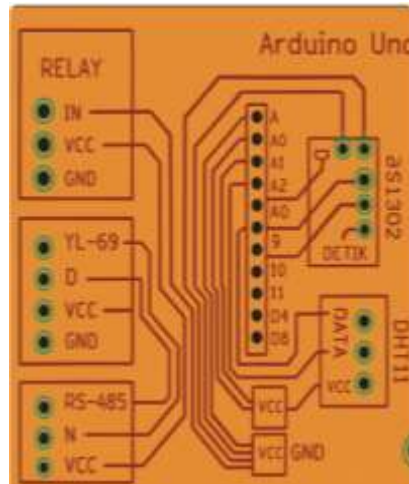
Gambar 2 ditampilkan diagram alir desain monitoring lahan pertanian berbasis IoT yang terdiri dari Arduino Uno, Sensor Relay, Sensor Wi-Fi, Sensor Kelembapan Tanah, Sensor Suhu & Kelembapan Udara, Sensor NPK, dan Modul Tanggal & Waktu.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Monitoring Lahan Pertanian Berbasis IoT

2.1.4 Pengujian Awal

Penempatan pin jumper sesuai fungsi pada Gambar 3 untuk memastikan komunikasi dan kontrol yang tepat antara sensor, modul, dan Arduino Uno pada sistem monitoring lahan pertanian berbasis IoT. Fungsi dan sambungan pin dari sensor dan modul dapat dilihat pada Tabel 1.

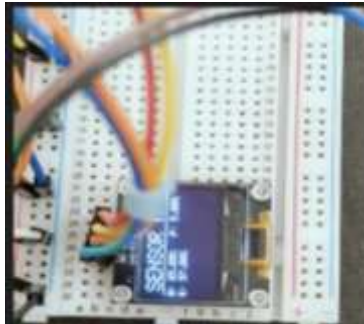


Gambar 4. Fungsi dan sambungan pin dari sensor dan modul

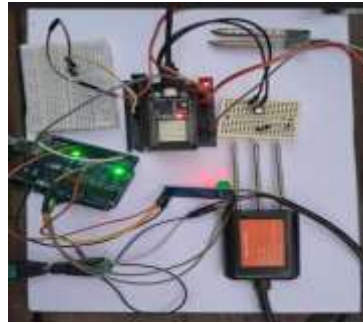
Tabel 1. Fungsi dan sambungan pin dari sensor dan modul

No.	Nama Sensor/Modul	Model	Fungsi dan Penjelasan Pin
1	Sensor Relay	SRD-05VDC	Relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik (misal pompa air). Pin IN menerima sinyal kontrol dari mikrokontroler untuk mengaktifkan relay. Pin VCC dihubungkan ke sumber 5V dan GND ke ground sistem.
2	Sensor WiFi	ESP32	Modul komunikasi nirkabel untuk mengirim dan menerima data via WiFi. Pin RX menerima data dari mikrokontroler (dihubungkan ke TX mikrokontroler), pin TX mengirim data ke mikrokontroler (dihubungkan ke RX mikrokontroler). VCC diberi tegangan 5V dan GND ke ground.
3	Sensor Kelembapan Tanah	YL-69	Sensor ini mengukur kelembapan tanah dengan probe konduktif. Pin A (<i>analog output</i>) dihubungkan ke pin A2 mikrokontroler untuk pembacaan nilai analog kelembapan tanah. Pin D (<i>digital output</i>) dihubungkan ke D4 untuk pembacaan digital (HIGH/LOW). VCC diberi 5V dan GND ke ground. Sensor ini sensitif terhadap kadar air tanah dengan output analog 0-4,2V.
4	Sensor NPK	RS-485	Sensor ini mengukur kandungan nutrisi N, P, dan K dalam tanah. Pin N dihubungkan ke A0. Pin P ke A1 mikrokontroler untuk pembacaan nilai analog. VCC dihubungkan ke 5V dan GND ke ground. RS-485 merupakan protokol komunikasi yang digunakan untuk transmisi data sensor.
5	Modul Waktu & Tanggal	DS-1302	Modul RTC (<i>Real Time Clock</i>) untuk menyediakan informasi waktu detik, menit, dan jam secara akurat. Pin DETIK dihubungkan ke D6, MENIT ke D7, dan JAM ke D8 mikrokontroler. VCC diberi 5V dan GND ke ground. Modul ini penting untuk pencatatan waktu pengukuran dan pengendalian jadwal otomatis.

No.	Nama Sensor/Modul	Model	Fungsi dan Penjelasan Pin
6	Sensor Suhu & Kelembapan Udara	DHT-11	Sensor ini mengukur suhu dan kelembapan udara secara digital. Pin DATA dihubungkan ke A3 mikrokontroler untuk pembacaan data sensor. VCC diberi 5V dan GND ke ground. Sensor ini memberikan data lingkungan udara yang penting untuk monitoring kondisi pertanian.



a) Pemasangan Sensor



b) Rangkaian Keseluruhan alat



c) Pengujian Alat

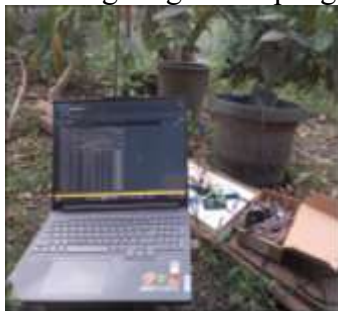
Gambar 5. Rangkaian dan Pengujian Alat

2.1.5 Revisi Produk

Proses ini merupakan serangkaian pengujian yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan harapan dan memenuhi semua persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya. Melalui tahap ini, setiap komponen diuji secara menyeluruh untuk memastikan keberhasilan integrasi antar bagian sehingga sistem bekerja secara optimal. Pengujian ini tidak hanya menilai fungsi dasar, tetapi juga mengevaluasi kinerja, keandalan, dan keamanan sistem secara menyeluruh. Dengan demikian, proses pengujian ini sangat penting untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan sebelum sistem digunakan secara nyata sehingga memberikan hasil yang maksimal dan memuaskan bagi pengguna akhir.

2.1.6 Uji Coba Lapangan Utama

Pada tahap ini prototipe dipasang di lahan pertanian. Data dari pembacaan sensor harus dapat terlihat pada *smartphone* secara *real time*. Sistem secara otomatis dikendalikan oleh Arduino Uno yang terhubung dengan sensor waktu, suhu & kelembapan udara, kelembapan tanah, dan kadar NPK. Pemantauan kondisi tanah merupakan langkah penting untuk menjaga produktivitas lahan, karena tanah merespons perubahan lingkungan dan pengelolaan secara lambat [12].



a) Percobaan Alat di lahan Pertanian



b) Pembacaan Data dengan sensor dan Alat SNI

Gambar 6. Pengujian Alat di lahan Pertanian dan Alat SNI

Gambar 5(a) menampilkan pengujian alat sistem monitoring di lahan pertanian dan (b) hasil dari pengambilan data nilai dari kelembapan tanah. Dari pembacaan sensor didapatkan kondisi yang menunjukkan tanah tersebut dalam kondisi kering ataupun basah dimana nilai $< 60\%$ maka akan melakukan penyiraman dan *Relay on* hingga sistem nilai $> 60\%$ maka tidak akan melakukan penyiraman dan *Relay off*.

2.1.7 Revisi Operasional

Proses pengujian merupakan tahapan penting yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan harapan dan memenuhi persyaratan yang telah dirancang sebelumnya. Pada tahap ini, setiap komponen diperiksa secara menyeluruh agar dapat terintegrasi dengan baik sehingga sistem mampu bekerja secara optimal. Tidak hanya fungsi dasar yang diuji, namun juga aspek kinerja, keandalan, serta keamanan sistem menjadi perhatian utama. Perlu untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya dapat digunakan, tetapi juga benar-benar andal ketika dioperasikan dalam kondisi nyata. Melalui pengujian yang terstruktur, potensi kesalahan atau kelemahan dapat terdeteksi lebih awal sehingga segera dilakukan perbaikan. Proses ini berperan penting dalam menjamin kualitas akhir sistem. Hasil yang diperoleh tidak hanya memberikan kepuasan kepada pengguna, tetapi juga meningkatkan kepercayaan terhadap teknologi yang dikembangkan.

2.1.8 Diseminasi dan Implementasi

Diseminasi dan implementasi merupakan tahap penting setelah produk atau solusi berhasil dikembangkan. Proses ini bukan hanya tentang memperkenalkan hasil inovasi kepada pasar atau masyarakat, tetapi juga memastikan bahwa manfaatnya benar-benar dapat dirasakan secara nyata. Diseminasi dilakukan melalui berbagai cara, seperti sosialisasi, publikasi, atau kampanye yang bertujuan meningkatkan pemahaman dan penerimaan. Sementara itu, implementasi menekankan pada penerapan solusi tersebut dalam kehidupan sehari-hari, baik di lingkungan kerja, pendidikan, maupun masyarakat luas. Tahapan ini menuntut strategi yang terukur, mulai dari uji coba, pelatihan pengguna, hingga pendampingan agar adaptasi berjalan lancar. Keberhasilan diseminasi dan implementasi bukan hanya ditentukan oleh kualitas produk, tetapi juga oleh kemampuan membangun kepercayaan, relevansi, serta kemudahan akses bagi pengguna. Dengan demikian, inovasi yang dihasilkan tidak berhenti di laboratorium atau meja kerja, melainkan benar-benar memberi dampak positif yang berkelanjutan.

2.2 Tahap pengujian proses Kerja Sistem

2.2.1 Proses Kerja

1. Pengukuran Kondisi Tanah dan Lingkungan

Sensor kelembapan tanah YL-69 bekerja secara terus menerus memantau tingkat air yang ada di dalam tanah. Sensor ini berfungsi untuk memberikan informasi mengenai kondisi tanaman pada saat mendapatkan air yang cukup dan tidak berlebihan. Selanjutnya dalam pemantauan kondisi keharaan tanah maka digunakan sensor NPK RS-489 untuk mengetahui persentase unsur hara yang terkandung di dalam tanah seperti N, P, dan K. Tindakan selanjutnya untuk mengetahui suhu dan kelembapan udara dapat menggunakan sensor suhu dan kelembapan udara DHT-11 sehingga petani akan mendapatkan informasi yang tepat tentang perubahan iklim yang signifikan seperti suhu dan kelembapan udara yang terlalu rendah atau terlalu tinggi. Semua data yang terkumpul dari ketiga sensor ini akan dikirimkan ke Arduino Uno sebagai pusat pengolahan, kemudian akan dikirim secara *real time* ke *smartphone*.

2. Pemrosesan Data oleh Arduino Uno



Arduino Uno akan menerima data dari sensor yaitu sensor kelembapan tanah YL-69, sensor NPK RS-485, sensor suhu dan kelembapan udara DHT-11, serta modul RTC DS-1302 untuk pencatatan waktu. Semua sensor terhubung ke Arduino Uno sebagai pusat pengolahan data. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan oleh Arduino ke modul WiFi ESP32 untuk diteruskan menuju *cloud/server*. *Cloud* berfungsi sebagai tempat penyimpanan data, kemudian data divisualisasikan ke *smartphone* sehingga pengguna dapat memantau kondisi pertanian secara *real-time*. Sensor YL-69 memiliki dua output, yaitu analog dan digital. Output analog memberikan nilai kelembapan tanah dalam rentang tegangan yang dapat dibaca oleh mikrokontroler, sedangkan output digital memberikan sinyal HIGH atau LOW berdasarkan ambang batas kelembapan yang dapat diatur. Arduino juga mengontrol *relay* SRD-05VDC sebagai saklar elektronik untuk menghidupkan atau mematikan pompa air secara otomatis. *Relay* SRD-05VDC biasanya digunakan untuk mengontrol perangkat bertegangan tinggi seperti pompa air dalam sistem irigasi otomatis. Modul DS-1302 memungkinkan sistem untuk melakukan pencatatan waktu yang presisi untuk pengendalian jadwal penyiraman atau pencatatan data sensor secara berkala.

3. Pengambilan Keputusan

Berdasarkan data yang diproses, Arduino Uno akan mengambil keputusan apakah tanaman perlu disiram atau tidak. Jika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan yaitu $< 60\%$ maka Arduino Uno akan menerima informasi waktu yang akurat dari sensor RTC untuk mesin secara otomatis melakukan penyiraman guna menjaga kecukupan air. Sebaliknya, jika kelembapan tanah masih cukup maka Arduino Uno akan menahan penyiraman agar tidak terjadi pemborosan air. Arduino Uno juga memperhitungkan kadar % unsur hara dari data yang diterima sensor NPK serta sensor suhu dan kelembapan udara. Jika suhu udara sangat tinggi maka Arduino Uno memutuskan menyiram lebih sering dua kali dalam sehari walaupun kelembapan tanah cukup.

4. Pengaturan Waktu Penyiraman

Sensor RTC berfungsi untuk memberikan informasi waktu yang akurat kepada Arduino Uno. Pada waktu yang sudah ditentukan, mesin secara otomatis akan melakukan penyiraman. Waktu yang diatur untuk menyiram tanaman yaitu setiap pukul 8 pagi. Arduino Uno akan langsung memeriksa kondisi tanah melalui sensor kelembapan tanah. Jika tanah terdeteksi kering, Arduino Uno akan mengaktifkan pompa air untuk menyiram tanaman. Jika kondisi tanah masih dalam keadaan basah akibat turun hujan maka Arduino Uno tidak akan mengaktifkan pompa air untuk melakukan penyiraman.

5. Kontrol Pompa Air

Arduino Uno mengontrol pompa air dengan cara mengirimkan sinyal ke *relay* yang berfungsi sebagai saklar elektronik. Saat *relay* menerima sinyal, pompa secara otomatis menyala dan mulai menyiram tanaman. Penyiraman ini berlangsung sampai waktu yang ditentukan dua menit atau saat kelembapan tanah $> 60\%$ sudah sesuai dengan yang ditetapkan. Proses selanjutnya Arduino Uno mengirimkan sinyal lagi untuk mematikan *relay* sehingga pompa akan berhenti bekerja.

6. Monitoring dan kontrol Wi-Fi

Sensor Wi-Fi memungkinkan pemantauan data dari seluruh sensor dan status alat, seperti pompa air, secara langsung lewat *smartphone* atau perangkat lain yang terhubung ke internet. Semua pengaturan dapat dilakukan dengan mudah melalui aplikasi dari manapun dan kapanpun sehingga menjaga tanaman tetap sehat dan sistem berjalan dengan efisien tanpa harus datang langsung ke lokasi.

2.2.2 Pengujian Akurasi Data

Akurasi sistem ditentukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan hasil perhitungan teoritis. Akurasi merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran



terhadap nilai sebenarnya. Akurasi pengukuran dari suatu sistem pengukuran dapat ditentukan pada Persamaan (1) [15].

$$\text{Accuracy} = 1 - \left(\frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right) \times 100\%$$

Y_n adalah nilai sebenarnya yang terukur pada alat standar SNI yaitu *termometer* untuk pengukuran suhu dan kelembapan udara, sedangkan alat standar SNI untuk mengukur kelembapan tanah adalah *mediatech soilmeter*. X_n adalah nilai suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah yang terbaca dari sensor suhu DHT-11 dan sensor *Soil Moisture* YL-69. Akurasi didapatkan dengan membandingkan data dari sistem dengan pengukuran alat standar SNI. Pengukuran sistem monitoring lahan pertanian juga mencari parameter indeks resiko pengeringan tanah (IRTP) dan pengukuran indeks kelembapan tanah terhadap udara (IMSA). Rumus yang digunakan untuk mendapatkan IRTP dan IMSA dapat dilihat pada Persamaan (2) dan (3) [15].

$$\text{IRTP} = \text{Suhu} \times \left(\frac{100 - \text{Kelembapan Tanah}}{100} \right) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{IMSA} = \left(\frac{\text{Kelembapan Tanah}}{\text{Kelembapan Udara}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap ini menjelaskan hasil pengujian sistem monitoring lahan pertanian berbasis IoT dalam mengukur parameter lingkungan dan nutrisi tanaman secara *real-time*. Pengujian dilakukan pada tanggal 2 Agustus 2025 untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memantau suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem mampu menghasilkan pembacaan data yang stabil dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan alat ukur standar yang diperlihatkan pada Tabel - Tabel dibawah ini. Tingginya akurasi dipengaruhi oleh integrasi sensor yang terkalibrasi dengan baik serta proses pengiriman data secara langsung melalui jaringan IoT sehingga mengurangi keterlambatan dan kesalahan pencatatan manual.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penerapan IoT pada sektor pertanian dapat meningkatkan efektivitas monitoring lahan dan efisiensi pengelolaan sumber daya. Tetapi penelitian ini memiliki keunggulan pada integrasi sensor NPK secara *real-time* dalam satu sistem monitoring terpadu. Selain mampu memantau kondisi lingkungan, sistem juga memberikan informasi nutrisi tanah yang dapat membantu petani menentukan penyiraman dan pemupukan secara lebih tepat. Diharapkan sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian yang lebih efektif dan akurat.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Monitoring

Detik ke-	Suhu (°C)	Kelembapan Udara (%)	Kelembapan Tanah (%)	Nitrogen (%)	Posfor (%)	Kalium (%)
0	30	75	65	26	97	45
1	30	72	68	25	97	43
2	29	70	64	24	97	45
3	30	75	65	24	97	46
4	28	68	67	23	99	44
5	31	70	68	24	98	46
6	30	72	67	24	98	46
.....						
499	29	71	65	23	102	43



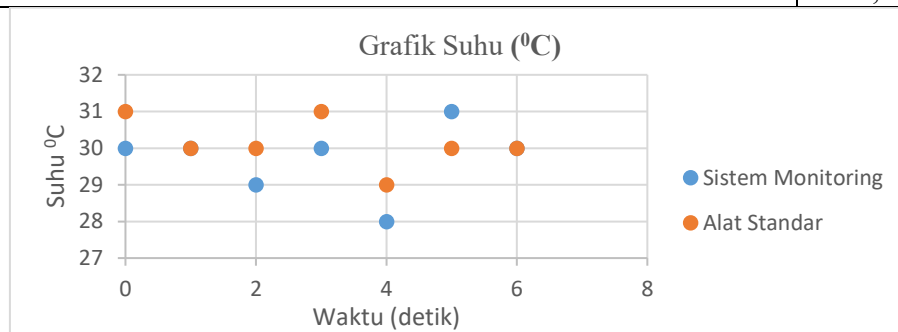
Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat dihitung akurasi dari hasil sistem monitoring suhu & kelembapan udara dari DHT-11, kelembapan tanah dari YL-69, dan kadar NPK yang diperoleh dari sensor RS-485 dengan membandingkan hasil pengukuran alat standar SNI yaitu *termometer* dan *mediatech soilmeter*. Perhitungan akurasi suhu menggunakan Persamaan (1) dengan mengambil sampel data dari Detik ke-0. Penggunaan cara yang sama untuk data suhu selanjutnya didapatkan data akurasi yang disajikan seperti pada Tabel 3 dan grafik pada Gambar 7. Data dan grafik yang disajikan hanya sebagian untuk dijadikan sebagai contoh.

Selanjutnya dengan cara yang sama seperti halnya suhu, diterapkan untuk mendapatkan akurasi kelembapan udara dan kelembapan tanah. Tabel 4 dan grafik pada Gambar 7 menunjukkan akurasi kelembapan udara, sedangkan Tabel 5 dan grafik pada Gambar 8 untuk kelembapan tanah.

$$Accuracy = 1 - \left(\frac{31-30}{30} \right) \times 100\% = 96,67 \%$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Akurasi Suhu

Detik Ke-	Suhu (°C) Sistem Monitoring (Xn)	Suhu (°C) Alat Standar SNI (Yn)	Akurasi (%)
0	30	31	96,67
1	30	30	100,00
2	29	30	96,67
3	30	31	96,77
4	28	29	96,55
5	31	30	103,30
6	30	30	100,00
.....			
499	29	71	65,00
Rata-rata			98,56



Gambar 7. Grafik Pengukuran Suhu

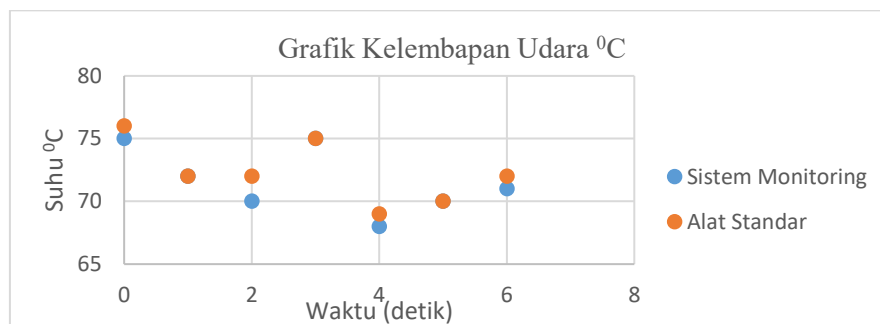
Tabel 3 memperlihatkan hasil perhitungan akurasi suhu antara sistem monitoring dengan alat standar didapatkan rata-rata 98,56% yang didapatkan dari 500 data. Gambar 7 menunjukkan bahwa perbandingan suhu antara sistem monitoring dengan alat standar sebesar 0,42°C yang didapatkan dari 500 data. Data pengukuran sangat baik karena perbedaan pengukuran sistem smart farming dengan alat standar sangat kecil yaitu 2,22 °C [17].

Tabel 4. Hasil Perhitungan Akurasi Kelembapan Udara

Detik ke-	Kelembapan Udara (°C) Sistem Monitoring (Xn)	Kelembapan Udara (°C) Alat Standar SNI (Yn)	Akurasi (%)
0	75	76	98,68
1	72	72	100,00



Detik ke-	Kelembapan Udara (°C) Sistem Monitoring (Xn)	Kelembapan Udara (°C) Alat Standar SNI (Yn)	Akurasi (%)
2	70	72	97,77
3	75	75	100,00
4	68	69	98,55
5	70	70	100,00
6	71	72	98,61
.....			
499	29	71	65,00
Rata-rata			98,89

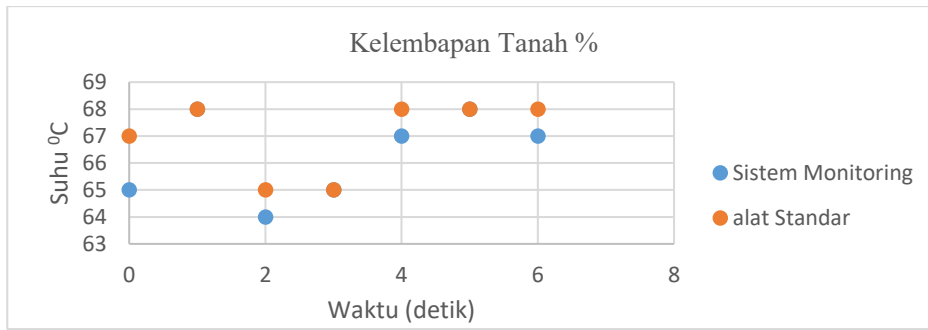


Gambar 8. Grafik Pengukuran Kelembapan Udara

Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan *accuracy* kelembapan udara antara sistem monitoring dengan alat standar didapatkan rata-rata sebesar 98,89% yang didapatkan dari 500 data. Gambar 8 menunjukkan bahwa perbandingan kelembapan udara antara sistem monitoring dengan alat standar sebesar 0,71% yang didapatkan dari 500 data.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Akurasi Kelembapan Tanah

Detik ke-	Kelembapan Tanah (°C) Sistem Monitoring (Xn)	Kelembapan Tanah (°C) Alat Standar SNI (Yn)	Akurasi (%)
0	65	67	97,02
1	68	68	100,00
2	64	65	98,46
3	65	65	100,00
4	67	68	98,53
5	68	68	100,00
6	67	68	96,53
.....			
499	29	71	65,00
Rata-rata			98,92



Gambar 9. Grafik Pengukuran Kelembapan Tanah

Tabel 5 memperlihatkan hasil perhitungan akurasi kelembapan tanah antara sistem monitoring dengan alat standar didapatkan rata-rata sebesar 98,92% yang didapatkan dari 500 data Gambar 9 menunjukkan bahwa perbandingan kelembapan udara antara sistem monitoring dengan alat standar sebesar 0,71% yang didapatkan dari 500 data.

Tabel 6. Hasil Persentase Kadar Unsur Hara di Lahan Pertanian

Detik ke-	Nitrogen (mg/Kg)	Posfor (mg/Kg)	Kalium (mg/Kg)
0	26	97	45
1	25	97	43
2	24	97	45
3	24	97	46
4	23	99	44
5	24	98	46
6	24	98	46
....			
4	23	98	43
Rata-rata	24,12	100,50	44,75

Tabel 6 memperlihatkan hasil % kadar unsur hara di lahan pertanian yang diperoleh dari sistem monitoring memiliki rata-rata yaitu Nitrogen 24,12 %, Posfor 100,50%, dan Kalium 44,75% yang didapatkan dari 500 data. Untuk mendapatkan nilai IRTP besar mengindikasikan risiko tinggi untuk tanah mengalami pengeringan digunakan Persamaan (2) dan nilai IMSA yaitu indeks kelembaban tanah terhadap udara menggunakan Persamaan (3) masing-masing mengambil sampel data detik ke-0.

$$IRTP = 30 \times \left(\frac{100-65}{100} \right) \times 100\% = 10,50 \%$$

$$IMSA = \left(\frac{65}{75} \right) \times 100\% = 86,66 \%$$

Nilai IRTP kecil menunjukkan kelembapan tanah cukup stabil sehingga memberikan kondisi ideal bagi tanaman untuk berkembang secara optimal. Kondisi ini mencerminkan pasokan air yang memadai dan keseimbangan antara penguapan dan penyerapan air oleh akar tanaman. Sebaliknya, nilai IRTP besar mengindikasikan risiko tinggi untuk tanah mengalami pengeringan dan dapat mengganggu ketersediaan air bagi tanaman. Nilai IMSA kecil menandakan tanaman berada dalam kondisi optimal dengan pasokan air yang cukup dan tingkat transpirasi yang seimbang. Nilai IMSA

besar menunjukkan tanaman sedang mengalami stres karena rendahnya kelembapan tanah dan meningkatnya penguapan. Kondisi ini dapat menyebabkan layunya tanaman, pertumbuhan terhambat, bahkan kematian jika masalah kelembapan tidak segera diatasi.

KESIMPULAN

Sistem monitoring lahan pertanian berbasis Internet of Things (IoT) berhasil diterapkan pada lahan tanaman jambu Madu Deli Hijau untuk memantau kondisi tanah secara *real-time*. Sistem mampu mengukur parameter waktu, suhu dan kelembapan udara, kelembapan tanah, serta kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Implementasi sistem diharapkan dapat membantu petani dalam memantau kondisi lahan secara lebih efektif, efisien, dan mudah digunakan (*user-friendly*) sehingga mendukung pengelolaan pertanian yang lebih optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi rata-rata suhu sebesar 98,56%, kelembapan udara 98,89%, dan kelembapan tanah 98,92%. Perbandingan dengan alat standar menunjukkan selisih yang sangat kecil, yaitu masing-masing sebesar 0,42%, 0,71%, dan 0,71%. Selain itu, parameter indeks risiko pengeringan tanah (IRTP) berada pada rentang 9,24% hingga 10,50%, sedangkan indeks kelembapan tanah terhadap udara berada pada rentang 86,66% hingga 98,52%. Pengukuran unsur hara menunjukkan rata-rata nitrogen sebesar 24,12 mg/Kg, fosfor 100,50 mg/Kg, dan kalium 44,75 mg/Kg.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan kemampuan sistem melalui optimalisasi modul ESP32, validasi sensor pada berbagai kondisi tanah, serta peningkatan aplikasi berbasis server dan *client*. Integrasi IoT dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) juga diperlukan untuk mendukung analisis prediktif kondisi tanah dan pengambilan keputusan pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Bdr, I. Ridwan, and A. F. Adzima, "Penggunaan Pesawat Tanpa Awak (Drone) dalam Melakukan Pemantauan dan Identifikasi Otomatis pada Pertanaman Jagung di Kelompok Tani Pattarowangta, Kabupaten Takalar," *Jurnal Dinamika Pengabdian*, vol. 7, no. 1, 2021.
- [2] R. R. Rachmawati, "Smart Farming 4.0 untuk Mewujudkan Pertanian Indonesia Maju, Mandiri, dan Modern," *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, vol. 38, no. 2, pp. 137–148, 2021.
- [3] E. Adriantantri and J. D. Irawan, "Implementasi IoT pada Remote Monitoring dan Controlling Green House," *Jurnal Mnemonic*, vol. 1, no. 1, pp. 56–60, 2019.
- [4] D. N. Halawa, "Peran Teknologi Pertanian Cerdas (Smart Farming) untuk Generasi Pertanian Indonesia," *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 502–512, 2024.
- [5] S. Dwiyatno, E. Krisnaningsih, and D. R. Hidayat, "Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis Internet of Things," *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i1.4669.
- [6] R. Modi, P. Madhavan, and K. V. Mahajan, "Smart Irrigation System," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 411–416, 2019.
- [7] A. Zikri, E. Yuniarti, and D. Lestari, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Raspberry Pi 3 dengan Memanfaatkan Thingspeak dan Interface Android Sebagai Kendali," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [8] I. Hafidah, "Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*)," ATB Bandung, 2021. [Online]. Available: <https://atb-bandung.ac.id/berita/penelitian-dan-pengembangan-research-development>. [Accessed: Aug. 30, 2025].



- [9] S. Rheny, "Research and Development (R&D): Pengertian, Peran, dan 3 Tipe yang Umum Digunakan," *EKRUT Media*, 2022. [Online]. Available: <https://www.ekrut.com/media/research-and-development-adalah>. [Accessed: Aug. 30, 2025].
- [10] O. Okpatrioka, "Research and Development (R&D): Penelitian yang Inovatif dalam Pendidikan," *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, 2023.
- [11] D. Hidayat, "Peran Penelitian Research & Development dalam Meningkatkan Kualitas Pembelajaran di Pendidikan Teknologi dan Kejuruan," UPI, 2017. [Online]. Available: <https://surveycenter.co.id/riset-dan-pengembangan-rd-definisi-fungsidan-tujuan/>. [Accessed: Aug. 30, 2025].
- [12] S. Sumarni, *Model Penelitian dan Pengembangan (R&D) Lima Tahap (Mantap)*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2019. [Online]. https://digilib.uin-suka.ac.id/id/eprint/39153/1/SRI%20SUMARNI%20-%20MODEL%20FINAL%20HKI_2019.pdf.
- [13] R. A. El Behairy *et al.*, "How Can Soil Quality Be Accurately and Quickly Studied? A Review," *Agronomy*, vol. 14, no. 8, 2024, doi: 10.3390/agronomy14081682.
- [14] Yulkifli, Yohandri, Murtiani, and A. Nofrianto, "Development of Digital Archimedes Experiment System Based on Microcontroller for Physics Education," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1120, no. 1, 2018.
- [15] M. Irfan and Yulkifli, "Smart Farming Sistem Monitoring dan Kontrol Kualitas Tanah Berbasis IoT untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 9, no. 1, 2025.
- [16] L. Kirkup, *Experimental Methods for Science and Engineering Students: An Introduction to the Analysis and Presentation of Data*, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2019.

