

## PERBANDINGAN KINERJA SISTEM MONITORING DAN KONTROL IOT BERBASIS FUZZY LOGIC DENGAN KONTROL MANUAL DALAM MODEL SKALA KECIL

Made Santo Gitakarma<sup>\*1</sup>, Luh Putu Ary Sri Tjahyanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha

<sup>2</sup> Teknologi Informasi, Fakultas Pertanian dan Teknik, Universitas Panji Sakti

Email: <sup>1</sup>santo@undiksha.ac.id, <sup>2</sup>ary.tjahyanti@unipas.ac.id

\*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 20 Maret 2024, diterima untuk diterbitkan: 20 April 2025)

### Abstrak

Sistem monitoring dan kontrol dalam greenhouse memiliki peran penting dalam menjaga kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem berbasis *Fuzzy Logic* dengan kontrol manual dalam *greenhouse* skala kecil menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Model *greenhouse* miniatur dengan dimensi 1m x 1m x 1m dikembangkan menggunakan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara, sensor YL-69 untuk kelembaban tanah, serta aktuator berupa kipas, pemanas, dan pompa air yang dikendalikan oleh ESP32. Data dipantau secara real-time melalui platform IoT seperti Firebase atau Blynk. Metode *Fuzzy Logic* menggunakan pendekatan Mamdani *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk menentukan keputusan kontrol berdasarkan data sensor, sementara kontrol manual dilakukan berdasarkan pengamatan langsung oleh pengguna. Pengujian dilakukan selama 4 minggu dengan mengukur kestabilan lingkungan, efisiensi energi dan air, serta pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis *Fuzzy Logic* lebih unggul dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban, mengurangi konsumsi energi dan air, serta meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan metode kontrol manual. Penelitian ini memberikan dasar untuk penerapan sistem otomatisasi pada greenhouse skala lebih besar guna meningkatkan efisiensi pertanian modern.

**Kata kunci:** *Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Greenhouse, Sistem Kontrol, Efisiensi Energi*

## COMPARISON OF IOT-BASED MONITORING AND CONTROL SYSTEM PERFORMANCE USING FUZZY LOGIC AND MANUAL CONTROL IN A SMALL- SCALE MODEL

### Abstract

The monitoring and control system in a greenhouse plays a crucial role in maintaining optimal environmental conditions for plant growth. This study aims to compare the performance of a Fuzzy Logic-based system with manual control in a small-scale greenhouse using Internet of Things (IoT) technology. A miniature greenhouse model with dimensions of 1m x 1m x 1m was developed using a DHT22 sensor for temperature and humidity, a YL-69 sensor for soil moisture, and actuators such as a fan, heater, and water pump controlled by ESP32. Data is monitored in real-time via IoT platforms such as Firebase or Blynk. The Fuzzy Logic method uses the Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) approach to determine control decisions based on sensor data, while manual control is performed based on direct user observations. The experiment was conducted over four weeks by measuring environmental stability, energy and water efficiency, and plant growth. The results show that the Fuzzy Logic-based system outperforms manual control in maintaining temperature and humidity stability, reducing energy and water consumption, and enhancing plant growth. This research provides a foundation for implementing automation systems in larger-scale greenhouses to improve the efficiency of modern agriculture.

**Keywords:** *Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Greenhouse, Control System, Energy Efficiency*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang pertanian dan industri semakin pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem yang lebih efisien dan otomatis. Salah satu inovasi yang banyak dikembangkan adalah sistem monitoring dan kontrol berbasis Internet of Things (IoT), yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai parameter lingkungan secara real-time (Alam, R. L. dan Nasuha, A., 2020). Penerapan IoT dalam sistem pengendalian lingkungan, baik dalam skala kecil maupun besar, memberikan efisiensi yang lebih tinggi dalam mengoptimalkan kondisi pertumbuhan tanaman (Fatori, M. M. F., 2022). Salah satu metode yang dapat diintegrasikan dengan sistem IoT adalah logika fuzzy (Zadeh, L. A., 1965), yang menawarkan pendekatan berbasis aturan dalam pengambilan keputusan, sehingga sistem dapat beroperasi dengan lebih fleksibel dan adaptif dibandingkan dengan kontrol manual.

Dalam dunia pertanian dan industri, pengendalian suhu, kelembaban, pencahayaan, serta faktor lingkungan lainnya sangat penting untuk memastikan produktivitas yang optimal. Sistem tradisional masih banyak mengandalkan metode kontrol manual, di mana operator mengamati kondisi lingkungan dan menyesuaikan perangkat sesuai dengan kebutuhan. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti ketergantungan pada operator, keterlambatan dalam respons, serta ketidakkonsistenan dalam pengambilan keputusan (Megantara, P. dkk., 2021). Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis yang dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi pengendalian kondisi lingkungan secara lebih stabil dan berkelanjutan.

Sistem berbasis logika fuzzy memungkinkan penggunaan aturan-aturan linguistik yang meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan. Metode ini sangat efektif dalam mengendalikan sistem yang memiliki banyak variabel dengan tingkat ketidakpastian tinggi. Dibandingkan dengan kontrol manual, sistem berbasis logika fuzzy dapat memberikan respons yang lebih cepat dan optimal karena mampu menyesuaikan parameter secara otomatis berdasarkan kondisi real-time yang terdeteksi oleh sensor (Chai, T. Y., dan Wang, P., 2018).

Meskipun sistem kontrol manual masih banyak digunakan, efektivitas dan efisiensinya sering dipertanyakan, terutama dalam skala yang lebih besar atau dalam kondisi lingkungan yang dinamis (Andhikaputra, M. L., dkk., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut: 1) Bagaimana kinerja sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT dengan logika fuzzy dibandingkan dengan kontrol manual dalam model skala kecil? 2) Seberapa efektif sistem berbasis logika fuzzy dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi pengendalian dibandingkan metode konvensional? dan 3) Faktor apa saja yang

mempengaruhi performa kedua sistem tersebut dalam kondisi lingkungan yang berbeda?

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan membandingkan efektivitas kedua metode kontrol tersebut dengan menggunakan berbagai parameter seperti waktu respons, deviasi suhu dan kelembaban, frekuensi penyesuaian aktuator, serta tingkat stabilitas sistem (Djamila, H., dan Mahmoud, I., 2021). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai keunggulan sistem berbasis logika fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban dalam lingkungan yang dinamis.

Agar penelitian ini tetap fokus dan terarah, beberapa batasan ditetapkan dalam studi ini: 1) Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah skala kecil, yang merepresentasikan kondisi sistem pengendalian dalam lingkungan terbatas; 2) Parameter yang dikendalikan meliputi suhu dan kelembaban sebagai variabel utama; 3) Sistem IoT yang digunakan mencakup sensor, mikrokontroler, serta aktuator yang diintegrasikan dengan algoritma logika fuzzy; 4) Analisis dilakukan berdasarkan data yang dikumpulkan dalam periode tertentu untuk melihat perbandingan efektivitas kedua metode kontrol.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem otomatisasi berbasis IoT dan logika fuzzy, yang berpotensi untuk diterapkan dalam skala lebih besar guna meningkatkan efisiensi pertanian modern.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk membandingkan kinerja sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT dengan logika fuzzy terhadap sistem kontrol manual dalam model skala kecil. Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

Pada tahap perancangan sistem, dua sistem kontrol dikembangkan, yaitu satu berbasis IoT dengan logika fuzzy dan satu lagi berbasis kontrol manual. Perangkat keras yang digunakan meliputi sensor suhu dan kelembaban (DHT11/DHT22), mikrokontroler (ESP32/Arduino), serta aktuator seperti kipas, pompa, dan relay. Perangkat lunak dikembangkan dengan algoritma logika fuzzy yang diterapkan pada mikrokontroler untuk mengontrol aktuator berdasarkan data sensor. Selain itu, sistem pemantauan berbasis IoT dirancang agar dapat mengakses data secara real-time melalui koneksi internet.

Pada tahap implementasi sistem, sensor dan aktuator dipasang pada model skala kecil. Mikrokontroler dihubungkan dengan jaringan untuk mengirim dan menerima data melalui platform IoT. Selanjutnya, dikembangkan antarmuka pemantauan berbasis web atau aplikasi seluler agar pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung.

Tahap pengujian dan pengumpulan data dilakukan dengan menjalankan eksperimen dalam dua kondisi, yaitu sistem kontrol manual dan sistem IoT berbasis logika fuzzy. Parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban diukur secara berkala, dan respons sistem terhadap berbagai skenario perubahan kondisi dianalisis. Selama periode tertentu, dilakukan logging data untuk memperoleh perbandingan performa kedua sistem.

Dalam tahap analisis data, metode statistik digunakan untuk membandingkan kinerja kedua sistem dalam aspek akurasi, efisiensi, dan stabilitas. Efektivitas algoritma fuzzy dalam mengoptimalkan kontrol sistem dibandingkan dengan pengendalian manual dievaluasi. Selain itu, kecepatan respons dan konsumsi energi dari kedua sistem dianalisis untuk menilai efisiensi masing-masing metode. Kestabilan sistem IoT berbasis fuzzy dalam menghadapi perubahan lingkungan yang mendadak juga dievaluasi. Visualisasi data dalam bentuk grafik atau diagram digunakan untuk membandingkan tren performa kedua sistem dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, dihitung persentase pengurangan kesalahan atau deviasi dari parameter lingkungan yang dikontrol menggunakan metode fuzzy dibandingkan dengan metode manual.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam sistem pengendalian lingkungan, kestabilan suhu dan kelembaban merupakan faktor penting yang mempengaruhi berbagai aspek, termasuk produktivitas pertanian, efisiensi penyimpanan, serta kenyamanan dalam suatu ruang tertutup. Salah satu metode yang digunakan untuk mencapai kestabilan tersebut adalah dengan menerapkan sistem kontrol berbasis logika fuzzy pada teknologi Internet of Things (IoT).

Berikut adalah hasil penelitian yang dapat dipaparkan sebagai berikut:

#### 3.1. Parameter Pengukuran

Untuk mengevaluasi kinerja sistem IoT berbasis logika fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban, digunakan beberapa parameter utama:

Tabel 1. Parameter Pengukuran Penelitian

Parameter	Deskripsi
Waktu Respons (Response Time)	Waktu yang dibutuhkan sistem untuk menyesuaikan aktuator setelah terjadi perubahan lingkungan.
Deviasi Suhu (Temperature Deviation)	Selisih antara suhu aktual dan suhu target dalam satuan derajat Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
Deviasi Kelembaban (Humidity Deviation)	Selisih antara kelembaban aktual dan kelembaban target dalam satuan persen (%RH).

Frekuensi Penyesuaian Aktuator (Actuator Adjustment Frequency)	Seberapa sering aktuator (kipas, pemanas, penyemprot) diaktifkan untuk menyesuaikan kondisi lingkungan.
Tingkat Stabilitas (Stability Index)	Variasi perubahan suhu dan kelembaban dalam periode waktu tertentu.

Tabel 2. Parameter Pengukuran Penelitian dilihat dari aspek kinerja lingkungan, efisiensi operasional, dan produktivitas hasil

Aspek	Deskripsi
Kestabilan Lingkungan	Aspek ini mencerminkan kemampuan sistem dalam menjaga kondisi suhu dan kelembaban tetap stabil sesuai dengan kebutuhan lingkungan.
Efisiensi Penggunaan Sumber Daya	Aspek ini mengukur sejauh mana sistem dapat mengoptimalkan penggunaan air dan energi untuk mencapai kondisi yang diinginkan dengan konsumsi minimal.
Dampak terhadap Pertumbuhan	Aspek ini menunjukkan bagaimana efektivitas sistem dalam menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal

#### 3.2. Metode Pengukuran

Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua sistem: kontrol manual dan kontrol berbasis fuzzy. Data diambil dalam lingkungan yang mengalami fluktuasi suhu dan kelembaban yang nyata. Pengukuran dilakukan dalam interval waktu tertentu (misalnya setiap 5 menit selama 24 jam).

#### 3.3 Hasil Pengukuran

Untuk menilai efektivitas sistem IoT berbasis logika fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban, beberapa indikator keberhasilan telah ditetapkan. Indikator-indikator ini dirancang untuk membandingkan kinerja sistem fuzzy dengan kontrol manual dan menentukan apakah sistem fuzzy mampu memberikan respons yang lebih cepat, akurat, dan stabil terhadap perubahan lingkungan. Indikator keberhasilan pada Tabel 3 menjadi acuan dalam melakukan penelitian dalam membandingkan kinerja dan efektivitas sistem monitoring dan kontrol IoT yang diterapkan dalam Greenhouse atau ruangan berskala kecil.

Tabel 3. Indikator Keberhasilan Penelitian

Indikator	Kriteria Keberhasilan
Waktu Respons	Sistem fuzzy memiliki waktu respons lebih cepat dibandingkan kontrol manual.
Deviasi Suhu	Deviasi suhu lebih kecil pada sistem fuzzy dibandingkan kontrol manual.
Deviasi Kelembaban	Deviasi kelembaban lebih kecil pada sistem fuzzy dibandingkan kontrol manual.
Frekuensi Penyesuaian Aktuator	Sistem fuzzy menyesuaikan aktuator lebih optimal tanpa terlalu sering atau jarang.
Tingkat Stabilitas	Fluktuasi suhu dan kelembaban lebih rendah pada sistem fuzzy dibandingkan kontrol manual.

Indikator keberhasilan digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sistem IoT berbasis logika fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban. Berikut adalah tabel yang merangkum hasil pembahasan indikator keberhasilan:

Tabel 4. Hasil Analisis Indikator Keberhasilan Penelitian

Indikator	Kontrol Manual	Kontrol Fuzzy	Kesimpulan
Waktu Respons	30 detik	5 detik	Sistem fuzzy lebih cepat merespons perubahan.
Deviasi Suhu	2.5°C	0.8°C	Sistem fuzzy lebih stabil dalam menjaga suhu.
Deviasi Kelembaban	6.0% RH	1.5% RH	Sistem fuzzy lebih stabil dalam menjaga kelembaban.
Frekuensi Penyesuaian Aktuator	4 kali per jam	7 kali per jam	Sistem fuzzy lebih responsif tanpa over-adjustment.
Tingkat Stabilitas	Fluktuasi 1.8 dalam 1 jam	Fluktuasi 0.5 dalam 1 jam	Sistem fuzzy lebih stabil dalam menjaga kondisi lingkungan.

Dari hasil analisis indikator keberhasilan ini, dapat disimpulkan bahwa sistem berbasis logika fuzzy memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan kontrol manual dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban. Dengan waktu respons yang lebih cepat, deviasi yang lebih kecil, serta penyesuaian aktuator yang lebih optimal, sistem

fuzzy menjadi solusi yang lebih adaptif dan efisien dalam pengendalian lingkungan berbasis IoT.

Tabel 5. Hasil Pengukuran dari aspek kinerja lingkungan, efisiensi operasional, dan produktivitas hasil

Aspek	Parameter	Kontrol Manual	Fuzzy Logic
Kestabilan Lingkungan	Rata-rata Suhu (°C)	29.5 ± 2.3	27.8 ± 1.2
	Rata-rata Kelembaban Udara (%)	55.3 ± 4.8	62.1 ± 3.2
Efisiensi Penggunaan Sumber Daya	Konsumsi Air (Liter/Minggu)	12.5	9.3
	Konsumsi Energi (Watt/Jam)	35.6	28.2
Dampak terhadap Pertumbuhan	Pertumbuhan Tanaman (cm/minggu)	2.1	3.4
	Jumlah Daun Setelah 4 Minggu	8	12

### 3.4 Pembahasan

Penelitian ini membandingkan kinerja sistem kontrol manual dan sistem kontrol berbasis fuzzy logic dalam mengatur suhu dan kelembaban di dalam greenhouse. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem fuzzy logic memiliki keunggulan yang signifikan dalam berbagai aspek, seperti stabilitas lingkungan, efisiensi penggunaan sumber daya, serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman.

#### 1. Respon dan Stabilitas Sistem

Sistem fuzzy logic menunjukkan waktu respon yang jauh lebih cepat dibandingkan kontrol manual, yaitu hanya 5 detik dibandingkan dengan 30 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, deviasi suhu dan kelembaban dalam sistem fuzzy lebih kecil (0,8°C dan 1,5% RH) dibandingkan kontrol manual (2,5°C dan 6,0% RH). Dengan demikian, sistem fuzzy logic lebih efektif dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban di dalam greenhouse.

#### 2. Frekuensi Penyesuaian Aktuator

Meskipun sistem fuzzy logic memiliki frekuensi penyesuaian aktuator yang lebih tinggi (7 kali

per jam dibandingkan dengan 4 kali per jam pada kontrol manual), sistem ini tetap mampu menjaga kestabilan lingkungan tanpa menyebabkan over-adjustment. Stabilitas lingkungan dalam sistem fuzzy juga lebih baik, dengan fluktuasi hanya 0,5 dalam 1 jam, dibandingkan dengan 1,8 pada sistem manual.

3. Efisiensi Penggunaan Sumber Daya  
Sistem fuzzy logic juga terbukti lebih efisien dalam penggunaan sumber daya. Konsumsi air pada sistem fuzzy lebih rendah (9,3 liter/minggu) dibandingkan kontrol manual (12,5 liter/minggu), yang menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengoptimalkan penggunaan air dalam irigasi. Selain itu, konsumsi energi juga lebih hemat, yaitu 28,2 Watt/jam dibandingkan dengan 35,6 Watt/jam pada kontrol manual.
4. Dampak terhadap Pertumbuhan Tanaman  
Salah satu indikator utama keberhasilan sistem pengendalian lingkungan di greenhouse adalah dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang ditanam dengan sistem fuzzy logic mengalami pertumbuhan yang lebih baik, dengan rata-rata pertumbuhan 3,4 cm/minggu dibandingkan dengan 2,1 cm/minggu pada kontrol manual. Selain itu, jumlah daun setelah 4 minggu juga lebih banyak pada sistem fuzzy logic (12 daun) dibandingkan dengan kontrol manual (8 daun).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol berbasis fuzzy logic lebih unggul dibandingkan sistem kontrol manual dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembaban di dalam greenhouse. Selain itu, sistem ini juga lebih efisien dalam penggunaan sumber daya seperti air dan energi, serta memiliki dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penerapan fuzzy logic dalam sistem kontrol iklim di greenhouse dapat menjadi solusi yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan produktivitas pertanian berbasis teknologi.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Alam, R. L. dan Nasuha, A. (2020). *Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT*. ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education), 5(1), 11-20. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.34587>.
- Andhikaputra, M. L., Faisol, A., Auliasari, K. (2021). *Penerapan Metode Fuzzy pada Sistem Monitoring Perkembangan Tanaman Hidroponik*. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 5(1) Maret 2021, 299-307.
- Chai, T. Y., dan Wang, P. (2018). *Application of Fuzzy Control in Temperature and Humidity Regulation in Greenhouses*. Journal of Agricultural Engineering, 32(1), 12-18.
- Djamila, H., dan Mahmoud, I. (2021). *Optimization of Greenhouse Climate Using Fuzzy Logic-Based Controller*. Journal of Automation and Control, 9(3), 78-90.
- Fatori, M. M. F. (2022). *Aplikasi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik*. Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer, 2(2) Oktober 2022, 350-356. <https://doi.org/10.47709/jpsk.v2i02.1746>.
- Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665-685.
- Kamel, S., & Hassan, M. (2019). Energy Efficient Greenhouse Climate Control Using Fuzzy Logic and IoT Integration. International Conference on Smart Agriculture, 112-118.
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I & II. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 20(2), 404-435.
- Megantara, P., Triwiyatno, A., dan Afrisal, H. (2021). *Pengontrol Suhu, Kelembaban Tanah dan Intensitas Cahaya pada Prototype Smart Greenhouse*. TRANSIENT, 10(1) Maret 2021, 1-8.
- Prasetyo, R., & Hidayat, T. (2017). Perancangan Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Berbasis Logika Fuzzy pada Greenhouse. Jurnal Teknik Elektro, 10(1), 25-32.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 8(3), 338-353.