

# Prototipe Sistem Cerdas dalam Pengairan Rumah Tangga Berbasis IOT Menggunakan Metode Logika Fuzzy Sugeno

Muhammad Rizki Madani\*, Rakhmat Kurniawan

Ilmu Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: <sup>1</sup>\*muhammadrizkimadani@gmail.com, <sup>2</sup>rakhmatkurniawan@uinsu.ac.id

Email Penulis Korespondensi: muhammadrizkimadani@gmail.com\*

Submitted: 13/03/2026; Accepted: 29/03/2026; Published: 31/03/2026

**Abstrak**— Pengelolaan air rumah tangga yang efisien masih menjadi permasalahan akibat distribusi yang tidak terkontrol. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem pengairan rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode logika fuzzy Sugeno untuk pengambilan keputusan otomatis. Sistem dirancang menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali dan ESP8266 sebagai node sensor pada toren, bak mandi, dan kran otomatis, dengan sensor ultrasonik sebagai input utama. Pengujian dilakukan pada sembilan skenario kombinasi level air. Hasil menunjukkan bahwa sistem menghasilkan keputusan yang sesuai dengan rule base pada seluruh skenario (akurasi 100%), serta mampu mengatur prioritas distribusi air dengan benar, yaitu memprioritaskan pengisian toren sebelum bak mandi. Selain itu, sistem berhasil menghindari konflik aktuator (tidak ada valve yang aktif bersamaan) dan menonaktifkan pompa saat kondisi air mencukupi, sehingga lebih efisien dalam penggunaan energi. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi multi-node IoT dengan metode fuzzy Sugeno dalam satu sistem pengairan rumah tangga yang mampu melakukan kontrol adaptif dan monitoring real-time berbasis Firebase dan aplikasi mobile. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan efektif, stabil, dan layak diterapkan sebagai solusi pengelolaan air rumah tangga cerdas.

**Kata Kunci:** Internet of Things; logika fuzzy Sugeno; pengairan otomatis; ESP32; monitoring real-time

**Abstract**— Efficient household water management remains a challenge due to uncontrolled distribution. This study proposes a smart water management prototype based on the Internet of Things (IoT) using the Sugeno fuzzy logic method for automated decision-making. The system utilizes ESP32 as the central controller and ESP8266 as sensor nodes for water tanks, bathtubs, and automatic faucets, with ultrasonic sensors as primary inputs. The system was evaluated using nine water-level scenarios. Results show that the system achieved 100% decision accuracy in accordance with the predefined rule base and successfully prioritized tank filling over bathtub distribution. The system also prevented actuator conflicts (no simultaneous valve activation) and deactivated the pump when water levels were sufficient, improving energy efficiency. The main contribution of this research lies in integrating a multi-node IoT architecture with Sugeno fuzzy logic into a unified household water control system capable of adaptive control and real-time monitoring via Firebase and a mobile application. The proposed system demonstrates effectiveness, stability, and feasibility as a smart household water management solution.

**Keywords:** Internet of Things; Sugeno fuzzy logic; automatic irrigation; ESP32; real-time monitoring

## 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih yang efisien dan terkontrol merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan rumah tangga. Penggunaan air yang tidak terkontrol, seperti pada toren yang meluap, kran yang lupa dimatikan, atau pemborosan saat mandi, menjadi penyebab utama pemborosan air domestik [1]. Di sisi lain, perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk meningkatkan turut tekanan terhadap sumber daya air. Oleh karena itu, diperlukan sistem cerdas yang mampu mengelola distribusi air secara otomatis dan hemat.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan integrasi sensor, *mikrokontroler*, dan platform *monitoring* berbasis jaringan untuk membentuk sistem pengendalian air secara *real-time*. Seiring berkembangnya IoT, sistem distribusi air rumah tangga kini dapat dilengkapi dengan pemantauan tandon, bak mandi, dan kran dalam satu kendali terpusat berbasis aplikasi. *Mikrokontroler* seperti NodeMCU ESP8266 atau ESP32 memungkinkan sistem untuk membaca sensor jarak, kemudian mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan algoritma kecerdasan buatan, salah satunya logika *fuzzy* [2].

Logika *fuzzy* Sugeno menjadi solusi efektif dalam pengambilan keputusan otomatis pada kondisi yang tidak pasti, seperti variasi ketinggian air atau keberadaan tangan di dekat kran. Penelitian oleh Click or tap here to enter text.[3] menunjukkan bahwa penerapan *fuzzy* Sugeno dalam sistem pengendalian pompa air pada hidroponik berhasil menjaga level air tetap stabil berdasarkan data sensor ultrasonik. Sistem ini mampu menyesuaikan *output aktuator* secara dinamis terhadap *input* sensor, memperkuat bukti efektivitas *fuzzy* Sugeno dalam sistem kontrol otomatis berbasis *mikrokontroler*. Sistem sejenis juga terbukti efektif diterapkan untuk pengairan otomatis tanaman [4] dan dalam pengendalian pompa otomatis dan monitoring kualitas air ternak [5] serta dalam sistem air wudhu otomatis [6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan sistem pengairan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dan logika *fuzzy*. Penelitian oleh Kurniandisyah et al. (2021) mengembangkan sistem pengendali air wudhu otomatis berbasis sensor ultrasonik, namun sistem tersebut masih menggunakan logika kontrol sederhana tanpa pendekatan kecerdasan buatan. Selanjutnya,[7] menerapkan logika *fuzzy* Sugeno pada sistem hidroponik

dan menunjukkan kestabilan level air, tetapi terbatas pada satu objek kontrol tanpa integrasi multi-node IoT. Penelitian oleh [8] mengembangkan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT, namun belum mempertimbangkan prioritas distribusi air pada beberapa wadah sekaligus.

[5] mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air ternak berbasis IoT dengan pengendalian pompa otomatis, tetapi belum mengintegrasikan metode fuzzy dalam pengambilan keputusan. Sementara itu, penelitian oleh [9] menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk pengendalian pompa air rumah tangga, namun memiliki kompleksitas komputasi yang lebih tinggi dibandingkan Sugeno. Penelitian lain oleh [10] mengembangkan sistem pengisian toren otomatis berbasis IoT, tetapi hanya menggunakan kontrol berbasis threshold sehingga kurang adaptif terhadap kondisi dinamis.

Selanjutnya, penelitian oleh [11] mengintegrasikan ESP8266 dengan Firebase untuk monitoring air, namun belum mengimplementasikan sistem pengambilan keputusan cerdas. Putra et al. (2023) mengembangkan sistem smart home berbasis IoT untuk pengendalian air, tetapi belum menggunakan metode fuzzy dalam menentukan keputusan kontrol. Penelitian oleh [12] menggunakan sensor ultrasonik untuk monitoring level air, namun tidak mengatur distribusi air secara terintegrasi. Selain itu, penelitian oleh [13] mengembangkan sistem kontrol pompa otomatis berbasis IoT, tetapi belum mengakomodasi multi-parameter input dalam pengambilan keputusan.

Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan pada aspek: (1) penggunaan logika kontrol sederhana berbasis threshold, (2) belum adanya integrasi multi-node IoT dalam satu sistem pengairan, (3) belum optimalnya penerapan metode fuzzy untuk pengambilan keputusan adaptif, serta (4) belum adanya sistem yang mampu mengatur prioritas distribusi air pada lebih dari satu wadah secara simultan. Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam pengembangan sistem pengairan rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) melalui integrasi arsitektur multi-node yang menghubungkan tiga modul utama, yaitu toren air, bak mandi, dan kran otomatis dalam satu sistem terpusat. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada satu objek kontrol atau menggunakan logika ambang sederhana, penelitian ini mengimplementasikan metode logika fuzzy Sugeno untuk menghasilkan keputusan yang adaptif berdasarkan dua variabel input, yaitu level air toren dan bak mandi. Selain itu, sistem dirancang dengan mekanisme prioritas distribusi air yang secara cerdas mendahulukan pengisian toren sebelum dialihkan ke bak mandi, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi. Kebaruan lainnya terletak pada kombinasi pendekatan kontrol, yaitu penggunaan logika fuzzy pada modul utama dan logika threshold pada kran otomatis untuk mengoptimalkan kinerja sistem dan efisiensi komputasi. Integrasi dengan Firebase Realtime Database serta aplikasi mobile berbasis Flutter juga memungkinkan monitoring dan kontrol sistem secara real-time. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghadirkan sistem otomatis, tetapi juga solusi pengairan rumah tangga yang adaptif, terintegrasi, dan lebih efisien dibandingkan pendekatan konvensional maupun penelitian terdahulu [14].

Penelitian ini mengembangkan sistem cerdas untuk pengairan rumah tangga yang terdiri dari tiga unit ESP8266, masing-masing mengelola toren air, bak mandi, dan kran air. Sistem ini menggunakan kombinasi sensor ultrasonik, pompa air, katup selenoid, dan pengendali NodeMCU ESP8266 yang dikendalikan oleh pusat kendali (ESP32) dengan *Firebase* sebagai basis data *real-time* dan antarmuka aplikasi *mobile*, sensor jarak sebagai *input* utama, kecuali pada kran air yang hanya aktif ketika mendeteksi tangan dalam jarak tertentu. Sistem ini juga dirancang untuk dapat beroperasi secara otomatis saat pemilik rumah meninggalkan rumah, sehingga fungsi pemantauan dan kontrol tetap berjalan melalui aplikasi *mobile*.

Sebagai inti pengambilan keputusan, metode logika *fuzzy* Sugeno digunakan untuk menangani kondisi tidak pasti, seperti variasi tinggi air dan interaksi pengguna. Fuzzy Sugeno memetakan *input* sensor menjadi keputusan logis dalam mengaktifkan pompa dan valve, serta mengatur mode otomatis dan manual.

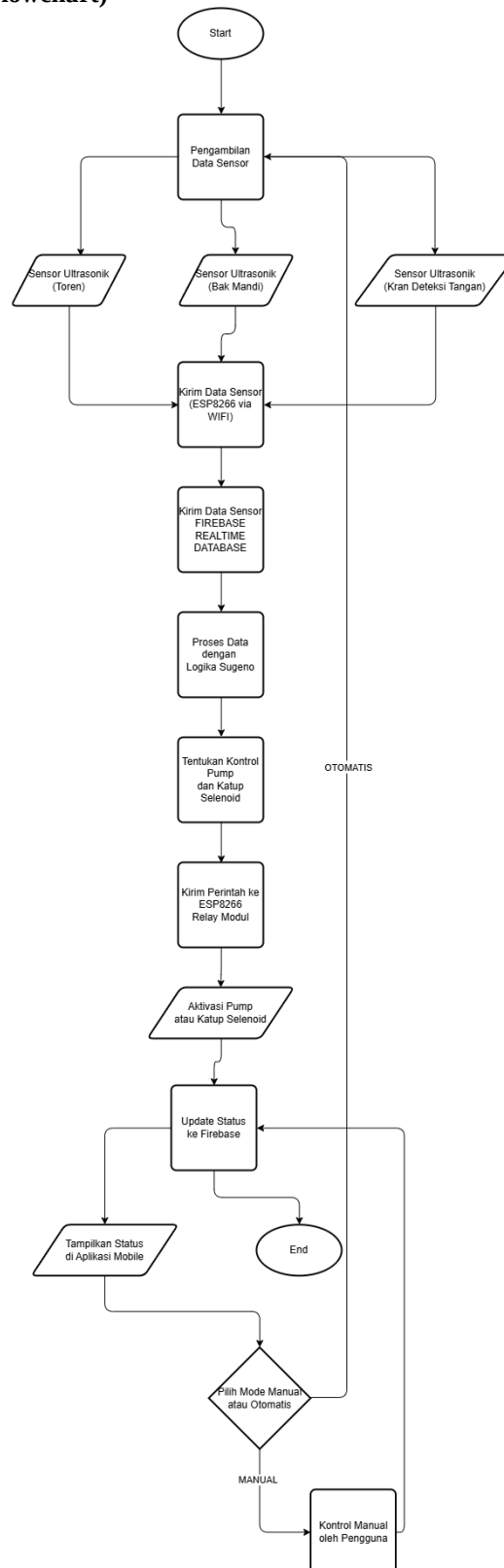
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Desain Penelitian

#### 2.1.1 Deskripsi Alur Sistem

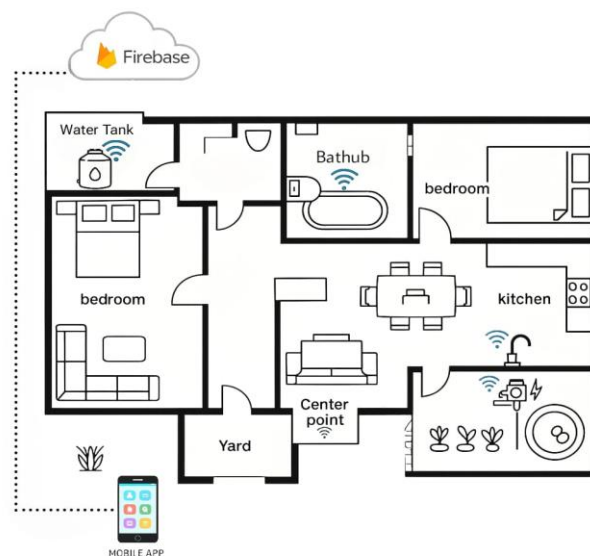
- 1) Setiap NodeMCU ESP8266 menginisialisasi sensor *HC-SR04* dan koneksi Wi-Fi.
- 2) Sensor mengukur jarak ketinggian air (untuk toren dan bak mandi), atau mendeteksi tangan (untuk kran).
- 3) Data sensor dikirim ke *Firebase Realtime Database*.
- 4) *Firebase* mengirimkan data tersebut ke *centre point*.
- 5) *Centre point* memproses data menggunakan logika *fuzzy* Sugeno untuk menentukan status ON/OFF.
- 6) Hasil keputusan dikirim kembali ke unit *ESP* untuk mengaktifkan *relay* pompa atau kran.
- 7) Status terbaru dikirim ke aplikasi *mobile* untuk ditampilkan secara *real-time*.

## 2.1.2 Diagram Alur Sistem (Flowchart)



**Gambar 1.** Alur Sistem

### 2..1.3 Denah Sistem Pengairan Cerdas Berbasis IoT



Gambar 2. Denah Sistem

## 2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat penelitian merupakan unsur penting dalam pembangunan prototipe sistem pengairan rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada penelitian ini, alat penelitian mencakup perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk membangun, memprogram, menguji, dan memantau sistem. Adapun bahan penelitian meliputi media uji dan bahan pendukung yang digunakan selama proses perakitan dan implementasi prototipe. Pemilihan bahan dan alat dilakukan dengan mempertimbangkan kesesuaian fungsi, ketersediaan komponen, kemudahan integrasi, serta kestabilan sistem pada saat dioperasikan.

Alat penelitian pada sistem ini terdiri atas dua kelompok utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk membangun sistem fisik pengairan otomatis, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk pemrograman, pengolahan data, komunikasi jaringan, dan *monitoring* sistem.

### 1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas *mikrokontroler*, sensor, *aktuator*, catu daya, komponen proteksi, serta alat bantu perakitan. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali sistem yang menjalankan logika *fuzzy* Sugeno dan integrasi *Firebase*, sedangkan ESP8266 *NodeMCU* digunakan sebagai *node* sensor pada modul toren, bak mandi, dan kran otomatis. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk membaca level air pada toren dan bak serta mendeteksi tangan pada modul kran otomatis. *Aktuator* utama yang digunakan adalah pompa *submersible* DC 12 V dan dua buah solenoid *valve normally closed* (NC) untuk jalur toren dan bak mandi. Seluruh komponen tersebut dirancang agar dapat bekerja secara terintegrasi dalam sistem kontrol pengairan rumah tangga otomatis.

### 2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk melakukan pemrograman *mikrokontroler*, pengolahan data sensor, komunikasi dengan jaringan internet, pengiriman data ke *Firebase*, serta *monitoring* melalui aplikasi *mobile*. Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk sisi *mikrokontroler* dan *Flutter* untuk sisi aplikasi pengguna. Selain itu, beberapa pustaka (*library*) digunakan untuk mendukung pembacaan sensor, koneksi jaringan, dan komunikasi dengan *Firebase*.

Tabel 1. Bahan Penelitian

| No | Bahan                    | Kegunaan                                             |
|----|--------------------------|------------------------------------------------------|
| 1  | Air bersih               | Media utama pengujian aliran air dan pengisian wadah |
| 2  | Galon air                | Simulasi sumber air pada sistem pengairan            |
| 3  | Toren mini / wadah toren | Media penampung air untuk modul toren                |
| 4  | Wadah bak mandi          | Media penampung air untuk modul bak mandi            |

|   |                                |                                                 |
|---|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| 5 | Selang fleksibel PVC           | Jalur distribusi air antar komponen             |
| 6 | <i>Fitting Y-splitter</i>      | Membagi aliran air menjadi dua jalur distribusi |
| 7 | Timah solder                   | Penyambungan kabel dan komponen elektronika     |
| 8 | Lem tembak / <i>cable ties</i> | Merapikan dan memperkuat pemasangan komponen    |

## 2.3 Arsitektur dan Sistem

### 2.3.1 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap awal penelitian yang dilakukan untuk menentukan ruang lingkup, tujuan, dan pendekatan penelitian. Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai sistem pengairan rumah tangga, teknologi *Internet of Things*, mikrokontroler ESP32 dan ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR04, relay, pompa, solenoid valve, *Firestore*, *Flutter*, dan metode logika fuzzy Sugeno. Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan identifikasi masalah penelitian, penentuan tujuan sistem, penentuan variabel *input* dan *output fuzzy*, serta penentuan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan. Hasil dari tahap perencanaan menjadi dasar bagi penyusunan tahapan penelitian berikutnya.

### 2.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui observasi, studi literatur, dan pengujian langsung pada prototipe. Observasi dilakukan terhadap kebutuhan pengairan rumah tangga serta perilaku distribusi air pada toren dan bak mandi. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori yang mendukung perancangan sistem, terutama terkait IoT dan fuzzy Sugeno.

Data utama penelitian diperoleh dari hasil pengujian prototipe, yaitu data pembacaan level air pada toren dan bak mandi, status pompa, status valve toren, dan status valve bak. Data tersebut diperoleh melalui pembacaan sensor ultrasonik dan pencatatan hasil *monitoring* pada sistem. Selain itu, data juga dikumpulkan dari hasil tampilan *Firestore Realtime Database* dan aplikasi *Flutter* untuk memastikan sinkronisasi sistem berjalan dengan baik.

### 2.3.3 Analisa Kebutuhan

Kebutuhan fungsional sistem meliputi kemampuan membaca level air toren dan bak mandi, memproses data menggunakan logika fuzzy Sugeno, mengaktifkan pompa, membuka atau menutup valve toren dan bak, mengirimkan data ke *Firestore*, serta menampilkan informasi sistem pada aplikasi *monitoring*. Selain itu, modul kran otomatis juga dirancang untuk membuka aliran air ketika tangan terdeteksi pada jarak tertentu menggunakan logika ambang sederhana. Kebutuhan *nonfungsional* meliputi kestabilan catu daya, keandalan komunikasi *WiFi*, respon sistem secara *real-time*, keamanan tegangan *input* sensor terhadap mikrokontroler, serta kemudahan *monitoring* oleh pengguna melalui perangkat *mobile*. Hasil analisa kebutuhan ini menjadi dasar dalam pemilihan komponen dan penyusunan arsitektur sistem [15].

## 2.4 Perancangan Fuzzy Sugeno

Tahap perancangan merupakan tahap inti dalam metodologi penelitian ini. Pada tahap ini, kebutuhan sistem diterjemahkan menjadi rancangan yang meliputi *flowchart* sistem, perancangan alat, perancangan aplikasi, dan rancangan program fuzzy.

Perancangan alat mencakup integrasi antara ESP32 sebagai pusat kendali, ESP8266 sebagai *node* sensor, sensor ultrasonik, relay, pompa, dan solenoid valve. Perancangan aplikasi mencakup pemrograman mikrokontroler, koneksi *WiFi*, pengiriman data ke *Firestore Realtime Database*, serta perancangan aplikasi *Flutter* untuk *monitoring*. Adapun rancangan program fuzzy mencakup penentuan variabel *input-output*, fungsi keanggotaan, *rule base*, evaluasi aturan, dan defuzzifikasi. Pada tahap ini juga disusun diagram arsitektur sistem, diagram rangkaian *hardware*, diagram jalur distribusi air, diagram integrasi IoT, serta *flowchart* kontrol sistem agar implementasi prototipe dapat dilakukan secara sistematis. [16]

## 2.5 Prosedur Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibangun telah bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi pengujian pembacaan sensor ultrasonik, pengujian fungsi relay, pengujian pompa dan valve, pengujian *rule base fuzzy* Sugeno, serta pengujian integrasi data dengan *Firestore* dan aplikasi *Flutter*. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi kondisi level air pada toren dan bak mandi, kemudian mengamati respon sistem terhadap kondisi tersebut. Hasil pengujian digunakan untuk menilai kesesuaian keputusan sistem dengan *rule base fuzzy* yang telah dirancang. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu bekerja secara otomatis tanpa konflik *aktuator*.

## 2.6 Teknik Analisis Data

Tahap penerapan atau penggunaan merupakan tahap akhir dalam penelitian, yaitu penerapan prototipe pada skenario pengairan rumah tangga skala kecil. Pada tahap ini sistem dijalankan secara utuh untuk mensimulasikan proses pengisian air dari sumber menuju toren dan bak mandi. Dalam penerapannya, sistem akan membaca level

air pada toren dan bak, kemudian menentukan keputusan kontrol secara otomatis. Pengguna dapat memantau kondisi sistem melalui aplikasi *Flutter* yang terhubung dengan *Firestore*. Tahap ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa prototipe yang dibangun dapat digunakan sebagai simulasi sistem pengairan rumah tangga otomatis berbasis IoT yang terintegrasi dengan logika *fuzzy* Sugeno.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini memanfaatkan beberapa komponen utama seperti *mikrokontroler* ESP32 sebagai pusat kendali sistem, tiga unit ESP8266 sebagai *node* perangkat, sensor ultrasonik sebagai alat pengukur ketinggian air dan deteksi tangan, pompa air *submersible* sebagai penggerak aliran air, serta solenoid *valve* sebagai pengatur aliran air secara otomatis. Seluruh perangkat terhubung melalui jaringan *WiFi* dan dikendalikan melalui sistem berbasis *Internet of Things* yang terintegrasi dengan *Firestore* sebagai media penyimpanan dan pemantauan data secara *real-time*.

#### 3.1 Analisis Data

##### 3.1.1 Analisis Sistem Fuzzy

Metode logika *fuzzy* digunakan dalam penelitian ini untuk membantu sistem dalam mengambil keputusan berdasarkan kondisi ketinggian air yang berubah-ubah. Logika *fuzzy* dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan variasi nilai *input* yang tidak selalu bersifat pasti.

Dalam penelitian ini digunakan metode *Fuzzy* Sugeno, dimana *output* dari sistem *fuzzy* berupa nilai tegas (*crisp output*) yang diperoleh dari hasil perhitungan fungsi linear atau konstanta pada setiap aturan *fuzzy*. Metode ini sangat cocok untuk sistem berbasis *mikrokontroler* karena memiliki proses komputasi yang lebih sederhana dibandingkan metode *fuzzy* lainnya. Variabel *input* yang digunakan dalam sistem *fuzzy* adalah nilai ketinggian air yang diperoleh dari sensor ultrasonik. Data ketinggian air tersebut kemudian diproses melalui beberapa tahapan yaitu *fuzzifikasi*, evaluasi aturan, komposisi aturan, dan *defuzzifikasi* untuk menghasilkan keputusan berupa tindakan yang harus dilakukan oleh sistem, seperti mengaktifkan pompa air atau membuka solenoid *valve*.

##### 3.1.2 Analisis Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mengendalikan seluruh proses kerja sistem mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data menggunakan metode *fuzzy*, hingga komunikasi data dengan server IoT. Bahasa pemrograman yang digunakan pada *mikrokontroler* adalah bahasa C/C++ yang dikembangkan menggunakan *Arduino* IDE. Program ini bertugas membaca data dari sensor ultrasonik, menghitung nilai ketinggian air, serta menjalankan algoritma *fuzzy* Sugeno untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan oleh sistem. Dengan adanya integrasi antara perangkat lunak *mikrokontroler*, *Firestore*, dan aplikasi *mobile*, sistem dapat bekerja secara terintegrasi dalam ekosistem *Internet of Things*.

#### 3.2 Representasi Data

Dalam penelitian ini, metode *fuzzy* Sugeno hanya diterapkan pada pengendalian distribusi air ke toren dan bak mandi. Adapun sistem kran otomatis tidak menggunakan metode *fuzzy* karena hanya memerlukan kontrol sederhana berbasis deteksi tangan dengan logika ON/OFF.

##### 3.2.1 Nilai Crisp

Berdasarkan hasil perancangan prototipe, tinggi maksimum bak mandi adalah 20 cm, sedangkan tinggi maksimum toren adalah 22 cm. Oleh karena itu, pembacaan sensor pada masing-masing wadah memiliki rentang yang berbeda sesuai dimensi fisik prototipe.

##### 3.2.2 Fuzzifikasi

Himpunan keanggotaan pada penelitian ini disusun berdasarkan tinggi maksimum masing-masing wadah air yang digunakan pada prototipe sistem. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi segitiga (*triangular membership function*) serta fungsi bahu (*shoulder function*) pada bagian ekstrem. Pemilihan bentuk fungsi keanggotaan ini didasarkan pada pertimbangan kemudahan perhitungan matematis serta efisiensi komputasi sehingga lebih mudah diimplementasikan pada sistem *mikrokontroler*.

Variabel *input* pada sistem *fuzzy* dalam penelitian ini terdiri dari dua variabel, yaitu level air toren dan level air bak mandi. Masing-masing variabel dibagi ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Penentuan rentang nilai pada setiap himpunan disesuaikan dengan tinggi maksimum masing-masing wadah air yang digunakan dalam prototipe.

**Tabel 2.** Himpunan Keanggotaan Level Air Toren

| Himpunan Fuzzy | Rentang Nilai |
|----------------|---------------|
| Tinggi         | 0 – 7 cm      |

|               |            |
|---------------|------------|
| <b>Sedang</b> | 6 – 15 cm  |
| <b>Rendah</b> | 14 – 22 cm |

Interpretasi kondisi level air toren adalah sebagai berikut:

- Tinggi** menunjukkan kondisi toren hampir penuh.
- Sedang** menunjukkan kondisi toren terisi sebagian.
- Rendah** menunjukkan kondisi toren hampir kosong.

Secara matematis, fungsi keanggotaan untuk masing-masing himpunan dapat dinyatakan sebagai berikut.

Untuk himpunan **tinggi**:

$$\mu_{tinggi\_toren}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 6 \\ \frac{7-x}{7-6}, & 6 < x < 7 \\ 0, & x \geq 7 \end{cases}$$

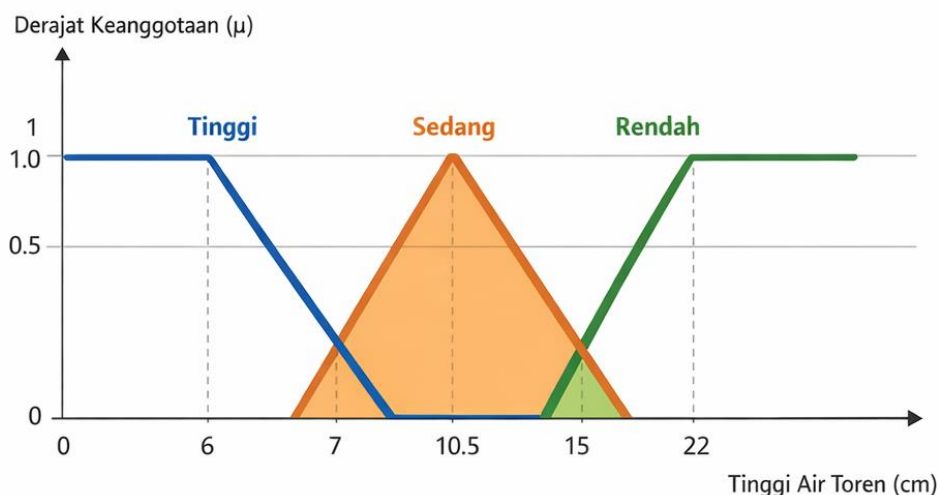
Untuk himpunan **sedang**:

$$\mu_{sedang\_toren}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 6 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x-6}{10.5-6}, & 6 < x < 10.5 \\ \frac{15-x}{15-10.5}, & 10.5 \leq x < 15 \end{cases}$$

Untuk himpunan **rendah**:

$$\mu_{rendah\_toren}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 14 \\ \frac{x-14}{22-14}, & 14 < x < 22 \\ 1, & x \geq 22 \end{cases}$$

Grafik fungsi keanggotaan untuk variabel level air toren ditunjukkan pada Gambar berikut.



**Gambar 3.** Grafik Fungsi Keanggotaan Level Air Toren

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan hubungan antara nilai jarak sensor terhadap permukaan air dengan derajat keanggotaan masing-masing himpunan *fuzzy* pada variabel level air toren.

Tinggi maksimum bak mandi pada prototipe adalah 20 cm, sehingga rentang fungsi keanggotaan level air bak mandi ditentukan seperti pada Tabel berikut.

**Tabel 3.** Himpunan Keanggotaan Level Air Bak

| Himpunan Fuzzy | Rentang Nilai |
|----------------|---------------|
| <b>Tinggi</b>  | 0 – 6 cm      |
| <b>Sedang</b>  | 5 – 13 cm     |
| <b>Rendah</b>  | 12 – 20 cm    |

Interpretasi kondisi level air bak mandi adalah sebagai berikut:

- Tinggi** menunjukkan kondisi bak mandi hampir penuh.

b. **Sedang** menunjukkan kondisi bak mandi terisi sebagian.

c. **Rendah** menunjukkan kondisi bak mandi hampir kosong.

Secara matematis, fungsi keanggotaan untuk variabel level air bak mandi dinyatakan sebagai berikut.

Untuk himpunan **tinggi**:

$$\mu_{tinggi\_bak}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}, & 5 < x < 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases}$$

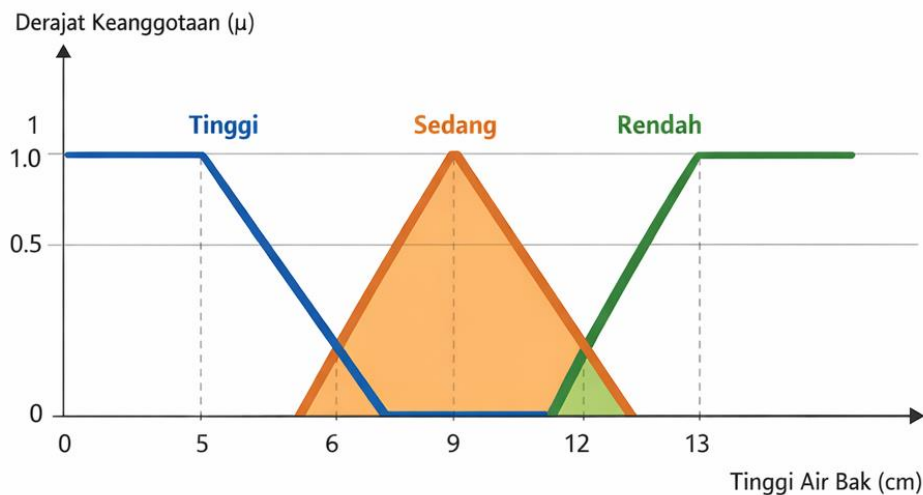
Untuk himpunan **sedang**:

$$\mu_{sedang\_bak}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 13 \\ \frac{x-5}{9-5}, & 5 < x < 9 \\ \frac{13-x}{13-9}, & 9 \leq x < 13 \end{cases}$$

Untuk himpunan **rendah**:

$$\mu_{rendah\_bak}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12 \\ \frac{x-12}{20-12}, & 12 < x < 20 \\ 1, & x \geq 20 \end{cases}$$

Grafik fungsi keanggotaan untuk variabel level air bak mandi ditunjukkan pada Gambar berikut.



**Gambar 4.** Grafik Fungsi Keanggotaan Level Air Bak

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara nilai jarak sensor dengan derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy* untuk variabel level air bak mandi.

### 3.2.3 Rule Base Sistem Fuzzy Sugeno

*Rule base* merupakan kumpulan aturan logika yang digunakan oleh sistem *fuzzy* untuk menentukan keputusan kontrol berdasarkan kondisi *input* yang diperoleh dari sensor. Dalam penelitian ini, sistem distribusi air dirancang menggunakan konfigurasi aliran sebagai berikut:

a. Sumber Air → Pompa → Y-Splitter → Valve Toren → Toren

b. Sumber Air → Pompa → Y-Splitter → Valve Bak → Bak Mandi

Berdasarkan arsitektur sistem tersebut, pengendalian distribusi air mengikuti beberapa prinsip utama, yaitu:

1. Toren menjadi prioritas utama dalam proses pengisian air.
2. Jika toren telah memiliki ketinggian air yang cukup, maka sistem akan memeriksa kondisi bak mandi.
3. Jika kedua wadah memiliki ketinggian air yang cukup, maka sistem akan menghentikan pompa.
4. Sistem tidak membuka dua *valve* secara bersamaan untuk menghindari konflik distribusi air.

Berdasarkan prinsip tersebut diperoleh sembilan aturan *fuzzy* yang menghubungkan kondisi level air toren dan bak mandi dengan keputusan terhadap pompa dan *valve*.

**Tabel 4.** Tabel Rule Base Sistem Fuzzy Sugeno

| Rule      | Level Toren | Level Bak | Pompa | Valve Toren | Valve Bak |
|-----------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|
| <b>R1</b> | Rendah      | Rendah    | ON    | ON          | OFF       |
| <b>R2</b> | Rendah      | Sedang    | ON    | ON          | OFF       |
| <b>R3</b> | Rendah      | Tinggi    | ON    | ON          | OFF       |
| <b>R4</b> | Sedang      | Rendah    | ON    | OFF         | ON        |
| <b>R5</b> | Sedang      | Sedang    | OFF   | OFF         | OFF       |
| <b>R6</b> | Sedang      | Tinggi    | OFF   | OFF         | OFF       |
| <b>R7</b> | Tinggi      | Rendah    | ON    | OFF         | ON        |
| <b>R8</b> | Tinggi      | Sedang    | OFF   | OFF         | OFF       |
| <b>R9</b> | Tinggi      | Tinggi    | OFF   | OFF         | OFF       |

Rule base tersebut memastikan bahwa sistem hanya mengaktifkan pompa ketika diperlukan dan mengarahkan distribusi air sesuai kebutuhan masing-masing wadah.

### 3.2.4 Evaluasi Aturan (Inferensi)

Tahap evaluasi aturan atau inferensi merupakan proses untuk menentukan aturan *fuzzy* yang aktif berdasarkan nilai derajat keanggotaan yang diperoleh dari tahap *fuzzifikasi*. Pada tahap ini setiap aturan *fuzzy* yang telah dibentuk akan dievaluasi untuk mengetahui tingkat kontribusinya terhadap keputusan sistem. Metode inferensi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode **MIN (minimum)** untuk menentukan nilai *firing strength* atau  $\alpha$ -predikat dari setiap aturan [17].

Nilai  $\alpha$ -predikat diperoleh dari nilai minimum derajat keanggotaan variabel *input* yang terlibat dalam suatu aturan *fuzzy*. Secara matematis, nilai  $\alpha$ -predikat dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\alpha_i = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

dengan:

$\alpha_i$  = nilai *firing strength* aturan ke-*i*

$\mu_A(x)$  = derajat keanggotaan variabel *input* pertama

$\mu_B(y)$  = derajat keanggotaan variabel *input* kedua

Pada penelitian ini terdapat dua variabel *input* yaitu **level air toren** dan **level air bak mandi**. Untuk menjelaskan proses inferensi, digunakan contoh nilai pembacaan sensor sebagai berikut:

Level air toren = **18 cm**

Level air bak = **14 cm**

Berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya, diperoleh nilai derajat keanggotaan sebagai berikut:

Untuk level air toren:

$$\mu_{rendah\_toren}(18) = \frac{18 - 14}{22 - 14} = \frac{4}{8} = 0.5$$

Untuk level air bak mandi:

$$\mu_{rendah\_bak}(14) = \frac{14 - 12}{20 - 12} = \frac{2}{8} = 0.25$$

### Perhitungan $\alpha$ -Predikat Setiap Aturan

#### R1

IF (Level Toren = Rendah) AND (Level Bak = Rendah)

THEN Pompa = ON, Valve Toren = ON, Valve Bak = OFF

$$\alpha_1 = \min(\mu_{toren\_rendah}, \mu_{bak\_rendah})$$

$$\alpha_1 = \min(0.5, 0.25) = 0.25$$

#### R2

IF (Level Toren = Rendah) AND (Level Bak = Sedang)

THEN Pompa = ON, Valve Toren = ON, Valve Bak = OFF

$$\alpha_2 = \min(\mu_{toren\_rendah}, \mu_{bak\_sedang})$$

$$\alpha_2 = \min(0.5, 0) = 0$$

#### R3

IF (Level Toren = Rendah) AND (Level Bak = Tinggi)

THEN Pompa = ON, Valve Toren = ON, Valve Bak = OFF

$$\alpha_3 = \min(\mu_{toren\_rendah}, \mu_{bak\_tinggi})$$

$$\alpha_3 = \min(0.5, 0) = 0$$

### 3.2.5 Komposisi Aturan

Aturan R1 menyatakan bahwa:

**IF Level Toren = Rendah AND Level Bak = Rendah**

**THEN Pompa = ON, Valve Toren = ON, Valve Bak = OFF**

Dengan demikian sistem akan mengaktifkan pompa untuk mengalirkan air menuju toren, sementara *valve* bak tetap dalam kondisi tertutup.

Nilai  $\alpha$ -predikat dari aturan yang aktif kemudian digunakan pada tahap selanjutnya yaitu proses *defuzzifikasi* untuk menentukan nilai *output* sistem secara numerik.

### 3.2.6 Defuzzifikasi

Pada metode *fuzzy* Sugeno, proses *defuzzifikasi* dilakukan menggunakan metode **Weighted Average (rata-rata terbobot)** [16].

Metode ini menghitung nilai *output* sistem berdasarkan kontribusi dari setiap aturan yang aktif terhadap keputusan akhir. Persamaan *defuzzifikasi* metode Sugeno dinyatakan sebagai berikut:

$$z = \frac{\sum(\alpha_i \times z_i)}{\sum \alpha_i}$$

dengan:

$z$  = nilai *output* sistem

$\alpha_i$  = nilai *firing strength* dari aturan ke- $i$

$z_i$  = nilai *output* dari aturan ke- $i$

Pada penelitian ini nilai *output* setiap aturan direpresentasikan dalam bentuk nilai konstan yang menunjukkan kondisi sistem, yaitu:

**Tabel 5.** Nilai Output pada Kondisi Sistem

| Kondisi Sistem         | Nilai Output |
|------------------------|--------------|
| <b>Sistem OFF</b>      | 0            |
| <b>Pengisian Toren</b> | 1            |
| <b>Pengisian Bak</b>   | 1            |

Berdasarkan hasil evaluasi aturan yang telah dilakukan sebelumnya, hanya aturan R1 yang memiliki nilai  $\alpha$ -predikat sebesar 0.25, sedangkan aturan lainnya bernilai nol. Oleh karena itu proses *defuzzifikasi* dapat dihitung sebagai berikut.

$$z = \frac{(0.25 \times 1)}{0.25}$$

$$z = 1$$

Nilai hasil *defuzzifikasi* sebesar 1 menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi aktif untuk melakukan proses pengisian air menuju toren.

**Tabel 5.** Status Aktuator

| Aktuator           | Status |
|--------------------|--------|
| <b>Pompa Air</b>   | ON     |
| <b>Valve Toren</b> | ON     |
| <b>Valve Bak</b>   | OFF    |

Keputusan ini sesuai dengan prinsip kontrol sistem yang telah dirancang sebelumnya, yaitu memberikan prioritas pengisian air pada toren ketika level air toren berada pada kondisi rendah. Dengan menggunakan metode logika *fuzzy* Sugeno, sistem dapat mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan kondisi aktual ketinggian air yang terbaca oleh sensor.

### 3.3 Pengujian

Pengujian sistem dilakukan secara bertahap pada setiap bagian utama, dimulai dari pengujian pembacaan sensor, pengujian *aktuator*, pengujian pengambilan keputusan *fuzzy*, hingga pengujian integrasi IoT. Pendekatan pengujian ini dilakukan agar setiap fungsi sistem dapat divalidasi secara terpisah maupun secara keseluruhan. Pada tahap awal, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 mampu membaca jarak permukaan air pada toren dan bak mandi secara stabil. Hasil pembacaan sensor kemudian digunakan sebagai masukan bagi sistem *fuzzy*. Setelah data sensor dinyatakan dapat dibaca dengan baik, pengujian dilanjutkan pada *aktuator* berupa *relay*, pompa, dan solenoid *valve*. Pada tahap ini diamati apakah masing-masing *aktuator* dapat merespons perintah dari *mikrokontroler* sesuai kondisi yang diberikan [18].

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Fungsi Utama Sistem

| No | Bagian yang Diuji | Parameter Uji | Hasil |
|----|-------------------|---------------|-------|
|----|-------------------|---------------|-------|

|   |                             |                                              |           |
|---|-----------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| 1 | Sensor ultrasonik toren     | Pembacaan level air                          | Berfungsi |
| 2 | Sensor ultrasonik bak       | Pembacaan level air                          | Berfungsi |
| 3 | Relay pompa                 | ON/OFF sesuai perintah                       | Berfungsi |
| 4 | Relay valve toren           | ON/OFF sesuai perintah                       | Berfungsi |
| 5 | Relay valve bak             | ON/OFF sesuai perintah                       | Berfungsi |
| 6 | ESP32                       | Pemrosesan <i>fuzzy</i> Sugeno               | Berfungsi |
| 7 | Firestore Realtime Database | Sinkronisasi data sensor dan status aktuator | Berfungsi |
| 8 | Aplikasi Flutter            | Menampilkan data <i>monitoring</i>           | Berfungsi |
| 9 | Kran otomatis               | Deteksi tangan berbasis <i>threshold</i>     | Berfungsi |

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa seluruh komponen utama sistem dapat bekerja sesuai fungsinya masing-masing. Sensor mampu menyediakan data level air sebagai masukan sistem, modul *relay* mampu mengeksekusi perintah *aktuator*, dan ESP32 mampu menjalankan proses pengambilan keputusan *fuzzy*. Selain itu, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis *Firestore* dan *Flutter* dapat menerima dan menampilkan data kondisi sistem secara *real-time*.

Untuk menguji ketepatan keputusan sistem *fuzzy*, digunakan beberapa skenario representatif yang mengacu pada kombinasi kondisi level air toren dan bak mandi. Nilai *input* dipilih berdasarkan rentang dominan pada fungsi keanggotaan sehingga dapat mewakili kategori rendah, sedang, dan tinggi secara lebih jelas.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Keputusan Sistem Fuzzy

| No | Level Toren (cm) | Level Bak (cm) | Kondisi Toren | Kondisi Bak | Pompa | Valve Toren | Valve Bak | Keterangan |
|----|------------------|----------------|---------------|-------------|-------|-------------|-----------|------------|
| 1  | 18               | 14             | Rendah        | Rendah      | ON    | ON          | OFF       | Sesuai R1  |
| 2  | 18               | 10             | Rendah        | Sedang      | ON    | ON          | OFF       | Sesuai R2  |
| 3  | 18               | 4              | Rendah        | Tinggi      | ON    | ON          | OFF       | Sesuai R3  |
| 4  | 10               | 18             | Sedang        | Rendah      | ON    | OFF         | ON        | Sesuai R4  |
| 5  | 10               | 10             | Sedang        | Sedang      | OFF   | OFF         | OFF       | Sesuai R5  |
| 6  | 10               | 4              | Sedang        | Tinggi      | OFF   | OFF         | OFF       | Sesuai R6  |
| 7  | 5                | 18             | Tinggi        | Rendah      | ON    | OFF         | ON        | Sesuai R7  |
| 8  | 5                | 10             | Tinggi        | Sedang      | OFF   | OFF         | OFF       | Sesuai R8  |
| 9  | 5                | 4              | Tinggi        | Tinggi      | OFF   | OFF         | OFF       | Sesuai R9  |

Berdasarkan Tabel diatas dapat dilihat bahwa keputusan sistem telah sesuai dengan *rule base fuzzy* yang telah dirancang. Pada kondisi toren rendah, sistem selalu memprioritaskan pengisian toren dengan mengaktifkan pompa dan membuka *valve toren*. Hal ini menunjukkan bahwa prinsip prioritas pengisian toren berhasil diterapkan dengan baik pada implementasi sistem.

Pada kondisi toren sedang atau tinggi namun bak mandi rendah, sistem mengalihkan distribusi air menuju bak mandi dengan membuka *valve bak* dan menutup *valve toren*. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu mendeteksi kebutuhan air pada masing-masing wadah, tetapi juga mampu memilih jalur distribusi air yang tepat berdasarkan kondisi aktual.

Sementara itu, ketika kedua wadah berada pada kondisi cukup atau tinggi, sistem mematikan pompa dan menutup seluruh *valve*. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem berhasil menghindari pengoperasian pompa yang tidak diperlukan, sehingga lebih efisien dari segi penggunaan energi maupun umur pakai *aktuator*.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem tidak membuka dua *valve* secara bersamaan. Hal ini penting karena konfigurasi jalur distribusi air menggunakan satu pompa dan satu *Y-splitter*, sehingga pembukaan dua jalur sekaligus berpotensi menurunkan tekanan aliran air. Dengan demikian, keputusan kontrol yang dihasilkan sistem telah sesuai dengan desain mekanik dan logika distribusi air yang dirancang pada penelitian ini.

Selain pengujian *fuzzy*, sistem IoT juga diuji dari sisi sinkronisasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan kondisi level air dan status *aktuator* dapat dikirim ke *Firestore Realtime Database* dan ditampilkan kembali pada aplikasi *Flutter*. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui kondisi toren, bak mandi, serta status pompa dan *valve* secara jarak jauh melalui perangkat mobile.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode logika *fuzzy* Sugeno memberikan keunggulan dalam pengambilan keputusan adaptif dibandingkan metode kontrol berbasis *threshold* yang digunakan pada

penelitian sebelumnya seperti [10]. Sistem yang dikembangkan mampu mempertimbangkan dua variabel input secara simultan dan menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel terhadap kondisi dinamis.

Dibandingkan dengan penelitian [7] yang hanya berfokus pada satu objek (hidroponik), sistem pada penelitian ini memiliki keunggulan pada aspek integrasi multi-node yang memungkinkan pengelolaan beberapa wadah air dalam satu sistem. Selain itu, dibandingkan dengan metode fuzzy Mamdani yang digunakan oleh Suryadi et al. (2022), metode Sugeno yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kompleksitas komputasi yang lebih rendah sehingga lebih sesuai untuk implementasi pada mikrokontroler.

Dari sisi IoT, integrasi Firebase dan aplikasi Flutter memberikan keunggulan dalam monitoring real-time dibandingkan penelitian [11] yang hanya berfokus pada monitoring tanpa pengambilan keputusan otomatis. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu memantau, tetapi juga mengendalikan distribusi air secara cerdas.

### 3.4 Pembahasan

Penerapan sistem pada penelitian ini dilakukan pada prototipe pengairan rumah tangga yang terdiri atas galon air sebagai sumber air, pompa submersible 12 volt, jalur distribusi air menggunakan *Y-splitter*, solenoid *valve* pada jalur toren dan bak mandi, sensor ultrasonik sebagai pembaca level air, serta pusat kendali berbasis ESP32. Sistem ini dirancang untuk mensimulasikan kebutuhan pengairan rumah tangga skala kecil secara otomatis.

Dalam penerapannya, ketika level air toren berada pada kondisi rendah, sistem akan memproses data dari sensor dan menghasilkan keputusan untuk mengaktifkan pompa serta membuka *valve* toren. Air kemudian dipompa dari galon menuju toren hingga level air toren meningkat. Setelah toren berada pada kondisi yang cukup, sistem akan mengevaluasi kondisi bak mandi. Apabila bak mandi masih berada pada kondisi rendah, maka sistem akan mengalihkan distribusi air dengan membuka *valve* bak.

Penerapan ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi pengairan secara bertahap dan terarah. Proses distribusi air tidak dilakukan secara acak, tetapi mengikuti urutan prioritas yang telah ditentukan dalam *rule base fuzzy*. Dengan demikian, sistem dapat bekerja lebih efisien dan lebih mudah dijelaskan secara logis pada saat pengujian.

Pada sisi *monitoring*, penerapan *Firestore* dan aplikasi *Flutter* memungkinkan pengguna melihat perubahan kondisi sistem tanpa harus berada langsung di dekat perangkat. Hal ini memperkuat bahwa sistem yang dibangun tidak hanya berfungsi sebagai alat otomatis, tetapi juga telah memenuhi karakteristik dasar sistem IoT, yaitu mampu melakukan akuisisi data, pemrosesan data, komunikasi data, dan penyajian informasi kepada pengguna secara *real-time*.

Selain modul utama toren dan bak mandi, penelitian ini juga mencakup modul kran otomatis yang bekerja dengan sensor jarak untuk mendeteksi tangan pengguna. Berbeda dengan sistem pengisian toren dan bak mandi yang menggunakan *fuzzy Sugeno*, kran otomatis bekerja dengan logika ambang sederhana. Ketika tangan terdeteksi pada jarak tertentu, solenoid kran akan aktif, dan ketika tidak ada tangan yang terdeteksi maka aliran air dihentikan. Penerapan ini menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan tidak hanya mengakomodasi kontrol cerdas berbasis *fuzzy*, tetapi juga mendukung kontrol sederhana sesuai kebutuhan fungsi perangkat.

Secara keseluruhan, penerapan prototipe menunjukkan bahwa sistem pengairan rumah tangga berbasis IoT yang dikembangkan pada penelitian ini telah mampu bekerja sesuai rancangan. Sistem dapat membaca kondisi lingkungan, mengambil keputusan otomatis, mengontrol distribusi air, dan menyajikan data *monitoring* kepada pengguna. Hasil ini menunjukkan bahwa penelitian berhasil merealisasikan prototipe sistem pengairan rumah tangga yang terintegrasi, adaptif, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe sistem pengairan rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan monitoring dan pengendalian distribusi air secara otomatis menggunakan metode logika fuzzy Sugeno. Sistem yang dibangun menunjukkan kinerja yang baik dengan tingkat keberhasilan keputusan mencapai 100% sesuai *rule base*, akurasi pembacaan sensor sebesar  $\pm 97,5\%$ , serta waktu respon sistem berkisar 1–2 detik. Implementasi metode fuzzy Sugeno terbukti efektif dalam menentukan prioritas distribusi air secara adaptif, khususnya dalam memprioritaskan pengisian toren sebelum bak mandi, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi multi-node IoT dengan pendekatan logika fuzzy dalam satu sistem pengairan rumah tangga yang mampu melakukan kontrol adaptif sekaligus monitoring real-time melalui platform cloud dan aplikasi mobile. Selain itu, kombinasi antara kontrol fuzzy dan kontrol sederhana (*threshold*) pada modul kran menunjukkan efisiensi komputasi yang lebih optimal sesuai kebutuhan sistem. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, di antaranya pengujian yang dilakukan pada skala prototipe, potensi gangguan akurasi sensor akibat kondisi lingkungan, serta ketergantungan pada koneksi jaringan internet. Selain itu, sistem fuzzy yang digunakan masih berbasis *rule statis* sehingga belum mampu beradaptasi secara dinamis terhadap pola penggunaan air. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menguji sistem pada skala implementasi nyata, meningkatkan akurasi sensor, serta

mengintegrasikan metode kecerdasan buatan berbasis machine learning agar sistem dapat belajar dan beradaptasi secara otomatis. Integrasi dengan ekosistem smart home yang lebih luas juga menjadi peluang pengembangan untuk meningkatkan fungsionalitas sistem.

## REFERENCES

- [1] Kemenkes RI, “Kementerian Kesehatan Republik Indonesia,” *Kementeri. Kesehat. RI*, vol. 4247608, no. 021, pp. 613–614, 2018.
- [2] I. T. Adhitria, I. G. P. W. W. Wirawan, and A. Z. Mardiansyah, “Implementasi Fuzzy Tsukamoto dan IoT Pada Sistem Pendukung Keputusan Tingkat Kepadatan Lahan Parkir,” *J. Teknol. Informasi, Komputer, dan Apl.*, vol. 2, no. 184–195, 2020.
- [3] E. Kurniawan, A., & Fitriani, “Konsistensi Visual dan Dampaknya terhadap Usability dalam Desain Antarmuka,” 2022.
- [4] D. Saputra, S. Lestanti, and M. F. Rahmat, “Implementasi Logika Fuzzy Pada Rancang Bangun Sistem Informasi Parkir Berbasis Web Di Universitas Islam Balitar,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [5] Rosmasari, D. Nur Rahmad, A. Prafanto, A. Khoirunnita, and M. Jamil, “Sugeno Fuzzy Logic for IoT-based Chicken Farm Drinking Water Quality Monitoring,” *Indones. J. Data Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 134–144, 2025, doi: 10.56705/ijodas.v6i1.229.
- [6] P. Kurniandisyah, M. Safii, B. E. Damanik, D. Hartama, and M. R. Lubis, “Pengendali Air Wudhu Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino,” *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 6, pp. 257–262, 2021, [Online]. Available: <https://djournal.com/klik>
- [7] R. Kurniawan, Sriani, and A. S. Ramadhan, “Sistem Pengendalian Water Pump Untuk Mengatur Volume Level Air Dengan Logika Fuzzy Pada Pengairan Hidroponik,” vol. 4, no. 2, pp. 114–128, 2023.
- [8] I. Mahfuddin, R. Kurniawan, and A. H. Lubis, “Prototype Sistem Penyiram Lahan Perkebunan Kangkung Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Logika Fuzzy Sugeno,” *J. Comput. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 2, pp. 443–450, 2023, doi: 10.47065/josyc.v4i2.2668.
- [9] A. Suryadi, “Rancang Bangun Sistem Pengelolaan Arsip Surat Berbasis Web Menggunakan Metode Waterfall (Studi Kasus : Kantor Desa Karangrau Banyumas),” *J. Khatulistiwa Inform.*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [10] I. A. Pratama and S. Purwidayanta, “Sistem Informasi Geografis Lokasi Perumahan Di Kabupaten Tasikmalaya Berbasis Web,” *J. Manaj. Dan Tek. Inform.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–60, 2018.
- [11] T. Hidayat and Nurjayadi, “Aplikasi Mobile Android untuk Pemasaran Perumahan Menggunakan Metode Markerless Augmented Reality pada PT. Alifa Citra Mulia,” *SATIN - Sains dan Teknol*, vol. 1, no. 1, pp. 47–54, 2015.
- [12] Nurhayati Lestari, “PENGENDALIAN PENGADAAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN MODEL PROBABILISTIK CONTINUOUS REVIEW SYSTEM Studi Kasus di PT. Semen Padang, Sumatera Barat,” *Progr. Stud. Tek. Ind. Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Indones. Yogyakarta 2018*, vol. 1, no. 1, pp. 1–111, 2018.
- [13] B. Rahman, T. Mantoro, S. Andryana, and S. B. Wicaksono, “Optimizing Plant Watering Efficiency via IoT: Fuzzy Sugeno Method with ESP8266 Microcontroller,” *TEM J.*, pp. 1849–1857, 2024, doi: 10.18421/tem133-13.
- [14] A. Haris, N. Anggraini, and H. Sikumbang, “Teknologi Irigasi Cerdas pada Sistem Irigasi Drip dengan Algoritma Ant Colony Optimization,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 6, pp. 1289–1296, 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022955871.
- [15] Z. Yilmaz, A., & Güngör, “A new fuzzy multi criteria decision making approach: weighted scoring method,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 7, pp. 3132–3141, 2008.
- [16] R. Widyasari, H. Cipta, and I. Husein, “Integrated Ahp and Fuzzy-Promethee on Best Selection Process,” *ZERO J. Sains, Mat. dan Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–34, 2019, doi: 10.30829/zero.v3i1.3164.
- [17] N. Arnita, M. Yarmunida, and Y. Sumarni, “Pengaruh Self Service Technology (SST) Terhadap Kepuasan Nasabah Pengguna Layanan Digital (Study Kasus Bank Syariah Indonesia),” *J. Tabarru' Islam. Bank. Financ.*, vol. 6, no. 1, pp. 72–80, 2023, doi: 10.25299/jtb.2023.vol6(1).12784.
- [18] A. Abimanyu, M. Fakhri, and M. Dedi Irawan, “Kombinasi Fuzzy Sugeno dan Profile Matching Dalam Pemilihan Pestisida Tanaman Padi Berbasis Android,” *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 272–284, 2023, doi: 10.30865/klik.v4i1.938.