

# Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy Berbasis Sensor Kelembapan Tanah dan Prediksi Hujan

Andrean Dwi Sahara<sup>1</sup>, Farhan Zayid<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Informatika dan Komputer, Universitas Binaniaga Indonesia

<sup>1</sup>e-mail: andreandwi52@gmail.com

\*Corresponding Author

## ABSTRACT

*The high water consumption in agricultural irrigation often results from manual watering methods that do not consider soil moisture and rainfall prediction. This study aims to design an automatic irrigation system based on soil moisture sensors and rainfall prediction using fuzzy logic to regulate water flow according to real environmental conditions. The system uses an ESP32 microcontroller, capacitive soil moisture sensor, 5V relay, and mini water pump. The OpenWeatherMap API provides rainfall data, and the Blynk platform functions as a monitoring interface. This study employs a Research and Development (R&D) approach with functional, accuracy, and efficiency tests. The results indicate that the soil moisture sensor achieved an accuracy rate of 90%, while the system reduced water usage by 13.33% compared to manual irrigation. All system functions operated successfully with a 100% success rate, and user evaluation produced an average score of 4.3 (categorized as highly feasible). The IoT-based irrigation system using fuzzy logic has proven to be efficient, reliable, and suitable for modern sustainable agriculture.*

*Keywords: Internet of Things, Fuzzy Logic, Automatic Irrigation, Soil Moisture, Rain Prediction.*

## ABSTRAK

Tingginya konsumsi air dalam kegiatan pertanian sering disebabkan oleh metode penyiraman manual yang tidak memperhatikan kondisi kelembapan tanah dan prediksi hujan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan menggunakan logika fuzzy untuk mengatur aliran air berdasarkan kondisi lingkungan aktual. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah kapasitif, relay 5V, dan pompa air mini. Data prediksi hujan diperoleh dari API OpenWeatherMap, sedangkan aplikasi Blynk digunakan sebagai antarmuka pemantauan. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pengujian fungsionalitas, akurasi, dan efisiensi air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor kelembapan memiliki akurasi sebesar 90%, sistem mampu menghemat air sebesar 13,33% dibandingkan metode manual, serta seluruh fungsi sistem berjalan dengan tingkat keberhasilan 100%. Evaluasi pengguna menunjukkan skor rata-rata 4,3 dengan kategori sangat layak. Dengan demikian, sistem penyiraman otomatis berbasis IoT menggunakan logika fuzzy terbukti efisien, akurat, dan layak digunakan untuk mendukung pertanian modern berkelanjutan.

Kata Kunci: Internet of Things, Logika Fuzzy, Penyiraman Otomatis, Kelembapan Tanah, Prediksi Hujan.

## A. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan perekonomian nasional. Sebagai negara agraris, sebagian besar masyarakat Indonesia menggantungkan hidupnya pada sektor ini, baik dalam skala besar maupun kecil. Namun, salah satu tantangan utama yang masih dihadapi adalah keterbatasan dan ketidakefisienan dalam pengelolaan air untuk penyiraman tanaman. Air merupakan faktor vital dalam pertumbuhan tanaman, tetapi ketersediaannya sering kali tidak seimbang dengan kebutuhan di lapangan. Pola penyiraman manual yang dilakukan berdasarkan perkiraan dan kebiasaan petani menyebabkan penggunaan air yang berlebihan pada kondisi tertentu dan kekurangan air pada kondisi lainnya.

Penyiraman manual yang dilakukan tanpa memperhatikan kondisi aktual tanah juga menimbulkan risiko lain, yaitu stres tanaman akibat fluktuasi kelembapan. Jika tanah terlalu kering, pertumbuhan akar terganggu dan penyerapan nutrisi menurun. Sebaliknya, jika tanah terlalu basah, aerasi tanah berkurang dan meningkatkan risiko pembusukan akar. Kedua kondisi tersebut berdampak negatif terhadap produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan sumber daya air. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang mampu menyesuaikan penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan secara real-time.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang efisien untuk menjawab tantangan tersebut. IoT merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat elektronik melalui jaringan internet sehingga mampu saling berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis (Ananna, 2024)[1]. Dalam konteks pertanian, IoT dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu udara, intensitas cahaya, dan curah hujan, kemudian mengendalikan penyiraman tanaman secara otomatis berdasarkan data tersebut. Dengan memanfaatkan sensor dan sistem kendali mikrokontroler, proses penyiraman dapat dilakukan secara tepat waktu dan sesuai kebutuhan tanaman. (Morchid, 2024) [2].

Selain teknologi IoT, pendekatan logika fuzzy menjadi komponen penting dalam sistem pengambilan keputusan otomatis. Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai metode yang

mampu menangani ketidakpastian dalam data dan meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal nilai benar (1) dan salah (0), logika fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan di antara keduanya, seperti “kering”, “normal”, atau “basah.” (Saelan, 2009)[3]. Dengan demikian, logika fuzzy memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam menentukan intensitas penyiraman berdasarkan variasi kondisi lingkungan yang tidak pasti.

Integrasi antara IoT dan logika fuzzy menjadi inovasi yang sangat relevan untuk diterapkan dalam sistem penyiraman tanaman otomatis. Melalui koneksi internet, sensor kelembapan tanah dapat mengirimkan data secara berkala ke mikrokontroler yang telah diprogram dengan aturan fuzzy. Sistem kemudian menganalisis data tersebut bersamaan dengan informasi cuaca terkini untuk menentukan durasi atau intensitas penyiraman yang sesuai. Sebagai contoh, jika kondisi tanah kering namun terdapat peluang hujan tinggi, maka sistem akan menunda penyiraman guna menghemat air. Sebaliknya, jika tanah kering dan peluang hujan rendah, sistem akan mengaktifkan pompa air untuk melakukan penyiraman lebih lama.

Penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitas penggunaan IoT dalam pengelolaan air pertanian. Effendi (2022)[4] merancang sistem penyiraman otomatis menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis NodeMCU yang mampu menghemat air hingga 10%. Rabbika et al. (2023)[5] mengembangkan sistem serupa dengan penambahan kontrol aplikasi mobile, tetapi belum mengintegrasikan prediksi cuaca dan logika fuzzy. Sementara itu, Nsoh et al. (2024)[6] melakukan penelitian dengan menggunakan sensor suhu dan kelembapan udara, namun sistem yang dikembangkan masih bergantung pada pengaturan ambang batas tetap (threshold). Berbeda dari penelitian tersebut, penelitian ini menggabungkan parameter kelembapan tanah dan prediksi cuaca melalui API serta logika fuzzy adaptif untuk meningkatkan pengambilan keputusan penyiraman.

Salah satu pendekatan baru yang mulai dikembangkan adalah penggunaan data prediksi hujan melalui Application Programming Interface (API) cuaca seperti OpenWeatherMap. API ini memungkinkan sistem mengakses data prakiraan hujan secara otomatis dari server cuaca global. Dengan menggabungkan data sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan, sistem penyiraman menjadi lebih cerdas dan mampu menyesuaikan tindakan secara kontekstual. Penelitian ini menerapkan pendekatan tersebut melalui integrasi sensor kelembapan tanah kapasitif, mikrokontroler ESP32, API OpenWeatherMap, serta logika fuzzy sebagai algoritma pengambilan keputusan utama.

Dalam sistem yang dikembangkan, mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang mengumpulkan data kelembapan dari sensor dan data cuaca dari API, lalu memproses keduanya menggunakan aturan fuzzy. Keputusan hasil perhitungan fuzzy selanjutnya digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air melalui modul relay. Proses ini berlangsung otomatis dan dapat dipantau secara real-time menggunakan aplikasi Blynk, yang juga menyediakan fitur notifikasi kepada pengguna. Dengan demikian, sistem dapat bekerja mandiri tanpa intervensi manual, namun tetap memberikan transparansi kepada pengguna dalam bentuk pemantauan data langsung.

Penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy memiliki beberapa keunggulan utama. Pertama, sistem ini dapat menghemat air karena penyiraman dilakukan hanya ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas tertentu dan tidak ada indikasi hujan. Kedua, sistem dapat meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga karena seluruh proses berlangsung otomatis. Ketiga, sistem mampu beradaptasi dengan kondisi cuaca dinamis yang sulit diprediksi oleh manusia secara manual. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan sistem ini sangat relevan untuk diterapkan pada lahan pertanian skala kecil hingga menengah.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dan logika fuzzy yang mampu menyesuaikan keputusan penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah dan prediksi cuaca secara real-time. Sistem ini dirancang agar dapat menentukan intensitas penyiraman secara adaptif melalui mekanisme nilai keanggotaan fuzzy dari kedua parameter tersebut. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas dan efisiensi penggunaan air yang dihasilkan sistem dibandingkan metode penyiraman manual.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sistem penyiraman tanaman otomatis yang mampu bekerja secara mandiri dengan tingkat akurasi dan efisiensi tinggi. Dengan penerapan logika fuzzy, sistem diharapkan dapat mengambil keputusan penyiraman secara rasional dan sesuai kebutuhan tanaman. Integrasi data prediksi hujan melalui API cuaca digunakan untuk meningkatkan kecerdasan sistem dalam menyesuaikan keputusan penyiraman terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi dua aspek utama. Secara praktis, sistem ini dapat membantu petani atau penghobi tanaman dalam mengelola penyiraman tanpa harus melakukan pengawasan terus-menerus, sehingga menghemat air dan waktu. Secara akademik, penelitian ini memperkaya penerapan teknologi IoT dan

logika fuzzy di bidang pertanian cerdas (smart agriculture), serta menjadi dasar pengembangan lebih lanjut untuk sistem pengairan otomatis berskala luas.

Dengan adanya sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy ini, diharapkan permasalahan efisiensi penggunaan air dan ketepatan waktu penyiraman dapat teratasi. Sistem ini bukan hanya membantu meningkatkan produktivitas tanaman, tetapi juga menjadi langkah nyata menuju penerapan teknologi pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan dan berbasis data.

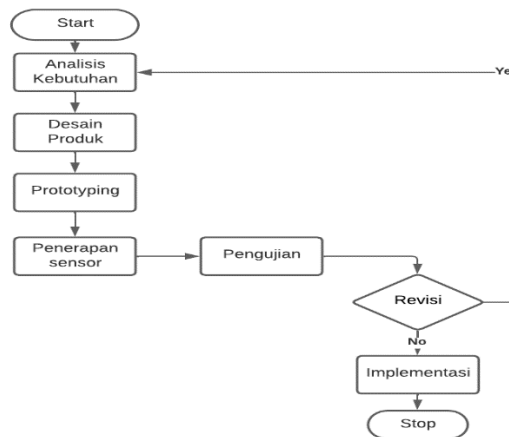
## **B. METODE**

### **1. Tahap Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D), yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk teknologi baru dalam bentuk sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dan logika fuzzy, serta menguji efektivitas sistem tersebut dalam kondisi nyata. Pendekatan R&D dipilih karena memungkinkan peneliti melakukan proses pengembangan secara sistematis mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga evaluasi hasil.

Menurut Sugiyono (2020)[7], metode R&D melibatkan tahapan berulang untuk menguji validitas dan reliabilitas produk yang dikembangkan. Dalam konteks penelitian ini, produk yang dimaksud adalah sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang bekerja secara terintegrasi dalam mengontrol penyiraman tanaman berdasarkan kondisi kelembapan tanah dan prediksi hujan.

Tahapan penelitian secara garis besar meliputi:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

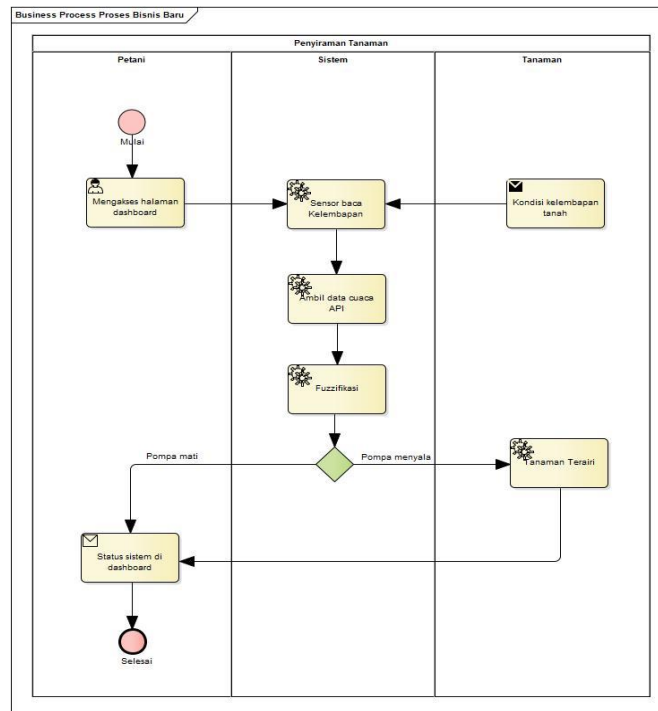
- Analisis kebutuhan sistem – Menentukan kebutuhan sistem berdasarkan masukan pengguna (petani/pengelola kebun), mencakup perangkat keras seperti sensor kelembapan dan ESP32 serta perangkat lunak untuk pemrosesan data. Data diperoleh melalui wawancara, observasi, dan studi literatur.
- Desain Produk – Menyusun rancangan awal sistem meliputi arsitektur, integrasi sensor dan modul IoT, algoritma prediksi hujan, serta antarmuka pengguna yang sederhana dan mudah digunakan.
- Prototipe – Mengembangkan dan menguji prototipe dengan mengintegrasikan perangkat keras dan lunak untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai rancangan, termasuk pengolahan data dan penyiraman otomatis.
- Penerapan Sensor dan Integrasi Awal – Memasang sensor di lapangan untuk pengujian nyata dan kalibrasi data, serta memastikan integrasi perangkat keras dan lunak berjalan optimal.
- Pengujian – Menguji akurasi sensor, ketepatan prediksi hujan, dan keandalan sistem penyiraman otomatis untuk menemukan potensi masalah.
- Revisi Melakukan perbaikan berdasarkan hasil pengujian guna meningkatkan kinerja dan kesesuaian sistem dengan kebutuhan pengguna.
- Implementasi Sistem – Menerapkan sistem secara penuh di lapangan dan melakukan uji coba akhir untuk memastikan semua fitur bekerja dengan baik dan sistem beroperasi andal serta efisien.

## 2. Rancangan Sistem

### a. Arsitektur Sistem

Sistem penyiraman otomatis yang dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: sensor kelembapan tanah, mikrokontroler ESP32, dan aktuator pompa air. Sensor berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan tanah secara real-time, kemudian mengirimkan data ke mikrokontroler. Mikrokontroler ESP32 bertugas memproses data tersebut bersama informasi prediksi hujan dari API OpenWeatherMap yang diambil melalui koneksi Wi-Fi. Berdasarkan kedua masukan ini, sistem akan menentukan apakah penyiraman perlu dilakukan atau tidak melalui mekanisme inferensi logika fuzzy.

Apabila hasil proses fuzzy menunjukkan bahwa kondisi tanah kering dan peluang hujan rendah, maka ESP32 akan mengirimkan sinyal ke modul relay untuk mengaktifkan pompa air DC 5V sampai kelembapan tertentu. Sebaliknya, jika kondisi tanah lembap atau peluang hujan tinggi, maka penyiraman akan ditunda. Semua data pembacaan sensor dan status pompa ditampilkan di aplikasi Blynk yang diinstal pada smartphone pengguna.



Gambar 2. Proses Bisnis Baru

### b. Komponen Perangkat keras

Komponen utama sistem dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 1. Komponen Perangkat Keras

No	Nama Komponen	Fungsi	Spesifikasi
1	ESP32 Devkit	Mikrokontroler utama untuk membaca data sensor, memproses logika fuzzy, dan mengontrol pompa.	- Tipe: ESP32-WROOM-32- Tegangan operasi: 3,0–3,6 V- Wi-Fi: 802.11 b/g/n- Bluetooth: v4.2 BR/EDR dan BLE- GPIO: 34 pin
2	Capacitive Soil Moisture Sensor v2.0	Mengukur kelembapan tanah dan mengirimkan data analog ke ESP32.	- Tipe: Kapasitif, anti korosi- Tegangan operasi: 3,3–5,5 V- Output: Analog
3	Relay 1 Channel 5V	Saklar elektronik untuk mengontrol pompa berdasarkan sinyal dari ESP32.	- Tegangan operasi: 5 V- Tipe: 1 channel SPDT- Arus maksimum: 10 A

No	Nama Komponen	Fungsi	Spesifikasi
4	Pompa Air Mini DC 5V	Mengalirkan air ke tanaman sesuai perintah dari ESP32 melalui relay.	- Tegangan operasi: 3–5 V DC- Debit: $\pm 1$ –3 L/menit- Arus: $\pm 0,5$ –1 A
5	Adaptor 5V	Menyediakan daya untuk pompa dan relay.	- Output: 5 V DC, 2 A- Input: 100–240 V AC, 50/60 Hz
6	Kabel Jumper	Menghubungkan antar komponen dalam rangkaian.	- Tipe: Male-Male, Male-Female- Panjang: 10–20 cm

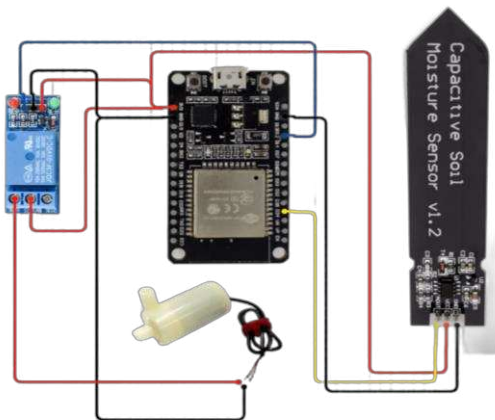
### c. Komponen Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program utama terdiri dari tiga bagian: (1) inialisasi koneksi Wi-Fi dan API cuaca, (2) pembacaan data sensor, (3) proses fuzzy dan kendali aktuator. Data prediksi cuaca diambil dari API OpenWeatherMap dalam format JSON dan diproses untuk mendapatkan parameter rain probability (peluang hujan).

Selain itu, digunakan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengguna. Blynk menampilkan indikator kelembapan tanah, status pompa, dan prakiraan cuaca, serta dapat digunakan untuk mengontrol sistem secara manual jika diperlukan.

### 3. Diagram wiring

Untuk memastikan integrasi perangkat keras berjalan optimal, sistem dirancang dengan sambungan kabel sesuai diagram berikut. Diagram ini menunjukkan hubungan antar-komponen antara ESP32, sensor kelembapan, relay, dan pompa air.



Gambar 3. Diagram wiring

Keterangan koneksi:

- ESP32 3V3 → VCC sensor, VCC relay, COM Relay
- ESP32 GND → GND sensor, GND relay, GND pompa
- ESP32 Pin 34 (A0) → Output sensor kelembapan
- ESP32 Pin 12 (D12) → Input relay
- Relay COM → Pompa +
- Adaptor 5V → esp32

### 4. Penerapan Logika Fuzzy

Logika fuzzy digunakan sebagai mekanisme pengambilan keputusan penyiraman. Sistem fuzzy yang dikembangkan memiliki dua variabel input dan satu variabel output, yaitu:

- a. Input 1: Kelembapan tanah (%)  
Kering (0–40%), Normal (40–70%), Basah (70–100%).
- b. Input 2: Prediksi hujan (%)  
Tidak Hujan (0–30%), Mungkin Hujan (30–70%), Akan Hujan (70–100%).
- c. Output: Durasi penyiraman (menit)  
Tidak Menyiram, Sedikit, Banyak.

Proses inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani, sedangkan proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid untuk mendapatkan nilai output akhir berupa durasi penyiraman dalam satuan menit.

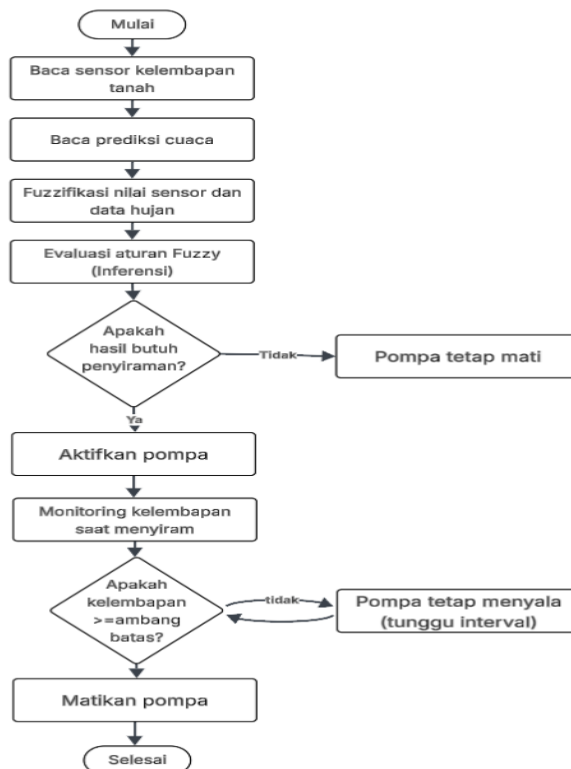
Tabel 2. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Variabel	Kategori	Rentang Nilai (%) / Skala	Keterangan
Kelembapan Tanah	Sangat Kering	0 – 10%	Kondisi tanah kritis, penyiraman harus dilakukan segera meskipun prediksi cuaca menunjukkan kemungkinan hujan.
	Kering	11 – 30%	Kondisi tanah kekurangan air, memerlukan penyiraman segera.
	Normal	31 – 59%	Kondisi tanah cukup lembab, penyiraman bergantung pada prediksi cuaca.
	Basah	60 – 100%	Kondisi tanah jenuh air, tidak perlu penyiraman.
Prediksi Hujan	Tidak Hujan	0 – 20%	Kemungkinan hujan rendah, cuaca cenderung kering.
	Mungkin Hujan	21 – 59%	Kemungkinan hujan sedang, penyiraman dapat dipertimbangkan.
	Akan Hujan	60 – 100%	Kemungkinan hujan tinggi, penyiraman sebaiknya tidak dilakukan.
Keputusan	Siram	0 – 59 (skala fuzzy)	Pompa aktif hingga kelembapan tanah mencapai batas optimal ( $\pm 60\%$ ).
	Tidak Siram	60 – 100 (skala fuzzy)	Pompa tidak aktif untuk menghindari pemborosan air.

Aturan tersebut ditulis dalam bentuk himpunan keanggotaan (membership function) dan diimplementasikan pada kode program. Setiap kali sistem menerima data sensor dan prediksi hujan, maka fungsi fuzzy akan dijalankan untuk menghasilkan keputusan penyiraman yang sesuai.

### 5. Diagram Alir

Diagram alir kerja sistem menggambarkan urutan proses mulai dari pembacaan data sensor hingga aktivasi pompa air. Tahapan prosesnya adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir

Berikut adalah penjelasan detail tiap langkah dalam flowchart sistem penyiraman otomatis berbasis logika fuzzy:

- a. Sistem dimulai saat mikrokontroler (ESP32) aktif. Biasanya proses akan diulang setiap beberapa menit atau setiap kali pembacaan sensor dilakukan secara periodik.
- b. Sensor kelembapan membaca kondisi tanah dan menghasilkan nilai analog (biasanya 0–4095 untuk ADC ESP32). Nilai ini dikonversi menjadi persentase menggunakan rumus:

$$\text{Kelembapan}(\%) = \left(1 - \frac{\text{ADC} - \text{Nilai Kering}}{\text{Nilai Basah} - \text{Nilai Kering}}\right) \times 100\%$$

Nilai inilah yang akan digunakan dalam proses fuzzy.

- c. Sistem mengambil data peluang hujan (0–100%) dari API atau sumber lokal. Data ini menentukan apakah dalam waktu dekat akan turun hujan, sehingga mempengaruhi keputusan penyiraman.
- d. Fuzzifikasi Nilai Sensor & Prediksi Cuaca dimana nilai kelembapan dan peluang hujan yang bersifat numerik (crisp) diubah menjadi nilai linguistik dengan fungsi keanggotaan fuzzy:  
Kelembapan Tanah: Kering, Normal, Basah  
Prediksi Cuaca: Tidak Hujan, Mungkin Hujan, Akan Hujan  
Hasilnya berupa nilai keanggotaan fuzzy ( $\mu$ ) untuk masing-masing kategori.
- e. Evaluasi Aturan Fuzzy (Inferensi) dengan Aturan IF–THEN, contohnya:  
IF Kelembapan = Kering AND Cuaca = Tidak Hujan THEN Penyiraman = Perlu  
IF Kelembapan = Normal AND Cuaca = Akan Hujan THEN Penyiraman = Tidak Perlu  
Logika fuzzy menggunakan operator minimum (AND):  
 $\mu_{\text{output}} = \min(\mu_{\text{kelembapan}}, \mu_{\text{hujan}})$
- f. Apakah Hasil Inferensi = Perlu Menyiram?  
Jika Ya: Lanjut ke proses penyiraman  
Jika Tidak: Pompa tetap dalam keadaan mati
- g. Pompa diaktifkan dan sistem masuk ke mode penyiraman dengan monitoring real-time terhadap kelembapan.
- h. Selama pompa menyiram, sensor kelembapan terus dibaca setiap beberapa detik (untuk melihat apakah kelembapan tanah sudah cukup  
Apakah Kelembapan  $\geq$  Ambang Batas?  
Jika belum, maka penyiraman dilanjutkan.  
Jika sudah cukup (kelembapan  $\geq 60\%$ ), maka penyiraman dihentikan.
- i. Pompa dimatikan secara otomatis oleh sistem. Kondisi tanah dianggap sudah cukup lembap dan tidak membutuhkan tambahan air.
- j. Satu siklus sistem selesai. Sistem dapat menunggu beberapa menit sebelum melakukan pembacaan ulang sensor dan mengulangi proses dari awal (mulai dari langkah 2).

## 6. Teknik Analisa Data

Teknik analisa data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy dari berbagai aspek, yaitu akurasi sensor, efektivitas penggunaan air, fungsionalitas sistem, dan kelayakan pengguna. Setiap aspek dianalisis dengan metode yang sesuai, sebagai berikut:

- a. Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan pembacaan sensor kelembapan tanah terhadap kondisi aktual di lapangan. Perhitungan akurasi dilakukan dengan membandingkan nilai sensor dengan alat ukur referensi, menggunakan rumus:

$$\text{Akurasi}(\%) = \left(1 - \frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}|}{\text{Nilai Referensi}}\right) \times 100\%$$

Nilai akurasi dihitung berdasarkan rata-rata dari beberapa kali pengukuran. Jika hasil akurasi  $\geq 80\%$ , maka sensor dianggap cukup akurat dan layak digunakan dalam sistem penyiraman otomatis.

- b. Uji efektivitas bertujuan untuk menilai seberapa besar sistem penyiraman otomatis mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan dengan metode penyiraman manual. Perbandingan dilakukan dengan menghitung selisih volume air yang digunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas}(\%) = \left(\frac{\text{Air manual} - \text{Air IOT}}{\text{Air manual}}\right) \times 100\%$$

Jika penghematan air  $\geq 20\%$ , sistem dianggap efektif.

- c. Uji fungsionalitas dilakukan menggunakan metode black-box testing untuk memastikan setiap fitur utama sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi. Pengujian dilakukan dengan memberikan input tertentu dan mencatat output yang dihasilkan. Tingkat keberhasilan dihitung dengan rumus:

$$\text{Tingkat Keberhasilan (\%)} = \frac{\text{jumlah fitur yang berfungsi dengan baik}}{\text{jumlah total fitur yang diuji}} \times 100\%$$

Jika hasil yang diperoleh  $\geq 80\%$ , maka sistem dianggap layak digunakan.

- d. Uji kelayakan dilakukan melalui kuesioner yang diberikan kepada pengguna (petani/pengelola kebun kecil). Skala Likert 5 poin digunakan untuk menilai aspek kemudahan, kenyamanan, dan manfaat sistem. Nilai rata-rata diperoleh dengan rumus:

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{total skor jawaban}}{\text{jumlah responden} \times \text{jumlah pertanyaan}}$$

Jadi jika hasil perhitungan mendapati nilai 4,3 ( $> 4$ ) maka nilai tersebut termasuk dalam kategori Sangat Layak

Tabel 3. Pertanyaan Pengujian Pengguna

No	PERTANYAAN	JAWABAN				
		SS	S	RG	TS	STS
1	Saya merasa sistem ini mudah digunakan tanpa pelatihan khusus.					
2	Saya dapat dengan cepat memahami fungsi dari fitur-fitur yang tersedia di sistem.					
3	Tampilan antarmuka aplikasi di smartphone sangat membantu dalam pengoperasian sistem.					
4	Informasi mengenai kelembapan tanah mudah dipahami oleh saya.					
5	Saya merasa lebih efisien dalam menyiram tanaman sejak menggunakan sistem ini.					
6	Prediksi hujan yang ditampilkan oleh sistem cukup akurat dan relevan.					
7	Sistem ini membantu saya menghemat penggunaan air untuk penyiraman					
8	Saya merasa yakin untuk mengandalkan sistem ini dalam mengatur penyiraman tanaman.					
9	Saya merasa nyaman menggunakan sistem ini untuk pemantauan harian.					
10	Sistem ini memberikan saya informasi yang cukup untuk mengambil keputusan.					
11	Saya jarang mengalami kesalahan atau kendala saat menggunakan sistem ini.					
12	Saya dapat dengan mudah memperbaiki kesalahan yang terjadi saat penggunaan sistem.					

No	PERTANYAAN	JAWABAN				
		SS	S	RG	TS	STS
13	Notifikasi dari sistem sangat membantu saya mengetahui kondisi tanah dan kebutuhan penyiraman.					
14	Saya merasa lebih produktif dalam mengelola tanaman setelah menggunakan sistem ini.					
15	Saya bersedia merekomendasikan sistem ini kepada petani atau pengguna lain.					
16	Secara keseluruhan, saya puas dengan kinerja sistem penyiraman otomatis ini.					

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil

##### a. Implementasi Sistem

Setelah tahap perancangan dan pembuatan prototipe selesai, dilakukan proses implementasi sistem penyiraman tanaman otomatis pada lahan percobaan berukuran kecil. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor kelembapan tanah kapasitif sebagai alat ukur kondisi tanah, modul relay 1 channel sebagai penghubung ke pompa air DC 5V, dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengguna untuk pemantauan jarak jauh.

Proses kerja sistem dimulai ketika ESP32 melakukan pembacaan data kelembapan tanah dari sensor. Nilai tersebut dikirim secara real-time ke sistem logika fuzzy yang diintegrasikan pada kode program. Pada saat yang sama, ESP32 juga melakukan permintaan data (request) ke API OpenWeatherMap melalui koneksi Wi-Fi untuk memperoleh nilai probabilitas hujan. Kedua data ini kelembapan tanah dan peluang hujan menjadi masukan (input) bagi sistem logika fuzzy.

Hasil keluaran (output) dari proses fuzzy berupa keputusan penyiraman: Tidak Menyiram, atau Menyiram. Jika hasil inferensi menunjukkan bahwa tanah kering dan peluang hujan rendah, maka sistem akan menyalakan pompa air sampai ke ambang batas kelembapan. Jika kondisi tanah normal atau peluang hujan sedang, maka pompa tidak akan menyala. Begitu juga jika peluang hujan tinggi atau tanah dalam kondisi basah, sistem tidak akan melakukan penyiraman.



Gambar 5. Implemetasi Alat

Aplikasi Blynk menampilkan indikator kelembapan tanah, status pompa (ON/OFF), serta informasi cuaca terkini mengenai peluang hujan. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem secara manual

melalui smartphone apabila dibutuhkan, namun sistem secara default berjalan otomatis. Implementasi ini menunjukkan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi secara terintegrasi sesuai rancangan.

b. Hasil Pengujian Fungsionalitas

Pengujian black-box dilakukan untuk memastikan bahwa setiap fitur utama dalam sistem bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan tanpa melihat isi kode, melainkan hanya berdasarkan input dan output dari sistem. Setiap fitur diuji secara independen dan diberi status “Berfungsi” atau “Tidak Berfungsi”. Persentase tingkat keberhasilan dihitung dengan rumus berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Fungsionalitas

No	Fitur yang Diuji	Input yang Diberikan	Output yang Diharapkan	Hasil Uji	Keterangan
1	Pembacaan Sensor Kelembapan Tanah	Simulasi kelembapan rendah/tinggi	Data kelembapan tampil di aplikasi Blynk	Berfungsi	Data sesuai kondisi nyata
2	Penyiraman Otomatis	Kelembapan < 40%, prediksi hujan rendah	Pompa aktif otomatis	Berfungsi	Sesuai logika fuzzy
3	Mode Manual	Tekan tombol pompa di Blynk	Pompa aktif/non-aktif sesuai tombol	Berfungsi	Respon cepat
4	Tampilan Data Cuaca	Akses API OpenWeatherMap	Informasi cuaca tampil di aplikasi	Berfungsi	Data update setiap request
5	Notifikasi Otomatis	Kelembapan < ambang batas	Aplikasi mengirim notifikasi	Berfungsi	Notifikasi tepat waktu
6	Histori Penyiraman	Jalankan sistem selama 6 jam	Data histori penyiraman tampil di Blynk	Berfungsi	Grafik terbaca jelas

$$\text{Tingkat Keberhasilan (\%)} = \frac{\text{jumlah fitur yang berfungsi dengan baik}}{\text{jumlah total fitur yang diuji}} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan (\%)} = \frac{6}{6} \times 100\% = 100\%$$

Jika tingkat keberhasilan  $\geq 80\%$ , maka sistem dianggap layak secara fungsional. Berdasarkan pengujian, semua fitur berhasil dijalankan dengan persentase keberhasilan mencapai 100%, yang menunjukkan bahwa sistem berfungsi baik.

c. Hasil Penujian Akurasi Sensor

Untuk memastikan bahwa sensor dapat membaca kelembapan tanah secara tepat, dilakukan pengukuran terhadap nilai sensor dan dibandingkan dengan kelembapan referensi (dari alat ukur standar atau metode observasi manual).

Akurasi dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( 1 - \frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}|}{\text{Nilai Referensi}} \right) \times 100\%$$

Tabel 5. Hasil Uji Akurasi Sensor Kelembapan Tanah

No	Nilai Sensor (%)	Nilai Referensi (%)	Selisih	Akurasi (%)
1	21	23	2	91,30
2	57	59	2	96,61

No	Nilai Sensor (%)	Nilai Referensi (%)	Selisih	Akurasi (%)
3	45	48	3	93,75
4	34	36	2	94,44
5	20	22	2	90,91
6	50	49	1	97,96
Rata-rata				94,16

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( \frac{91,30 + 96,61 + 93,75 + 94,44 + 90,91 + 97,96}{6} \right) \times 100\%$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( \frac{564,97}{6} \right) \times 100\% = 94,16\%$$

Hasil menunjukkan bahwa rata-rata akurasi sensor berada di 94%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor cukup andal untuk digunakan dalam sistem penyiraman otomatis.

d. Hasil Pengujian Efisiensi Penggunaan Air

Efektivitas sistem diukur dengan membandingkan jumlah air yang digunakan dalam rentan waktu 6 jam penyiraman manual dan 6 jam penyiraman menggunakan sistem otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy.

$$\text{Efektivitas (\%)} = \left( \frac{\text{Air manual} - \text{Air IOT}}{\text{Air manual}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas (\%)} = \left( \frac{750 - 650}{750} \right) \times 100\% = 13,33\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy mampu menghemat penggunaan air rata-rata sebesar 13,33% dibandingkan penyiraman manual.

e. Hasil Pengujian Kelayakan pengguna

Uji kelayakan dilakukan kepada sejumlah responden yang mencoba sistem secara langsung. Mereka memberikan penilaian terhadap tampilan antarmuka, kemudahan penggunaan, kecepatan respon sistem, dan kejelasan informasi. Penilaian menggunakan skala Likert 1–5 (Sangat Tidak Setuju hingga Sangat Setuju). Adapun hasil dari kuesioner untuk pengguna dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Kuisisioner Uji Kelayakan Pengguna

Pertanyaan	Responden		
	R1	R2	R3
P1	4	5	5
P2	4	5	5
P3	4	5	5
P4	4	5	5
P5	4	4	4
P6	4	3	2
P7	5	5	4
P8	4	4	3
P9	4	4	4
P10	4	4	3
P11	3	5	3
P12	3	4	4
P13	5	5	5
P14	4	5	4
P15	4	5	4

Pertanyaan	Responden		
	R1	R2	R3
P16	4	5	4
Jumlah	64	73	64
Total	201		

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{total skor jawaban}}{\text{jumlah responden} \times \text{jumlah pertanyaan}}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{201}{3 \times 16} = 4,1875$$

Berdasarkan table diatas, rata-rata nilai yang diperoleh adalah 4,19 yang menunjukkan sistem termasuk dalam kategori “Sangat Layak” untuk digunakan.

## 2. Pembahasan

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dan logika fuzzy yang dikembangkan telah berfungsi secara efektif dan efisien sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu membaca kondisi kelembapan tanah secara real-time, mengambil data prediksi cuaca melalui API *OpenWeatherMap*, serta menentukan keputusan penyiraman berdasarkan kombinasi kedua data tersebut.

Dari hasil uji fungsionalitas, seluruh enam fitur utama sistem berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras (sensor, ESP32, relay, dan pompa air) serta perangkat lunak (program fuzzy, API cuaca, dan aplikasi Blynk) bekerja secara sinkron. Fitur-fitur seperti penyiraman otomatis, mode manual, dan notifikasi kelembapan tanah berfungsi tanpa adanya keterlambatan atau error. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan tinggi dan dapat dioperasikan secara berkelanjutan.

Keandalan sistem ini juga ditunjang oleh hasil uji akurasi sensor kelembapan tanah, yang mencapai rata-rata 94,16%. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor kapasitif yang digunakan mampu mendeteksi kelembapan tanah dengan kesalahan relatif rendah, yaitu sekitar 5–6%. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu oleh (Effendi, 2022)[4], yang melaporkan akurasi sensor kapasitif di kisaran 90–95% setelah proses kalibrasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor yang digunakan sudah cukup layak untuk aplikasi otomatisasi penyiraman berbasis IoT.

Selanjutnya, uji efisiensi penggunaan air menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghemat air sebesar 13,33% dibandingkan metode penyiraman manual. Penghematan ini diperoleh karena sistem hanya mengaktifkan pompa ketika kondisi tanah berada di bawah ambang batas kelembapan dan tidak terdapat indikasi hujan dari API cuaca. Hasil ini juga membuktikan bahwa penerapan logika fuzzy yang mempertimbangkan dua parameter kelembapan tanah dan peluang hujan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan. Nilai efisiensi tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan penelitian (Rabbika, 2023)[5], yang hanya mencapai penghematan air 10% tanpa mempertimbangkan prediksi cuaca.

Penerapan logika fuzzy terbukti memberikan fleksibilitas dalam pengambilan keputusan. Berbeda dengan sistem berbasis ambang batas tetap (*threshold*), logika fuzzy memungkinkan sistem untuk memberikan keputusan yang lebih adaptif dan kontekstual. Misalnya, ketika kondisi tanah “kering” namun terdapat “peluang hujan sedang”, sistem tidak langsung melakukan penyiraman dalam durasi lama, melainkan menunggu atau melakukan penyiraman singkat untuk menjaga kelembapan sementara. Pendekatan ini meniru cara berpikir manusia dan terbukti meningkatkan efisiensi air tanpa menurunkan kesehatan tanaman.

Selain dari aspek teknis, hasil uji kelayakan pengguna menunjukkan bahwa sistem mendapat respon positif dengan nilai rata-rata 4,19 dari skala 5, yang termasuk dalam kategori *Sangat Layak*. Responden menilai sistem mudah digunakan, tampilan aplikasi Blynk sederhana dan informatif, serta fitur notifikasi dan kontrol manual berfungsi dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya layak dari sisi teknis, tetapi juga dari sisi pengalaman pengguna (*usability*).

Namun demikian, terdapat beberapa masukan dari pengguna untuk pengembangan sistem di masa depan. Beberapa di antaranya adalah penambahan fitur pembagian zona penyiraman (*multi-zone irrigation*), penambahan sensor curah hujan lokal untuk meningkatkan akurasi keputusan, serta pengembangan sistem yang dapat bekerja dengan sumber energi mandiri seperti panel surya. Rekomendasi ini penting untuk meningkatkan skalabilitas dan kemandirian sistem pada penerapan di lahan pertanian yang lebih luas.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa integrasi antara teknologi IoT dan logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, akurasi pengambilan keputusan, serta kemudahan pemantauan penyiraman tanaman. Sistem yang dikembangkan tidak hanya memberikan manfaat praktis bagi petani atau penghobi tanaman, tetapi juga berkontribusi terhadap pengembangan teknologi *smart agriculture* yang berkelanjutan dan hemat sumber daya.

#### **D. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dan logika fuzzy yang dikembangkan berfungsi dengan baik dan memenuhi tujuan penelitian. Sistem mampu membaca kelembapan tanah secara real-time, mengambil data prediksi hujan dari API *OpenWeatherMap*, serta mengendalikan penyiraman secara otomatis berdasarkan hasil inferensi logika fuzzy.

Pengujian fungsionalitas menunjukkan tingkat keberhasilan 100%, yang membuktikan bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai rancangan. Sensor kelembapan tanah kapasitif memiliki akurasi pembacaan sebesar 94,16%, sehingga cukup andal untuk digunakan dalam sistem otomasi pertanian. Dari sisi efisiensi, sistem berhasil menghemat penggunaan air rata-rata sebesar 13,33% dibandingkan metode penyiraman manual. Selain itu, hasil uji kelayakan pengguna memperoleh nilai rata-rata 4,19 (kategori *Sangat Layak*), yang menunjukkan bahwa sistem mudah digunakan, responsif, dan informatif bagi pengguna.

Dengan demikian, integrasi teknologi IoT dan logika fuzzy terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan keandalan penyiraman tanaman. Sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan pada skala pertanian yang lebih luas dan menjadi dasar pengembangan lebih lanjut menuju penerapan konsep *smart agriculture* yang hemat energi, adaptif terhadap kondisi cuaca, dan ramah lingkungan.

#### **E. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] T. N. Ananna and M. Saifuzzaman, "Introduction to Internet of Things," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 1169, pp. 1–49, 2024, doi: 10.1007/978-981-97-5624-7\_1.
- [2] A. Morchid, R. Jebabra, H. M. Khalid, R. El Alami, H. Qjidaa, and M. Ouazzani Jamil, "IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing," *Results Eng.*, vol. 23, no. July, p. 102829, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102829.
- [3] A. Saelan, *Logika Fuzzy*, vol. 1, no. 13508029. 2009.
- [4] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT," *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [5] A. I. Rabbika *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Controlling Penyiraman Tanaman Kangkung Berbasis Internet of Things," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 4, no. 1, pp. 373–380, 2023, doi: 10.35870/jimik.v4i1.213.
- [6] B. Nsoh *et al.*, "Internet of Things-Based Automated Solutions Utilizing Machine Learning for Smart and Real-Time Irrigation Management: A Review," *Sensors*, vol. 24, no. 23, 2024, doi: 10.3390/s24237480.
- [7] Sugiyono, *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. 2020.