

# Optimasi Durasi pada Sistem Irigasi Tetes dengan Sensor Kelembaban dan Suhu Tanah Menggunakan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno

Heri Ardiansyah<sup>1</sup>, Muhammad Shodiq<sup>2</sup>, M. Ainul Mahbubillah<sup>3</sup>, Rohmatin Agustina<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Komputer,  
Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan,  
Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan  
hery24@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Informatika Medik,  
Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan,  
Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan  
shodiqmuhammad13@gmail.com

<sup>3</sup>Program Studi Biologi,  
Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan,  
Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan  
ainul.mahbubillah@hotmail.com

<sup>4</sup>Program Studi Agroteknologi,  
Fakultas Pertanian,  
Universitas Muhammadiyah Gresik  
rohmatin@umg.ac.id

## Abstrak

Aspek utama dari setiap budidaya tanaman adalah proses irigasi, yang harus dikelola dengan tepat. Salah satu metode penting yang banyak digunakan adalah irigasi tetes. Penelitian ini menggunakan metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno untuk mengoptimalkan durasi irigasi dengan menggunakan sensor kelembaban tanah dan suhu pada sistem irigasi tetes. Data yang dihasilkan dari 10 set pengukuran meliputi kelembaban tanah rata-rata 60,14%, suhu 32,84°C, dan durasi irigasi 321 detik. Metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno menganalisis data dan menghasilkan durasi irigasi yang optimal berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat menangani variabilitas kondisi lingkungan dengan menyesuaikan durasi irigasi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Penerapan metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno pada sistem irigasi tetes otomatis ini telah meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi biaya operasional, dan mendukung keberlanjutan pertanian dalam inovasi pertanian modern. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan data yang lebih luas dari berbagai kondisi lingkungan dan jenis tanaman untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih akurat dan komprehensif.

**Kata kunci:** - Logika *Fuzzy* Takagi-Sugeno, Irigasi Tetes, Suhu Tanah, Kelembaban Tanah

### **Abstract**

The main aspect of any crop cultivation is the irrigation process, which needs to be managed appropriately. One of the essential methods that are widely used is drip irrigation. This study uses the Takagi-Sugeno fuzzy logic method to optimize irrigation duration using soil moisture and temperature sensors in a drip irrigation system. Data resulted from 10 sets of measurements include an average soil moisture of 60.14%, temperature of 32.84°C, and irrigation duration of 321 seconds. The Takagi-Sugeno fuzzy logic method analyzes the data and generates the optimal irrigation duration based on predetermined fuzzy rules. The results showed that this method can handle the variability of environmental conditions by adjusting the irrigation duration according to the plants' needs. Applying the Takagi-Sugeno fuzzy logic method to this automatic drip irrigation system has increased water use efficiency, reduced operational costs, and supported agricultural sustainability in modern agricultural innovation. However, further research is needed with more extensive data from various environmental conditions and crop types to obtain more accurate and comprehensive conclusions.

**Keywords:** Takagi-Sugeno Fuzzy Logic, Drip Irrigation, Soil Temperature, Soil Moisture

## **1. Pendahuluan**

Pertanian merupakan sektor yang paling penting dalam perekonomian Indonesia, yang menyumbang hampir setengah dari perekonomian. Pertanian juga memainkan peran penting sebagai penghasil devisa negara melalui ekspor. Oleh karena itu, pemerintah menaruh perhatian besar pada sektor pertanian karena sangat penting bagi pembangunan dan pemulihan ekonomi jangka panjang negara [1].

Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur, Indonesia, merupakan salah satu kabupaten yang penggunaan lahannya didominasi oleh sektor pertanian dan sebagian besar penduduknya berprofesi sebagai petani. Sektor komoditas unggulannya adalah padi, jagung, kedelai, kacang tanah, ketela pohon, ubi kayu, ubi jalar, kacang hijau [2] dan cabai [3]. Tanaman cabai merupakan tanaman yang memberikan nilai ekonomi tinggi. Pada tahun 2021, tingkat produksi cabai di Kabupaten Lamongan mencapai 461 Kwintal, sedangkan pada tahun 2022 mengalami penurunan dengan tingkat produksi hanya 266 Kwintal [4]. Salah satu faktor penurunan produksi tersebut adalah cuaca, kelangkaan air, dan kondisi tanah yang cepat kering dan mempengaruhi tingkat kelembaban tanah. Tanaman cabai membutuhkan kelembaban tanah sekitar 60% hingga 80% untuk dapat tumbuh dengan optimal. Ketika cuaca panas, kelembaban tanah menjadi rendah, dan ketika hujan turun, kelembaban tanah menjadi tinggi, sehingga tingkat kelembaban tanah sulit untuk dikontrol [5]. Berdasarkan data dari Kabupaten Lamongan yang merupakan daerah rawan bencana kekeringan yang menyebabkan gagal panen, estimasi lahan yang rusak selama satu dekade terakhir mencapai  $\pm 12.000$  hektar [6]. Oleh karena itu, diperlukan irigasi yang cukup untuk memproduksi cabai dan untuk mengantisipasi gagal panen.

Irigasi merupakan faktor penting dalam budidaya tanaman. Salah satu jenis metode irigasi yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan air adalah irigasi tetes. Irigasi tetes merupakan teknologi irigasi yang bertujuan untuk menggunakan air yang terbatas secara efisien dan meningkatkan nilai air. Pada sistem irigasi tetes, air dari tangki penampungan di atas permukaan lahan didistribusikan ke setiap area perakaran tanaman melalui selang irigasi. Sistem irigasi tetes membutuhkan pasokan air yang terkontrol untuk menghindari kekurangan atau kelebihan pasokan air. Tanpa kontrol, proses irigasi tidak akan efisien [7].

Penelitian yang telah penulis lakukan sebelumnya adalah sistem irigasi otomatis menggunakan satu sensor, yakni sensor kelembaban yang digabungkan dengan teknologi

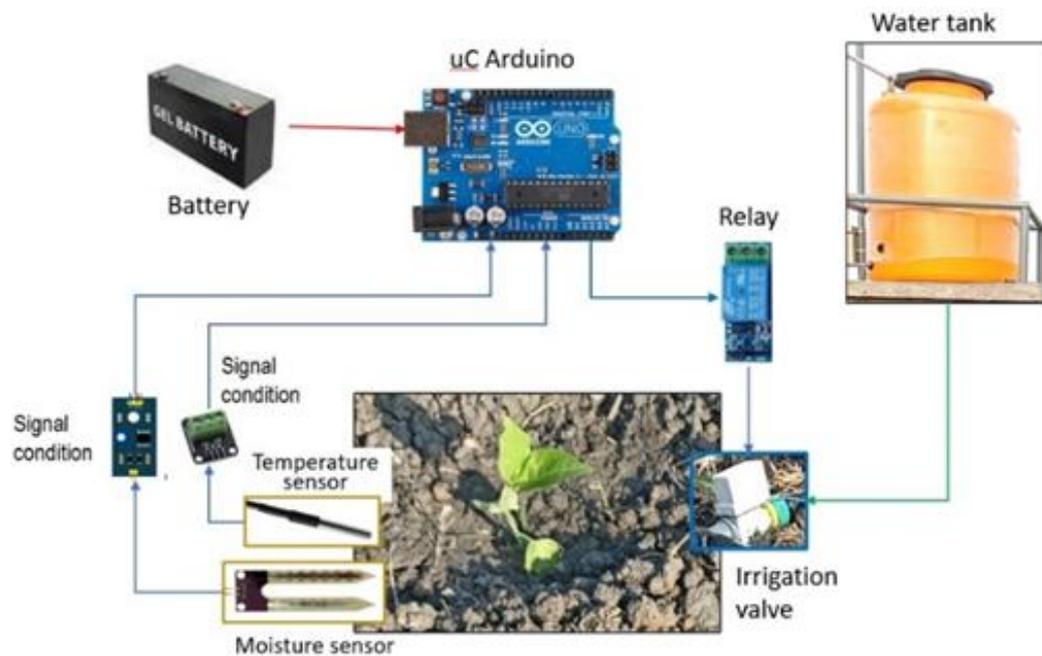
*Internet of Things* (IoT) untuk kemudahan akses informasi sistem [8]. Implementasi teknologi ini dapat ditambahkan sistem kecerdasan buatan, diantaranya logika *fuzzy*. *Fuzzy* Sugeno menjadi salah satu teknik kontrol logika *fuzzy* yang memanfaatkan aturan linguistik berbasis logika dan fungsi keanggotaan untuk mengambil keputusan [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi irigasi tetes otomatis dengan menggunakan model *Fuzzy* Takagi Sugeno berbasis aturan untuk menciptakan durasi penyiraman berdasarkan label keanggotaan setiap atribut atau fitur pada data, yaitu kelembaban tanah (kering, lembab, atau basah); dan temperatur (rendah, normal, atau tinggi). Irigasi otomatis akan dikontrol berdasarkan kondisi kelembaban tanah dan suhu untuk mengatur proses durasi penyiraman sebagai irigasi otomatis. Penggabungan teknologi logika *fuzzy* Takagi-Sugeno pada sistem irigasi tetes otomatis dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan dapat membantu mengurangi biaya operasional, meningkatkan hasil panen, dan mendukung keberlanjutan pertanian. Oleh karena itu, eksplorasi lebih lanjut dari penerapan teknologi ini dalam konteks irigasi tetes otomatis diharapkan dapat berkontribusi positif terhadap pengembangan pertanian cerdas yang berkelanjutan dan efisien [10].

## 2. Metode

### 2.1. Desain perangkat keras

Seperti yang terlihat pada Gambar 1, sensor suhu dan kelembaban tanah dipasang di tanah di dekat tanaman. Kedua sensor ini bertindak sebagai input ke kontrol logika fuzzy untuk menentukan waktu irigasi katup *solenoid* dalam menyiram tanaman. Sumber penyiraman irigasi berasal dari tangki air yang diisi dari saluran irigasi desa. Pada irigasi tetes, air yang di-*supply* dari tangki penampungan didistribusikan melalui selang irigasi langsung ke setiap area perakaran tanaman untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemberian air. Unit kontrol menggunakan Arduino Uno yang ringan dan elektrik dengan kecepatan *clock* yang memadai untuk memproses kontrol logika *fuzzy*. Arduino Uno terhubung ke modul suhu, kelembaban, dan *relay* yang disuplai oleh baterai VRLA (baterai kering) dengan tegangan 7,4 Volt. Masukan sensor yang telah diolah akan digunakan untuk mengendalikan *solenoid valve* melalui rangkaian *driver relay*. Pada langkah berikutnya, *relay* akan aktif ketika tanaman membutuhkan air, sehingga *solenoid valve* akan terbuka. Jika tanaman telah mendapatkan air yang cukup, maka *relay* akan kembali tidak aktif, dan *solenoid valve* akan tertutup. Adapun sistem perangkat keras yang dirancang pada penelitian ini meliputi spesifikasi yang disajikan pada Tabel 1.



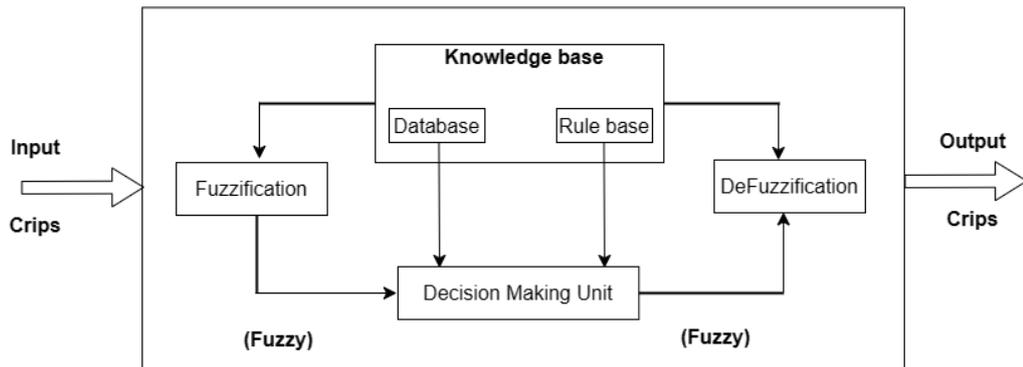
Gambar 1. Diagram Blok Sistem ( → kendali sistem *input/output*; → energi/catu daya; → aliran air )

Tabel 1. Spesifikasi perangkat

Perangkat	Jenis	Spesifikasi
Pengontrol	Arduino Uno	Chip ATmega328P, kecepatan 16MHz 16 kB ISP Flash 512B EEPROM 512B SRAM 10 pin GPIO
Sensor:		
a. Kelembaban tanah	SKU: SEN021	keluaran: 0 ~ 3,0 VDC Menggunakan komparator LM393
b. Suhu	DS18B20 Gunakan <i>adaptor</i> sinyal	Kisaran: -55 ~ +125 °C Resolusi: 9 ~ 12bit
Aktuator:		
a. Modul relai	5 Volt dengan isolasi OPTO	AC250V/DC30V 10A
b. Katup <i>solenoid</i>	NC 1/2 inci	5-12V DC, 0-0,8 Mpa 5-80°C
Baterai	7,4 Volt VRLA	Kapasitas 5Ah

## 2.2. Desain Kontrol Logika *Fuzzy Takagi-Sugeno*

Kontrol perangkat lunak menggunakan model logika *fuzzy Takagi-Sugeno* diterapkan dalam penelitian ini. Model ini merupakan alternatif untuk menentukan model matematika sederhana dari sistem dinamis di sekitar beberapa titik operasi. Model logika ini menggunakan aturan *<<if... then>>* untuk membuat hubungan antara *input* dan *output*. Sistem inferensi *fuzzy* dapat berupa *crisp fuzzy*, tetapi *output* yang dihasilkan berupa himpunan *fuzzy* [7]. *Fuzzy* ini juga memiliki struktur matematis yang fleksibel yang secara akurat memprediksi sistem *non-linear* yang kompleks. Model ini dapat digunakan dalam analisis sistem kontrol [9]. Jenis-jenis aturan *fuzzy* dalam model logika *fuzzy Takagi-Sugeno* [9] ditunjukkan pada persamaan (1). Gambar 2 berikut menjelaskan hubungan antara komponen-komponen sistem inferensi *fuzzy* [11].

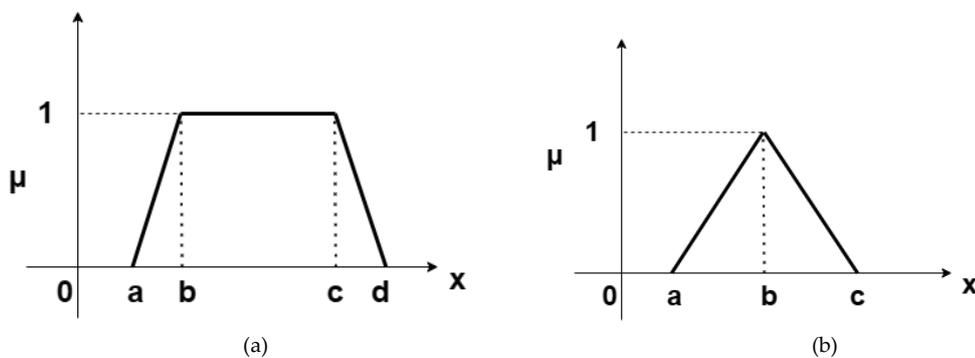


Gambar 2. Sistem Inferensi Fuzzy [11]

Sistem inferensi Fuzzy pada Gambar 2 terdiri dari blok fuzzifikasi, aturan dasar (*rulebase*), basisdata (*database*), unit pengambilan Keputusan dan defuzzifikasi. Setiap blok memiliki fungsi masing-masing, yaitu [11]:

1. Fuzzifikasi digunakan untuk mengubah nilai tegas menjadi nilai fuzzy atau derajat *linguistic*.
2. Aturan dasar (*rulebase*), mendefinisikan sejumlah aturan fuzzy *if-then*.
3. Basis data (*database*), menjelaskan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy yang digunakan pada aturan fuzzy
4. Unit pengambilan keputusan digunakan untuk melakukan operasi inferensi pada aturan
5. Defuzzifikasi digunakan mengubah hasil inferensi fuzzy menjadi nilai tegas kembali.

Fungsi keanggotaan dinotasikan dengan derajat keanggotaan yang memiliki nilai antara 0 dan 1. Fungsi ini mendeskripsikan sebuah kurva pemetaan titik-titik data masukan ke dalam nilai keanggotaannya. Terdapat beberapa pola/bentuk kurva yang digunakan untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan, yaitu fungsi keanggotaan trapesium, lonceng, segitiga, gaussian, dan sigmoidal [7]. Pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan segitiga karena dapat dengan mudah disesuaikan untuk merepresentasikan berbagai tingkat ketidakpastian dan variabilitas dalam sistem [12]. Dalam konteks irigasi tetes, fungsi keanggotaan segitiga dapat digunakan untuk menggambarkan nilai linguistik, seperti "kering", "lembab", dan "basah" untuk kelembaban tanah dan "rendah", "sedang", dan "tinggi" untuk suhu. Fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan: (a) trapesium dan (b) segitiga

Fungsi keanggotaan trapesium menggunakan empat parameter {a,b,c, dan d} seperti ditunjukkan pada persamaan (2), sedangkan untuk fungsi keanggotaan segitiga menggunakan tiga parameter {a,b, dan c} seperti pada persamaan (3). Setiap nilai  $x$  ditentukan berdasarkan nilai fungsi keanggotaan ( $\mu$ ) pada setiap parameter [7].

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ and } \dots \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z=f(x,y) \tag{1}$$

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , d \leq c \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c \leq 0 \end{cases} \tag{3}$$

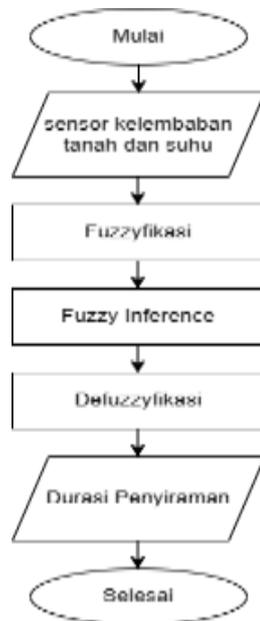
Pada persamaan (1),  $A$  dan  $B$  merupakan himpunan *fuzzy* sebagai premis, sedangkan  $z=f(x,y)$  merupakan fungsi *crisp* sebagai konsekuen. Biasanya  $z=f(x,y)$  merupakan *polynomial variable input*  $x$  dan  $y$ , namun bisa juga mendeskripsikan *output* lain dari fungsi *fuzzy* sesuai dengan premis dari aturan *fuzzy*. Jika nilai  $f(x,y)$  *polynomial* orde satu, maka sistem inferensi *fuzzy* disebut model *fuzzy* sugeno orde satu. Jika nilai  $f$  merupakan konstanta, maka disebut model *fuzzy* sugeno orde nol [13]. Model ini menggunakan fungsi keanggotaan dengan derajat 1 pada nilai *crisp* dan derajat 0 pada *crisp* lain. Setiap aturan *fuzzy* pada model Sugeno memiliki *output crisp*. Seluruh *output* didapat dengan *weighted average* dengan proses yang terdapat pada persamaan (4) [9].

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{4}$$

Pada penelitian ini, diagram alir logika *fuzzy* Takagi Sugeno untuk irigasi tetes otomatis seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Proses penggunaan *fuzzy* Takagi Sugeno berdasarkan diagram alir sebagai berikut:

1. Tahap pertama, membaca data *input* dari sensor kelembapan tanah dan suhu. Data ini masih berupa bilangan *crisp* (tegas).
2. Tahap kedua, melakukan fuzzifikasi untuk mengubah bilangan *crisp* ke dalam bilangan *fuzzy*. Pada tahap ini terdapat dua *input* yang akan diolah pada proses fuzzifikasi berdasarkan fungsi keanggotaan, seperti ditunjukkan Gambar 4. Fungsi keanggotaan kelembapan tanah dibuat tiga buah nilai *linguistic*, yaitu, kering, lembap dan basah, sedangkan fungsi keanggotaan suhu dibuat tiga buah nilai *linguistic*, yaitu dingin, normal dan panas.
3. Tahap ketiga, melakukan proses inferensi sistem *fuzzy* untuk memperoleh kesimpulan berdasarkan aturan/basis kaidah. Proses inferensi logika *fuzzy* ini menggunakan operasi AND dengan implikasi MIN, serta agregasi MAX. Aturan *fuzzy* ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 maka diperoleh basis aturan *fuzzy* sebanyak 9 aturan, yaitu:
  - R1 = jika suhu dingin dan kelembapan tanah kering maka durasi irigasi lama
  - R2 = jika suhu dingin dan kelembapan tanah lembap maka durasi irigasi sedang
  - R3 = jika suhu dingin dan kelembapan tanah basah maka durasi irigasi cepat

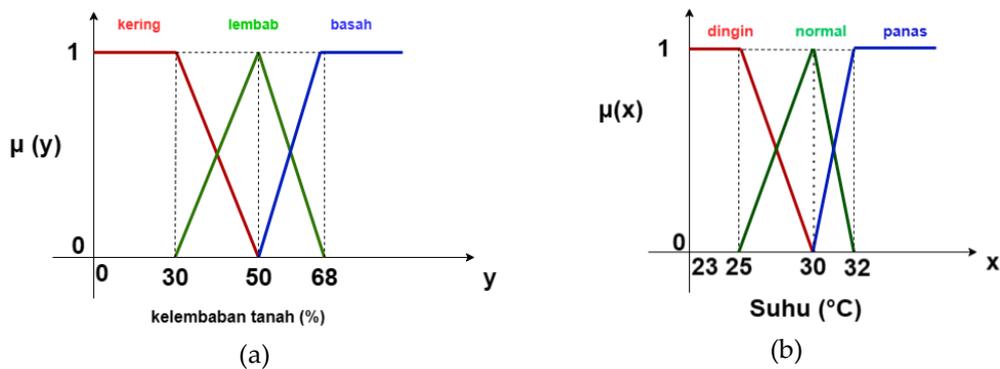
- R4 = jika suhu normal dan kelembapan tanah kering maka durasi irigasi lama  
 R5 = jika suhu normal dan kelembapan tanah lembap maka durasi irigasi sedang  
 R6 = jika suhu normal dan kelembapan tanah basah maka durasi irigasi cepat  
 R7 = jika suhu panas dan kelembapan tanah kering maka durasi irigasi lama  
 R8 = jika suhu panas dan kelembapan tanah lembap maka durasi irigasi sedang  
 R9 = jika suhu panas dan kelembapan tanah basah maka durasi irigasi cepat
- Tahap keempat, melakukan defuzzifikasi untuk mengembalikan nilai *fuzzy* ke dalam bentuk nilai tegas. Langkah ini menggunakan persamaan (4). Proses ini juga memiliki fungsi keanggotaan nilai *linguistic*, yaitu lama, sedang, dan cepat, seperti pada Gambar 6.
  - Langkah terakhir menentukan *output* durasi irigasi dari hasil perhitungan *fuzzy*



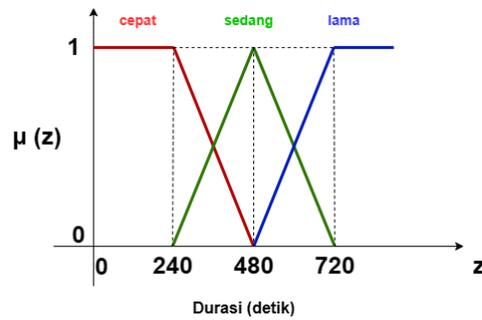
Gambar 4. Diagram alir logika *fuzzy*

Tabel 2. Aturan *fuzzy*

	Dingin	Normal	Panas
Kering	Lama	Lama	Lama
Lembap	Sedang	Sedang	Sedang
Basah	Cepat	Cepat	Cepat



Gambar 5. Fungsi keanggotaan: (a) kelembapan tanah dan (b) suhu.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan durasi

### 2.3. Dataset

Penelitian ini mengumpulkan data *sample* pada pagi dan sore hari pukul 08.00 dan 16.00 selama lima hari. Data tersebut diperoleh dari sensor kelembaban dan suhu tanah dari tanah cabai. Hasil pengumpulan data sensor terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data sensor

Data-	Waktu Pengambilan	Kelembaban Tanah (%)	Suhu (°C)
1	14/11/23: 8:00 PAGI	58,9	32,6
2	14/11/23: 16.00 SORE	43,8	38,2
3	15/11/23: 8:00 PAGI	54,6	35,8
4	15/11/23: 16.00 SORE	69,6	31,6
5	16/11/23: 8:00 PAGI	74,6	28,9
6	16/11/23: 16.00 SORE	73,7	26,9
7	17/11/23: 8:00 PAGI	69,1	29,1
8	17/11/23: 16.00 SORE	46,5	35,5
9	18/11/23: 8:00 PAGI	38,6	37,3
10	18/11/23: 16.00 SORE	72	32,5

### 2.4. Aplikasi Model

Berdasarkan Tabel 3, dapat dihitung menggunakan model logika *fuzzy* Takagi-Sugeno dengan langkah menentukan nilai fuzzifikasi kelembaban tanah dan suhu berdasarkan Gambar 5a dan 5b, serta durasi irigasi berdasarkan Gambar 6, fungsi keanggotaan untuk kelembaban tanah dengan nilai 0-30% yaitu kering, 50% yaitu lembab, dan basah dengan nilai 68-100%. Selanjutnya, untuk fungsi keanggotaan suhu dengan nilai 23-25° C adalah dingin, 30° C adalah normal, dan antara 32-39° C adalah panas, sedangkan untuk fungsi keanggotaan durasi pengairan dikatakan cepat dengan nilai durasi 0-240 detik, sedang 480 detik, dan lama dengan nilai 720-840 detik sehingga nilai fuzzifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi kelembaban tanah

$$\mu_{kering}(y) = \begin{cases} 0; & y \geq 30 \\ \frac{50-y}{50-30}; & 30 \leq y \leq 50 \\ 1; & y \leq 30 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{lembab}(y) = \begin{cases} 0; & y \leq 30 \text{ or } y \geq 68 \\ \frac{y-30}{50-30}; & 30 \leq y \leq 50 \\ \frac{68-y}{68-50}; & 50 \leq y \leq 68 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{basah}(y) = \begin{cases} 0; & y \leq 50 \\ \frac{y-50}{68-50}; & 50 \leq y \leq 68 \\ 1; & y \geq 68 \end{cases} \quad (7)$$

2. Fuzzifikasi suhu

$$\mu_{dingin}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 25 \\ \frac{30-x}{30-25}; & 25 \leq x \leq 30 \\ 1; & x \leq 25 \text{ or } x \geq 23 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \text{ or } x \geq 32 \\ \frac{x-25}{30-25}; & 25 \leq x \leq 30 \\ \frac{32-x}{32-30}; & 30 \leq x \leq 32 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{panas}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{32-30}; & 30 \leq x \leq 32 \\ 1; & x \geq 32 \end{cases} \quad (10)$$

3. Fuzzifikasi durasi

$$\mu_{cepat}(z) = \begin{cases} 0; & z \geq 240 \\ \frac{480-z}{480-240}; & 240 \leq z \leq 480 \\ 1; & z \leq 240 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{sedang}(z) = \begin{cases} 0; & z \leq 240 \text{ or } z \geq 720 \\ \frac{z-240}{480-240}; & 240 \leq z \leq 480 \\ \frac{720-z}{720-480}; & 480 \leq z \leq 720 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{lama}(z) = \begin{cases} 0; & z \leq 480 \\ \frac{z-480}{720-480}; & 480 \leq z \leq 720 \\ 1; & z \geq 720 \end{cases} \quad (13)$$

Setelah diperoleh nilai persamaan fuzzifikasi dari kelembapan tanah, suhu, dan durasi irigasi, maka selanjutnya menghitung data ke-1 untuk menentukan waktu durasi irigasi. Berikut tahapan dari proses perhitungan *fuzzy* Takagi Sugeno untuk data ke-1 pada Tabel 2:

1. Menentukan nilai fuzzifikasi dari kelembapan tanah untuk setiap fungsi keanggotaan kering, lembap dan basah menggunakan persamaan (5), (6), dan (7) fuzzifikasi kelembapan tanah.

$$\begin{aligned} \mu_{kering}(58,9) &= 0 \\ \mu_{lembab}(58,9) &= \frac{68 - 58,9}{68 - 50} = 0,5 \\ \mu_{basah}(58,9) &= \frac{58,9 - 50}{68 - 50} = 0,5 \end{aligned}$$

2. Menentukan nilai fuzzifikasi dari suhu untuk setiap fungsi keanggotaan dingin, normal dan panas menggunakan persamaan (8), (9), dan (10) fuzzifikasi suhu.

$$\begin{aligned} \mu_{dingin}(32,6) &= 0 \\ \mu_{normal}(32,6) &= 0 \\ \mu_{panas}(32,6) &= 1 \end{aligned}$$

Keterangan: untuk nilai fuzzifikasi dari semua fungsi keanggotaan jika dijumlahkan harus bernilai 1.

3. Menghitung inferensi pada setiap aturan (*rule*).

R1 = jika suhu **dingin dan** kelembapan tanah **kering** maka durasi irigasi **lama**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_1} &= \mu_{dingin}(x) \cap \mu_{kering}(y) \\ &= \min(\mu_{dingin}(32,6); \mu_{kering}(58,9)) \\ &= \min(0; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_1 = 480$$

R2 = jika suhu **dingin dan** kelembapan tanah **lembap** maka durasi irigasi **sedang**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_2} &= \mu_{dingin}(x) \cap \mu_{lembab}(y) \\ &= \min(\mu_{dingin}(32,6); \mu_{lembab}(58,9)) \\ &= \min(0; 0,5) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_2 = 240$$

R3 = jika suhu **dingin dan** kelembapan tanah **basah** maka durasi irigasi **cepat**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_3} &= \mu_{dingin}(x) \cap \mu_{basah}(y) \\ &= \min(\mu_{dingin}(32,6); \mu_{basah}(58,9)) \\ &= \min(0; 0,5) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_3 = 240$$

R4 = jika suhu **normal dan** kelembapan tanah **kering** maka durasi irigasi **lama**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_4} &= \mu_{normal}(x) \cap \mu_{kering}(y) \\ &= \min(\mu_{normal}(32,6); \mu_{kering}(58,9)) \\ &= \min(0; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_4 = 480$$

R5 = jika suhu **normal dan** kelembapan tanah **lembap** maka durasi irigasi **sedang**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_5} &= \mu_{normal}(x) \cap \mu_{lembab}(y) \\ &= \min(\mu_{normal}(32,6); \mu_{lembab}(58,9)) \\ &= \min(0; 0,5) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_5 = 240$$

R6 = jika suhu **normal dan** kelembapan tanah **basah** maka durasi irigasi **cepat**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_6} &= \mu_{normal}(x) \cap \mu_{basah}(y) \\ &= \min(\mu_{normal}(32,6); \mu_{basah}(58,9)) \\ &= \min(0; 0,5) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_6 = 240$$

R7 = jika suhu **panas dan** kelembapan tanah **kering** maka durasi irigasi **lama**

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_7} &= \mu_{panas}(x) \cap \mu_{kering}(y) \\ &= \min(\mu_{panas}(32,6); \mu_{kering}(58,9)) \\ &= \min(1; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } Z_7 = 480$$

R8 = jika suhu **panas dan** kelembapan tanah **lembap** maka durasi irigasi **sedang**

$$\alpha_{predikat_8} = \mu_{panas}(x) \cap \mu_{lembab}(y)$$

$$\begin{aligned}
 &= \min(\mu_{panas}(32,6); \mu_{lembab}(58,9)) \\
 &= \min(1; 0,5) \\
 &= 0,5 \\
 \text{Nilai } Z_8 &= \frac{Z - 240}{480 - 240} \\
 0,5 &= \frac{Z - 240}{240} \\
 Z_8 &= 120
 \end{aligned}$$

R9 = jika suhu **panas** dan kelembaban tanah **basah** maka durasi irigasi **cepat**

$$\begin{aligned}
 \text{apredikat}_9 &= \mu_{panas}(x) \cap \mu_{basah}(y) \\
 &= \min(\mu_{panas}(32,6); \mu_{basah}(58,9)) \\
 &= \min(1; 0,5) \\
 &= 0,5 \\
 \text{Nilai } Z_9 &= \frac{480 - Z}{480 - 240} \\
 0,5 &= \frac{480 - Z}{240} \\
 Z_9 &= 360
 \end{aligned}$$

4. Melakukan defuzzifikasi menggunakan persamaan (4).

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

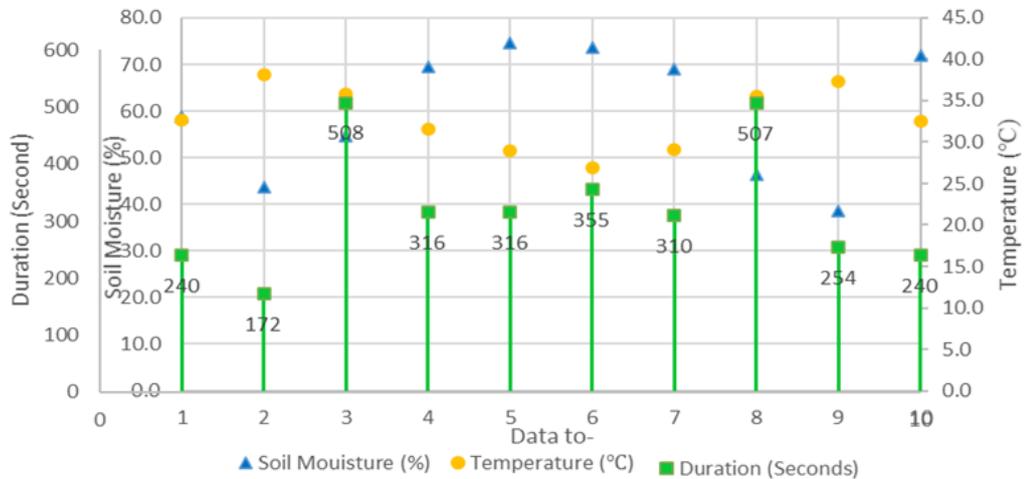
$$\begin{aligned}
 Z^* &= \frac{(0 \times 480) + (0 \times 240) + (0 \times 240) + (0 \times 480) + (0 \times 240) + (0 \times 240) + (0 \times 480) + (0,5 \times 120) + (0,5 \times 360)}{(0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,5 + 0,5)} \\
 Z^* &= \frac{60 + 180}{1} \\
 Z^* &= 240
 \end{aligned}$$

5. Mengulangi tahapan perhitungan untuk data ke-2 sampai data ke-10.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini adalah hasil perhitungan menggunakan logika *fuzzy* Takagi-Sugeno, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sistem irigasi dengan *fuzzy* dalam Gambar 7 menjelaskan bahwa logika *fuzzy* dapat digunakan untuk mengatur otomatisasi irigasi dengan durasi rata-rata irigasi selama 321 detik.

Data yang diperoleh dari 10 set pengukuran menunjukkan variasi yang berbeda dalam kelembaban tanah, suhu, dan durasi irigasi. Kelembaban tanah rata-rata adalah 60,14%, dengan nilai terendah 38,6% pada data ke-9 dan nilai tertinggi 74,6% pada data ke-5. Suhu rata-rata adalah 32,84°C, dengan nilai terendah 26,9°C pada data ke-6 dan nilai tertinggi 38,2°C pada data ke-2. Durasi irigasi rata-rata adalah 321 detik, dengan nilai terendah 172 detik pada data ke-2 dan nilai tertinggi 508 detik pada data ke-3. Variasi data ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang berbeda mempengaruhi kebutuhan irigasi tanaman [14]. Metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno digunakan untuk menganalisis data dan menghasilkan keputusan durasi irigasi yang optimal berdasarkan kelembaban tanah dan suhu [15].



Gambar 7. Plot data pengukuran durasi irigasi berdasarkan kelembaban tanah dan suhu dengan logika fuzzy Takagi-Sugeno

Pada data pertama, dengan kelembaban tanah 58,9% dan suhu 32,6°C, sistem logika fuzzy Takagi-Sugeno menghasilkan durasi irigasi 240 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, tanaman membutuhkan irigasi dengan durasi yang relatif singkat. Data ke-2 menunjukkan kelembaban tanah yang rendah (43,8%) dan suhu yang tinggi (38,2°C), menghasilkan durasi irigasi 172 detik. Kondisi ini dapat disebabkan oleh evapotranspirasi yang tinggi akibat suhu yang tinggi, sehingga diperlukan irigasi yang lebih sering namun dengan durasi yang lebih pendek untuk menjaga kelembaban tanah [16],[17]. Pada data ke-3, dengan kelembaban tanah 54,6% dan suhu 35,8°C, sistem menghasilkan durasi irigasi yang paling lama, yaitu 508 detik, mengindikasikan bahwa tanaman membutuhkan irigasi yang lebih lama untuk mencapai kelembaban tanah yang optimal.

Data ke-4 hingga ke-7 menunjukkan kelembaban tanah yang relatif tinggi, berkisar antara 69,1% hingga 74,6%, dengan suhu yang lebih rendah berkisar antara 28,9°C hingga 31,6°C. Dalam kondisi ini, durasi irigasi yang dihasilkan oleh sistem logika fuzzy Takagi-Sugeno berkisar antara 310 detik hingga 355 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pada kelembaban tanah yang lebih tinggi dan suhu yang lebih rendah, tanaman membutuhkan irigasi dengan durasi yang lebih lama untuk mempertahankan kelembaban tanah yang optimal [18],[19]. Namun, perlu diperhatikan bahwa pengairan yang berlebihan dapat menyebabkan pemborosan air dan nutrisi tanah, sehingga perlu disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman [20],[21].

Data ke-8 dan ke-9 menunjukkan kondisi kelembaban tanah yang rendah, masing-masing 46,5% dan 38,6%, dengan suhu yang relatif tinggi, yaitu 35,5°C dan 37,3°C. Pada data ke-8, durasi irigasi yang dihasilkan adalah 507 detik, sedangkan pada data ke-9, durasi irigasi adalah 254 detik. Perbedaan kelembaban tanah awal dan faktor lain, seperti jenis tanah dan karakteristik tanaman, dapat menyebabkan perbedaan durasi irigasi ini [19]. Meskipun suhu tinggi, durasi irigasi yang lebih lama pada data ke-8 mengindikasikan bahwa kelembaban tanah yang lebih rendah membutuhkan irigasi yang lebih intensif untuk mencapai kelembaban yang optimal. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa kelembaban tanah merupakan faktor penting dalam menentukan kebutuhan irigasi tanaman [15].

Data ke-10 menunjukkan kondisi kelembaban tanah yang relatif tinggi (72%) dengan suhu 32,5°C, menghasilkan durasi irigasi 240 detik. Kondisi ini mirip dengan data pertama,

yang menunjukkan bahwa tanaman membutuhkan irigasi dengan durasi yang relatif singkat pada kelembaban tanah yang cukup tinggi dan suhu yang sedang. Secara keseluruhan, interpretasi data dengan menggunakan metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno menunjukkan bahwa durasi irigasi bervariasi sesuai dengan kelembaban tanah dan suhu, dengan rata-rata durasi irigasi 321 detik. Hasil ini dapat digunakan sebagai acuan dalam mengembangkan sistem irigasi tetes otomatis yang lebih efisien dan efektif, dengan mempertimbangkan faktor lingkungan yang mempengaruhi kebutuhan air tanaman [21],[23],[24]. Namun demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem logika *fuzzy* Takagi-Sugeno dan menguji keefektifannya dalam skala yang lebih besar dan kondisi lingkungan yang beragam [25].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang disajikan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno pada sistem irigasi tetes otomatis dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban tanah menunjukkan potensi yang signifikan dalam mengoptimalkan durasi irigasi sesuai dengan kondisi lingkungan. Data menunjukkan variasi durasi irigasi yang dicapai terhadap kelembaban tanah dan suhu, dengan kelembaban tanah rata-rata 60,14%, dan suhu rata-rata 32,84 °C, dengan durasi irigasi rata-rata yang disesuaikan adalah 321 detik. Metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno dapat menangani variabilitas kondisi lingkungan dengan menyesuaikan durasi irigasi berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sehingga penggunaan air dapat dioptimalkan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Namun, untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih akurat dan komprehensif, diperlukan pengambilan data yang lebih luas dari berbagai kondisi lingkungan dan jenis tanaman, serta mempertimbangkan faktor-faktor lain, seperti jenis tanah, laju pertumbuhan tanaman, dan kondisi cuaca yang dapat mempengaruhi kinerja sistem irigasi tetes otomatis dengan metode logika *fuzzy* Takagi-Sugeno. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat membantu sektor pertanian dalam meningkatkan produktivitasnya dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air, sehingga dapat membantu mengurangi biaya operasional dan mendukung keberlanjutan pertanian dalam inovasi pertanian modern.

#### Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh DRTPM Ristekdikti dengan nomor hibah 133/E5/PG.02.00.PM/2023, 002/III.3.AU/H/PKM/2023 yang diberikan kepada Universitas Muhammadiyah Lamongan.

#### Daftar Pustaka

- [1] D. Mishra et al., "Automated Irrigation System-IoT Based Approach," *Proceedings - 2018 3rd International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages*, 2018. <https://doi.org/10.1109/IOT-SIU.2018.8519886>.
- [2] A. S. Astutik, "Perkembangan Sektor Pertanian Tanaman Pangan di Kabupaten Lamongan pada Masa Pemerintahan Bupati H. Masfuk Tahun 2000-2010," *Avatara*, vol. 5, no. 1, pp. 1559-1568, 2017.

- [3] H. A. Pamungkas and M. Munir, "Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Tanaman Cabai Merah Pada Musim Hujan Di Kabupaten Lamongan, Jawa Timur," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, vol. 5, no. 1, pp. 673-679, 2018.
- [4] Badan Pusat Statistik (BPS), "Produksi Tanaman Sayuran," 2022. <https://www.bps.go.id/indicator/55/61/1/produksi-tanaman-sayuran.html>.
- [5] K. Nalendra and M. Mujiono, "Perancangan IoT (Internet of Things) Pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai," *Generation Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 61-68, 2020. <https://doi.org/10.29407/gj.v4i2.14187>.
- [6] A. A. Aprillya, M. R. Aprillya, and U. Chasanah, "Sistem Pendukung Keputusan Identifikasi Daerah Rawan Kekeringan Dengan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: Kabupaten Lamongan)," *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*, vol. 3, no. 2, pp. 159-167, 2022.
- [7] F. Suryatini, M. Maimunah, and F. I. Fauzandi, "Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep IoT Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, pp. 115, 2019. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i1.2019.115-124>.
- [8] F. Mahfud, H. Ardiansyah, and M. R. Aprillya, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Dengan Sensor Soil Moisture Berbasis Internet of Things," *Jurnal Informatika Polinema*, vol. 10, no. 1, pp. 117-124, 2023. <https://doi.org/10.33795/JIP.V10I1.1536>.
- [9] A. E. Hamdaouy, I. Salhi, A. Belattar, and S. Doubabi, "Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling for Three-Phase Micro Hydropower Plant Prototype," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 28, pp. 17782-17792, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.02.167>.
- [10] E. S. Mohamed et al., "Smart Farming for Improving Agricultural Management," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 24, no. 3, pp. 971-981, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2021.08.007>.
- [11] F. R. Hariri, "Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Dalam Pendaftaran Siswa Baru Di SDN Sonopatik 1 Nganjuk," *Teknik Informatika*, Universitas Nusantara PGRI Kediri, vol. 3, no. 1, pp. 41-46, 2016.
- [12] J. M. Mendel, "Fuzzy-Logic Systems for Engineering - a Tutorial," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 9, pp. 1293, 1995. <https://doi.org/10.1109/5.364485>.
- [13] D. Upuy and A. H. Hiariey, "Comparison of Sugeno and Mamdani Fuzzy System Performance in Predicting the Amount of Virgin Coconut Oil (VCO) Production," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 2023. <https://doi.org/10.33387/jiko.v6i3.7051>.
- [14] T. Lee et al., "Development of Irrigation Schedule and Management Model for Sustaining Optimal Crop Production Under Agricultural Drought," *Paddy and Water Environment*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00911-9>.
- [15] C. Jamroen et al., "An Intelligent Irrigation Scheduling System Using Low-Cost Wireless Sensor Network Toward Sustainable and Precision Agriculture," *IEEE Access*, 2020. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3025590>.
- [16] J. Dari et al., "Exploiting High-Resolution Remote Sensing Soil Moisture to Estimate Irrigation Water Amounts Over a Mediterranean Region," *Remote Sensing*, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12162593>.
- [17] S. Wanniarachchi and R. Sarukkalige, "A Review on Evapotranspiration Estimation in Agricultural Water Management: Past, Present, and Future," *Hydrology*, 2022. <https://doi.org/10.3390/hydrology9070123>.

- [18]P. He et al., "Soil Moisture Regulation Under Mulched Drip Irrigation Influences the Soil Salt Distribution and Growth of Cotton in Southern Xinjiang, China," *Plants*, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12040791>.
- [19]D. K. Widyawati and A. Ambarwari, "Fuzzy Logic Design to Control the Duration of Irrigation Time in the Greenhouse," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012086>.
- [20]Y. Li et al., "Irrigation Has More Influence Than Fertilization on Leaching Water Quality and the Potential Environmental Risk in Excessively Fertilized Vegetable Soils," *PLoS One*, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204570>.
- [21]S. Wahjuni, W. Wulandari, and M. Kholili, "Development of Fuzzy-Based Smart Drip Irrigation System for Chili Cultivation," *Juita Jurnal Informatika*, 2022. <https://doi.org/10.30595/juita.v10i1.12998>.
- [22]M. A. F. Malbog, "A Fuzzy Rule-Based Approach for Automatic Irrigation System Through Controlled Soil Moisture Measurement," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/216922020>.
- [23]B. Li, M. Shahzad, H. Khan, M. M. Bashir, A. Ullah, and M. Siddique, "Sustainable Smart Agriculture Farming for Cotton Crop: A Fuzzy Logic Rule Based Methodology," *Sustainability*, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151813874>.
- [24]W. R. Mendes et al., "Development of a Fuzzy Variable Rate Irrigation Control System Based on Remote Sensing Data to Fully Automate Center Pivots," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1109/tase.2023.3322120>.
- [25]M. Wang et al., "A Switched System Approach to Exponential Filtering Design for Takagi-Sugeno Fuzzy Systems with Sampled-data Measurements Subject to Packet Dropouts," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2022. <https://doi.org/10.1002/rnc.6302>.

This Page Intentionally Left Blank