

Penerapan IoT dengan Algoritma Fuzzy dan Mikrokontroler ESP32 dalam Monitoring Penyiraman

Tundo ¹, Sodik ^{2*}, Kiki Setiawan ³, Raisah Fajri Aula ⁴

^{1,2*,3,4} Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia.

Corresponding Email: shodiqfaqt123@gmail.com ^{2*}

Histori Artikel:

Dikirim 21 Juli 2024; *Diterima dalam bentuk revisi* 2 Agustus 2024; *Diterima* 15 Agustus 2024; *Diterbitkan* 20 September 2024. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

Abstrak

Pertanian cerdas telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi pertanian modern. Dalam konteks ini, Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang inovatif untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam pengelolaan tanaman. Penelitian ini memperkenalkan sistem monitoring penyiraman tanaman berbasis IoT yang menggunakan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dirancang untuk secara otomatis mengatur penyiraman tanaman berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan tanaman. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai otak sistem, mengumpulkan data lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban relatif. Data ini dianalisis menggunakan algoritma fuzzy untuk menentukan kebutuhan penyiraman tanaman secara real-time. Berdasarkan output dari algoritma fuzzy, sistem secara otomatis mengontrol pompa air untuk menyirami tanaman sesuai dengan kebutuhan yang ditentukan. Penerapan algoritma fuzzy memungkinkan sistem untuk mengatasi ketidakpastian dalam keputusan penyiraman tanaman, terutama dalam menghadapi variasi kondisi lingkungan yang kompleks. Dengan adopsi teknologi IoT, para petani dapat memantau dan mengontrol penyiraman tanaman secara efisien melalui antarmuka web atau aplikasi seluler, bahkan dari jarak jauh. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32 dapat menjadi solusi yang efektif dalam pengelolaan penyiraman tanaman, meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan, sambil mengurangi konsumsi air dan energi.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT); Algoritma Fuzzy; Microcontroller ESP32.

Abstract

Smart farming has become a major focus in the development of modern agricultural technology. In this context, the Internet of Things (IoT) offers innovative solutions to increase productivity and efficiency in crop management. This research introduces an IoT-based plant watering monitoring system that uses a fuzzy algorithm and an ESP32 microcontroller. This system is designed to automatically regulate plant watering based on environmental conditions and plant needs. The ESP32 microcontroller acts as the brain of the system, collecting environmental data such as soil moisture, air temperature, and relative humidity. This data is analyzed using a fuzzy algorithm to determine plant watering needs in real-time. Based on the output of the fuzzy algorithm, the system automatically controls the water pump to water the plants according to the specified needs. The application of fuzzy algorithms allows the system to overcome uncertainty in plant watering decisions, especially in the face of complex variations in environmental conditions. With the adoption of IoT technology, farmers can monitor and control crop watering efficiently through web interfaces or mobile applications, even remotely. This research shows that the integration of IoT with fuzzy algorithms and ESP32 microcontrollers can be an effective solution in managing crop watering, increasing overall agricultural productivity, while reducing water and energy consumption.

Keyword: Internet of Things (IoT); Fuzzy Algorithm; ESP32 Microcontroller.

1. Pendahuluan

Pertanian adalah sektor yang sangat penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan global. Namun, praktik pertanian tradisional sering kali menghadapi tantangan besar seperti keterbatasan sumber daya air, perubahan iklim, dan efisiensi tenaga kerja. Dengan perkembangan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), berbagai tantangan ini dapat diatasi melalui otomatisasi dan pengelolaan pertanian yang lebih cerdas. Di era globalisasi dan kemajuan teknologi saat ini, penerapan solusi cerdas dalam pertanian bukan hanya menjadi kebutuhan, tetapi juga keharusan untuk mendukung keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh J. Smith *et al.* (2019), penggunaan air untuk irigasi pertanian sering kali tidak efisien, yang menyebabkan pemborosan sumber daya dan biaya operasional yang tinggi (Smith *et al.*, 2019). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem yang mampu memaksimalkan penggunaan air berbasis teknologi terbaru. IoT telah terbukti efektif dalam menghubungkan berbagai perangkat yang mampu berkomunikasi dan berinteraksi secara otomatis melalui jaringan internet, sehingga meningkatkan efisiensi operasional. Riset oleh L. Garcia (2021) menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam pertanian dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan pengelolaan sumber daya secara signifikan (Garcia, 2021). Penggunaan IoT memungkinkan pengumpulan data *real-time* dari sensor yang dipasang di lapangan, yang mengukur parameter seperti kelembapan tanah dan suhu udara. Dengan parameter ini, petani dapat membuat keputusan yang lebih tepat untuk penyiraman tanaman (M. A. Juniarta Hidayat & A. Z. Amrullah, 2020).

Namun, mengandalkan pengukuran kelembapan tanah dan suhu udara saja tidak cukup. Diperlukan sistem yang mampu menganalisis data tersebut dan memberikan respons otomatis. Algoritma *fuzzy* merupakan salah satu metode yang efektif untuk membantu pengambilan keputusan dalam situasi yang tidak pasti. Algoritma ini mampu memproses data dari sensor dan menghasilkan keputusan yang meniru cara berpikir manusia. Algoritma *fuzzy* juga digunakan untuk menentukan kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang ada (Pranata *et al.*, 2019). Selain itu, menurut N. Kapoor (2022), algoritma *fuzzy* juga sangat efektif dalam menangani variabilitas kelembapan tanah, yang sangat penting dalam mengatur penyiraman tanaman (Kapoor, 2022). *Microcontroller* ESP32 dipilih sebagai pusat kendali sistem ini karena kemampuannya yang unggul dalam mengolah data dan konektivitas. ESP32 dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan *Bluetooth* yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan perangkat IoT lainnya. ESP32 juga memiliki daya komputasi yang cukup untuk menjalankan algoritma *fuzzy* secara efisien, sehingga mendukung sistem monitoring dan penyiraman otomatis secara *real-time* (Prasetyo *et al.*, 2020). Dengan menggabungkan teknologi IoT, algoritma *fuzzy*, dan *microcontroller* ESP32, sistem monitoring dan penyiraman otomatis dapat diimplementasikan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga memastikan tanaman mendapatkan perawatan optimal. Dampaknya adalah peningkatan hasil panen serta kualitas produk pertanian. Implementasi teknologi ini merupakan langkah yang strategis dalam menciptakan pertanian yang lebih responsif dan berkelanjutan (Giovannie *et al.*, 2019).

Penelitian ini bertujuan menggabungkan IoT dengan algoritma *fuzzy* melalui ESP32 untuk membangun sistem yang dapat mengotomatisasi penyiraman tanaman berdasarkan kelembapan tanah secara *real-time*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu mengurangi pemborosan air sekaligus mendukung praktik pertanian yang lebih cerdas (Islami, 2019). Dari permasalahan yang telah dijelaskan, dikembangkanlah sebuah sistem yang lebih efisien untuk perawatan tanaman. Perancang menggunakan *Capacitive Soil Moisture Sensor* untuk mengukur kelembapan tanah dan sensor DHT11 untuk memantau suhu dan kelembapan udara. Data yang diperoleh dari sensor diproses menggunakan metode *fuzzy* untuk menentukan penyiraman yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sistem ini berbasis *microcontroller* ESP32 dan aplikasi Blynk untuk memudahkan kontrol dan monitoring jarak jauh (Rahman, 2018). Oleh karena itu, judul penelitian yang diusulkan adalah “Penerapan IoT Dengan Algoritma *Fuzzy* Dan *Microcontroller* ESP32 Dalam Monitoring Penyiraman Tanaman” (Athor, 2022).

2. Metode Penelitian

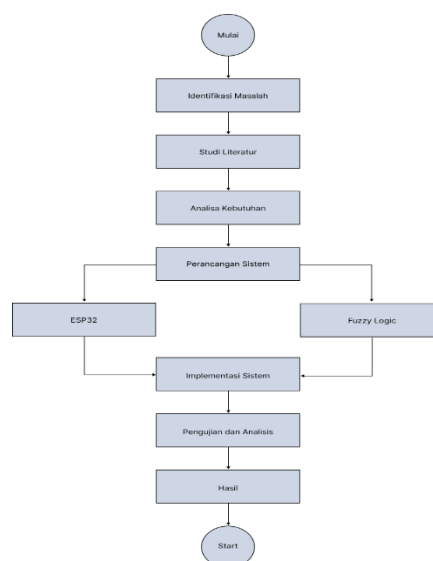
Penelitian ini menggunakan pendekatan metodologis yang terstruktur untuk memastikan setiap langkah penelitian dapat dilakukan dengan sistematis dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan tujuan penelitian. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini dirancang untuk mengidentifikasi dan memecahkan permasalahan terkait pengelolaan penyiraman tanaman secara otomatis menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang digabungkan dengan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32. Tujuan utama dari metodologi yang dipilih adalah untuk memastikan bahwa proses penelitian dapat diukur secara jelas, memungkinkan pemantauan yang efektif terhadap perkembangan, serta evaluasi keberhasilan yang akurat.

2.1 Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan dataset publik yang relevan dengan pengukuran kelembapan tanah dan suhu udara. Dataset yang digunakan mencakup informasi kelembapan tanah yang sangat penting dalam proses penyiraman tanaman. Dataset ini telah digunakan dalam penelitian sebelumnya yang terkait dengan pengelolaan irigasi, sehingga keandalannya dalam konteks pertanian telah diuji. Penggunaan dataset publik dipilih dengan pertimbangan bahwa data tersebut mampu mewakili kondisi nyata dalam pengujian sistem penyiraman otomatis berbasis IoT, algoritma fuzzy, dan mikrokontroler ESP32. Penggunaan dataset ini tidak hanya memberikan landasan yang kuat untuk analisis, tetapi juga memungkinkan perbandingan langsung dengan penelitian terdahulu, sehingga validitas hasil penelitian dapat ditingkatkan.

2.2 Penerapan Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode fuzzy, yang terdiri dari beberapa tahapan inti. Langkah pertama dalam metode ini adalah melakukan identifikasi parameter lingkungan, seperti kelembapan tanah dan suhu udara, yang akan menjadi input bagi algoritma fuzzy. Data yang diperoleh dari sensor kelembapan tanah dan suhu udara akan diolah oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan keputusan penyiraman secara otomatis. Algoritma fuzzy dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan variasi parameter lingkungan. Proses pengambilan keputusan dalam algoritma fuzzy menyerupai cara kerja manusia dalam memproses data yang tidak pasti, sehingga metode ini sangat efektif untuk aplikasi di bidang pertanian, khususnya dalam manajemen irigasi.



Gambar 1. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan merumuskan masalah utama, yaitu bagaimana menerapkan teknologi IoT yang dikombinasikan dengan algoritma fuzzy berbasis mikrokontroler ESP32 untuk mengatasi tantangan yang dihadapi petani dalam sistem penyiraman manual. Penyiraman manual sering kali tidak efisien karena ketidakpastian dalam menentukan waktu dan jumlah air yang tepat untuk kondisi lingkungan tertentu. Identifikasi masalah ini menjadi dasar dalam menjabarkan solusi yang memungkinkan untuk diterapkan. Setelah masalah dirumuskan, penelitian dilanjutkan dengan menentukan tujuan utama, yaitu merancang sistem otomatis yang dapat meningkatkan efisiensi penyiraman tanaman. Tahap berikutnya adalah melakukan studi literatur yang relevan untuk mendukung pengembangan solusi. Studi ini mencakup penelitian tentang penerapan IoT dalam pertanian, penggunaan algoritma fuzzy untuk pengambilan keputusan otomatis, dan aplikasi mikrokontroler ESP32 dalam berbagai konteks. Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk mengumpulkan data dan metodologi yang relevan serta mengidentifikasi celah yang dapat diisi oleh penelitian ini. Gap yang ditemukan menjadi landasan bagi pengembangan sistem baru yang lebih efisien.

Selanjutnya, dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan spesifikasi sistem yang akan dikembangkan. Analisis ini bertujuan untuk memahami harapan pengguna dan pemangku kepentingan, serta memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan teknis dan operasional yang diharapkan. Proses ini penting untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan sesuai dengan ekspektasi dan tujuan akhir dari penelitian ini. Tahap perancangan sistem merupakan langkah kritis dalam pengembangan perangkat lunak. Dalam tahap ini, alat-alat seperti mikrokontroler NodeMCU ESP32, sensor DHT11, dan sensor Soil Moisture dirancang dan diatur dalam proses wiring. Logika fuzzy diterapkan untuk memproses data yang diperoleh dari sensor, sementara mikrokontroler ESP32 dihubungkan dengan AD Converter beresolusi 16 bit yang mampu membaca nilai sensor hingga 32.767. Untuk mempermudah implementasi logika fuzzy, data sensor dikonversi menjadi nilai persen (%) melalui rumus yang telah ditetapkan.

$$\text{Nilai persen (\%)} = \frac{32767 - \text{Nilai sensor}}{32767} \times 100$$

Setelah penyusunan alat sensor selesai, tahap selanjutnya dalam perancangan sistem adalah pemrograman aplikasi Android. Aplikasi ini akan digunakan untuk menampilkan data yang diperoleh dari sensor dalam bentuk grafik, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara visual dan real-time. Proses ini penting untuk memberikan antarmuka yang intuitif bagi pengguna dalam mengelola sistem penyiraman otomatis. Pada tahap implementasi sistem, pengembangan dilakukan sesuai dengan analisis kebutuhan dan perancangan yang telah dibuat. Sistem monitoring penyiraman tanaman otomatis ini dibangun dengan menerapkan teknologi IoT dan logika fuzzy. Implementasi dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu penggunaan mikrokontroler ESP32 dan penerapan Logika Fuzzy Sugeno. ESP32 dipilih sebagai mikrokontroler karena kemampuan komputasi dan konektivitasnya yang handal, sehingga cocok untuk aplikasi IoT. Sementara itu, Logika Fuzzy Sugeno digunakan untuk menentukan keputusan dalam penyiraman berdasarkan data yang diperoleh dari sensor, dengan mempertimbangkan ketidakpastian kondisi lingkungan. Setelah sistem diimplementasikan, tahap pengujian dan analisis dilakukan.

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem serta membuktikan apakah implementasi teknologi IoT dan logika fuzzy dalam sistem penyiraman otomatis mampu berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Analisis performa sistem juga dilakukan untuk mengetahui dampak penerapan sistem tersebut terhadap efisiensi penyiraman tanaman. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan. Setelah pengujian dan analisis selesai, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil uji coba sistem. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan saran yang berguna bagi pengembangan lebih lanjut di bidang teknologi pertanian cerdas, khususnya dalam pengelolaan penyiraman tanaman secara otomatis. Hasil penelitian juga akan menjadi acuan bagi studi-studi berikutnya yang berfokus pada peningkatan efisiensi dalam sektor pertanian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Perancangan logika fuzzy pada sistem pengendalian kelembaban tanah dan suhu ini memiliki tiga tahapan sesuai dengan aturan yang berlaku, yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy (Inferensi), dan defuzzifikasi. Tahapan-tahapan tersebut dijabarkan sebagai berikut, yaitu:

3.1.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang dilakukan dalam metode logika fuzzy. Tahap ini dilakukan dengan proses mengubah nilai crisp (numerik) menjadi himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan (membership function). Dalam perancangan sistem ini menggunakan dua input, yaitu kelembaban tanah (dalam %) dan suhu udara (dalam °C). Output yang diinginkan adalah pompa air. Sensor kelembaban tanah dibaca oleh microcontroller, lalu dibentuk pernyataan linguistiknya. Masukan crisp kelembaban tanah dari sensor soil moisture meliputi tanah kering, tanah lembab, dan tanah basah sebagai berikut:

- a) Kering : $< 35 \%$
- b) Lembab : $\geq 25 \%$ atau $\leq 80 \%$
- c) Basah : $\geq 70 \%$ atau $\leq 100 \%$

Masukan juga crisp suhu udara dari sensor DHT11 yang meliputi suhu dingin, suhu normal, dan suhu panas sebagai berikut:

- a) Dingin : $< 15 ^\circ\text{C}$
- b) Normal : $\geq 12 ^\circ\text{C}$ atau $\leq 30 ^\circ\text{C}$
- c) Panas : $\geq 31 ^\circ\text{C}$ atau $\leq 40 ^\circ\text{C}$

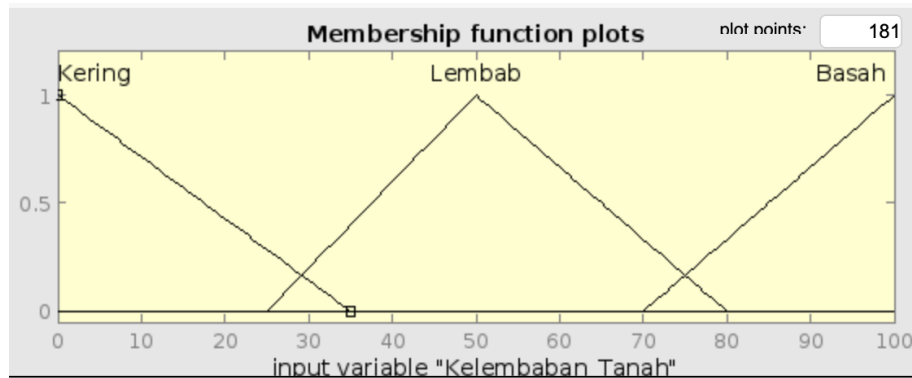
3.1.2 Defuzzifikasi

Setelah mendapatkan nilai dari sensor, kemudian dilakukan proses fuzzification untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan. Untuk itu, diperlukan fungsi keanggotaan masukan. Pada penelitian ini memiliki tiga fungsi masukan yaitu fungsi keanggotaan masukan sensor soil moisture dan DHT11, dan fungsi keanggotaan DC Pump. Fungsi keanggotaan sensor soil moisture memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu kering, lembab, dan basah. Selanjutnya fungsi keanggotaan sensor DHT11 memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu dingin, normal, dan panas. Terakhir, fungsi keanggotaan keluaran DC Pump memiliki tiga himpunan fuzzy yaitu lama, cepat, dan mati. Himpunan fuzzy masing - masing variable dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Himpunan Fuzzy

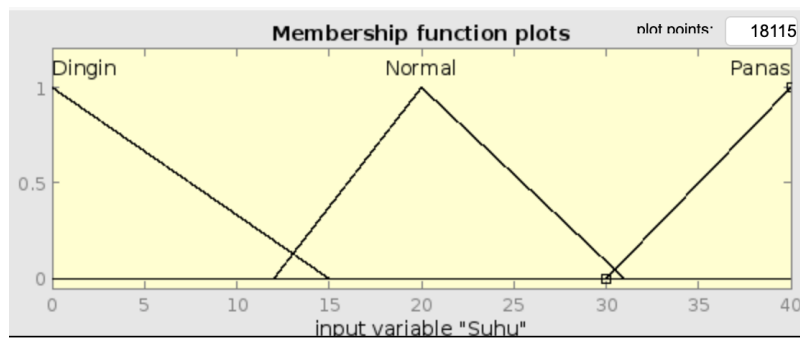
Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
Input	Kelembaban	Kering	$[-35 \ 0 \ 35]$
		Lembab	$[25 \ 50 \ 80]$
		Basah	$[70 \ 100 \ 100]$
	Suhu	Dingin	$[-15 \ 0 \ 15]$
		Normal	$[12 \ 20 \ 30]$
		Panas	$[31 \ 40 \ 40]$
Output	DC Pump	Lama	$[0]$
		Cepat	$[5]$
		Mati	$[10]$

Pada fungsi keanggotaan input sensor soil moisture menggunakan bentuk kurva segitiga dan triangel karena perumusan matematika yang sederhana. Grafik fungsi keanggotaan dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini:



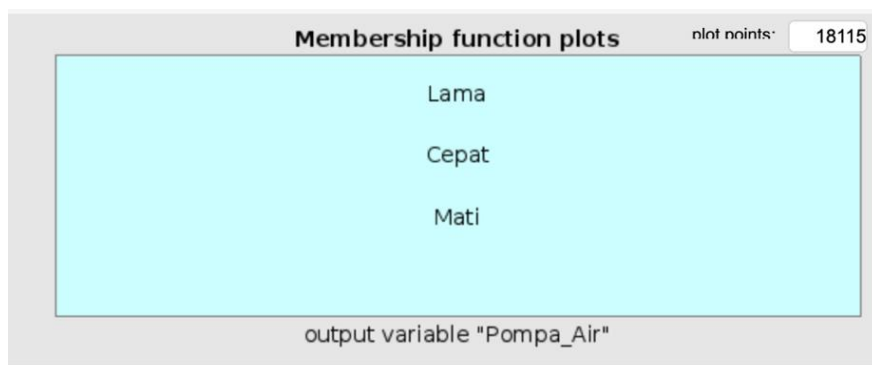
Gambar 2. Fungsi Keanggotaan *Input Soil Moisture*

Kemudian pada fungsi keanggotaan input sensor DHT11 juga menggunakan bentuk kurva segitiga dan triangel karena perumusan matematika yang sederhana. Grafik fungsi keanggotaan dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan *Input DHT11*

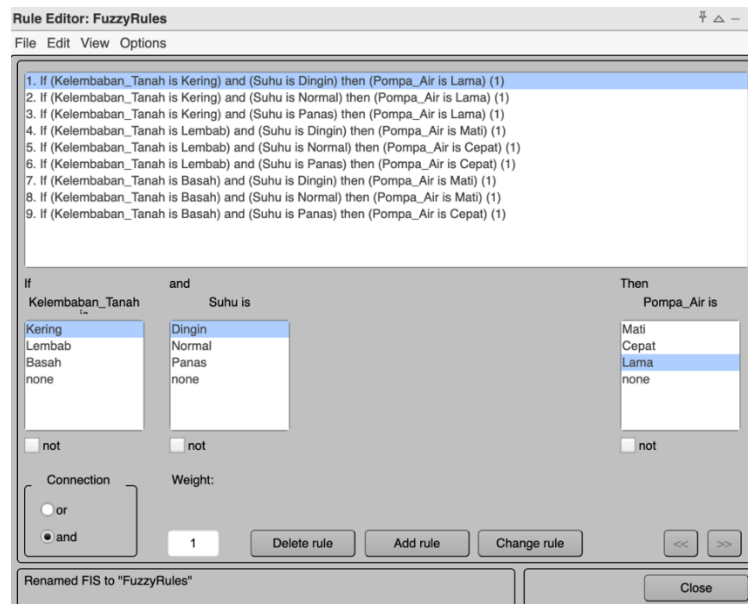
Selanjutnya ada fungsi keanggotaan output berupa DC Pump yang bisa di lihat pada gambar 4 di bawah:



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan *Output Pompa Air*

3.1.3 Evaluasi Aturan (*Rules Evaluation*)

Aturan fuzzy pada penerapan IoT dengan algoritma fuzzy dan microcontroller ESP32 dalam monitoring penyiraman tanaman dapat dilihat pada gambar 5 di bawah:



Gambar 5. *Fuzzy Rules*

Maka aturan fuzzy (Rules evaluation) yang didapat dari gambar 5 di atas adalah 9 aturan sebagai berikut:

- 1) If sensor Kelembaban tanah is Kering and sensor Suhu is Dingin then output Pompa air is Lama
- 2) If sensor Kelembaban tanah is Kering and sensor Suhu is Normal then output Pompa air is Lama
- 3) If sensor Kelembaban tanah is Kering and sensor Suhu is Panas then output Pompa air is Lama
- 4) If sensor Kelembaban tanah is Lembab and sensor Suhu is Dingin then output Pompa air is Mati
- 5) If sensor Kelembaban tanah is Lembab and sensor Suhu is Normal then output Pompa air is Cepat
- 6) If sensor Kelembaban tanah is Lembab and sensor Suhu is Panas then output Pompa air is Cepat
- 7) If sensor Kelembaban tanah is Basah and sensor Suhu is Dingin then output Pompa air is Mati
- 8) If sensor Kelembaban tanah is Basah and sensor Suhu is Normal then output Pompa air is Mati
- 9) If sensor Kelembaban tanah is Basah and sensor Suhu is Panas then output Pompa air is Cepat

3.1.4 Implementasi

Pada proses ini komponen diletakkan sesuai dengan fungsinya masing-masing sehingga sistem dapat bekerja dengan baik. Logika fuzzy akan diproses pada ESP32 setelah menerima input data kelembaban tanah dan suhu pada lingkungan tanaman. Berikut ini tabel 2 merupakan pengujian logika fuzzy pada sistem pengendalian kelembaban tanah dan suhu.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Pengujian Sistem dan Perhitungan Logika Fuzzy

Pengujian ke-	Waktu Pengujian	Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan Logika Fuzzy
		Kelembaban Tanah	Suhu	Pompa Air
1	06.00	66 %	20 °C	5 Menit (Cepat)
2	08.00	50 %	25 °C	5 Menit (Cepat)

3	10.00	37 %	28 °C	5 Menit (Cepat)
4	12.00	20 %	31 °C	10 Menit (Lama)
5	13.00	15 %	32 °C	10 Menit (Lama)
6	14.00	10 %	32 °C	10 Menit (Lama)
7	15.00	40 %	30 °C	5 Menit (Cepat)
8	16.00	43 %	29 °C	5 Menit (Cepat)
9	18.00	70 %	24 °C	0 (Mati)
10	20.00	80 %	22 °C	0 (Mati)

Tingkat keberhasilan antara pengujian dan perhitungan manual logika fuzzy, dapat sebagai berikut.

$$\text{Tingkat keberhasilan (\%)} = \frac{\text{jumlah keberhasilan}}{\text{total pengujian}} \times 100$$

- 1) Tingkat keberhasilan pengendalian kelembaban tanah

$$\text{Tingkat keberhasilan kelembaban tanah (\%)} = \frac{9}{10} \times 100 = 90 \%$$

- 2) Tingkat keberhasilan pengendalian suhu

$$\text{Tingkat keberhasilan suhu (\%)} = \frac{7}{10} \times 100 = 70 \%$$

- 3) Tingkat keberhasilan pengendalian rata-rata

$$\text{Tingkat keberhasilan rata-rata (\%)} = \frac{90 \% + 70 \%}{2} \times 100 = 80 \%$$

Dalam tingkat pengujian keberhasilan sistem pengendalian menggunakan logika fuzzy adalah 80% secara keseluruhan.

3.2 Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT yang dikombinasikan dengan algoritma fuzzy dan mikrokontroler ESP32 mampu memberikan solusi yang efisien dalam mengelola penyiraman tanaman secara otomatis. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sistem yang dirancang telah berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air, terutama dalam menghadapi variasi kondisi lingkungan, seperti yang juga diungkapkan oleh J. Smith *et al.* (2019), di mana penggunaan teknologi IoT terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian secara signifikan. Melalui implementasi sistem ini, para petani dapat mengontrol dan memantau penyiraman tanaman dari jarak jauh dengan lebih baik, yang memberikan fleksibilitas dan kenyamanan dalam pengelolaan lahan pertanian. Mikrokontroler ESP32 berperan penting dalam sistem ini sebagai pusat kendali yang terhubung dengan berbagai sensor lingkungan. Penelitian oleh L. Garcia (2021) juga menunjukkan bahwa penggunaan IoT dalam pertanian dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan manajemen sumber daya dengan memanfaatkan kemampuan mikrokontroler untuk mengumpulkan data lingkungan secara real-time. Mikrokontroler ESP32 digunakan karena kemampuan komputasi dan konektivitasnya yang kuat, sehingga memungkinkan integrasi yang mudah dengan perangkat IoT lainnya, seperti sensor kelembaban tanah dan suhu udara.

Algoritma fuzzy, khususnya Fuzzy Sugeno, diterapkan dalam penelitian ini untuk menentukan kebutuhan penyiraman berdasarkan data dari sensor. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan variabilitas lingkungan, yang juga dijelaskan dalam penelitian oleh N. Kapoor (2022) sebagai solusi efektif dalam sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Dengan logika fuzzy, sistem dapat meniru cara berpikir manusia dalam mengolah data yang tidak pasti, sehingga keputusan penyiraman dapat disesuaikan dengan kondisi tanah dan cuaca yang berubah-ubah. Sistem ini mampu menyesuaikan volume air yang diperlukan secara otomatis, yang berbeda

dengan penyiraman manual yang sering kali tidak efisien karena kurangnya data real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis ini berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 80%, sesuai dengan tingkat keberhasilan yang diukur. Studi oleh M. A. Juniarta Hidayat dan A. Z. Amrullah (2020) juga mendukung temuan ini, di mana sistem kontrol berbasis IoT yang mereka kembangkan berhasil mengoptimalkan penggunaan air untuk tanaman hidroponik. Namun, terdapat beberapa tantangan, seperti keterlambatan sensor dalam merespons perubahan suhu udara, yang berpotensi mengurangi efektivitas sistem pada kondisi lingkungan yang sangat dinamis.

Dengan adopsi teknologi IoT dan algoritma fuzzy, sistem ini mampu memberikan solusi yang inovatif dalam pengelolaan penyiraman tanaman, yang tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga mengurangi konsumsi air secara signifikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi kendala teknis yang dihadapi, seperti peningkatan kecepatan respon sensor dan stabilitas jaringan, sebagaimana diungkapkan oleh penelitian sebelumnya terkait tantangan dalam penerapan IoT di bidang pertanian

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan logika fuzzy dalam sistem pengendalian penyiraman otomatis menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi, mencapai 80%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian berbasis logika fuzzy efektif dalam menentukan kebutuhan penyiraman tanaman secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Sistem ini mampu mengurangi pemborosan air dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang sesuai berdasarkan data yang diterima dari sensor lingkungan. Namun, pada sistem pengendalian suhu, terdapat beberapa kendala yang mengganggu tingkat keberhasilan, terutama disebabkan oleh lambatnya sensor suhu dalam mendeteksi perubahan suhu. Keterlambatan ini berdampak pada pengiriman data yang tertunda ke mikrokontroler ESP32, sehingga *output* yang dihasilkan, seperti pengaktifan kipas, menjadi terlambat. Sistem pengendalian kelembapan tanah dan suhu dirancang menggunakan logika fuzzy metode Sugeno, yang telah terbukti cocok untuk sistem otomatisasi seperti ini. Metode Sugeno dipilih karena menggunakan aturan If-Then dalam proses pengambilan keputusan, yang membuat sistem lebih responsif terhadap variasi kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang dengan metode Sugeno mampu memberikan hasil yang memadai, meskipun beberapa perbaikan pada kecepatan respons sensor suhu diperlukan untuk meningkatkan kinerja keseluruhan sistem.

5. Daftar Pustaka

- Azmi, F., Fawwaz, I., & Anugrahwati, R. (2022). Rancang Bangun Water Level Detection dengan Sensor Elektronik Berbasis Fuzzy Logic.
- Giovannie, C. P., Sumaryo, S., & Ekaputri, C. (2018). Sistem Penyiraman dan Pencahayaan pada Kebun Pintar Menggunakan Teknologi Berbasis Context Aware. *eProceedings of Engineering*, 5(3).
- Gunawan, G., & Sari, M. (2018). Rancang bangun alat penyiram tanaman otomatis menggunakan sensor kelembaban tanah. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 3(1), 13-17. DOI: <https://doi.org/10.30743/jet.v3i1.290>.
- Hidayat, M. A. J., & Amrullah, A. Z. (2022). Sistem kontrol dan monitoring tanaman hidroponik berbasis Internet of things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP32. *Jurnal Saintekom: Sains*,

Teknologi, Komputer Dan Manajemen, 12(1), 23-32. DOI: <https://doi.org/10.33020/saintekom.v12i1.223>.

Mulyono, H. (2017). Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Pada Inkubator Bayi Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Edik Informatika Penelitian Bidang Komputer Sains dan Pendidikan Informatika*, 2(1), 123-130. DOI: <https://doi.org/10.22202/ei.2015.v2i1.1453>.

Naibaho, I. B. (2017). *Penyiraman Otomatis pada Tanaman Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah* (Doctoral dissertation).

Najmurrokhman, A., Kusnandar, K., & Amrulloh, A. (2018). Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban untuk Cold Storage menggunakan Mikrokontroler Arduino ATMEGA328 dan Sensor DHT11. *Jurnal Teknologi*, 10(1), 73-82. DOI: <https://doi.org/10.24853/jurtek.10.1.73-82>.

Nugrahanto, I. (2017). Pembuatan Water Level Sebagai Pengendali Water Pump Otomatis Berbasis Transistor. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik-Sistem*, 13(1), 59-70.

NURUL HIDAYATI LUSITA DEWI, N. H. L. D. (2019). *Prototype smart home dengan modul nodemcu esp8266 berbasis internet of things (iot)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS ISLAM MAJAPAHIT MOJOKERTO).

Pranata, T., & Beni Irawan, I. (2015). Penerapan Logika Fuzzy Pada Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *Coding Jurnal Komputer Dan Aplikasi*, 3(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/coding.v3i2.10477>.

Prasetyo, A., Yusuf, A. R., & Litanianda, Y. (2020). Otomasi Irigasi Janggolan Berbasis Internet Of Things. *Multitek Indonesia*, 13(2), 104-109. DOI : 10.24269/mtkind.v13i2.1763.

Rahman, A. (2018). Penyiraman tanaman secara otomatis menggunakan propeler berbasis IoT. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*, 3(2), 20-27. DOI: <https://doi.org/10.24235/itej.v3i2.29>.

Ramadan, A. R. (2021). *Smart greenhouse dengan metode fuzzy mamdani berbasis internet of things* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).