

SMART MONITORING AND WATERING OF CHILI PLANTS USING A FUZZY MAMDANI SYSTEM

Reza Syafrian Setiadi^{*1}, Feri Sulianta²

^{1,2}Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Indonesia
Email: ¹reza.setiadi@widyatama.ac.id, ²feri.sulianta@widyatama.ac.id

(Naskah masuk: 27 Juli 2022, Revisi: 5 September 2022, Diterbitkan: 10 Februari 2023)

Abstract

In this research, the design and manufacture of a prototype for a monitoring and watering system that integrates the concept of fuzzy logic in chili plants are carried out. The relationship between air humidity, air temperature and soil moisture can be identified to determine the right volume of water. The fuzzy system is built based on the chili farming environment and the specifications of the installed water pump. This system uses NodeMCU ESP8266 as the main controller for fuzzy inference calculations. The fuzzy inference calculation process uses the Mamdani method. Information such as air humidity, air temperature, soil moisture and water level will be displayed in real-time on the Blynk application connected to the internet network. The process of watering chili plants in this system is carried out according to a predetermined schedule. Results for seven days showed that the average duration of watering plants was 3.96 seconds with a flow rate ± 43.12 ml/s. By considering the maximum volume of the fuzzy system, the water consumption can be reduced with 30.96% efficiency.

Keywords: chilli, fuzzy mamdani, monitoring, prototype, watering plants

PEMANTAUAN DAN PENYIRAMAN PINTAR PADA TANAMAN CABAI MENGGUNAKAN SISTEM FUZZY MAMDANI

Abstrak

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan serta pembuatan *prototype* untuk sistem pemantauan dan penyiraman yang mengintegrasikan konsep logika *fuzzy* pada tanaman cabai. Hubungan kelembaban udara, suhu udara dan kelembaban tanah dapat diidentifikasi untuk menentukan volume air yang tepat bagi tanaman cabai. Sistem *fuzzy* dibangun berdasarkan lingkungan pertanian cabai dan spesifikasi pompa air yang terpasang. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai kontroler utama untuk perhitungan inferensi *fuzzy*. Proses perhitungan inferensi *fuzzy* pada sistem ini menggunakan metode Mamdani. Informasi seperti kelembaban udara, suhu udara, kelembaban tanah dan level air akan ditampilkan secara real time pada aplikasi *Blynk* terkoneksi dengan jaringan internet. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses pemantauan lingkungan pertanian. Proses penyiraman tanaman cabai pada sistem ini dilakukan sesuai jadwal yang sudah ditentukan. Hasil pengujian selama tujuh hari menunjukkan rata-rata durasi penyiraman tanaman adalah 3.96 detik dengan debit air $\pm 43,12$ ml/s. Dengan memaksimalkan penggunaan sistem *fuzzy* pada penyiraman tanaman, konsumsi air dapat dikurangi dengan efisiensi sebesar 30.96%.

Kata kunci: cabai, fuzzy mamdani, pemantauan, prototipe, penyiraman tanaman

1. PENDAHULUAN

Sistem pemantauan dalam pertanian sangat diperlukan untuk mengumpulkan informasi tentang kondisi di lapangan seperti, suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Informasi ini berguna untuk memenuhi kebutuhan tanaman dengan tujuan meningkatkan produktivitas. Salah satu yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah proses pengairan. Dalam penelitian ini tanaman cabai dipilih sebagai produk pertanian yang diteliti. Pada umumnya penyiraman tanaman cabai dilakukan satu

sampai dua kali sehari [1], namun di saat-saat tertentu terkadang membutuhkan air yang berlebih untuk menjaga kelembaban tanah. Kelembaban tanah yang ideal pada tanaman cabai berkisar 60-80% dan rata-rata suhu yang baik untuk pertumbuhan berkisar 21-28 °C [2].

Proses penyiraman tradisional saat ini dirasa kurang efisien karena hanya dilakukan berdasarkan inspeksi visual oleh petani. Sekitar 50% air terbuang karena sistem penyiraman atau irigasi tradisional [3]. Penyiraman yang tepat adalah penyiraman yang disesuaikan berdasarkan kebutuhan tanaman [4].

Hubungan antara suhu udara, kelembaban udara dan kelembaban tanah dapat diidentifikasi untuk menentukan spesifikasi volume penyiraman yang tepat. Oleh karena itu berdasarkan penelitian [5] diusulkan teknologi *Internet of Things* menggunakan sistem *fuzzy* untuk mengoptimalkan kebutuhan air yang diperlukan tanaman agar penggunaan sumber daya menjadi lebih efisien. Tanaman akan disiram berdasarkan data yang dikumpulkan, hal ini dapat membenarkan jumlah air yang dibutuhkan tanaman dan dapat mengurangi pemborosan volume air.

Sistem *fuzzy* akan dirancang berdasarkan lingkungan pertanian cabai dan spesifikasi pompa air yang terpasang. Sistem *fuzzy* memiliki kemampuan mengembangkan sistem intelegen dalam ketidakpastian. Sistem ini menduga suatu fungsi dengan logika *fuzzy* [6]. Saat ini konsep logika *fuzzy* tidak hanya digunakan pada perangkat elektronik rumah tangga, namun juga dimanfaatkan oleh industri dengan produk-produk skala besar [7]. Konsep yang mendasari logika *fuzzy* adalah variabel linguistik, yaitu variabel yang nilainya berupa kata-kata dan bukan angka [5], [8], [9]. Pada penelitian ini digunakan metode *fuzzy Mamdani* untuk memperoleh nilai output berupa himpunan *fuzzy*. Metode *fuzzy Mamdani* memiliki nilai optimasi lebih besar dibandingkan dengan metode *fuzzy Sugeno* dan metode *fuzzy Tsukamoto* [10].

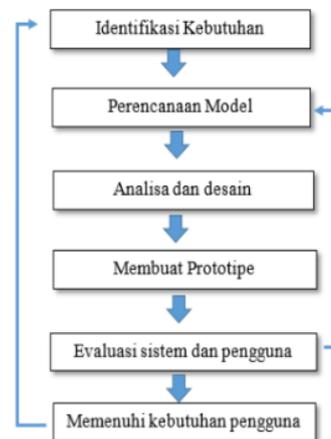
Beberapa kajian terkait pengembangan sistem *fuzzy* dalam pertanian sudah banyak dilakukan. Seperti halnya pada penelitian [11], S Mamatha Upadhy dan Soya Mathew mengembangkan sistem *fuzzy* yang digunakan untuk estimasi hasil panen dengan mempertimbangkan tiga parameter input yaitu, suhu udara, kelembaban udara dan kelembaban tanah. Ipung Permadani dkk [12], menggunakan metode *fuzzy* untuk memperkirakan prediksi hasil panen merica. Deni Setiyo Wibowo dkk [13], mengembangkan sistem *fuzzy Mamdani* untuk digunakan dalam mendiagnosis penyebaran penyakit yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman cabai berdasarkan lingkungan. Pada penelitian, [14]–[16] sistem *fuzzy* dikembangkan untuk penyiraman tanaman otomatis. Namun Hunegnaw Ylkal Truneh dkk [14], berfokus kepada penyiraman tanaman jagung dan menggunakan evapotranspirasi sebagai parameter input. Sedangkan M. Safdar Munir [15], berfokus pada teknologi *Blockchain* untuk sistem berbasis *Internet of Things* yang diusulkan. Dan Munjiat Setiani Asih [16], hanya menggunakan dua parameter input yaitu suhu dan kelembaban tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan dan penyiraman pintar pada tanaman cabai dengan mengintegrasikan konsep logika *fuzzy Mamdani*. Pemantauan lingkungan pertanian cabai dapat dilakukan dengan kendali jarak jauh menggunakan aplikasi *Blynk* yang terkoneksi pada jaringan internet. Selain itu, sistem ini memanfaatkan hubungan antara suhu udara, kelembaban udara, dan kelembaban tanah

sebagai parameter input untuk menghasilkan output berupa spesifikasi volume penyiraman. Target pada penelitian ini adalah membenarkan jumlah air yang dibutuhkan tanaman cabai dan efisiensi konsumsi air yang dilakukan oleh sistem. Selain itu, nilai input maupun output dapat ditampilkan pada sistem antarmuka aplikasi *smartphone*.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah model *prototyping*. Metode ini meliputi: identifikasi kebutuhan, perencanaan model, analisa dan desain, pembuatan *prototype*, evaluasi sistem dan pengguna, dan memenuhi kebutuhan pengguna [17]. Gambar 1 menunjukkan kerangka pemikiran model *prototype* untuk pengembangan penelitian.



Gambar 1. Kerangka pemikiran model *prototype* [17]

2.1. Kerangka Pemikiran

- Tahapan awal dimulai dengan melakukan identifikasi kebutuhan dengan cara melakukan wawancara, observasi dan studi literatur. Observasi dilakukan untuk melihat langsung kondisi serta permasalahan yang ada pada lingkungan pertanian cabai. Sedangkan studi literatur dilakukan guna menunjang penelitian berdasarkan teori-teori yang relevan dengan permasalahan.
- Selanjutnya penulis melakukan perencanaan model untuk *prototype* sistem. Pada tahap ini akan digambarkan pemodelan sistem yang akan dibuat.
- Setelah dilakukan perencanaan model penulis melakukan analisa dan desain. Analisa yang dilakukan pada penelitian ini meliputi analisa terhadap kebutuhan baik *software* maupun *hardware* yang digunakan untuk menunjang proses kerja sistem.
- Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pembuatan *prototype* berdasarkan identifikasi kebutuhan yang sudah dilakukan.

- e. Setelah *prototype* dibuat dilakukan evaluasi terhadap sistem. Evaluasi ini bertujuan untuk melihat apakah hasil *prototype* ini sudah berjalan sesuai dengan yang ditentukan dan apakah sudah memenuhi kebutuhan pengguna atau belum.

2.2. Metode Fuzzy Mamdani

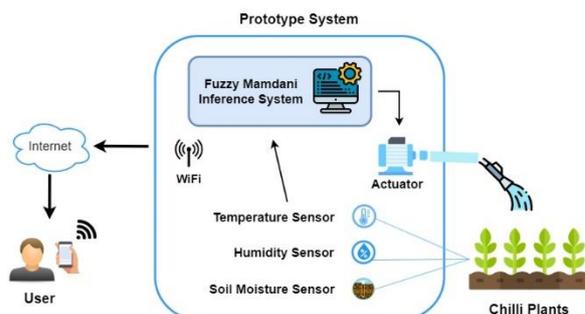
Metode *fuzzy Mamdani* akan digunakan untuk proses inferensi sistem penyiraman tanaman. Metode ini memetakan informasi numerik dan linguistik data dari input ke output dalam hal inferensi berbasis aturan linguistik. Parameter dari fungsi keanggotaan *fuzzy* input muncul di bagian premis dan keluaran fungsi keanggotaan *fuzzy* muncul di bagian konsekuen dari aturan di dasar aturan *fuzzy* setiap *node* dalam jaringan merupakan parameter keseluruhan dari jaringan [18]. Dalam model Mamdani, implikasi fuzzy dimodelkan oleh operator minimum (*min*) dan untuk agregasi aturan dimodelkan dengan operator maksimum (*max*). Dan proses defuzzifikasi pada metode ini menggunakan teknik *centroid* [19].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini data yang digunakan diambil berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan yang telah dilakukan oleh penulis. Adapun data yang digunakan tersebut sebagai berikut :

- a. Data Kelembaban udara, suhu udara, kelembaban tanah, dan penyiraman yang optimal bagi pertumbuhan tanaman cabai berdasarkan hasil penelitian pakar tentang budidaya tanaman cabai dan hasil observasi maupun wawancara penulis di Cimahi, Jawa Barat.
- b. Metode *fuzzy Mamdani* mengenai sistem pendukung keputusan berdasarkan studi literatur yang penulis lakukan terhadap jurnal, prosiding maupun buku dari penelitian sebelumnya.

Setelah proses identifikasi kebutuhan penulis melakukan perencanaan model sistem yang akan dibuat. Gambar 2 menunjukkan hasil pemodelan sistem *prototype* yang dibuat.



Gambar 2. Pemodelan sistem

Berdasarkan gambar 2 setiap sensor merupakan input yang akan mengirimkan nilai pembacaannya secara *real time*. Kemudian nilai-nilai tersebut akan diproses melalui inferensi *fuzzy Mamdani*. Dan outputnya akan mengaktifkan aktuator untuk penyiraman tanaman cabai. Setiap nilai pembacaan input maupun output dapat di monitor oleh *user* secara *mobile* menggunakan koneksi internet.

3.1. Perancangan Sistem

Tahapan ini merupakan bagian dari tahapan analisis dan desain. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan perancangan *prototype* sistem pemantauan dan penyiraman tanaman cabai ini terdiri dari beberapa *hardware* dan *software* yang diperlukan sebagai berikut :

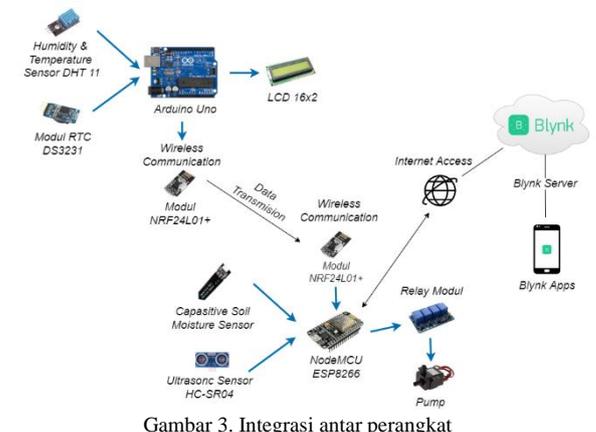
1. *Hardware*

- a) Mikrokontroler Arduino Uno
- b) Mikrokontroler NodeMCU ESP8266
- c) Modul DHT11 sebagai sensor suhu udara dan kelembaban udara
- d) Capacitive Soil Moisture sensor untuk kelembaban tanah
- e) Modul RTC DS3231 untuk *real time clock*
- f) Modul NRF24L01+ sebagai *wireless communication* antara mikrokontroler
- g) Ultrasonic Sensor HC-SR04 sebagai pengukur level air dalam tanki
- h) Modul Relay 5V
- i) Pompa air DC 12V

2. *Software*

- a) Arduino IDE
- b) Aplikasi Blynk Mobile

Setelah kebutuhan *software* dan *hardware* yang telah terpenuhi proses selanjutnya adalah tahap desain. Setiap perangkat keras akan diintegrasikan dan diprogram menggunakan *software* Arduino IDE. Gambar 3 menunjukkan hubungan integrasi antar perangkat.



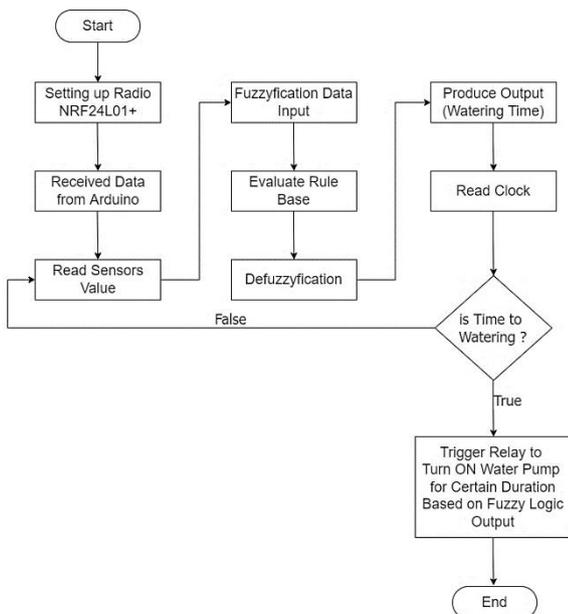
Gambar 3. Integrasi antar perangkat

Berdasarkan integrasi antar perangkat yang ditunjukkan pada Gambar 3 Mikrokontroler Arduino

Uno akan memproses data dari pembacaan sensor suhu udara, kelembaban udara dan modul *real time clock* yang kemudian data tersebut akan dikirimkan kepada NodeMCU ESP8266 menggunakan komunikasi *wireless* NRF24L01+. Disamping itu NodeMCU ESP8266 akan memproses data dari pembacaan sensor kelembaban tanah. Data suhu udara, kelembaban udara dan kelembaban tanah tersebut nantinya akan digunakan sebagai parameter input untuk sistem *fuzzy* yang akan diproses pada NodeMCU ESP8266. Output dari pemrosesan data tersebut berupa waktu penyiraman yang akan memicu relay untuk mengaktifkan pompa dengan durasi sesuai data yang dihasilkan. Adapun sensor ultrasonik yang terintegrasi dengan NodeMCU digunakan sebagai input untuk mengukur level air pada tanki. NodeMCU ESP8266 terhubung dengan jaringan internet untuk mengirimkan setiap nilai yang telah diproses kedalam *Blynk Server*. Kemudian nilai nilai tersebut diintegrasikan dengan *Blynk Apps* yang sudah dirancang.

3.2. Alur Kerja Sistem

Pada tahap ini akan dijelaskan bagaimana sistem monitoring dan penyiraman pintar pada tanaman cabai menggunakan kontrol *fuzzy Mamdani* bekerja. Gambar 4 menunjukkan diagram alir proses dari sistem yang akan diimplementasikan. Tahapan awal dimulai dengan pengaturan modul NRF24L01+ sebagai komunikasi *wireless* antara NodeMCU dengan Arduino. Jika radio transmisi tersedia, maka NodeMCU akan menerima data yang dikirimkan oleh Arduino.



Gambar 4. Diagram alir proses sistem

Setelah data diterima, nilai dari setiap sensor akan diproses sebagai parameter input kontrol *fuzzy Mamdani*. Adapun nilai sensor tersebut seperti, nilai suhu udara dan kelembaban udara berdasarkan

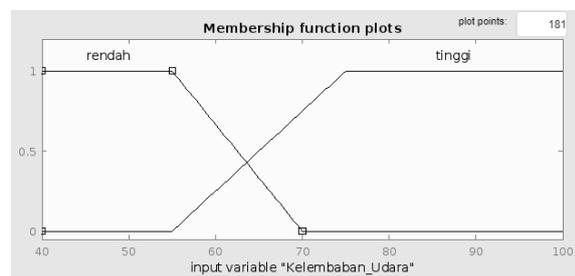
pembacaan sensor DHT11. Selain itu, nilai kelembaban tanah berdasarkan pembacaan sensor *capacitive soil moisture* secara *real time*.

Tahap selanjutnya ialah proses *fuzzyfikasi* data input. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya sistem pemantauan dan penyiraman pintar tanaman cabai ini memiliki tiga buah masukan yang akan difuzzyfikasi kedalam himpunan *fuzzy*. Terdapat 3 fungsi keanggotaan didalamnya yaitu fungsi keanggotaan kelembaban udara, suhu udara, dan kelembaban tanah. *Range* variabel input ini ditentukan berdasarkan hasil penyesuaian dari penelitian oleh pakar sebelumnya dengan kondisi lingkungan pada tempat pengujian. Dalam kasus ini tempat pengujian dilakukan di Cimahi, Jawa Barat.

Variabel Input :

1. Kelembaban Udara (KU), *range* : 40-100%
2. Suhu Udara (SU), *range* : 20-40°C
3. Kelembaban Tanah (KT), *range*: 0-90%

Dalam fungsi keanggotaan kelembaban udara digunakan dua nilai linguistik yaitu rendah dan tinggi. Gambar 5 menunjukkan kurva dari fungsi keanggotaan kelembaban udara dan Persamaan 1 - 4 menunjukkan *fuzzy set* dari fungsi keanggotaan kelembaban udara.



Gambar 5. Kurva fungsi keanggotaan input kelembaban udara

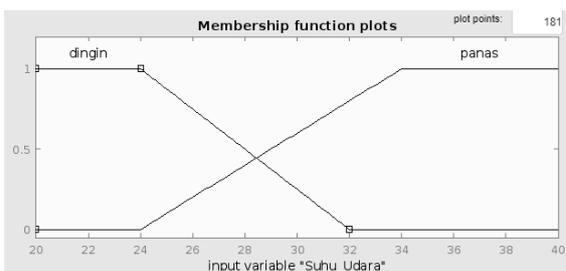
$$\mu_{KU}^{rendah}(x) = 0, \forall x \geq 70 \tag{1}$$

$$\mu_{KU}^{rendah}(x) = 1, \forall x \leq 55 \tag{2}$$

$$\mu_{KU}^{tinggi}(x) = 0, \forall x \leq 55 \tag{3}$$

$$\mu_{KU}^{tinggi}(x) = 1, \forall x \geq 75 \tag{4}$$

Untuk fungsi keanggotaan suhu udara digunakan dua nilai linguistik yaitu dingin dan panas. Gambar 6 menunjukkan kurva dari fungsi keanggotaan suhu udara dan Persamaan 5 - 8 menunjukkan *fuzzy set* dari fungsi keanggotaan suhu udara. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan kelembaban tanah digunakan tiga nilai linguistik yaitu kering, lembab dan basah. Gambar 7 menunjukkan kurva dari fungsi keanggotaan kelembaban tanah dan Persamaan 9 - 14 menunjukkan *fuzzy set* dari fungsi keanggotaan kelembaban tanah.



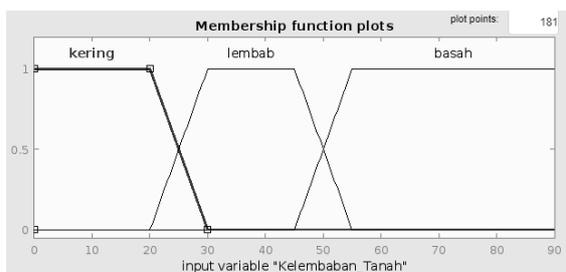
Gambar 6. Kurva fungsi keanggotaan input suhu udara

$$\mu_{SU}^{dingin}(x) = 0, \forall x \geq 32 \quad (5)$$

$$\mu_{SU}^{dingin}(x) = 1, \forall x \leq 24 \quad (6)$$

$$\mu_{SU}^{panas}(x) = 0, \forall x \leq 24 \quad (7)$$

$$\mu_{SU}^{panas}(x) = 1, \forall x \geq 34 \quad (8)$$



Gambar 7. Kurva fungsi keanggotaan input kelembaban tanah

$$\mu_{KT}^{kering}(x) = 0, \forall x \geq 30 \quad (9)$$

$$\mu_{KT}^{kering}(x) = 1, \forall x \leq 20 \quad (10)$$

$$\mu_{KT}^{lembab}(x) = 0, \forall x \leq 20 \text{ \& } \forall x \geq 55 \quad (11)$$

$$\mu_{KT}^{lembab}(x) = 1, 30 \leq x \leq 45 \quad (12)$$

$$\mu_{KT}^{basah}(x) = 0, \forall x \leq 45 \quad (13)$$

$$\mu_{KT}^{basah}(x) = 1, \forall x \geq 55 \quad (14)$$

Setelah proses fuzzyfikasi data input, maka dilakukan pembentukan aturan (*fuzzy rule*) berdasarkan inferensi Mamdani. Aturan aturan tersebut dibentuk untuk menyatakan relasi antara input dan output. Dalam hal ini digunakan operator AND untuk menghubungkan setiap input.

Tabel 1 menunjukkan aturan *fuzzy* untuk sistem penyiraman pintar pada tanaman cabai yang akan diimplementasikan. Aturan aturan yang ditunjukkan pada Tabel 1 akan digunakan sebagai basis pengetahuan untuk proses pada blok inferensi.

Inferensi adalah proses evaluasi aturan untuk menghasilkan keluaran dari setiap aturan.

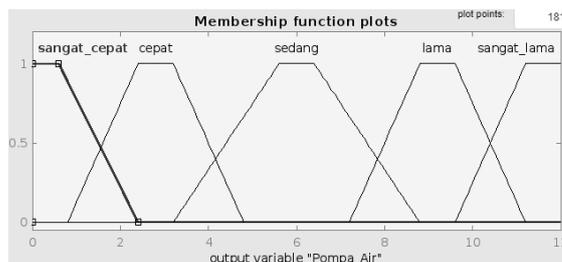
Tabel 1. Fuzzy rule sistem penyiraman

No. Rule	Basis Aturan
1	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is basah) THEN (Pompa_Air is cepat)
2	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is basah) THEN (Pompa_Air is sedang)
3	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is basah) THEN (Pompa_Air is cepat)
4	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is lembab) THEN (Pompa_Air is sangat_cepat)
5	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is lembab) THEN (Pompa_Air is cepat)
6	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is lembab) THEN (Pompa_Air is lama)
7	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is lembab) THEN (Pompa_Air is sedang)
8	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is kering) THEN (Pompa_Air is sedang)
9	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is kering) THEN (Pompa_Air is sedang)
10	IF (Kelembaban_Udara is rendah) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is kering) THEN (Pompa_Air is sangat_lama)
11	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is panas) AND (Kelembaban_Tanah is kering) THEN (Pompa_Air is lama)
12	IF (Kelembaban_Udara is tinggi) AND (Suhu_Udara is dingin) AND (Kelembaban_Tanah is basah) THEN (Pompa_Air is sangat_cepat)

Dalam *fuzzy Mamdani* akan digunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan keluaran dalam domain. Setelah evaluasi basis aturan selesai, tahap selanjutnya adalah proses defuzzyfikasi. Adapaun fungsi keanggotaan dari variabel output dalam proses ini akan ditunjukkan pada Gambar 8 dan *fuzzy set* pada Persamaan 15 – 24

Variabel Output :

1. Pompa Air (PA), *range* : 0-12 (sec)



Gambar 8. Kurva fungsi keanggotaan output pompa air

$$\mu_{PA}^{sangat_cepat}(x) = 0, \forall x \geq 2.4 \quad (15)$$

$$\mu_{PA}^{sangat_cepat}(x) = 1, \forall x \leq 0.6 \quad (16)$$

$$\mu_{PA}^{cepat}(x) = 0, \forall x \leq 0.8 \ \& \ \forall x \geq 4.8 \quad (17)$$

$$\mu_{PA}^{cepat}(x) = 1, 2.4 \leq x \leq 3.2 \quad (18)$$

$$\mu_{PA}^{sedang}(x) = 0, \forall x \leq 3.2 \ \& \ \forall x \geq 8.8 \quad (19)$$

$$\mu_{PA}^{sedang}(x) = 1, 5.6 \leq x \leq 6.4 \quad (20)$$

$$\mu_{PA}^{lama}(x) = 0, \forall x \leq 7.2 \ \& \ \forall x \geq 11.2 \quad (21)$$

$$\mu_{PA}^{lama}(x) = 1, 8.8 \leq x \leq 9.6 \quad (22)$$

$$\mu_{PA}^{sangat_lama}(x) = 0, \forall x \leq 9.6 \quad (23)$$

$$\mu_{PA}^{sangat_lama}(x) = 1, \forall x \geq 11.2 \quad (24)$$

Waktu penyiraman memiliki range 0-12 detik. Waktu tersebut ditentukan berdasarkan pompa air yang digunakan serta pengujian yang telah dilakukan oleh penulis. Dalam penelitian ini tipe pompa air yang digunakan adalah *Submersible Pump* DC 12V 1230B dengan keluaran debit air rata-rata $\pm 43,12$ ml/s. Dalam sistem ini proses defuzzyfikasi akan menghasilkan output baru berupa durasi penyiraman tanaman. Setelah output baru dihasilkan sistem akan membaca jam terlebih dahulu sebelum mengaktifkan pompa. Dalam penelitian ini penyiraman akan dilakukan satu kali pada pukul 16.30 WIB. Ketika jam sudah sesuai dengan yang ditentukan output akan memicu relay untuk mengaktifkan pompa sesuai dengan durasi yang dihasilkan dari proses defuzzyfikasi

3.3. Implementasi Sistem

Pada tahap ini semua perancangan baik perangkat keras maupun perangkat lunak diimplementasikan kedalam bentuk *prototype*. Penelitian ini menghasilkan sistem yang dapat membantu sektor pertanian. Sistem ini dapat menentukan kebutuhan air yang tepat bagi tanaman berdasarkan lingkungan pertaniannya. Selain itu, sistem ini juga terkoneksi dengan smartphone agar lebih mudah dalam pemantauan lingkungan tanaman. Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan potongan *source code* yang digunakan untuk *fuzzy set* dan proses perhitungan inferensi *fuzzy Mamdani* sistem.

```
void loop() {
  int soil_moisture = 100 - map(analogRead(SOILPIN), SOILWET, SOILDRIY, 0, 100);
  float humidity1 = data.humidity;
  float temperature2 = data.temperature;
  humidity1 = constrain(humidity1, 40, 100);
  temperature2 = constrain(temperature2, 20, 40);
  soil_moisture = constrain(soil_moisture, 0, 90);

  fuzzy->setInput(1, humidity1);
  fuzzy->setInput(2, temperature2);
  fuzzy->setInput(3, soil_moisture);

  fuzzy->fuzzify();
  pertinence_input();
  water_pump = fuzzy->defuzzify(1);
  pertinence_output();
  int pump_time = water_pump * 1000;
}
```

Gambar 9. Potongan source code untuk inferensi fuzzy Mamdani

```
#include <Fuzzy.h>
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

//fuzzy input humidity
FuzzySet *rendah = new FuzzySet(40, 40, 55, 70);
FuzzySet *tinggi = new FuzzySet(55, 75, 100, 100);

//fuzzy input temperature
FuzzySet *dingin = new FuzzySet(20, 20, 24, 32);
FuzzySet *panas = new FuzzySet(24, 34, 40, 40);

//fuzzy input soil_moisture
FuzzySet *kering = new FuzzySet(0, 0, 20, 30);
FuzzySet *lembab = new FuzzySet(20, 30, 45, 55);
FuzzySet *basah = new FuzzySet(45, 55, 90, 90);

//fuzzy output water_pump
FuzzySet *sangat_cepat = new FuzzySet(0, 0, 0.6, 2.4);
FuzzySet *cepat = new FuzzySet(0.8, 2.4, 3.2, 4.8);
FuzzySet *sedang = new FuzzySet(3.2, 5.6, 6.4, 8.8);
FuzzySet *lama = new FuzzySet(7.2, 8.8, 9.6, 11.2);
FuzzySet *sangat_lama = new FuzzySet(9.6, 11.2, 12, 12);
```

Gambar 10. Potongan source code untuk fuzzy set variabel

Proses perhitungan inferensi yang digunakan pada program tentunya mengikuti kaidah *fuzzy Mamdani*. Sebagai contoh didapatkan data untuk variabel input kelembaban udara = 60%, suhu udara = 28.4°C, dan kelembaban tanah = 68%. Data tersebut akan melalui proses fuzzyfikasi terlebih dahulu untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing variabel. Persamaan 25 dan 26 menunjukkan fuzzyfikasi dari variable kelembaban udara.

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 70 \\ \frac{70-x}{70-55}; & 55 \leq x \leq 70 \\ 1; & x \leq 55 \end{cases} \quad (25)$$

$$\mu_{rendah}(60) = \frac{70 - 60}{70 - 55} = 0.67$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 55 \\ \frac{x-55}{75-55}; & 55 \leq x \leq 75 \\ 1; & x \leq 70 \end{cases} \quad (26)$$

$$\mu_{rendah}(60) = \frac{60 - 55}{75 - 55} = 0.67$$

Persamaan 27 dan 28 menunjukkan fuzzyfikasi dari variable suhu udara.

$$\mu_{dingin}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 32 \\ \frac{32-x}{32-24}; & 24 \leq x \leq 32 \\ 1; & x \leq 24 \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_{dingin}(28.4) = \frac{32 - 28.4}{32 - 24} = 0.45$$

$$\mu_{panas}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 24 \\ \frac{x-24}{34-24}; & 24 \leq x \leq 34 \\ 1; & x \leq 34 \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_{panas}(28.4) = \frac{28.4 - 24}{34 - 24} = 0.44$$

Persamaan 29, 30, dan 31 menunjukkan fuzzyfikasi dari variable kelembaban tanah.

$$\mu_{kering}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 30 \\ \frac{30-x}{30-20}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & x \leq 20 \end{cases} \quad (29)$$

$$\mu_{kering}(68) = 0$$

$$\mu_{lembab}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 20 \text{ or } x \geq 55 \\ \frac{x-30}{45-30}; & 30 \leq x \leq 45 \\ \frac{55-x}{55-45}; & 45 \leq x \leq 55 \end{cases} \quad (30)$$

$$\mu_{lembab}(68) = 0$$

$$\mu_{basah}(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 45 \\ \frac{x-45}{55-45}; & 45 \leq x \leq 55 \\ 1; & x \leq 55 \end{cases} \quad (31)$$

$$\mu_{basah}(68) = 1$$

Derajat keanggotan tersebut kemudian masing-masing dilakukan proses inferensi terhadap basis aturan seperti yang ditunjukkan pada Tabel.1 menggunakan fungsi implikasi MIN. Contoh inferensi terhadap basis aturan ditunjukkan pada persamaan 32.

[R1] IF Kelembaban Udara is **rendah** AND Suhu Udara is **panas** AND Kelembaban Tanah is **basah** THEN Pompa Air is **cepat**

$$\alpha - predikat_1 = \mu_{rendah}(x) \cap \mu_{panas}(x) \cap$$

$$\mu_{basah}(x) \quad (32)$$

$$\alpha - predikat_1 =$$

$$\min(\mu_{rendah}(60); \mu_{panas}(28.4); \mu_{basah}(68))$$

$$\alpha - predikat_1 = \min(0.67; 0.44; 1)$$

$$\alpha - predikat_1 = 0.44$$

Untuk penerapan aturan ke dua dan seterusnya menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan 32 maka diperoleh.

$$[R2] \alpha - predikat_2 = \min(0.67; 0.44; 1) = 0.44$$

$$[R3] \alpha - predikat_3 = \min(0.25; 0.44; 1) = 0.25$$

$$[R4] \alpha - predikat_4 = \min(0.25; 0.45; 0) = 0$$

$$[R5] \alpha - predikat_5 = \min(0.67; 0.45; 0) = 0$$

$$[R6] \alpha - predikat_6 = \min(0.67; 0.44; 0) = 0$$

$$[R7] \alpha - predikat_7 = \min(0.25; 0.44; 0) = 0$$

$$[R8] \alpha - predikat_8 = \min(0.25; 0.45; 0) = 0$$

$$[R9] \alpha - predikat_9 = \min(0.67; 0.45; 0) = 0$$

$$[R10] \alpha - predikat_{10} = \min(0.67; 0.44; 0) = 0$$

$$[R11] \alpha - predikat_{11} = \min(0.25; 0.44; 1) = 0$$

$$[R12] \alpha - predikat_{12} = \min(0.25; 0.45; 1) = 0.25$$

Selanjutnya hasil dari implikasi MIN tersebut digabungkan menjadi kurva baru menggunakan komposisi aturan fungsi MAX. Tahap terakhir adalah tahap defuzzyfikasi dengan menggunakan metode *center of gravity*. Persamaan 33 menyatakan persamaan untuk mencari nilai output dalam tahap defuzzyfikasi

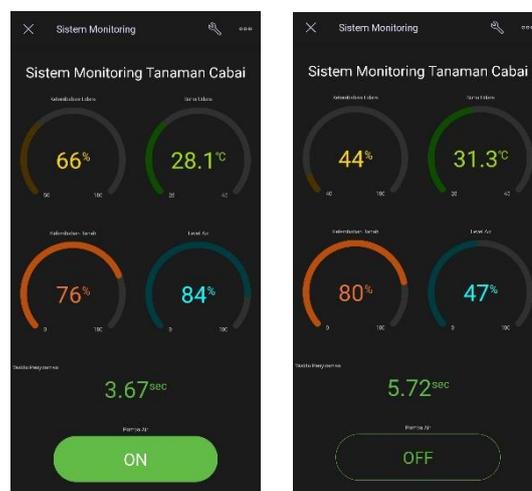
$$Z = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z) dz} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + \dots, M_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots, A_n} \quad (33)$$

$\mu(z)$ menyatakan derajat fungsi keanggotaan pada kurva baru yang terbentuk dari inferensi *fuzzy* sebelumnya. M menyatakan momen pada kurva baru sedangkan A menyatakan luas daerah pada setiap fungsi keanggotaan. Dan Z menyatakan hasil output defuzzyfikasi.

Gambar 11 menunjukkan hasil *prototype* sistem penyiraman pintar tanaman cabai yang telah dibuat dan Gambar 12 menunjukkan *user interface* pada aplikasi *Blynk* untuk sistem pemantauan tanaman cabai yang sudah dirancang sebelumnya.



Gambar 11. Hasil rototype sistem penyiraman tanaman cabai



Gambar 12. User interface sistem pemantauan tanaman cabai

Setelah *prototype* berhasil dibuat tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap sistem. Langkah awal adalah menguji eksekusi setiap

perangkat keras terhadap program yang sudah ditanamkan, hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah konfigurasi antara program dengan perangkat keras sudah berjalan dengan baik.

3.3. Pengujian Inferensi Fuzzy System

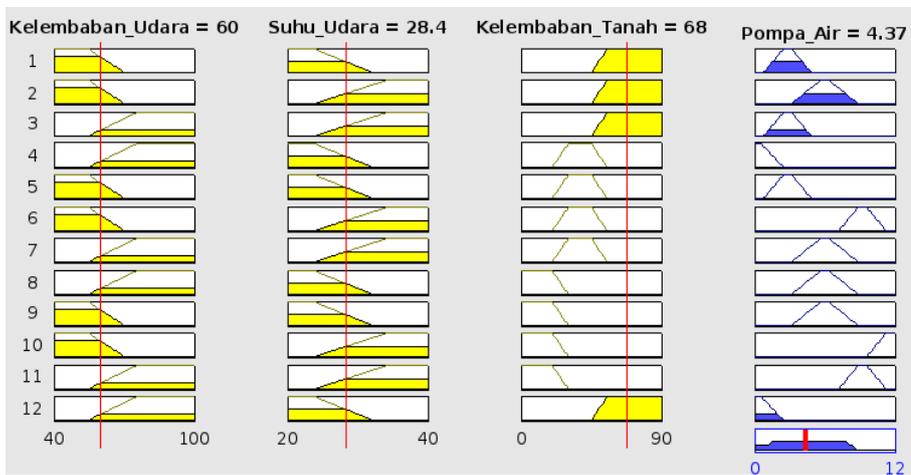
Tahap selanjutnya adalah pengujian program pada sistem inferensi fuzzy. Pada pengujian sistem inferensi fuzzy ini penulis melakukan perbandingan hasil perhitungan antara program yang telah dibuat di Arduino IDE dengan hasil perhitungan pada software MATLAB. Gambar 13 menunjukan hasil inferensi fuzzy pada Arduino IDE dan Gambar 14

menunjukkan hasil inferensi fuzzy pada software MATLAB.

Berdasarkan Gambar 13 dan Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa perbandingan hasil perhitungan inferensi fuzzy yang telah dibuat pada program Arduino IDE dengan perhitungan pada software MATLAB hanya memiliki selisih 0.02. Pada Arduino IDE dengan nilai parameter input yang sama waktu penyiraman terbaca 4.39 detik sedangkan pada software MATLAB waktu penyiraman terbaca 4.37 detik. Hal itu dapat diabaikan karena perbedaannya tidak signifikan. Pada sistem penyiraman ini 0,02 detik sama dengan 0.86 ml air yang keluar. Hal ini pun dikarenakan pada perhitungan software MATLAB ada nilai yang dibulatkan.



Gambar 13. Hasil inferensi pada monitor Arduino IDE



Gambar 14. Hasil inferensi pada software MATLAB

3.4. Pengujian Penyiraman Tanaman

Pengujian terakhir adalah pengujian pada penyiraman tanaman cabai. Pengujian penyiraman ini bertujuan untuk menghitung efisiensi penyiraman yang dilakukan oleh sistem. Tabel 2 menunjukkan pengujian penyiraman sistem fuzzy. Pada Tabel 2 KU menyatakan kelembaban udara, SU menyatakan suhu udara, KT menyatakan kelembaban tanah, dan WP menyatakan waktu penyiraman.

Berdasarkan Tabel 2 pengujian dilakukan selama tujuh hari dan pengambilan data dilakukan setiap pukul 16:30 WIB. Nilai kelembaban udara (KU),

suhu udara (SU), dan kelembaban tanah (KT) merupakan nilai input dari pembacaan sensor setiap waktunya yang tertanam pada prototype sistem. Sedangkan Nilai pada waktu penyiraman (WP) diperoleh dari nilai output yang telah melalui proses perhitungan fuzzyfikasi nilai input yang dibaca sensor, inferensi fuzzy dan defuzzyfikasi pada prototype sistem. Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa selama tujuh hari pengujian waktu penyiraman memiliki rata-rata 3.96 (detik) per hari dengan debit air ± 43,12 ml/s. Selanjutnya penulis melakukan

perbandingan antara penyiraman manual dengan penyiraman sistem *fuzzy*.

Tabel 2 Pengujian sistem penyiraman pada tanaman cabai

Hari ke -	Jam	KU	SU	KT	WP
1	16:30	69%	27.5°C	79%	2.58 (detik)
2	16:30	66%	28.1°C	76%	3.67 (detik)
3	16:30	60%	28.3°C	80%	4.36 (detik)
4	16:30	55%	28.9°C	78%	4.87 (detik)
5	16:30	62%	28.5°C	84%	4.26 (detik)
6	16:30	58%	28.7°C	82%	4.26 (detik)
7	16:30	64%	28.3°C	81%	4.03 (detik)

Tabel 3 menunjukkan perbandingan konsumsi air antara penyiraman manual dengan penyiraman menggunakan sistem *fuzzy*.

Tabel 3 Perbandingan penyiraman manual dengan penyiraman sistem *fuzzy*

Hari ke -	Penyiraman Manual	Penyiraman Sistem Fuzzy
1	250 ml	112.2 ml
2	250 ml	158.2 ml
3	250 ml	188 ml
4	250 ml	209.9 ml
5	250 ml	183.6 ml
6	250 ml	183.6 ml
7	250 ml	173.7 ml
Total	1750 ml	1208.2 ml

Volume penyiraman manual diperoleh berdasarkan wawancara dengan Ibu Parinah terkait budidaya cabai dalam pot. Untuk pot yang digunakan memiliki diameter 20 cm dan tinggi 15 cm. Menurut hasil wawancara dengan berdasarkan pot yang digunakan penyiraman dapat dilakukan satu kali dengan volume ± 250 ml air setiap harinya. Sedangkan penyiraman sistem *fuzzy* diperoleh dari hasil waktu penyiraman (WP) dikali dengan debit rata-rata air yang dikeluarkan oleh pompa yaitu $\pm 43,12$ ml/s. Setelah pengujian penyiraman sudah dilakukan selanjutnya, dilakukan identifikasi untuk mengetahui efisiensi konsumsi air berdasarkan Tabel 3. Pengujian efisiensi ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem ini sudah memenuhi kebutuhan pengguna atau belum. Persamaan 34 digunakan untuk menghitung efisiensi konsumsi air yang digunakan saat penyiraman tanaman cabai menggunakan sistem *fuzzy*.

$$\begin{aligned} \text{efisiensi} &= \frac{(\text{Total manual} - \text{Total fuzzy})}{\text{Total manual}} \times 100\% \quad (34) \\ &= \frac{(1750 - 1208,2)}{1750} \times 100\% = 30,96\% \end{aligned}$$

Hasil efisiensi konsumsi air dengan sistem *fuzzy* adalah 30.96%.

4. DISKUSI

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diketahui penggunaan sistem *fuzzy Mamdani* untuk pemantauan dan penyiraman tanaman cabai sudah berhasil dengan baik. Parameter keberhasilan ini bisa dilihat dengan sistem *prototype* yang dibuat sudah sesuai dengan tujuan penelitian seperti dinyatakan oleh penulis dalam pendahuluan. Sistem yang dibuat berhasil melakukan pemantauan lingkungan pertanian melalui aplikasi *Blynk mobile* dengan terhubung jaringan internet. Sedangkan penyiraman yang dilakukan oleh sistem berhasil mengurangi konsumsi air yang digunakan pada penyiraman manual.

Pembuatan sistem ini juga dapat dikatakan berhasil dari melihat penelitian serupa dari peneliti sebelumnya. Penelitian [16] menggunakan metode *fuzzy Mamdani* yang sama pada penyiraman tanaman. Dimana hasilnya penyiraman tidak akan dilakukan jika suhu udara berada pada 30 °C dan kelembaban tanah $\leq 50\%$. Hal ini membuktikan penerapan metode *fuzzy Mamdani* dapat menghasilkan keputusan yang tepat dengan menyesuaikan pada kasus-kasus tertentu.

5. KESIMPULAN

Sistem pemantauan dan penyiraman pintar pada tanaman cabai menggunakan konsep logika *fuzzy Mamdani* telah berhasil dibuat. Hasilnya dapat dilihat dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan, dimana mikrokontroler mampu melakukan proses-proses perhitungan sesuai dengan aturan-aturan *fuzzy* yang sudah dirancang oleh penulis. Hasil menunjukkan selama tujuh hari rata-rata waktu penyiraman adalah 3.96(detik) yang artinya nilai ini berada diantara nilai linguistik cepat dan sedang. Selama pengujian waktu penyiraman tidak pernah menyentuh nilai linguistik diantara lama dan sangat lama. Ini terjadi karena pengaruh tempat dan faktor lingkungan pengujian. Dengan memaksimalkan penggunaan sistem *fuzzy* pada penyiraman tanaman cabai dapat memangkas konsumsi air dengan efisiensi sebesar 30,96%. Selain itu, nilai input maupun output berhasil ditampilkan pada antarmuka aplikasi *Blynk* yang dapat diakses melalui *smartphone*. Hal ini tentu sangat berguna karena, dapat mempermudah pemantauan lingkungan pertanian cabai dari jarak jauh. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat dikembangkan kembali dengan penamabahan parameter input seperti intensitas cahaya, maupun pH tanah dan juga dapat mempertimbangkan nutrisi tanaman untuk hasil produksi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumbar, "Budidaya Cabai Dalam Pot atau Polybag," *Balai Pengajian Teknologi Pertanian Sumatera Barat*, 2017. <https://sumbar.litbang.pertanian.go.id>

- (accessed Oct. 29, 2021).
- [2] S. Swastika, D. Pratama, T. Hidayat, and K. B. Andri, *Buku Petunjuk Teknis Teknologi Budidaya Cabai Merah*. Riau, 2017.
- [3] P. K. Kashyap, S. Kumar, A. Jaiswal, M. Prasad, and A. H. Gandomi, "Towards Precision Agriculture: IoT-Enabled Intelligent Irrigation Systems Using Deep Learning Neural Network," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 16, pp. 17479–17491, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3069266.
- [4] S. E. Widodo, S. Hadi, and N. Nurmauli, *Penuntun Praktikum Produksi Tanaman Hortikultura*. Lampung: Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung, 2019.
- [5] N. Abdullah *et al.*, "Towards Smart Agriculture Monitoring Using Fuzzy Systems," *IEEE Access*, vol. 20, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041597.
- [6] G. Lambert-torres, L. E. B. da Silva, C. H. V. de Moraes, and Y. M. C. Masselli, "Fuzzy Systems," in *Advanced Solutions in Power Systems: HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence*, First Edit., M. Eremia, C.-C. Liu, and A.-A. Edris, Eds. Wiley-IEEE Press, 2016, pp. 785–818.
- [7] M. Rusli, *Dasar Perancangan Kendali Logika Fuzzy*, Edisi Pert. Malang: UB Media, 2017.
- [8] M. Lesot, *Fuzzy Approaches for Soft Computing and Approximate Reasoning: Theories and Applications*. Springer, 2020.
- [9] E. Krisnaningsih, A. B. Sulisty, A. Rahim, and S. Dwiyatno, "Fuzzy risk priority number assessment to detect midsole product defects," *J. Sist. dan Manaj. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 77–88, 2022.
- [10] S. Napatipulu, E. B. Nababan, and P. Sihombing, "Comparative Analysis of Fuzzy Inference Tsukamoto Mamdani and Sugeno in the Horticulture Export Selling Price," *Int. Conf. Mech. Electron. Comput. Ind. Technol.*, pp. 183–187, 2020, doi: 10.1109/MECnIT48290.2020.9166587.
- [11] S. M. Upadhy and S. Mathew, "Implementation of Fuzzy Logic in Estimating Yield of a Vegetable Crop Implementation of Fuzzy Logic in Estimating Yield of a Vegetable Crop," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, pp. 1–11, doi: 10.1088/1742-6596/1427/1/012013.
- [12] I. Permadi, A. K. Nugroho, and M. R. Rachmat, "Prediction of the Amount of Pepper Harvest By Using Fuzzy," *J. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 177–182, 2022, doi: <https://doi.org/10.20884/1.jutif.2022.3.1.174>.
- [13] D. S. Wibowo, Y. Yanitasari, and Dedih, "Sistem Pakar Diagnosis Potensi Penyebaran Penyakit pada Tanaman Cabai Menggunakan Fuzzy Mamdani," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 6, no. April, pp. 71–75, 2018, doi: 10.14710/jtsiskom.6.2.2018.71-75.
- [14] H. Y. Truneh, G. Alemu, and T. M. Balcha, "Fuzzy Logic based Automatic Plant Watering System," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 10, no. 07, pp. 695–709, 2021.
- [15] M. S. Munir, I. S. Bajwa, and S. M. Cheema, "An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain ☆," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 77, pp. 109–119, 2019, doi: 10.1016/j.compeleceng.2019.05.006.
- [16] M. Setiani Asih, "Sistem Pendukung Keputusan Fuzzy Mamdani pada Alat Penyiraman Tanaman Otomatis," *J. Sist. Inf.*, vol. 02, 2018.
- [17] O. Lengkong and A. Taghulihi, "Prototipe Iot Dan Pertanian Cerdas: Memantau Tanaman Buah Dan Sayuran Musiman," in *SENSITIF: Seminar Nasional ...*, 2019, pp. 415–422, [Online]. Available: <https://ejurnal.dipaneegara.ac.id/index.php/sensitif/article/view/565>.
- [18] N. K. Verma, V. Singh, S. Rajurkar, and M. Aqib, "Fuzzy inference network with mamdani fuzzy inference system," in *Computational Intelligence: Theories, Applications and Future Directions*, vol. 1, Springer Singapore, 2019, pp. 375–388.
- [19] E. Sufarnap and S. Sudarto, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dalam Penentuan Jumlah Produksi," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2019, no. Juli, pp. 379–382.