

Penerapan Irigasi Alur Tanaman Jagung Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Berbasis *Internet of Things* di Desa Bringin, Kediri

Achmad Muhyidin Shobri¹, Bambang Minto Basuki², Anang Habibi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
Jl. MT Haryono 193 Malang

muhyidinshobrineo7@gmail.com, bambang.minto@unisma.ac.id, ananghabibi@unisma.ac.id

Abstract

This research develops an automatic furrow irrigation system for corn plants (*Zea mays* L.) based on Mamdani fuzzy logic and an IoT platform using the ESP32 microcontroller. Real-time data from two capacitive soil moisture sensors V2.0, DS18B20 temperature sensor, and YF-B1 flow sensor are sent to the Arduino IoT Cloud, then processed through fuzzification, inference, and defuzzification stages to control the valve opening via a stepper motor operated with TB6600 module, as well as to control the pump and solenoid valve. Validation from the results of testing each sensor shows a MAPE value of: temperature 1%, water flow 7%, soil moisture 3 - 4%, and fuzzy calculation 2%. This system successfully adjusts water flow adaptively following soil conditions and produces a difference of about 21.15 L compared to conventional irrigation, demonstrating efficiency in water use and reliability of automatic control.

Keywords: *Internet of Things, Mamdani Fuzzy Logic, Furrow Irrigation, Water use Efficiency, Stepper Motor*

Abstraksi

Penelitian ini mengembangkan sistem irigasi alur otomatis untuk tanaman jagung (*Zea mays* L.) berbasis logika fuzzy Mamdani dan platform IoT menggunakan mikrokontroler ESP32. Data real-time dari dua sensor kelembaban tanah kapasitif V2.0, sensor suhu DS18B20, dan sensor debit YF-B1 dikirim ke Arduino IoT Cloud, kemudian diproses melalui tahap fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk mengatur bukaan keran via motor stepper yang dioperasikan dengan modul TB6600, serta mengendalikan pompa dan solenoid valve. Validasi dari hasil pengujian masing-masing sensor menunjukkan nilai MAPE sebesar: suhu 1 %, debit air 7 %, kelembaban tanah 3 – 4 %, dan perhitungan fuzzy 2 %. Sistem ini berhasil menyesuaikan aliran air secara adaptif mengikuti kondisi tanah dan menghasilkan selisih sekitar 21,15 L dengan irigasi konvensional, hal ini membuktikan efisiensi penggunaan air dan keandalan kendali otomatis

Kata Kunci: *Internet of Things, Logika Fuzzy Mamdani, Irigasi Alur, Efisiensi Air, Motor Stepper* dengan *Internet of Things* (IoT) menjadi pendekatan inovatif yang menjanjikan dalam optimalisasi distribusi air pada lahan pertanian [14] [15]. Logika fuzzy, khususnya metode Fuzzy Mamdani, mampu mengakomodasi ketidakpastian dan variabilitas data lingkungan [16],[13],[17], seperti suhu dan kelembaban tanah, sehingga memungkinkan sistem irigasi bekerja secara adaptif [18],[16], [19].

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang sangat bergantung pada sektor pertanian sebagai penopang utama ketahanan pangan dan perekonomian nasional [1],[2]. Kebutuhan air sangat penting pada bidang pertanian terutama untuk menjaga kelestarian tanaman dan hasil panen yang optimal [3],[4]. Oleh karena itu, sistem irigasi yang mampu mengoptimalkan penggunaan air secara efisien [5],[6],[7].

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu komoditas strategis yang membutuhkan ketersediaan air yang optimal selama masa pertumbuhan [4],[8],[9]. Salah satu metode irigasi yang umum diterapkan pada lahan dengan kemiringan tertentu adalah irigasi alur (*furrow irrigation*) [10]. Namun, sistem irigasi konvensional umumnya masih dilakukan secara manual, yang berisiko menimbulkan ketidakefisienan distribusi air [11], pemborosan sumber daya, serta kurang responsif terhadap kondisi lingkungan yang dinamis [12], sehingga diperlukan sistem otomatis yang mampu memberikan efisiensi penggunaan air yang tepat sesuai kebutuhan tanaman[13].

Seiring dengan perkembangan teknologi, integrasi sistem kendali berbasis logika fuzzy

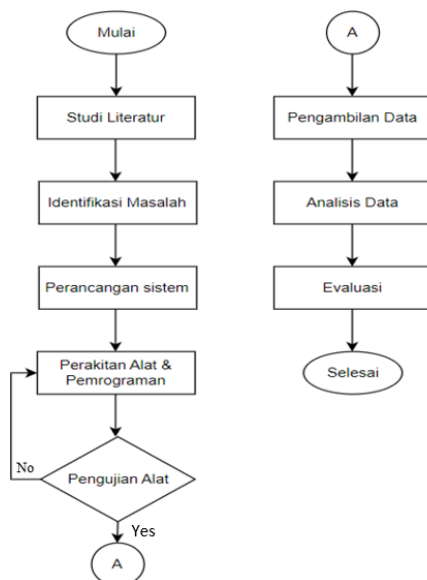
Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya untuk melakukan sistem otomatis pada irigasi pertanian, ada yang fokus pada implementasi *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring jarak jauh [20], dan ada yang sudah mengintegrasikan metode logika fuzzy tetapi belum menggunakan sistem IoT [3]. Pada penelitian lain sistem irigasi otomatis sudah diterapkan tetapi belum memiliki mekanisme monitoring dan pengambilan keputusan cerdas [12]. Terdapat celah pada literatur untuk system terintegrasi yang menggabungkan kendali cerdas.

Untuk menanggapi hal tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah sistem irigasi otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 yang terintegrasi dengan platform Arduino IoT Cloud untuk membangun sistem pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time.

Ruang lingkup sistem meliputi input berupa kelembaban tanah dan suhu lingkungan, serta output berupa pengendalian bukaan keran melalui motor stepper, aktivasi pompa air, dan *solenoid valve*. Serta sensor volume air untuk mengetahui efisiensi air yang dibutuhkan. Sistem ini ditujukan untuk menjaga kelembaban tanah pada kisaran optimal 70–80% secara otomatis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi alur otomatis berbasis logika fuzzy dan IoT, serta mengevaluasi tingkat akurasi dan efisiensinya melalui pengukuran menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

II. METODE PENELITIAN

A. DIAGRAM ALUR PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian

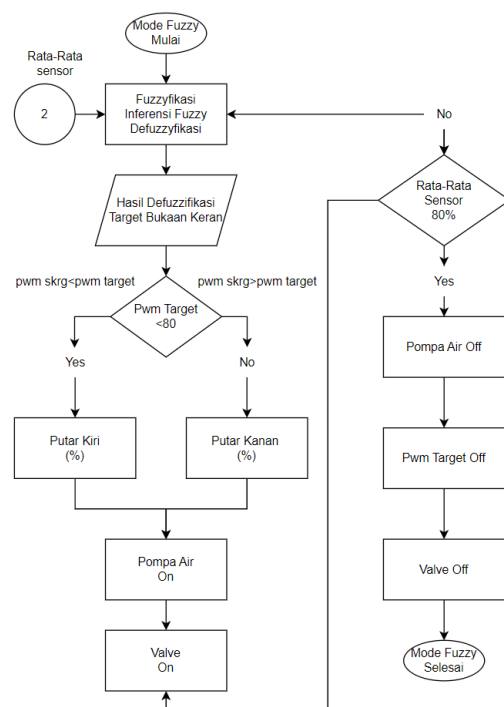
Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini dimulai dari studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi masalah, selanjutnya perancangan sistem, selanjutnya dilakukan perakitan alat dan pemrograman *software*, kemudian dilakukan pengujian aktuatur dan sensor secara menyeluruh. Hasil dari pengujian aktuatur dan sensor yang dibandingkan dengan perhitungan MAPE untuk mengukur kinerja dari akurasi aktuatur dan sensor. Jika hasil perhitungan MAPE kurang dari 10% maka aktuatur dan sensor dianggap layak dan ujicoba sistem akan dilanjutkan ketahap analisa sistem. Jika terdapat error yang cukup parah pada sistem, maka akan dipertimbangkan kembali untuk melakukan perancangan sistem.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif yang dipadukan dengan metodologi *Research and Development* (R&D) berbasis

rekayasa untuk merancang, membuat purwarupa, dan menguji sistem kendali otomatis irigasi pada tanaman jagung. Data numerik yang dikumpulkan melalui sensor termasuk volume air dalam satuan liter dianalisis secara statistik untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan air dan kestabilan distribusi dibandingkan dengan pengukuran manual konvensional.

Fokus kuantitatif memungkinkan penilaian objektif terhadap kinerja logika fuzzy dalam menstabilkan kelembaban tanah serta efektivitas sistem dalam memenuhi kebutuhan air tanaman. Hasil analisis ini diharapkan memberikan gambaran menyeluruh mengenai keandalan dan efisiensi sistem kendali otomatis yang dikembangkan.

B. FLOWCHART SISTEM



Gambar 2. Flowchart Sistem

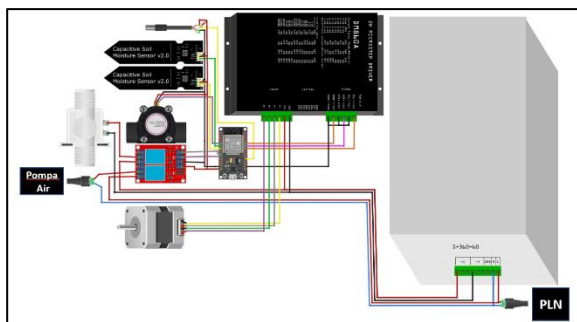
Berdasarkan Gambar 2, menjelaskan bahwa alur kerja sistem irigasi yang memanfaatkan logika fuzzy untuk mengatur besar kecilnya bukaan keran berdasarkan pembacaan data sensor. Proses akan dimulai dengan sistem mengambil data nilai rata – rata dari sensor kelembaban tanah dan nilai suhu. Nilai ini kemudian digunakan untuk input proses logika fuzzy, yang terdiri dari tiga tahap yaitu. Fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Kemudian di dapatkan output yaitu nilai target bukaan keran yang sesuai kondisi kelembaban tanah saat itu. Setelah itu sistem akan membandingkan dengan nilai *pulse width modulation* (pwm) saat ini, jika nilai pwm saat ini lebih kecil dari target maka motor *stepper* akan berputar ke kiri agar bukaan keran terbuka lebih

besar atau sampai terbuka penuh. Sebaliknya jika nilai pwm lebih besar dari nilai target maka motor *stepper* akan berputar ke kanan untuk menutup sebagian atau menutup penuh bukaan keran. Kemudian sistem akan mengaktifkan pompa air dan *solenoid valve* agar air dapat mengalir sesuai kebutuhan.

Namun, jika nilai rata – rata sensor berada pada rentang 70-80% maka sistem akan menganggap tanah sudah cukup lembab tidak akan terjadi proses fuzzy. Pada kasus ini, keran di nonaktifkan (bukaan keran menutup penuh), pompa air dan solenoid valve juga dinonaktifkan serta proses fuzzy dianggap selesai dan sistem kembali ke kondisi siaga.

Secara keseluruhan menggambarkan sistem pengambilan keputusan otomatis menggunakan logika fuzzy untuk penyiraman tanaman jagung berdasarkan nilai kelembaban tanah dan suhu, sehingga air benar-benar digunakan saat dibutuhkan. Pada sistem ini meningkatkan efisiensi sistem irigasi dan menghemat air dengan bantuan logika fuzzy.

C. DESAIN ELEKTRONIK



Gambar 3. Desain Elektronik

Pada *board* desain Gambar 3 memperlihatkan tata letak modul – modul utama pada *board* sistem irigasi alur tanaman jagung otomatis IoT dengan logika fuzzy, mulai dari sumber catu daya hingga aktuator. Secara umum, *board* ini tersusun sebagai berikut:

- 1) Catu Daya
 - Power Supply 12V DC
Memberikan daya yang dibutuhkan pada modul motor *stepper* dan *solenoid valve* yang melewati relay.
 - Power Supply 5V DC
Digunakan untuk memberikan daya pada kedua sensor *Capacitive Soil Moisture* V2.0, sensor DS18B20, sensor YF-B1, modul TB6600, Relay dan Mikrokontroler ESP32.
- 2) Mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1
Berfungsi untuk pengendali utama dalam sistem untuk mengendalikan aktuator,

mengolah data dari semua sensor dan sebagai penghubung komunikasi dengan cloud.

3) Sensor – sensor

- Sensor *Capacitive Soil Moisture* V2.0 (2 biji)
- Sensor Debit YF-B1
- Sensor Suhu DS18B20

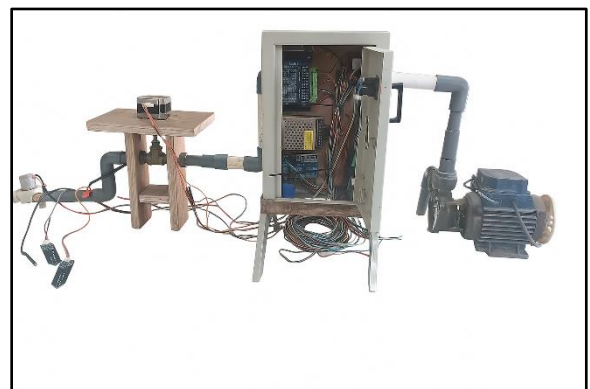
4) Aktuator

- 2 Buah Relay

Untuk Relay pertama digunakan sebagai pengatur pompa air yang mengalirkan air untuk kebutuhan tanaman jagung, yang kedua untuk solenoid valve sebagai penutup pipa aliran air supaya air yang dialirkan sesuai dengan yang dibutuhkan.

- Modul Motor Stepper dan Motor Stepper
Berfungsi sebagai pengatur bukaan keran agar air yang dikeluarkan sesuai dengan perhitungan fuzzy yang telah ditentukan.

D. DESAIN PERANGKAT KERAS



Gambar 4. Desain Perangkat Keras

Sesuai dengan Gambar 4, keseluruhan perangkat kontrol diletakkan pada boks panel dilengkapi dengan kabel - kabel yang terhubung dengan *output* dan *input* yang berada diluar boks panel.

E. PERANCANGAN LOGIKA FUZZY

Perancangan sistem kontrol fuzzy dilakukan untuk mengatur secara otomatis bukaan keran pada sistem irigasi, dengan mengacu pada Gambar 2. Sistem ini bertujuan mempertahankan kelembaban tanah pada tingkat optimal sebesar 80%. Ketika nilai kelembaban terdeteksi berada di bawah ambang tersebut, keran akan terbuka dan secara bertahap menutup mengikuti output sistem fuzzy hingga kelembaban mencapai nilai target. Setelah nilai tersebut tercapai, keran akan tertutup sepenuhnya dan proses irigasi dihentikan. Dengan mekanisme ini, diharapkan volume air yang digunakan menjadi lebih efisien dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional. Sistem ini memiliki dua parameter input, yaitu suhu dan

kelembaban tanah, serta satu output berupa tingkat bukaan keran. Selain itu, ditambahkan sensor volume air untuk memantau jumlah air yang dialirkan selama proses irigasi. Untuk mengoptimalkan distribusi dan tekanan air, sistem juga dilengkapi dengan pompa dan solenoid valve yang dikendalikan secara otomatis, sehingga distribusi air dapat disesuaikan dengan kebutuhan aktual tanaman secara efisien. Dengan membuat derajat keanggotaan fuzzy dan fuzzy rule, memudahkan peneliti untuk membuat simulasi yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dieksekusi oleh mikrokontroler. Menilik lebih lanjut berikut detail tahapan-tahapan yang direncanakan:

- 1) Variabel Fuzzy
Variabel yang akan dibahas adalah nilai kelembaban (%), temperatur (°C), dan bukaan keran (%).
- 2) Semesta Pembicaraan Fuzzy
Semesta Pembicaraan Fuzzy *Input*:
 - Kelembaban [0 - 100] → Persen (%)
 - Temperatur [15 - 40] → Celcius (°C)
 Semesta Pembicaraan Fuzzy *Output*:
 - Bukaan Keran [0 - 100] → Persen (%)
- 3) Himpunan Fuzzy

Tabel 1. Variabel Himpunan Fuzzy

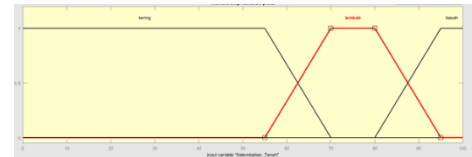
Input		Output
Kelembaban	Suhu	Bukaan Keran
Kering	Dingin	Kecil
Lembab	Ideal	Sedang
Basah	Panas	Besar

- 4) Domain Fuzzy

Tabel 2. Domain Fuzzy

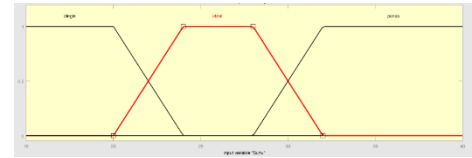
Himpunan Variabel	Domain Fuzzy
Kering	[0 0 55 70]
Lembab	[55 70 80 95]
Basah	[80 95 100 100]
Dingin	[15 15 20 24]
Ideal	[20 24 28 32]
Panas	[28 32 40 40]
Kecil	[0 20 50]
Sedang	[0 50 100]
Besar	[50 100 100]

- 5) Keanggotaan Fuzzy
Dengan membuat derajat fuzzy peneliti dapat langsung mengetahui dan membuat variabel fuzzy, semesta pembicaraan fuzzy, dan himpunan fuzzy.
Derajat Keanggotaan Fuzzy *Input*:
 - 1) Kelembaban (%)



Gambar 5. Keanggotaan Kelembaban

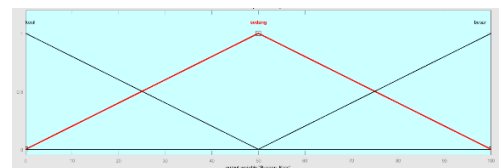
- 2) Temperatur (°C)



Gambar 6. Keanggotaan Temperatur

Derajat Keanggotaan Fuzzy *Output*:

- 1) Bukaan Keran (%)



Gambar 7. Keanggotaan Bukaan Keran

- 6) Fuzzy Rule Base

Tabel 3. Rule Base

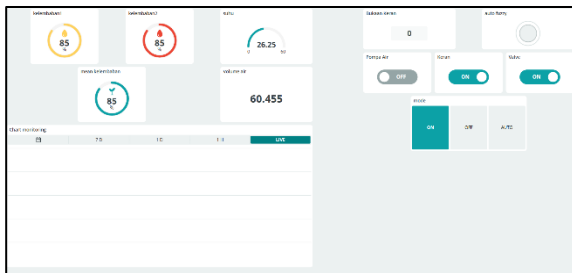
No	Rule Base
1	If (Kelembaban_Tanah is kering) and (Suhu is dingin) then (Bukaan_Kran is sedang)
2	If (Kelembaban_Tanah is kering) and (Suhu is ideal) then (Bukaan_Kran is sedang)
3	If (Kelembaban_Tanah is kering) and (Suhu is panas) then (Bukaan_Kran is besar)
4	If (Kelembaban_Tanah is lembab) and (Suhu is dingin) then (Bukaan_Kran is kecil)
5	If (Kelembaban_Tanah is lembab) and (Suhu is ideal) then (Bukaan_Kran is kecil)
6	If (Kelembaban_Tanah is lembab) and (Suhu is panas) then (Bukaan_Kran is sedang)
7	If (Kelembaban_Tanah is basah) and (Suhu is dingin) then (Bukaan_Kran is kecil)
8	If (Kelembaban_Tanah is basah) and (Suhu is ideal) then (Bukaan_Kran is kecil)
9	If (Kelembaban_Tanah is basah) and (Suhu is panas) then (Bukaan_Kran is kecil)

F. INFRASTRUKTUR SISTEM INTERNET OF THINGS



Gambar 8. Infrastruktur Arduino IoT Cloud

Infrastruktur sistem IoT pada platform Arduino IoT Cloud dilakukan melalui empat tahap utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Proses diawali dengan menyematkan perangkat (Perangkat Terkait) untuk mendapatkan kode unik dari Arduino IoT Cloud sebagai alamat khusus agar dapat berkomunikasi. Dilanjutkan dengan konfigurasi jaringan (Koneksi) dijumpai oleh sumber Wi-Fi agar perangkat dapat terhubung ke internet. Setelah itu, dilakukan deklarasi Variabel Cloud (Variable Cloud) sebagai *write and read* (Arduino IoT Cloud dapat mengirim dan menerima data) dan sebagai *read only* (Arduino IoT Cloud hanya menerima data saja) atau sebagai jembatan data antara perangkat dan *cloud*. Kemudian yang terakhir yaitu, tampilan antarmuka (*Dashboard*) untuk memantau dan mengendalikan sistem pada jarak jauh.

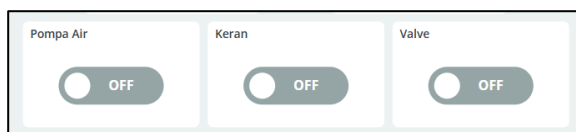


Gambar 9. Wireframe Dashboard

Untuk memastikan kemudahan pengguna dalam berinteraksi dengan sistem, dirancang sebuah antarmuka dasbor yang informatif dan intuitif, seperti yang terlihat pada *wireframe* di Gambar 9. Dasbor ini menampilkan data-data sensor krusial seperti grafik kelembaban dan nilai suhu secara *real-time*. Selain itu, dasbor juga dilengkapi dengan berbagai *widget* kontrol seperti tombol untuk mengaktifkan pompa air, *valve* dan keran serta menu pilihan untuk mengganti mode (manual atau otomatis), sehingga seluruh fungsionalitas sistem dapat diakses dengan mudah dari satu antarmuka.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGUJIAN DIGITAL OUTPUT



Gambar 10. Digital Output Sistem

Untuk validasi pengujian seperti pada Gambar 10. dilakukan dengan cara memberi perintah pada *dashboard* aplikasi Arduino IoT Cloud yang telah

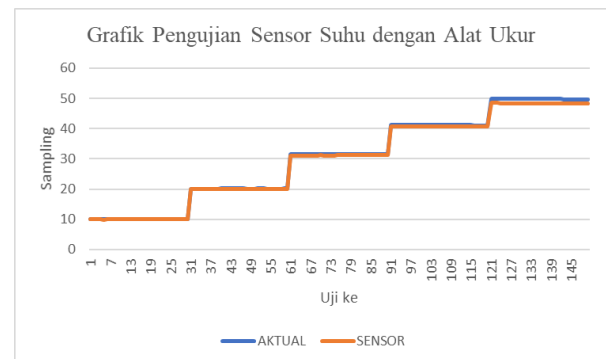
dibuat Perintah tersebut kemudian dibandingkan dengan kinerja dari masing – masing *output*. Beberapa *output* yang dimaksud adalah pompa air, keran, dan *valve*.

Tabel 4. Pengujian Aktuator

Output	Perintah	Aktual	Keterangan
Pompa Air	ON	HIGH (menyala)	Sesuai
	OFF	LOW (mati)	Sesuai
Valve	ON	HIGH (menyala)	Sesuai
	OFF	LOW (mati)	Sesuai
Keran	ON	HIGH (menyala)	Sesuai
	OFF	LOW (mati)	Sesuai

Kemudian setelah dilakukan pengujian mendapatkan hasil yang telah di jelaskan pada Tabel 4. seluruh aktuator merespon perintah yang diberikan dari dashboard Arduino IoT Cloud dengan konsisten. Pada saat pengguna memberikan perintah ON maka ESP32 merespon dengan mengeluarkan sinyal HIGH ke relay sehingga aktuator menyala, sedangkan sebaliknya jika pengguna memberikan perintah OFF maka ESP32 akan merespon dengan memberikan sinyal LOW ke relay sehingga aktuator mati. Pada pengujian ini terkadang ada delay tetapi tidak lama, delay tersebut terkadang dipengaruhi oleh jaringan yang kurang stabil. Tetapi respon yang diberikan masih lumayan bagus sehingga sistem ini layak untuk menjalankan intruksi kontrol dasar.

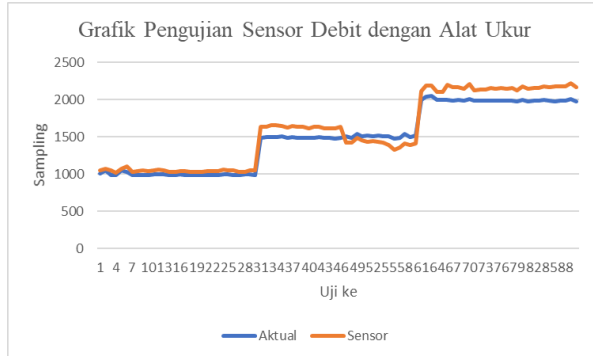
B. PENGUJIAN SENSOR SUHU



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Sensor Suhu

Pada Gambar 11, pengujian Sensor Suhu DS18B20 dilakukan untuk memvalidasi akurasi pembacaan temperature dengan membandingkan terhadap termometer digital sebagai alat ukur acuan. Hasil pengujian ini mendapat nilai rata-rata MAPE sebesar 1%. Hal ini membuktikan bahwa kinerja sensor suhu DS18B20 yang diimplementasikan pada sistem sangat akurat dan memenuhi kriteria nilai MAPE <10%, sehingga sensor dinyatakan valid dan layak untuk aplikasikan pada sistem.

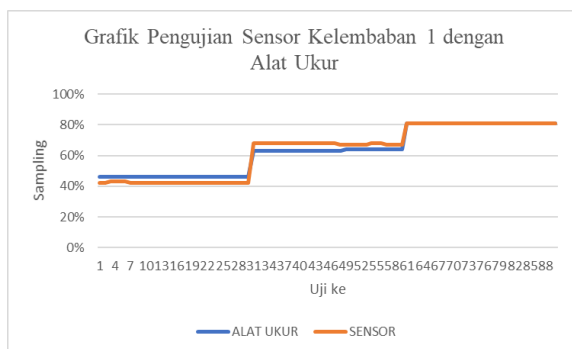
C. PENGUJIAN SENSOR VOLUME AIR



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Sensor Volume Air

Pada Gambar 12, telah dilakukan telah dilakukan pengujian sensor volume air dengan tujuan untuk mengetahui akurasi pembacaan sensor debit YF-B1 terhadap volume air aktual (dengan satuan ml), dengan membandingkannya terhadap gelas ukur sebagai acuan. Pengujian ini menggunakan pompa dc untuk mengalirkan air sehingga sensor debit dapat membaca nilai dengan konsisten. Hasil dari pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata MAPE sebesar 7%. Hal ini membuktikan bahwa kinerja sensor debit YF-B1 yang diimplementasikan pada sistem memiliki akurasi yang baik dan sudah memenuhi kriteria nilai MAPE <10% sehingga sensor valid untuk digunakan pada sistem.

D. PENGUJIAN SENSOR KELEMBABAN 1

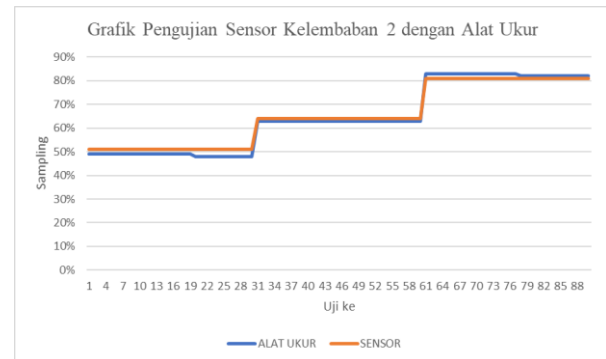


Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Sensor Kelembaban 1

Pada Gambar 13, menunjukkan bahwa pengujian sensor kelembaban satu yang telah dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dan alat ukur manual. Hal ini bertujuan untuk memvalidasi akurasi sistem pada pengukuran kelembaban tanah dengan

menggunakan sensor *Capasitive Soil Moisture* V2.0. Hasil pengujian setelah di analisa dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata MAPE sebesar 3%. Hal ini membuktikan bahwa sensor *Capasitive Soil Moisture* V2.0, yang diimplementasikan pada sistem dengan kinerja yang akurat dan memenuhi kriteria MAPE <10%. Dengan hasil ini sensor kelembaban dinyatakan valid untuk input kendali fuzzy.

E. PENGUJIAN SENSOR KELEMBABAN 2



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Sensor Kelembaban 2

Berdasarkan pada Gambar 14, menunjukkan pengujian sensor kelembaban dua yang telah dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dan alat ukur manual. Hal ini bertujuan untuk memvalidasi akurasi sistem pada pengukuran kelembaban tanah dengan menggunakan sensor *Capasitive Soil Moisture* V2.0. Hasil dari pengujian ini, setelah dianalisa dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata MAPE sebesar 3%. Hal ini membuktikan bahwa sensor *Capasitive Soil Moisture* V2.0, yang diimplementasikan pada sistem dengan kinerja yang akurat dan memenuhi kriteria MAPE <10%. Dengan hasil ini sensor kelembaban dinyatakan valid.

F. PENGUJIAN PERHITUNGAN FUZZY

Tabel 5. Hasil Pengujian Perhitungan Fuzzy ESP32 dengan MATLAB

Input		Bukaan Keran		Error
Kelembaban	Suhu	ESP32	MATLAB	
20%	15	50%	50%	0%
40%	15	50%	50%	0%
60%	15	47,22%	47,20%	0%
80%	15	16,67%	16,30%	2%
100%	15	16,67%	16,30%	2%
20%	20	50%	50%	0%
40%	20	50%	50%	0%

60%	20	47,22%	47,20%	0%
80%	20	16,67%	16,30%	2%
100%	20	16,67%	16,30%	2%
20%	30	60,19%	56,20%	7%
40%	30	60,19%	56,20%	7%
60%	30	57,60%	53%	9%
80%	30	39,81%	43,80%	9%
100%	30	19,44%	19,20%	1%
20%	40	83,97%	83,70%	0%
40%	40	83,97%	83,70%	0%
60%	40	60,91%	61,40%	1%
80%	40	50%	50%	0%
100%	40	16,67%	16,30%	2%
Total rata - rata error				2%

Pengujian perhitungan fuzzy dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dari mikrokontroler ESP32 Devkit V1 dengan hasil perhitungan aplikasi MATLAB. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa implementasi logika fuzzy pada mikrokontroler ESP32 Devkit V1 telah memenuhi akurasi yang baik dan sudah sesuai.

Berdasarkan analisis pada Tabel 5. nilai perhitungan MAPE dari mikrokontroler ESP32 Devkit V1 dengan aplikasi Matlab sebesar 2%. Hasil nilai kriteria MAPE <5%, sehingga dapat dinyatakan bahwa perhitungan mikrokontroler masih mencapai tingkat akurat yang baik. Dengan demikian, hasil perhitungan fuzzy pada sistem dinyatakan sudah valid dan akurat.

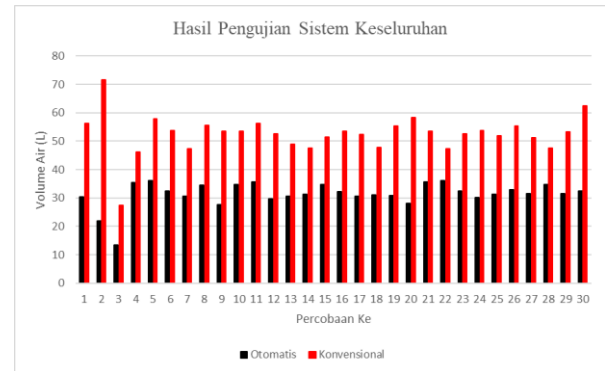
G. PENGUJIAN SISTEM KESELURUHAN



Gambar 15. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan seperti pada Gambar 15, berdasarkan target kelembaban, yaitu 80% sehingga jika kelembaban sudah mencapai target maka sistem akan memonitoring saja tanpa ada kontrol yang dilakukan. Pengujian ini berdasarkan arsitektur sistem pada bab sebelumnya yang menjelaskan bahwa sistem menggunakan mode auto (mode fuzzy) sebagai

kendali kontrol utama untuk dapat mencapai target kelembaban.



Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Berdasarkan analisis pada Gambar 15, menunjukkan bahwa hasil pengujian sistem otomatis dengan konvensional terdapat selisih volume air rata - rata yang cukup jauh yaitu 21,15 L, hal ini membuktikan bahwa sistem otomatis telah bekerja dengan baik. Dari gambar 15, dapat disimpulkan bahwa sistem secara keseluruhan telah berhasil membuat kebutuhan air untuk tanaman jagung lebih efisien dan efektif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, analisa, dan evaluasi yang telah dilakukan terhadap sistem irigasi otomatis dengan teknik irigasi alur berbasis Internet of Things (IoT) dan logika fuzzy, maka dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani yang terintegrasi dengan Arduino IoT Cloud, di mana seluruh komponen seperti, ESP32, sensor kelembaban tanah, sensor suhu DS18B20, flow sensor, pompa, solenoid valve, dan motor stepper berfungsi sesuai spesifikasi dan terkoneksi stabil melalui dashboard IoT.
2. Pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi tinggi, dengan nilai MAPE 1% untuk sensor DS18B20, 7% untuk flow sensor YF-B1, 3% untuk sensor kelembaban tanah, dan 2% untuk proses fuzzy dibandingkan dengan simulasi MATLAB. Sistem kendali adaptif yang dirancang mampu mengatur durasi serta bukaan keran secara real-time, sehingga distribusi air menjadi lebih efisien, dengan rata-rata selisih penggunaan air sebesar 21,15 L dibanding konvensional. Perbedaan waktu dan volume irigasi akibat kemiringan lahan, tetapi masih dalam batas wajar, yang membuktikan keandalan sistem pada kondisi lahan tidak seragam. Secara keseluruhan, sistem irigasi otomatis berbasis

fuzzy logic dan IoT ini terbukti valid, presisi, serta efektif dalam menghemat air dan mengurangi intervensi manual, sehingga berkontribusi pada pengembangan pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Setiadi, M. Nurdin, and A. Muhaemin, "PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IoT) PADA SISTEM MONITORING IRIGASI (SMART IRIGASI)," *Jurnal Infotronik*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [2] D. Irawan, M. Taqijuddin Alawiy, and A. Habibi, "SISTEM MONITORING IRIGASI OTOMATIS MENGGUNAKAN APLIKASI MOBILE ANDROID BERBASIS KOTLIN," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 16, no. 2, 2023.
- [3] B. Sugandi and J. Armentaria, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy," *JOURNAL OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING*, vol. Vol. 5 No.1, 2021.
- [4] A. Ahmad, A. Fares, N. Hue, and S. Khan, "ROOT DISTRIBUTION OF SWEET CORN (*Zea mays*) AS AFFECTED BY MANURE TYPES, RATES AND FREQUENCY OF APPLICATIONS," 2014.
- [5] A. K. Nalendra *et al.*, "Perancangan IoT (Internet of Things) pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai," *Juli 2020 Generation Journal*, vol. 4, no. 2.
- [6] A. A. Winata¹, J. Afroni, and B. Minto, "Prototipe Kendali Irigasi Terhadap Volume Air Menggunakan LoRA SX1278 berbasis Arduino Uno R3," 2022.
- [7] F. Bisa, M. Mukhsim, and G. Priyandoko, "JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM POMPA AIR IRIGASI TENAGA SURYA," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2024, doi: 10.31328/jasee.
- [8] M. Mira, K. Kusnanto, and O. Oscarito, "Sistem Pengukuran pH, Suhu, dan Kelembaban Tanah Pada Tanaman Jagung Menggunakan Metode Proportional-Integral-Derivative Berbasis Internet of things," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 6, no. 3, pp. 1457–1466, Dec. 2024, doi: 10.47065/bits.v6i3.5993.
- [9] T. Aman Ali, M. Umer Ahmed Khan, A. Ahmed, P. Kumar, and P. Doddappa, "SMART IRRIGATION SYSTEM USING IOT AND SOLAR," *www.irjmets.com @International Research Journal of Modernization in Engineering*, vol. 07, no. 01, 2025, doi: 10.56726/IRJMETs66399.
- [10] SUKRI, "DESAIN SISTEM IRIGASI ALUR PADA PERKEBUNAN TANAMAN JAGUNG DI KABUPATEN BONE," Aug. 2013.
- [11] M. A. Azzani, B. Minto Basuki, and E. Noerhayati, "Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Tanah Pada Irigasi Tetes Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Tanaman Selada Merah," *SCIENCE ELECTRO*, vol. nn, No. nn, 2024.
- [12] A. J. Berutu, A. Pranata, and M. Yetri, "Proses Sistem Irigasi Pada lahan Jagung Berbasis Arduino," *JURNAL SISTEM KOMPUTER TGD*, vol. 1, no. 3, pp. 81–86, May 2022.
- [13] B. Muttaqi and P. Widya Ningsih, "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian."
- [14] F. G. Dewanto, J. J. M. R. Londok, R. A. V. Tuturoong, and W. B. Kaunang, "PENGARUH PEMUPUKAN ANORGANIK DAN ORGANIK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN JAGUNG SEBAGAI SUMBER PAKAN," *Zootek(Journal)*, vol. 32, no. 5, pp. 158–171, 2013.
- [15] O. Bagus Cahyono, M. Jasa Afroni, and B. Minto Basuki, "MONITORING DAN PENGATUR KELEMBABAN PADA MODEL GREEN HOUSE TANAMAN KRISAN MENGGUNAKAN TELEGRAM BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT) DI KOTA BATU."
- [16] O. Y. Supriadi and H. Suhendi, "PERANCANGAN SISTEM PAKAR MENDIAGNOSA ANEMIA MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI," *Cetak) Journal of Innovation Research and Knowledge*, vol. 4, no. 5, 2024.
- [17] S. O. Olis and Somantri, "Penerapan logika fuzzy mamdani pada sistem penyiram tanaman stroberi otomatis berbasis mikrokontroler," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–41, Apr. 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4478.
- [18] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. PATRA MEDIA GRAFINDO, 2019.
- [19] M. F. Hariyadi, "IMPLEMENTASI MODEL FUZZY UNTUK PENGATURAN IRIGASI TETES," 2020.
- [20] S. Sutikno, N. Q. Fitriyah, and D. R. D. Putra, "PROTOTYPE SISTEM IRIGASI PRESISI TANAMAN JAGUNG MENGGUNAKAN SENSOR KELEMBAPAN BERBASIS IOT PADA LAHAN BERPASIR," *Jurnal Informatika*

dan Teknik Elektro Terapan, vol. 13, no. 2,
Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6404.