E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 1 Tahun 2026

Perbandingan Logika *Fuzzy* Mamdani dengan *Thresholding* Pada Sistem *IoT* Penyiram Tanaman Sawi

[1]Natasya Mazaiya, [2]Mulkan Azhari
[1]Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia
**Corresponding Author e-mail:* Mazaiyanatasya@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja metode Logika Fuzzy Mamdani dan Thresholding pada sistem Internet of Things (IoT) untuk penyiraman otomatis tanaman sawi. Sistem dikembangkan menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor kelembapan tanah (soil moisture), sensor suhu DHT21, modul relay, dan pompa air yang terhubung dengan sistem monitoring berbasis Firebase Realtime Database. Metode penelitian menggunakan pendekatan *prototype-based iterative development* dengan teknik pengumpulan data berupa observasi, studi pustaka, dan eksperimen. Pengujian dilakukan selama tiga hari dengan sembilan sesi pengamatan yang mencakup variasi kondisi suhu dan kelembapan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Thresholding menghasilkan keputusan biner berdasarkan ambang kelembapan tanah 700 dengan frekuensi aktivasi pompa sebanyak 6 kali, total durasi penyiraman 60 detik, dan estimasi penggunaan air 1 liter. Sementara itu, metode Logika Fuzzy Mamdani menghasilkan keputusan yang lebih adaptif dengan mempertimbangkan kelembapan tanah dan suhu udara, sehingga pompa aktif sebanyak 8 kali dengan total durasi penyiraman 91,55 detik dan estimasi penggunaan air 1,53 liter. Durasi penyiraman pada metode Fuzzy Mamdani bervariasi antara 0–14,94 detik sesuai kondisi lingkungan, sedangkan Thresholding selalu memberikan durasi tetap 10 detik saat aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Thresholding unggul dalam kesederhanaan dan konsistensi implementasi, sedangkan Logika Fuzzy Mamdani lebih unggul dalam presisi dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga lebih efektif dalam menjaga kestabilan kelembapan tanah pada sistem IoT penyiram tanaman sawi.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT); Logika Fuzzy Mamdani; Thresholding; Penyiraman Otomatis; Kelembapan Tanah; Tanaman Sawi.

Abstract

This study aims to compare the performance of the Mamdani Fuzzy Logic and Thresholding methods on an Internet of Things (IoT) system for automatic watering of mustard greens. The system was developed using a NodeMCU ESP8266, a soil moisture sensor, a DHT21 temperature sensor, a relay module, and a water pump connected to a Firebase Realtime Database-based monitoring system. The research method uses a prototype-based iterative development approach with data collection techniques in the form of observation, literature studies, and experiments. Testing was carried out for three days with nine observation sessions covering

Article History
Received: Mei 2026
Reviewed: Juni 2026
Published: Juni 2026

Plagiarism Checker No 235
Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

variations in temperature and soil moisture conditions. The results showed that the Thresholding method produced a binary decision based on a soil moisture threshold of 700 with a pump activation frequency of 6 times, a total watering duration of 60 seconds, and an estimated water usage of 1 liter. Meanwhile, the Mamdani Fuzzy Logic method produced a more adaptive decision by considering soil moisture and air temperature, so that the pump was activated 8 times with a total watering duration of 91.55 seconds and an estimated water usage of 1.53 liters. The watering duration in the Mamdani Fuzzy Logic method varies between 0–14.94 seconds depending on environmental conditions, while the Thresholding method always provides a fixed duration of 10 seconds when active. The results show that the Thresholding method excels in simplicity and consistency of implementation, while the Mamdani Fuzzy Logic method excels in precision and adaptability to changing environmental conditions, making it more effective in maintaining stable soil moisture in an IoT system for watering mustard greens.
***Keywords**: Internet of Things (IoT); Mamdani Fuzzy Logic; Thresholding; Automatic Watering; Soil Moisture; Mustard Greens.*

PENDAHULUAN

Tanaman sawi merupakan salah satu jenis sayuran hortikultura yang secara luas dikembangkan oleh masyarakat, berkat siklus panennya yang relatif singkat serta permintaan pasar yang konsisten. Keberhasilan kultivasi tanaman sawi sangat bergantung pada faktor lingkungan, terutama kondisi air dan kelembapan tanah. Kelembapan tanah yang terlalu rendah dapat memicu stres air pada tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan vegetatif, sedangkan kelembapan tanah yang berlebihan dapat mengurangi aerasi tanah dan meningkatkan risiko pembusukan akar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan irigasi tanaman sawi harus dilakukan dengan presisi dan pengukuran yang akurat agar kelembapan tanah tetap dalam rentang optimal yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman (Vahidi, Shafian, & Frame, 2025).

Dalam praktik budidaya konvensional, proses irigasi tanaman umumnya masih dilakukan secara manual, berdasarkan kebiasaan petani atau estimasi visual terhadap kondisi tanah. Pendekatan ini memiliki keterbatasan karena tidak mampu mengukur kebutuhan air tanaman secara akurat dan real-time. Akibatnya, irigasi dapat dilakukan secara berlebihan, yang mengakibatkan pemborosan air, atau sebaliknya dilakukan secara insufisien, sehingga tanaman mengalami kekeringan. Permasalahan ini diperburuk oleh fluktuasi cuaca dan kondisi lingkungan yang tidak stabil, yang dapat mempercepat perubahan kelembapan tanah. Oleh karena itu, diperlukan sistem irigasi yang mampu melakukan pengendalian otomatis berdasarkan data aktual kondisi tanah dan lingkungan, sehingga efisiensi air dapat ditingkatkan dan kualitas pertumbuhan tanaman sawi dapat dipertahankan (Gupta et al., 2025).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat seperti sensor dan mikrokontroler saling terhubung untuk melakukan pemantauan dan pengendalian sistem secara otomatis dan real-time. Dalam bidang pertanian, IoT digunakan untuk membaca parameter lingkungan seperti kelembapan tanah serta mengendalikan proses penyiraman secara otomatis, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mempermudah monitoring kondisi tanaman (Aisyah, Ulhaq, Dharmawan, & Purbakawaca, 2025).

Dalam pengembangan sistem IoT irigasi, metode pengambilan keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air merupakan faktor kunci yang menentukan performa sistem. Salah satu metode pengendalian yang paling umum digunakan adalah metode thresholding atau kendali berbasis ambang batas. Metode thresholding beroperasi berdasarkan

prinsip sederhana, yaitu pompa air akan diaktifkan ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas tertentu, dan pompa akan dinonaktifkan ketika nilai kelembapan tanah telah mencapai batas atas yang ditentukan. Metode ini banyak diaplikasikan karena mudah diimplementasikan pada mikrokontroler, tidak memerlukan komputasi yang kompleks, serta sesuai untuk sistem IoT berskala kecil (Ranjan, 2023).

Penetapan nilai ambang kelembapan tanah pada metode thresholding memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat efisiensi sistem irigasi, sehingga diperlukan proses kalibrasi yang akurat agar sistem dapat beroperasi secara optimal pada berbagai kondisi lingkungan. Sebagai alternatif, metode logika fuzzy Mamdani banyak digunakan dalam sistem irigasi otomatis karena mampu merepresentasikan proses pengambilan keputusan yang menyerupai cara berpikir manusia melalui penggunaan variabel linguistik seperti kering, lembap, dan basah. Berbeda dengan kendali berbasis ambang yang bersifat kaku, logika fuzzy mempertimbangkan derajat keanggotaan suatu kondisi dalam beberapa kategori, sehingga menghasilkan keputusan penyiraman yang lebih fleksibel dan adaptif. Keluaran dari metode fuzzy Mamdani umumnya berupa pengaturan durasi atau volume irigasi yang disesuaikan dengan tingkat kelembapan tanah, sehingga mampu meningkatkan kestabilan sistem pengendalian serta efisiensi penggunaan air. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy pada sistem irigasi berbasis IoT yang terintegrasi dengan jaringan komunikasi dan layanan cloud dapat memberikan kontrol yang lebih stabil serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan sistem konvensional (Artetxe et al., 2024).

Metode thresholding digunakan untuk mengontrol penyiraman berdasarkan nilai ambang batas kelembapan tanah yang telah ditentukan, sehingga sistem bekerja secara sederhana dan efisien. Namun, metode ini bersifat kaku karena hanya menghasilkan keputusan biner berdasarkan batas tertentu. Sebaliknya, metode logika fuzzy Mamdani mampu memberikan keputusan yang lebih adaptif dengan mempertimbangkan kondisi kelembapan tanah secara bertahap melalui variabel linguistik seperti kering, lembap, dan basah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem berbasis fuzzy mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air serta memberikan kontrol yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan (Gupta et al., 2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan prototype-based iterative *development*, yaitu pengembangan sistem dilakukan melalui pembuatan prototipe awal, lalu diuji, dievaluasi, dan diperbaiki secara berulang hingga sistem penyiraman otomatis bekerja sesuai target. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah observasi, studi pustaka, dan eksperimen. Prinsip kerja sistem penyiraman otomatis dimulai saat sistem dinyalakan dan ESP8266 melakukan inisialisasi seluruh sensor serta koneksi Wi-Fi. Sensor soil moisture membaca nilai kelembapan tanah secara berkala dan mengirimkan data ke ESP8266 untuk diproses menggunakan dua metode pengambilan keputusan, yaitu thresholding dan logika fuzzy Mamdani. Pada metode thresholding, sistem membandingkan nilai kelembapan dengan ambang batas yang telah ditentukan. Sedangkan pada metode fuzzy Mamdani, sistem melakukan proses fuzzifikasi, pembentukan aturan (rule base), inferensi, dan defuzzifikasi untuk menentukan keputusan penyiraman yang lebih adaptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Sistem

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem penyiraman otomatis tanaman sawi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bertujuan untuk mengontrol proses penyiraman secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan. Sistem ini menggunakan *NodeMCU* ESP8266 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor soil moisture pada pin analog A0 untuk membaca kelembapan tanah dan sensor DHT21 pada pin digital D2 untuk membaca suhu udara. Selain itu, sistem juga menggunakan modul relay pada pin D7 untuk mengontrol pompa air serta

tambahan saklar pada pin D6 yang berfungsi sebagai pengontrol tambahan sebelum proses penyiraman dilakukan.

Secara umum, sistem bekerja dengan membaca nilai kelembapan tanah dan suhu udara, kemudian data tersebut diproses menggunakan metode logika fuzzy Mamdani untuk menentukan durasi penyiraman. Apabila kondisi tanah terdeteksi kering, sistem akan mengaktifkan saklar sebagai tahap awal, kemudian pompa air akan menyala untuk melakukan penyiraman sesuai durasi yang telah ditentukan. Setelah proses penyiraman selesai, pompa dan saklar akan dimatikan secara otomatis. Air dialirkan dari ember melalui pompa dan selang menuju pot tanaman sawi.

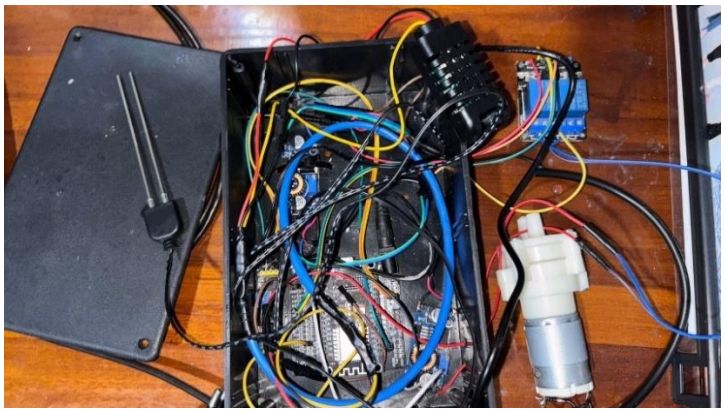
Gambar 1. Hasil Perancangan Sistem Penyiraman Otomatis

Berdasarkan Gambar di atas, terlihat bahwa seluruh komponen sistem telah terintegrasi dengan baik antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Sensor soil moisture ditempatkan pada media tanam untuk membaca kelembapan tanah secara langsung, sedangkan sensor DHT21 digunakan untuk membaca suhu lingkungan. Relay berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan pompa air, sedangkan saklar berfungsi sebagai pengontrol tambahan yang aktif sebelum pompa menyala dan nonaktif setelah penyiraman selesai. Dengan demikian, sistem penyiraman otomatis yang telah dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan untuk mewujudkan sistem penyiraman otomatis tanaman sawi berbasis *Internet of Things* (IoT) ke dalam bentuk alat yang dapat digunakan secara langsung. Pada tahap ini, seluruh komponen yang telah dirancang dirangkai dan diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem yang utuh. Proses ini bertujuan agar setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan serta saling terhubung dengan baik.

Perangkat keras yang digunakan terdiri dari *NodeMCU* ESP8266 sebagai pusat kendali, sensor soil moisture pada pin analog A0 untuk membaca kelembapan tanah, sensor DHT21 pada pin digital D2 untuk membaca suhu lingkungan, modul relay pada pin D7 untuk mengontrol pompa air, serta saklar pada pin D6 sebagai pengontrol tambahan sebelum pompa diaktifkan. Seluruh komponen dirangkai dan ditempatkan dalam satu wadah (box) agar sistem lebih rapi, aman, dan mudah dalam pengoperasian.



Gambar 2. Implementasi Perangkat Keras Sistem

Berdasarkan Gambar di atas, terlihat bahwa seluruh komponen telah terpasang dan terhubung dengan baik dalam satu sistem. *NodeMCU* berfungsi sebagai pengendali utama yang mengolah data dari sensor, kemudian memberikan perintah ke relay untuk mengaktifkan pompa air. Saklar digunakan sebagai pengontrol tambahan sebelum pompa menyala dan akan kembali nonaktif setelah proses penyiraman selesai. Dengan demikian, sistem yang telah diimplementasikan dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan siap untuk dilakukan tahap pengujian.

Hasil Pengujian Dan Analisis Sistem

1. Skenario dan Periode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan secara terjadwal pada tiga hari pengujian, yaitu tanggal 1 Juni 2026, 6 Juni 2026, dan 7 Juni 2026, dengan masing-masing hari dibagi menjadi tiga sesi pengamatan: Pagi (07.00 WIB), Siang (13.00 WIB), dan Sore (17.00 WIB), sehingga diperoleh sembilan titik data pengujian. Pemilihan tiga sesi waktu tersebut dimaksudkan untuk merepresentasikan variasi kondisi suhu dan kelembapan tanah yang umum terjadi dalam satu siklus harian, mulai dari kondisi sejuk pada pagi hari hingga kondisi terik pada siang dan sore hari.

Pada setiap sesi, sistem membaca nilai suhu udara melalui sensor DHT21 dan nilai kelembapan tanah melalui sensor soil moisture, kemudian kedua data tersebut diproses menggunakan dua metode pengambilan keputusan secara terpisah, yaitu metode Thresholding dan Logika Fuzzy Mamdani, untuk dibandingkan kinerjanya pada kondisi data yang setara.

2. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah dan Suhu

Tabel berikut menyajikan hasil pengujian sensor kelembapan tanah dan suhu pada sembilan sesi pengujian selama tiga hari.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah dan Suhu

No	Tanggal	Sesi	Suhu (°C)	Kelembapan Tanah	Status Tanah
1	01 Juni 2026	Pagi (07:00)	23.5	360	Lembap
2	01 Juni 2026	Siang (13:00)	32.0	790	Kering
3	01 Juni 2026	Sore (17:00)	29.5	855	Kering
4	06 Juni 2026	Pagi (07:00)	21.0	300	Lembap
5	06 Juni 2026	Siang (13:00)	27.0	718	Kering
6	06 Juni 2026	Sore (17:00)	25.5	745	Kering
7	07 Juni 2026	Pagi (07:00)	24.5	400	Lembap

No	Tanggal	Sesi	Suhu (°C)	Kelembapan Tanah	Status Tanah
8	07 Juni 2026	Siang (13:00)	33.5	830	Kering
9	07 Juni 2026	Sore (17:00)	31.0	865	Kering

Berdasarkan Tabel di atas, sensor DHT21 mencatat suhu udara dalam rentang 21,0°C hingga 33,5°C, sedangkan sensor kelembapan tanah memberikan nilai analog antara 300 hingga 865. Nilai kelembapan tanah di atas 700 dikategorikan sebagai kondisi "Kering", sedangkan nilai 700 ke bawah dikategorikan sebagai "Lembap". Pola pengujian menunjukkan bahwa sesi Siang dan Sore secara konsisten memiliki nilai kelembapan tanah lebih tinggi (lebih kering) dibandingkan sesi Pagi pada ketiga hari pengujian, sejalan dengan suhu udara yang juga lebih tinggi pada sesi tersebut.

3. Hasil Pengujian Logika Fuzzy Mamdani

Tabel berikut menyajikan hasil pengujian metode Logika Fuzzy Mamdani pada sembilan sesi pengujian, mencakup derajat keanggotaan masing-masing himpunan fuzzy input dan hasil defuzzifikasi durasi pompa.

Tabel 2. Hasil Pengujian Logika Fuzzy Mamdani

No	Sesi	μKering	μIdeal	μBasah	μDingin	μNormal	μPanas	Durasi (s)	Status Pompa
1	01 Juni Pagi	0.00	1.00	0.90	0.30	0.38	0.00	2.29	Menyiram
2	01 Juni Siang	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	14.64	Menyiram
3	01 Juni Sore	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	14.72	Menyiram
4	06 Juni Pagi	0.00	1.00	1.00	0.80	0.00	0.00	0.00	Standby
5	06 Juni Siang	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	14.09	Menyiram
6	06 Juni Sore	0.39	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	14.38	Menyiram
7	07 Juni Pagi	0.00	1.00	0.50	0.10	0.63	0.00	2.32	Menyiram
8	07 Juni Siang	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	14.17	Menyiram

9	07 Juni Sore	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	14.94	Menyiram

Berdasarkan Tabel di atas, metode Fuzzy Mamdani menghasilkan durasi penyiraman yang bervariasi secara proporsional terhadap kondisi tanah dan suhu. Pada kondisi tanah sangat kering disertai suhu panas (7 Juni 2026, sesi Sore: tanah=865, suhu=31,0°C), sistem menghasilkan durasi penyiraman terpanjang yaitu 14,94 detik. Sebaliknya, pada kondisi tanah lembap disertai suhu dingin (6 Juni 2026, sesi Pagi: tanah=300, suhu=21,0°C), derajat keanggotaan himpunan "mati" mendominasi sehingga sistem menghasilkan durasi 0,00 detik (pompa tidak aktif). Pada kondisi tanah ideal dengan suhu normal (1 dan 7 Juni 2026, sesi Pagi), sistem tetap menghasilkan durasi penyiraman singkat (2,29 dan 2,32 detik) akibat aktifnya aturan "ideal AND normal → sebentar", menunjukkan kemampuan sistem memberikan penyiraman ringan pemeliharaan meskipun kondisi tanah belum tergolong kering.

4. Hasil Pengujian Metode Thresholding

Tabel berikut menyajikan hasil pengujian metode Thresholding pada data sesi pengujian yang sama, menggunakan nilai ambang kelembapan tanah 700 dan durasi penyiraman tetap 10 detik setiap kali pompa diaktifkan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Metode Thresholding

No	Tanggal	Sesi	Kelembapan Tanah	Keputusan (Ambang 700)	Durasi & Status Pompa
1	01 Juni 2026	Pagi (07:00)	360	≤ 700 (Lembap)	0,0 detik - Standby
2	01 Juni 2026	Siang (13:00)	790	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram
3	01 Juni 2026	Sore (17:00)	855	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram
4	06 Juni 2026	Pagi (07:00)	300	≤ 700 (Lembap)	0,0 detik - Standby
5	06 Juni 2026	Siang (13:00)	718	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram
6	06 Juni 2026	Sore (17:00)	745	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram
7	07 Juni 2026	Pagi (07:00)	400	≤ 700 (Lembap)	0,0 detik - Standby
8	07 Juni 2026	Siang (13:00)	830	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram
9	07 Juni 2026	Sore (17:00)	865	> 700 (Kering)	10,0 detik - Menyiram

Berdasarkan Tabel di atas, metode Thresholding menghasilkan keputusan biner : pompa aktif dengan durasi tetap 10 detik apabila nilai kelembapan tanah melebihi 700, dan pompa tidak aktif (0 detik) apabila nilai kelembapan tanah berada pada atau di bawah 700. Berbeda dengan Fuzzy Mamdani, metode ini tidak membedakan tingkat keparahan kekeringan tanah

maupun pengaruh suhu udara baik pada kondisi tanah=790 maupun tanah=865, sistem memberikan durasi penyiraman yang sama persis (10 detik), meskipun kedua kondisi tersebut memiliki tingkat kekeringan yang berbeda.

5. Perbandingan Kinerja Metode Thresholding dan Fuzzy Mamdani

Tabel berikut merangkum perbandingan kinerja kedua metode berdasarkan hasil pengujian pada sembilan sesi selama tiga hari, mencakup frekuensi aktivasi pompa, total durasi penyiraman, rata-rata durasi per aktivasi, variasi (standar deviasi) durasi, dan estimasi volume air yang digunakan (diasumsikan debit pompa 1 liter/menit sesuai spesifikasi pompa DC 12V yang digunakan).

Tabel 4. Perbandingan Kinerja Metode Thresholding dan Fuzzy Mamdani

Parameter	Thresholding	Fuzzy Mamdani
Jumlah sesi pengujian	9	9
Frekuensi aktivasi pompa	6 kali	8 kali
Total durasi penyiraman	60.00 detik	91.55 detik
Rata-rata durasi per aktivasi	10.00 detik	11.44 detik
Standar deviasi durasi aktif	0.00	5.28
Estimasi volume air terpakai	1.00 liter	1.53 liter
Rentang durasi (min-maks)	0,00 – 10,00 detik	0,00 – 14,94 detik

Tabel di atas menunjukkan temuan yang bernuansa pada perbandingan kedua metode. Dari sisi frekuensi, Fuzzy Mamdani lebih sering mengaktifkan pompa (8 dari 9 sesi) dibandingkan Thresholding (6 dari 9 sesi), karena Fuzzy Mamdani tetap memberikan penyiraman ringan pada kondisi tanah mendekati ideal yang belum terdeteksi "kering" oleh ambang batas Thresholding. Namun dari sisi total volume air, Thresholding menggunakan total durasi yang sedikit lebih rendah (60,00 detik atau 1,00 liter) dibandingkan Fuzzy Mamdani (91,55 detik atau 1,53 liter) pada skenario pengujian ini.

Standar deviasi durasi aktif menunjukkan perbedaan karakteristik yang lebih mendasar: Thresholding memiliki standar deviasi 0,00 karena selalu memberikan durasi tetap (10 detik) setiap kali aktif tanpa mempertimbangkan tingkat keparahan kekeringan, sedangkan Fuzzy Mamdani memiliki standar deviasi 5,28 yang mencerminkan kemampuannya menyesuaikan durasi penyiraman secara proporsional mulai dari penyiraman ringan 2,29 detik pada kondisi mendekati ideal, hingga 14,94 detik pada kondisi tanah sangat kering disertai suhu panas. Dengan demikian, keunggulan Fuzzy Mamdani terletak pada presisi dan proporsionalitas respons terhadap kondisi aktual tanaman, bukan semata-mata pada efisiensi volume air total.

6. Sistem Monitoring Data Real-Time

Sistem dilengkapi dengan kemampuan monitoring data secara real-time yang memungkinkan pemantauan kondisi kelembapan tanah, suhu, serta status pompa melalui antarmuka berbasis web yang terhubung dengan Firebase Realtime Database. Data suhu, kelembapan tanah, dan durasi penyiraman pada setiap sesi pengujian ditampilkan secara langsung pada antarmuka monitoring, sehingga memudahkan proses pencatatan dan analisis perbandingan kinerja kedua metode. Dokumentasi tampilan antarmuka monitoring untuk setiap sesi pengujian disertakan pada bagian Lampiran.

Pembahasan

Hasil pengujian pada sembilan sesi selama tiga hari menunjukkan bahwa kedua metode memiliki karakteristik kinerja yang berbeda dan saling melengkapi. Metode Thresholding terbukti sederhana dan dapat diprediksi, karena hanya mempertimbangkan satu parameter (kelembapan tanah) dengan satu nilai ambang tetap, sehingga keputusan yang dihasilkan selalu konsisten namun bersifat kaku tidak membedakan antara tanah yang baru saja melewati ambang kering (kelembapan 718) dengan tanah yang sudah sangat kering (kelembapan 865), keduanya tetap diberi durasi penyiraman yang sama yaitu 10 detik.

Sebaliknya, metode Logika Fuzzy Mamdani menunjukkan kemampuan adaptif dengan mempertimbangkan dua parameter sekaligus (kelembapan tanah dan suhu udara), menghasilkan durasi penyiraman yang proporsional terhadap tingkat keparahan kondisi tanah. Pada kasus kelembapan tanah 718 (baru melewati ambang kering), Fuzzy Mamdani menghasilkan durasi 14,09 detik, sementara pada kelembapan tanah 865 (sangat kering) menghasilkan durasi 14,94 detik menunjukkan gradasi respons meskipun selisihnya pada kasus pengujian ini relatif kecil karena kedua kondisi sama-sama berada pada zona keanggotaan "kering" yang tinggi.

Temuan bahwa Thresholding menggunakan total volume air sedikit lebih rendah pada skenario pengujian ini (1,00 liter berbanding 1,53 liter) perlu dimaknai secara hati-hati. Volume air yang lebih rendah pada Thresholding bukan disebabkan oleh efisiensi algoritma, melainkan karena metode ini tidak memberikan penyiraman sama sekali pada kondisi tanah yang belum melewati ambang batas, termasuk pada kondisi mendekati ideal yang sebenarnya masih dapat memperoleh manfaat dari penyiraman ringan pemeliharaan. Logika Fuzzy Mamdani, dengan mempertimbangkan variabel suhu tambahan, mampu mendeteksi kebutuhan penyiraman ringan pada kondisi tersebut, sehingga total volume yang digunakan sedikit lebih tinggi namun dengan distribusi yang lebih responsif terhadap kondisi lingkungan aktual.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini memperkuat temuan pada kajian pustaka bahwa metode Thresholding unggul dalam kesederhanaan dan konsistensi implementasi, sedangkan Logika Fuzzy Mamdani unggul dalam presisi dan adaptivitas respons terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, sejalan dengan penelitian Artetxe et al. (2024) dan Adiwilaga et al. (2024) yang menyatakan bahwa logika fuzzy memberikan kontrol irigasi yang lebih stabil dan adaptif dibandingkan sistem berbasis ambang batas tetap.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada sembilan sesi selama tiga hari (1, 6, dan 7 Juni 2026), dapat ditarik kesimpulan bahwa Sistem penyiraman otomatis yang dikembangkan menggunakan sensor kelembapan tanah (soil moisture) dan sensor suhu DHT21 berhasil membaca kondisi lingkungan secara periodik dan memproses data tersebut menggunakan dua metode pengambilan keputusan yang berbeda, kemudian mengendalikan pompa air melalui modul relay sesuai hasil pengolahan masing-masing metode. Metode Thresholding menghasilkan keputusan biner berdasarkan satu nilai ambang kelembapan tanah (700), dengan durasi penyiraman tetap 10 detik setiap kali aktif. Pada sembilan sesi pengujian, pompa aktif sebanyak 6 kali dengan total durasi 60,00 detik (estimasi 1,00 liter air), dan standar deviasi durasi 0,00 yang menunjukkan respons yang konsisten namun tidak proporsional terhadap tingkat keparahan kekeringan tanah. Metode Logika Fuzzy Mamdani menghasilkan keputusan yang lebih adaptif dengan mempertimbangkan dua parameter (kelembapan tanah dan suhu udara). Pada sembilan sesi pengujian, pompa aktif sebanyak 8 kali dengan total durasi 91,55 detik (estimasi 1,53 liter air), dengan durasi bervariasi dari 2,29 hingga 14,94 detik (standar deviasi 5,28) yang mencerminkan kemampuan sistem memberikan respons proporsional terhadap kondisi aktual tanaman. Perbandingan total volume air menunjukkan bahwa Thresholding menggunakan volume sedikit lebih rendah pada skenario pengujian, namun hal ini disebabkan oleh sifatnya yang tidak menyiram sama sekali pada kondisi mendekati ideal, bukan karena efisiensi algoritma. Logika Fuzzy Mamdani justru mendeteksi kebutuhan penyiraman ringan pada kondisi

tersebut berkat pertimbangan variabel suhu tambahan, sehingga keunggulan utamanya terletak pada presisi dan proporsionalitas respons, bukan semata pada penghematan volume air. Secara keseluruhan, metode Thresholding lebih sesuai untuk implementasi yang mengutamakan kesederhanaan dan konsistensi, sedangkan Logika Fuzzy Mamdani lebih sesuai untuk implementasi yang mengutamakan presisi dan adaptivitas terhadap variasi kondisi lingkungan, sejalan dengan tujuan penelitian untuk membandingkan kinerja kedua metode dalam menjaga kestabilan kelembapan tanah dan efisiensi penyiraman pada sistem IoT penyiram tanaman sawi.

DAFTAR PUSTAKA

Adiwilaga, A., Firmansyah, R. M., & Muthmainah, R. I. F. (2024). Prototype Design of Automatic Irrigation System for Precision Agriculture Application Using Mamdani Fuzzy Logic Controller. *Journal of Computer Engineering , Electronics and Information Technology (COELITE)*, *3*(2), 77–88.

Aisyah, N., Ulhaq, D., Dharmawan, A., & Purbakawaca, R. (2025). Design of an Iot-Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensors for Water Efficiency. *JoP*, *11*(1), 89–97.

Artetxe, E., Barambones, O., Martín Toral, I., Uralde, J., Calvo, I., & del Rio, A. (2024). Smart IoT Irrigation System Based on Fuzzy Logic, LoRa, and Cloud Integration. *Electronics (Switzerland)*, *13*(10). https://doi.org/10.3390/electronics13101949

Gupta, S., Chowdhury, S., Govindaraj, R., Amesho, K. T. T., Shangdiar, S., Kadhila, T., & Iikela, S. (2025). Smart agriculture using IoT for automated irrigation, water and energy efficiency. *Smart Agricultural Technology*, *12*(January). https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101081

Ranjan, S. (2023). Smart Irrigation System Using I . O . T. *IJCRT*, *11*(5).

Vahidi, M., Shafian, S., & Frame, W. H. (2025). Precision Soil Moisture Monitoring Through Drone-Based Hyperspectral Imaging and PCA-Driven Machine Learning. *Sensors*, *25*(3). https://doi.org/10.3390/s25030782