

Perancangan Sistem *Smart Home* Berbasis *Internet Of Things* Menggunakan Komunikasi LoRa Dan Algoritma Fuzzy Logic

¹Raihan Aldiantino, ²Ali Nurdin, ^{3*}Nurhajar Anugraha

^{1,2,3*} Pendidikan Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

*Korespondensi: nurhajar.anugraha@polsri.ac.id

Submit : 30 Mei 2026 | Diterima : 23 Jun 2026 | Terbit : 01 Sept 2026

ABSTRACT

The development of smart home systems has increased due to the Internet of Things' (IoT) rapid growth. However, most existing solutions rely on Wi-Fi or Bluetooth, which have limited communication ranges and relatively high power consumption. In addition, automation is often restricted to simple threshold-based ON/OFF control. This study proposes a smart home system that integrates LoRa (Long Range) communication with a Mamdani Fuzzy Logic algorithm to provide reliable long-range communication and adaptive control. The system adopts a hybrid communication architecture consisting of an online mode using Wi-Fi connected to the Adafruit IO Cloud platform and an offline mode using LoRa for local communication through a gateway. Two ESP32 microcontrollers are employed: a transmitter node equipped with DHT22 temperature and humidity, MQ-2 gas, and ZMPT101B voltage sensors, and a receiver node acting as a gateway with relay-controlled lighting and exhaust fan actuators. The Fuzzy Logic controller uses temperature and humidity as input variables and generates a PWM duty cycle output to regulate fan speed through nine IF-THEN rules. According to experimental findings, LoRa communication was able to achieve transmission delays of 2.20–8.00 seconds between 0 and 100 meters; however, at 110 meters, the delay increased to 22.50 seconds, indicating the effective communication limit. The Fuzzy Logic algorithm achieved 100% rule-based compliance in all test scenarios. A Node-RED dashboard successfully displayed sensor data in real time. The proposed system provides a reliable, energy-efficient, and adaptive smart home solution that outperforms conventional Wi-Fi-based approaches.

Keywords: *Adafruit IO; ESP32; Fuzzy Logic; Internet of Things; LoRa; Smart Home*

ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT) telah mempercepat pengembangan sistem rumah pintar. Namun, sebagian besar solusi yang ada mengandalkan Wi-Fi atau Bluetooth, yang memiliki jangkauan komunikasi terbatas dan konsumsi daya yang relatif tinggi. Selain itu, otomatisasi sering kali dibatasi pada kontrol ON/OFF berbasis ambang batas sederhana. Penelitian ini mengusulkan sistem rumah pintar yang mengintegrasikan komunikasi LoRa (Jarak Jauh) dengan algoritma Logika Fuzzy Mamdani untuk menyediakan komunikasi jarak jauh yang andal dan kontrol adaptif. Sistem mengadopsi arsitektur komunikasi hybrid yang terdiri dari mode online menggunakan Wi-Fi yang terhubung ke platform Adafruit IO Cloud dan mode offline menggunakan LoRa untuk komunikasi lokal melalui gateway. Dua mikrokontroler ESP32 digunakan: node pemancar yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban DHT22, gas MQ-2, dan tegangan ZMPT101B, dan node penerima yang bertindak sebagai gerbang dengan pencahayaan yang dikontrol relai dan aktuator kipas angin. Pengontrol Logika Fuzzy menggunakan suhu dan kelembaban sebagai variabel masukan dan menghasilkan keluaran siklus kerja PWM untuk mengatur kecepatan kipas melalui sembilan aturan IF-THEN. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa komunikasi LoRa mencapai penundaan transmisi sebesar 2,20–8,00 detik dalam jarak 0–100 meter, sedangkan penundaan meningkat menjadi 22,50 detik pada jarak 110 meter, yang menunjukkan batas komunikasi efektif. Algoritme Logika Fuzzy mencapai kepatuhan basis aturan 100% di semua skenario pengujian. Dasbor Node-RED berhasil menampilkan data sensor secara real time. Sistem yang diusulkan memberikan solusi rumah pintar yang andal, hemat energi, dan adaptif yang mengungguli pendekatan berbasis Wi-Fi konvensional.

Kata Kunci: *Adafruit IO; ESP32; Fuzzy Logic; Internet of Things; LoRa; Smart Home*

PENDAHULUAN

Teknologi informasi dan komunikasi berkembang dengan sangat cepat, terutama karena penggunaan *Internet of Things* (IoT) di dunia modern (Bine, 2025). Dengan menggunakan jaringan internet, berbagai perangkat elektronik dapat terhubung satu sama lain, yang memungkinkan perangkat tersebut melakukan tugas pemantauan dan pengendalian secara otomatis dan real-time (Kok et al., 2025). Rumah pintar adalah salah satu aplikasi Internet of Things yang paling populer, yang menggunakan sensor, aktuator, dan jaringan untuk meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi energi rumah tangga (Dheaa & Al-janabi, 2024). Dengan rumah pintar, konsumen dapat menggunakan perangkat seluler atau internet untuk memantau dan mengelola berbagai peralatan rumah tangga dari jarak jauh, termasuk lampu, AC, dan sistem keamanan.

Meskipun demikian, penerapan sistem rumah pintar menghadapi beberapa kendala, terutama terkait transmisi data dan otomatisasi proses pengambilan keputusan (Lazaro et al., 2025). Banyak sistem rumah pintar yang terus bergantung pada teknologi komunikasi seperti Wi-Fi atau Bluetooth, yang menghadapi kendala terkait jangkauan jaringan dan cenderung mengonsumsi daya dalam jumlah besar (Pires & Veiga, 2025). Teknologi Long Range (LoRa) memiliki jangkauan yang luas dan tidak mengonsumsi banyak daya, sehingga ideal untuk aplikasi Internet of Things baik di lingkungan perumahan maupun wilayah yang lebih luas. Oleh karena itu, teknologi ini dapat membantu mengatasi masalah komunikasi nirkabel ini (Almeida et al., 2025). Teknologi LoRa dikategorikan sebagai Low Power Wide Area Network (LPWAN), yang mampu mengirimkan data sensor sejauh beberapa kilometer dengan konsumsi energi minimal, sehingga sangat efektif untuk sistem pemantauan berorientasi IoT (Ryczek & Sobieraj, 2026). Sistem rumah pintar memerlukan strategi pengambilan keputusan yang cerdas untuk mengelola perangkat secara otomatis berdasarkan faktor lingkungan (Subedi, n.d.). Metode yang umum digunakan adalah algoritma Fuzzy Logic, yang dapat mengelola ketidakpastian data dan memberikan solusi (Harahap et al., 2025). Logika fuzzy beroperasi dengan mengubah nilai masukan dari sensor menjadi himpunan fuzzy melalui proses fuzzifikasi, yang selanjutnya dianalisis menggunakan aturan inferensi untuk menghasilkan keputusan keluaran yang sesuai (Wang et al., 2025). Teknik ini sering digunakan dalam sistem kontrol cerdas karena dapat mengatur berbagai faktor sekaligus, seperti suhu, kelembapan, dan cahaya, untuk mengatur peralatan rumah tangga secara otomatis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa kombinasi IoT dan fuzzy logic dapat meningkatkan efisiensi sistem otomatisasi. Penelitian (Yudhana, 2023) mengembangkan prototipe smart home dengan metode fuzzy logic untuk mengontrol lampu dan sistem pendingin ruangan berdasarkan nilai sensor cahaya, suhu, dan keberadaan manusia, dengan hasil menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menentukan tingkat kecepatan pendingin ruangan secara adaptif sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada rumah pintar. Penelitian lain (Prince et al., 2025) mengembangkan sistem rumah pintar berbasis Internet of Things yang menggunakan komunikasi LoRa dan metode Fuzzy Sugeno untuk memantau kondisi lingkungan dan menjaga suhu ruangan dalam rentang suhu ideal meskipun banyak penghalang fisik.

Selain itu, penelitian (Hendrawati et al., 2025) menerapkan fuzzy logic pada sistem kendali kelembapan tanah dan suhu berbasis komunikasi LoRa dan mikrokontroler ESP32, yang menunjukkan bahwa metode fuzzy mampu memberikan keputusan kendali dengan tingkat error yang sangat kecil berdasarkan data sensor kelembapan dan suhu lingkungan. Penelitian lainnya oleh (Nadziroh, 2026) memanfaatkan IoT dan metode Fuzzy Sugeno untuk memantau serta mengoptimalkan penggunaan energi listrik rumah tangga melalui kendali AC dan pencahayaan, sehingga pengguna dapat mengontrol konsumsi energi secara lebih efisien melalui perangkat mobile. Selain itu, penelitian (Chen et al., 2024) menunjukkan bahwa arsitektur komunikasi LoRa berbasis protokol MQTT mampu menangani banyak node sensor secara simultan dengan tingkat packet loss yang rendah, sehingga integrasi LoRa dengan algoritma fuzzy pada sistem monitoring otomatis berpotensi meningkatkan efisiensi sistem kontrol berbasis sensor karena keputusan yang dihasilkan lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan.

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah berhasil mengembangkan sistem smart home berbasis IoT dan fuzzy logic, sebagian besar masih menggunakan teknologi komunikasi Wi-Fi yang memiliki keterbatasan pada jangkauan dan konsumsi daya. Selain itu, penelitian yang

menggabungkan IoT, LoRa, dan fuzzy logic dalam satu sistem smart home masih relatif terbatas, padahal kombinasi teknologi tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi komunikasi serta kecerdasan sistem kontrol otomatis. Akibatnya, penelitian yang mengintegrasikan algoritma fuzzy logic sebagai metode pengambilan keputusan dalam sistem smart home berbasis IoT dan teknologi LoRa sebagai media komunikasi jarak jauh sangat diperlukan.

Masalah tersebut digunakan dalam penelitian ini untuk membuat sistem smart home berbasis Internet of Things yang menggunakan komunikasi LoRa dan algoritma fuzzy logic. Tujuan dari sistem ini adalah untuk meningkatkan komunikasi data, kemampuan untuk melihat dari jarak jauh, dan kemampuan untuk membuat keputusan otomatis untuk perangkat rumah tangga. Kontribusi utama penelitian ini meliputi: (1) perancangan sistem smart home berbasis IoT yang mampu melakukan monitoring dan pengendalian perangkat rumah secara otomatis, (2) implementasi teknologi komunikasi LoRa sebagai media transmisi data agar sistem memiliki jangkauan komunikasi yang lebih luas dengan konsumsi daya yang rendah, dan (3) penerapan algoritma fuzzy logic dalam sistem smart home untuk menentukan keputusan kendali secara otomatis berdasarkan data sensor lingkungan. Diharapkan sistem yang dikembangkan dapat menawarkan solusi yang lebih hemat energi untuk meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi energi di rumah pintar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode penelitian terapan (applied research) dan pendekatan rekayasa sistem. Pendekatan ini berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem monitoring, serta komunikasi LoRa dan kontrol perangkat berbasis Internet of Things (IoT) dengan dashboard monitoring Adafruit IO. Observasi langsung kondisi lingkungan dan sistem pengendalian perangkat yang masih dilakukan secara mandiri.

Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini merancang sistem Smart Home berbasis Internet of Things (IoT) yang menggabungkan komunikasi online berbasis Cloud dan offline berbasis LoRa. Sistem dirancang agar tetap mampu melakukan monitoring dan pengendalian perangkat baik saat terhubung ke internet maupun ketika koneksi internet tidak tersedia. Pada mode online, data dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Cloud IoT sehingga dapat diakses secara jarak jauh menggunakan smartphone maupun komputer. Sedangkan pada mode offline, komunikasi antar perangkat dilakukan menggunakan teknologi LoRa melalui Gateway lokal tanpa ketergantungan terhadap koneksi internet eksternal.

Arsitektur sistem terdiri dari beberapa node berbasis ESP32 yang berfungsi sebagai perangkat akuisisi data sensor dan pengendali aktuatur. Setiap node dilengkapi dengan modul LoRa sebagai media komunikasi jarak jauh berdaya rendah. Data yang diperoleh dari sensor dikirim menuju Gateway receiver melalui komunikasi LoRa. Gateway kemudian berfungsi sebagai pusat pengolahan data lokal sekaligus penghubung menuju server Cloud IoT ketika jaringan internet tersedia. Dengan arsitektur tersebut, sistem tetap dapat beroperasi secara lokal menggunakan jaringan LoRa meskipun koneksi internet terputus, sehingga meningkatkan keandalan sistem Smart Home.

Parameter yang dimonitor pada sistem meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, tegangan sumber daya, deteksi kebocoran gas, serta status perangkat elektronik seperti lampu dan kipas exhaust. Untuk mendeteksi adanya kebocoran gas, sistem menggunakan sensor gas MQ-2 yang memiliki sensitivitas terhadap gas LPG, methane, propane, dan asap. Ketika konsentrasi gas di atas ambang batas yang telah ditentukan oleh sensor, sistem secara otomatis mengaktifkan alarm dengan suara buzzer. Kemudian, sistem mengirimkan notifikasi ke aplikasi yang memantau. Sistem menerapkan metode fuzzy logic untuk mengatur kecepatan kipas exhaust DC secara otomatis berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban lingkungan, sehingga membentuk mekanisme kontrol tertutup (closed-loop control system) yang terintegrasi antara sensor, komunikasi LoRa, Gateway, dan aktuatur.

Perancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dirancang menggunakan konsep komunikasi hybrid yang menggabungkan mode online dan mode offline. Sistem terdiri dari empat komponen utama, yaitu: (1) Node Transmitter yang berfungsi sebagai sistem untuk membaca sensor dan mengontrol aktuatur; (2) Gateway Receiver yang berfungsi menerima data LoRa, memproses data, menampilkan dashboard lokal, dan mengirimkan data ke Cloud; (3) Cloud IoT yang berfungsi menyimpan dan

menampilkan data secara online; serta (4) Aplikasi Monitoring yang digunakan pengguna untuk melihat kondisi rumah melalui smartphone.

Mode Online

Pada mode online, sistem memanfaatkan koneksi internet yang tersedia pada gateway untuk menghubungkan perangkat dengan platform Cloud IoT. Data yang diperoleh dari sensor suhu dan kelembaban (DHT22), sensor kebocoran gas (MQ-2), serta sensor tegangan (ZMPT101B) terlebih dahulu dibaca oleh ESP32 pada node sensor, kemudian dikirimkan melalui komunikasi LoRa menuju gateway. Gateway yang telah terhubung ke jaringan internet melalui Wi-Fi akan meneruskan data tersebut ke server Cloud IoT (Adafruit IO) sehingga dapat diakses oleh pengguna secara real-time melalui smartphone tanpa dibatasi oleh jarak. Alur komunikasi pada mode online adalah sebagai berikut:

Node Sensor → LoRa → Gateway → Cloud IoT → Aplikasi Monitoring

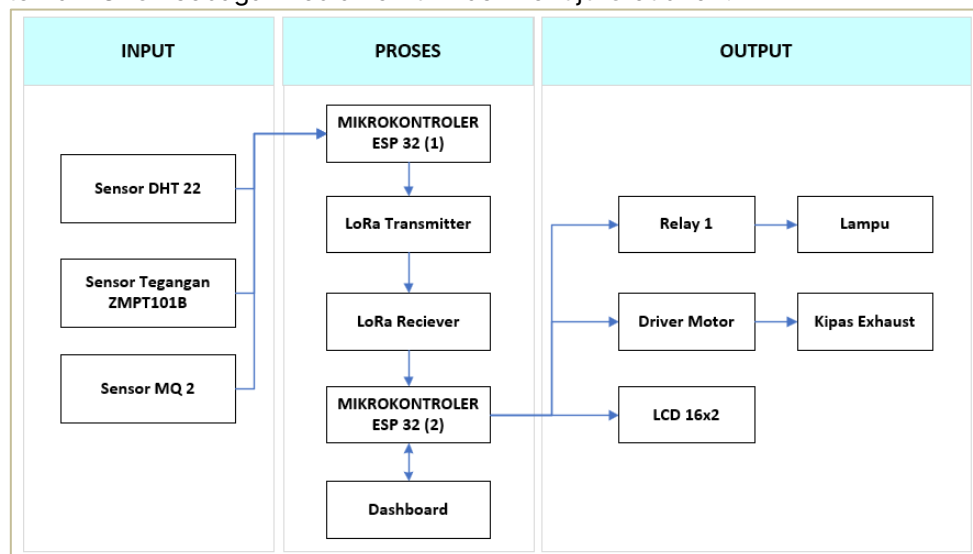
Mode Offline

Selain mode online, sistem juga dirancang untuk dapat beroperasi secara offline menggunakan komunikasi LoRa ketika koneksi internet tidak tersedia atau mengalami gangguan. Pada mode ini, node sensor tetap melakukan pembacaan data dari seluruh sensor yang terpasang yaitu sensor DHT22, MQ-2, dan sensor tegangan, kemudian mengirimkan data ke gateway menggunakan komunikasi LoRa. Perbedaannya terletak pada distribusi data, di mana data hanya diproses dan ditampilkan secara lokal melalui dashboard yang berada dalam jaringan lokal sistem tanpa dikirim ke server Cloud. Seluruh fungsi kontrol otomatis, termasuk algoritma fuzzy logic untuk kecepatan kipas exhaust, tetap berjalan pada mode offline karena diproses langsung oleh ESP32. Implementasi mode offline meningkatkan reliabilitas sistem karena proses monitoring dan pengendalian tidak bergantung sepenuhnya pada koneksi internet. Alur komunikasi pada mode offline adalah sebagai berikut:

Node Sensor → LoRa → Gateway → Dashboard Lokal

Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem mencakup blok input, proses, komunikasi, dan output. Blok input memiliki sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban lingkungan, sensor MQ-2 untuk mengidentifikasi gas mudah terbakar seperti LPG, dan sensor tegangan ZMPT101B untuk memantau kondisi sumber daya sistem. Blok proses menggunakan mikrokontroler ESP32 yang bertugas membaca seluruh data sensor, melakukan pengolahan data, menjalankan algoritma fuzzy logic, serta mengendalikan aktuator sesuai kondisi lingkungan. Blok komunikasi menggunakan modul LoRa Ebyte E32 sebagai media komunikasi offline jarak jauh dan modul Wi-Fi internal ESP32 sebagai media komunikasi menuju Cloud IoT.



Gambar 1. Diagram Blok

Secara umum, sistem terdiri dari unit sensor (Transmitter) dan unit penerima serta kontrol (Receiver), sistem komunikasi LoRa, serta dashboard monitoring menggunakan Adafruit IO

sebagai Cloud. ESP32 pertama bertindak sebagai transmitter dengan LoRa sebagai media komunikasi untuk mengirimkan data sensor, sedangkan ESP32 kedua berfungsi sebagai penerima data yang memprosesnya menjadi output berupa tampilan pada LCD 16x2, kendali relay untuk lampu dan kipas, serta dashboard monitoring online dan lokal.

Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan hardware dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen elektronik ke dalam satu sistem yang saling terhubung. Pusat pengendali sensor ESP32 menerima data dari sensor tegangan ZMPT101B, DHT22, dan MQ-2. Data tersebut kemudian diproses dan dikirim melalui LoRa ke Gateway. Pada sisi receiver, ESP32 menerima data LoRa dan mengendalikan modul relay 2-channel yang terhubung ke beban AC berupa lampu dan kipas melalui terminal AC. Dengan sinyal PWM yang dihasilkan ESP32 melalui driver MOSFET, kecepatan kipas dapat diatur secara bertahap. Di sisi lain, relay mengatur lampu dan buzzer berfungsi sebagai peringatan ketika terjadi kondisi berbahaya, seperti kebocoran gas. Sistem juga memiliki LCD 16x2 yang terhubung melalui modul I2C untuk berfungsi sebagai tampilan lokal dan menampilkan informasi parameter yang diterima. Gateway juga menghubungkan sistem lokal dengan Cloud IoT melalui jaringan Wi-Fi menggunakan koneksi internal ESP32.

Konfigurasi Parameter Modul LoRa

Kinerja komunikasi LoRa sangat dipengaruhi oleh konfigurasi parameter fisik layer pada modul yang digunakan. Pada penelitian ini, modul LoRa Ebyte E32-433T20D dikonfigurasi dengan sejumlah parameter spesifik yang menentukan karakteristik transmisi data. Parameter-parameter tersebut dipilih berdasarkan keseimbangan antara jangkauan komunikasi, kecepatan transfer data, dan konsumsi daya yang sesuai untuk aplikasi smart home dalam kondisi Line of Sight (LOS). Tabel 1 merangkum seluruh parameter konfigurasi modul LoRa yang digunakan dalam penelitian ini.

Table 1 Parameter Konfigurasi Modul LoRa Ebyte E32-433T20D

No.	Parameter	Nilai yang Digunakan	Keterangan
1	Frekuensi Operasi	433 MHz	Band ISM, bebas lisensi
2	Bandwidth (BW)	125 kHz	Standar LoRa; keseimbangan jangkauan dan data rate
3	Spreading Factor (SF)	SF9	Jangkauan menengah; data rate 1,76 kbps
4	Coding Rate (CR)	4/5	Overhead minimum; toleransi kesalahan dasar
5	Daya Pancar (TX Power)	20 dBm (100 mW)	Daya maksimum modul E32-433T20D
6	Sensitivitas Penerima (RX Sensitivity)	-134 dBm	Sensitivitas tinggi; mendukung jangkauan jauh
7	Baud Rate Komunikasi Serial	9600 bps	Antarmuka UART ESP32 ke modul LoRa
8	Mode Transmisi	Transparent Mode	Data diteruskan langsung tanpa modifikasi header

Pemilihan Spreading Factor SF9 merupakan keseimbangan antara jangkauan dan kecepatan data. SF yang lebih tinggi (SF10–SF12) menghasilkan jangkauan lebih jauh namun dengan data rate yang lebih rendah dan konsumsi daya lebih besar, sedangkan SF yang lebih rendah (SF7–SF8) menghasilkan data rate lebih tinggi namun jangkauan lebih terbatas. Bandwidth 125 kHz dipilih karena merupakan nilai standar yang memberikan keseimbangan optimal antara sensitivitas penerima dan kapasitas kanal. Coding Rate 4/5 menghasilkan overhead FEC

(Forward Error Correction) minimum sehingga efisiensi transmisi data tetap terjaga. Daya pancar 20 dBm merupakan daya maksimum modul Ebyte E32-433T20D yang dipilih untuk memaksimalkan jangkauan komunikasi dalam pengujian LOS di lingkungan perumahan

Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perumusan algoritma dan pembuatan diagram alir termasuk dalam tahap perancangan perangkat lunak, yang mengatur dan mengontrol kerja perangkat keras agar sistem dapat berjalan sesuai tujuan. Proses kerja sistem dimulai dari tahap inisialisasi seluruh perangkat, meliputi konfigurasi ESP32, sensor, modul LoRa, LCD, dan relay. Setelah sistem aktif, ESP32 pada node transmitter membaca data suhu dan kelembaban dari DHT22, data gas dari MQ-2, serta data tegangan dari ZMPT101B. Data yang diperoleh kemudian dikemas dan dikirim melalui modul LoRa ke perangkat penerima, dengan mekanisme pengulangan pengiriman apabila data belum berhasil diterima. Apabila data berhasil diterima, informasi tersebut diteruskan ke server berbasis ESP32 untuk ditampilkan pada dashboard monitoring lokal maupun online. Sistem menyediakan mekanisme pengendalian dua relay, yaitu relay pertama untuk mengontrol kipas (ON/OFF) dan relay kedua untuk mengontrol lampu (ON/OFF), sehingga sistem membentuk mekanisme kontrol tertutup (closed-loop control system).

Perancangan Metode Kontrol Kipas Menggunakan Fuzzy Logic

Perancangan metode kontrol kipas pada penelitian ini menggunakan pendekatan fuzzy logic untuk menghasilkan pengaturan kecepatan kipas exhaust DC yang bersifat adaptif terhadap perubahan suhu dan kelembaban lingkungan. Metode ini dipilih karena mampu merepresentasikan proses pengambilan keputusan yang menyerupai logika manusia, terutama pada kondisi sistem yang tidak memiliki model matematis pasti dan bersifat nonlinier. Berbeda dengan kontrol berbasis ambang batas yang hanya menghasilkan kondisi ON atau OFF, penerapan fuzzy logic memungkinkan kipas beroperasi secara bertahap sesuai tingkat kenaikan suhu dan kelembaban, sehingga respons sistem menjadi lebih halus dan stabil.

Suhu dan kelembaban ruangan ditetapkan sebagai variabel masukan (input variable) yang diperoleh dari sensor DHT22, sedangkan kecepatan kipas dinyatakan sebagai variabel keluaran (output variable) dalam bentuk sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang dihasilkan ESP32. Nilai masukan yang terbaca akan melalui tahap fuzzification untuk dikonversi ke dalam himpunan linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan yang dirancang. Proses inferensi dilakukan menggunakan metode Mamdani, kemudian hasilnya dikonversi menjadi nilai tegas (crisp output) melalui metode defuzzification dengan pendekatan weighted average yang dipilih karena lebih mudah diterapkan pada mikrokontroler ESP32 dan dapat langsung digunakan untuk mengatur duty cycle PWM pada kipas DC.

Variabel Input: Suhu

Variabel suhu digunakan untuk mengetahui tingkat panas ruangan yang menjadi dasar dalam menentukan kecepatan kipas exhaust. Semakin tinggi suhu ruangan, maka kebutuhan sirkulasi udara semakin besar sehingga kipas harus beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi. Berdasarkan karakteristik suhu lingkungan dalam ruangan, variabel suhu dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Dingin, Normal, dan Panas, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Table 2 Himpunan Fuzzy Variabel Suhu

Himpunan Fuzzy	Rentang Suhu (°C)
Dingin	20 – 27
Normal	25 – 32
Panas	30 – 40

Variabel Input: Kelembaban

Selain suhu, kelembaban udara juga menjadi faktor yang memengaruhi tingkat kenyamanan ruangan. Kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ruangan terasa pengap, meningkatkan pertumbuhan jamur, serta menurunkan kualitas udara dalam ruangan. Oleh karena itu, kelembaban digunakan sebagai variabel input kedua dalam sistem fuzzy logic. Data kelembaban diperoleh dari sensor DHT22 yang dipasang di dalam ruangan dan membaca kondisi lingkungan secara terus-menerus. Variabel kelembaban dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Kering, Normal, dan Lembab, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Table 3 *Himpunan Fuzzy Variabel Kelembaban*

Himpunan Fuzzy	Rentang Kelembaban (% RH)
Kering	30 – 50
Normal	45 – 70
Lembab	65 – 90

Variabel Output: Kecepatan Kipas(PWM)

Output dari sistem fuzzy logic adalah nilai kecepatan kipas exhaust dalam bentuk duty cycle PWM. Nilai PWM digunakan untuk mengatur besar kecilnya sinyal yang diberikan ke driver kipas DC, di mana semakin besar nilai PWM maka semakin cepat putaran kipas. Pada penelitian ini, nilai PWM dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Lambat, Sedang, dan Cepat, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. Nilai representatif PWM tersebut digunakan pada proses defuzzifikasi dengan metode weighted average. Nilai PWM rendah digunakan ketika kondisi suhu dan kelembaban masih nyaman, nilai PWM sedang digunakan ketika suhu atau kelembaban mulai meningkat, dan nilai PWM tinggi digunakan ketika suhu panas atau kelembaban tinggi sehingga kipas exhaust perlu bekerja lebih cepat.

Table 4 *Himpunan Fuzzy Variabel Kecepatan Kipas(PWM)*

Himpunan Fuzzy	Rentang PWM	Nilai Representatif
Lambat	0 – 85	85
Sedang	86 – 170	170
Cepat	171 – 255	255

Rule Base Fuzzy

Rule base fuzzy merupakan kumpulan aturan yang digunakan untuk menentukan output sistem berdasarkan kombinasi nilai input fuzzy. Pada penelitian ini, rule base digunakan untuk menentukan kecepatan kipas exhaust berdasarkan dua variabel input, yaitu suhu dan kelembaban ruangan. Karena masing-masing variabel memiliki tiga himpunan fuzzy, maka jumlah aturan yang digunakan adalah sembilan aturan IF-THEN sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. Penyusunan rule base dilakukan berdasarkan kondisi kenyamanan ruangan: apabila suhu dan kelembaban berada pada kondisi rendah atau normal maka kipas tidak perlu bekerja dengan kecepatan tinggi, sebaliknya apabila suhu meningkat atau kelembaban tinggi maka kipas exhaust perlu bekerja lebih cepat agar pertukaran udara menjadi lebih baik.

Table 5 *Rule Base Fuzzy Pengendalian Kipas DC*

No.	Suhu	Kelembaban	Output Kecepatan Kipas
1	Dingin	Kering	Lambat
2	Dingin	Normal	Lambat
3	Dingin	Lembab	Sedang
4	Normal	Kering	Lambat
5	Normal	Normal	Sedang
6	Normal	Lembab	Cepat
7	Panas	Kering	Sedang
8	Panas	Normal	Cepat
9	Panas	Lembab	Cepat

Aturan pertama menyatakan bahwa apabila suhu Dingin dan kelembaban Kering, maka kipas bekerja pada kecepatan Lambat karena kondisi ruangan masih sejuk dan tidak membutuhkan

sirkulasi udara yang besar. Aturan ketiga menyatakan bahwa apabila suhu Dingin tetapi kelembaban Lembab, maka kipas bekerja pada kecepatan Sedang karena meskipun suhu rendah, kelembaban yang tinggi menyebabkan ruangan terasa pengap. Aturan keenam menyatakan bahwa apabila suhu Normal dan kelembaban Lembab, maka kipas bekerja pada kecepatan Cepat untuk mengurangi rasa pengap. Aturan kesembilan menyatakan bahwa apabila suhu Panas dan kelembaban Lembab, maka kipas bekerja pada kecepatan Cepat karena kondisi ini merupakan kondisi yang paling tidak nyaman. Dengan rule base tersebut, sistem dapat menentukan kecepatan kipas secara adaptif berdasarkan kombinasi dua kondisi lingkungan sekaligus, sehingga output yang dihasilkan lebih sesuai dengan kebutuhan ruangan.

Cara Kerja Alat

Sistem bekerja dengan prinsip monitoring dan kontrol terintegrasi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan komunikasi LoRa dan Gateway lokal. Pada tahap awal, seluruh perangkat melakukan proses inisialisasi, meliputi konfigurasi sensor, modul LoRa, serta pengaturan pin input-output pada ESP32. Setelah sistem aktif, node transmitter membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT22, data gas dari sensor MQ-2, serta data tegangan dari sensor ZMPT101B secara periodik. Data yang diperoleh kemudian dikemas dalam format tertentu dan dikirimkan melalui modul LoRa menuju node receiver yang berfungsi sebagai Gateway lokal. ESP32 pada sisi receiver menerima data yang dikirimkan, kemudian menampilkan parameter monitoring pada dashboard aplikasi dalam jaringan lokal maupun Cloud IoT, meliputi nilai suhu, kelembaban, tegangan sumber daya, serta status perangkat seperti lampu dan kipas. Selain berfungsi sebagai pusat monitoring, unit ini juga menjalankan algoritma fuzzy logic untuk mengatur kecepatan kipas exhaust DC. Nilai suhu dan kelembaban yang diterima diproses melalui tahap fuzzification, evaluasi rule base, dan defuzzification untuk menghasilkan nilai PWM yang sesuai. Nilai PWM tersebut dikirimkan ke rangkaian driver motor untuk mengatur kecepatan putaran kipas DC secara bertahap: jika suhu atau kelembaban meningkat, kecepatan kipas akan bertambah secara proporsional, dan sebaliknya jika menurun kecepatan kipas akan berkurang. Untuk kontrol lampu, sistem menggunakan modul relay yang dapat diaktifkan atau dinonaktifkan melalui dashboard monitoring. Secara keseluruhan, alat bekerja sebagai sistem kontrol tertutup (closed-loop control system) yang mampu melakukan monitoring jarak jauh sekaligus pengendalian perangkat secara otomatis dan real-time.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil implementasi dan pengujian sistem smart home berbasis IoT yang menggunakan komunikasi LoRa dan algoritma Fuzzy Logic. Pengujian dilakukan dalam tiga aspek utama, yaitu pengujian performa komunikasi LoRa, pengujian akurasi kendali kecepatan kipas berbasis Fuzzy Logic, serta pengujian monitoring keseluruhan sensor melalui dashboard lokal berbasis Node-RED. Setiap aspek pengujian dianalisis dan dibandingkan terhadap desain sistem yang telah dirancang sebelumnya

Hasil Implementasi Dashboard Monitoring Lokal

Dashboard monitoring lokal diimplementasikan menggunakan platform Node-RED yang berjalan pada gateway receiver dengan alamat IP lokal 127.0.0.1:1880. Dashboard menampilkan empat parameter sensor secara real-time dalam format gauge meter, yaitu suhu dalam satuan Celcius, kelembaban dalam satuan persen relatif (%RH), tegangan sumber daya dalam satuan VAC, dan konsentrasi gas dari sensor MQ-2 dalam satuan ppm. Selain itu, dashboard juga dilengkapi dengan dua tombol kontrol SSR (Solid State Relay) untuk mengaktifkan atau menonaktifkan beban AC secara manual melalui antarmuka web.

Gambar 2 menunjukkan tampilan dashboard monitoring lokal pada saat pengujian berlangsung. Pada kondisi tersebut, sensor DHT22 menampilkan nilai suhu sebesar 31,5°C dan kelembaban sebesar 72,7%RH, sensor ZMPT101B menampilkan tegangan sumber daya sebesar 230,4 VAC yang menunjukkan kondisi tegangan PLN dalam keadaan normal, sedangkan sensor MQ-2 menampilkan nilai konsentrasi gas sebesar 422 ppm yang masih berada di bawah ambang batas bahaya. Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi dan penampilan data sensor secara real-time melalui dashboard lokal dengan baik.



Gambar 2 Tampilan Dashboard Monitoring Lokal LoRa Smart Home

Berdasarkan data yang ditampilkan pada dashboard, nilai suhu 31,5°C dan kelembaban 72,7%RH mengindikasikan kondisi ruangan yang cukup panas dan lembab. Berdasarkan rule base fuzzy yang telah dirancang, kondisi ini termasuk dalam himpunan fuzzy Panas untuk variabel suhu (rentang 30–40°C) dan himpunan fuzzy Lembab untuk variabel kelembaban (rentang 65–90%RH), yang sesuai dengan aturan ke-9 (IF Panas AND Lembab THEN Cepat), sehingga sistem secara otomatis menghasilkan output PWM 255 untuk menggerakkan kipas exhaust pada kecepatan maksimum.

Pengujian Performa Komunikasi LoRa

Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk mengevaluasi kinerja transmisi data antara node transmitter dan gateway receiver pada berbagai jarak dalam kondisi Line of Sight (LOS). Parameter yang diukur adalah waktu transmisi data (delay) yang dihitung dari saat data dikirimkan oleh transmitter hingga data berhasil diterima dan ditampilkan pada dashboard gateway receiver. Pengujian dilakukan di area terbuka dengan konfigurasi modul LoRa Ebyte E32 pada frekuensi 433 MHz.

Tabel 6 merangkum hasil pengujian waktu transmisi data LoRa pada sepuluh variasi jarak, mulai dari jarak dekat (< 10 meter) hingga jarak 110 meter.

Table 6 Hasil Pengujian Waktu Transmisi Data Komunikasi LoRa

No.	Jarak Pengujian	Waktu Transmisi (detik)	Rata-rata (detik)	Keterangan
1	Dekat (< 10 m)	2,20	2,20	Sangat Baik
2	30 Meter	3,00	3,00	Sangat Baik
3	40 Meter	4,00	4,00	Sangat Baik
4	50 Meter	4,57	4,57	Sangat Baik
5	60 Meter	5,00	5,00	Baik
6	70 Meter	6,00	6,00	Baik
7	80 Meter	6,50	6,50	Baik
8	90 Meter	6,70	6,70	Baik
9	100 Meter	8,00	8,00	Cukup Baik
10	110 Meter	22,50	22,50	Menurun

Berdasarkan data pada Tabel 6, waktu transmisi data terpendek diperoleh pada jarak dekat (< 10 meter) yaitu sebesar 2,20 detik. Seiring bertambahnya jarak, waktu transmisi mengalami peningkatan yang relatif linier dari 3,00 detik pada jarak 30 meter hingga 8,00 detik pada jarak 100 meter. Peningkatan waktu transmisi ini disebabkan oleh melemahnya kekuatan sinyal (RSSI) akibat path loss yang sebanding dengan pertambahan jarak, sehingga modul LoRa memerlukan lebih banyak waktu untuk melakukan sinkronisasi dan pengiriman ulang paket apabila terjadi kesalahan.

Perubahan yang signifikan terjadi pada jarak 110 meter, di mana waktu transmisi melonjak drastis menjadi 22,50 detik. Peningkatan sebesar 181,25% dibandingkan jarak 100 meter ini

mengindikasikan bahwa jarak 110 meter mendekati batas efektif komunikasi LoRa pada konfigurasi yang digunakan (frekuensi 433 MHz, antena standar, kondisi LOS). Pada kondisi tersebut, sinyal yang diterima sudah mendekati ambang sensitivitas minimum modul, sehingga terjadi banyak pengiriman ulang (retransmission) yang memperbesar delay. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi LoRa berfungsi secara optimal pada jarak 0–100 meter dengan delay yang masih dapat diterima untuk aplikasi smart home, yaitu di bawah 10 detik. Dibandingkan dengan penelitian Rahmatullah dan Gao et al. (2025) yang menggunakan arsitektur LoRa-MQTT dengan packet loss di bawah 1% pada kondisi multi-node, hasil pengujian ini menunjukkan kinerja yang sebanding meskipun dilakukan dalam skenario single-node. Sementara itu, penelitian Salamah et al. (2023) melaporkan jangkauan komunikasi LoRa yang efektif pada jarak jauh dengan error rate yang sangat kecil, yang konsisten dengan hasil penelitian ini bahwa LoRa memiliki performa komunikasi yang baik pada jarak menengah hingga jauh untuk aplikasi IoT.

Pengujian Algoritma Fuzzy

Pengujian algoritma Fuzzy Logic dilakukan dengan memberikan variasi nilai suhu dan kelembaban sebagai input sistem, kemudian membandingkan output kecepatan kipas (nilai PWM) yang dihasilkan dengan nilai yang diharapkan berdasarkan rule base yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan lima skenario kondisi lingkungan yang mencakup kombinasi himpunan fuzzy yang berbeda, mulai dari kondisi paling tidak nyaman (Panas-Lembab) hingga kondisi paling nyaman (Dingin-Kering).

Table 7 Hasil Verifikasi Algoritma fuzzy Logic Terhadap Rule Base

No.	Suhu (°C)	RH (%)	HS Suhu	HS Kelembaban	Output Fuzzy	Aksi Kipas	Keterangan
1	31,5	72,7	Panas	Lembab	Cepat (PWM 255)	Kipas Max	Sesuai
2	27,0	55,0	Normal	Normal	Sedang (PWM 170)	Kipas Sedang	Sesuai
3	22,0	35,0	Dingin	Kering	Lambat (PWM 85)	Kipas Min	Sesuai
4	30,0	68,0	Normal	Lembab	Cepat (PWM 255)	Kipas Max	Sesuai
5	25,5	45,0	Normal	Kering	Lambat (PWM 85)	Kipas Min	Sesuai

Berdasarkan hasil pada Tabel 6, seluruh skenario pengujian menghasilkan output fuzzy yang sesuai dengan rule base yang dirancang, sehingga tingkat kesesuaian sistem mencapai 100% pada kelima skenario tersebut. Skenario pertama (suhu 31,5°C dan kelembaban 72,7%RH) sesuai dengan kondisi aktual yang terbaca pada dashboard seperti terlihat pada Gambar 1, di mana sistem menghasilkan output PWM 255 (Cepat) sesuai aturan ke-9 (IF Panas AND Lembab THEN Cepat). Skenario ketiga (suhu 22,0°C dan kelembaban 35,0%RH) menghasilkan output PWM 85 (Lambat) sesuai aturan ke-1 (IF Dingin AND Kering THEN Lambat), menunjukkan bahwa pada kondisi nyaman, sistem secara otomatis meminimalkan putaran kipas untuk menghemat energi.

Penerapan metode defuzzifikasi weighted average terbukti menghasilkan nilai PWM yang tepat dan dapat langsung digunakan untuk mengendalikan kecepatan kipas DC melalui driver MOSFET. Penggunaan dua variabel input (suhu dan kelembaban) dibandingkan satu variabel input menghasilkan keputusan kendali yang lebih akurat dan adaptif, karena sistem mampu membedakan kondisi nyaman dari dua aspek kenyamanan termal sekaligus. Hasil ini sejalan dengan penelitian Qushoyyi et al. (2021) yang membuktikan bahwa sistem fuzzy mampu menentukan tingkat kecepatan pendingin ruangan secara adaptif berdasarkan kondisi sensor lingkungan.

Pengujian Monitoring Sensor Keseluruhan

Pengujian monitoring sensor keseluruhan dilakukan untuk memverifikasi akurasi dan konsistensi pembacaan data oleh keempat sensor yang digunakan, yaitu sensor DHT22 (suhu dan kelembaban), sensor ZMPT101B (tegangan), dan sensor MQ-2 (gas). Tabel 8 menampilkan lima sampel data hasil monitoring yang diambil secara periodik melalui dashboard lokal selama sesi pengujian berlangsung.

Table 8 *Sampel Data Hasil Monitoring Sensor Pada Dashboard Lokal*

No.	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	Tegangan (VAC)	Gas MQ-2 (ppm)	Status SSR
1	31,5	72,7	230,4	422	SSR ON
2	30,2	68,1	229,8	410	SSR ON
3	27,4	55,3	230,1	398	SSR OFF
4	25,8	44,7	230,5	385	SSR OFF
5	22,3	34,9	230,2	370	SSR OFF

Berdasarkan data pada Tabel 7, sensor DHT22 menunjukkan pembacaan suhu pada rentang 22,3–31,5°C dan kelembaban pada rentang 34,9–72,7%RH yang mencerminkan variasi kondisi lingkungan selama pengujian berlangsung. Sensor ZMPT101B secara konsisten menampilkan nilai tegangan pada rentang 229,8–230,5 VAC, yang sesuai dengan tegangan nominal jaringan PLN sebesar 220–240 VAC, menunjukkan bahwa sensor tegangan berfungsi dengan baik dan akurat. Sensor MQ-2 menampilkan nilai konsentrasi gas pada rentang 370–422 ppm, yang masih jauh di bawah ambang batas berbahaya untuk gas LPG (>1000 ppm), sehingga sistem tidak mengaktifkan alarm buzzer selama pengujian berlangsung.

Status SSR pada Tabel 3 menunjukkan bahwa relay diaktifkan (SSR ON) pada kondisi suhu dan kelembaban tinggi (sampel 1 dan 2), dan dinonaktifkan (SSR OFF) ketika suhu dan kelembaban berada pada kondisi normal hingga rendah (sampel 3, 4, dan 5). Hal ini membuktikan bahwa sistem kendali relay berfungsi sesuai dengan logika yang dirancang, yaitu mengaktifkan beban AC ketika kondisi lingkungan membutuhkan pendinginan atau ventilasi tambahan.

Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa integrasi komunikasi LoRa dan algoritma Fuzzy Logic dalam sistem smart home berbasis IoT dapat berfungsi dengan baik sesuai rancangan. Komunikasi LoRa berhasil mentransmisikan data sensor dari node transmitter ke gateway receiver dengan delay yang dapat diterima (2,20–8,00 detik) pada jarak operasional 0–100 meter. Peningkatan delay yang signifikan pada jarak 110 Meter (22,50 detik) mengindikasikan batas jangkauan efektif pada konfigurasi yang digunakan, dan perlu diatasi pada penelitian selanjutnya dengan peningkatan gain antena atau konfigurasi spreading factor yang lebih tinggi.

Algoritma Fuzzy Logic Mamdani yang diimplementasikan pada ESP32 terbukti mampu menghasilkan keputusan kendali kecepatan kipas yang akurat dan adaptif berdasarkan kombinasi nilai suhu dan kelembaban, dengan tingkat kesesuaian 100% terhadap rule base pada seluruh skenario pengujian. Penggunaan pendekatan dua variabel input dibandingkan satu variabel menghasilkan kendali yang lebih presisi, karena sistem dapat membedakan kondisi panas-kering (kipas Sedang) dan panas-lembab (kipas Cepat) secara tepat. Pendekatan ini lebih unggul dibandingkan sistem kendali berbasis ambang batas ON/OFF karena menghasilkan respons yang proporsional dan mengurangi fluktuasi kecepatan kipas yang tidak perlu.

Dashboard monitoring berbasis Node-RED berhasil menampilkan keempat parameter sensor (suhu, kelembaban, tegangan, dan konsentrasi gas) secara real-time dengan tampilan yang informatif dan mudah dipahami pengguna. Keberhasilan implementasi dashboard ini sesuai dengan tujuan penelitian untuk menyediakan antarmuka monitoring yang dapat diakses secara lokal melalui jaringan intranet maupun secara online melalui platform Cloud IoT Adafruit IO. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang telah berhasil membuktikan bahwa kombinasi LoRa, Fuzzy Logic, dan IoT dapat memberikan solusi smart home yang lebih handal, efisien, dan cerdas dibandingkan sistem konvensional yang hanya mengandalkan komunikasi Wi-Fi dengan kontrol ON/OFF sederhana.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem smart home berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan komunikasi LoRa dan algoritma Fuzzy Logic Mamdani. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul LoRa Ebyte E32 433 MHz mampu mentransmisikan data dengan delay 2,20–8,00 detik pada jarak 0–100 meter, sementara delay meningkat menjadi 22,50 detik pada jarak 110 meter, sehingga jarak operasional optimal sistem berada pada rentang 0–100 meter dalam kondisi Line of Sight (LOS). Algoritma Fuzzy Logic Mamdani yang menggunakan variabel suhu dan kelembaban berhasil mengendalikan kecepatan kipas exhaust secara adaptif dengan tingkat kesesuaian terhadap rule base mencapai 100% pada seluruh skenario pengujian, menghasilkan output PWM antara 85 hingga 255 sesuai kondisi lingkungan. Selain itu, dashboard Node-RED mampu menampilkan data suhu, kelembaban, tegangan, dan konsentrasi gas secara real-time serta menyediakan fitur kendali manual relay. Integrasi arsitektur hybrid antara mode online (Adafruit IO Cloud) dan offline (LoRa lokal) meningkatkan keandalan sistem karena tetap dapat beroperasi saat koneksi internet terputus. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, pengujian komunikasi LoRa hanya dilakukan dalam kondisi Line of Sight (LOS) di area terbuka, sehingga performa sistem pada kondisi Non-Line of Sight (NLOS) seperti di dalam gedung bertingkat atau lingkungan dengan banyak penghalang fisik belum dapat diverifikasi. Kedua, topologi jaringan yang digunakan masih bersifat single-node (satu transmitter dan satu gateway), sehingga skalabilitas sistem untuk skenario multi-node dengan banyak titik sensor belum diuji. Ketiga, rule base fuzzy yang dirancang hanya terdiri dari sembilan aturan dengan dua variabel input (suhu dan kelembaban), sehingga belum mengakomodasi variabel lingkungan lain seperti konsentrasi gas dan tegangan listrik sebagai input kendali otomatis. Keempat, pengujian sistem dilakukan dalam rentang waktu dan kondisi cuaca yang terbatas, sehingga belum dapat mencerminkan performa sistem dalam jangka panjang dan berbagai skenario lingkungan yang beragam. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan menawarkan solusi smart home yang andal, adaptif, dan lebih efektif untuk komunikasi jarak jauh dibandingkan pendekatan berbasis Wi-Fi konvensional, dengan ruang pengembangan yang masih terbuka untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan tersebut pada penelitian berikutnya.

REFERENSI

- Almeida, D. A., Altamirano, J. C., Cañizares, M. R., Játiva, P. P., Guaña-moya, J., & Sánchez, I. (2025). *Gateway-Free LoRa Mesh on ESP32: Design, Self-Healing Mechanisms, and Empirical Performance*. 1–31.
- Bine, W. I. S. (2025). *Design of a Low-Cost Gateway with LoRa Technology Serving Multiple Devices*. 1–29.
- Chen, Y., Liu, F., Gao, J., & Yan, Z. (2024). *Research on Electromagnetic Environment Characteristic Acquisition System for Industrial Chips*.
- Dheaa, H., & Al-janabi, K. (2024). *Design and Implementation of a LoRa Technology - Based Smart Home Monitoring Circuit*. 1959–1971.
- Harahap, C. R., Setyawan, F. X. A., & Budiati, D. (2025). *Speed control of induction motor using fuzzy logic based on internet of things*. 14(2), 488–497. <https://doi.org/10.11591/ijape.v14.i2.pp488-497>
- Hendrawati, T. D., Wicaksana, F. A., Narpuro, P., & Rahayu, S. (2025). *Mamdani Fuzzy Logic-Based Room Temperature Monitoring and Control System*. 2(1), 59–70.
- Kok, C. L., Heng, J. B., Koh, Y. Y., & Teo, T. H. (2025). *Energy-, Cost-, and Resource-Efficient IoT Hazard Detection System with Adaptive Monitoring*.
- Lazaro, M., Lazaro, A., Villarino, R., & Girbau, D. (2025). *Home surveillance system based on LoRa backscattering*. 1–19.
- Nadzirah, F. (2026). *The Indonesian Journal of Computer Science*. 15(1), 214–225.
- Pires, L. M., & Veiga, I. (2025). *Design of a Low-Cost and Low-Power LoRa-Based IoT System for Rockfall and Landslide Monitoring*. 1–31.
- Prince, E., Soberano, J. A., Robles, E. C. L., Gatlula, M. M. V, & Base, R. (2025). *Design and Validation of a Mamdani-Type Fuzzy Inference System for Dynamic Indoor Climate Balancing*. XII(2321), 427–434. <https://doi.org/10.51244/IJRSI>
- Ryczek, S., & Sobieraj, M. (2026). *Secure LoRa-Based Transmission System: An IoT Solution for Smart Homes and Industries*.
- Subedi, R. (n.d.). *Fuzzy Logic for Smart Homes*. 1–6.

- Wang, X., Zhao, W., & Niu, X. (2025). *Low voltage user power internet of things monitoring system based on LoRa wireless technology*. 1–19.
- Yudhana, A. (2023). *Temperature and Humidity Control System with Air Conditioner Based on Fuzzy Logic and Internet of Things*. 4(3), 308–322. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i3.18327>