

Implementasi Sistem Monitoring Kelembapan Tanah Berbasis *IoT* pada *Greenhouse* Menggunakan *Fuzzy Logic*

¹**Fikri Afandy Aldiansyah, ²Rony Heri Irawan, ³Risa Helilintar**

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

Email: *¹afandyfikri39@gmail.com, ²rony@unpkediri.ac.id, ³risa.helilintar@gmail.com

Penulis Korespondens : Fikri Afandy Aldiansyah

Abstrak – pertanian modern menghadapi tantangan dalam efisiensi penggunaan air, terutama pada sistem irigasi tradisional yang masih banyak digunakan di *greenhouse*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* menggunakan sensor kelembapan tanah, logika fuzzy, dan mikrokontroler Arduino Uno R4 ESP32-S3. Sistem dirancang untuk memberikan respon otomatis terhadap kondisi kelembapan tanah secara *real-time* dan ditampilkan dalam antarmuka *web*. Penelitian dilakukan di *greenhouse* MTSN 2 Nganjuk menggunakan metode rekayasa sistem berbasis pengembangan dan evaluasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi penggunaan air hingga 30% serta meningkatkan efisiensi waktu penyiraman.

Kata Kunci— *Fuzzy Logic; Greenhouse; IoT; Kelembaban Tanah*.

Abstract— modern agriculture faces challenges in water efficiency, especially in traditional irrigation systems widely used in greenhouses. This study aims to develop an automatic irrigation system based on the Internet of Things using soil moisture sensors, fuzzy logic, and an Arduino Uno R4 ESP32-S3 microcontroller. The system is designed to provide automatic responses to real-time soil moisture conditions and is displayed via a web interface. The research was conducted at the MTSN 2 Nganjuk greenhouse using a system engineering method involving development and field evaluation. The results showed that the system can reduce water usage by up to 30% and improve irrigation time efficiency.

Keywords— *Fuzzy Logic; Greenhouse; IoT; Soil Moisture*.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sistem pertanian yang efisien dan berkelanjutan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk global dan tantangan lingkungan seperti perubahan iklim serta keterbatasan lahan dan air[1]. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan *greenhouse* atau rumah kaca, yang memungkinkan pengelolaan mikroklimat secara terkendali dan mendukung budidaya tanaman sepanjang tahun tanpa bergantung pada musim[2].

Salah satu elemen krusial dalam budidaya tanaman di *greenhouse* adalah kelembaban tanah, yang sangat mempengaruhi efisiensi penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman[3]. Namun, pengelolaan kelembaban secara manual dinilai kurang efisien karena bergantung pada tenaga manusia dan rentan terhadap kesalahan[4]. Kelebihan atau kekurangan penyiraman tidak hanya

menyebabkan pemborosan air, tetapi juga dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan menurunkan hasil panen[5].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi *Internet of Things (IoT)* mulai diterapkan dalam bidang pertanian guna menghadirkan solusi berbasis sensor dan pemantauan *real-time*[6]. *IoT* memungkinkan integrasi antara sensor kelembaban tanah, mikrokontroler, dan perangkat lunak, sehingga pengelolaan kondisi lingkungan di *greenhouse* dapat dilakukan secara otomatis dan efisien[7].

Penggunaan logika fuzzy sebagai pendekatan dalam sistem kontrol terbukti mampu menangani kondisi yang tidak pasti dan dinamis seperti variasi kelembaban tanah[8]. *Fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk menentukan durasi penyiraman berdasarkan tingkat kelembaban tanah dengan pendekatan logis dan adaptif[9]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi antara *IoT* dan logika fuzzy dalam sistem penyiraman mampu meningkatkan efisiensi air hingga 30% dan menurunkan tenaga kerja hingga 50%[10].

Sebagian besar sistem penyiraman tanaman masih dilakukan secara manual, yang menyebabkan pemborosan air, ketergantungan pada tenaga kerja, dan ketidakefisienan dalam pengelolaan waktu serta sumber daya[11]. Meskipun telah ada penerapan sistem otomatis menggunakan mikrokontroler, sensor kelembaban tanah, dan sensor suhu, sebagian besar sistem tersebut masih terbatas pada kontrol lokal dan belum memiliki kemampuan adaptif dalam pengambilan keputusan penyiraman[12].

Selain itu, perkembangan teknologi berbasis mikrokontroler dan *Internet of Things (IoT)* telah diaplikasikan dalam berbagai bidang, termasuk otomasi dan sistem monitoring mengembangkan sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)* berbasis Arduino dan relay *IoT* untuk mengotomatisasi pengalihan sumber daya listrik[13]. Pendekatan ini menunjukkan potensi besar dari sistem otomatis berbasis mikrokontroler dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kendali [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kelembaban tanah berbasis *IoT* dengan integrasi logika fuzzy untuk penyiraman otomatis. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan dapat memberikan efisiensi dalam penggunaan air, meningkatkan produktivitas tanaman, dan menjadi contoh implementasi teknologi tepat guna di bidang agrikultur[15].

II. METODE

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan aplikatif, bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan integrasi logika fuzzy. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengatur kelembapan tanah secara efisien di *greenhouse* MTSN 2 Nganjuk. Proses pengembangan mengikuti tahapan identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi.

B. Metode Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa metode. Pertama, dilakukan observasi langsung di *greenhouse* untuk mengamati proses penyiraman secara manual, tingkat kelembapan tanah, dan pola penggunaan air. Observasi ini bertujuan memahami kondisi eksisting dan potensi efisiensi yang dapat dicapai melalui otomatisasi. Kedua,

wawancara dilakukan dengan pengelola *greenhouse* guna menggali kebutuhan sistem, kendala yang dihadapi, serta harapan terhadap teknologi yang akan diterapkan. Ketiga, studi literatur dilakukan untuk memperkuat landasan teoritis mengenai penerapan *IoT* dan logika fuzzy dalam sistem pertanian presisi. Terakhir, dilakukan simulasi sistem berbasis data sensor untuk menguji respon sistem terhadap variasi kelembapan tanah dan menentukan validitas logika fuzzy yang diterapkan.

C. Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan instrumen berupa:

1. Perangkat keras: Sensor kelembapan tanah, Arduino Uno R4 WiFi (ESP32-S3), modul RTC DS3231, relay, LCD, dan catu daya.
2. Perangkat lunak: Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, PHP dan Visual Studio Code untuk tampilan *web*, serta MySQL dan XAMPP sebagai database dan server lokal.

D. Lokasi dan Jadwal Penelitian

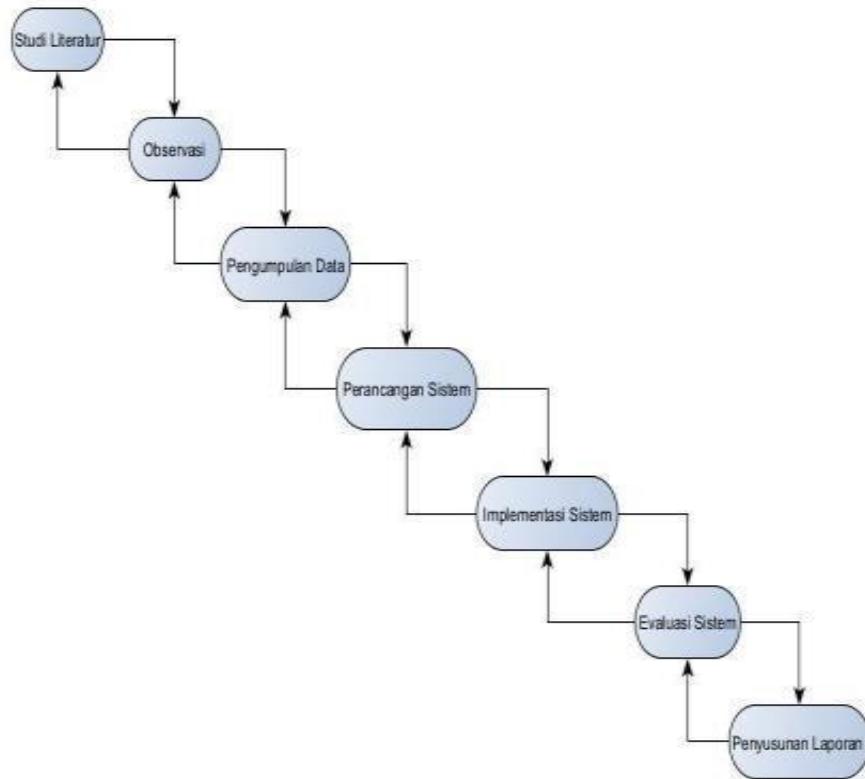
Penelitian ini dilaksanakan di *greenhouse* milik MTSN 2 Nganjuk yang berlokasi di Kecamatan Tanjunganom, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas *greenhouse* yang aktif digunakan untuk pertanian oleh siswa, namun masih menggunakan metode penyiraman konvensional. Penelitian berlangsung selama enam bulan, yang terbagi dalam beberapa tahap: studi literatur, pengumpulan data lapangan, perancangan dan pengembangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, pengujian sistem, serta penyusunan laporan akhir. Setiap tahap dilaksanakan secara berurutan untuk memastikan sistem dapat berjalan optimal sesuai tujuan penelitian.

E. Objek dan Subjek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sistem penyiraman otomatis berbasis *IoT* yang dilengkapi dengan algoritma logika fuzzy. Sistem ini mencakup sensor kelembapan tanah, mikrokontroler Arduino Uno R4, modul RTC, serta antarmuka berbasis *web* yang menghubungkan pengguna dengan sistem secara *real-time*. Subjek penelitian adalah pengelola *greenhouse* di MTSN 2 Nganjuk yang menjadi pengguna utama sistem, serta lingkungan fisik *greenhouse* sebagai tempat implementasi sistem penyiraman otomatis. Subjek ini berperan penting dalam proses validasi kebutuhan dan efektivitas implementasi sistem.

F. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep dan penerapan logika fuzzy serta teknologi *IoT* dalam bidang pertanian. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan untuk mengetahui kondisi aktual sistem penyiraman dan kelembapan tanah di *greenhouse*. Data hasil observasi digunakan untuk merancang sistem yang mencakup algoritma fuzzy, desain perangkat keras, serta antarmuka pengguna. Setelah perancangan selesai, dilakukan implementasi sistem yang terdiri dari instalasi sensor, pemrograman mikrokontroler, dan pengembangan tampilan *web* berbasis PHP dan MySQL. Tahap berikutnya adalah pengujian sistem secara langsung di lapangan untuk mengukur akurasi pengambilan keputusan, efisiensi penggunaan air, serta kecepatan respon sistem terhadap perubahan kondisi tanah. Proses ini diakhiri dengan evaluasi dan penyusunan laporan yang mendokumentasikan seluruh hasil dan analisis penelitian.



Gambar 1. *Waterfall*

G. Rumus Perhitungan Logika Fuzzy

Rumus Normalisasi data kelembapan:

$$\text{Rumus: } x_{\text{normalisasi}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Dengan batasan:

1. $x_{\min} = 0$
2. $x_{\max} = 100$

Fungsi keanggotaan fuzzy untuk kelembapan:

1. Rendah: $\mu_{\text{rendah}}(x) = \frac{40-x}{40}$
2. Sedang: $\mu_{\text{sedang}}(x) = \frac{x-30}{40} \text{ s. d. } \frac{70-x}{40}$
3. Tinggi: $\mu_{\text{tinggi}}(x) = \frac{x-60}{40}$

Durasi Penyiraman ditentukan melalui metode *centroid defuzzification*:

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

Dengan z_i adalah nilai durasi penyiraman (detik), seperti 5, 10, dan 15 detik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sistem

Setelah proses perancangan dan pengembangan sistem penyiraman otomatis berbasis *IoT* diselesaikan, dilakukan pengujian langsung di *greenhouse* MTSN 2 Nganjuk. Sistem terdiri dari sensor kelembapan tanah, mikrokontroler Arduino Uno R4 dengan modul ESP32-S3, serta *interface web* yang menghubungkan data *real-time* dengan pengguna.

Setelah dilakukan pengujian dengan mencatat nilai kelembapan tanah setiap 15 menit. Sistem akan mengaktifkan pompa penyiraman otomatis jika nilai kelembapan berada di bawah ambang batas 40%, sesuai dengan aturan logika fuzzy yang telah diprogram.



Gambar 2. Halaman *Menu*

B. Efisiensi Penggunaan Air

Salah satu metrik utama yang diamati adalah volume air yang digunakan sebelum dan sesudah penerapan sistem. Berdasarkan hasil pengukuran, sistem ini mampu menurunkan konsumsi air hingga 30%, terutama karena penyiraman hanya dilakukan ketika kondisi tanah membutuhkan air.

Tabel 1. Perbandingan Penggunaan Air

| Metode | Rata-rata Air Digunakan/Hari (Liter) | Persentase Penghematan |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Manual | 25 | - |
| Otomatis (<i>IoT</i>) | 17,5 | 30% |

C. Evaluasi Durasi Penyiraman dengan Logika Fuzzy

Untuk mengevaluasi efektivitas logika fuzzy dalam pengambilan keputusan penyiraman, dilakukan simulasi durasi penyiraman berdasarkan tingkat kelembapan tanah yang dibaca sensor. Durasi yang dihasilkan sistem menunjukkan respons yang adaptif sesuai dengan kondisi aktual tanah, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Durasi Penyiraman Berdasarkan Nilai Kelembapan Tanah

| Kelembapan Tanah (%) | Durasi Penyiraman (detik) |
|----------------------|---------------------------|
| 28 | 15 |
| 32 | 14 |
| 45 | 10 |

Hasil ini mendukung efektivitas logika fuzzy dalam menangani data numerik dinamis dan menghasilkan keputusan adaptif seperti disampaikan oleh Cahyani et al. [1].

D. Pembahasan

Penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam sistem irigasi meningkatkan efisiensi penggunaan air di pertanian dengan pemantauan dan pengendalian otomatis, sehingga mengurangi penggunaan air dan tenaga kerja [13]. Integrasi logika fuzzy memungkinkan sistem merespons variasi kelembapan tanah secara *real-time* dengan lebih presisi dibanding metode konvensional [14]. Logika fuzzy dapat mengolah data sensor yang tidak pasti untuk keputusan penyiraman yang tepat, cocok untuk lingkungan dinamis seperti *greenhouse* [15]. Namun, tantangan seperti kestabilan jaringan dan kurangnya prediksi kebutuhan air berdasarkan tanaman atau cuaca masih ada, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan teknologi prediktif atau *machine learning* untuk meningkatkan akurasi dan kemandirian sistem.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan implementasi sistem, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem monitoring kelembapan tanah berbasis *Internet of Things* dengan integrasi logika fuzzy telah berhasil menjawab kebutuhan efisiensi penggunaan air di *greenhouse* MTSN 2 Nganjuk. Sistem ini secara efektif mengatur penyiraman otomatis berdasarkan kondisi aktual kelembapan tanah, sehingga dapat mengurangi pemborosan air dan tenaga manusia. Tujuan penelitian, yaitu merancang sistem penyiraman otomatis yang efisien dan mengimplementasikan logika fuzzy untuk pengambilan keputusan penyiraman, telah tercapai secara optimal. Kontribusi utama dari penelitian ini terhadap bidang teknik komputer dan pertanian cerdas adalah pada pengembangan sistem kontrol irigasi berbasis data *real-time* yang adaptif dan dapat direplikasi di lingkungan pertanian lainnya. Secara umum, temuan ini memberikan kontribusi terhadap kemajuan teknologi pertanian berbasis sensor dan kontrol otomatis yang mendukung efisiensi sumber daya air secara berkelanjutan.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan penambahan fitur prediksi kebutuhan air tanaman berbasis cuaca atau jenis tanaman tertentu, serta optimalisasi konektivitas *cloud* agar sistem dapat digunakan secara lebih luas oleh masyarakat tani maupun institusi pendidikan berbasis pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Zain, M. A. H. Wahidah, and K. Fathoni, "Pemanfaatan Greenhouse Sebagai Potensi Desa Meningkatkan Produktivitas Pertanian Dan Kesejahteraan Masyarakat (Studi Kasus Desa Kedung Banteng Sukorejo Ponorogo)," *Soc. Sci. Acad.*, pp. 591–600, 2024.
- [2] U. Ristian, I. Ruslianto, and K. Sari, "Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Edukasi dan Penelit. Inf.*, vol. 8, no. 1, p. 87, 2022.
- [3] T. Soedarto and R. K. Ainiyah, *Teknologi Pertanian Menjadi Petani Inovatif 5.0: Transisi Menuju Pertanian Modern*. Uwais Inspirasi Indonesia, 2022.
- [4] A. Anggiat, "Implementasi Internet Of Things Dalam Aplikasi Monitoring Penggunaan Air Rumah Kost Dan Rumah Kontrakan," 2021, *Universitas Islam Riau*.
- [5] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT," *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [6] H. Marcos and H. Muzaki, "Monitoring Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah Pada Budidaya Tanaman Pepaya," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [7] R. Alamsyah, E. Ryansyah, A. Y. Permana, and R. Mufidah, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy Dengan Teknologi Internet of Things Berbasis Esp8266 Dan Aplikasi Blynk," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 862–868, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4007.
- [8] S. E. Cahyani, T. Rohana, and S. A. P. Lestari, "Implementasi fuzzy logic pada sistem pengairan sawah dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air berbasis IoT," *INFOTECH J. Inform. Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 37–46, 2023.
- [9] H. Setiyawan, R. H. Irawan, and R. Helilintar, "Sistem Sensor Penyiram Tanaman Dengan Modul Arduino Uno," *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, pp. 193–198, 2022.
- [10] I. A. Azam, H. Pujiharsono, and S. Indriyanto, "SISTEM IRIGASI TETES MENGGUNAKAN SENSOR KELEMBAPAN TANAH YL-69 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Teodolita Media Komunikasi Ilm. di Bid. Tek.*, vol. 24, no. 1, pp. 65–73, 2023, doi: 10.53810/jt.v24i1.477.
- [11] N. Latif, "Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Sensor Suhu," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 16–20, 2021, doi: 10.35329/jiik.v7i1.180.
- [12] H. A. Wahid, J. Maulindar, and A. I. Pradana, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Aglonema Berbasis IoT Menggunakan Blynk dan NodeMCU 32," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 6265–6276, 2023.
- [13] M. Rizal-Alfariski, M. Dhandi, and A. Kiswantono, "Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno, IoT-Based Relay and Monitoring," *J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol, Power Sist. dan Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [14] H. Abbas, K. Kusnadi, W. Ilham, and S. Parman, "Sistem kendali alat pemberi pakan kucing otomatis menggunakan modul nodemcu," *J. Digit Digit. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 166–177, 2021.
- [15] N. Nurdiana, "Monitoring Kelembaban Tanah Pada Penyiraman Tanaman Otomatis," vol. 18, no. 1, p. p-ISSN, 2021.