



**universitas  
MALIKUSSALEH**

**SKRIPSI**

**SISTEM PENYIRAMAN OTOMATIS BERBASIS KERAN  
CERDAS PADA BUDIDAYA TANAMAN SAWI  
MENGUNAKAN METODE *FUZZY*  
*LOGIC* MAMDANI**

**Disusun Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
Prodi Teknik Informatika Fakultas Teknik  
Universitas Malikussaleh**

**DISUSUN OLEH:**

**NAMA : ABDI MULIA PRANIDANA  
NIM : 210170110  
PRODI : TEKNIK INFORMATIKA**

**JURUSAN INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH  
LHOKSEUMAWE  
2025**

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Abdi Mulia Pranidana

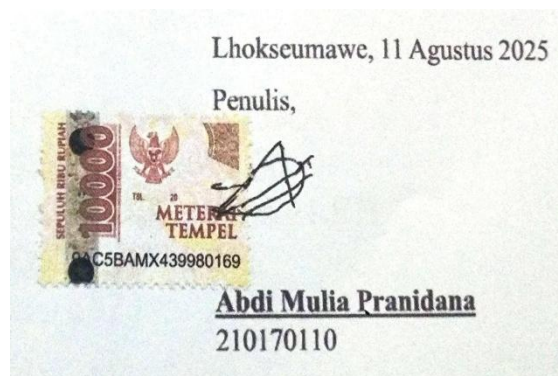
Nim : 210170110

Fakultas/Jurusan : Teknik/Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Keran Cerdas Pada Budidaya Tanaman Sawi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani** adalah hasil kerja tulis saya sendiri didampingi bukan hasil plagiat dari hasil karya tulis orang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari ternyata terbukti bahwa skripsi yang saya tulis adalah plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku, dan saya bertanggung jawab secara mandiri tidak ada sangkut pautnya dengan Dosen Pembimbing dan kelembagaan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi	: Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Keras Cerdas Pada Budidaya Tanaman Sawi Menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani
Nama Mahasiswa	: Abdi Mulia Pranidana
NIM	: 210170110
Program Studi	: Teknik Informatika
Jurusan	: Informatika
Fakultas	: Teknik
Perguruan Tinggi	: Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama	: Mukti Qamal, S.T., M.IT.
Pembimbing Pendamping	: Hafizh Al Kautsar Aidilof, S.T., M.Kom.
Ketua Penguji	: Dr. Nurdin, S.Kom., M.Kom
Anggota Penguji	: Maryana, S.Si., M.Si

Lhokseumawe, 11 Agustus 2025

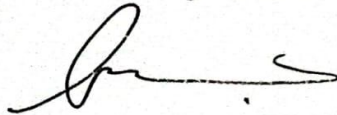
Penulis,



**Abdi Mulia Pranidana**  
210170110

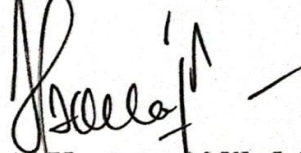
Menyetujui :

Pembimbing Utama,



**Mukti Qamal, S.T., M.IT**  
NIP 197110172010121001

Pembimbing Pendamping,



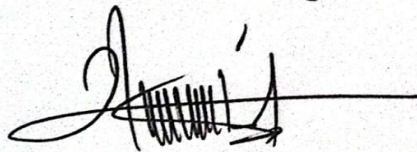
**Hafizh Al Kautsar Aidilof, S.T., M.Kom**  
NIP 199204302019031013

Mengetahui :



**Munzir Lila, S.T., M.Eng., Ph.D**  
NIP 197808082008121001

Koordinator Program Studi,



**Zara Yunizar, S.Kom., M.Kom**  
NIP 198310182019032009

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini bisa diselesaikan dengan judul "Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Keran Cerdas Pada Budidaya Tanaman Sawi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani", sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Teknik Informatika di Universitas Malikussaleh dapat diselesaikan oleh penulis. Takluput juga penulis bertrimakasih kepada kedua orang tua penulis yang selalu mendukung serta mendoakan penulis untuk tetap lancar menjalankan studinya. Ucapan terimakasih juga ditunjukkan kepada:

1. Prof. Dr. Herman Fithra, M.T., IPM., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Munirul Ula, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Informatika Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Hafizh Al Kautsar Aidilof, S.T., M.Kom., Selaku Sekretaris Jurusan Informatika Universitas Malikussaleh.
5. Ibu Zara Yunizar, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Malikussaleh.
6. Bapak Mukti Qamal, S.T., M.IT. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Hafizh Al Kautsar Aidilof, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing pendamping.
7. Bapak Dr. Nurdin, S.Kom., M.Kom. dan Ibu Maryana, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji
8. Bapak/Ibu dosen pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah membimbing dan mengajari berbagai ilmu

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya secara khusus, yang secara sukarela dan tulus mendoakan serta mendukung penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis menyadari adanya kekurangan dan dengan senang hati menerima kritik serta saran membangun. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua dan memberikan kontribusi positif dalam dunia pendidikan.

Lhokseumawe, 11 Agustus 2025

Penulis,



**Abdi Mulia Pranidana**  
Nim. 210170110

Scanned with CamScanner

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

Dengan penuh syukur dan kerendahan hati, penulis persembahkan karya ini kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda Turakhmat M dan ibunda Sri Muliani, yang telah menjadi sumber kekuatan dan semangat dalam setiap langkah hidup penulis. Doa yang tak pernah putus, cinta yang tulus, dan pengorbanan yang tak terhingga menjadi fondasi utama dalam pencapaian ini. Untuk adik tersayang, Fajar Siddik Yudhistira, terima kasih telah menjadi penyemangat dan pengingat bahwa perjuangan ini bukan hanya untuk hari ini, tetapi juga untuk masa depan keluarga yang kita cintai bersama.

Penulis haturkan rasa terima kasih yang mendalam kepada dosen-dosen yang telah membimbing dan mendukung selama proses penyusunan karya ini. Kepada Bapak Mukti Qamal, S.T., M.IT, selaku dosen pembimbing utama, atas kesabaran, arahan, dan ketulusan dalam membimbing penulis. Kepada Bapak Hafizh Al Kautsar Aidilof, S.T., M.Kom, selaku dosen pembimbing kedua, terima kasih atas bimbingan, perhatian, dan dukungan yang begitu berarti, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Kepada Bapak Dr. Nurdin, S.Kom., M.Kom dan Ibu Maryana, S.Si., M.Si, terima kasih atas saran dan masukan yang berharga dalam penyempurnaan penelitian ini.

Ucapan khusus juga penulis sampaikan kepada Nurjana, seseorang yang sangat berarti dalam hidup penulis, yang telah setia menemani di tengah jatuh bangun perjuangan ini. Terima kasih atas pengertian, doa, dan dukunganmu yang tak ternilai hadirmu menjadi penenang dalam lelah dan penyemangat dalam ragu. Kepada sahabat-sahabat terbaik Nanda, Syamsul, Faiz, Rizqy, Aryo, dan Abel terima kasih atas kebersamaan, semangat, serta tawa dan perjuangan yang kita lalui bersama. Kalian adalah bagian penting dari cerita ini.

Dan terakhir, kepada seluruh kawan seperjuangan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas semangat dan kebersamaan yang tulus. Semoga kita semua diberi jalan yang terbaik dalam mewujudkan cita-cita.

## ABSTRAK

Pertanian sawi di Indonesia masih didominasi oleh metode penyiraman manual yang sering tidak efisien dan tidak responsif terhadap perubahan suhu dan kelembaban tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi metode *Fuzzy Logic Mamdani* yang mampu mengambil keputusan penyiraman secara adaptif. Sistem menggunakan *mikrokontroler* ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu DHT22 dan sensor kelembaban tanah kapasitif. Data sensor diproses dengan logika *Fuzzy* untuk menentukan durasi dan waktu penyiraman yang tepat. Informasi kemudian ditampilkan secara *real-time* pada LCD dan *dashboard* berbasis web. Hasil pengujian dilakukan selama 12 jam pada lahan budidaya tanaman sawi, menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara stabil dan akurat. Salah satu contoh hasil pembacaan sistem menunjukkan suhu 29°C dan kelembaban tanah 81% yang menghasilkan nilai *Fuzzy* sebesar 10, diklasifikasikan sebagai kondisi “cukup”, sehingga sistem memutuskan untuk tidak melakukan penyiraman. Secara keseluruhan, sistem berhasil mengurangi frekuensi penyiraman berlebih dan menghemat air hingga  $\pm 35\%$  dibandingkan metode manual. Sistem ini juga memungkinkan pemantauan dan pengaturan ambang batas secara jarak jauh melalui *webview*, memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengelola penyiraman tanaman secara efisien, adaptif, dan berbasis data.

Kata Kunci : *Fuzzy Logic Mamdani*, Penyiraman Otomatis, Keran Cerdas

## **ABSTRACT**

*Mustard green cultivation in Indonesia is still largely dominated by manual irrigation methods, which are often inefficient and unresponsive to changes in temperature and soil moisture. This study aims to develop an automatic irrigation system based on the Internet of Things (IoT), integrated with the Mamdani Fuzzy Logic method, capable of making adaptive irrigation decisions. The system utilizes an ESP32 microcontroller connected to a DHT22 temperature sensor and a capacitive soil moisture sensor. Sensor data is processed using Fuzzy Logic to determine the appropriate duration and timing of irrigation. The information is then displayed in real-time on an LCD and a web-based dashboard. Testing was conducted over a 12-hour period on a mustard green cultivation plot, showing that the system operates reliably and accurately. One example of the system's reading recorded a temperature of 29°C and a soil moisture level of 81%, producing a fuzzy output value of 10, classified as a “moderate” condition, leading the system to decide not to irrigate. Overall, the system successfully reduced excessive irrigation frequency and saved approximately 35% more water compared to manual methods. Additionally, the system enables remote monitoring and threshold configuration via a webview interface, providing users with an efficient, adaptive, and data-driven solution for managing crop irrigation.*

*Keywords : Mamdani Fuzzy Logic, Automatic Irrigation, Smart Faucet*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Dan Batasan Penelitian.....	3
<b>BAB II    TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b> .....	4
2.1 Keran Cerdas .....	4
2.2 Tanaman Sawi .....	4
2.3 Kelembaban Tanah .....	5
2.4 Suhu.....	5
2.5 Pengolahan Data.....	6
2.6 Metode <i>Fuzzy Logic</i> .....	6
2.6.1 Metode <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani.....	7
2.6.1 Fungsi Keanggotaan.....	8
2.7 Sensor .....	10
2.7.1 Sensor <i>Soil Moisture</i> .....	11
2.7.2 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22 .....	11
2.7.3 <i>Mikrokontroler</i> ESP32 .....	12
2.7.4 <i>Relay Module</i> .....	13

2.7.5 Solenoid Water Valve.....	14
2.7.6 LCD 16x2.....	15
2.8 Penelitian Terdahulu .....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	23
3.2. Skema Penelitian .....	23
3.3. Perancangan Sistem.....	24
3.4. Analisis Kebutuhan Sistem.....	25
3.5. Perancangan Sistem Penyiraman.....	26
3.5.1 Pemrosesan Dengan Metode <i>Fuzzy</i> .....	27
3.6. Perancangan Skema Sirkuit Kontrol Sistem.....	29
3.7. Pembangunan Sistem.....	30
3.8. Pengujian Sistem .....	31
3.9. Implementasi Sistem Dan Pemeliharaan .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil.....	33
4.1.1 Analisis Sistem.....	34
4.1.2 Analisis Masalah .....	34
4.1.3 Analisis Data .....	36
4.1.4 Konsep Perancangan Sistem .....	37
4.1.5 Implementasi Sensor Menggunakan Arduino IDE .....	42
4.1.6 Implementasi Logika <i>Fuzzy</i> .....	43
4.1.7 Data Uji Sistem .....	43
4.2 Pembahasan .....	50
4.2.1 Perencanaan <i>Unified Modeling Language</i> (UML).....	50
4.2.2 Penerapan Metode <i>Fuzzy Logic Mamdani</i> .....	54
4.2.3 Evaluasi.....	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>60</b>

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>
----------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3.1 Penentuan Kondisi Pembukaan Katup Air .....	29
Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem.....	44
Tabel 4.2 Inferensi.....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Representasi Kurva Naik.....	8
Gambar 2.2 Representasi Kurva Segitiga .....	9
Gambar 2.3 Sensor Soil Moisture .....	11
Gambar 2.4 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22.....	11
Gambar 2.5 NodeMCU ESP32 .....	12
Gambar 2.6 Relay Module .....	13
Gambar 2.7 Solenoid valve .....	14
Gambar 2.8 LCD 16x2 .....	15
Gambar 3.1 Skema Umum Penelitian .....	23
Gambar 3.2 Perancangan sistem .....	24
Gambar 3.3 Skema Detail Penelitian .....	26
Gambar 3.4 Diagram Proses Fuzzy.....	27
Gambar 3.5 Skema Sirkuit Kontrol Sistem.....	29
Gambar 4.1 Keran Otomatis .....	37
Gambar 4.2 Sensor dan LCD .....	37
Gambar 4.3 Grafik .....	38
Gambar 4.4 Riwayat Penyiraman .....	39
Gambar 4.5 Pengaturan Keran .....	40
Gambar 4.6 Logo .....	41
Gambar 4.7 Webview grafik .....	42
Gambar 4.8 Webview pengaturan .....	42
Gambar 4.9 Use Case Diagram .....	51
Gambar 4.10 Activity Diagram Sistem .....	52
Gambar 4.11 Activity Diagram User.....	53

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara agraris dengan ketergantungan ekonomi yang tinggi pada sektor pertanian, menyerap lebih dari 30 persen tenaga kerja nasional. Salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai strategis dalam menunjang ketahanan pangan adalah sawi (*Brassica juncea L.*). Tanaman ini tidak hanya digemari karena kandungan nutrisinya yang tinggi, tetapi juga memiliki nilai ekonomi yang kuat di pasar lokal (Wisnujati *et al.*, 2021). Namun, keberhasilan budidaya sawi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu udara dan kelembaban tanah. Sawi membutuhkan kelembaban tanah antara 50% hingga 70% agar dapat tumbuh optimal. Ketika penyiraman tidak dilakukan secara tepat, baik karena kelebihan maupun kekurangan air, pertumbuhan tanaman akan terganggu dan hasil panen menurun (Novan *et al.*, 2021).

Sayangnya, praktik irigasi di tingkat petani masih banyak dilakukan secara manual. Metode ini tidak hanya menyita waktu dan tenaga, tetapi juga berisiko menyebabkan pemborosan air serta ketidaktepatan dalam menjaga kondisi tanah. Hal ini menjadi tantangan nyata dalam upaya meningkatkan produktivitas sawi secara berkelanjutan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, pendekatan otomatisasi penyiraman menjadi kebutuhan yang mendesak. Sistem penyiraman otomatis berbasis kecerdasan buatan dinilai mampu mengambil keputusan secara presisi berdasarkan data lingkungan. Dalam konteks ini, logika *Fuzzy Mamdani* dipilih sebagai metode pengambilan keputusan karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan menterjemahkan data sensor ke dalam aturan linguistik yang menyerupai cara berpikir petani. Mamdani sangat ideal digunakan dalam sistem kontrol penyiraman berbasis sensor suhu dan kelembaban karena dapat mengolah variasi kondisi secara real-time dan memberikan respons yang adaptif terhadap perubahan lingkungan (Rusadi *et al.*, 2025).

Keunggulan pendekatan ini diperkuat oleh berbagai penelitian terdahulu yang menunjukkan efektivitas sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dan logika *Fuzzy*. Sistem penyiraman otomatis *multi-zona* yang menggunakan sensor kelembaban tanah dan *mikrokontroler* telah terbukti mampu menjaga kelembaban tanah pada tingkat optimal serta mengurangi beban kerja petani (Pratama *et al.*, 2022). Integrasi sistem komunikasi seperti MQTT memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara jarak jauh dengan efisiensi tinggi. Selain itu, sistem berbasis logika *Fuzzy* yang dirancang untuk merespon perubahan suhu dan kelembaban secara cepat terbukti meningkatkan efisiensi irigasi, menghindari *overwatering*, dan mendukung penghematan air secara signifikan (Prasetyo *et al.*, 2022).

Dengan landasan tersebut, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengusung konsep “Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Keran Cerdas pada Budidaya Tanaman Sawi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani” sebagai solusi inovatif. Sistem ini dirancang untuk mempermudah proses penyiraman, mengurangi pemborosan air, serta meningkatkan produktivitas sawi secara efisien dan berkelanjutan, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keterbatasan tenaga kerja di sektor pertanian.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan di atas, maka mendapatkan rumusan masalah yang akan di bahas adalah :

1. Bagaimana cara membuat keran cerdas dengan sensor suhu dan kelembaban tanah?
2. Bagaimana cara menerapkan metode *Fuzzy Logic* Mamdani pada keran cerdas?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai beriku :

1. Membuat keran cerdas dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban tanah untuk mewujudkan pertanian lebih maju lagi.

2. Menerapkan metode *Fuzzy Logic Mamdani* pada keran cerdas untuk memberikan informasi *real-time* pada penyiraman tanaman sawi.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yang penulis harapkan adalah sebagai berikut :

1. Membantu dan mempermudah petani dalam penyiraman yang lebih terkontrol serta lebih efisien.
2. Menghemat penggunaan air dalam penyiraman tanaman sawi.

#### **1.5 Ruang Lingkup Dan Batasan Penelitian**

Adapun batasan yang diangkat dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini sebatas tentang penggunaan sensorik suhu dan kelembaban tanah dalam sistem keran cerdas.
2. Penelitian ini tidak membahas aspek lain dalam pertanian seperti pupuk, dan lain lain.
3. Penelitian ini hanya membahas tentang penyiraman menggunakan keran cerdas.
4. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN KEPUSTAKAAN**

#### **2.1 Keran Cerdas**

Keran air otomatis adalah perangkat inovatif yang dirancang untuk mengontrol aliran air secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual, sehingga sangat efektif dalam berbagai aplikasi, termasuk penyiraman tanaman. Prinsip dasar kerja keran ini melibatkan penggunaan sensor atau perangkat deteksi lainnya, seperti sensor kelembapan tanah, sensor inframerah, atau bahkan sistem berbasis waktu yang dapat diprogram. Pada aplikasi untuk penyiraman tanaman, sensor kelembapan tanah menjadi komponen utama, yang berfungsi mendeteksi tingkat kelembapan tanah di sekitar tanaman. Ketika sensor mendeteksi bahwa kelembapan tanah berada di bawah ambang batas tertentu, keran otomatis akan terbuka untuk mengalirkan air, memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup. Setelah kelembapan tanah mencapai tingkat yang optimal, sistem akan menutup aliran air secara otomatis. Mekanisme ini tidak hanya membantu menghemat penggunaan air secara signifikan, tetapi juga menjaga kesehatan tanaman dengan memberikan penyiraman yang tepat waktu dan sesuai kebutuhan. Keran air otomatis untuk penyiraman tanaman sangat berguna dalam pertanian, taman, dan kebun rumah tangga, karena mampu meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi pemborosan sumber daya (Arisgraha *et al.*, 2023).

#### **2.2 Tanaman Sawi**

Tanaman sawi (*Brassica juncea L*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kandungan nutrisinya, seperti serat, protein, karbohidrat, vitamin, dan mineral, menjadikan sawi sebagai bahan pangan yang banyak diminati oleh masyarakat. Selain itu, budidaya sawi dikenal relatif mudah dengan waktu panen yang singkat, sehingga menjadi pilihan utama bagi petani untuk meningkatkan pendapatan. Permintaan pasar yang stabil semakin

memperkuat posisi tanaman ini sebagai komoditas yang potensial di sektor pertanian (Nurhayati *et al.*, 2024).

Untuk mendukung pertumbuhan tanaman sawi secara optimal, lingkungan tumbuh yang kondusif sangatlah penting. Salah satu faktor utama adalah kelembapan tanah, yang harus dijaga dalam rentang ideal, yaitu 50–70%. Kelembapan yang optimal mendukung penyerapan nutrisi oleh akar dan menjaga metabolisme tanaman tetap stabil. Dengan pengelolaan yang baik, termasuk menjaga kelembapan tanah, budidaya sawi dapat memberikan hasil yang maksimal, baik dari segi kualitas maupun kuantitas panen (Pagala *et al.*, 2024).

### **2.3 Kelembaban Tanah**

Tanah adalah media tumbuh ideal bagi tanaman, memungkinkan pertumbuhan subur dan produktivitas yang tinggi. Kelembapan tanah memegang peranan penting dalam proses pelapukan mineral dan bahan organik, serta sebagai jalur transportasi unsur hara ke akar tanaman. Namun, kelembapan berlebih dapat menghambat pergerakan udara dalam tanah, membatasi ketersediaan oksigen bagi akar, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan atau kematian tanaman. Kelembapan tanah merujuk pada air yang mengisi pori-pori tanah, dan sifatnya sangat dinamis karena dipengaruhi oleh penguapan dan perkolasi. Tingkat kelembapan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan masalah, termasuk kesulitan dalam kegiatan pertanian (Marcos & Muzaki, 2022).

### **2.4 Suhu**

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang penting dalam memengaruhi pertumbuhan tanaman. Dalam konteks tanaman sawi (*Brassica juncea L.*), suhu berperan signifikan dalam mengatur proses fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, dan metabolisme. Suhu optimal untuk pertumbuhan tanaman sawi berkisar antara 22°C hingga 33°C, di mana aktivitas enzim dan efisiensi fotosintesis berada pada tingkat yang ideal (Andreano *et al.*, 2022).

Suhu yang terlalu tinggi (>33°C) dapat menyebabkan stres termal, yang berpotensi merusak jaringan tanaman, menghambat pertumbuhan, dan mengurangi

hasil panen. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah ( $<22^{\circ}\text{C}$ ) dapat memperlambat aktivitas metabolisme, menurunkan laju fotosintesis, dan mengakibatkan stagnasi pertumbuhan. Oleh karena itu, menjaga suhu dalam rentang optimal menjadi kunci keberhasilan budidaya tanaman sawi (Andreano *et al.*, 2022).

## 2.5 Pengolahan Data

Data merupakan segala fakta dan angka yang dapat dijadikan bahan untuk menyusun suatu informasi, sementara informasi adalah hasil pengolahan data yang telah diproses dan disusun sehingga dapat digunakan untuk suatu keperluan. Dengan demikian, data berfungsi sebagai bahan mentah yang perlu diolah untuk menghasilkan informasi yang lebih bermakna dan bermanfaat, yang selanjutnya dapat digunakan dalam pengambilan keputusan, analisis, atau berbagai kebutuhan lainnya (Fikri *et al.*, 2023).

## 2.6 Metode *Fuzzy Logic*

Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai pengembangan dari logika tegas atau logika klasik. Dalam logika klasik, nilai kebenaran hanya dapat berupa dua kemungkinan, yaitu benar atau salah, yang diwakili oleh angka 1 atau 0. Sebaliknya, dalam logika *Fuzzy*, nilai kebenaran dapat memiliki rentang antara 0 hingga 1, yang mencerminkan tingkat keanggotaannya dalam suatu himpunan *Fuzzy*. Hal ini memungkinkan representasi besaran menggunakan istilah linguistik seperti "banyak," "sedikit," "rendah," "tinggi," atau "menengah". Sistem pengambilan keputusan berbasis *Fuzzy* memberikan kesimpulan yang lebih mirip dengan cara berpikir manusia, yang tidak selalu tegas atau pasti, melainkan berdasarkan tingkat ketidakpastian dan interpretasi yang lebih fleksibel (Siregar *et al.*, 2022; Wahyuni, 2021).

Untuk menerapkan logika *Fuzzy* dalam suatu sistem, terdapat beberapa pendekatan yang sering digunakan, yaitu *Fuzzy Mamdani*, *Fuzzy Sugeno*, dan *Fuzzy Takagi-Sugeno-Kang* (TSK). Meskipun ketiganya didasarkan pada prinsip dasar yang serupa, mereka memiliki perbedaan dalam cara menarik kesimpulan dan mengolah hasil. Setiap metode memiliki kelebihan yang sesuai dengan jenis

aplikasi yang dibutuhkan. Di antara ketiga metode tersebut, *Fuzzy Mamdani* adalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, di bawah ini merupakan pembahasan lebih mendalam tentang *Fuzzy Mamdani*.

### 2.6.1 Metode *Fuzzy Logic Mamdani*

Logika *Fuzzy Mamdani* adalah salah satu metode yang terkenal karena fleksibilitas dan kemampuannya yang sangat baik dalam menangani data yang tidak pasti. Metode ini mudah dipahami dan diterima oleh manusia karena representasi *inputnya* yang sederhana. Dikenal juga dengan metode *min-max*, logika *Fuzzy Mamdani* pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 dan sejak saat itu banyak digunakan dalam penelitian sistem cerdas. Keunggulan dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menghadapi ketidakpastian dan kompleksitas data, membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi (Haque & Sriani, 2023).

Logika *Fuzzy Mamdani* berfungsi untuk memproses informasi yang tidak pasti dan membuat keputusan berdasarkan nilai antara 0 dan 1, yang memungkinkan untuk mencapai keputusan yang lebih akurat dan realistis dengan mempertimbangkan berbagai faktor dan kompromi antara pilihan yang ada. Sistem ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu fuzzifikasi dan defuzzifikasi. Dalam fuzzifikasi, variabel *input* diterjemahkan menjadi variabel *Fuzzy* yang memiliki nilai antara 0 dan 1. Proses defuzzifikasi kemudian mengubah variabel *Fuzzy* yang terbentuk pada tahap fuzzifikasi kembali menjadi nilai yang pasti (Haque & Sriani, 2023; Maryana et al., 2024).

Kerangka kerja logika *Fuzzy Mamdani* meliputi beberapa langkah utama: pertama, fuzzifikasi, di mana variabel *input* diubah menjadi himpunan *Fuzzy* dengan membandingkannya dengan beberapa nilai batas, yang menggambarkan kondisi variabel tersebut. Selanjutnya, penentuan aturan *Fuzzy* dilakukan untuk menentukan bagaimana variabel *Fuzzy* saling mempengaruhi satu sama lain dan bagaimana hasil akhir ditentukan. Kemudian, engine inferensi menggunakan aturan *Fuzzy* yang telah ditetapkan untuk mengambil keputusan. Terakhir, defuzzifikasi

mengubah keputusan dalam bentuk variabel *Fuzzy* menjadi nilai pasti (Haque & Sriani, 2023).

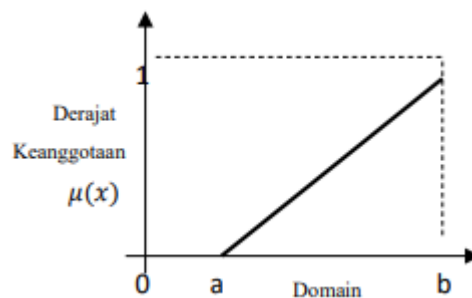
### 2.6.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan, atau *membership function*, adalah kurva yang memetakan titik-titik data *input* ke dalam nilai keanggotaannya, yang berkisar antara 0 hingga 1, terdapat beberapa jenis fungsi, termasuk :

#### 1. Representasi Kurva Linear

Pada representasi linear, pemetaan dari *input* ke derajat keanggotaannya diibaratkan sebagai garis lurus. Bentuk ini merupakan pilihan sederhana dan efektif untuk mendekati konsep yang mungkin kurang jelas.

Fungsi keanggotaan :

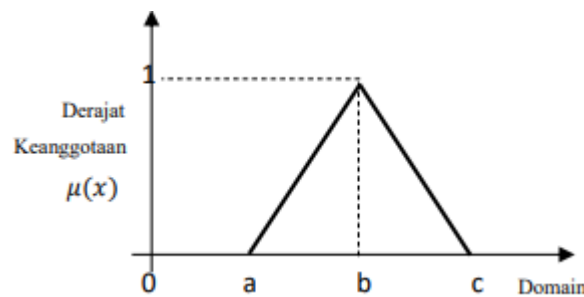


Gambar 2.1 Representasi Kurva Naik

Gambar 2.1 mempunyai rumus mencari nilai derajat keanggotaan representasi linear naik seperti di bawah ini:

$$\mu|x| = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

#### 2. Representasi Kurva Segitiga



Gambar 2.2 Representasi Kurva Segitiga

Gambar 2.2 mempunyai rumus mencari nilai derajat keanggotaan representasi linear segitiga seperti di bawah ini:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

Berikut adalah proses-proses penting dalam logika *Fuzzy* :

### 3. Variabel *Fuzzy*

Variabel *Fuzzy* merupakan elemen kunci dalam logika *Fuzzy*. Hal ini mencakup konsep himpunan *Fuzzy* dan fungsi keanggotaan. Himpunan *Fuzzy* juga merupakan kelompok elemen yang memiliki tingkat keanggotaan dalam himpunan tersebut, yang dapat berupa kontinu atau diskrit. Sebagai contoh, himpunan *Fuzzy* "Panas" dapat memiliki elemen-elemen seperti "Sangat Dingin," "Dingin," "Hangat," "Panas," dan seterusnya. Fungsi keanggotaan menghubungkan setiap elemen ke dalam himpunan *Fuzzy* dengan tingkat keanggotaannya, yang bisa berbentuk fungsi segitiga, trapesium, atau lainnya.

### 4. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah langkah awal dalam pemrosesan data dalam logika *Fuzzy*. Ini melibatkan konversi data *input* dari domain numerik ke dalam himpunan *Fuzzy* yang sesuai dengan variabel yang digunakan dalam sistem. Fungsi keanggotaan akan menentukan tingkat keanggotaan data *input* dalam himpunan *Fuzzy* yang sesuai. Proses ini memungkinkan data *input* yang bersifat eksak atau kuantitatif diubah menjadi data *Fuzzy* yang mencerminkan ketidakpastian dan kompleksitas.

### 5. Inferensi *Fuzzy*

Inferensi *Fuzzy* adalah inti dari logika *Fuzzy*. Ini melibatkan penggunaan aturan *Fuzzy* yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengambil keputusan atau menghasilkan output *Fuzzy* berdasarkan data *input* yang telah difuzzifikasi sebelumnya. Aturan *Fuzzy* ini biasanya dinyatakan dalam bentuk "aturan *IF-THEN*," di mana kondisi *input* dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan berdasarkan fungsi keanggotaan dan hubungan antara variabel *Fuzzy*.

#### 6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahap terakhir dalam proses logika *Fuzzy*. Pada tahap ini, himpunan *Fuzzy* hasil agregasi dikonversi kembali menjadi nilai numerik yang dapat digunakan dalam konteks pengambilan keputusan nyata. Ini sering melibatkan metode tertentu, seperti *centroid*, *mean of maximum*, atau lainnya, tergantung pada aplikasi dan kebutuhan pengambilan Keputusan. Rumus umum untuk defuzzifikasi metode *Fuzzy* Mamdani yaitu sebagai berikut :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$z$ : Nilai crisp (tegas) hasil defuzzifikasi.

$n$ : Jumlah aturan *Fuzzy* (rules) yang aktif atau digunakan

$r_i$ : Derajat kebenaran (firing strength) dari aturan ke- $i$ , yaitu seberapa besar aturan tersebut aktif berdasarkan input

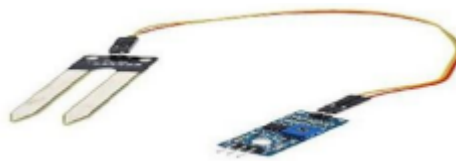
$z_i$ : Nilai output (konsekuen) dari aturan ke- $i$ , biasanya berupa nilai pusat (*centroid*) dari irisan area *Fuzzy* hasil inferensi

## 2.7 Sensor

Sensor adalah perangkat atau komponen yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur perubahan dalam lingkungan fisik dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh sistem. Adapun sensor yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

### 2.7.1 Sensor *Soil Moisture*

Sensor *Soil Moisture* adalah perangkat yang berfungsi mengukur kadar air dalam tanah di sekitarnya, menjadikannya alat yang ideal untuk memantau kelembaban tanah bagi tanaman. Sensor ini bekerja dengan menggunakan dua konduktor untuk mengalirkan arus listrik melalui tanah dan mengukur nilai resistansi sebagai indikator tingkat kelembaban. Semakin tinggi kandungan air di dalam tanah, semakin mudah tanah menghantarkan listrik (resistansi rendah). Sebaliknya, jika tanah kering, kemampuan hantaran listrik menurun (resistansi tinggi). Sensor ini membutuhkan daya sebesar 3.3 V atau 5 V dan menghasilkan tegangan keluaran antara 0 hingga 4.2 V (Harry *et al.*, 2020). Gambar 2.3 di bawah ini adalah sebuah gambar sensor kelembaban :



Gambar 2.3 Sensor *Soil Moisture*

Sumber : (Harry *et al.*, 2020)

### 2.7.2 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22

DHT22 adalah sensor suhu dan kelembapan digital berbiaya rendah dengan antarmuka digital kabel tunggal. Sensor ini menggunakan sensor kelembapan kapasitif dan termistor untuk mengukur udara di sekitarnya dan mengeluarkan sinyal digital pada pin data (tidak memerlukan pin *input* analog). Sensor dikalibrasi dan tidak memerlukan komponen tambahan sehingga dapat mengukur suhu dan kelembapan relatif dengan tepat. Cukup mudah digunakan tetapi memerlukan 14 pengaturan waktu yang cermat untuk mengambil data dan hanya dapat memperoleh data baru darinya sekali setiap 2 detik (Air, 2020). Komponen ini ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT-22



Sumber : (Air, 2020)

Adapun spesifikasi dari sensor tersebut adalah sebagai berikut :

- Tegangan *input* : 3,3 – 6 VDC
- Sistem komunikasi : Serial (*single – Wire Two way*)
- *Range* suhu : -40<sup>0</sup>C – 80<sup>0</sup>C
- *Range* kelembaban : 0% – 100% RH
- Akurasi :  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  (*temperature*)  $\pm 5\%$  RH (*humidity*)

### 2.7.3 Mikrokontroler ESP32

Dibandingkan dengan *mikrokontroler* seperti Arduino dan NodeMCU ESP8266, NodeMCU ESP32 menawarkan fitur yang lebih lengkap dan serbaguna. NodeMCU ESP32 memiliki jumlah pin *input-output* yang lebih banyak, memudahkan pengembangan sistem dengan kebutuhan pin tinggi. Dukungan konektivitas WiFi yang lebih cepat dan efisien, serta fitur *Bluetooth* hemat energi dengan dual mode, menghilangkan kebutuhan komponen tambahan, sehingga menghemat ruang dan biaya. NodeMCU ESP32 juga dilengkapi CPU *Tensilica Xtensa LX6* (*dual-core* atau *single-core*), *power amplifier*, RF balun, saklar inti, filter, modul manajemen daya, dan *amplifier* penerima rendah kebisingan, membuatnya unggul dalam performa. Berkat fitur-fitur ini, NodeMCU ESP32 menjadi pilihan ideal untuk aplikasi seperti perangkat elektronik, perangkat seluler, dan sistem *Internet of Things* (IoT) (Agustian Yulanda & Kurniawan, 2024). Komponen ini ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 NodeMCU ESP32

Sumber : (Agustian Yulanda & Kurniawan, 2024)

Adapun spesifikasi NodeMCU ESP32 yang terbaru adalah sebagai berikut :

- *Processor: Tensilica LX6 Dual Core*

- SRAM: 512KB
- *Memory*: 4 MB
- *Wireless standard*: 802,11 b/g/n
- *Frequency*: 2,4 GHz
- *Bluetooth*: Classic/LE
- *Data Interface*: UART/I2C/SPI/DAC/ADC
- *Operaing Voltage*: 3,3V(*operable via 5V -microUSB*)
- *Operating Temperature*: -40°C-125°C
- *Dimensions* ( W x D x H): 48×26×11,5 mm

#### 2.7.4 Relay Module

*Relay* adalah saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanis yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektromagnet (*coil*) dan mekanisme saklar (kontak saklar). Komponen ini bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik kecil (*low power*) digunakan untuk menggerakkan kontak saklar, memungkinkan penghantaran listrik dengan tegangan dan arus yang lebih tinggi. Sebagai contoh, *relay* dengan elektromagnet bertegangan 5V dan arus 50 mA dapat menggerakkan *relay*, yang berfungsi sebagai saklar, untuk menghantarkan listrik bertegangan 12V dengan arus 5A (Trisetiyanto, 2020). Komponen ini ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Relay Module

Sumber: (Trisetiyanto, 2020)

Adapun spesifikasi Relay Module adalah sebagai berikut :

- *Voltage supply ranges from 3.75V – 6V*
- *Quiescent current is 2mA*

- *Once the relay is active then the current is  $\sim 70\text{mA}$*
- *The highest contact voltage of a relay is  $250\text{VAC}/30\text{VDC}$*
- *The maximum current is  $10\text{A}$*

#### 2.7.5 Solenoid Water Valve

*Solenoid valve* adalah katup yang digerakkan oleh energi listrik menggunakan kumparan sebagai penggerakannya. Kumparan ini berfungsi untuk menggerakkan piston yang dialiri arus listrik AC atau DC sebagai sumber daya. Katup ini memiliki dua saluran utama, yaitu saluran masuk (*inlet port*) untuk mengalirkan cairan atau air, dan saluran keluar (*outlet port*) sebagai terminal keluarnya cairan. Dengan respon membuka dan menutup yang cepat, *solenoid valve* sangat cocok untuk sistem dengan kontrol otomatis. Komponen ini juga dikenal memiliki keandalan tinggi, daya tahan yang baik, serta nilai ekonomis. Selain itu, *solenoid valve* sering digunakan untuk menggerakkan *valve* udara bertekanan, yang pada gilirannya mengendalikan *valve* mekanis dalam berbagai aplikasi (Wahyudi & Rifki, 2022). Komponen ini ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Solenoid valve*

Sumber: (Wahyudi & Rifki, 2022)

Adapun spesifikasi *Solenoid Water Valve* adalah sebagai berikut :

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| • Bahan: Logam + plastik  | • Tekanan: $0,02\text{-}0,8\text{Mpa}$ |
| • Tegangan: DC 12V        | • Suhu cairan maks: $100\text{C}$      |
| • Daya: 8W                | • Mode operasi: biasanya tertutup      |
| • Saat ini: $0.6\text{A}$ |  |

### 2.7.6 LCD 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah komponen elektronika yang berfungsi menampilkan data seperti karakter, huruf, atau grafik, dengan konsumsi daya yang rendah, sehingga ideal untuk perangkat portabel seperti kalkulator, arloji digital, dan multimeter. Layar ini menggunakan kristal cair yang berubah warna ketika diberi tegangan, menghasilkan tampilan yang jelas dan mudah dibaca. Keunggulan utama LCD meliputi konsumsi arus rendah, ukuran yang pas, dan efisiensi daya, menjadikannya pilihan populer dalam berbagai aplikasi elektronik (Farizal *et al.*, 2021). Komponen ini ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 LCD 16x2

Sumber:(Farizal *et al.*, 2021)

Adapun spesifikasi dari LCD 16x2 adalah sebagai berikut :

- Terdiri dari 16 kolom dan 2 baris
- Mempunyai 192 karakter yang tersimpan
- Tegangan kerja 5V
- Arus operasi 1mA tanpa lampu latar
- Ukuran PCB modul adalah 80L x 36W x 10H mm
- Jumlah pin LCD – 16

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu panduan bagi penulis dalam melakukan penelitian serta dapat memberikan wawasan kepada penulis dalam hal mengevaluasi penelitian ini. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan untuk meneliti suatu Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Keran Cerdas Pada Budidaya Tanaman Sawi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani, yang akan di tampilkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul
1	(Oktarina & Dewi, 2022)	Implementasi <i>Fuzzy Logic</i> dalam Mengendalikan Input dan Output pada Penyiraman dan Pemupukan Tanaman Otomatis Berbasis IoT
<p><b>Hasil Penelitian:</b> bahwa penerapan sistem penyiraman dan pemupukan otomatis berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) dengan menggunakan metode logika <i>Fuzzy</i> dapat mempermudah proses pertanian, khususnya dalam mengatur kelembaban tanah dan pemupukan tanaman seperti cabai. Sistem ini otomatis mengontrol pompa penyiraman berdasarkan tingkat kelembaban tanah, sehingga tanaman tetap terjaga kesehatannya. Pengujian sistem menunjukkan akurasi yang tinggi dengan kesalahan hanya 0,3%, dan penelitian ini mengisi kekosongan penelitian sebelumnya yang belum menerapkan logika <i>Fuzzy</i> dalam kontrol sensor dan aktuator pada sistem IoT untuk pertanian. Sistem ini diharapkan dapat menggantikan metode konvensional dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia (Oktarina &amp; Dewi, 2022).</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Pada penelitian ini perbedaan jelas dalam konsep penyiraman yang dimana peneliti sebelumnya menggunakan konsep <i>greenhouse</i> sedangkan penulis menggunakan konsep ruang terbuka yang dimana sensor suhu berperan penting dalam penyiraman.</p>		
2	(Pagala <i>et al.</i> , 2024)	Implementasi <i>Fuzzy logic</i> untuk Pengaturan Kelembapan Tanah Pada Tanaman Sawi Berbasis <i>Internet of Things</i> (Iot)
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Sistem ini dirancang untuk mempertahankan tingkat kelembaban tanah yang optimal, yakni antara 50-70%, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman sawi. Penelitian dilakukan selama 7 hari, dengan pengukuran kelembaban tanah pada pukul 6:00 pagi dan 4:30 sore menggunakan sensor kelembaban tanah. Sistem ini mengotomatiskan proses penyiraman berdasarkan pengukuran tersebut,</p>		

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

<p>sehingga tanaman mendapatkan kelembaban yang tepat untuk pertumbuhannya. Integrasi logika <i>Fuzzy</i> meningkatkan akurasi pengaturan kelembaban.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Perbedaan penelitian ini adalah penelitian terdahulu berfokus menjaga kelembaban tanah menggunakan jadwal yang dimana di tentukan pagi dan sore hari saja sedangkan penelitian ini berfokus pada penyiraman ketika suhu dan kelembaban tanah siap untuk penyiraman.</p>		
3	(Hendrawati & Algifary, 2022)	Pengembangan Sistem Kontrol dan Monitoring pada Irigasi Tanaman Cabe Berbasis <i>Node Nirkabel</i> dan <i>Internet of Things</i> (IoT) menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic</i>
<p><b>Hasil Penelitian:</b> pengembangan sistem kontrol dan pemantauan irigasi untuk tanaman cabai menggunakan teknologi <i>Node Wireless</i> dan <i>Internet of Things</i> (IoT) dengan metode logika <i>Fuzzy</i>. Irigasi merupakan faktor penting dalam pertanian, namun banyak petani yang kesulitan dalam melakukan irigasi secara teratur dan tidak memiliki akses langsung ke lokasi tanaman. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem irigasi otomatis yang dilengkapi dengan antarmuka pemantauan berbasis IoT. Sistem ini memungkinkan petani untuk mengontrol dan memantau proses irigasi tanaman cabai dari jarak jauh, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Perbedaan dari penelitian terdahulu adalah penelitian terdahulu menentukan penyiraman hanya menggunakan sensor kelembaban tanah sedangkan penelitian ini memakai sensor suhu udara dan kelembaban tanah agar dalam penyiraman tidak terjadi pada suhu tinggi.</p>		

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

4	(Munawar <i>et al.</i> , 2022)	Simulasi Pengendalian Kondisi Lingkungan Greenhouse untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi ( <i>Brassica Juncea</i> L.) Berbasis Logika Fuzzy menggunakan <i>Visual Basic</i>
<p><b>Hasil Penelitian:</b> perangkat lunak yang mengendalikan kondisi lingkungan <i>greenhouse</i> untuk pertumbuhan tanaman sawi (<i>Brassica juncea</i> L.) dirancang menggunakan logika Fuzzy berhasil berfungsi dengan sangat baik. Sistem ini mampu mengontrol suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah secara otomatis, dengan pengaturan suhu optimal 35,5°C, kelembaban udara 84,5%, dan kelembaban tanah 49,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat lunak ini memiliki tingkat akurasi 100%, mampu mengatur sistem pendingin, sprayer, dan kelembaban tanah sesuai dengan kondisi yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman sawi.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Pada penelitian ini perbedaan jelas dalam konsep penyiraman yang dimana peneliti sebelumnya bertujuan untuk menjaga kelembaban <i>greenhouse</i> sedangkan pada penelitian ini penulis bertujuan menjaga kelembaban lahan terbuka.</p>		
5	(Wardhana <i>et al.</i> , 2023)	Mesin Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai dengan Modul Node mcuESP8266 Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)
<p><b>Hasil Penelitian:</b> penyiraman otomatis berbasis IoT yang dirancang untuk tanaman cabai berfungsi dengan baik dalam mengatur kelembaban tanah dan level air di reservoir. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah dan sensor ultrasonik untuk memantau kondisi tanah dan ketinggian air secara <i>real-time</i>, serta mengatur pompa otomatis berdasarkan pembacaan sensor. Alat ini juga dapat dipantau melalui LCD dan aplikasi Blynk, yang memberikan notifikasi jika air habis atau kondisi tanah tidak sesuai.</p>		

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

<p>Pengujian menunjukkan bahwa alat ini dapat bekerja sesuai dengan perintah, memudahkan proses penyiraman otomatis, dan efektif dalam menjaga kondisi tanaman.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Perbedaan penelitian ini dengan penelitian penulis adalah pada sensor yang di mana penulis menggunakan sensor suhu dan kelembaban tanah sedangkan penelitian ini menggunakan sensor kelembaban tanah dan ultrasonik.</p>		
6	(Pohan <i>et al.</i> , 2024)	Implementation of <i>Fuzzy Logic Sugeno</i> on a <i>Website-Based</i> for Flood Monitoring and Early Detection System
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode <i>Fuzzy Logic Sugeno</i> pada sistem pemantauan dan deteksi dini banjir berbasis web dapat efektif dalam mengurangi dampak negatif banjir di Indonesia, khususnya di Aceh. Sistem ini menggunakan ESP32 dan sensor yang akurat untuk memantau level dan aliran air secara <i>real-time</i>. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali potensi banjir secara otomatis dan mengambil tindakan preventif, seperti membuka atau menutup pintu air, serta memberikan informasi kondisi secara langsung melalui <i>website</i>. Penggunaan metode <i>Fuzzy Logic Sugeno</i> terbukti efektif dalam memproses data sensor yang kompleks menjadi keputusan yang sederhana dan menghasilkan kontrol otomatis yang tepat. Dengan pemantauan terus-menerus, sistem ini mampu memberikan informasi yang cepat dan akurat, memungkinkan tindakan preventif dilakukan lebih awal untuk mengurangi risiko banjir.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> penelitian terdahulu ini akan menjadi referensi penulis untuk membuat program yang dimana sama sama merancang melalui ESP32 untuk iot dan <i>output</i> ke <i>website</i></p>		



Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

7	(Fajri <i>et al.</i> , n.d.)	Penyiraman Tanaman Mawar Secara Otomatis Berdasarkan Kelembaban Menggunakan Metode <i>Fuzzy Tsukamoto</i>
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Sistem penyiraman otomatis berbasis <i>Fuzzy</i> berhasil mengatur durasi penyiraman tanaman mawar secara tepat berdasarkan kelembaban tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa saat kelembaban <math>&lt; 55\%</math>, durasi penyiraman lama; pada kelembaban <math>55\text{--}70\%</math>, durasinya sedang; dan <math>&gt; 70\%</math>, durasinya singkat. Sistem memberikan respons yang konsisten dan efisien, serta membantu mencegah kelebihan atau kekurangan air. Penggunaan logika <i>Fuzzy</i> terbukti efektif dalam pengambilan keputusan penyiraman secara otomatis.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> perbandingan yang terlihat jelas adalah objek yang dimana penulis menggunakan sawi sedangkan peneliti terdahulu menggunakan mawar serta sensor yang di gunakan peneliti terdahulu hanya menggunakan sensor kelembaban tanah.</p>		
8	(Habibie <i>et al.</i> , 2025)	Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis <i>Internet of Things</i> (Iot) Dengan <i>Soil Moisture</i> Pada Proses Pembibitan Cabai Merah Keriting Menggunakan Metode <i>Fuzzy Mamdani</i>
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Penelitian menghasilkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dan logika <i>Fuzzy Mamdani</i> yang mampu memantau suhu udara dan kelembapan tanah secara <i>real-time</i>. Sistem menggunakan ESP32, sensor DHT11, dan sensor kelembapan tanah untuk menentukan kebutuhan penyiraman. Dengan sembilan aturan <i>fuzzy</i>, sistem dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja efektif dan efisien dalam menyiram bibit cabai merah keriting sesuai kondisi lingkungan, sehingga membantu menjaga keseimbangan kadar air dan meningkatkan potensi pertumbuhan tanaman.</p>		

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

<p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu panduan dalam pengembangan penelitian sejenis karena memiliki kesamaan dalam penggunaan sensor sebagai dasar pengambilan data lingkungan. Namun, perbedaan yang menonjol terletak pada objek yang menjadi fokus penelitian. Penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada pengaturan kualitas air, sementara penelitian penulis berfokus pada sistem penyiraman otomatis (keran cerdas) yang mengandalkan parameter suhu udara dan kelembapan tanah untuk menentukan kebutuhan air tanaman secara lebih akurat.</p>		
9	(Saputri <i>et al.</i> , 2025)	Pemanfaatan <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani Pada Tanaman Vitis Vinivera Dengan Teknologi Internet Of Things
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Sistem penyiraman otomatis berbasis Wemos D1 R1 berhasil diimplementasikan untuk budidaya tanaman anggur dengan menggabungkan sensor suhu, kelembapan tanah, dan ultrasonik. Metode <i>Fuzzy logic</i> digunakan untuk menentukan durasi penyiraman berdasarkan kondisi tanah, sementara suhu dikontrol dengan logika ambang (<i>threshold</i>). Sensor ultrasonik berfungsi memantau ketersediaan air. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu menyiram secara otomatis dan efisien sesuai kondisi lingkungan, serta memberikan peringatan saat air menipis. Sistem ini terbukti efektif mengurangi intervensi manual dan meningkatkan efisiensi penyiraman.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Perbedaan paling mencolok antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada penggunaan sensor. Penelitian terdahulu hanya menggunakan satu jenis sensor, yaitu sensor suhu udara, dalam proses pengambilan keputusan penyiraman. Sementara itu, penelitian penulis menggabungkan dua parameter utama, yaitu suhu udara dan kelembapan tanah, sehingga sistem penyiraman menjadi lebih adaptif dan akurat dalam menyesuaikan kebutuhan air tanaman. Pendekatan ini memberikan hasil yang lebih optimal dalam efisiensi penyiraman dan pertumbuhan tanaman.</p>		

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

10	(Ula <i>et al.</i> , 2024)	Optimizing Water Condition In Tropical Brackish Water Aquaponics: A Novel <i>Internet of Things</i> And Machine Learning Approach
<p><b>Hasil Penelitian:</b> Penelitian ini menghasilkan sistem pengatur kualitas air berbasis IoT yang efektif untuk akuaponik air payau di iklim tropis Aceh. Sistem mengintegrasikan sensor pH, salinitas, dan oksigen terlarut dengan logika pengambilan keputusan berbasis <i>Random Forest</i> dan <i>Genetic Algorithm</i>. Data historis digunakan untuk melatih model prediksi kondisi air optimal, yang kemudian dikendalikan secara <i>real-time</i> melalui <i>mikrokontroler</i> Arduino dan aktuator otomatis. Hasil uji coba selama 40 hari menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan pH, salinitas, dan oksigen terlarut untuk mendukung pertumbuhan udang dan sayuran daun seperti selada, bayam, dan kale. Integrasi teknologi ini terbukti meningkatkan efisiensi akuaponik air payau dan memberikan solusi cerdas bagi pertanian pesisir di Aceh.</p> <p><b>Perbandingan Penelitian:</b> Perbedaan utama antara penelitian ini dan penelitian terdahulu terletak pada fokus pengembangan sistem. Penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada optimalisasi kualitas air, seperti pH, salinitas, dan oksigen terlarut untuk kebutuhan akuaponik. Sementara itu, penelitian penulis berfokus pada sistem penyiraman otomatis atau keran cerdas yang mengatur kebutuhan air tanaman berdasarkan kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan tanah. Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dalam aspek efisiensi irigasi pertanian berbasis IoT.</p>		

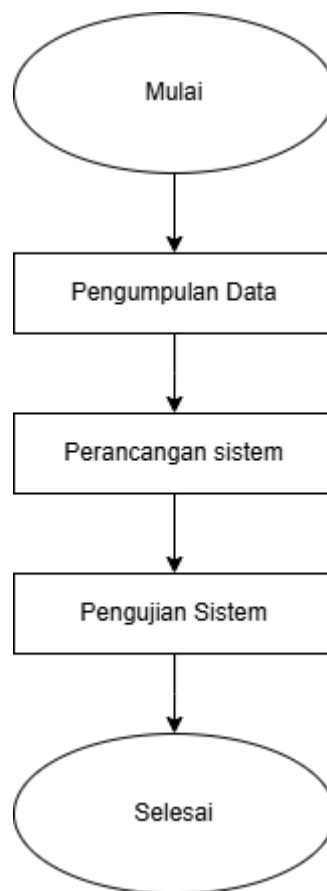
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan membangun *Prototype* sederhana yang dilakukan di tempat tinggal, Kota Lhokseumawe Prov. Aceh. Dengan menggunakan penelitian berbasis Prototype ini, dapat mempermudah penelitian yang dilakukan. Waktu pengambilan data yang akan dilakukan selama 12 Jam /hari.

#### 3.2. Skema Penelitian



Gambar 3.1 Skema Umum Penelitian

Gambar 3.1 merupakan Skema penelitian di atas memiliki tahapan utama meliputi pengumpulan data, perancangan sistem, pengujian sistem. Di bawah ini merupakan uraian dari tahapan yang ada.

#### 1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses sistematis untuk memperoleh informasi yang relevan dan akurat dari berbagai sumber guna mendukung penelitian. Dalam tahapan pengumpulan data memiliki tiga aktivitas yang dilakukan yaitu studi literatur, observasi, dan perbandingan penelitian yang sama.

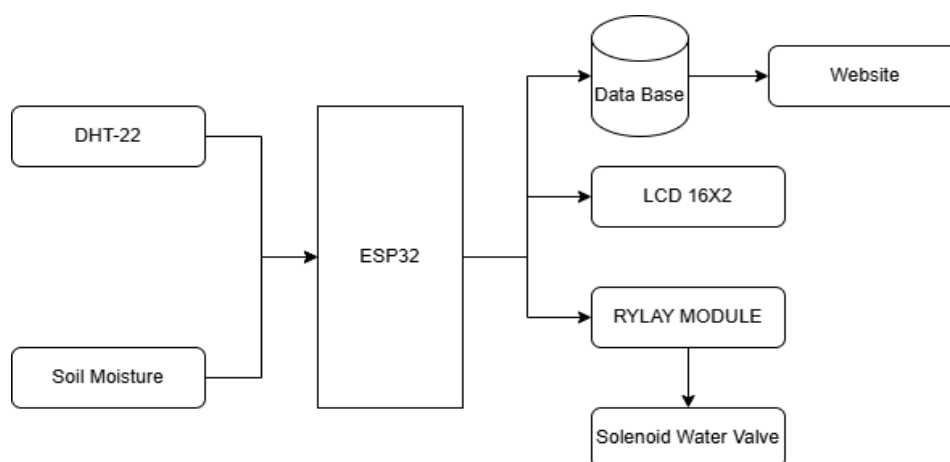
#### 2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem adalah proses merancang dan mengembangkan suatu sistem untuk memenuhi kebutuhan penelitian. Perancangan sistem menerapkan tiga hal dalam penelitian ini diantaranya adalah kebutuhan sistem, desain sistem, dan metode yang digunakan sistem.

#### 3. Pengujian Sistem

Pengujian sistem adalah proses mengevaluasi suatu sistem untuk memastikan bahwa semua komponen dan fungsinya bekerja sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan yang telah dirancang.

### 3.3. Perancangan Sistem



Gambar 3.2 Perancangan sistem

Gambar 3.2 merupakan perancangan sistem penyiraman tanaman sawi ini melibatkan penggunaan sensor DHT-22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor kelembaban tanah untuk memantau kadar air di tanah. Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh ESP32, yang berfungsi untuk mengontrol *solenoid water valve* agar tanaman disiram secara otomatis ketika kelembaban tanah terdeteksi rendah. Informasi mengenai suhu, dan kelembaban tanah ditampilkan pada LCD 16x2.

Sistem ini juga terhubung ke *database* MySQL melalui Wi-Fi, di mana data hasil pengukuran disimpan dalam tabel terstruktur. Pengguna dapat mengakses dan memantau kondisi tanaman secara *real-time* melalui antarmuka *website* yang terhubung dengan *database*, memungkinkan pengelolaan sistem penyiraman secara efisien dan berbasis data.

### 3.4. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem adalah proses untuk mengidentifikasi dan memahami berbagai kebutuhan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem atau proyek agar dapat berfungsi sesuai tujuan. Dalam konteks sistem penyiraman otomatis yang telah dijelaskan sebelumnya, analisis ini mencakup pemahaman mendalam terhadap kebutuhan teknis dan fungsional yang diperlukan agar sistem dapat berjalan secara efektif dan efisien. Berikut beberapa kebutuhan komponen yang dibutuhkan dalam perancangan penulis kali ini :

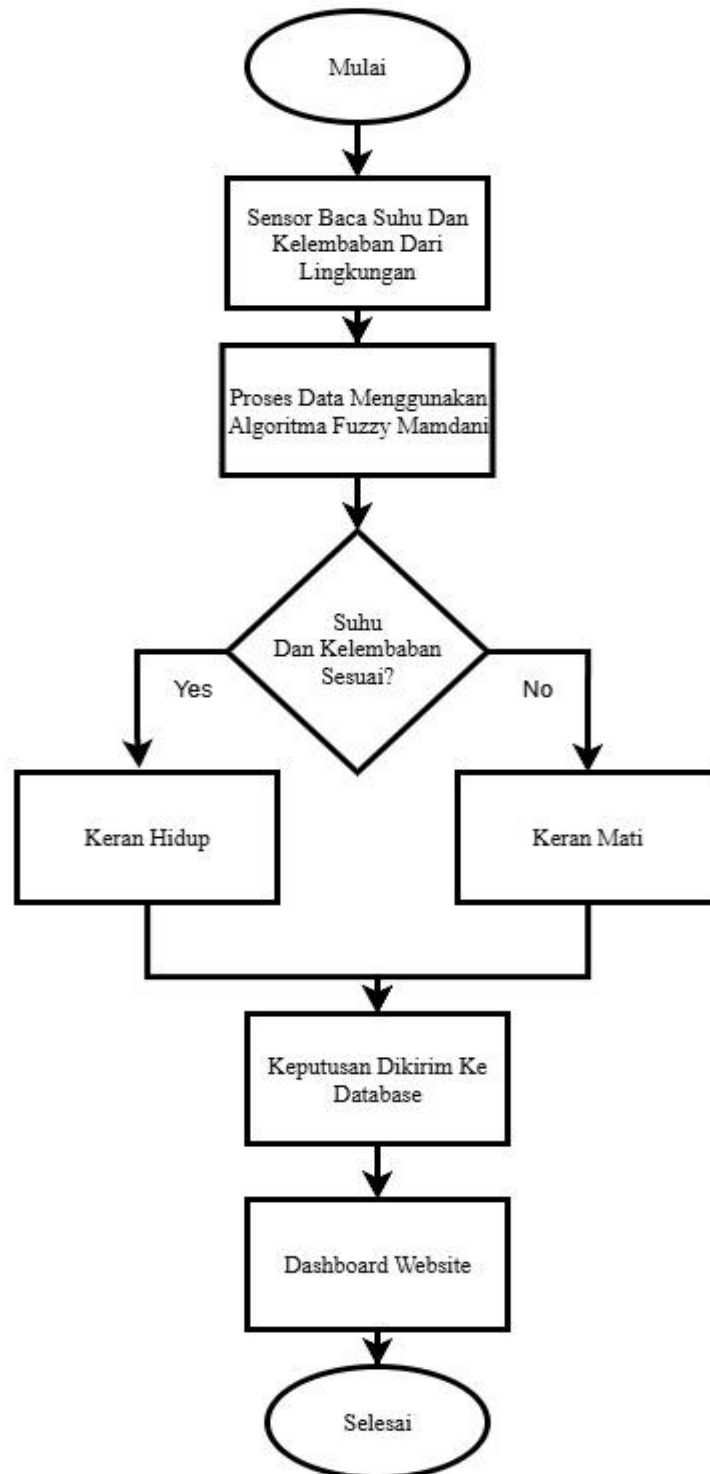
#### a) Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan untuk manajemen sistem meliputi sebuah laptop dan beberapa komponen lainnya. Di bawah ini merupakan komponen yang lainnya :

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| • ESP 32                      | • <i>Soil moisture sensore</i> |
| • Pompa air                   | • DHT-22                       |
| • <i>Solenoid water valve</i> | • LCD 16x2                     |
| • <i>Breadboard</i>           | <b>b) Perangkat Lunak</b>      |
| • Kabel <i>jumper</i>         | • Visual Studio Code           |
| • <i>Relay module</i>         | • Web <i>browser</i>           |

- Arduino IDE

### 3.5. Perancangan Sistem Penyiraman



Gambar 1.3 Skema Detail Penelitian

### 1. Sensor Membaca Suhu dan Kelembapan

Sensor DHT22 dan sensor kelembapan tanah melakukan pembacaan suhu udara dan kelembapan tanah secara *real-time*. Nilai-nilai ini kemudian dikirim ke *mikrokontroler* untuk diproses lebih lanjut..

### 2. Pemrosesan Data Menggunakan *Fuzzy Mamdani*

Data yang diterima dari sensor kemudian diproses oleh *mikrokontroler* ESP32 menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Sistem mengevaluasi kondisi suhu dan kelembapan berdasarkan aturan *Fuzzy* yang telah ditentukan.

### 3. Evaluasi Kondisi Lingkungan

Sistem memeriksa apakah suhu dan kelembapan berada dalam kondisi yang sesuai. Jika sesuai, maka tidak dilakukan penyiraman. Jika tidak sesuai, maka tetap tidak dilakukan penyiraman (keran mati), sesuai dengan logika *Fuzzy* yang diterapkan pada sistem ini.

### 4. Keputusan Dikirim ke *Database*

Hasil keputusan dari proses *Fuzzy* dikirimkan ke *server* melalui koneksi Wi-Fi dan disimpan dalam *database* MySQL sebagai rekaman aktivitas dan kondisi terkini.

### 5. Data Ditampilkan di *Dashboard Website*

Informasi yang telah disimpan di *database* akan ditampilkan pada *dashboard website* secara *real-time*. *Dashboard* ini memungkinkan pengguna untuk memantau status keran dan kondisi lingkungan dengan mudah.

#### 3.5.1 Pemrosesan Dengan Metode *Fuzzy*



Gambar 3.2 Diagram Proses *Fuzzy*

#### 1. *Input*

Tahap pertama dalam metode *Fuzzy* adalah pengumpulan data *input*, yang dalam hal ini berasal dari sensor. Sensor memiliki dua nilai *output*: pertama adalah nilai sensor itu sendiri, dan kedua adalah nilai kelembapan (*humidity*). Nilai



kelembapan dihitung dengan mengonversi data sensor dari rentang 0-1024 menjadi rentang 0-100. Selain itu, variabel lain yang diperlukan adalah durasi penyiraman, yang diambil dari hasil pengujian untuk menentukan waktu penyiraman yang efektif berdasarkan status kelembapan yang sangat kering, kering, netral, basah, dan sangat basah. Sebagai tambahan, sistem ini kini juga menggunakan sensor suhu udara DHT-22, yang memberikan informasi suhu udara untuk mendukung perhitungan kelembapan dan menentukan kebutuhan penyiraman yang lebih tepat.

## 2. Fuzzifikasi

Setelah data *input* dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah fuzzifikasi, yaitu mengubah data masukan yang tegas menjadi bentuk himpunan *Fuzzy*. Proses ini mengonversi variabel *input* menjadi tingkat keanggotaan dalam himpunan *Fuzzy*, yang menunjukkan sejauh mana nilai tersebut termasuk dalam kategori tertentu, sesuai dengan rumus yang digunakan dalam representasi sistem. Jika sistem menggunakan representasi linier naik, maka menggunakan rumus:

$$\mu|x| = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dan jika menggunakan representasi kurva segitiga maka menggunakan rumus :

$$\mu|x| = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (3.2)$$

## 3. Inferensi

Pada tahap ini, sistem memproses aturan *Fuzzy* berdasarkan basis pengetahuan yang telah ditentukan. Menggunakan aturan *IF-THEN*, sistem menilai suhu udara, dan kelembapan tanah dengan mengombinasikan kondisi dari berbagai sensor.

## 4. De fuzzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

z: Nilai crisp (tegas) hasil defuzzifikasi.

n: Jumlah aturan *Fuzzy* (rules) yang aktif atau digunakan

ri: Derajat kebenaran (firing strength) dari aturan ke-i, yaitu seberapa besar aturan tersebut aktif berdasarkan input

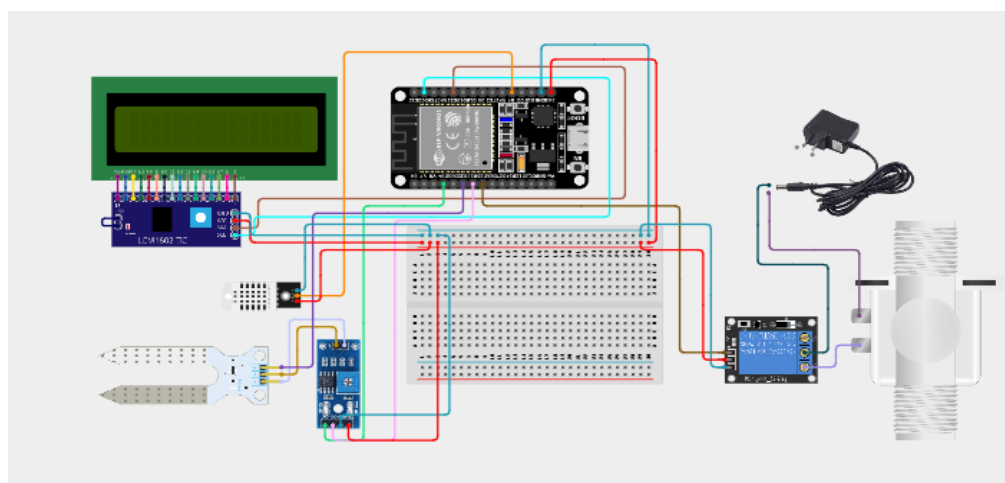
zi: Nilai output (konsekuen) dari aturan ke-i, biasanya berupa nilai pusat (*centroid*) dari irisan area *Fuzzy* hasil inferensi

Setelah pemrosesan logika *Fuzzy* dilakukan maka ketentuan pembukaan katup air otomatis akan ditentukan dengan berbagai kondisi tertentu, di bawah ini merupakan tabel 3.1 yang menjelaskan tentang ketentuan pembacaan katup air.

Tabel 3.1 Penentuan Kondisi Pembukaan Katup Air

No	Kelembaban Tanah	Suhu Udarah	Katup Air
1	Kering	Dingin	Buka
2	Kering	Normal	Buka
3	Kering	Panas	Tutup
4	Normal	Dingin	Buka
5	Normal	Normal	Buka
6	Normal	Panas	Tutup
7	Basah	Dingin	Tutup
8	Basah	Normal	Tutup
9	Basah	Panas	Tutup

### 3.6. Perancangan Skema Sirkuit Kontrol Sistem



Gambar 3.3 Skema Sirkuit Kontrol Sistem

Gambar 3.4 merupakan sistem kontrol yang direpresentasikan melalui skema sirkuit yang dirancang menggunakan *website Cirkuit Designer*. Komponen-komponen utama dalam skema ini meliputi breadboard sebagai konduktor listrik untuk menghubungkan komponen-komponen dengan kabel *jumper* atau *header pin male*, sehingga arus listrik dapat terdistribusi antar komponen. LCD digunakan sebagai monitor mini untuk menampilkan data yang diterima oleh *mikrokontroler* dari sensor. Baterai 12V digunakan sebagai representasi sumber listrik, yang digunakan untuk mengoperasikan katup air otomatis yang memerlukan aliran listrik. *Relay module* digunakan untuk mengendalikan kapan katup akan dibuka atau ditutup, dengan perintah yang diberikan oleh program dan diteruskan melalui *mikrokontroler*. Kabel dalam skema ini diidentifikasi dengan kabel merah sebagai *power*, kabel biru sebagai *ground*, dan kabel lainnya digunakan sebagai kabel data.

### 3.7. Pembangunan Sistem

Sistem ini akan dibangun sesuai perencanaan yang melibatkan berbagai komponen penting. Sensor *Soil Moisture* akan mengukur kelembapan tanah pada kedalaman sekitar 10 cm di area tanaman, sementara sensor DHT22 akan mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitarnya. Selain itu, pompa dan wadah air mini akan dipasang untuk menyediakan air yang dibutuhkan dalam penyiraman tanaman sawi.

ESP32 digunakan sebagai *mikrokontroler* utama yang akan mengontrol dan mengumpulkan data dari kedua sensor yang sudah di jelaskan. Data yang sudah di proses di kirim ke LCD dan *database* untuk menampilkan hasil proses yang telah dilakukan oleh sistem secara *real-time*. Keputusan pembukaan katup air dilakukan dengan metode *Fuzzy logic* mamdani agar memberikan penilaian yang lebih akurat berdasarkan data yang diperoleh dari kedua sensor. Metode *Fuzzy* memberikan output dalam perintah pembukaan katup air seperti buka dan tutup, perintah tersebut digunakan untuk memberitahu *user*.

Tahap terakhir akan dilakukan pemasangan selang selang penyiraman yang dikombinasikan dengan keran otomatis, sehingga penyiraman tanaman sawi menjadi

lebih efektif dan efisien dengan mempertimbangkan suhu lingkungan dan kelembaban tanah.

### 3.8. Pengujian Sistem

Pengujian penelitian ini akan dilakukan selama 12 jam per hari, mengacu pada waktu yang sering dimanfaatkan untuk menyiram pada petani, mulai dari pagi hingga sore hari. Pengujian ini berfokus pada tanaman sawi yang akan di tanam di dalam pot berukuran sedang, pengujian ini dilakukan di halaman rumah.

Sensor kelembaban tanah akan ditanam di dalam pot dan sensor suhu udarah akan diletakkan tidak jauh dari tanaman sawi agar dapat memantau kelembaban dan suhu di sekita tanaman sawi. Data yang diperoleh oleh kedua sensor tersebut akan di proses oleh ESP32 dengan menggunakan metode *Fuzzy logic* mamdani, sehingga hasil keputusan yang dihasilkan oleh sistem dapat mengontrol penyiraman yang sesuai. Namun ketika saat pengujian terjadi kesalahan atau *error*, sistem akan melakukan perbaikan sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan.

### 3.9. Implementasi Sistem Dan Pemeliharaan

Setelah melalui berbagai tahapan proses, mulai dari analisis kebutuhan sistem hingga pengujian dan perbaikan, sistem sekarang siap untuk diimplementasikan pada skala yang lebih besar, khususnya pada lahan pembudidayaan sawi. Pada tahap ini perangkat keras akan diletakkan di berbagai sudut lahan agar penyiraman menjadi rata dan terkendali. ESP32 diposisikan untuk menghubungkan sistem ke jaringan wifi di dekat lahan agar data yang didapat bisa dikirimkan ke *database*. Sebelum itu, mencari lokasi lahan pertanian yang mudah dalam mengakses air dan internet sangat penting. Ketersediaan sumber air menjadi kunci keberhasilan sistem ini, karena sistem ini mengandalkan air tersebut untuk penyiraman tanaman sawi. Pada saat pengimplementasian skala besar, sistem membutuhkan pompa otomatis untuk memenuhi perintah dari sistem, karena pompa air akan beroperasi saat sistem membutuhkan air untuk penyiraman.

Katup air, yang berfungsi sebagai keran otomatis, akan dioperasikan melalui sistem kontrol yang telah dirancang, memungkinkan aliran air dikendalikan secara

efisien. Dengan sistem ini, setiap lahan dapat menerima aliran air yang tepat sesuai kebutuhan, memastikan distribusi air yang merata dan hemat. Kombinasi antara pompa otomatis dan katup air akan memastikan sistem penyiraman berjalan dengan lancar dan sesuai dengan peraturan yang ditetapkan oleh sistem kontrol.

Namun, mengimplementasikan sistem pada skala besar memerlukan perencanaan yang matang terkait perawatan perangkat keras maupun pemeliharaan sistem. Pemantauan secara berkala, penggantian komponen yang sudah usang, dan perbaikan sistem yang mungkin mengalami gangguan akan menjadi bagian penting untuk menjaga kinerja sistem agar tetap efisien dan dapat diandalkan dalam jangka panjang.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sebuah produk perangkat keras dan lunak berupa sistem keran cerdas otomatis untuk budidaya tanaman sawi, yang terintegrasi dengan *dashboard* monitoring berbasis web dan aplikasi *webview*. Sistem ini dirancang sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses penyiraman, khususnya pada sektor pertanian sayuran, dengan studi kasus pada budidaya sawi.

Implementasi sistem ini menghasilkan beberapa fungsionalitas utama sebagai berikut:

1. Keran Otomatis Berbasis Sensor Suhu dan Kelembaban Tanah dengan Logika *Fuzzy*:

Sistem menggunakan sensor suhu udara (DHT22) dan sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kondisi lingkungan tanaman secara *real-time*. Data dari kedua sensor ini kemudian diproses menggunakan metode logika *Fuzzy* Mamdani untuk menentukan keputusan penyiraman secara otomatis. Penyiraman hanya akan dilakukan ketika kondisi suhu dan kelembaban memenuhi kriteria tertentu yang telah ditentukan berdasarkan aturan *Fuzzy*.

2. Integrasi *Dashboard* Web dan *Webview*:

Sistem dilengkapi dengan *dashboard* berbasis web yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dan *database* MySQL. *Dashboard* ini menampilkan data penyiraman secara *real-time* dalam bentuk tabel dan grafik, mencakup parameter suhu, kelembaban tanah, waktu, dan status penyiraman (*ON/OFF*). Tampilan ini juga dapat diakses melalui aplikasi mobile menggunakan fitur *webview*.

3. Pemantauan dan Pencatatan Data Penyiraman *Real-time*:

Data dari perangkat keran cerdas dikirim secara otomatis ke *server* menggunakan metode HTTP (*GET*) melalui koneksi Wi-Fi. Hal ini memungkinkan

pengguna untuk memantau seluruh aktivitas penyiraman secara jarak jauh dan *real-time*, sekaligus menyimpan riwayat penyiraman untuk keperluan evaluasi.

#### 4. Efisiensi Penggunaan Air dan Tenaga:

Dengan penyiraman berbasis kebutuhan aktual tanaman, sistem ini mampu mengurangi pemborosan air dan meminimalkan ketergantungan terhadap penyiraman manual, sehingga mendukung budidaya tanaman yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi nyata dalam mengotomatisasi proses penyiraman berbasis data lingkungan, serta memberikan nilai tambah dalam penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk sektor pertanian cerdas.

#### 4.1.1 Analisis Sistem

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem keran cerdas yang menggunakan sensor suhu dan kelembaban tanah untuk mengotomatisasi proses penyiraman tanaman sawi. Data sensor dikumpulkan secara *real-time* melalui *mikrokontroler* ESP32 dan dikirim ke *server* menggunakan koneksi nirkabel. Informasi tersebut mencakup nilai suhu udara, tingkat kelembaban tanah, serta status penyiraman yang selanjutnya ditampilkan dalam antarmuka web dan *webview* berbasis mobile.

Keputusan untuk membuka atau menutup keran dikendalikan oleh logika *Fuzzy Mamdani* yang memproses nilai suhu dan kelembaban secara adaptif. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, sekaligus memungkinkan pemantauan jarak jauh secara responsif dan berbasis data. Dengan pendekatan ini, keran cerdas tidak hanya mendukung praktik pertanian modern, tetapi juga menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya air.

#### 4.1.2 Analisis Masalah

Permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah rendahnya efisiensi dan ketepatan sistem penyiraman tanaman secara manual, yang tidak mempertimbangkan kondisi lingkungan secara *real-time* dan tidak mendukung pemantauan jarak jauh. Dalam konteks pertanian modern, sistem semacam ini

sudah tidak lagi relevan karena menghambat produktivitas, efisiensi air, dan pengambilan keputusan berbasis data. Berdasarkan analisis mendalam, terdapat empat permasalahan utama yang diidentifikasi sebagai berikut:

1. Ketidaktepatan Waktu dan Volume Penyiraman

Penyiraman tanaman yang dilakukan secara manual sering kali tidak berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban tanah yang sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan penyiraman dilakukan saat tanah masih lembab atau terlambat ketika tanaman telah mengalami kekeringan. Sistem keran cerdas dirancang untuk membaca data sensor setiap 5 menit, dan akan menyalakan keran selama 1 menit apabila kondisi lingkungan memenuhi syarat penyiraman. Mekanisme ini memungkinkan penggunaan air yang lebih efisien dan penyiraman yang lebih tepat sasaran.

2. Tidak Adanya Pemantauan dan Kontrol Jarak Jauh

Pada sistem konvensional, pengguna harus hadir secara langsung di lokasi untuk mengecek kondisi tanaman dan mengatur penyiraman. Hal ini menyulitkan pengguna, terutama jika memiliki lahan yang luas atau berada jauh dari lokasi. Dengan konektivitas WiFi, alat ini mampu mengirimkan data sensor ke *server* dan menampilkannya secara *real-time* melalui *website*, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem dari mana saja dan kapan saja.

3. Sistem Tidak Adaptif terhadap Perubahan Lingkungan

Sistem penyiraman manual tidak memiliki fleksibilitas untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan, seperti perubahan cuaca, jenis tanaman, atau jenis tanah. Dalam sistem keran cerdas ini, pengguna dapat mengatur ambang batas suhu dan kelembaban secara langsung melalui *website* sesuai kebutuhan masing-masing lokasi. Fitur ini menjadikan alat siap digunakan di berbagai lingkungan tanpa harus melakukan konfigurasi ulang secara langsung di perangkat.

4. Tidak Tersedianya Dokumentasi dan Riwayat Penyiraman

Sistem manual tidak mencatat data historis terkait suhu, kelembaban, maupun aktivitas penyiraman. Akibatnya, pengguna tidak dapat melakukan evaluasi atau analisis terhadap pola penyiraman dan kondisi lingkungan secara berkala. Sistem keran cerdas ini menyimpan data sensor dan status pompa ke dalam basis data yang



dapat diakses melalui *dashboard* web. Fitur ini memungkinkan pengguna melakukan evaluasi kinerja sistem dan pengambilan keputusan berbasis data historis.

Dengan mengidentifikasi keempat permasalahan tersebut, maka pengembangan sistem keran cerdas berbasis IoT dan logika *Fuzzy* menjadi solusi yang tepat untuk menciptakan sistem penyiraman yang otomatis, efisien, adaptif, dan dapat dikendalikan dari jarak jauh.

#### 4.1.3 Analisis Data

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan solusi penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk mendukung budidaya tanaman sawi secara efisien dan berbasis data. Sistem terdiri dari dua komponen utama: perangkat keran cerdas yang dilengkapi sensor suhu dan kelembaban tanah, serta *dashboard* web yang berfungsi sebagai pusat pemantauan dan pengaturan.

Perangkat membaca data lingkungan setiap lima menit, lalu mengirimkannya secara *real-time* ke *server* melalui koneksi WiFi. Jika nilai suhu dan kelembaban memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, keran akan menyala secara otomatis selama satu menit untuk melakukan penyiraman. Mekanisme ini memastikan tanaman sawi hanya disiram saat dibutuhkan, sehingga penggunaan air menjadi lebih hemat dan pertumbuhan tanaman tetap optimal.

Pengguna dapat mengakses *dashboard* dari mana saja untuk memantau kondisi lingkungan, status penyiraman, serta mengatur ulang batas suhu dan kelembaban sesuai dengan kebutuhan lahan. Seluruh data tersimpan di basis data dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel, memungkinkan evaluasi dan pengambilan keputusan yang lebih terarah.

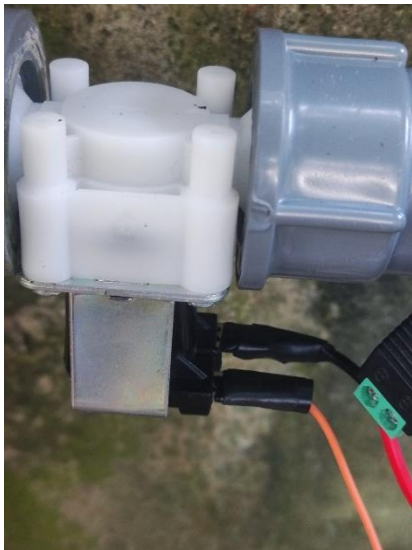
Dengan pendekatan ini, sistem memberikan solusi terhadap penyiraman manual yang kurang akurat, serta menghadirkan otomasi yang adaptif, efisien, dan mendukung pertanian modern berbasis data.

#### 4.1.4 Konsep Perancangan Sistem

Perancangan sistem keran cerdas ini berangkat dari kebutuhan akan solusi penyiraman tanaman sawi yang lebih efisien, otomatis, dan dapat diakses dari jarak jauh. Sistem ini memanfaatkan sensor suhu dan kelembaban tanah sebagai input utama, dengan data yang ditampilkan secara langsung melalui LCD serta antarmuka *website* dan *webview*. Konsep dirancang melalui tahapan studi literatur, perumusan tujuan, dan analisis kebutuhan pengguna, sehingga menghasilkan sistem yang adaptif terhadap kondisi lingkungan serta mudah digunakan oleh para pembudidaya.

##### 1. Tampilan Alat keran cerdas

Tampilan keran Cerdas merupakan tampilan alat yang beroperasi pada penyiraman tanaman sawi seperti gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.1 Keran Otomatis



Gambar 4.2 Sensor dan LCD

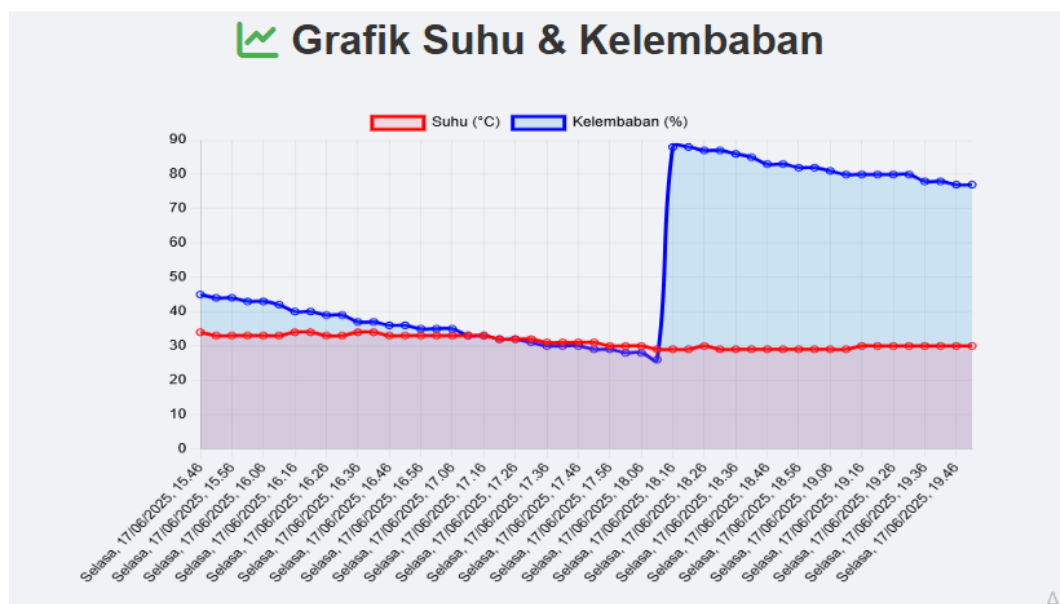
Berdasarkan gambar di atas, tampak bahwa keran, sensor, dan LCD telah terintegrasi secara harmonis dalam satu sistem. Pada Gambar 4.1, keran air terhubung langsung ke pipa yang terkoneksi dengan pompa berkapasitas besar. Desain ini dirancang agar sistem keran cerdas dapat langsung diterapkan pada lahan pertanian berskala luas. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem mampu beroperasi dengan sangat baik.

Sementara itu, Gambar 4.2 menunjukkan bahwa sensor dan LCD berfungsi secara optimal, memungkinkan proses penyiraman berjalan otomatis dan tepat waktu. Dari sisi kelistrikan, sistem ini menggunakan dua sumber daya: *mikrokontroler* ESP32 memperoleh tegangan 5V dari adaptor atau charger HP, sedangkan keran elektrik yang dikendalikan melalui modul relay mendapat suplai 12V. Kombinasi ini menjadikan sistem stabil dan dapat beroperasi secara terus-menerus.

## 2. Tampilan *Website*

*Website* berfungsi sebagai tampilan *output* dari proses kerja sistem keran cerdas. Di dalamnya terdapat beberapa komponen utama, antara lain:

- Bagian Grafik




Gambar 4.3 Grafik

Grafik pada gambar 4.3 di atas berfungsi sebagai visualisasi data sensor suhu udara dan kelembaban tanah, baik secara *real-time* maupun historis. Sumbu X menampilkan waktu, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai suhu dan kelembaban. Garis merah merepresentasikan suhu, dan garis biru menunjukkan kelembaban tanah, sehingga memudahkan pengguna membedakan keduanya. Melalui grafik ini, pengguna dapat memantau dinamika kondisi lingkungan serta mengevaluasi kinerja

sistem keran cerdas, apakah penyiraman berlangsung tepat saat tanah kering dan suhu berada dalam batas normal. Grafik ini menjadi elemen penting untuk memastikan efektivitas sistem penyiraman otomatis.

- Bagian Riwayat Penyiraman

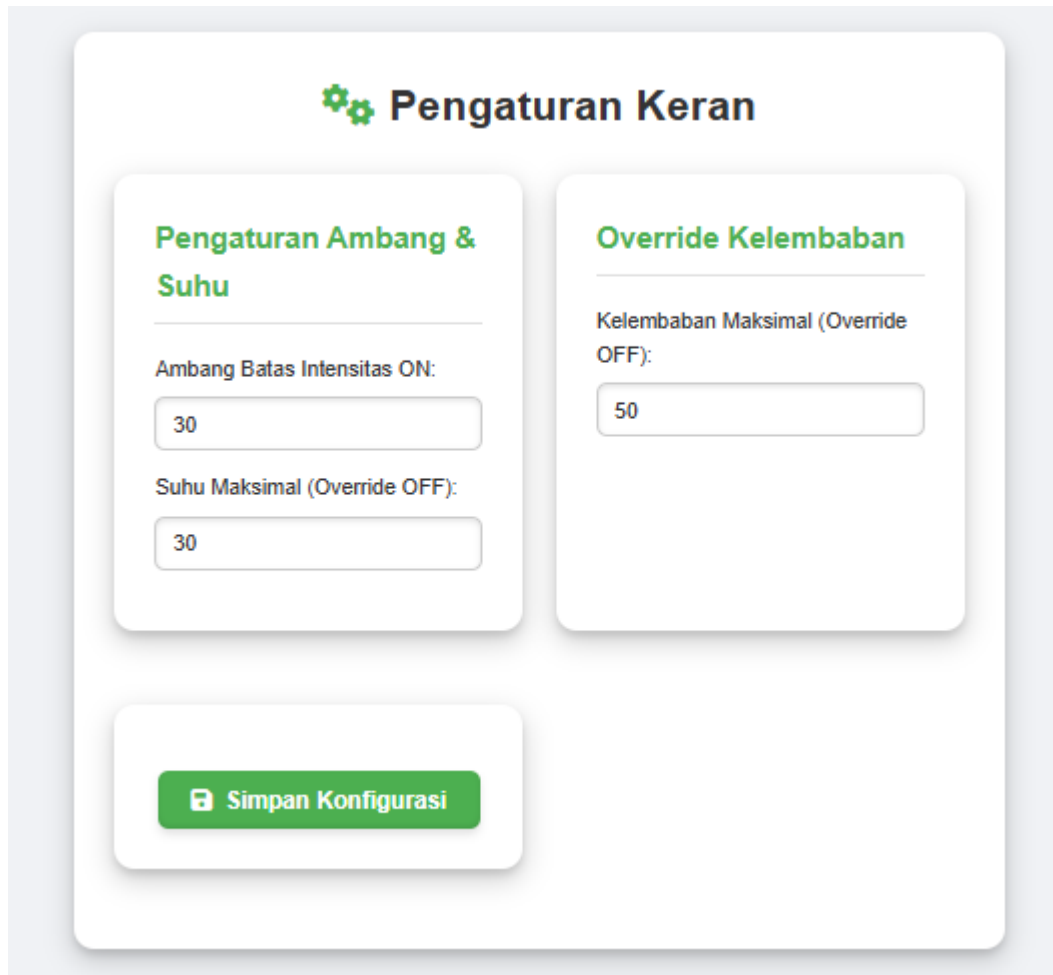
 **Riwayat Penyiraman (50 data di halaman 1)**

WAKTU	SUHU (°C)	KELEMBABAN (%)	STATUS POMPA
Tuesday, 17-06-2025 19:51	30	77	OF
Tuesday, 17-06-2025 19:46	30	77	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:41	30	78	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:36	30	78	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:31	30	80	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:26	30	80	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:21	30	80	OFF
Tuesday, 17-06-2025 19:16	30	80	OFF

Gambar 4.4 Riwayat Penyiraman

Bagian gambar 4.4 menyajikan data lengkap hasil pembacaan sensor, meliputi suhu udara, kelembaban tanah, dan status penyiraman. Setiap halaman menampilkan 50 entri terbaru yang tercatat secara berkala, dan data akan terus bertambah seiring berjalannya sistem. Tabel ini secara otomatis terbagi ke dalam beberapa halaman berdasarkan jumlah data yang tersimpan, sehingga memudahkan navigasi. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menelusuri riwayat penyiraman dan kondisi lingkungan secara rinci, sistematis, dan informatif.

- Bagian Pengaturan Keran



**Pengaturan Keran**

**Pengaturan Ambang & Suhu**

Ambang Batas Intensitas ON:

30

Suhu Maksimal (Override OFF):

30

**Override Kelembaban**

Kelembaban Maksimal (Override OFF):

50

**Simpan Konfigurasi**

Gambar 4.5 Pengaturan Keran

Gambar 4.5 menampilkan fitur pengaturan ambang batas logika *Fuzzy* yang dapat diubah secara manual melalui formulir konfigurasi. Di dalamnya, pengguna dapat mengatur nilai *Fuzzy threshold* (ambang minimal penyiraman), suhu maksimal (override suhu), dan kelembaban maksimal (*override* kelembaban) sebagai syarat nonaktifnya penyiraman. Konfigurasi yang dikirimkan akan disimpan ke *database* dan diterapkan langsung oleh sistem secara dinamis.

### 3. Tampilan *Webview*

Tampilan *Webview* menyajikan antarmuka *website* sistem keran cerdas secara langsung dalam satu jendela terintegrasi di dalam aplikasi atau perangkat. Melalui fitur ini, pengguna dapat memantau grafik sensor, data tabel, dan mengakses

pengaturan sistem secara *real-time* tanpa perlu membuka *browser* eksternal. Hal ini memberikan kemudahan, efisiensi, dan pengalaman interaktif dalam mengawasi serta mengelola sistem penyiraman otomatis secara menyeluruh.

Di bawah ini merupakan tampilan *webview* logo pada gambar 4.6:



Gambar 4.6 Logo

Bagian logo berfungsi sebagai identitas visual dari sistem keran cerdas yang ditampilkan di bagian atas halaman *Webview*. Logo ini membantu pengguna mengenali sistem secara langsung saat mengakses tampilan *Webview*, sekaligus memberikan kesan profesional dan konsisten terhadap desain antarmuka. Selain sebagai elemen estetika, logo juga memperkuat branding sistem dan meningkatkan pengalaman pengguna dalam memantau sistem penyiraman otomatis melalui *Webview*.

Setelah itu, *Webview* menampilkan seluruh isi dari halaman *website* utama secara utuh dan interaktif. Di dalamnya terdapat grafik pemantauan suhu dan kelembaban tanah secara *real-time*, tabel data historis penyiraman, serta menu pengaturan keran berbasis logika *Fuzzy*. Semua fitur ini dapat diakses langsung dalam satu jendela tanpa perlu membuka *browser* eksternal, sehingga memberikan kemudahan dalam memantau dan mengelola sistem penyiraman otomatis secara

efisien dan terpadu. Berikut tampilan dalam *webview* pada gambar 4.7 dan 4.8 di bawah ini:



Gambar 4.7 *Webview* Grafik

Tuesday, 17-06-2025 16:26	33	39	OFF
Tuesday, 17-06-2025 16:21	34	40	OFF
Tuesday, 17-06-2025 16:16	34	40	OFF
Tuesday, 17-06-2025 16:11	33	42	OFF
Tuesday, 17-06-2025 16:06	33	43	OFF
Tuesday, 17-06-2025 16:01	33	43	OFF
Tuesday, 17-06-2025 15:56	33	44	OFF
Tuesday, 17-06-2025 15:51	33	44	OFF
Tuesday, 17-06-2025 15:46	34	45	OFF

**Pengaturan Keran**

**Pengaturan Ambang & Suhu**

Ambang Batas Intensitas ON: 30

Suhu Maksimal (Override OFF): 30

**Override Kelembaban**

Kelembaban Maksimal (Override OFF): 50

**Simpan Konfigurasi**

Gambar 4.8 *Webview* Pengaturan

#### 4.1.5 Implementasi Sensor Menggunakan Arduino IDE

Tahap pertama dimulai dengan pembuatan program yang menghubungkan *mikrokontroler* ESP32 ke jaringan Wi-Fi. Program ini berfungsi untuk menghubungkan sistem keran cerdas ke jaringan internet, sehingga memungkinkan pengiriman data sensor dan komunikasi dua arah antara perangkat dan *server*. Langkah berikutnya adalah merancang program untuk membaca data dari sensor suhu dan sensor kelembaban tanah yang terhubung ke ESP32. Data ini digunakan sebagai input utama dalam proses logika *Fuzzy* untuk menentukan intensitas penyiraman secara otomatis. Tahap terakhir adalah menampilkan data suhu,

kelembaban, dan status penyiraman ke dalam layar LCD dan *website*. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dan kinerja sistem penyiraman secara *real-time* dan efisien.

#### 4.1.6 Implementasi Logika *Fuzzy*

Pada tahap implementasi logika *Fuzzy*, sistem menggunakan metode Mamdani untuk menentukan status penyiraman otomatis berdasarkan dua parameter utama, yaitu suhu udara dan kelembaban tanah. Masing-masing parameter diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan keanggotaan *Fuzzy*: Rendah, Normal, dan Tinggi untuk suhu, serta Kering, Lembab, dan Basah untuk kelembaban tanah, berdasarkan batasan yang telah ditentukan sesuai kebutuhan tanaman. Proses dimulai dengan fuzzifikasi, yaitu mengubah data sensor menjadi derajat keanggotaan. Selanjutnya, sistem melakukan inferensi menggunakan aturan-aturan *Fuzzy* Mamdani yang telah dirancang untuk menentukan tingkat intensitas penyiraman. Hasilnya kemudian diproses melalui defuzzifikasi menggunakan metode *centroid* untuk menghasilkan output numerik berupa tingkat penyiraman. Nilai ini digunakan untuk mengontrol status katup air secara otomatis. Informasi suhu, kelembaban, dan status penyiraman ditampilkan melalui LCD dan dikirim ke *server* melalui modul ESP32, sehingga sistem dapat beroperasi secara *real-time* dan efisien.

#### 4.1.7 Data Uji Sistem

Berikut adalah tabel data uji sistem yang diambil selama 12 jam kerja, mulai dari pukul 07.00 hingga 19.00, pada area penanaman tanaman sawi yang terletak di depan kos. Meskipun jumlah data cukup untuk pengamatan awal, durasi pengujian yang terbatas dalam satu hari belum sepenuhnya mencerminkan variabilitas kondisi lingkungan harian atau mingguan. Oleh karena itu, hasil pengamatan terhadap respon sistem penyiraman otomatis ini masih bersifat awal dan perlu dilakukan pengujian lanjutan dalam durasi yang lebih panjang untuk memperoleh gambaran performa sistem yang lebih menyeluruh dan representatif terhadap kondisi nyata di lapangan, seperti yang di jelaskan pada tabel 4.1 berikut.



Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
1	27	40	80	ON	17/06/2025 07:01:40
2	27	90	10	OFF	17/06/2025 07:06:40
3	27	90	10	OFF	17/06/2025 07:11:40
4	27	90	10	OFF	17/06/2025 07:16:40
5	27	90	10	OFF	17/06/2025 07:21:40
6	27	88	10	OFF	17/06/2025 07:26:40
7	27	88	10	OFF	17/06/2025 07:31:40
8	27	87	10	OFF	17/06/2025 07:36:40
9	27	87	10	OFF	17/06/2025 07:41:40
10	27	87	10	OFF	17/06/2025 07:46:40
11	27	85	10	OFF	17/06/2025 07:51:40
12	27	84	10	OFF	17/06/2025 07:56:40
13	27	84	10	OFF	17/06/2025 08:01:40
14	27	84	10	OFF	17/06/2025 08:06:40
15	27	82	10	OFF	17/06/2025 08:11:40
16	27	82	10	OFF	17/06/2025 08:16:40
17	27	80	10	OFF	17/06/2025 08:21:40
18	27	80	7	OFF	17/06/2025 08:26:40
19	27	80	10	OFF	17/06/2025 08:31:40
20	27	79	10	OFF	17/06/2025 08:36:40
21	27	77	10	OFF	17/06/2025 08:41:40
22	27	77	10	OFF	17/06/2025 08:46:40
23	28	76	10	OFF	17/06/2025 08:51:40
24	28	76	10	OFF	17/06/2025 08:56:40
25	28	75	10	OFF	17/06/2025 09:01:40
26	28	75	13	OFF	17/06/2025 09:06:40

Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem (Lanjutan)

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
27	28	75	13	OFF	17/06/2025 09:11:40
28	28	74	14	OFF	17/06/2025 09:16:40
29	28	74	14	OFF	17/06/2025 09:21:40
30	28	74	14	OFF	17/06/2025 09:26:40
31	28	74	14	OFF	17/06/2025 09:31:40
32	28	72	16	OFF	17/06/2025 09:36:40
33	28	72	16	OFF	17/06/2025 09:41:40
34	28	72	16	OFF	17/06/2025 09:46:40
35	28	72	16	OFF	17/06/2025 09:51:40
36	28	70	18	OFF	17/06/2025 09:56:40
37	28	70	18	OFF	17/06/2025 10:01:40
38	28	70	18	OFF	17/06/2025 10:06:40
39	28	70	18	OFF	17/06/2025 10:11:40
40	28	68	19	OFF	17/06/2025 10:16:40
41	28	68	19	OFF	17/06/2025 10:21:40
42	28	68	19	OFF	17/06/2025 10:26:40
43	28	66	20	OFF	17/06/2025 10:31:40
44	28	66	20	OFF	17/06/2025 10:36:40
45	28	66	20	OFF	17/06/2025 10:41:40
46	28	65	20	OFF	17/06/2025 10:46:40
47	28	65	20	OFF	17/06/2025 10:51:40
48	28	65	20	OFF	17/06/2025 10:56:40
49	28	63	21	OFF	17/06/2025 11:01:40
50	28	61	22	OFF	17/06/2025 11:06:40
51	28	60	23	OFF	17/06/2025 11:11:40
52	28	60	23	OFF	17/06/2025 11:16:40

Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem (Lanjutan)

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
53	28	60	23	OFF	17/06/2025 11:21:40
54	28	58	24	OFF	17/06/2025 11:26:40
55	28	55	25	OFF	17/06/2025 11:31:40
56	28	55	25	OFF	17/06/2025 11:36:40
57	28	54	25	OFF	17/06/2025 11:41:40
58	29	53	25	OFF	17/06/2025 11:46:40
59	29	51	26	OFF	17/06/2025 11:51:40
60	29	51	26	OFF	17/06/2025 11:56:40
61	29	50	44	ON	17/06/2025 12:01:40
62	29	88	10	OFF	17/06/2025 12:06:40
63	29	88	10	OFF	17/06/2025 12:11:40
64	29	88	10	OFF	17/06/2025 12:16:40
65	30	87	0	OFF	17/06/2025 12:21:40
66	30	85	0	OFF	17/06/2025 12:26:40
67	30	85	0	OFF	17/06/2025 12:31:40
68	30	83	0	OFF	17/06/2025 12:36:40
69	30	80	10	OFF	17/06/2025 12:41:40
70	30	80	10	OFF	17/06/2025 12:46:40
71	30	80	10	OFF	17/06/2025 12:51:40
72	31	78	0	OFF	17/06/2025 12:56:40
73	31	77	20	OFF	17/06/2025 13:01:40
74	31	77	20	OFF	17/06/2025 13:06:40
75	31	76	20	OFF	17/06/2025 13:11:40
76	31	75	20	OFF	17/06/2025 13:16:40
77	31	75	20	OFF	17/06/2025 13:21:40
78	31	74	20	OFF	17/06/2025 13:26:40

Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem (Lanjutan)

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
79	31	72	20	OFF	17/06/2025 13:31:40
80	31	72	20	OFF	17/06/2025 13:36:40
81	31	70	20	OFF	17/06/2025 13:41:40
82	31	70	20	OFF	17/06/2025 13:46:40
83	31	69	20	OFF	17/06/2025 13:51:40
84	31	69	20	OFF	17/06/2025 13:56:40
85	31	68	20	OFF	17/06/2025 14:01:40
86	32	66	20	OFF	17/06/2025 14:06:40
87	32	66	20	OFF	17/06/2025 14:11:40
88	32	65	20	OFF	17/06/2025 14:16:40
89	32	64	20	OFF	17/06/2025 14:21:40
90	33	62	20	OFF	17/06/2025 14:26:40
91	33	62	20	OFF	17/06/2025 14:31:40
92	33	60	20	OFF	17/06/2025 14:36:40
93	33	60	20	OFF	17/06/2025 14:41:40
94	33	58	20	OFF	17/06/2025 14:46:40
95	33	55	20	OFF	17/06/2025 14:51:40
96	33	55	20	OFF	17/06/2025 14:56:40
97	33	53	20	OFF	17/06/2025 15:01:40
98	33	53	20	OFF	17/06/2025 15:06:40
99	33	50	20	OFF	17/06/2025 15:11:40
100	33	50	20	OFF	17/06/2025 15:16:40
101	33	49	20	OFF	17/06/2025 15:21:40
102	34	47	20	OFF	17/06/2025 15:26:40
103	34	47	20	OFF	17/06/2025 15:31:40
104	33	45	20	OFF	17/06/2025 15:36:40
105	34	45	20	OFF	17/06/2025 15:41:40

Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem (Lanjutan)

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
106	34	45	20	OFF	17/06/2025 15:46:40
107	33	44	20	OFF	17/06/2025 15:51:40
108	33	44	20	OFF	17/06/2025 15:56:40
109	33	43	20	OFF	17/06/2025 16:01:40
110	33	43	20	OFF	17/06/2025 16:06:40
111	33	42	20	OFF	17/06/2025 16:11:40
112	34	40	20	OFF	17/06/2025 16:16:40
113	34	40	20	OFF	17/06/2025 16:21:40
114	33	39	20	OFF	17/06/2025 16:26:40
115	33	39	20	OFF	17/06/2025 16:31:40
116	34	37	20	OFF	17/06/2025 16:36:40
117	34	37	20	OFF	17/06/2025 16:41:40
118	33	36	20	OFF	17/06/2025 16:46:40
119	33	36	20	OFF	17/06/2025 16:51:40
120	33	35	20	OFF	17/06/2025 16:56:40
121	33	35	20	OFF	17/06/2025 17:01:40
122	33	35	20	OFF	17/06/2025 17:06:40
123	33	33	20	OFF	17/06/2025 17:11:40
124	33	33	20	OFF	17/06/2025 17:16:40
125	32	32	20	OFF	17/06/2025 17:21:40
126	32	32	20	OFF	17/06/2025 17:26:40
127	32	31	20	OFF	17/06/2025 17:31:40
128	31	30	20	OFF	17/06/2025 17:36:40
129	31	30	20	OFF	17/06/2025 17:41:40
130	31	30	30	OFF	17/06/2025 17:46:40
131	31	29	20	OFF	17/06/2025 17:51:40
132	30	29	20	OFF	17/06/2025 17:56:40

Tabel 4.1 Tabel Data Uji Sistem (Lanjutan)

No	Suhu	Kelembaban	Intensitas <i>Fuzzy</i>	Status Pompa	Update Terakhir
133	30	28	20	OFF	17/06/2025 18:01:40
134	30	28	20	OFF	17/06/2025 18:06:40
135	29	26	70	ON	17/06/2025 18:11:40
136	29	88	10	OFF	17/06/2025 18:16:40
137	29	88	10	OFF	17/06/2025 18:21:40
138	30	87	10	OFF	17/06/2025 18:26:40
139	29	87	10	OFF	17/06/2025 18:31:40
140	29	86	10	OFF	17/06/2025 18:36:40
141	29	85	10	OFF	17/06/2025 18:41:40
142	29	83	10	OFF	17/06/2025 18:46:40
143	29	83	10	OFF	17/06/2025 18:51:40
144	29	82	10	OFF	17/06/2025 18:56:40
145	29	82	10	OFF	17/06/2025 19:01:40
146	29	81	10	OFF	17/06/2025 19:06:40
147	29	80	10	OFF	17/06/2025 19:11:40
148	30	80	10	OFF	17/06/2025 19:16:40
149	30	80	10	OFF	17/06/2025 19:21:40
150	30	80	10	OFF	17/06/2025 19:26:40
151	30	80	10	OFF	17/06/2025 19:31:40
152	30	78	10	OFF	17/06/2025 19:36:40
153	30	78	10	OFF	17/06/2025 19:41:40
154	30	77	10	OFF	17/06/2025 19:46:40
155	30	77	10	OFF	17/06/2025 19:51:40

Pada tabel di atas, nilai suhu, kelembaban tanah, dan intensitas *Fuzzy* ditampilkan dalam bentuk bilangan bulat. Hal ini disebabkan oleh proses pemrograman pada *mikrokontroler* yang menerapkan pembulatan ke bawah (*floor*)

terhadap angka desimal. Sebagai contoh, nilai 32,45 akan dibulatkan menjadi 32. Pendekatan ini diterapkan untuk menyederhanakan tampilan data, mengurangi beban komputasi, serta mempermudah analisis dan interpretasi hasil pengukuran pada sistem keran cerdas. Dengan demikian, pengguna dapat membaca dan mengevaluasi data secara lebih cepat dan praktis tanpa kehilangan makna dari nilai asli sensor.

## 4.2 Pembahasan

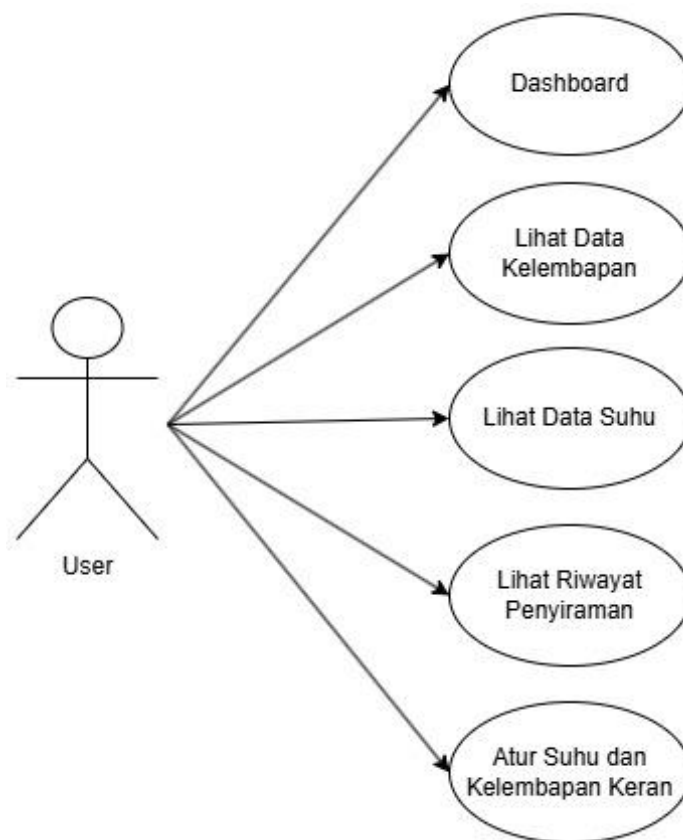
Pembahasan hasil penelitian ini disusun untuk menganalisis setiap tahapan yang berperan dalam membangun sistem keran cerdas berbasis IoT dengan logika *Fuzzy Mamdani*. Sistem ini dirancang untuk melakukan penyiraman otomatis pada tanaman sawi dengan mempertimbangkan data suhu udara dan kelembaban tanah yang diperoleh melalui sensor. Seluruh proses pengambilan data, pemrosesan logika *Fuzzy*, serta pengendalian katup air dijalankan secara *real-time* oleh *mikrokontroler* ESP32 yang telah diprogram. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui layar LCD dan juga dikirim ke *website* untuk memberikan akses pemantauan yang praktis dan informatif bagi pengguna.

### 4.2.1 Perencanaan *Unified Modeling Language* (UML)

Sistem ini didesain menggunakan *Unified Modeling Language* (UML) untuk menggambarkan alur kerja sistem secara cerdas secara visual dan terstruktur, sehingga memudahkan pemahaman mengenai cara kerja sistem secara keseluruhan. Desain ini mencakup proses representasi mulai dari pembacaan data sensor suhu dan kelembaban tanah, pengiriman logika *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan intensitas penyiraman, hingga pengendalian aktuator berupa katup udara serta pengiriman data ke *server* dan tampilan *website*. Dengan adanya desain UML, proses implementasi ke dalam kode program pada *mikrokontroler* ESP32 menjadi lebih terarah, sistematis, dan efisien, karena setiap komponen dan alur fungsional telah dijelaskan secara jelas sejak tahap perancangan awal.

#### 4.2.1.1 Use Case Diagram

*Use case* merupakan pemodelan perilaku yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem cerdas, khususnya pada bagian antarmuka *website*. Model ini menjelaskan bagaimana pengguna dapat mengakses berbagai fitur, seperti melihat data suhu dan kelembaban tanah, memantau status penyiraman, serta mengatur parameter logika *Fuzzy* melalui halaman konfigurasi. Setiap skenario interaksi yang dijelaskan dalam *Use case* menunjukkan respons sistem terhadap aksi yang dilakukan oleh pengguna, seperti saat mengubah ambang batas penyiraman atau membaca grafik monitoring secara *real-time*. Dengan pemodelan *Use case* ini, fungsi-fungsi utama dari *website* dapat didokumentasikan dengan jelas, sekaligus mengatur peran pengguna yang memiliki akses terhadap fitur-fitur tersebut. Adapun diagram *Use case* dari sistem keren berbasis web dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut.

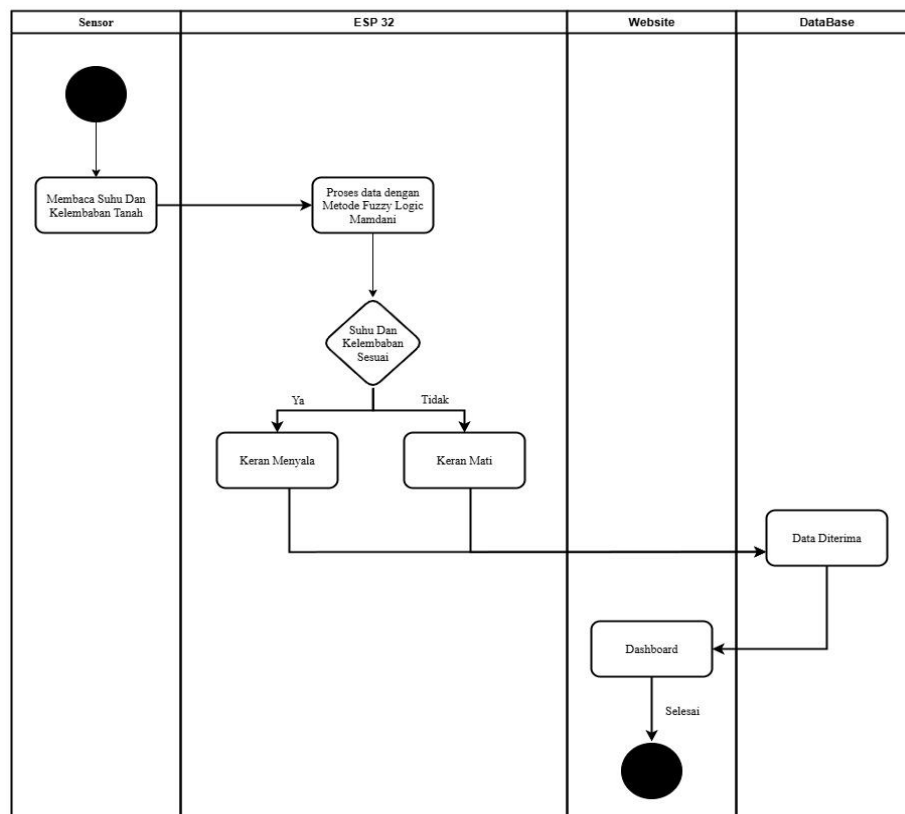


Gambar 4.9 Use Case Diagram



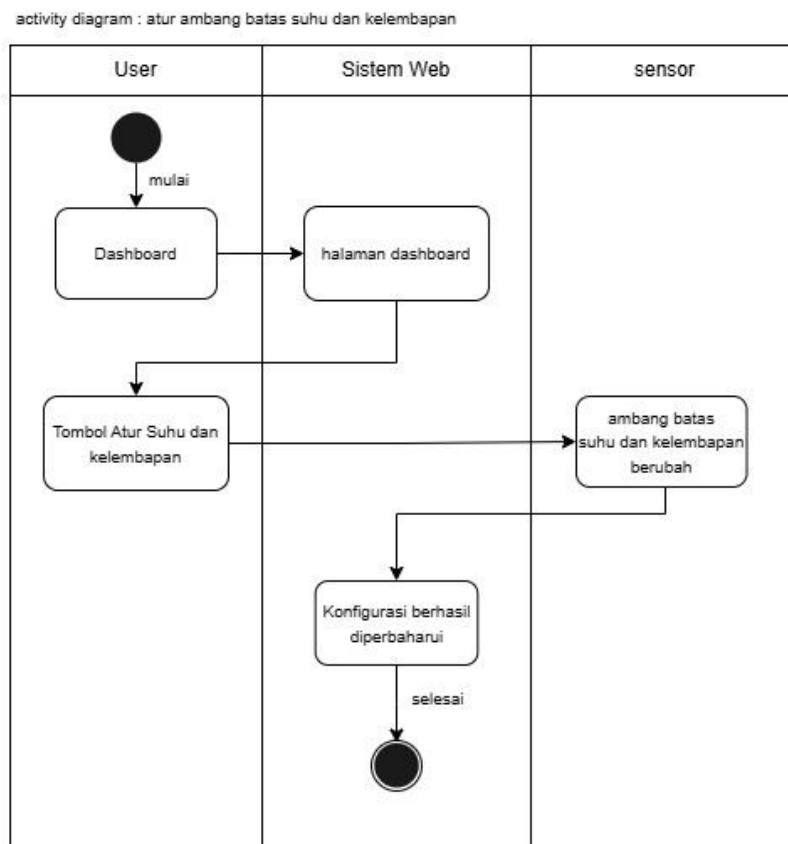
#### 4.2.1.2 Activity Diagram

*Activity* diagram merupakan salah satu jenis diagram perilaku dalam *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk memodelkan alur aktivitas atau proses kerja yang terjadi dalam sistem keran cerdas. Diagram ini menggambarkan urutan aktivitas mulai dari pembacaan data sensor suhu dan kelembaban tanah, proses pengolahan data menggunakan logika *Fuzzy Mamdani*, hingga pengambilan keputusan penyiraman dan pengiriman data ke *website*. Selain itu, diagram aktivitas juga menunjukkan titik-titik pengambilan keputusan dan transisi antar proses, serta perangkat pengguna saat mengakses fitur pemantauan atau konfigurasi sistem melalui antarmuka web. Dengan adanya diagram ini, sistem pengembangan menjadi lebih terstruktur karena seluruh alur kerja telah terdefinisi dengan jelas sebelum tahap implementasi dilakukan. Pada bagian ini, akan dijelaskan aktivitas-aktivitas utama yang berlangsung pada sistem keran berbasis IoT, seperti pada gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.10 Activity Diagram Sistem

Adapun *Activity* diagram pada gambar di bawah ini menggambarkan alur aktivitas pengguna (*user*) saat berinteraksi dengan sistem keran cerdas melalui antarmuka *website*. Proses dimulai ketika pengguna mengakses halaman *dashboard*, kemudian memilih fitur pengaturan ambang batas suhu dan kelembaban. Setelah pengguna menyesuaikan nilai ambang batas melalui form yang tersedia, sistem web akan memproses perubahan tersebut dan menyimpan konfigurasi baru ke dalam *database*. Selanjutnya, nilai ambang batas yang diperbarui dikirimkan ke sistem sensor, sehingga sistem dapat langsung menyesuaikan logika penyiraman berdasarkan parameter terbaru. Diagram ini menggambarkan alur secara terstruktur mulai dari aksi pengguna hingga respons sistem secara *real-time*, yang mencerminkan keterpaduan antara antarmuka pengguna dan *backend* sistem, seperti tampilan pada gambar 4.11 di bawah ini:



Gambar 4.11 *Activity* Diagram User

#### 4.2.2 Penerapan Metode *Fuzzy Logic Mamdani*

Pada tabel data uji system di atas apabila diperoleh data pembacaan sensor berupa suhu udara sebesar 27°C dan kelembaban tanah sebesar 48%, maka status penyiraman pada kondisi tersebut dapat dianalisis menggunakan metode logika *Fuzzy Mamdani*. Perhitungan dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi berdasarkan aturan *Fuzzy*, dan defuzzifikasi, untuk menentukan intensitas penyiraman yang sesuai.

##### 1. *Fuzzifikasi*

- Suhu

$$\mu_{\text{suhu normal}}(X) = \begin{cases} 0; & x \leq 23 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-23}{25-23}; & 23 < x < 25 \\ 1; & 25 \leq x \leq 28 \\ \frac{30-x}{30-28}; & 28 < x < 30 \end{cases} \dots\dots\dots (4.1)$$

Karena suhu 27°C dalam kondisi normal maka nilai 1,0

- Kelembaban Tanah

$$\mu_{\text{tanah kering}}(X) = \begin{cases} 1; & x < 30 \\ \frac{50-x}{50-30}; & 30 \leq x \leq 50 \\ 0; & x \geq 50 \end{cases} \dots\dots\dots (4.2)$$

karena kelembaban tanah 48% termasuk ke dalam keadaan kering maka kita menyelesaikannya dengan

$$\mu_{\text{tanah kering}}(X) = \frac{50-48}{20} = \frac{2}{20} = 0.1 \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\mu_{\text{tanah normal}}(X) = \begin{cases} 0; & x \leq 45 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x-45}{55-45}; & 45 < x < 55 \\ 1; & 55 \leq x \leq 65 \\ \frac{70-x}{70-65}; & 65 < x < 70 \end{cases} \dots\dots\dots (4.4)$$

Karena kelembaban tanah 48% juga termasuk ke dalam keadaan normal maka kita selesaikan dengan

$$\mu_{\text{tanah normal}}(X) = \frac{48-45}{10} = \frac{3}{10} = 0.3 \dots\dots\dots (4.5)$$

## 2. Inferensi

Dalam tahap ini, dilakukan pemetaan logika *IF-THEN* berdasarkan kombinasi input *Fuzzy*. Contoh aturan pada tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2 Inferensi

Rule	IF (Suhu)	AND	(Tanah)	THEN	Intensitas (z)
R1	Normal	$\cap$	Kering	$\rightarrow$	$z_1 = 80$
R2	Rendah	$\cap$	Kering	$\rightarrow$	$z_2 = 70$
R3	Normal	$\cap$	Basah	$\rightarrow$	$z_3 = 10$
R4	Tinggi			$\rightarrow$	$z_4 = 0$
R5	Rendah	$\cap$	Basah	$\rightarrow$	$z_5 = 10$
R6	Tinggi	$\cap$	Kering	$\rightarrow$	$z_6 = 20$
R7	Normal	$\cap$	Normal	$\rightarrow$	$z_7 = 30$

Setiap aturan dihitung nilai *firing strength*-nya dengan operator min:

$$ri = \min(\mu_{\text{suhu}}, \mu_{\text{tanah}})$$

Contoh:

Jika suhu = 27 (Normal = 1), dan tanah = 48 (Kering = 0.1, Normal = 0.3)

- $R1 = \min(1, 0.1) = 0.1$
- $R7 = \min(1, 0.3) = 0.3$

## 3. Defuzzifikasi

Untuk mengubah hasil *Fuzzy* menjadi nilai *crisp*, digunakan metode *centroid* diskrit (sama seperti Mamdani tetapi dengan konsekuen konstan):

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n ri.zi}{\sum_{i=1}^n ri} \dots\dots\dots (4.6)$$

Dengan:

- $z_i$  adalah nilai konsekuen dari aturan (intensitas),
- $r_i$  adalah nilai minimum dari setiap aturan (*firing strength*).

$$Z = \frac{(0.1,80)+(0.3,30)}{0.1+0.3} = \frac{17}{0.4} = 42.5 \text{ atau } 42 \dots\dots\dots (4.7)$$

Karena kita sudah mendapatkan intensitas *Fuzzy* sebesar 42 maka bis akita tentukan status keran nya

Misalnya ambang batasnya lebih besar dari 30 nilai intensitas *Fuzzy* maka nilai 42 intensitas *Fuzzy* memenuhi untuk menyiram sawi.

#### 4.2.3 Evaluasi

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem penyiraman otomatis berbasis logika *Fuzzy* Mamdani menunjukkan kinerja yang stabil dan sesuai dengan rancangan. Seluruh komponen termasuk sensor suhu dan kelembaban tanah, *mikrokontroler* ESP32, dan aktuator pompa berfungsi secara terintegrasi untuk menjalankan proses penyiraman otomatis berdasarkan kondisi lingkungan. Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap 5 menit, memastikan sistem mampu merespons perubahan suhu dan kelembaban tanah secara *real-time* dan konsisten.

Hasil fuzzifikasi nilai sensor, pemrosesan inferensi berbasis aturan *Fuzzy*, serta defuzzifikasi dengan metode *centroid* berhasil menghasilkan keputusan penyiraman yang adaptif dan logis. Aktivasi pompa dilakukan hanya saat diperlukan, sesuai dengan hasil perhitungan intensitas dari logika *Fuzzy*. Hal ini terbukti dapat mengurangi penyiraman berlebih sekaligus menjaga kelembaban tanah tetap optimal bagi tanaman.

Selain itu, pengiriman data ke *server* berjalan tanpa hambatan, dan *dashboard* web menampilkan informasi suhu, kelembaban, intensitas, serta status penyiraman dengan baik. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme sinkronisasi konfigurasi *Fuzzy* dari *server*, memungkinkan perubahan ambang batas dan aturan *Fuzzy* dilakukan secara dinamis tanpa perlu memprogram ulang perangkat di lapangan.

Secara keseluruhan, sistem ini dinilai efisien, responsif, dan mudah dipantau. Kemampuan untuk mendeteksi kondisi lingkungan secara berkala, mengolahnya secara cerdas menggunakan logika *Fuzzy*, serta menghasilkan keputusan penyiraman otomatis menjadikan sistem ini relevan untuk diterapkan di lahan pertanian skala kecil hingga menengah. Potensi pengembangan lebih lanjut mencakup integrasi dengan prediksi cuaca, modul IoT tambahan, dan kontrol berbasis aplikasi mobile guna mendukung konsep pertanian presisi yang berkelanjutan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan pendekatan logika *Fuzzy* Mamdani yang diterapkan pada budidaya tanaman sawi. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu (DHT22) dan sensor kelembaban tanah, serta mampu mengontrol proses penyiraman secara otomatis dan real-time berdasarkan kondisi lingkungan.
2. Sistem mampu membaca data suhu dan kelembaban tanah setiap lima menit, memprosesnya menggunakan metode fuzzy, dan memberikan keputusan penyiraman melalui aktuasi solenoid valve. Hasil keputusan dan parameter sensor ditampilkan melalui LCD serta dapat dipantau melalui dashboard berbasis web dan webview secara langsung.
3. Berdasarkan pengujian selama 12 jam, sistem menunjukkan kinerja yang stabil dan akurat. Salah satu contoh hasil pengukuran menunjukkan suhu 29°C dan kelembaban tanah 81% yang diklasifikasikan sebagai kondisi “cukup” dengan nilai *Fuzzy* 10, sehingga sistem memutuskan tidak melakukan penyiraman. Secara keseluruhan, sistem berhasil menghemat penggunaan air hingga  $\pm 35\%$  dibandingkan metode penyiraman manual.
4. Sistem memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengatur ambang batas penyiraman secara jarak jauh melalui dashboard web. Hal ini menunjukkan keberhasilan integrasi antara perangkat keras (ESP32, sensor, relay, valve) dan perangkat lunak (logika fuzzy, database, dan antarmuka web) dalam satu kesatuan sistem yang sinkron.

## 5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas durasi dan cakupan pengujian sistem, seperti dilakukan selama beberapa minggu atau dalam kondisi cuaca yang berbeda, guna mengamati respons sistem terhadap variabilitas lingkungan secara lebih menyeluruh.
2. Pengembangan sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor intensitas cahaya (LDR) atau sensor curah hujan untuk memperkaya parameter lingkungan yang dianalisis sebelum keputusan penyiraman dilakukan.
3. Sistem dapat diintegrasikan dengan fitur notifikasi otomatis melalui aplikasi mobile atau email agar pengguna mendapat pemberitahuan saat penyiraman aktif atau kondisi lingkungan berubah signifikan.
4. Untuk efisiensi daya, sistem sebaiknya dikembangkan lebih lanjut menggunakan sumber energi terbarukan seperti panel surya, sehingga mendukung implementasi di lahan pertanian terpencil yang minim pasokan listrik.
5. Peningkatan pada antarmuka dashboard, seperti fitur grafik historis mingguan, filter data berdasarkan tanggal, dan fitur ekspor data, akan sangat berguna dalam evaluasi dan pengambilan keputusan jangka panjang oleh pengguna.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agustian Yulanda, E., & Kurniawan, R. (2024). *OKTAL : Jurnal Ilmu Komputer dan Science Perancangan Kandang Pintar Menggunakan NodeMCU ESP32 dan Platform Blynk*. 3(8), 1968–1976.  
<https://journal.mediapublikasi.id/index.php/oktal>
- Air, C. (2020). *DHT22 - Sensor Suhu dan Kelembaban Digital*.
- Andreano, R., Nugroho, B. S., & Hasanuddin, H. (2022). Rancang Bangun Pengendalian Kelembapan Tanah dan Suhu Lingkungan Tanaman Berbasis NodeMCU ESP8266. *Prisma Fisika*, 10(1), 40.  
<https://doi.org/10.26418/pf.v10i1.53548>
- Arisgraha, franky chandra, Purwanti, E., Ama, F., & Ain, K. (2023). *Pelatihan Pembuatan Keran Air Otomatis Berbasis Elektronika Cerdas Sebagai Upaya Penghematan Air Bersih Bagi Siswa Di Sma Ar-Rohmah Dau Kabupaten Malang*. 6–10.
- Fajri, N., Islamiyah, M., Komputer, P. S., Teknologi, F., & Desain, D. (n.d.). *Penyiraman Tanaman Mawar Secara Otomatis Berdasarkan Kelembaban Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto*. 8–14.
- Farizal, M., Fabrianto, R., Pratama, J. C., Sidhiq, A. F., & Aziz, G. J. H. (2021). <http://jur1.nal.teknokrat.ac.id/index.php/AEJ>. 4(2), 1–10.
- Fikri, I., Hafidh, F., & Sirajuddin, H. (2023). *Sistem Pengelolaan Bank Sampah Berbasis Digital Dengan Metode Plc ( Project Life Circle )*. 14(1), 67–73.
- Habibie, muhammad fuad faridh, Firdaus, reza agusta, & Mufarrihah, I. (2025). *Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Internet Of Things ( Iot ) Dengan Soil Moisture Pada Proses Pembibitan Cabai Merah Keriting Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Muhammad Fuad Faridh Habibie*. 3(4), 671–680.
- Haque, M. dary daffa, & Sriani. (2023). Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Untuk Optimasi Persediaan Stok Makanan Hewan. *Media Online*, 4(1), 427–437.  
<https://doi.org/10.30865/klik.v4i1.1160>
- Harry, R., Pamungkas, S., & Riskiono, S. D. (2020). Berbasis Arduino Dengan Sensor Kelembaban Tanah. *Jim.Teknokrat*, 1(1), 23–32.

- Hendrawati, T. D., & Algifary, K. (2022). Pengembangan Sistem Kontrol dan Monitoring pada Irigasi Tanaman Cabe Berbasis Node Nirkabel dan Internet of Things ( IoT ) menggunakan Metode Fuzzy Logic. ... *Seminar Nasional Teknologi* ..., 4–7.  
<http://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/537/0%0Ahttps://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/download/537/204>
- Marcos, H., & Muzaki, H. (2022). Monitoring Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah Pada Budidaya Tanaman Pepaya. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 3(2). <https://doi.org/10.33365/jtst.v3i2.2200>
- Maryana, Nurdin, Bustami, Fajriana, Zulfani, N., & Hasibuan, A. (2024). Detecting Online Game Addiction Using Fuzzy Logic With the Tsukamoto Method. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 102(15), 5830–5842.
- Munawar, A. A., Nisak, F., & Nasution, I. S. (2022). *Simulasi Pengendalian Kondisi Lingkungan Greenhouse untuk Pertumbuhan ( Greenhouse Environmental Condition Control Simulation for Mustard ( Brassica juncea L .) Growth Based on Fuzzy Logic Using Visual Basic ) ( Brassica juncea L . ). Menurut Saranga ( 20. 7, 532–544.*
- Novan, K., Setyawan, G., & Muhammad. (2021). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Kelembapan Tanaman Sawi. *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, 13(2), 101–108.
- Nurhayati, Khairani, S., & Juhardi Sembiring. (2024). *Pertumbuhan Tanaman Sawi (Brassica juncea L.) Terhadap Aplikasi Pupuk Organik Cair. 4(2), 2020–2025.*
- Oktarina, Y., & Dewi, T. (2022). *Implementasi Fuzzy Logic dalam Mengendalikan Input dan Output pada Penyiraman dan Pemupukan Tanaman Otomatis Berbasis IoT. 3(2), 65–73.*
- Pagala, J. R., Santa, K., & Kainde, Q. C. (2024). Implementasi Fuzzy Logic Untuk Pengaturan Kelembapan Tanah Pada Tanaman Sawi Berbasis Internet of Things (Iot). *Journal of Innovation And Future Technology (IFTECH)*, 6(2), 174–184. <https://doi.org/10.47080/iftech.v6i2.3307>
- Pohan, F., Qamal, M., Anshari, S. F., Engineering, I., Program, S., & City, L. (2024). *Implementation of Fuzzy Logic Sugeno on a Website-Based for Flood Monitoring and Early Detection System. x(1), 118–129.*
- Prasetyo, A., Fajaryanto, A., Litanianda, Y., Yusuf, A. R., Setyawan, M. B., & Az-Zahra, R. R. (2022). Irigasi Tanaman Agriculture dengan Logika Fuzzy

- Terintegrasi Internet of Things. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi (SISFOTEK)*, 1(1), 141–144.
- Pratama, H. P., Hadi Putri, D. I., & Sudjani. (2022). Prototype Penyiraman Otomatis Berbasis IOT untuk Multi Zona Tanaman Hias. *Jurnal Sistem Cerdas*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.37396/jsc.v5i1.180>
- Rusadi, A., Ula, M., Daud, M., Nurdin, & Hasibuan, A. (2025). *The Comparison of the Performance of Fuzzy Tsukamoto and Fuzzy Mamdani in an Internet of Things Based Grape Greenhouse Control System*. 5(2), 540–551. <https://doi.org/10.30811/jaise.v5i2.6936>
- Saputri, A. W., Pradana, R., & Handayani, I. P. (2025). Pemanfaatan Fuzzy Logic Mamdani Pada Tanaman Vitis Vinivera Dengan Teknologi Internet of Things. *JIKA (Jurnal Informatika)*, 9(2), 201. <https://doi.org/10.31000/jika.v9i2.13739>
- Siregar, N. A., Nurdin, Fajriana, & Fikry, M. (2022). *Analisis Metode Lauh*. 10(2), 1724–1733.
- Trisetiyanto, A. N. (2020). Rancang Bangun Alat Penyemprot Disinfektan Otomatis Untuk Mencegah Penyebaran Virus Corona. *Joined Journal (Journal of Informatics Education)*, 3(1), 45–51.
- Ula, M., Muliani, M., Adek, R. T., & Bustami, B. (2024). Optimizing water condition in tropical brackish water aquaponics: A novel internet of things and machine learning approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1356(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1356/1/012055>
- Wahyudi, m. ima., & Rifki, A. A. (2022). Keran Air Wudhu Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Sebagai Upaya Meminimalisasi Pemborosan Air. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 3(1), 151–156. <https://doi.org/10.52158/jacost.v3i1.296>
- Wahyuni, I. (2021). Logika Fuzzy Tahani (Teori dan Implementasi). In *Komajoyo Press (Anggota IKAPI)*.
- Wardhana, A. S., Dewi, A. K., Airlangga, H. F., Septiani, N. A., & Ravy, J. U. (2023). Mesin Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai dengan Modul Nodemcu ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT). *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika*, 160–169. <http://ejurnal.itats.ac.id/snestik/article/view/4263>
- Wisnujati, N. S., Hermansyah, D., & Patiung, M. (2021). *Analisis trend dan prediksi produksi dan konsumsi komoditas sayuran sawi* (. 21(2), 34–46.

## **LAMPIRAN**

### **Lampiran 1. Biodata Mahasiswa**

#### **BIODATA MAHASISWA**



#### **1. Personal**

Nama : Abdi Mulia Pranidana  
Nim : 210170110  
Alamat : Jln. Marelan VII, Pasar 1 Tengah, Gang Terusan II,  
Kecamatan Medan Marelan, Medan, Sumatera Utara  
No. Handphone : 0882-6396-9834

#### **2. Orang Tua**

Nama Ayah : Turakhmat M  
Pekerjaan : Karyawan Swasta  
Umur : 57 Tahun  
Alamat : Jln. Marelan VII, Pasar 1 Tengah, Gang Terusan II,  
Kecamatan Medan Marelan, Medan, Sumatera Utara  
Nama Ibu : Sri Muliani  
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga  
Umur : 46 Tahun  
Alamat : Jln. Marelan VII, Pasar 1 Tengah, Gang Terusan II,  
Kecamatan Medan Marelan, Medan, Sumatera Utara

#### **3. Pendidikan Formal**

Asal SLTA (Tahun) : SMA Unggul CT Arsa Foundation (2019-2021)  
Asal SLTP (Tahun) : SMP Negeri 38 Medan (2016-2019)  
Asal SD (Tahun) : SD Negeri 066658 (2009-2015)

#### 4. Software Komputer Yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Word  
Tingkat Penguasaan : Expert  
Jenis Software : Arduino IDE  
Tingkat Penguasaan : Intermediate  
Jenis Software : PHP Pemogramming Language  
Tingkat Penguasaan : Basic

Lhokseumawe, 11 Agustus 2025

Penulis,



**Abdi Mulia Pranidana**

Nim. 210170110

## Lampiran 2. Source Code Website dan IoT

### 1. Website

```

<?php
date_default_timezone_set("Asia/Jakarta");
include 'koneksi.php';
setlocale(LC_TIME, 'id_ID', 'Indonesian', 'id');
$sql = "SELECT * FROM sensor_data ORDER BY id DESC";
$result = $conn->query($sql);
$data = [];
if ($result) {
    while ($row = $result->fetch_assoc()) {
        $data[] = $row;
    }
}
$totalDataCount = count($data);
$totalPages = ($totalDataCount > 0) ? ceil($totalDataCount / 50) : 1;
$page = isset($_GET['page']) ? max(1, (int)$_GET['page']) : 1;
$page = min($page, $totalPages);
$start = ($page - 1) * 50;
$grafikData = array_slice($data, $start, 50);
$grafikData = array_reverse($grafikData); // agar grafikurut waktu naik
$labelData = array_reverse($grafikData); // agar tabel terbaru di atas
$fuzzyConfig = [];
$sqlConfig = "SELECT param_name, value_float FROM fuzzy_config";
$resultConfig = $conn->query($sqlConfig);
if ($resultConfig) {
    while ($rowConfig = $resultConfig->fetch_assoc()) {
        $fuzzyConfig[$rowConfig['param_name']] = $rowConfig['value_float'];
    }
}
$notification_message = "";
if (isset($_GET['status'])) {
    if ($_GET['status'] == 'success') {
        $notification_message = 'Konfigurasi berhasil diperbarui!';
    } elseif ($_GET['status'] == 'error' && isset($_GET['message'])) {
        $notification_message = 'Gagal memperbarui konfigurasi: ' .
        htmlspecialchars($_GET['message']);
    }
}
?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="id">
<head>
    <meta charset="UTF-8">

```

```

<title>Dashboard Penyiraman</title>
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<link rel="stylesheet" href="style.css">
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<!-- Font Awesome untuk ikon -->
<link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@fortawesome/fontawesome-free@6.0.0-beta3/css/all.min.css">
</head>
<body>
<div class="container">
  <h1><i class="fas fa-seedling"></i> Keran Cerdas - Realtime</h1>

  <div class="controls">
    <form method="GET">
      <label>Halaman:
        <select name="page" onchange="this.form.submit()">
          <?php for ($i = 1; $i <= $totalPages; $i++): ?>
            <option value="<?=$i ?>" <?=$i == $page ? 'selected' : '' ?>><?=$i ?></option>
          <?php endfor; ?>
        </select>
      </label>
    </form>
    <div class="theme-switch">
      <i class="fas fa-sun"></i>
      <label class="switch">
        <input type="checkbox" id="darkModeToggle">
        <span class="slider round"></span>
      </label>
      <i class="fas fa-moon"></i>
    </div>
  </div>
  <div class="chart-container" style="height: 450px;">
    <h2><i class="fas fa-chart-line"></i> Grafik Suhu & Kelembaban</h2>
    <canvas id="chartRealtime"></canvas>
  </div>

  <div class="table-container">
    <h2><i class="fas fa-history"></i> Riwayat Penyiraman (50 data di halaman <?=$page ?>)</h2>
    <table>
      <thead>
        <tr>
          <th>Waktu</th>
          <th>Suhu (°C)</th>
          <th>Kelembaban (%)</th>
        </tr>
      </thead>
    </table>
  </div>
</div>

```





```

        <input type="number" step="0.1" name="override_kelembaban_max"
id="override_kelembaban_max"
        value="<?= $fuzzyConfig['override_kelembaban_max'] ?? " ?>">
    </div>
</div>
<!-- Tombol Simpan -->
<div style="grid-column: 1 / -1; text-align: center;">
    <button type="submit"><i class="fas fa-save"></i> Simpan
Konfigurasi</button>
</div>
</form>
</div>
<?php if ($notification_message): ?>
    <div class="notification" id="notificationMessage">
        <?= $notification_message ?>
    </div>
<?php endif; ?>
</div>
<script>
document.addEventListener("DOMContentLoaded", function () {
    const cards = document.querySelectorAll(".card");
    cards.forEach(card => {
        card.style.opacity = 0;
        card.style.transform = "translateY(20px)";
        setTimeout(() => {
            card.style.transition = "all 0.5s ease";
            card.style.opacity = 1;
            card.style.transform = "translateY(0)";
        }, 200);
    });
    const darkModeToggle = document.getElementById('darkModeToggle');
    const body = document.body;
    if (localStorage.getItem('darkMode') === 'enabled') {
        body.classList.add('dark-mode');
        darkModeToggle.checked = true;
    }
    darkModeToggle?.addEventListener('change', function() {
        if (this.checked) {
            body.classList.add('dark-mode');
            localStorage.setItem('darkMode', 'enabled');
        } else {
            body.classList.remove('dark-mode');
            localStorage.setItem('darkMode', 'disabled');
        }
    });
    function formatTime(idTime) {

```

```

const date = new Date(idTime);
const options = {
  weekday: 'long', year: 'numeric', month: '2-digit', day: '2-digit',
  hour: '2-digit', minute: '2-digit', hour12: false,
  timeZone: "Asia/Jakarta"
};
return new Intl.DateTimeFormat('id-ID', options).format(date);
}
const ctx = document.getElementById('chartRealtime')?.getContext('2d');
const initialData = <?= json_encode($grafikData) ?>;
if (ctx && initialData) {
  const timestamps = initialData.map(d => formatTime(d.update_terakhir));
  const suhu = initialData.map(d => parseFloat(d.suhu));
  const kelembaban = initialData.map(d => parseFloat(d.kelembaban));
  chart = new Chart(ctx, {
    type: 'line',
    data: {
      labels: timestamps,
      datasets: [
        {
          label: 'Suhu (°C)',
          data: suhu,
          borderColor: 'red',
          backgroundColor: 'rgba(255, 99, 132, 0.2)',
          tension: 0.4,
          fill: true,
          pointRadius: 3,
          pointHoverRadius: 5
        },
        {
          label: 'Kelembaban (%)',
          data: kelembaban,
          borderColor: 'blue',
          backgroundColor: 'rgba(54, 162, 235, 0.2)',
          tension: 0.4,
          fill: true,
          pointRadius: 3,
          pointHoverRadius: 5
        }
      ]
    },
    options: {
      responsive: true,
      maintainAspectRatio: false,
      scales: {
        x: {

```

```

        ticks: {
            color:
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color')
        },
        grid: { color: 'rgba(128, 128, 128, 0.1)' }
    },
    y: {
        beginAtZero: true,
        ticks: {
            color:
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color')
        },
        grid: { color: 'rgba(128, 128, 128, 0.1)' }
    }
},
plugins: {
    legend: {
        labels: {
            color:
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color')
        }
    },
    tooltip: {
        mode: 'index',
        intersect: false,
    },
    hover: {
        mode: 'nearest',
        intersect: true
    },
    animation: {
        duration: 1000,
        easing: 'easeOutQuart'
    }
}
});
const observer = new MutationObserver(function(mutations) {
    mutations.forEach(function(mutation) {
        if (mutation.attributeName === 'class') {
            chart.options.scales.x.ticks.color =
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color');
            chart.options.scales.y.ticks.color =
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color');
            chart.options.plugins.legend.labels.color =
getComputedStyle(document.documentElement).getPropertyValue('--text-color');
            chart.update();
        }
    });
});

```

```

    });
  });
  observer.observe(body, { attributes: true });
}
const notification = document.getElementById('notificationMessage');
if (notification) {
  setTimeout(() => {
    notification.style.opacity = '0';
    notification.style.transform = 'translateY(-20px)';
    setTimeout(() => notification.remove(), 1000);
  }, 3000);
}
});
</script>
</body>
</html>

```

## 2. IoT

```

// FileName: MultipleFiles/sketch_jun3a.ino
#include <WiFi.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ArduinoJson.h> // Pastikan library ini terinstal
#define DHTPIN 15
#define DHTTYPE DHT22
#define SOIL_PIN 34
#define RELAY_PIN 26

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const char* ssid = "IPTEK Pride 1";
const char* password = "tankjago";
const          char*          host_simpan_data          =
"https://kerancerdas.fasterstronger.site/simpan_data.php";
const          char*          host_get_config           =
"https://kerancerdas.fasterstronger.site/get_fuzzy_config.php";
const          char*          host_get_timestamp        =
"https://kerancerdas.fasterstronger.site/get_config_timestamp.php";
unsigned long waktuTerakhirBacaSensor = 0;
const unsigned long intervalBacaSensor = 5 * 60 * 1000;

unsigned long waktuTerakhirCekUpdate = 0;

```

```

const unsigned long intervalCekUpdate = 5 * 1000;
unsigned long waktuPompaHidup = 0;
const unsigned long durasiPompaHidup = 1 * 60 * 1000;
bool pompaMenyala = false;
bool sensorSudahDibacaPertamaKali = false;
String lastKnownConfigTimestamp = "";
struct FuzzyParams {
    float suhu_rendah_x0, suhu_rendah_x1, suhu_normal_a, suhu_normal_b,
    suhu_normal_c, suhu_normal_d;
    float suhu_tinggi_x0, suhu_tinggi_x1, tanah_kering_x0, tanah_kering_x1;
    float tanah_normal_a, tanah_normal_b, tanah_normal_c, tanah_normal_d;
    float tanah_basah_x0, tanah_basah_x1;
    float rule_z1, rule_z2, rule_z3, rule_z4, rule_z5, rule_z6, rule_z7;
    float fuzzy_threshold, override_suhu_max, override_kelembaban_max;
} fuzzyConfig;
float reverseGrade(float x, float x0, float x1) {
    if (x <= x0) return 1.0;
    else if (x >= x1) return 0.0;
    else return (x1 - x) / (x1 - x0);
}
float grade(float x, float x0, float x1) {
    if (x <= x0) return 0.0;
    else if (x >= x1) return 1.0;
    else return (x - x0) / (x1 - x0);
}
float trapezoid(float x, float a, float b, float c, float d) {
    if (x <= a || x >= d) return 0.0;
    else if (x >= b && x <= c) return 1.0;
    else if (x > a && x < b) return (x - a) / (b - a);
    else return (d - x) / (d - c);
}
void getFuzzyConfigFromServer() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return;
    WiFiClientSecure client;
    client.setInsecure();
    HTTPClient https;
    https.begin(client, host_get_config);
    int httpCode = https.GET();
    if (httpCode > 0) {
        String payload = https.getString();
        StaticJsonDocument<1024> doc;
        DeserializationError error = deserializeJson(doc, payload);
        if (error) return;
        fuzzyConfig.suhu_rendah_x0 = doc["data"]["suhu_rendah_x0"] | 20.0;
        fuzzyConfig.suhu_rendah_x1 = doc["data"]["suhu_rendah_x1"] | 25.0;
        fuzzyConfig.suhu_normal_a = doc["data"]["suhu_normal_a"] | 23.0;
    }
}

```

```

fuzzyConfig.suhu_normal_b = doc["data"]["suhu_normal_b"] | 25.0;
fuzzyConfig.suhu_normal_c = doc["data"]["suhu_normal_c"] | 28.0;
fuzzyConfig.suhu_normal_d = doc["data"]["suhu_normal_d"] | 30.0;
fuzzyConfig.suhu_tinggi_x0 = doc["data"]["suhu_tinggi_x0"] | 30.0;
fuzzyConfig.suhu_tinggi_x1 = doc["data"]["suhu_tinggi_x1"] | 35.0;
fuzzyConfig.tanah_kering_x0 = doc["data"]["tanah_kering_x0"] | 30.0;
fuzzyConfig.tanah_kering_x1 = doc["data"]["tanah_kering_x1"] | 50.0;
fuzzyConfig.tanah_normal_a = doc["data"]["tanah_normal_a"] | 45.0;
fuzzyConfig.tanah_normal_b = doc["data"]["tanah_normal_b"] | 55.0;
fuzzyConfig.tanah_normal_c = doc["data"]["tanah_normal_c"] | 65.0;
fuzzyConfig.tanah_normal_d = doc["data"]["tanah_normal_d"] | 70.0;
fuzzyConfig.tanah_basah_x0 = doc["data"]["tanah_basah_x0"] | 60.0;
fuzzyConfig.tanah_basah_x1 = doc["data"]["tanah_basah_x1"] | 80.0;
fuzzyConfig.rule_z1 = doc["data"]["rule_z1"] | 80.0;
fuzzyConfig.rule_z2 = doc["data"]["rule_z2"] | 70.0;
fuzzyConfig.rule_z3 = doc["data"]["rule_z3"] | 10.0;
fuzzyConfig.rule_z4 = doc["data"]["rule_z4"] | 0.0;
fuzzyConfig.rule_z5 = doc["data"]["rule_z5"] | 10.0;
fuzzyConfig.rule_z6 = doc["data"]["rule_z6"] | 20.0;
fuzzyConfig.rule_z7 = doc["data"]["rule_z7"] | 30.0;
fuzzyConfig.fuzzy_threshold = doc["data"]["fuzzy_threshold"] | 50.0;
fuzzyConfig.override_suhu_max = doc["data"]["override_suhu_max"] | 30.0;
fuzzyConfig.override_kelembaban_max = doc["data"]["override_kelembaban_max"] | 50.0;
}
https.end();
}
void checkForConfigUpdate() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return;
    WiFiClientSecure client;
    client.setInsecure();
    HTTPClient https;
    https.begin(client, host_get_timestamp);
    int httpCode = https.GET();
    if (httpCode > 0) {
        String payload = https.getString();
        StaticJsonDocument<100> doc;
        DeserializationError error = deserializeJson(doc, payload);
        if (error) return;
        String serverTimestamp = doc["last_updated"] | "";
        if (serverTimestamp != "" && serverTimestamp !=
lastKnownConfigTimestamp) {
            lastKnownConfigTimestamp = serverTimestamp;
            getFuzzyConfigFromServer();
        }
    }
}

```

```

    https.end();
}
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
    pompaMenyala = false;
    WiFi.begin(ssid, password);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Connecting WiFi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
    }
    lcd.clear();
    lcd.print("WiFi Connected");
    delay(1000);
    getFuzzyConfigFromServer();
    checkForConfigUpdate();
}
void loop() {
    unsigned long sekarang = millis();
    if (pompaMenyala && (sekarang - waktuPompaHidup >= durasiPompaHidup)) {
        digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
        pompaMenyala = false;
    }
    if (sekarang - waktuTerakhirCekUpdate >= intervalCekUpdate) {
        waktuTerakhirCekUpdate = sekarang;
        checkForConfigUpdate();
    }
    if (sekarang - waktuTerakhirBacaSensor >= intervalBacaSensor ||
    !sensorSudahDibacaPertamaKali) {
        waktuTerakhirBacaSensor = sekarang;
        sensorSudahDibacaPertamaKali = true;
        float suhu = dht.readTemperature();
        if (isnan(suhu)) {
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("Error Suhu");
            return;
        }
    }
    int adc = analogRead(SOIL_PIN);
    int kelembaban = map(adc, 4095, 0, 0, 100);

```

```

float suhuRendah = reverseGrade(suhu, fuzzyConfig.suhu_rendah_x0,
fuzzyConfig.suhu_rendah_x1);
float suhuNormal = trapezoid(suhu, fuzzyConfig.suhu_normal_a,
fuzzyConfig.suhu_normal_b, fuzzyConfig.suhu_normal_c,
fuzzyConfig.suhu_normal_d);
float suhuTinggi = grade(suhu, fuzzyConfig.suhu_tinggi_x0,
fuzzyConfig.suhu_tinggi_x1);
float tanahKering = reverseGrade(kelembaban, fuzzyConfig.tanah_kering_x0,
fuzzyConfig.tanah_kering_x1);
float tanahNormal = trapezoid(kelembaban, fuzzyConfig.tanah_normal_a,
fuzzyConfig.tanah_normal_b, fuzzyConfig.tanah_normal_c,
fuzzyConfig.tanah_normal_d);
float tanahBasah = grade(kelembaban, fuzzyConfig.tanah_basah_x0,
fuzzyConfig.tanah_basah_x1);
float r1 = fmin(suhuNormal, tanahKering); float z1 = fuzzyConfig.rule_z1;
float r2 = fmin(suhuRendah, tanahKering); float z2 = fuzzyConfig.rule_z2;
float r3 = fmin(suhuNormal, tanahBasah); float z3 = fuzzyConfig.rule_z3;
float r4 = suhuTinggi; float z4 = fuzzyConfig.rule_z4;
float r5 = fmin(suhuRendah, tanahBasah); float z5 = fuzzyConfig.rule_z5;
float r6 = fmin(suhuTinggi, tanahKering); float z6 = fuzzyConfig.rule_z6;
float r7 = fmin(suhuNormal, tanahNormal); float z7 = fuzzyConfig.rule_z7;
float numerator =
(r1 * z1) + (r2 * z2) + (r3 * z3) + (r4 * z4) +
(r5 * z5) + (r6 * z6) + (r7 * z7);
float denominator = r1 + r2 + r3 + r4 + r5 + r6 + r7;
float intensitas = (denominator != 0) ? (numerator / denominator) : 0.0;
String status = (intensitas >= fuzzyConfig.fuzzy_threshold) ? "ON" : "OFF";
if (suhu > fuzzyConfig.override_suhu_max || kelembaban >
fuzzyConfig.override_kelembaban_max) {
status = "OFF";
}
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
WiFiClientSecure client;
client.setInsecure();
HTTPClient https;
String url = String(host_simpan_data) +
"?suhu=" + String((int)suhu) +
"&kelembaban=" + String(kelembaban) +
"&intensitas=" + String((int)intensitas) +
"&status=" + status;

https.begin(client, url);
int code = https.GET();
https.end();
}

```



```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("S:" + String((int)suhu) + "C H:" + String(kelembaban) + "%");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Pompa: ");  
lcd.print(pompaMenyala ? "ON " : "OFF");  
Serial.print("Suhu: "); Serial.print((int)suhu);  
Serial.print("°C, Kelembaban: "); Serial.print(kelembaban);  
Serial.print("%, Intensitas: "); Serial.print((int)intensitas);  
Serial.print(", Status: "); Serial.println(status);  
}  
}
```