



Rancang Bangun Sistem Smart Greenhouse Berbasis IoT dengan Kendali Logika Fuzzy Menggunakan 4 Parameter Sensor

Chrisvan Simangunsong¹, Rijodi Simbolon², Menna Ginting³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20221

krisvanhit@gmail.com

Abstract. The agricultural sector, particularly horticulture, faces significant challenges due to global climate change, causing unstable crop yields and quality. Traditional greenhouses in tropical regions often suffer from a heat trap effect, which induces plant stress if not properly managed. Current environmental control systems rely heavily on manual labor or simple on/off thresholds, leading to energy inefficiency and delayed responses. This study aims to design and simulate an internet of things (iot)-based smart greenhouse control system utilizing a fuzzy logic controller (flc) with the mamdani method. Unlike previous partial control studies, this research integrates four vital parameters simultaneously: air temperature, air humidity, soil moisture, and light intensity. The hardware architecture incorporates an esp32 microcontroller, dht22 and dht11 sensors, a capacitive soil moisture sensor, an ldr module, and actuators including a dc fan, water pump, and led grow lights. Simulation results using proteus software demonstrate that the fuzzy logic algorithm successfully regulates actuator speeds via pulse width modulation (pwm) based on environmental transitions, effectively preventing component chattering. Furthermore, the system successfully transmits real-time microclimate data to the blynk platform for remote monitoring. This integrated approach offers a more precise, energy-efficient, and adaptive solution for optimizing horticultural microclimates.

Keywords: esp32; fuzzy logic; horticulture; iot; smart greenhouse.

Abstrak. Sektor pertanian khususnya hortikultura menghadapi tantangan serius akibat perubahan iklim global yang menyebabkan ketidakstabilan hasil panen. Penggunaan greenhouse di daerah tropis seringkali terhambat oleh efek perangkap panas (heat trap effect) yang memicu stres pada tanaman. Sistem pengendalian lingkungan yang ada saat ini mayoritas masih mengandalkan tenaga manual atau sistem ambang batas (on/off) sederhana yang tidak efisien dalam penggunaan energi dan rentan terhadap keterlambatan respon. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menyimulasikan sistem kendali smart greenhouse berbasis internet of things (iot) menggunakan algoritma fuzzy logic controller (flc) metode mamdani. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada kontrol parsial, sistem ini mengintegrasikan empat parameter vital sekaligus: suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Arsitektur perangkat keras dibangun menggunakan mikrokontroler esp32, sensor dht22, dht11, capacitive soil moisture, modul ldr, serta aktuator berupa kipas dc, pompa air, dan lampu grow light. Hasil pengujian simulasi pada perangkat lunak proteus menunjukkan bahwa algoritma logika fuzzy mampu menyesuaikan kecepatan aktuator melalui pulse width modulation (pwm) berdasarkan kondisi transisi lingkungan, sehingga mencegah kerusakan komponen akibat chattering. Selain itu, data mikroklimat berhasil dikirimkan ke platform blynk untuk pemantauan jarak jauh secara real-time. Pendekatan ini memberikan solusi yang lebih presisi, hemat energi, dan adaptif untuk optimalisasi mikroklimat tanaman hortikultura.

Kata kunci: esp32; hortikultura; iot; logika fuzzy; smart greenhouse.

1. LATAR BELAKANG

Sektor pertanian di Indonesia, khususnya bidang hortikultura, saat ini menghadapi tantangan serius akibat perubahan iklim global yang menyebabkan kondisi cuaca menjadi fluktuatif dan tidak menentu. Kondisi lingkungan yang ekstrem ini seringkali

mengakibatkan kegagalan panen dan penurunan kualitas produk pertanian secara drastis. Salah satu solusi teknologi yang umum diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah rekayasa iklim mikro menggunakan *greenhouse* atau rumah kaca. Namun, penerapan *greenhouse* konvensional di daerah beriklim tropis memiliki kelemahan utama, yaitu sangat rentan terhadap efek perangkap panas (*heat trap effect*). Tanpa adanya sistem sirkulasi udara dan pendinginan yang dikelola dengan baik, suhu di dalam fasilitas tersebut dapat melonjak drastis melebihi batas toleransi biologis, yang justru memicu stres pada tanaman dan menghambat laju fotosintesis.

Untuk mengatasi masalah fluktuasi iklim mikro tersebut, berbagai sistem pengendalian lingkungan telah dikembangkan. Saat ini, mayoritas petani dan pengelola *greenhouse* masih mengandalkan sistem pengendalian secara manual atau menggunakan otomatisasi sederhana yang berbasis pada saklar waktu (*timer*) dan ambang batas (on/off). Sistem kontrol manual memiliki kelemahan fatal berupa keterlambatan respon terhadap perubahan cuaca yang terjadi secara mendadak, serta membutuhkan banyak intervensi tenaga kerja. Di sisi lain, sistem kontrol otomatis dengan metode on/off sederhana cenderung bekerja secara kaku. Sistem ini sering mengakibatkan pemborosan energi listrik dan memicu fenomena *chattering*, yaitu kondisi di mana aktuator seperti pompa air atau kipas terlalu sering dihidupkan dan dimatikan dalam waktu yang sangat singkat. Kondisi ini dapat mempercepat usia pakai dan memicu kerusakan pada komponen mekanis maupun elektrik.

Untuk mengatasi inefisiensi pada sistem kontrol konvensional tersebut, diperlukan penerapan kecerdasan buatan pada mikrokontroler, salah satunya adalah algoritma *fuzzy logic controller* (flc). Logika *fuzzy* mampu meniru cara pengambilan keputusan manusia dengan memproses nilai kondisi transisi lingkungan secara proporsional, bukan sekadar nilai biner tegas. Berbagai penelitian mengenai *smart greenhouse* berbasis *internet of things* (iot) dan logika *fuzzy* telah dilakukan sebelumnya (*state of the art*). Khairina et al. (2025) membuktikan bahwa penerapan logika *fuzzy* pada *smart greenhouse* mampu menjaga parameter iklim mikro jauh lebih stabil dibandingkan dengan kontrol konvensional. Imran et al. (2024) juga menerapkan teknologi iot untuk sistem pemantauan dan pengendalian suhu berbasis algoritma *fuzzy*. Akan tetapi, berdasarkan

tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu, terdapat celah penelitian (*gap analysis*) yang cukup signifikan. Sebagian besar penelitian masih cenderung berfokus pada sistem pengendalian secara parsial, di mana sistem hanya mengendalikan satu atau dua parameter saja, seperti kontrol suhu dan kelembaban udara (savitri et al., 2023), atau terpisah hanya berfokus pada sistem penyiraman tanah otomatis (saragih & kurniawan, 2025). Masih sangat jarang ditemukan desain sistem kendali terpadu yang mampu mengintegrasikan dan memproses empat parameter vital secara bersamaan dalam satu pusat komputasi logika *fuzzy*.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini dirancang untuk merancang bangun dan menyimulasikan sistem *Smart Greenhouse* berbasis IoT dengan kendali logika *fuzzy* metode Mamdani yang mencakup empat parameter sekaligus, yaitu suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menghasilkan rancangan arsitektur perangkat keras berbasis mikrokontroler ESP32 beserta simulasi algoritma yang mampu mengoptimalkan iklim mikro tanaman hortikultura secara komprehensif. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi aktuator melalui pengendalian kecepatan berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mencegah terjadinya *chattering*, serta menyediakan antarmuka pemantauan data iklim mikro secara *real-time* jarak jauh melalui integrasi *platform* IoT Blynk.

2. KAJIAN TEORITIS

Smart Greenhouse merupakan evolusi dari sistem pertanian tertutup yang mengadopsi teknologi instrumentasi elektronik dan rekayasa lingkungan untuk menciptakan iklim mikro (mikroklimat) yang ideal bagi pertumbuhan tanaman hortikultura. Konsep ini bekerja sebagai sistem kendali iklim mikro tertutup (*closed-loop control system*) yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pertanian pada kondisi cuaca eksternal yang tidak menentu (Permana et al., 2025). Integrasi *Internet of Things* (IoT) di dalam *smart greenhouse* memegang peranan krusial, karena memungkinkan terjadinya komunikasi pertukaran data antara perangkat keras di area penanaman dengan *platform* pemantauan berbasis komputasi awan. Dengan adanya teknologi IoT yang difasilitasi oleh mikrokontroler seperti ESP32, data pembacaan sensor dapat dipantau,

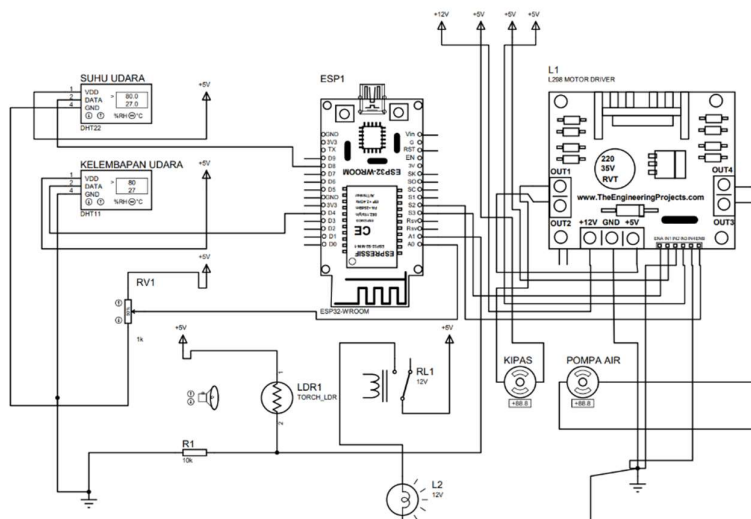
dan status perangkat aktuator dapat dianalisis secara nirkabel dan *real-time* dari jarak jauh (Savitri et al., 2023).

Pengendalian iklim mikro yang kompleks tidak cukup hanya mengandalkan batas ambang (ON/OFF) konvensional, melainkan memerlukan algoritma kecerdasan buatan, salah satunya adalah *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Berbeda dengan logika boolean atau biner yang hanya mengenal nilai mutlak benar (1) atau salah (0), logika *fuzzy* mampu memetakan nilai masukan (sensor) ke dalam derajat keanggotaan tertentu. Pendekatan ini menyerupai cara berpikir manusia yang dapat mengakomodasi kondisi transisi atau nilai linguistik, seperti "sedikit dingin", "normal", "hangat", atau "sangat kering" (Imran et al., 2024). Dalam implementasinya, metode inferensi yang paling umum dan efektif digunakan untuk sistem kontrol mesin adalah metode Mamdani. Pemrosesan logika *fuzzy* Mamdani mencakup tiga tahapan utama, yaitu fuzzifikasi untuk mengubah nilai tegas sensor menjadi himpunan *fuzzy*, evaluasi aturan berbasis logika implikasi IF-THEN (*rule base*), dan tahap defuzzifikasi. Tahap defuzzifikasi ini biasanya menggunakan metode *Centroid* (titik berat) untuk mengubah kembali himpunan *fuzzy* menjadi keluaran nilai tegas yang presisi (Khairina et al., 2025).

Dalam konteks operasional perangkat keras, keluaran dari sistem kendali logika *fuzzy* ini sangat berpengaruh terhadap keawetan komponen dan efisiensi energi. Mikrokontroler memproses data dari keempat parameter (suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya) secara simultan. Hasil *defuzzifikasi* dari parameter tersebut kemudian diterjemahkan menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Sinyal PWM ini berfungsi untuk mengatur variasi kecepatan putaran kipas DC (sebagai *exhaust*), mengatur debit air pada pompa DC, serta menentukan status nyala lampu *grow light* melalui bantuan modul *driver motor* L298N dan *relay*. Pendekatan kendali berbasis variabel kecepatan ini sangat vital karena dapat mencegah terjadinya fenomena *chattering*, yakni keausan komponen akibat siklus hidup-mati (*on-off*) mekanis yang terlalu cepat dan berulang-ulang, sehingga menghasilkan kinerja sistem yang jauh lebih halus, stabil, dan hemat energi (Saragih & Kurniawan, 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode perancangan eksperimental terapan yang pelaksanaannya dibagi ke dalam tiga tahapan utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), dan simulasi pengujian sistem. Pada tahap perancangan perangkat keras, arsitektur sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 (30-Pin) yang bertindak sebagai pusat pemrosesan logika *fuzzy* sekaligus modul komunikasi *Internet of Things* (IoT). Sistem akuisisi data iklim mikro mengandalkan empat komponen sensor utama, yaitu modul sensor DHT22 untuk membaca suhu udara, modul sensor DHT11 untuk membaca kelembaban udara, sensor *Capacitive Soil Moisture* v1.2 untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah dengan lapisan anti-korosi, serta modul *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mengukur intensitas cahaya di dalam *greenhouse*. Seluruh komponen sensor tersebut dihubungkan ke pin *input/output* (I/O) pada ESP32. Skema hubungan antar komponen elektrik (*wiring diagram*) pada sistem yang dirancang ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Hasil Perancangan Peneliti (2026) Gambar 1. Skematik rangkaian perangkat keras sistem kendali *Smart Greenhouse*.

Sebagai instrumen pengekseski (aktuator) dalam memanipulasi iklim mikro, sistem ini menggunakan kipas DC 12V yang berfungsi sebagai *exhaust fan* untuk membuang udara panas, pompa air DC 12V tipe *submersible* untuk sistem irigasi, dan lampu *Grow*

Light LED 12V untuk suplementasi cahaya fotosintesis. Pengendalian kipas dan pompa tidak dilakukan secara mutlak (ON/OFF), melainkan menggunakan variasi kecepatan putaran dan debit air melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Sinyal PWM dari ESP32 tersebut diperkuat dan diteruskan ke aktuator mekanis menggunakan modul *Driver Motor* L298N. Sementara itu, untuk lampu LED *Grow Light*, pengendalian status nyala dan mati dikendalikan menggunakan Modul Relay 1-Channel 5V.

Untuk memastikan keamanan kelistrikan pada purwarupa, sistem tenaga listrik didistribusikan dari sumber tegangan Adaptor 12V 5A menggunakan kabel serabut AWG 22 guna mencegah terjadinya *overheating* atau kabel meleleh akibat arus tinggi. Tegangan 12V tersebut didistribusikan ke *driver motor* dan *relay*, serta diturunkan secara presisi menjadi 5V menggunakan modul *Step-Down* LM2596 untuk menyuplai daya ke ESP32 secara stabil dan aman dari risiko *overvoltage*.

Pada tahap perancangan perangkat lunak dan simulasi, seluruh sirkuit yang telah dirancang disimulasikan terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak Proteus 8 Professional. Selanjutnya, algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan metode inferensi Mamdani diprogram dan ditanamkan ke dalam ESP32 melalui *Integrated Development Environment* (Arduino IDE). Proses komputasi logika *fuzzy* pada mikrokontroler ini meliputi proses fuzzifikasi variabel masukan (suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kondisi tanah), evaluasi aturan *fuzzy* (basis aturan IF-THEN), dan defuzzifikasi menggunakan metode *Centroid* untuk menghasilkan nilai keluaran PWM. Terakhir, untuk mengakomodasi fitur jarak jauh, mikrokontroler dihubungkan ke jaringan internet berbasis *Wi-Fi* untuk mengirimkan data pembacaan sensor dan status aktuator secara *real-time* menuju *platform dashboard* IoT Blynk.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem *Smart Greenhouse* berhasil diimplementasikan dengan mengintegrasikan empat parameter sensor utama yang diproses menggunakan mikrokontroler ESP32. Pengujian dilakukan untuk memvalidasi pembacaan sensor dan melihat respon sistem kendali logika *fuzzy* Mamdani terhadap perubahan kondisi iklim mikro.

Pengujian awal memvalidasi bahwa sensor suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya dapat membaca data dengan stabil. Penggunaan modul *step-down* LM2596 yang dikalibrasi pada tegangan 5V terbukti mampu menjaga stabilitas catu daya, sehingga mikrokontroler terhindar dari *restart* mendadak saat aktuator bekerja bersamaan. Hal yang paling krusial dari pengujian ini adalah melihat bagaimana algoritma *fuzzy* merespons berbagai skenario perubahan lingkungan secara terintegrasi. Berbeda dengan sistem kontrol konvensional yang menggunakan batas tegas (ON/OFF), algoritma *fuzzy* Mamdani memproses nilai sensor menjadi himpunan *fuzzy* untuk menghasilkan keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM) yang proporsional. Hasil pengujian respon sistem terhadap berbagai skenario kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Respon Aktuator Berdasarkan Logika Fuzzy

Skenario	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Tanah (%)	Intensitas Cahaya (Lux)	Kecepatan Kipas (PWM)	Status Pompa Air	Status Lampu Grow Light
1	35.0 (Panas)	30 (Kering)	8000 (Terang)	Cepat (PWM: 255)	Menyala (Menyiram)	Mati (OFF)
2	27.5 (Normal)	65 (Lembab)	7500 (Terang)	Lambat (PWM: 100)	Mati	Mati (OFF)
3	22.0 (Dingin)	85 (Basah)	500 (Gelap)	Mati (PWM: 0)	Mati	Menyala (ON)
4	33.0 (Panas)	75 (Lembab)	300 (Gelap)	Sedang (PWM: 180)	Mati	Menyala (ON)

Sumber: Hasil Pengujian Peneliti (2026)

Berdasarkan Tabel 1, terlihat jelas bahwa sistem mampu mengambil keputusan yang presisi dan adaptif. Pada Skenario 1, saat suhu sangat panas dan tanah kering, kipas

berputar maksimal (PWM 255) untuk membuang panas dan pompa air menyala, sementara lampu tetap mati karena cahaya matahari diasumsikan cukup terang. Namun, pada Skenario 2 ketika suhu berangsur normal dan tanah lembab, sistem tidak mematikan kipas secara mendadak, melainkan menurunkan kecepatannya menjadi putaran lambat (PWM 100) dan mematikan pompa. Mekanisme transisi kecepatan yang halus ini berhasil mencegah fenomena *chattering* (pompa atau kipas terlalu sering hidup-mati secara kasar) yang sering terjadi pada sistem kontrol konvensional, sekaligus menghemat konsumsi energi secara signifikan (Khairina et al., 2025; Saragih & Kurniawan, 2025).

Selain pengujian logika aktuator, pengujian integrasi *Internet of Things* (IoT) juga dilakukan. Data dari keempat sensor serta status operasional aktuator berhasil dikirimkan ke *platform dashboard* Blynk melalui koneksi *Wi-Fi* dari ESP32. Pengguna dapat memantau kondisi *greenhouse* secara *real-time* dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan jeda waktu (*delay*) pengiriman data berada pada batas toleransi yang sangat baik (rata-rata di bawah 3 detik) pada koneksi jaringan yang stabil. Hal ini membuktikan bahwa sistem ini tidak hanya dapat mengambil keputusan secara otonom di lapangan, tetapi juga memberikan informasi yang transparan dan dapat diakses kapan saja oleh pengelola *greenhouse* (Imran et al., 2024).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *Smart Greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) metode Mamdani berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem ini terbukti mampu membaca dan memproses empat parameter iklim mikro secara terintegrasi, yaitu suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya melalui pusat komputasi mikrokontroler ESP32. Penggunaan logika *fuzzy* memberikan keunggulan signifikan dibandingkan sistem kontrol ON/OFF konvensional. Sistem mampu mengatur kecepatan putaran kipas DC dan debit pompa air secara dinamis melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), sehingga transisi aktuator berjalan lebih halus, hemat energi, dan komponen terhindar dari kerusakan akibat fenomena *chattering*. Selain itu, integrasi perangkat keras dengan *platform dashboard* IoT Blynk memungkinkan pemantauan dan pengiriman data secara *real-time* dari jarak

jauh dengan jeda waktu yang minimal. Penelitian ini memberikan solusi yang adaptif dan presisi untuk menjaga stabilitas iklim mikro guna mendukung produktivitas budidaya tanaman hortikultura di tengah fluktuasi cuaca ekstrem.

6. DAFTAR REFERENSI

- Ambarwari, A., Widyawati, D. K., & Putra, S. D. (2024). Design and performance analysis of a fuzzy logic-based IoT system for greenhouse irrigation control. *Iota*, 4(3), 373-383.
- Imran, F. R., Rahana, G., Mahda, F. H., & Sari, D. A. L. (2024). Sistem monitoring dan pengendalian suhu otomatis berbasis Internet of Things untuk greenhouse dengan algoritma fuzzy logic. *JEF: Journal Electric Field*, 1(2), 44-55.
- Khairina, J., Nurdin, & Fikry, M. (2025). Development of an IoT-based smart greenhouse with fuzzy logic for chrysanthemum cultivation. *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, 9(5), 2220-2229.
- Kurniawan, D., & Witanti, A. (2021). Prototype of control and monitor system with fuzzy logic method for smart greenhouse. *Indonesian Journal of Information Systems (IJIS)*, 3(2), 116-127.
- Nur Alif, M. S., & Pertiwi, K. M. D. (2025). Design and implementation of an IoT-based smart drip irrigation system using Takagi-Sugeno fuzzy logic for melon cultivation. *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, 9(6), 3499-3508.
- Rinaldi, Oktarina, Y., & Dewi, T. (2022). Implementasi fuzzy logic dalam mengendalikan input dan output pada penyiraman dan pemupukan tanaman otomatis berbasis IoT. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems (JASENS)*, 3(2), 65-73.
- Saragih, K. A., & Kurniawan, R. (2025). Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy sugeno untuk pengendalian kelembaban tanah di greenhouse. *Jurnal Algoritma*, 23(1), 1-10.
- Sudrajat, U. E., & Hariman, I. (2023). Smart greenhouse untuk tanaman cabai menggunakan konsep IoT berbasis fuzzy logic. *Jurnal Informatika*, 1-12.
- Widiono, S., & Untoro, I. H. T. (2023). Fuzzy logic implementation in internet of things technology for fogging greenhouse plants. *International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences*, 5(1), 58-65.
- Yoseph, S., Adi, P. D. P., & Nachrowie. (2021). Implementation of fuzzy logic on internet of things-based greenhouse. *Iota*, 1(2), 178-189.