

# Implementasi Fuzzy Logic pada Sistem Monitoring dan Kontrol Penyiraman Tanaman Tomat Berbasis Internet of Things

Guntur<sup>1</sup>, Abdul Latief Arda<sup>\*2</sup>, Syamsu Alam<sup>3</sup>, Andy Lukman Affandy<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Progran Sarjana Sistem Komputer Universitas Handayani Makassar

<sup>2</sup> Progran Pascasarjana Sistem Komputer Universitas Handayani Makassar

guntur@handayani.ac.id<sup>1</sup>, [abdullatief@handayani.ac.id](mailto:abdullatief@handayani.ac.id)<sup>2</sup>, [syamsulalam@handayani.ac.id](mailto:syamsulalam@handayani.ac.id)<sup>3</sup>,

[luckyxco@gmail.com](mailto:luckyxco@gmail.com)<sup>4</sup>

**Abstrak**— Tanaman tomat membutuhkan pengendalian kondisi lingkungan dan tanah yang tepat untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas yang optimal. Pengelolaan secara manual sering menyebabkan ketidakkonsistenan kondisi tumbuh akibat perubahan lingkungan yang tidak terkontrol. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode Fuzzy Logic pada sistem monitoring dan kontrol penyiraman tanaman tomat berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor kelembaban tanah dan suhu lingkungan sebagai parameter masukan untuk merepresentasikan kondisi aktual tanaman. Data sensor diproses menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani sebagai mekanisme pengambilan keputusan dalam menentukan tingkat penyiraman secara otomatis. Sistem diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan dilengkapi dengan fitur monitoring secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring dan kontrol penyiraman secara adaptif sesuai kondisi lingkungan. Sistem berhasil menjaga kelembaban tanah dalam rentang optimal untuk pertumbuhan tanaman tomat. Selain itu, sistem memiliki tingkat akurasi pembacaan sensor sebesar 95,2% dan akurasi pengendalian sistem sebesar 93,8%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode Fuzzy Logic pada sistem berbasis IoT ini efektif dalam meningkatkan efisiensi penyiraman serta kestabilan kondisi lingkungan tanaman

**Kata Kunci**— IoT, Fuzzy Logic, Monitoring dan Kontrol, Penyiraman Otomatis, Tanaman Tomat

**Abstract**— Tomato plants require proper environmental and soil condition control to support optimal growth and productivity. Manual management often leads to inconsistent growing conditions due to uncontrolled environmental changes. This study aims to implement the Fuzzy Logic method in an Internet of Things (IoT)-based monitoring and irrigation control system for tomato plants. The developed system utilizes soil moisture and environmental temperature sensors as input parameters to represent the actual condition of the plants. Sensor data are processed using the Mamdani Fuzzy Logic method as a decision-making mechanism to determine irrigation levels automatically. The system is implemented using an ESP32 microcontroller and equipped with real-time monitoring features. The testing results show that the system is capable of performing adaptive monitoring and irrigation control according to environmental conditions. The system successfully maintained soil moisture within the optimal range for tomato plant growth. In addition, the system achieved a sensor reading accuracy of 95.2% and a control system accuracy of 93.8%. These results

indicate that the implementation of the Fuzzy Logic method in the IoT-based system is effective in improving irrigation efficiency and maintaining the stability of the plant environmental conditions.

**Keywords**— Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Monitoring and Control, Automatic Irrigation, Tomato Plants

## I. PENDAHULUAN

Tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang stabil. Pertumbuhan dan produktivitas tanaman tomat sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan tanah, khususnya kelembaban tanah dan suhu lingkungan [1], [2]. Ketidaksesuaian parameter tersebut dapat menghambat proses fisiologis tanaman, menurunkan kualitas buah, serta mengurangi hasil panen secara signifikan.

Pada praktik pertanian konvensional, pengelolaan penyiraman tanaman tomat umumnya masih dilakukan secara manual berdasarkan pengalaman petani. Pendekatan ini sering menyebabkan ketidakkonsistenan dalam pemberian air karena tidak mempertimbangkan kondisi lingkungan secara real-time [3], [4]. Selain itu, penyiraman yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan pemborosan air serta menurunkan efisiensi budidaya tanaman [5].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi antara perangkat sensor, sistem kendali, dan jaringan komunikasi untuk melakukan monitoring serta kontrol secara otomatis dan real-time. Melalui teknologi IoT, data kondisi lingkungan dapat diperoleh secara kontinu dan digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengendalian sistem [6], [7]. Dengan demikian, sistem penyiraman dapat dioptimalkan sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman.

Namun, karakteristik data lingkungan yang dinamis dan tidak pasti menjadi tantangan dalam perancangan sistem kontrol otomatis. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu menangani ketidakpastian tersebut secara fleksibel. Metode fuzzy logic merupakan salah satu pendekatan yang efektif karena mampu merepresentasikan pengetahuan pakar dalam bentuk aturan linguistik serta menghasilkan keputusan yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan [8], [9]. Metode Fuzzy Logic Mamdani banyak digunakan dalam sistem

pengendalian irigasi karena tidak memerlukan model matematis yang kompleks dan mampu memberikan hasil yang lebih halus dibandingkan metode berbasis ambang batas (threshold) [10]–[12].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan metode Fuzzy Logic pada sistem monitoring dan kontrol penyiraman tanaman tomat berbasis Internet of Things. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan data kelembaban tanah dan suhu lingkungan sebagai parameter utama dalam menentukan keputusan penyiraman secara otomatis. Diharapkan sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, menjaga kondisi tanah dalam rentang optimal, serta mendukung proses budidaya tanaman tomat yang lebih efektif dan berkelanjutan.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama yang saling terintegrasi, mulai dari proses akuisisi data lingkungan menggunakan sensor hingga pengambilan keputusan pengendalian penyiraman menggunakan metode Fuzzy Logic. Alur metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan proses monitoring dan kontrol sistem secara sistematis [13].

### 2.1. Akuisisi Data Sensor

Tahap awal penelitian adalah proses akuisisi data kondisi lingkungan dan tanah menggunakan sensor. Sensor yang digunakan meliputi sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) untuk mengukur kadar air dalam tanah serta sensor suhu udara untuk memantau kondisi lingkungan sekitar tanaman [14], [15].

Data dari sensor dibaca secara periodik dan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Selain itu, data juga ditransmisikan ke platform IoT untuk keperluan monitoring secara real-time. Penggunaan sensor ini memungkinkan sistem memperoleh informasi kondisi aktual tanaman sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian penyiraman.

### 2.2. Fuzzifikasi

Data sensor yang diperoleh berupa nilai numerik (*crisp values*) yang tidak dapat langsung digunakan dalam sistem fuzzy. Oleh karena itu, dilakukan proses fuzzifikasi untuk mengubah nilai tersebut menjadi nilai linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan [16]. Variabel masukan yang digunakan meliputi: Kelembaban tanah dan Suhu udara

Masing-masing variabel diklasifikasikan ke dalam beberapa himpunan linguistik, seperti rendah, sedang, dan tinggi. Proses fuzzifikasi bertujuan untuk merepresentasikan kondisi lingkungan dalam bentuk yang lebih fleksibel dan menyerupai cara pengambilan keputusan manusia [17].

### 2.3. Evaluasi Aturan Fuzzy

Setelah proses fuzzifikasi, tahap berikutnya adalah evaluasi aturan fuzzy (*fuzzy rule evaluation*). Aturan fuzzy disusun dalam bentuk aturan IF–THEN yang merepresentasikan

pengetahuan dalam pengelolaan penyiraman tanaman tomat [18]. Pada tahap ini, sistem melakukan proses inferensi menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk menentukan tingkat aktivasi setiap aturan berdasarkan nilai keanggotaan variabel masukan. Metode Mamdani dipilih karena mudah diimplementasikan dan mampu menangani ketidakpastian data lingkungan [19].

### 2.4. Defuzzifikasi

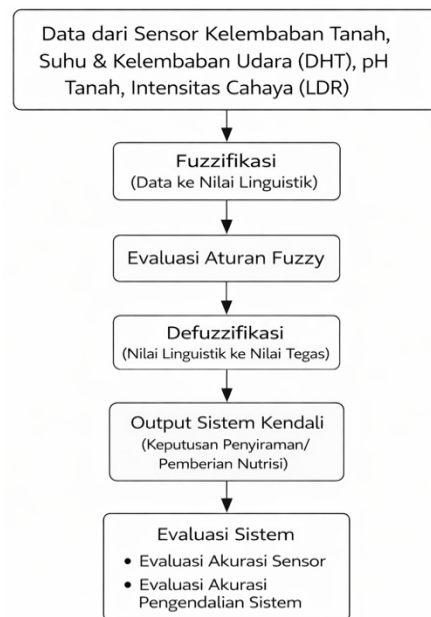
Hasil dari proses inferensi fuzzy masih berupa nilai fuzzy, sehingga diperlukan proses defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keluaran tegas (*crisp output*). Pada penelitian ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid, yaitu dengan menghitung titik pusat dari area keluaran fuzzy [20]. Metode ini dipilih karena menghasilkan nilai keluaran yang stabil dan representatif terhadap keseluruhan aturan yang aktif.

### 2.5. Output Sistem Kontrol

Tahap akhir dari metode penelitian adalah menghasilkan output sistem kontrol. Nilai keluaran dari proses defuzzifikasi digunakan sebagai dasar dalam menentukan aksi penyiraman, seperti: Mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air dan menentukan durasi penyiraman

Sistem kemudian mengirimkan hasil keputusan tersebut ke aktuator melalui mikrokontroler ESP32. Selain itu, informasi kondisi dan status sistem juga ditampilkan melalui platform monitoring berbasis IoT secara real-time.

Dengan pendekatan ini, sistem mampu melakukan monitoring dan kontrol penyiraman secara otomatis, adaptif, dan efisien sesuai dengan kondisi lingkungan tanaman [21].

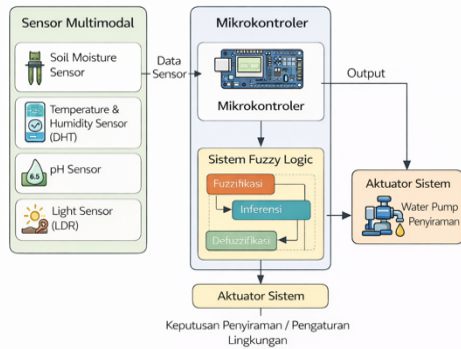


Gbr 1. Diagram alur proses fuzzy logic dan evaluasi sistem pada smart farming tanaman tomat

### 2.6. Arsitektur Sistem Smart Farming

Arsitektur sistem smart farming tanaman tomat yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sensor multimodal, unit

pemrosesan, dan aktuator. Sensor multimodal berfungsi sebagai unit akuisisi data lingkungan, unit pemrosesan berfungsi sebagai pengolah data dan pengambil keputusan menggunakan fuzzy logic, sedangkan aktuator berfungsi sebagai pengendali kondisi lingkungan tanaman secara langsung [22], [23]



Gbr 2. Arsitektur sistem smart farming tanaman tomat menggunakan sensor multimodal dan fuzzy logic

2.7. Perancangan Fuzzy Logic

a. Variabel

Sistem fuzzy menggunakan empat variabel input utama:

TABEL 1. KELEMBABAN TANAH (%)

No.	Himpunan	Rentang
1	Kering	0 – 40
2	Normal	30 – 60
3	Basah	50-100

TABEL 2 PH TANAH

No.	Himpunan	Rentang
1	Asam	0 – 5,5
2	Normal	5,5 – 6,5
3	Basa	6,5 – 14

TABEL 3. WATER PUMP PENYIRAMAN

No.	Himpunan	Nilai Representatif
1	Pendek	5
2	Sedang	12
3	Lama	25

TABEL 4. DURASI WATER PUMP NUTRISI

No.	Himpunan	Nilai Representatif
1	Tidak Aktif	0
2	Sedang	10
3	Lama	20

b. Himpunan Keanggotaan

Digunakan fungsi segitiga (triangular) dan trapesium (trapezoidal).

Kelembaban Tanah Kering

$$\mu_{Kering}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 30 \\ \frac{40-x}{10}, & 30 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases} \quad (1)$$

Kelembaban Tanah Normal

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{15}, & 30 < x < 45 \\ \frac{60-x}{15}, & 45 \leq x < 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases} \quad (2)$$

c. Basis Aturan (Rule Base Fuzzy)

- IF Kelembaban Tanah *Kering* THEN Penyiraman *Lama*
- IF Kelembaban Tanah *Normal* THEN Penyiraman *Sedang*
- IF Kelembaban Tanah *Basah* THEN Penyiraman *Tidak Aktif*
- IF pH *Asam* THEN Nutrisi *Sedang*
- IF pH *Basa* THEN Nutrisi *Lama*
- IF pH *Normal* THEN Nutrisi *Tidak Aktif*

d. Defuzzifikasi (Centroid)

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad x \leq \alpha_i \quad (3)$$

e. Evaluasi Akurasi Sensor

$$Akurasi = \left( \frac{|X_{sensor} - X_{referensi}|}{X_{referensi}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

$X_{sensor}$  = nilai pembacaan sensor sistem

$X_{referensi}$  = nilai pembacaan alat referensi terkalibrasi

f. Evaluasi Akurasi Pengendali Sistem

$$Akurasi\ Kendali = \frac{N_{sesuai}}{N_{total}} \times 100\% \quad (5)$$

dengan:

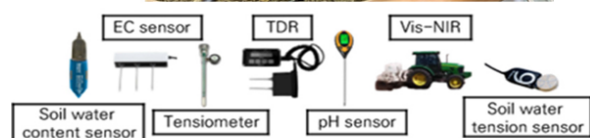
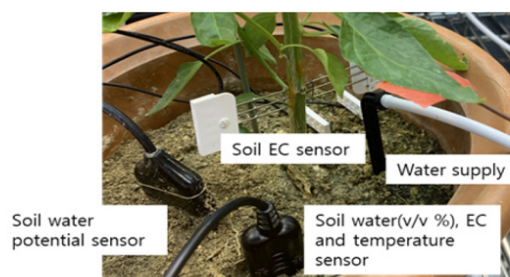
$N_{sesuai}$  = jumlah keputusan sistem yang sesuai dengan kondisi ideal

$N_{total}$  = total skenario pengujian

III. HASIL DAN PEMBEHASAN

3.1. Hasil Implementasi Perangkat Keras Sistem

Hasil implementasi perangkat keras sistem smart farming tanaman tomat ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem yang direalisasikan merupakan hasil integrasi antara mikrokontroler, sensor lingkungan, dan aktuator yang telah dirancang pada tahap metode penelitian. Implementasi dilakukan pada media tanam tomat untuk memastikan sistem dapat bekerja pada kondisi nyata.



Sistem menggunakan mikrokontroler

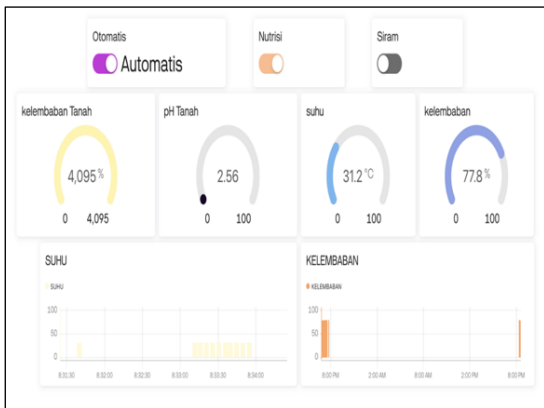
Gbr 3. Implementasi Perangkat Keras Sistem

ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang berfungsi membaca data dari seluruh sensor dan menjalankan algoritma fuzzy logic. Sensor yang digunakan meliputi sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11), serta sensor intensitas cahaya berbasis LDR. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sensor mampu melakukan pengukuran kondisi lingkungan secara real-time dan mengirimkan data ke mikrokontroler dengan baik.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan dua aktuator berupa water pump, yaitu water pump penyiraman dan water pump nutrisi. Water pump penyiraman berfungsi mengatur suplai air ke tanaman, sedangkan water pump nutrisi digunakan untuk pemberian larutan nutrisi. Aktuator dikendalikan oleh mikrokontroler melalui modul relay dan merespons keputusan sistem fuzzy logic secara otomatis.

3.2. Pengujian Perangkat Lunak

Sistem diimplementasikan pada lahan pertanian eksperimen dengan dua titik sensor. Proses akuisisi data dilakukan secara otomatis setiap 15 menit selama periode pengamatan selama 22 hari.



Gbr 4. Pengujian Perangkat Lunak

Berdasarkan Gambar 8, sistem beroperasi dalam mode otomatis aktif (ditunjukkan dengan warna ungu), yang berarti proses penyiraman dan pemberian nutrisi berjalan secara otomatis berdasarkan pembacaan sensor. Status nutrient switch dalam kondisi aktif menunjukkan bahwa pompa nutrisi sedang bekerja, sedangkan irrigation switch dalam kondisi nonaktif

menunjukkan bahwa proses penyiraman belum dilakukan pada saat tersebut.

Sensor yang digunakan memantau kondisi tanah dan lingkungan, meliputi kelembaban tanah, pH tanah, suhu, dan kelembaban udara. Nilai kelembaban tanah terbaca sebesar 4,095%, sedangkan pH tanah sebesar 2,56 yang menunjukkan kondisi tanah sangat asam. Suhu lingkungan tercatat sebesar 31,2°C dan kelembaban udara sebesar 77,8%. Seluruh data tersebut ditampilkan secara real-time.

Data sensor ditampilkan pada dashboard dalam bentuk angka dan grafik. Berdasarkan data tersebut, sistem dapat secara otomatis mengaktifkan fitur pemberian nutrisi atau penyiraman sesuai kebutuhan. Pada kondisi yang ditunjukkan pada gambar, sistem mengaktifkan pemberian nutrisi karena nilai pH tanah sebesar 2,56 yang tergolong sangat asam. Rentang pH tanah yang ideal untuk pertanian umumnya berada pada kisaran 6,0–7,0. Kondisi pH yang terlalu rendah dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman, sehingga sistem mengaktifkan mode pemberian nutrisi.



Gbr 5. Pengujian Aplikasi Mobile

Gambar di atas menunjukkan sistem Smart Farming berbasis IoT yang berfungsi untuk memantau kondisi tanah dan lingkungan secara real-time. Terdapat tiga tombol kontrol utama, yaitu Setting (mode otomatis dan manual), Nutrient (aktivasi pompa nutrisi), dan Irrigate (aktivasi sistem penyiraman). Pada gambar tersebut, tombol Nutrient dalam kondisi aktif, yang menunjukkan bahwa sistem sedang melakukan pemberian nutrisi ke tanah. Empat parameter utama ditampilkan dalam bentuk indikator melingkar, yaitu:

1. pH tanah menunjukkan nilai sebesar 10,39 yang mengindikasikan kondisi tanah bersifat basa.
2. Kelembaban tanah menunjukkan nilai sebesar 545,00 yang menandakan kondisi tanah cukup lembab.
3. Kelembaban udara sebesar 68,90%.
4. Suhu udara tercatat sebesar 26,30°C.

Data tersebut diperoleh dari berbagai sensor, kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan melalui aplikasi Blynk. Pada bagian bawah, ditampilkan dua grafik, yaitu grafik suhu dan grafik kelembaban:

1. Grafik suhu menunjukkan tren peningkatan dari 25,70°C menjadi 26,20°C dalam periode waktu tertentu, yang mengindikasikan kenaikan suhu secara bertahap.
2. Grafik kelembaban menunjukkan nilai yang berfluktuasi, namun masih berada dalam rentang yang ideal.

Secara keseluruhan, sistem ini bekerja dengan memantau parameter lingkungan dan tanah, kemudian menyesuaikan tindakan seperti penyiraman atau pemberian nutrisi secara otomatis maupun manual, sehingga mendukung sistem pertanian yang lebih efisien dan berbasis data.

### 3.3. Hasil Pengujian Water Pump Penyiraman

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5, sistem fuzzy logic mampu mengendalikan durasi kerja water pump penyiraman secara adaptif berdasarkan tingkat kelembaban tanah. Pada kondisi tanah kering, durasi penyiraman yang dihasilkan relatif lebih lama, sedangkan pada kondisi tanah normal durasi penyiraman berkurang secara bertahap. Ketika kelembaban tanah berada pada kondisi basah, sistem secara otomatis menonaktifkan water pump penyiraman.

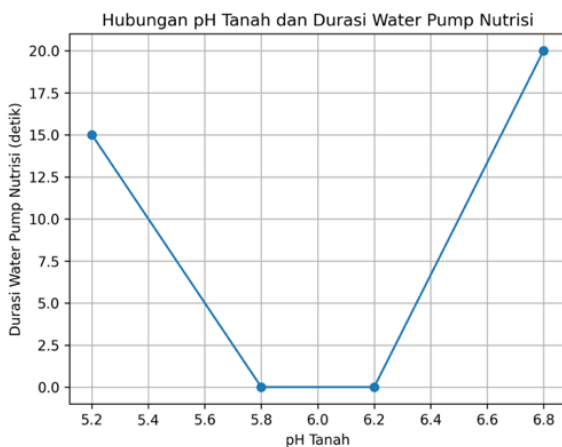
TABEL 5.  
HASIL UJI WATER PUMP PENYIRAMAN

Kelembaban (%)	Kategori	Durasi (detik)
32	Kering	25
38	Kering	20
45	Normal	12
55	Normal	8
65	Basah	0
72	Basah	0

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya bekerja berdasarkan satu nilai ambang batas, tetapi mampu memberikan respons yang proporsional terhadap perubahan kondisi tanah. Temuan ini mendukung pernyataan pada abstrak bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan pengendalian penyiraman secara otomatis dan adaptif.

### 3.4. Hubungan Kelembaban Tanah dan Durasi Penyiraman

Grafik hubungan antara kelembaban tanah dan durasi water pump penyiraman pada Gambar 4 memperlihatkan tren penurunan yang konsisten. Semakin tinggi nilai kelembaban tanah, semakin kecil durasi penyiraman yang dihasilkan oleh sistem. Pola ini mencerminkan karakteristik kontrol halus (smooth control) dari metode fuzzy logic.



Gambar 4. Hubungan Kelembaban Tanah dan Durasi Penyiraman

Tren tersebut mengindikasikan bahwa sistem fuzzy logic mampu menyesuaikan durasi penyiraman secara bertahap, sehingga berpotensi mengurangi risiko penyiraman berlebih. Hal ini sejalan dengan tujuan penelitian yang dinyatakan pada abstrak, yaitu meningkatkan efisiensi penggunaan air pada sistem smart farming tanaman tomat.

### 3.5. Hasil Pengujian Water Pump Nutrisi

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 6, sistem hanya mengaktifkan water pump nutrisi ketika pH tanah berada di luar rentang optimal. Pada kondisi pH tanah normal, durasi pompa bernilai nol, yang menunjukkan bahwa sistem tidak melakukan pemberian nutrisi tambahan.

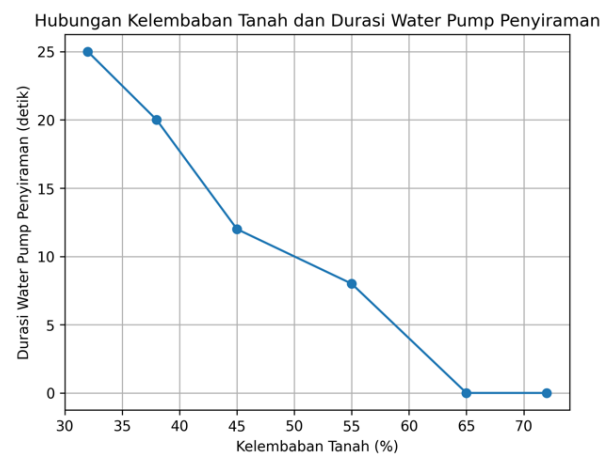
TABEL 6.  
PENGUJIAN WATER PUMP NUTRISI

pH Tanah	Kategori	Durasi (detik)
5,2	Asam	15
5,8	Normal	0
6,2	Normal	0
6,8	Basa	20

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy logic mampu melakukan pengambilan keputusan yang selektif dalam pemberian nutrisi, sehingga dapat mencegah penggunaan nutrisi yang berlebihan. Temuan ini mendukung pernyataan pada abstrak bahwa sistem mampu menjaga kondisi tanah dalam rentang optimal.

### 3.6. Hubungan pH Tanah dan Durasi Water Pump Nutrisi

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa durasi kerja water pump nutrisi meningkat ketika pH tanah berada pada kondisi asam maupun basa, dan bernilai nol ketika pH tanah berada pada rentang optimal. Pola ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy logic mampu merespons perubahan kondisi pH tanah secara tepat.



Gambar 6. Hubungan pH Tanah dan Durasi Water Pump Nutrisi

Hasil tersebut mengindikasikan bahwa integrasi parameter pH tanah dalam sistem fuzzy logic memberikan kontribusi penting dalam pengendalian pemberian nutrisi secara otomatis. Hal ini konsisten dengan kesimpulan penelitian yang menyatakan bahwa sistem mampu mengoptimalkan penggunaan nutrisi tanaman.

### 3.7. Hasil Evaluasi

#### a. Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor sistem terhadap alat ukur referensi yang telah terkalibrasi. Sensor yang diuji meliputi sensor kelembaban tanah, sensor suhu udara dan kelembaban udara (DHT11), serta sensor pH tanah. Setiap sensor diuji pada beberapa kondisi pengukuran untuk memperoleh nilai galat dan akurasi pembacaan. Hasil pengujian akurasi sensor disajikan pada Tabel 7.

TABEL 7.  
HASIL PENGUJIAN AKURASI SENSOR

No	Jenis Sensor	Akurasi (%)
1	Sensor kelembaban tanah	94,8
2	Sensor suhu udara (DHT11)	96,1
3	Sensor kelembaban udara (DHT11)	95,5
4	Sensor pH tanah	94,4
	<b>Rata-rata akurasi sensor</b>	<b>95,2</b>

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7, sensor kelembaban tanah memiliki akurasi sebesar 94,8%, sensor suhu udara sebesar 96,1%, sensor kelembaban udara sebesar 95,5%, dan sensor pH tanah sebesar 94,4%. Dari hasil tersebut diperoleh nilai rata-rata akurasi pembacaan sensor sebesar 95,2%. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor mampu merepresentasikan kondisi lingkungan dan tanah tanaman tomat dengan baik, sehingga data yang digunakan sebagai masukan sistem *fuzzy logic* bersifat valid dan reliabel.

#### b. Pengujian Akurasi Kendali Sistem

Evaluasi akurasi pengendalian sistem dilakukan dengan membandingkan keputusan sistem fuzzy logic terhadap kondisi ideal pengelolaan tanaman tomat pada setiap skenario pengujian. Keputusan sistem meliputi aktivasi dan durasi kerja water pump penyiraman serta water pump nutrisi. Hasil evaluasi akurasi pengendalian sistem disajikan pada Tabel 8.

TABEL 8.  
PENGUJIAN AKURASI KENDALI

No	Kondisi Tanah	Keputusan Sistem	Ideal	Status
1	Kering	Pompa lama	Pompa lama	Sesuai
2	Kering	Pompa sedang	Pompa lama	Tidak Sesuai
3	Normal	Pompa sedang	Pompa sedang	Sesuai
...	...	...	...	...
16	Basah	Pompa OFF	Pompa OFF	Sesuai

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 8, dari total 16 skenario pengujian yang dilakukan, sistem menghasilkan keputusan yang sesuai pada 15 skenario pengujian. Dengan demikian, diperoleh nilai akurasi pengendalian sistem sebesar 93,8%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan keputusan pengendalian yang sesuai dengan kondisi lingkungan aktual secara konsisten.

### 3.8. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi yang telah dilakukan, sistem smart farming tanaman tomat berbasis fuzzy logic mampu bekerja secara adaptif dan stabil. Integrasi sensor multimodal memungkinkan sistem memperoleh informasi lingkungan yang lebih komprehensif dibandingkan sistem dengan satu parameter tunggal.

Pendekatan fuzzy logic Mamdani memungkinkan sistem meniru cara pengambilan keputusan manusia dalam pengelolaan penyiraman dan pemberian nutrisi. Keputusan yang dihasilkan tidak bersifat biner, tetapi mempertimbangkan derajat kondisi lingkungan, sehingga sistem lebih fleksibel dan efisien. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kondisi lingkungan dalam rentang yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman tomat dengan tingkat akurasi yang tinggi.

## IV. PENUTUP

### 4.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem smart farming tanaman tomat berbasis fuzzy logic dengan integrasi sensor multimodal, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan pengendalian penyiraman serta pemberian nutrisi secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi pembacaan sensor rata-rata sebesar 95,2%, yang menandakan bahwa sensor mampu merepresentasikan kondisi lingkungan dan tanah tanaman tomat secara valid. Selain itu, sistem juga menunjukkan akurasi pengendalian sebesar 93,8%, yang menunjukkan bahwa keputusan pengendalian yang dihasilkan oleh sistem fuzzy logic telah sesuai dengan kondisi ideal pengelolaan tanaman tomat.

Dengan demikian, penerapan fuzzy logic Mamdani yang dikombinasikan dengan sensor multimodal terbukti efektif dalam mendukung sistem smart farming tanaman tomat, khususnya dalam meningkatkan ketepatan dan efisiensi pengelolaan penyiraman dan pemberian nutrisi.

### 4.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya. Sistem smart farming yang dikembangkan dapat ditingkatkan dengan menambahkan parameter lingkungan lain, seperti kandungan unsur hara tanah atau tingkat konduktivitas listrik (EC), guna meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan.

Selain itu, pengujian sistem dapat dilakukan dalam jangka waktu yang lebih panjang dan pada kondisi lingkungan yang lebih beragam untuk mengevaluasi kestabilan dan keandalan sistem secara menyeluruh. Pengembangan sistem juga dapat diarahkan pada integrasi dengan platform pemantauan jarak jauh atau analisis data lanjutan untuk mendukung pengelolaan pertanian yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

## REFERENSI

- [1] A. Kamilaris and F. X. Prenafeta-Boldú, "Deep learning in agriculture: A survey," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 147, pp. 70–90, 2020.
- [2] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019.
- [3] S. Ramesh and D. Vydeki, "Recognition and classification of paddy leaf diseases using optimized deep neural network," *Measurement*, vol. 143, pp. 23–35, 2019.
- [4] A. K. Tripathy, J. Anuradha, and S. Rao, "Smart irrigation system using fuzzy logic," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 4790–4794, 2019.
- [5] M. S. Mekala and P. Viswanathan, "A survey: Smart agriculture IoT with cloud computing," *International Conference on Microelectronics, Computing and Communication Systems*, pp. 1–7, 2020.
- [6] R. N. Ratnadass, P. Fernandes, J. Avelino, and C. Habib, "Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 249, pp. 23–37, 2020.
- [7] S. Shafi, N. Molisch, J. T. Andrews, and R. Heath, "Fuzzy logic based decision support system for agriculture," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 3, pp. 2136–2145, 2020.
- [8] M. R. Hasan, M. T. Islam, and M. M. Rahman, "IoT-based automated irrigation system using soil moisture sensor," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 15, no. 4, pp. 2465–2479, 2020.
- [9] A. Z. Rakhshani and A. H. Nejad, "Fuzzy logic-based decision support system for irrigation management," *Applied Water Science*, vol. 11, no. 2, pp. 1–12, 2021.
- [10] S. Jha, A. Sharma, and R. Jain, "Smart agriculture using fuzzy logic and wireless sensor networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, pp. 585–599, 2021.
- [11] P. P. Ray, "Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 13, no. 2, pp. 69–91, 2021.
- [12] M. K. Ghosh, R. Hasan, and S. Islam, "Soil pH monitoring and control system using fuzzy logic," *International Journal of Agricultural Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 1531–1544, 2021.
- [13] N. Gondchawar and R. S. Kawitkar, "IoT based smart agriculture," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 5, no. 6, pp. 838–842, 2020.
- [14] A. K. Mishra and S. Kumar, "Weather prediction for crop yield using fuzzy logic," *Journal of Cleaner Production*, vol. 280, 2021.
- [15] M. Bacco, P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, and M. Ruggeri, "The digitisation of agriculture: A survey of research activities on smart farming," *Array*, vol. 3–4, 2020.
- [16] H. T. Rauf, M. A. Bangash, and S. Lali, "Fuzzy rule-based control system for greenhouse automation," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 173, 2020.
- [17] S. S. Rani, S. Pradeep, and V. J. Prakash, "Smart greenhouse monitoring system using sensors and fuzzy logic," *Measurement*, vol. 167, 2021.
- [18] A. Kumar, A. Singh, and R. Kumar, "Multisensor data fusion for smart agriculture," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 7, pp. 8811–8821, 2021.
- [19] J. A. López, M. R. Torres, and F. Gómez, "Greenhouse climate control using fuzzy logic," *Sensors*, vol. 21, no. 10, 2021.
- [20] M. Alipio, J. Cruz, and L. D. Santos, "Smart farming decision support system using fuzzy inference," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, 2022.
- [21] R. K. Sharma and P. K. Singh, "Fuzzy logic based nutrient management system for crops," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 34, 2022.
- [22] S. A. Adeyemi and A. A. Abubakar, "Automated irrigation system based on soil moisture and fuzzy logic," *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 6, pp. 2864–2874, 2022.
- [23] A. Islam, M. A. Rahman, and M. S. Hossain, "Smart agriculture monitoring using sensor fusion," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 24567–24579, 2022.