

# Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian

Bagas Muttaqi<sup>1</sup>, Nurchim<sup>2</sup>, Pipin Widya Ningsih<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta

<sup>3</sup>Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta

E-mail: <sup>1</sup>200103212@udb.ac.id, <sup>2</sup>nurchim@udb.ac.id, <sup>3</sup>pipin\_widya@udb.ac.id

Corresponden Author: 200103212@udb.ac.id

Diterima Redaksi: 20 Juli 2024 Revisi Akhir: 14 September 2024 Diterbitkan Online: 22 September 2024

**Abstrak** – Penyiraman memainkan peran krusial dalam pertumbuhan tanaman, khususnya dalam mendukung proses fotosintesis. Seiring dengan perubahan iklim yang mengalami ketidakpastian cuaca, proses penyiraman tanaman perlu perhatian khusus. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan pendekatan Fuzzy Mamdani. Metode penelitian ini memiliki beberapa tahapan yaitu : Analisis Kebutuhan, Perancangan Alat, Implementasi Fuzzy dan Uji Coba. Sistem penyiraman yang dikembangkan memanfaatkan sensor Soil Moisture YL-69 untuk mendeteksi kelembaban tanah dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu udara. Data yang diperoleh kemudian diproses melalui tahapan fuzzifikasi, rule base, inferensi dan defuzzifikasi dalam sistem berbasis mikrokontroler ESP32. Output yang dihasilkan menentukan durasi penyiraman yang diperlukan, kemudian diimplementasikan melalui relay yang mengaktifkan pompa penyiraman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis ini dapat bekerja sesuai dengan harapan untuk mengatasi permasalahan. Nilai akurasi dari sistem penyiraman ini sebesar 91,6%.

**Kata Kunci** — IoT, Fuzzy Mamdani, Penyiraman

**Abstract** –Watering is an important part of plant growth, especially in the photosynthesis process. Along with climate change that experiences weather uncertainty, the process of watering plants needs special attention. This research aims to provide an automatic watering system based on the Internet of Things (IoT) with a Mamdani fuzzy approach. There are many steps to this research method: needs analysis, tool design, fuzzy implementation, and trial. The watering system made involves the use of Soil Moisture YL-69 sensors to detect soil moisture and DHT11 sensors to measure air temperature. The data obtained is then processed through the stages of fuzzification, rule base, inference, and defuzzification in the ESP32 microcontroller-based system. The resulting output determines the required watering duration, then implemented through a relay that activates the watering pump. The results show that this automatic watering system can work as expected to overcome the problem. The accuracy value of this watering system is 91.6%.

**Keywords** — IoT, Fuzzy Mamdani, Watering



## 1. PENDAHULUAN

Penyiraman adalah salah satu faktor yang berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Jadi kebutuhan akan pasokan air yang cukup sangatlah penting [1]. Jika tidak diperhatikan, hal ini akan sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman itu sendiri, karena tanaman membutuhkan air yang cukup untuk proses fotosintesis serta untuk pertumbuhan dan perkembangan [2]. Para petani harus memantau tanaman mereka untuk mencegah kekurangan atau kelebihan air yang dapat memengaruhi pertumbuhannya. Kelembaban tanah merupakan parameter krusial dalam proses hidrologi, biologi, dan biogeokimia [3]. Selain kelembaban tanah, suhu udara juga merupakan hal yang perlu diperhatikan. Proses penyiraman tanaman dapat dibedakan berdasarkan dua faktor tersebut. Akan tetapi tantangan dalam pertanian semakin kompleks dengan adanya perubahan iklim yang meningkatnya ketidakpastian dalam pola cuaca. Oleh karena itu dibutuhkanlah sistem penyiraman yang dapat membantu pertanian untuk lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti peningkatan suhu dan perubahan pola hujan[4].

Cabai adalah tanaman hortikultura dari keluarga Solanaceae yang memiliki nilai ekonomi yang signifikan. Berbagai upaya perlu dilakukan untuk meningkatkan produksi tanaman cabai karena kebutuhan

masyarakat juga meningkat. Penyiraman merupakan salahsatu bentuk pemeliharaan tanaman cabai untuk memperoleh hasil budidaya yang diharapkan [5]. Pada tanaman cabai kelembaban tanah yang optimal berkisar 70% dengan suhu udara berkisar 22°C-26°C [6]. Intensitas penyiraman yang tepat juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penyiraman akan dilakukan jam 07:00 dan jam 14:00 [7]. Sehingga penyiraman akan dibuat bekerja lebih optimal pada kelembaban dan suhu tersebut menggunakan logika fuzzy mamdani [6][8].

Logika Fuzzy Mamdani dipilih karena kemampuannya dalam mengintegrasikan aturan manusia dengan mudah, sesuai dengan aplikasi kontrol yang melibatkan pengetahuan dan pengalaman praktis[9]. Metode Fuzzy Mamdani memanfaatkan prinsip-prinsip linguistik dan disertai dengan algoritma fuzzy yang memungkinkan analisis matematis, sehingga memudahkan pemahaman. Metode ini yang paling sesuai dengan naluri manusia dan menghasilkan kesimpulan yang paling mudah dipahami manusia [10]. Kelebihan ini menjadi kunci dalam menciptakan sistem kontrol penyiraman yang lebih adaptif dan fleksibel sesuai dengan lingkungan tanaman. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan mengoptimalkan sumber daya dalam skala yang lebih luas.

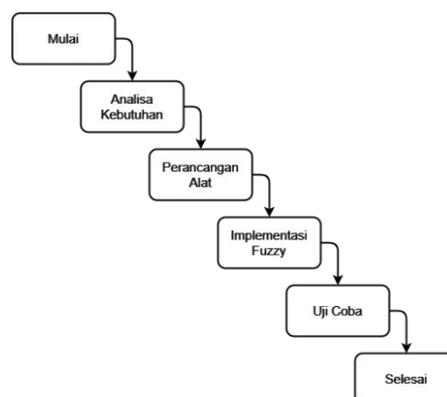
Sistem penyiraman tanaman otomatis ini memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dan menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk mengelola fungsi sistem, yang terintegrasi dalam mikrokontroler ESP32. RTC digunakan sebagai acuan waktu untuk melakukan penjadwalan penyiraman. Suhu udara dan kelembaban tanah diukur dengan menggunakan sensor DHT11 dan YL-69 sebagai input [1]. Inputan akan melewati tahap fuzifikasi, rule base, inferensi, dan defuzzifikasi [9]. Setelah melewati tahapan tersebut, akan diperoleh hasil output berupa berapa waktu penyiramannya. Dengan hasil yang diperoleh akan dikirim ke Relay untuk mengaktifkan pompa penyiraman [3]. Dengan demikian penyiraman tanaman akan sesuai dengan keadaan lingkungan tanaman.

Studi yang dilakukan oleh Ayu Putri dan rekan-rekannya pada tahun 2021 memanfaatkan sensor Soil Moisture untuk mengukur kelembaban tanah dan sensor DHT11 untuk memantau suhu udara. Proses kendali sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dengan metode fuzzy mamdani [8]. Pada tahun 2020 Sinaga & Asward melakukan penelitian menggunakan RTC sebagai penjadwalan pemupukan dan soil moisture sebagai pembaca kelembaban tanah. Sistem penyiraman yang dibuat bekerja sesuai dengan informasi yang didapat dari kelembaban tanah dengan pengontrolan menggunakan Arduino Uno [11]. Penelitian lain pada tahun 2022 yang dilakukan oleh Hansen, dkk. Melakukan pengujian pada metode fuzzy mamdani untuk menentukan kelayakan penerimaan BLT. Dari hasil penelitian didapatkan akurasi sebesar 89,87% [12].

Penyiraman tanaman memainkan peran vital dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dengan kelembaban tanah dan suhu udara sebagai parameter penting yang perlu diperhatikan. Tantangan perubahan iklim menuntut sistem penyiraman yang adaptif terhadap perubahan lingkungan tanaman, sehingga logika Fuzzy Mamdani dipilih untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan sensor Soil Moisture YL-69 dan DHT11 serta mikrokontroler ESP32. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan dan menguji keefektifan serta akurasi sistem dalam mengoptimalkan penyiraman tanaman berdasarkan kondisi lingkungan.

## 2. METODE PENELITIAN

Dengan menggunakan pendekatan fuzzy mamdani, sistem irigasi otomatis akan dibangun dalam penelitian ini. Diagram alir pada Gambar 1 mengilustrasikan berbagai langkah prosedur yang dilakukan.



Gambar 1. Metode Penelitian

2.1. Analisa Kebutuhan

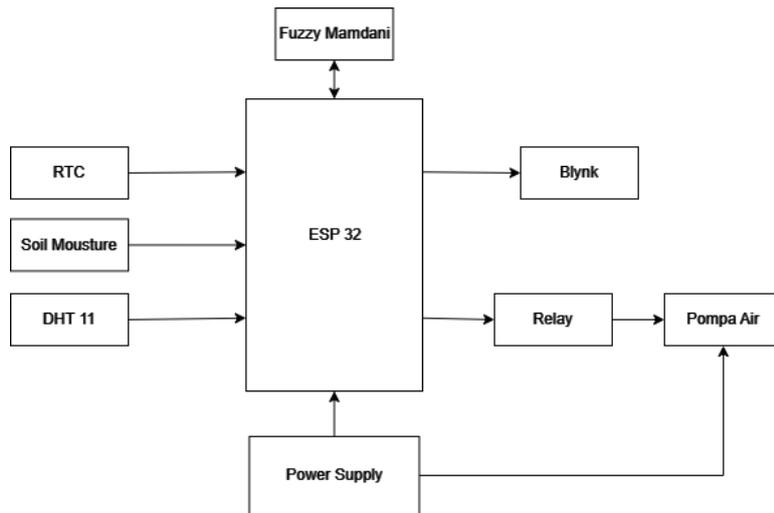
Berdasarkan hasil analisis, diperoleh daftar komponen dan perangkat lunak yang diperlukan untuk pembuatan alat penyiraman. Tabel 1 memperlihatkan daftar kebutuhan komponen.

Tabel 1. Kebutuhan Alat

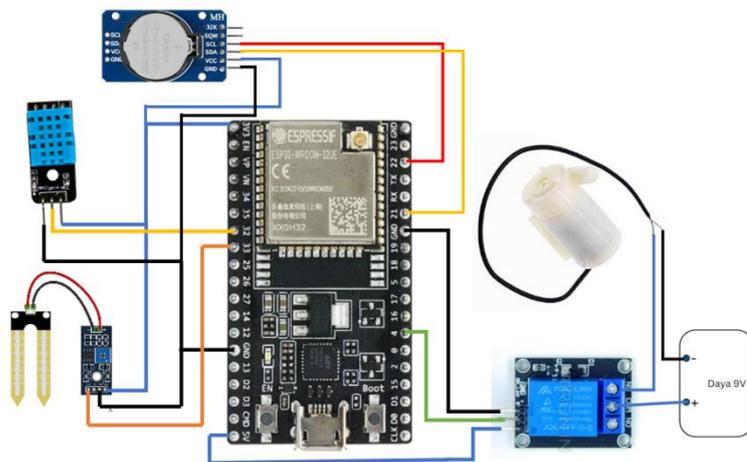
No	Kebutuhan	Fungsi
1.	Node MCU ESP32	Untuk mikrokontroler dan modul wifi
2.	Sensor Soil Masture	Untuk mendeteksi kelembaban tanah (%)
3.	Sensor DHT 11	Untuk mendeteksi suhu di lingkungan sekitar (°C)
5.	Blynk	Untuk menampilkan data suhu udara, kelembaban tanah dan waktu penyiraman
6.	Pompa Motor	Sebagai penyedot air untuk penyiraman tanaman
7.	Relay	Untuk memisahkan dan mengaitkan aliran listrik yang terkait dengan pompa air.
8.	RTC	Untuk pengatur Waktu
9.	Arduino IDE	Untuk penulisan kode Program ke mikrokontroler

2.2. Perancangan Alat

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan alat penyiraman, dirancang desain yang mencakup Diagram Blok, Skema Desain Alat, dan Alur Kerja Sistem. Diagram Blok dan Skema Desain Alat.



Gambar 2. Diagram Blok

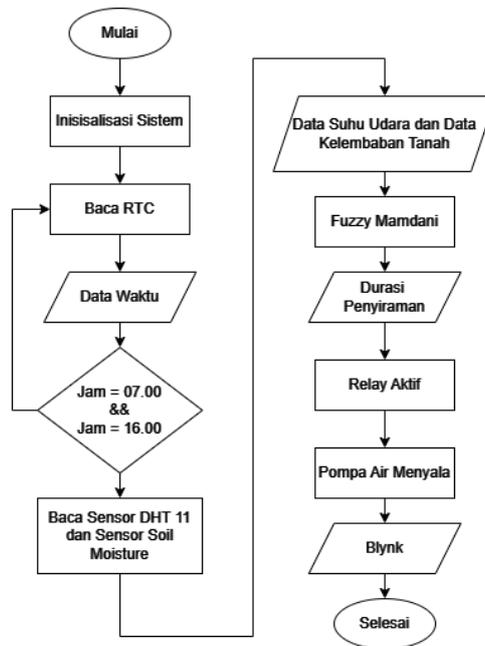


Gambar 3. Skema Desain Alat

Dari gambar 2 terdapat 3 input dan 1 output yaitu RTC, sensor Soil Moisture dan Sensor DHT 11 sebagai inputan, Untuk outputnya yaitu Relay yang digunakan untuk mengaktifkan pompa air. Seluruh komponen dihubungkan dengan ESP 32 yang sudah diberi sistem fuzzy mamdani. Data kelembaban tanah, suhu udara dan waktu penyiraman akan dikirm ke Blynk. ESP 32 dan Pompa Air mendapat sumber daya listrik dari Power Supply.

Skema Desain dimulai dengan menghubungkan RTC dengan pin 21 untuk SDA dan pin 22 untuk SCL. Sensor kelembaban tanah dengan pin 33 dan menghubungkan sensor suhu udara dengan pin 32 pada esp 32, masing masing sensor mendapat tegangan 3.3V dari esp. Rellay dihubungkan ke pin 4 dan mendapat tegangan 5V dari esp 32. Pompa air dihubungkan dengan relly NC (*Normally Closed*). Untuk lebih jelas bisa dilihat pada skema desain pada gambar 3.

Alur kerja sistem dapat ditemukan pada Gambar 4.

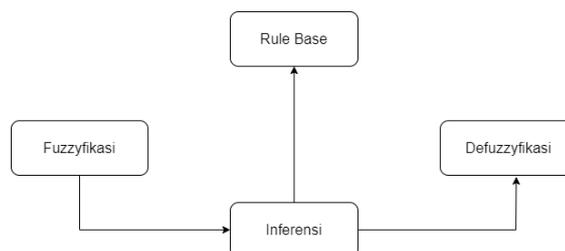


Gambar 4. Alur Kerja Sistem

Sistem otomatisasi penyiraman tanaman ini dimulai dengan RTC memberikan informasi waktu. Jika waktu menunjukkan pukul 07.00 dan 16.00. Sesuai dengan yang dijadwalkan maka sensor DHT11 dan YL-69 akan mengukur suhu udara serta kelembaban tanah, kemudian mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler ESP32. Data ini diproses oleh sistem fuzzy yang telah diprogram dalam ESP32. Sistem fuzzy tersebut menggunakan aturan dan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan untuk menentukan berapa lama waktu penyiraman yang diperlukan berdasarkan input dari sensor. Setelah output durasi penyiraman didapatkan, ESP32 akan mengaktifkan relay sesuai dengan durasi tersebut. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengontrol aliran listrik ke pompa air, sehingga pompa air akan menyiram tanaman selama durasi yang ditentukan oleh sistem fuzzy. Selain itu, ESP32 yang terhubung ke internet melalui modul WiFi, juga mengirimkan data informasi mengenai suhu udara, kelembaban tanah, dan durasi penyiraman ke aplikasi Blynk. Dengan aplikasi Blynk, kita dapat memantau kondisi suhu udara, kelembaban tanah, dan durasi penyiraman secara real-time.

### 2.3. Implementasi Fuzzy

Penelitian ini menerapkan metode Fuzzy Mamdani. Untuk menghasilkan output dari Fuzzy Mamdani, diperlukan empat tahap utama, yaitu :



Gambar 5. Alur Tahpan Fuzzy

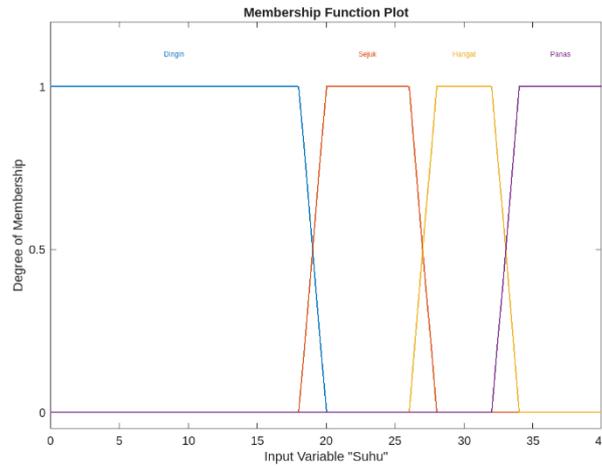
a) Fuzzifikasi

Variabel input dan output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy selama proses fuzzifikasi. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang diwakili oleh fungsi matematika tertentu, himpunan fuzzy ini didefinisikan. Pada proses fuzzifikasi ini bertujuan untuk merubah nilai asli input suhu udara dan kelembaban tanah yang didapat dari sensor DHT 11 dan sensor YL-69, kemudian nilai dari suhu udara dan kelembaban akan dibuat batasan scope berupa himpunan keanggotaan seperti pada Tabel [13][14].

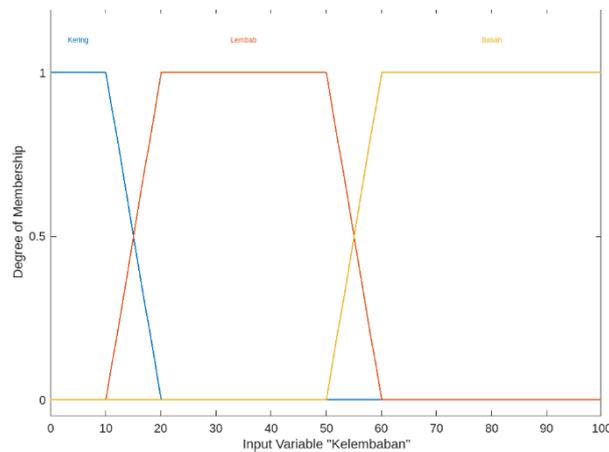
Tabel 2. Himpunan Keanggotaan

Variabel Fuzzy	Himpunan Fuzzy	Fuzzy Set	Satuan
Suhu	Dingin	0, 0, 18, 20	Derajat Celcius
	Sejuk	18, 20, 26, 28	
	Hangat	26, 28, 32, 34	
	Panas	32, 34, 40, 40	
Kelembaban	Kering	0, 0, 10, 20	%/Persen
	Lembab	10, 20, 50, 60	
	Basah	50, 60, 100, 100	
Waktu Penyiraman	Mati	0, 0, 0, 0	Waktu/ Second
	Sedikit	1, 5, 10, 15	
	Sedang	10, 15, 20, 25	
	Banyak	20, 25, 30, 30	

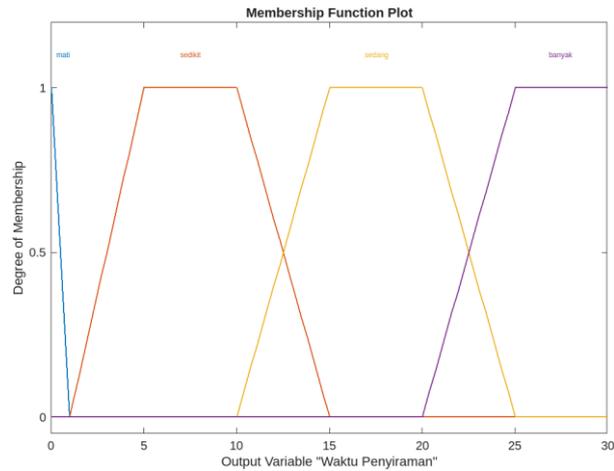
Berikut adalah gambar kurva untuk variabel kelembaban tanah, waktu penyiraman, dan suhu udara setelah keanggotaan fuzzy ditentukan.



Gambar 6. Kurva Variabel Suhu Udara



Gambar 7. Kurva Variabel Kelembaban Tanah



Gambar 8. Kurva Variabel Waktu Penyiraman

b) Rule Base

Pada proses ini dibuat penentuan untuk aturan-aturan fuzzy yang akan menghasilkan input dan output. Aturan IF-THEN dalam rule base, yang menerjemahkan himpunan fuzzy input ke himpunan fuzzy output, digabungkan dengan menggunakan konsep logika fuzzy [13][15]. Dalam peningkatan kerangka kerja ini, Rule base dibentuk sebagai jaminan prinsip-prinsip yang halus untuk dua sumber data dan hasil. Rule Base ini diperoleh dengan mempertimbangkan hipotesis kemungkinan yang merupakan jumlah kemungkinan kejadian berulangnya jumlah kondisi. Dan harus disesuaikan dengan kebutuhan [16].

Tabel 3. Rule Base

No	Suhu Udara	Jika Kelembaban Tanah	Maka Waktu Penyiraman
1	Dingin	Kering	Sedang
2	Dingin	Lembab	Sedikit
3	Dingin	Basah	Mati
4	Sejuk	Kering	Banyak
5	Sejuk	Lembab	Sedang
6	Sejuk	Basah	Sedikit
7	Hangat	Kering	Banyak
8	Hangat	Lembab	Sedang
9	Hangat	Basah	Sedikit
10	Panas	Kering	Sedikit
11	Panas	Lembab	Mati
12	Panas	Basah	Mati

c) Inferensi

Inferensi adalah proses yang diterapkan dalam logika fuzzy untuk membuat keputusan [9]. Pada proses inferensi pada metode mamdani menggunakan hasil dari fungsi *MIN* atau nilai terendah dari nilai alpha predikat, aturan selanjutnya metode mamdani memilih role dengan menggunakan fungsi *MAX* yang memiliki derajat keanggotaan terbesar pada setiap variabel linguistik [17].

d) Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi mengambil input dari himpunan fuzzy yang dihasilkan melalui kombinasi aturan-aturan fuzzy, dan mengubahnya menjadi bilangan yang berada dalam rentang himpunan fuzzy tersebut sebagai output. Nilai crisp yang dapat diterima dapat dipastikan sebagai hasil keluaran yang diberikan himpunan fuzzy dalam rentang tertentu. Titik tengah area fuzzy ditemukan dengan menggunakan teknik defuzzifikasi COA (Center of Area), yang menghasilkan jawaban yang jelas. [13][16]. Tahapan ini menghasilkan nilai pasti dari kondisi penghitungan fuzzifikasi dan inferensi, hal ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tegas berupa berapa lamanya waktu penyiraman dari input suhu dan kelembaban [18].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

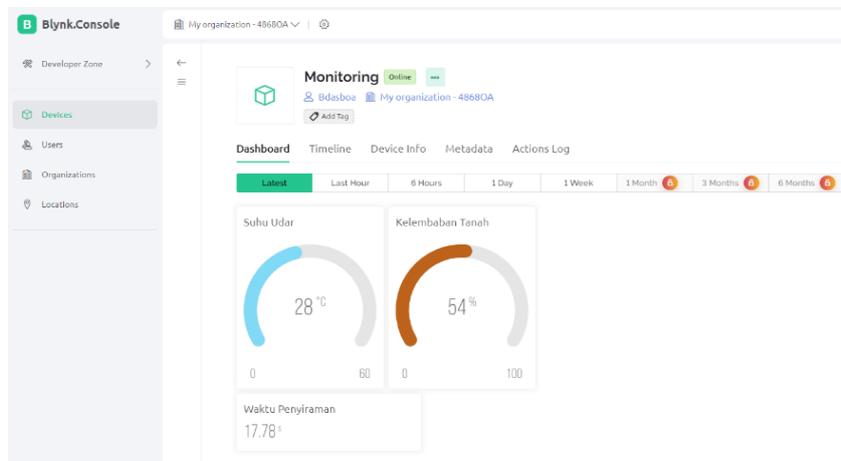
#### 3.1. Pembuatan Alat

Pada tahap pembuatan alat, dimulai dengan pemasangan komponen sesuai dengan skema desain yang telah dirancang sebelumnya. Kemudian diimplementasikan sistem fuzzy mamdani yang telah dibuat. Yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Uji Coba Alat

Setelah menghubungkan setiap komponen sesuai dengan skema desain dan mengimplementasi program fuzzy mamdani, alat penyiraman otomatis siap diuji coba. Data hasil input berupa suhu udara, kelembaban tanah dan output berupa waktu penyiraman akan dikirimkan oleh ESP 32 dan akan tampil pada layar Blynk seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan Blynk

#### 3.2. Uji Coba

Selama periode uji coba yang berlangsung selama 6 hari, sistem penyiraman otomatis diujicobakan dengan frekuensi penyiraman sebanyak 12 kali. Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 4, rentang suhu udara yang terukur berkisar antara 22°C hingga 32°C, sedangkan rentang kelembaban tanah berada antara 26% hingga 84%. Melalui proses perhitungan logika Fuzzy Mamdani yang diterapkan pada mikrokontroler ESP32, sistem memberikan output yang berupa sinyal respons yang mengaktifkan pompa penyiraman. Output ini diatur sedemikian rupa untuk menyesuaikan waktu penyiraman berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban yang terdeteksi selama uji coba.

Tabel 4. Uji Coba

No	Suhu	Kelembaban Tanah	Waktu Penyiraman
1	24 °C	26 %	17,5 detik
2	32 °C	38 %	17,5 detik
3	26 °C	73 %	7,7 detik
4	32 °C	44 %	17,5 detik
5	29 °C	60 %	7,7 detik
6	22 °C	71 %	7,6 detik
7	22 °C	66 %	7,6 detik
8	24 °C	84 %	7,7 detik
9	29 °C	57 %	11,1 detik
10	23 °C	68 %	7,7 detik
11	30 °C	54 %	13,7 detik
12	30 °C	41 %	17,5 detik

### 3.3. Hasil Uji Coba

Tabel 5. Hasil Uji Coba

No	Suhu	Kelembaban Tanah	Waktu Penyiraman	Target Waktu	Hasil Pengujian
1	Sejuk	Kering	Sedang	Banyak	Tidak Sesuai
2	Hangat	Lembab	Sedang	Sedang	Sesuai
3	Sejuk	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
4	Hangat	Lembab	Sedang	Sedang	Sesuai
5	Hangat	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
6	Sejuk	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
7	Sejuk	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
8	Sejuk	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
9	Hangat	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
10	Sejuk	Basah	Sedikit	Sedikit	Sesuai
11	Hangat	Lembab	Sedang	Sedang	Sesuai
12	Hangat	Lembab	Sedang	Sedang	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan, diharapkan dapat dicapai tingkat akurasi yang optimal. Untuk menentukan nilai akurasi, dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang telah ditetapkan, seperti yang dijelaskan berikut ini :

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ data\ yang\ sesuai}{Jumlah\ data\ keseluruhan} \times 100\%$$

Hasil uji coba sistem penyiraman yang telah dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan rule base yang telah ditetapkan dapat ditemukan pada Tabel 5. Tabel tersebut menyajikan data yang menunjukkan kinerja sistem dalam kondisi yang diuji.

$$Akurasi = \frac{11}{12} \times 100\%$$

Dari total 12 data uji coba yang diperoleh, 11 data di antaranya sesuai dengan rule base yang telah ditetapkan, sementara 1 data tidak memenuhi kriteria tersebut. Berdasarkan hasil ini, nilai akurasi yang diperoleh adalah 91,6%..

## 4. SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis dapat mengambil manfaat dari penerapan logika Fuzzy Mamdani. Sistem yang dibuat menggunakan dua parameter inputan, yaitu kelembaban tanah dan suhu udara. Serta RTC yang digunakan untuk penjadwalan penyiraman. Untuk menerapkan logika Fuzzy Mamdani dalam sistem penyiraman otomatis, diperlukan beberapa tahapan yaitu fuzzifikasi, rule base, inferensi, dan defuzzifikasi. Sistem ini berjalan sesuai dengan yang diharapkan dengan memberikan output berupa waktu penyiraman yang sesuai dengan kondisi lingkungan tanaman. Hasil uji coba sistem Fuzzy Mamdani pada alat penyiraman otomatis menunjukkan akurasi sebesar 91,6%. Kelebihan logika Fuzzy Mamdani telah berhasil menghadapi pengambilan keputusan dalam ketidakpastian lingkungan tanaman,

sehingga dapat memperkecil kemungkinan terjadinya tanaman kekurangan air ataupun kelebihan air akibat penyiraman yang tidak tepat.

## 5. SARAN

Untuk meningkatkan sistem penyiraman otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani, beberapa langkah dapat diambil. Pertama, perlu dilakukan pengembangan model logika fuzzy Mamdani yang lebih kompleks dengan mempertimbangkan lebih banyak variabel input, seperti intensitas cahaya dan suhu udara. Hal ini akan meningkatkan tingkat akurasi dalam pengambilan keputusan penyiraman. Selanjutnya, integrasi sensor yang lebih canggih juga dapat menjadi solusi, memungkinkan perolehan data lingkungan yang lebih akurat dan mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Lestari, Tasmi, and F. Antony, "Sistem Penyiraman Budidaya Tanaman Cabai Berdasarkan Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Tanah," *J. Intell. Networks IoT Glob.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–32, 2023, doi: 10.36982/jinig.v1i1.3080.
- [2] S. Olis and Somantri, "Analisis Perancangan Sistem Monitoring Penyiraman," no. September, 2022.
- [3] J. Jumingin, A. Atina, and A. Juanda, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor DHT11," *J. Ampere*, vol. 7, no. 2, p. 73, 2022, doi: 10.31851/ampere.v7i2.9172.
- [4] F. M S Nursuwars, R. Rianto, and D. G. Sujana, "IoT: Kelembaban Tanah dan Suhu Ruang sebagai Parameter Sistem Otomatis Penyiraman Air Bawah dan Atas Tanah," *TRANSISTOR Elektro dan Inform.*, vol. 3, no. 3, pp. 162–169, 2018.
- [5] M. G. M. Polii, T. D. Sondakh, J. S. M. Raintung, B. Doodoh, and T. Titah, "Kajian Teknik Budidaya Tanaman Cabai ( *Capsicum annum* L .) Kabupaten Minahasa Tenggara," *Eugenia*, vol. 25, no. 3, pp. 73–77, 2019.
- [6] J. U. R. Asepta Surya Wardhana, Astrie Kusuma Dewi, Hellmy Fadhil Airlangga, Natasya Aisah Septiani, "Mesin Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai dengan Modul Nodemcu ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT)," pp. 160–169, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/snestik/article/view/4263/3414>
- [7] S. Yuniati, P. Studi Agroteknologi, F. Pertanian, A. Program Studi Agroteknologi, and D. Juni, "Pengaruh Intensitas Penyiraman Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai Rawit (*Capsicumfrutescens* L.) Influence The Intensity of Watering Towards Growth and The Production of Pepper Plants (*Capsicum frutescens* L.)," *J. Agriyan*, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2019.
- [8] A. A. A. Putri Ardyanti, I. G. Juliana Eka Putra, and I. N. Purnama, "Penyiraman Tanaman Otomatis dengan Metode Fuzzy Mamdani," *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 106–112, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.undhirabali.ac.id/index.php/jutik/article/view/1304/pdf>
- [9] B. Satria, L. M. F. Israwan, and I. Efendi, "Metode Fuzzy Mamdani Pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Jumlah Petugas BPBD Takengon," vol. 5, no. 2, pp. 1–11, 2020.
- [10] F. Nadya, A. Fitriani, and M. Rini, "Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dan Kebutuhan Kalori Harian Balita Menggunakan Software Matlab," *repository.upi.edu*, pp. 29–49, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/JEM/article/view/10300/6354>
- [11] A. A. Sinaga and A. Aswardi, "Rancangan Alat Penyiram Dan Pemupukan Tanaman Otomatis Menggunakan Rtc Dan Soil Moisture Sensor Berbasis Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 150–157, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.60.
- [12] H. A. Rustan, I. Ruslianto, and I. Nirmala, "Determine the Eligibility Level of Village Fund Direct Cash Assistance Recipients using Fuzzy Mamdani Method," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 7, no. 2, p. 526, 2022, doi: 10.24114/cess.v7i2.36136.
- [13] M. S. Asih, "Sistem Pendukung Keputusan Fuzzy Mamdani pada Alat Penyiraman Tanaman Otomatis," vol. 5341, no. April, pp. 41–52, 2018.
- [14] B. Widya Rezky, I. Nirmala, and K. Sari, "Sistem Penyiraman dan Pemupukan Otomatis pada Tanaman Pinang Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. Vol. 13, N, no. 1, pp. 3081–3096, 2024.
- [15] B. Sugandi and J. Armentaria, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 5–8, 2021, doi: 10.30871/jaee.v5i1.2991.
- [16] D. M. Saragi, F. Hamami, and T. Mulyana, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Sistem Penyiraman Otomatis Tanaman Anthurium," *J. Sist. Komput. dan Inform.*, vol. 4, no. 1, p. 146, 2022, doi: 10.30865/json.v4i1.4895.
- [17] F. Nazareta, Fauziyah, and G. Soepriyono, "Smart Agriculture: Pengendalian Kelembaban Dan Suhu Pada

- Penyiraman Otomatis Tanaman Berbasis IoT,” *At-Automatisierungstechnik*, vol. 69, no. 4, pp. 275–277, 2021, doi: 10.1515/auto-2021-2049.
- [18] A. Prasetyo, Y. Litanianda, F. Fadelan, A. R. Yusuf, and S. Sugianti, “Irrigation Control Using Fuzzy Logic on The Internet of Things Agriculture System,” *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 7, no. 2, p. 572, 2022, doi: 10.24114/cess.v7i2.37195.