

## Rancang Bangun Smart Drip Irrigation System Berbasis IoT Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan Teknik Vertikultur

Andrias Fadillah<sup>\*1</sup>, Dendy Satria Nugraha<sup>2</sup>, Ulinuha Latifa<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>[2210631160028@student.unsika.ac.id](mailto:2210631160028@student.unsika.ac.id), <sup>2</sup>[2210631160007@student.unsika.ac.id](mailto:2210631160007@student.unsika.ac.id),  
<sup>3</sup>[ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id](mailto:ulinnuha.latifa@ft.unsika.ac.id)

### Abstrak

Sektor pertanian berperan penting dalam ketahanan pangan, namun menghadapi tantangan keterbatasan lahan akibat urbanisasi serta ketidakstabilan ketersediaan air. Sistem vertikultur menjadi salah satu solusi, tetapi pengelolaan air pada sistem ini sangat krusial karena keterbatasan media tanam. Irigasi tetes mampu mengatasi ketidakstabilan ketersediaan air dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air, namun metode konvensional masih kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem *smart drip irrigation* berbasis *Internet of Things* menggunakan logika Fuzzy Mamdani untuk mengatur penyiraman secara otomatis. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor *soil moisture* HW-390. Data diproses oleh sistem kontrol berbasis Fuzzy untuk menentukan kecepatan pompa dan ditampilkan melalui aplikasi monitoring secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki nilai error rata-rata sebesar 0,64% dengan tingkat presisi 99,36%, sedangkan sensor *soil moisture* mampu membedakan kondisi tanah kering, normal, dan lembab dengan baik. Sistem komunikasi perangkat keras dengan aplikasi monitoring menunjukkan performa yang stabil dengan nilai delay rata-rata 49,6 ms. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu mengelola penyiraman secara adaptif, meningkatkan efisiensi penggunaan air, serta mempermudah proses monitoring tanaman secara jarak jauh.

**Kata kunci:** *drip irrigation, ESP32, internet of things, logika fuzzy mamdani, vertikultur*

### *Design and Implementation of IoT-Based Smart Drip Irrigation System Using Mamdani Fuzzy Logic Control for Vertical Farming*

#### *Abstract*

*The agricultural sector plays an important role in food security; however, it faces challenges such as limited land availability due to urbanization and unstable water resources. Vertical farming is one potential solution, but water management in this system is crucial due to limited planting media. Drip irrigation can address water availability issues by improving water use efficiency; however, conventional methods are still less adaptive to environmental changes. This study aims to design an IoT-based smart drip irrigation system using Mamdani fuzzy logic to automatically regulate irrigation. The system utilizes an ESP32 microcontroller integrated with a DS18B20 temperature sensor and an HW-390 soil moisture sensor. The data are processed using a fuzzy-based control system to determine pump speed and are displayed through a real-time monitoring application. The results show that the DS18B20 sensor has an average error of 0.64% with a precision level of 99.36%, while the soil moisture sensor can effectively distinguish dry, normal, and moist soil conditions. The communication system between hardware and the monitoring application demonstrates stable performance with an average delay of 49.6 ms. Overall, the developed system is capable of adaptively managing irrigation, improving water use efficiency, and facilitating remote plant monitoring.*

**Keywords:** *drip irrigation, ESP32, fuzzy mamdani logic, internet of things, vertical farming.*

## 1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor penting yang mendukung ketahanan pangan di Indonesia serta berperan besar dalam perekonomian nasional[1]. Sektor pertanian tidak hanya menyediakan kebutuhan pangan bagi masyarakat, tetapi juga menjadi sumber mata pencaharian bagi sebagian besar penduduk[2]. Namun, seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pesatnya urbanisasi, ketersediaan lahan pertanian semakin berkurang,

khususnya di wilayah perkotaan. Selain itu, perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya air juga menjadi tantangan serius yang dapat mempengaruhi produktivitas pertanian.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023, luas penutupan lahan pertanian mencapai 32.247 hektar. Kondisi ini mengindikasikan adanya tekanan terhadap ketersediaan lahan pertanian produktif, terutama di wilayah dengan tingkat urbanisasi yang tinggi. Kondisi tersebut menjadi tantangan dalam mewujudkan ketahanan pangan, yang mencakup pemenuhan kebutuhan pangan setiap rumah tangga dari aspek kuantitas, kualitas, keamanan, serta keterjangkauan[3]. Oleh karena itu, keterbatasan lahan menuntut penerapan metode pertanian yang lebih efisien, seperti sistem vertikultur.

Vertikultur merupakan teknik budidaya tanaman secara vertikal, di mana tanaman ditanam pada media yang disusun secara bertingkat. Media tanam yang digunakan dapat berupa pipa, botol, atau wadah lainnya, sehingga memungkinkan pemanfaatan lahan secara lebih efisien[4]. Dalam sistem vertikultur, pengelolaan air menjadi aspek yang sangat penting karena volume media tanam yang terbatas dapat mempengaruhi kondisi tanaman. Defisit air berpotensi menghambat pertumbuhan tanaman, menimbulkan kekeringan pada bagian daun dan buah, serta menurunkan produktivitas. Di sisi lain, kelebihan air pada media tanam yang terbatas dapat menyebabkan pembusukan akar, meningkatkan pertumbuhan jamur, dan mengurangi kandungan nutrisi dalam media tanam[5].

Selain itu, kondisi iklim di Indonesia yang tidak menentu serta potensi kekeringan di beberapa wilayah turut memperparah keterbatasan ketersediaan air untuk kebutuhan irigasi. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2023, jumlah kejadian kekeringan di Indonesia mencapai 49 kejadian, dengan 23 kejadian terjadi di Jawa Tengah yang disebabkan oleh penurunan intensitas hujan dan kemarau berkepanjangan[6]. Ketidakstabilan curah hujan tersebut menyebabkan suplai air menjadi tidak konsisten, sehingga tanaman berisiko mengalami stres air apabila tidak dikelola dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan air yang tepat menjadi faktor krusial, terutama pada sistem vertikultur yang memiliki kapasitas media tanam terbatas. Oleh karena itu, diperlukan metode irigasi yang mampu mendistribusikan air secara efisien dan terkontrol, seperti sistem irigasi tetes

Sistem irigasi tetes merupakan metode penyiraman yang menyalurkan air secara langsung ke zona akar tanaman dalam jumlah yang terkontrol dan bertahap[7]. Metode ini dikenal mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air karena meminimalkan kehilangan akibat evaporasi dan limpasan[8]. Selain itu, irigasi tetes juga dapat menjaga kelembaban tanah tetap stabil sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, khususnya pada sistem vertikultur. Namun demikian, sistem irigasi tetes konvensional umumnya masih menggunakan pendekatan berbasis waktu atau batas nilai tertentu, sehingga kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dinamis, seperti variasi kelembaban tanah dan suhu. Pendekatan ini berpotensi menyebabkan pemberian air yang tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengendalian yang lebih cerdas dan adaptif dalam menentukan kebutuhan air tanaman.

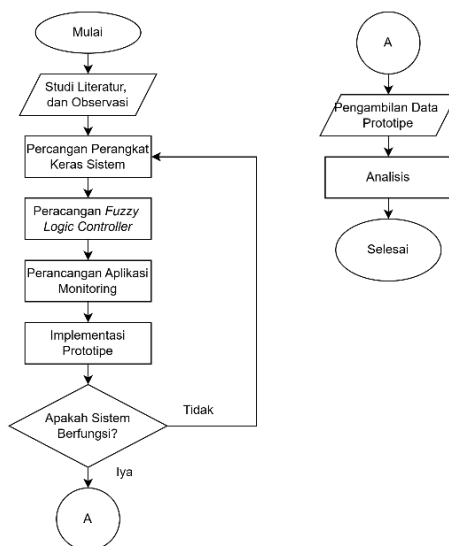
Penelitian oleh Priono *et al.* mengembangkan *smart drip irrigation system* berbasis IoT untuk tanaman tomat yang mampu mengontrol penyiraman secara otomatis menggunakan metode ambang (*threshold*) dan menampilkan data secara *real-time*[9]. Penelitian lain oleh Saputra *et al.* merancang sistem irigasi tetes otomatis berbasis sensor *soil moisture* dan ESP32 yang juga bekerja menggunakan metode ambang (*threshold*) untuk mengaktifkan pompa air, sehingga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air[10]. Penelitian lain oleh Satria Bagus Prasetya *et al.* mengembangkan sistem irigasi tetes otomatis berbasis logika fuzzy Takagi–Sugeno dengan memanfaatkan sensor suhu dan kelembaban tanah sebagai parameter input. Sistem ini dirancang untuk mengatur durasi penyiraman secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan yang terukur secara *real-time*. Implementasi menggunakan mikrokontroler ESP8266 serta *solenoid valve* sebagai aktuator utama[5]. Penelitian sebelumnya sebagian besar masih menggunakan pendekatan *threshold* atau metode fuzzy dengan kompleksitas yang relatif tinggi.

Berdasarkan permasalahan dan penelitian terdahulu, penelitian ini mengusulkan pengembangan *smart drip irrigation system* berbasis IoT dengan menggunakan metode logika fuzzy Mamdani yang lebih sederhana dan fleksibel, serta diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan kinerja sistem pada tanaman vertikultur. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu DS18B20 dan sensor *soil moisture* HW390 yang berfungsi untuk membaca kondisi lingkungan tanaman, serta mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses yang mengimplementasikan kendali berbasis logika fuzzy Mamdani untuk mengatur laju aliran air melalui pompa. Mikrokontroler ESP32 terhubung dengan jaringan internet untuk mengirimkan data ke basis data Google *Firestore* dan menampilkannya pada aplikasi monitoring secara *real-time*. Air dialirkan dari wadah penampungan melalui selang menuju *dripper* yang menghasilkan tetesan air dengan debit yang disesuaikan berdasarkan kondisi tanaman.

Melalui teknologi ini, pengguna diharapkan dapat memantau sistem irigasi secara jarak jauh dengan lebih mudah, serta memperoleh sistem penyiraman yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

**2. METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode rekayasa eksperimental dengan fokus pada perancangan dan pengembangan sistem pintar irigasi tetes berbasis IoT dengan menggunakan kendali logika fuzzy Mamdani pada media tanam vertikal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah melakukan perancangan dan pembuatan sebuah *prototype* sistem irigasi tetes pintar yang mampu meregulasi debit air secara adaptif menggunakan kendali logika fuzzy Mamdani, guna mengoptimalkan penggunaan air pada struktur vertikultur berbasis tanah dengan efisiensi dan presisi tinggi berdasarkan kebutuhan air pada tanaman.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan observasi terhadap penelitian sebelumnya dan berbagai referensi ilmiah yang sesuai dengan penelitian *Smart Drip Irrigation System* dan Kontrol Logika Fuzzy. Tahapan penelitian dilanjutkan dengan proses perancangan keseluruhan sistem yang mencakup arsitektur sistem, komponen perangkat keras, aplikasi monitoring, dan perancangan kontrol berbasis logika fuzzy Mamdani. Tahap selanjutnya adalah implementasi prototipe untuk menguji keseluruhan sistem, yang mencakup mikrokontroler, sensor, aktuator, dan sistem kontrol. Setelah sistem dinyatakan berfungsi, tahap selanjutnya adalah pengambilan data prototipe untuk proses pengujian komponen, sistem kontrol, dan evaluasi kinerja dari sistem.

**2.1. Kajian Teori**

**2.1.1. Teknik Vertikultur**

Teknik vertikultur merupakan metode budidaya tanaman yang dilakukan secara vertikal atau bertingkat dengan tujuan mengoptimalkan pemanfaatan lahan yang terbatas, terutama di daerah perkotaan[11]. Sistem ini memanfaatkan media tanam yang disusun ke atas, seperti pipa PVC, rak, atau wadah bertingkat, sehingga memungkinkan penanaman dalam jumlah lebih banyak pada area yang sempit. Teknik vertikultur memiliki beberapa keunggulan, antara lain efisiensi penggunaan ruang, penghematan air, serta kemudahan dalam perawatan dan pengendalian hama[12]. Gambar 2 merupakan contoh teknik vertikultur untuk budidaya tanaman.



Gambar 2. Penerapan Teknik Vertikultur

### 2.1.2. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler *system on chip* yang dikembangkan oleh *Espressif System*. Fitur Utama pada ESP32 adalah konektivitas *Wifi* dan *Bluetooth*, sehingga banyak digunakan untuk proyek *Internet of Things* (IoT)[13]. ESP32 memiliki komputasi tinggi karena dilengkapi dengan prosesor *dual core* yang dapat menunjang proses pengolahan data dengan cepat. Selain itu ESP32 mendukung berbagai *peripheral input* maupun *output* seperti ADC (*Analog to Digital Converter*), DAC (*Digital to Analog Converter*), I2C, UART, SPI, dan PWM[14]. Gambar 3 merupakan mikrokontroler ESP32.



Gambar 3. Mikrokontroler ESP32

### 2.1.3. Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan dengan mengonversi perubahan temperatur menjadi sinyal digital[15]. Sensor ini mendukung resolusi pengukuran 9-bit hingga 12-bit dan beroperasi menggunakan protokol komunikasi 1-Wire, yang memungkinkan komunikasi dengan mikrokontroler melalui satu jalur data. DS18B20 memiliki tiga pin utama, yaitu VCC, GND, dan pin data seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Rentang pengukuran suhu sensor ini berada antara  $-10^{\circ}\text{C}$  hingga  $+85^{\circ}\text{C}$  dengan akurasi sekitar  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . [16].



Gambar 4. Sensor DS18B20

### 2.1.4. Sensor Soil Moisture

Sensor soil moisture merupakan alat yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah melalui kandungan air yang terdapat pada media tanah. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan konduktivitas atau resistansi listrik pada tanah, di mana tanah yang basah memiliki konduktivitas lebih tinggi dibandingkan tanah yang kering[17]. Sensor kelembaban tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor soil moisture *capacitive* HW390 yang menghasilkan keluaran berupa sinyal analog dengan tegangan kerja 3,3V sampai 5V dan kedalaman deteksi 3 – 5 cm. Gambar 5 merupakan modul sensor *soil moisture* HW390



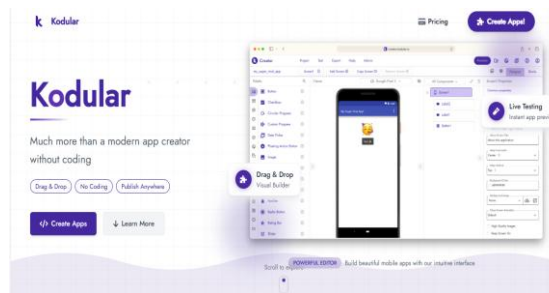
Gambar 5. Sensor Soil Moisture HW390

2.1.5. Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy Logic Controller (FLC)* merupakan metode sistem kendali cerdas yang berdasarkan pada logika fuzzy, yaitu pendekatan yang meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan dengan menggunakan nilai keanggotaan, bukan hanya logika biner (0 dan 1). Dalam FLC, data input yang berupa nilai numerik diubah menjadi variabel linguistik melalui proses *fuzzifikasi*, kemudian diproses menggunakan *rule base* pada tahap *inferensi*, dan selanjutnya dikonversi kembali menjadi nilai tegas (*crisp*) melalui proses *defuzzifikasi*. Dalam penelitian ini digunakan metode Mamdani, yaitu metode yang menggunakan operasi *MIN* untuk implikasi dan *MAX* untuk agregasi, serta umumnya menggunakan metode *centroid* dalam proses *defuzzifikasi* untuk menghasilkan output.

2.1.6. Kodular

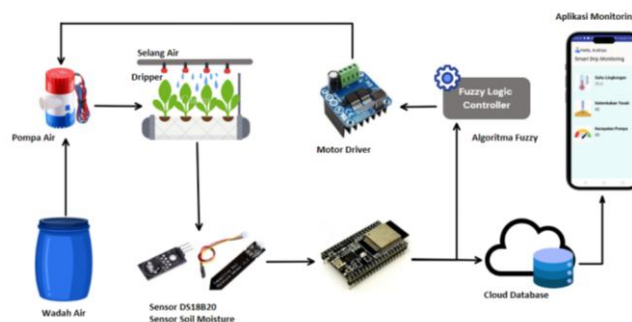
Kodular adalah platform pengembangan aplikasi Android berbasis pemrograman visual yang memungkinkan pembuatan aplikasi tanpa penggunaan penulisan kode secara langsung. Kodular menggunakan konsep *block-based programming* dengan sistem *drag-and-drop*, sehingga memudahkan pengguna dalam merancang logika aplikasi secara intuitif[18]. Platform ini juga menyediakan berbagai komponen bawaan seperti antarmuka pengguna, konektivitas database, serta integrasi dengan perangkat IoT[19]. Gambar 6 merupakan tampilan utama dari platform web Kodular.



Gambar 6. Platform Web Kodular

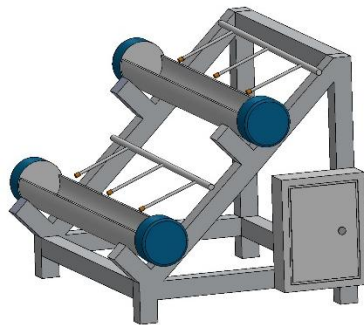
2.2. Perancangan Arsitektur Sistem

Sistem irigasi tetes pintar yang dirancang terdiri dari komponen sensor suhu DS18B20, sensor soil moisture kapasitif, mikrokontroler ESP32, *motor driver*, dan *motor pump*. Sedangkan untuk perangkat lunak terdiri dari aplikasi monitoring, dan *database*. Gambar berikut merupakan desain arsitektur *Smart Drip Irrigation System*.



Gambar 7. Perancangan Arsitektur *Smart Drip Irrigation System*

Gambar 7 menunjukkan arsitektur dari sistem *Smart Drip Irrigation*, sensor DS18B20 ditempatkan di sekitar media tanam vertikal untuk mengukur suhu dan kelembapan udara lingkungan. Sedangkan, sensor *soil moisture* diletakkan di dalam media tanam, tepat di area perakaran, untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah. Data lingkungan yang diperoleh dari kedua sensor tersebut dikirimkan menuju mikrokontroler ESP32 untuk diolah menggunakan algoritma sistem kendali logika fuzzy. Proses tersebut menghasilkan sinyal kendali untuk meregulasi kecepatan hisapan pompa air. Pompa akan menghisap air dari tandon dan mendistribusikannya melalui saluran pipa menuju *dripper* pada setiap tanaman. Selain melakukan kendali aktuator, ESP32 juga mengirimkan data ke database melalui jaringan internet, sehingga aplikasi monitoring dapat menampilkan dashboard parameter secara real-time.

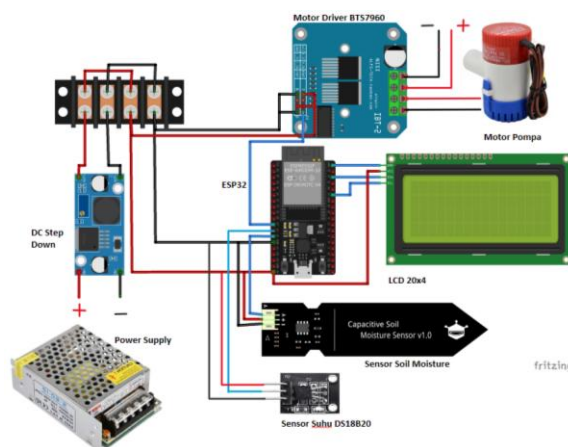


Gambar 8. Perancangan Desain 3 Dimensi

Gambar 8 menunjukkan rancangan desain tiga dimensi sistem *Smart Drip Irrigation* pada tanaman vertikultur. Media tanam disusun secara vertikal menggunakan pipa PVC yang ditempatkan pada rangka penopang. Setiap media tanam dilengkapi dengan dripper tetes yang saling terhubung melalui jaringan pipa. Selain itu, terdapat panel boks yang digunakan sebagai tempat penyimpanan komponen elektronik

### 2.3. Perancangan Hardware dan Software

Skema perangkat keras yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemrosesan data dan pusat kendali sistem. Mikrokontroler ESP32 terhubung dengan sensor DS18B20 sebagai pendeteksi suhu lingkungan dan sensor *soil moisture* untuk memantau tingkat kelembaban tanah. Selain itu, mikrokontroler diintegrasikan dengan *motor driver* BTS7960 untuk mengendalikan kecepatan hisapan pompa air. Sistem ini juga dilengkapi dengan layar LCD 20x4 yang berfungsi sebagai antarmuka pemantauan data secara langsung. Seluruh komponen elektronik mendapatkan suplai daya dari komponen *Power Supply* DC yang telah diregulasi menggunakan komponen *DC Step Down*. Gambar 9 merupakan skema wiring perancangan *hardware*.



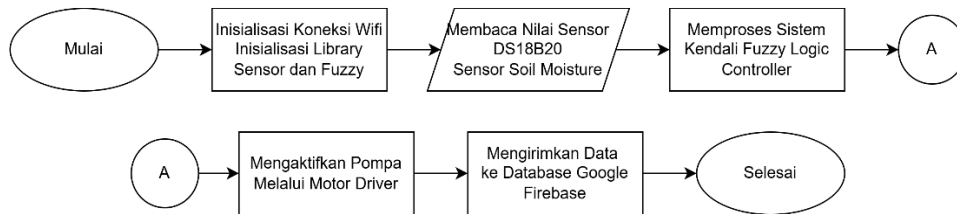
Gambar 9. Skema *Wiring* Komponen

Tabel 1 merupakan konfigurasi alamat dari komponen sensor dan aktuator yang terhubung pada mikrokontroler ESP32 yang sesuai dengan spesifikasi dari setiap komponen.

Tabel 1. Alamat Pin ESP32

Komponen Terhubung	Pin Komponen	Komponen ESP32
Sensor DS18B20	Digital Output	12
Sensor Soil Moisture	Analog Output	14
Motor Driver BTS7960	R-PWM	27
	L-PWM	GND
	R-EN	5V
	L-EN	5V
LCD 20x4 I2C	SDA	22
	SCL	21

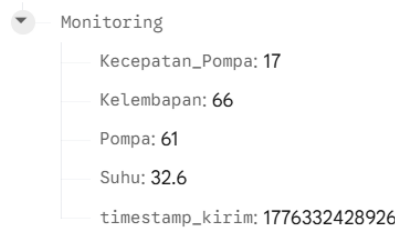
Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini berfokus pada pengembangan algoritma kendali pada mikrokontroler ESP32 menggunakan framework Arduino IDE. Alur Program ini mencakup inisialisasi koneksi wifi dan *library*, integrasi pembacaan sensor secara real-time, pemrosesan logika Fuzzy Mamdani untuk mengontrol pompa melalui *motor driver*, hingga transmisi data ke database Google *Firebase* melalui protokol komunikasi Wi-Fi. Gambar 10 merupakan alur program pada mikrokontroler ESP32.



Gambar 10. Alur Program ESP32

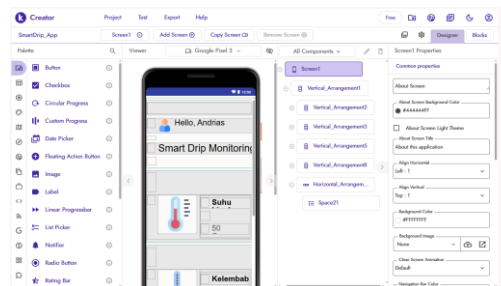
#### 2.4. Perancangan Aplikasi *Monitoring*

Perancangan aplikasi *monitoring* dalam penelitian ini mencakup perancangan *database* pada Google *Firebase* dan aplikasi Android menggunakan Kodular. Google *Firebase* digunakan untuk mengelola data secara real-time yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 melalui jaringan internet. *Firebase* menyimpan parameter yang dibaca oleh sensor seperti suhu lingkungan dan kelembapan tanah, serta status dari aktuator. Fitur *Realtime Database* pada Google *Firebase* digunakan untuk sinkronisasi data secara *realtime* setiap kali terjadi perubahan nilai pada sisi pembacaan oleh alat. Struktur *database* yang dirancang dalam penelitian ini terdiri dari satu *node* utama yang berisi berbagai parameter seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Struktur *Database* Google *Firebase*

Pada sistem ini, aplikasi *monitoring* berfungsi sebagai media antarmuka pengguna yang memungkinkan pemantauan kinerja sistem dan kondisi lingkungan secara jarak jauh dan *real-time*. Pada penelitian ini, aplikasi dikembangkan menggunakan *platform* Kodular, yang memungkinkan perancangan aplikasi berbasis Android dengan integrasi terhadap database Google *Firebase*. Antarmuka pada aplikasi terdiri dari pembacaan suhu lingkungan, kelembapan tanah, dan kecepatan hisapan pompa. Proses perancangan antarmuka aplikasi *monitoring* ditunjukkan pada gambar 12.

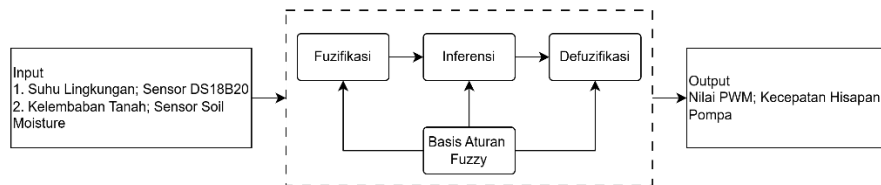


Gambar 12. Pembuatan Antarmuka Aplikasi melalui Kodular

#### 2.5. Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

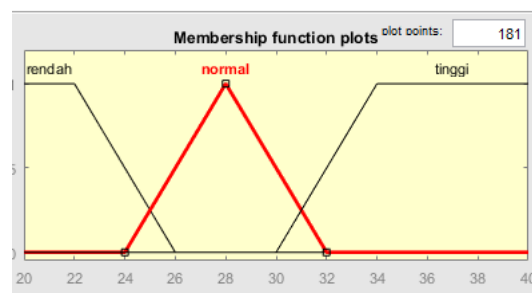
Algoritma logika fuzzy dengan metode Mamdani digunakan untuk mengendalikan aktuator pompa air secara presisi sesuai dengan kebutuhan tanaman berdasarkan data masukan dari sensor. Perancangan kontroler logika

fuzzy dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan diimplementasikan ke dalam ESP32 melalui pemrograman berbasis Arduino IDE. Kontroler fuzzy Mamdani yang dirancang ini menerima dua variabel masukan, yaitu suhu lingkungan dan kelembapan tanah, untuk menghasilkan satu variabel keluaran berupa nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) guna meregulasi kecepatan pompa. Arsitektur sistem kendali tersebut ditunjukkan diagram blok pada gambar 13.



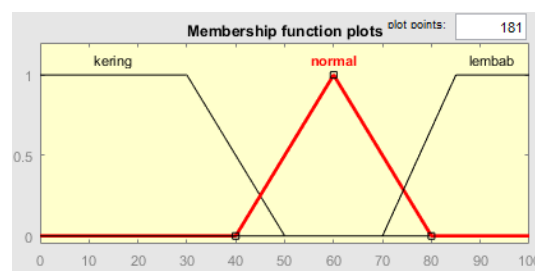
Gambar 13. Diagram Blok Fuzzy Logic Controller

Variabel masukan pertama adalah suhu lingkungan yang dikategorikan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Rentang suhu normal yang optimal bagi pertumbuhan tanaman hortikultura, seperti sayuran daun dan buah-buahan kecil, berada pada kisaran 24°C hingga 32°C. Sementara itu, rentang suhu rendah dikategorikan pada nilai 20°C sampai 26°C, dan rentang untuk suhu tinggi ditetapkan pada nilai 30°C sampai 40°C. Gambar 14 merupakan plot kurva *membership function* untuk variabel suhu lingkungan.



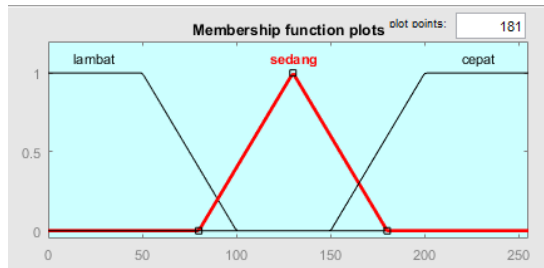
Gambar 14. Kurva Membership Suhu

Variabel input kedua adalah kelembapan tanah yang diukur dalam rentang persentase yaitu dari 0% sampai 100%. Variabel kelembapan diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan, yaitu kering, normal, dan lembab. Kering mengindikasikan tanah kekurangan air dengan rentang 0% sampai 50%, normal merupakan kondisi ideal untuk hortikultura yaitu 40% sampai 80%, dan lembab merupakan kondisi tanah sangat basah dengan rentang 70% sampai 100%. Gambar 15 merupakan plot kurva *membership function* untuk variabel kelembapan tanah.



Gambar 15. Kurva Membership Kelembaban Tanah

Variabel keluaran dari fuzzy logic controller dalam penelitian ini adalah nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berfungsi untuk meregulasi kecepatan putaran aktuator pompa air. Variabel PWM tersebut dikategorikan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu lambat, sedang, dan cepat. Rentang operasional variabel PWM berada pada nilai 0 hingga 255, dengan rincian kategori lambat pada rentang 0 hingga 100, sedang pada rentang 80 hingga 180, serta cepat pada rentang 150 hingga 255. Gambar 16 merupakan plot kurva *membership function* untuk variabel nilai PWM.



Gambar 16. Kurva *Membership* Nilai PWM

Proses inferensi dalam sistem kendali irigasi ini menggunakan *Rule Base* yang disusun berdasarkan penelitian terkait dan pengamatan kondisi tanah. Dengan total sembilan aturan fuzzy, sistem dapat menentukan nilai keluaran PWM secara dinamis. Basis aturan tersebut mengintegrasikan hubungan antara kondisi suhu lingkungan dan kelembaban tanah untuk memastikan efisiensi penggunaan air. Hubungan antara variabel masukan dan keluaran dituliskan dalam matriks aturan pada gambar 17.

Kelembaban \ Suhu	Rendah	Normal	Tinggi
	Kering	Sedang	Cepat
Normal	Lambat	Sedang	Cepat
Lembab	Lambat	Lambat	Sedang

Gambar 17. Matriks Aturan Fuzzy

## 2.6. Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa metode, meliputi pengujian akurasi sensor, pengujian karakteristik sensor, pengujian performa komunikasi, serta pengujian fungsional sistem kendali berbasis logika Fuzzy Mamdani menggunakan metode *black box*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Perancangan Smart Drip Irrigation System

Hasil perancangan *smart drip irrigation system* akan diimplementasikan melalui pengujian sistem secara menyeluruh yang mencakup integrasi pembacaan data sensor, pemrosesan logika fuzzy sebagai unit kendali, serta pengaturan laju aliran pompa untuk menghasilkan debit air yang presisi pada penetes (*dripper*) irigasi. Gambar 18 merupakan hasil perancangan alat.



Gambar 18. Hasil Keseluruhan Perancangan Alat

Gambar 18 menunjukkan sistem tersusun dari beberapa komponen utama, diantaranya ESP32 yang berfungsi untuk mengelola dan mengirimkan data ke *cloud*. Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu lingkungan,

sedangkan sensor *soil moisture* HW-390 berfungsi untuk membaca kelembaban tanah. *Motor driver* digunakan untuk mengatur laju hisapan pompa, dan LCD digunakan untuk menampilkan data secara langsung. Selain itu, terdapat komponen pendukung seperti *power supply* dan *DC step-down* yang berfungsi untuk menyuplai daya ke seluruh komponen sistem. Beberapa komponen ditempatkan di dalam box panel guna melindungi perangkat dari pengaruh lingkungan luar. Selain itu, hasil perancangan menunjukkan sensor *soil moisture* yang ditanam pada media tanam vertikal untuk mengukur tingkat kelembaban tanah. Pada bagian atas media tanam, terdapat *dripper* yang berfungsi menyalurkan air dalam bentuk tetesan dan terhubung dengan pompa air di dalam wadah penampung. Hasil implementasi alat mengindikasikan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi, mulai dari proses akuisisi data sensor hingga pengendalian debit tetesan irigasi secara otomatis.

### 3.2. Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Pengujian sensor DS18B20 dilakukan melalui perbandingan antara data hasil akuisisi sensor dengan nilai referensi pada perangkat *Smart Drip* terhadap alat ukur *Thermohygrometer* terkalibrasi sebagai referensi. Pengujian ini dilaksanakan sebanyak 10 kali pengambilan sampel pada rentang waktu yang berbeda guna mendapatkan variasi data suhu lingkungan yang representatif. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi, presisi, dan besaran galat dari sensor DS18B20. Proses pengujian sensor ditunjukkan pada Gambar 19, yang memperlihatkan penempatan sensor dan alat ukur referensi selama pengambilan data.



Gambar 19. Pengujian Sensor DS18B20

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Sensor DS18B20

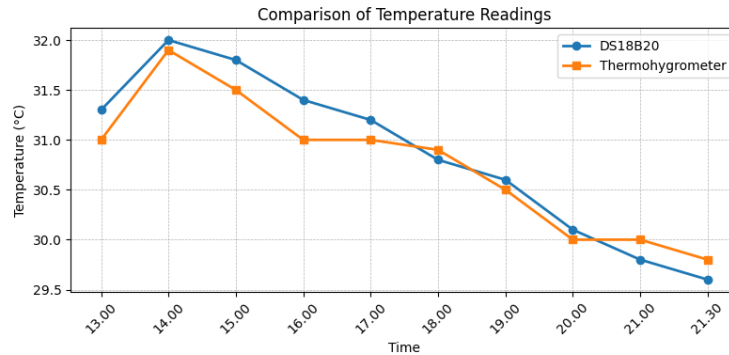
No	Waktu	DS18B20 (°C)	Thermohygrometer (°C)	Error (%)
1	13.00	31,3	31	0,97
2	14.00	32	31,9	0,31
3	15.00	31,8	31,5	0,95
4	16.00	31,4	31	1,29
5	17.00	31,2	31	0,65
6	18.00	30,8	30,9	0,32
7	19.00	30,6	30,5	0,33
8	20.00	30,1	30	0,33
9	21.00	29,8	30	0,67
10	21.30	29,6	29,8	0,67
<b>Rata-Rata</b>				<b>0,64</b>

Persamaan (1) merupakan persamaan untuk menghitung nilai error dari setiap pengukuran sensor DS18B20. Sensor merupakan nilai dari pembacaan sensor, dan referensi merupakan nilai dari pembacaan thermohygrometer.

$$Error (\%) = \frac{|sensor-referensi|}{referensi} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil pengujian pada tabel 2 menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki kinerja yang baik dengan rata-rata error sebesar 0,64%, yang menghasilkan tingkat akurasi sekitar 99,36%. Nilai error pada setiap pengukuran berada pada rentang yang relatif kecil, yaitu kurang dari 1,3%, yang menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor mendekati nilai referensi yang diukur menggunakan *thermohygrometer*. Selain itu, sensor DS18B20 juga menunjukkan tingkat presisi yang cukup tinggi, yang ditunjukkan oleh konsistensi selisih pembacaan antara sensor dan alat referensi yang relatif stabil pada setiap pengujian. Selisih suhu yang terukur umumnya berada pada rentang

0,0°C hingga 0,4°C, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten dalam berbagai kondisi waktu pengujian.



Gambar 20. Kurva Perbandingan DS18B20 dengan *Thermohygrometer*

Gambar 20 merupakan kurva pengujian yang menunjukkan sensor DS18B20 memiliki kinerja yang baik dalam hal akurasi dan linearitas. Hal tersebut ditunjukkan oleh pola pergerakan data sensor yang mengikuti tren garis referensi *thermometer* secara konsisten. Kedua kurva memperlihatkan kecenderungan penurunan suhu dari waktu ke waktu dengan pola yang serupa, sehingga menunjukkan bahwa sensor mampu merepresentasikan perubahan suhu lingkungan dengan cukup akurat. Meskipun terdapat sedikit deviasi antara nilai pembacaan sensor dan alat referensi pada beberapa titik pengukuran, selisih tersebut relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor DS18B20 memiliki kemampuan yang baik dalam mengikuti dinamika perubahan suhu secara *real-time*.

### 3.3. Hasil Pengujian Sensor *Soil Moisture*

Pengujian sensor soil moisture bertujuan untuk menilai kemampuan sensor dalam mengidentifikasi perubahan kelembaban tanah pada sistem media tanam vertikal. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengamati perubahan nilai sensor terhadap variasi kondisi tanah, yaitu kering, lembab, dan basah. Proses pengujian dilakukan dengan cara menanam sensor pada media tanam vertikultur, kemudian diberikan penambahan air secara bertahap. Parameter yang diamati adalah nilai keluaran sensor yang dikonversi kedalam persentase kelembaban. Proses Pengujian ditunjukkan pada gambar 21.



Gambar 21. Pengujian Sensor *Soil Moisture*

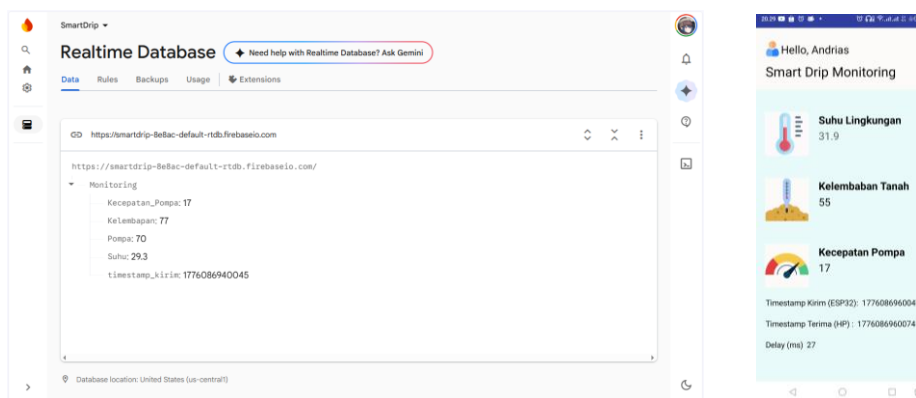
Tabel 3. Data Hasil Pengujian Sensor *Soil Moisture*

No	Waktu	Kondisi Tanah	Nilai Sensor (%)
1	08.00	Lembab	82
2	09.00	Lembab	81
3	10.00	Normal	63
4	11.00	Normal	58
5	12.00	Normal	52
6	13.00	Kering	37
7	14.00	Kering	34
8	15.00	Lembab	84
9	16.00	Lembab	79
10	17.00	Normal	62

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3. Pada kondisi lembab, nilai sensor berada pada rentang 79% hingga 84%. Nilai ini merupakan nilai tertinggi dibandingkan kategori lainnya, yang menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi kandungan air yang tinggi dalam media tanam. Pada kondisi normal, nilai sensor berada pada rentang 52% hingga 63%. Rentang ini berada di tengah antara kondisi kering dan lembab, yang menunjukkan bahwa sensor mampu mengidentifikasi kondisi kelembaban tanah yang optimal. Meskipun terdapat sedikit variasi nilai, perubahan tersebut masih dalam batas wajar dan tidak menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Sementara itu, pada kondisi kering, nilai sensor berada pada rentang 34% hingga 37%, yang merupakan nilai terendah dari seluruh pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat mendeteksi kondisi tanah dengan kandungan air yang rendah secara jelas. Secara keseluruhan, terdapat hubungan yang konsisten antara kondisi tanah dan nilai sensor, di mana nilai sensor meningkat seiring dengan bertambahnya kadar air dalam tanah.

### 3.4. Hasil Pengujian Aplikasi *Monitoring*

Pengujian aplikasi monitoring bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem dalam menyajikan data secara *real-time* yang ditransmisikan oleh ESP32 melalui koneksi internet. Parameter yang diamati pada pengujian ini meliputi nilai suhu, kelembapan tanah, serta kecepatan pompa yang dihasilkan oleh sistem kendali. Pengujian juga difokuskan pada aspek kualitas layanan (*Quality of Service*), seperti *delay* pengiriman data dari perangkat ke aplikasi. Pengukuran *delay* dilakukan dengan membandingkan timestamp saat data dikirim dari ESP32 dengan timestamp saat data diterima pada aplikasi. Timestamp pengiriman diperoleh dari sinkronisasi waktu menggunakan *Network Time Protocol* (NTP) pada ESP32, sedangkan timestamp penerimaan diperoleh dari sistem waktu pada perangkat pengguna. Proses pengujian aplikasi monitoring ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Proses Pengujian Aplikasi *Monitoring*

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Aplikasi *Monitoring*

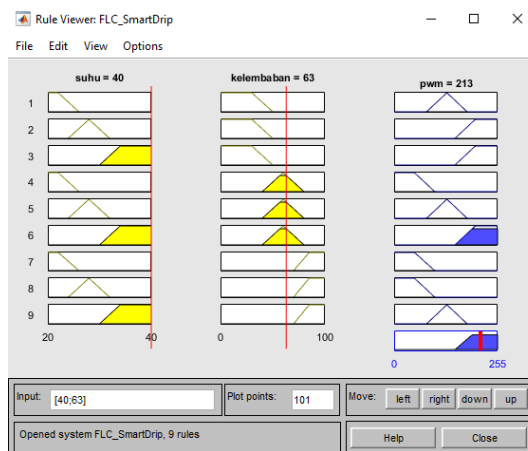
No	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Pompa (%)	Timestamp Kirim (ms)	Timestamp Terima (ms)	Delay (ms)
1	05:37:05	31,8	73%	68	1776126714269	1776126714280	11
2	05:37:15	31,8	73%	68	1776126724270	1776126724301	31
3	05:37:25	31,9	72%	73	1776126734271	1776126734336	65
4	05:37:35	31,8	72%	70	1776126754273	1776126754311	38
5	05:37:45	31,8	72%	70	1776126764274	1776126764342	68
6	05:37:55	31,7	73%	65	1776126784276	1776126784308	32
7	05:38:05	31,8	73%	68	1776126804278	1776126804343	65
8	05:38:15	31,8	72%	70	1776126814279	1776126814350	71
9	05:38:25	31,9	72%	73	1776126884286	1776126884364	78
10	05:38:35	31,9	72%	73	1776126904288	1776126904325	37
Rata-rata Delay (ms)							49,6

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4 yang telah dilakukan sebanyak 10 kali percobaan, diperoleh data parameter suhu, kelembapan, kecepatan pompa, serta waktu pengiriman dan penerimaan data yang digunakan untuk menghitung delay komunikasi antara ESP32 dengan aplikasi monitoring. Nilai delay yang dihasilkan berada pada rentang 11 ms hingga 78 ms, dengan rata-rata delay sebesar sekitar 49,6 ms. Variasi *delay* yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi jaringan internet, proses sinkronisasi data pada *Firestore*, serta waktu pemrosesan pada perangkat *mobile*. Meskipun terdapat fluktuasi, perubahan nilai delay tidak menunjukkan

lonjakan yang signifikan sehingga sistem masih dapat dikategorikan memiliki performa yang konsisten. Berdasarkan pada standar kualitas layanan jaringan (TIPHON), nilai delay di bawah 150 ms termasuk dalam kategori sangat baik[20]. Sehingga, sistem yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kualitas komunikasi yang baik dan layak digunakan untuk aplikasi monitoring berbasis IoT secara real-time.

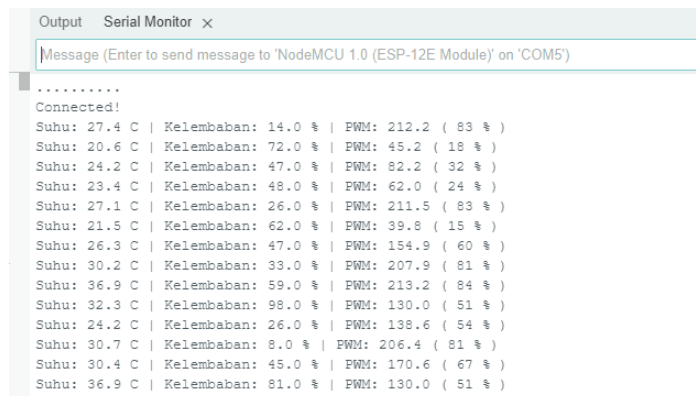
### 3.5. Hasil Pengujian *Fuzzy Logic Controller (FLC)*

Pengujian *Fuzzy Logic Controller (FLC)* dengan metode Mamdani dilakukan untuk menguji sistem kendali dalam merespons dinamika lingkungan. Proses pengujian ini mencakup tahapan inferensi dan defuzzifikasi yang dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB, serta implementasi perangkat keras pada mikrokontroler ESP32. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan nilai keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan oleh algoritma fuzzy terhadap fluktuasi data masukan dari sensor suhu lingkungan dan kelembapan tanah. Gambar 23 merupakan proses pengujian FLC menggunakan Matlab.



Gambar 23. Inferensi dan Defuzzifikasi MATLAB

Gambar 23 menunjukkan proses simulasi *inferensi* dan *defuzzifikasi* menggunakan perangkat lunak MATLAB. Pada pengujian ini, diberikan dua parameter masukan yaitu suhu sebesar 40°C dan kelembapan sebesar 63%. Secara otomatis, sistem melakukan tahapan *fuzzifikasi*, *inferensi*, dan *defuzzifikasi* berdasarkan rancangan kontroler yang telah ditetapkan. Hasil simulasi menunjukkan nilai keluaran PWM sebesar 213. Hal ini merepresentasikan kondisi di mana input suhu dikategorikan tinggi dan tingkat kelembapan berada pada kategori normal, sehingga menghasilkan output pada himpunan cepat. Hasil tersebut membuktikan bahwa logika kontroler telah bekerja secara akurat dan konsisten sesuai dengan basis aturan yang dirancang. Proses inferensi dan defuzzifikasi secara langsung pada ESP32 dilakukan dengan mengaktifkan sistem secara keseluruhan. Mikrokontroler ESP32 akan membaca nilai dari sensor secara periodik, kemudian memproses data tersebut menggunakan algoritma FLC (*Fuzzy Logic Controller*) untuk menghasilkan keluaran berupa nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) yang digunakan untuk mengontrol laju hisapan pompa melalui *motor driver*. Proses inferensi dan fuzzifikasi ini berlangsung secara real-time dan adaptif terhadap setiap perubahan nilai input sensor. Data hasil pengujian FLC pada perangkat ESP32 disajikan pada tabel berikut.



Gambar 24. Hasil Inferensi dan Defuzzifikasi Pada ESP32

Tabel 5. Data Hasil Pengujian FLC Pada ESP32

No	Suhu	Kelembaban	Nilai PWM	Keterangan Pompa
1	20,6	72	45,2	Lambat
2	23,4	48	62	Lambat
3	24,2	26	138,6	Sedang
4	30,7	8	206,4	Cepat
5	34,1	85	130	Sedang
6	38,6	40	208,5	Cepat
7	38	23	214	Cepat
8	40	63	213	Cepat
9	39	42	208	Cepat

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5, ketika suhu berada pada kategori rendah yaitu 20,6°C sampai 23,4°C dan kelembaban cenderung normal hingga lembap yaitu 48% sampai 72%, nilai PWM yang dihasilkan berada pada rentang 45,2 hingga 62. Hal ini menunjukkan sistem bekerja pada kondisi hisapan lambat untuk pompa air guna menghemat air dan mencegah kelebihan irigasi. Sebaliknya, pada saat suhu mencapai titik tinggi yaitu 30,7°C sampai 38°C dengan kelembaban tanah yang sangat kering yaitu 8% sampai 23%, nilai PWM meningkat sampai 200 yang termasuk himpunan cepat. Hal tersebut menunjukkan bahwa aturan fuzzy berhasil memprioritaskan pemberian air maksimal pada kondisi evaporasi tinggi. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali fuzzy pada ESP32 mampu meregulasi laju tetesan air secara presisi sesuai dengan kondisi lingkungan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan implementasi, sistem *Smart Drip Irrigation* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode logika fuzzy Mamdani pada media tanam vertikultur berhasil mengelola penyiraman tanaman secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan. Sistem dirancang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor *soil moisture* HW-390 untuk membaca parameter lingkungan, serta dapat dimonitor melalui LCD maupun aplikasi monitoring jarak jauh secara *real-time*

Hasil pengujian sensor DS18B20 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan nilai error rata-rata 0,64% dengan tingkat presisi mencapai 99,36%. Hal tersebut mengindikasikan sensor DS18B20 yang digunakan mampu membaca suhu dengan baik dan relatif stabil. Selain itu pengujian sensor *Soil Moisture* HW390 menunjukkan sensor mampu mendeteksi perbedaan tingkat kelembaban tanah dengan baik pada setiap kategori, yaitu kering, normal, dan lembab, serta konsistensi antara kadar air dalam tanah dan nilai keluaran yang dihasilkan. Dengan demikian sensor DS18B20 dan Sensor *Soil Moisture* HW390 memiliki kinerja yang baik dan layak digunakan sebagai parameter input suhu dan kelembaban dalam sistem kendali irigasi tetes berbasis logika fuzzy.

Pengujian aplikasi monitoring menunjukkan bahwa aplikasi mampu menampilkan data suhu, kelembaban tanah, dan kecepatan pompa secara *real-time* dengan baik. Sistem komunikasi antara ESP32 dan aplikasi juga menunjukkan kinerja yang stabil dengan nilai delay yang relatif rendah dan konsisten, yaitu berada pada rentang 11 ms hingga 78 ms dengan rata-rata sekitar 49,6 ms, serta telah memenuhi standar TIPHON dalam kategori sangat baik. Sementara itu, *Fuzzy Logic Controller* yang dirancang mampu berjalan dengan baik pada mikrokontroler ESP32 dalam mengolah data masukan dari sensor suhu dan kelembaban tanah untuk menghasilkan keluaran berupa pengaturan kecepatan pompa secara adaptif. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali yang dikembangkan dapat bekerja secara efektif dalam menyesuaikan kebutuhan air tanaman berdasarkan kondisi lingkungan secara otomatis dan *realtime*. Melalui penelitian ini, diharapkan sistem yang dikembangkan dapat diterapkan secara lebih luas serta dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Prahastomo and A. Kurniawan, "Implementasi Program Kemandirian Pertanian dan Perikanan Untuk Mendukung Ketahanan Pangan di Lembaga Pemasarakatan Pemuda Kelas IIA Madiun," *Al-Zayn J. Ilmu Sos. Huk.*, vol. 3, no. 4, pp. 5126–5134, 2025.
- [2] H. Maulana, A. Y. Fachriza, M. F. Azam, W. D. Maylinda, I. R. Pratama, and N. S. G. P. Moekti, "Implementasi Hidroponik Sebagai Bentuk Pertanian Modern Guna Meningkatkan Ketahanan Pangan di Desa Musir Lor," *J. Pengabd. Masy. Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 62–72, 2023.
- [3] W. Nurmawan and T. B. Ogie, "Pelatihan Teknik Vertikultur Sebagai Solusi Pertanian pada Lahan Terbatas di Kelurahan Mahakeret Timur Kota Manado," *J. Lentera Penelit. dan Pengabd. Masy. Hal.*, vol. 7, no. 1, pp. 38–41, 2026.

- 
- [4] M. S. Puspitasari and E. Agustina, "Pemanfaatan Botol Bekas Untuk Budidaya Teknik Vertikultur Pada Tanaman Sawi Caisim dan Kangkung," *J. Masy. DESA*, vol. 1, no. November, pp. 107–111, 2022.
- [5] M. S. N. Alif and K. M. D. Pertiwi, "Design and Implementation of an IoT-Based Smart Drip Irrigation System Using Takagi-Sugeno Fuzzy Logic for Melon Cultivation," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 9, no. 6, 2025.
- [6] A. H. Febriana and E. D. Prajayanti, "Gambaran Tingkat Pengetahuan Tentang Kesiapsiagaan Bencana Kekeringan di Desa Banyurip Kecamatan Jenar Kabupaten Sragen," *JHN J. Heal. Nurs.*, vol. 2, no. 2, pp. 39–48, 2024.
- [7] M. P. Bimantio, A. Noviyanto, G. I. Jaya, D. T. Raharjo, and A. Keviana, "Desain Pertanian Berkelanjutan di Lanskap Karst Gunungkidul: Integrasi Pemanenan Air, Akuakultur, dan Irigasi Tetes," *Agroteknika*, vol. 8, no. 2, pp. 288–301, 2025.
- [8] H. Hermawan *et al.*, "Penerapan Metode Irigasi Tetes Guna Mendukung Kegunaan Air yang Efisien di Desa Ketangga Kecamatan Suwela Kabupaten Lombok Timur," *J. Pengabd. Magister Pendidik. IPA*, vol. 7, no. 3, 2024.
- [9] A. Priono and D. S. Putro, "Perancangan Smart Drip Irrigation System Berbasis Iot Pada Tanaman Tomat Untuk Praktikum Sistem Fertigasi dan Teknologi Greenhouse Di Laboratorium Teknik Tata Air," *J. Pengemb. Potensi Lab.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2022.
- [10] M. J. Saputra and R. R. Suryono, "Technology Implementation Drip Irrigation on Plants Corn uses Soil Moisture Sensor and Esp 32 Microcontroller Implementasi Teknologi Irigasi Tetes pada Tanaman Jagung Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Mikrokontroler Esp32," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 5, no. January, pp. 111–118, 2025.
- [11] Riani, Martina, Zuriani, R. Ariani, Barnawi, and Adhiana, "Pemanfaatan Pekarangan Dengan Budidaya Sayuran Teknik Vertikultur Dalam Mendukung Wirausaha Agribisnis dan Ketahanan Pangan di Gampong Keutapang Kecamatan Syamtalira Aron Kabupaten Aceh Utara," *J. Solusi Masy. Dikara*, vol. 2, no. 3, pp. 129–134, 2022.
- [12] U. A. N. Afifah *et al.*, "Pelatihan Penerapan Teknik Vertikultur dalam Rangka Pemanfaatan Lahan Pekarangan dengan Berbudidaya Tanaman untuk Peningkatan Taraf Hidup kepada Kelompok Wanita Tani Ciharashas Kelurahan Mulyaharja Bogor," *PengabdianMu*, vol. 10, no. 1, pp. 300–310, 2025.
- [13] S. P. Santoso and J. N. Sitohang, "Perancangan Alat Kendali Penabur Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler ESP32 Firebase," *J. Elektro*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [14] H. K. AR, "Implementasi Iot Pada Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan ESP32, Firebase dan Kodular," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 1, pp. 1781–1787, 2025.
- [15] A. Fahma, Y. Saputro, and D. A. Prasetya, "Rancang Bangun Thermopen Sebagai Pengukur Suhu Menggunakan Sensor DS18B20 Dalam Internet of Things," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, pp. 26–33, 2022, doi: 10.23917/emit.v22i1.14928.
- [16] M. B. R. Huda and W. D. Kurniawan, "Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor DS18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino," *JRM (Jurnal Rekayasa Mesin)*, vol. 07, pp. 18–23, 2022.
- [17] P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 31–34, 2022.
- [18] D. Marini *et al.*, "Pengembangan Kreativitas Siswa SMK Binamitra dalam Membuat Aplikasi Android Sederhana Berbasis Block Programming," *PROFICIO J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 6, pp. 693–700, 2025.
- [19] M. Ramdani, A. R. Hakim, and Irwansyah, "Sistem Monitoring Rumah Burung Walet Berbasis Internet of Things Menggunakan Kodular dan Firebase," *J. Vokasi Tek.*, vol. 3, no. 2, 2025.
- [20] H. R. Oktaseli and A. A. Slameto, "Evaluation of Wireless LAN Quality of Service ( QoS ) in Primary Education Using TIPHON Standards," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 9, no. 2, 2025.